

J I E R - 0 0 1 7

光源システムの技術動向と展望

次世代光源システム研究調査委員会報告書

1990年3月

社団法人 照 明 学 会

J I E R - 0 0 1 7

光源システムの技術動向と展望

次世代光源システム研究調査委員会報告書

1990年3月

社団法人 照 明 学 会

次世代光源システム研究調査委員会報告について

委員長 加納 忠男

将来を予測し、この結果を実現することは大変難しい。1972年の光源調査専門委員会による光源技術の動向調査から18年を経過したこともあり、「光の発生・関連システム研究専門部会」（野口透 委員長）の提案で、21世紀における光源システムの調査研究することを目的として本委員会を発足させた。幸いなことに、業界各社のご理解のもとに、実務者の方々による委員会構成ができ、約2年間半の調査報告をまとめることができた。

近年、世界的な産業の発展により、光源の使用される分野も著しく拡大してきた。勿論、一般照明の分野では、生活環境の高度化を求めると共に個性を生かした生活の多様化により、照明への関心度が高まってきている。一方、産業分野でも、OA機器の急速なる発展、光化学反応や印刷分野での応用拡大、農・水産分野への展開など多方面への研究が進んできた。光源自体の発生原理は、従来から知られている燃焼・熱放射・ルミネセンスの領域に限定されているが、光源に使用される材料を点灯回路の研究と相俟って光源システムとしての進歩が大きい。

本報では、これらの動向を踏え、光源の範囲とその応用範囲をできるだけ幅広く取らえると共に、点灯装置および光源材料についても取り上げた。調査については、先ず、過去約10年間の技術情報を文献、特許などを中心に収集した。そして、これを基に委員会において2001年までの予測をすると共に、専門家20名の方々にお願ひし、アンケート調査を実施し、デルファイ法にてまとめた。また、委員の専門外の分野については、委員外の方々に協力を求めると共に、その分野の権威者による公開研究会を実施した。

幹事を含む委員の方々には、13回に及ぶ委員会と共に、その間における情報の収集と報告書のまとめに多大の努力をお願いした。ここに、厚くお礼を申し上げます。

1年先の予測でも、難しい今日、21世紀は10年後とは云え、過去の急速な進歩と変転を見る時、次世代に何が現われ、どのような時代になるかを予測することは努力だけでは答がでない。特にハードの分野では企業の競争の結果、公開する情報も限定され、本報告が委員の限界と感じている。ソ連・東欧の大変革に始り、照明業界も企業の再編が進む中、会員の皆様のみが本当の答を知っているのかも知れません。御期待の及ばないところは、10年後の姿で見て頂きたいと思っております。

* 次世代光源システム研究調査委員会報告について	1
1. まえがき	4
2. 調査方法	5
3. 光源システムの技術動向	
3. 1. 照明用光源	
3. 1. 1. 白熱電球	8
3. 1. 2. ハロゲン電球	12
3. 1. 3. 蛍光ランプ	16
3. 1. 4. 高圧水銀ランプ	28
3. 1. 5. メタルハライドランプ	32
3. 1. 6. 高圧ナトリウムランプ	43
3. 1. 7. 低圧ナトリウムランプ	50
3. 1. 8. キセノンランプ	54
3. 2. 特殊照明用光源	
3. 2. 1. 自動車用	58
3. 2. 2. 映写・光学機器用	67
3. 2. 3. スタジオ用	68
3. 2. 4. 色判別、検査、鑑別用	69
3. 2. 5. ディスプレイ用素子	72
(1)発光ダイオード (2)エレクトロルミネセンス (3)陰極線管 (4)プラズマディスプレイ	
(5)蛍光表示管 (6)大形ディスプレイ用光源 (7)液晶表示 (8)エレクトロクロミックディスプレイ	
3. 2. 6. 液晶用バックライト	102
3. 3. 放射源	
3. 3. 1. 情報機器用	108
3. 3. 2. 印刷用	112
3. 3. 3. 工業用	118
3. 3. 4. 医療用	122
3. 3. 5. 農・水産用	126
3. 3. 6. その他(レーザ励起用、ソーラシミュレーター用)	134
3. 4. 点灯装置	
3. 4. 1. 蛍光ランプ用	138
3. 4. 2. HIDランプ用	138
3. 4. 3. その他(低圧ナトリウム用、キセノンランプ用)	139
3. 5. 光源材料	
3. 5. 1. 蛍光体	147
3. 5. 2. 発光・封入材料	156
3. 5. 3. ガラス	172
3. 5. 4. セラミックス	178
3. 5. 5. 薄膜材料	182
3. 5. 6. 電極材料	188
3. 5. 7. 金属材料	194
3. 5. 8. その他の化学材料(ゲッタなど)	195

4. 次世代光源システムの展望	
4. 1. 照明用光源の展望	(ページ)
4. 1. 1. 期待される光源 (理想光源)	202
4. 1. 2. 白熱電球	206
4. 1. 3. ハロゲン電球	209
4. 1. 4. 蛍光ランプ	212
4. 1. 5. 高圧水銀ランプ	218
4. 1. 6. メタルハライドランプ	220
4. 1. 7. 高圧ナトリウムランプ	223
4. 1. 8. 低圧ナトリウムランプ	226
4. 1. 9. キセノンランプ (ショートアーク)	228
4. 2. 特殊照明用光源の展望	
4. 2. 1. 自動車用	230
4. 2. 2. スタジオ用	233
4. 3. 放射源の展望	
4. 3. 1. 情報機器用	234
4. 3. 2. 印刷用	236
4. 3. 3. 工業用	237
4. 3. 4. 農・水産用	238
4. 4. 点灯装置	
4. 4. 1. 蛍光ランプ用	240
4. 4. 2. HIDランプ用	241
4. 4. 3. その他	241
4. 5. 新光源の可能性	
4. 5. 1. 熱放射	243
4. 5. 2. 放電	245
4. 5. 3. 発光ダイオード	248
4. 5. 4. エレクトロルミネセンス	251
4. 5. 5. フォトルミネセンス	254
4. 5. 6. 化学発光	256
4. 5. 7. レーザ	258
4. 5. 8. シンクロトロン放射	263
5. あとがき	265
付録. 次世代光源システムに関するアンケート調査結果	266

1. まえがき

1972年、光源調査専門委員会による光源技術の調査報告があり、10年以内に実現可能な光源性能の予測がなされている。効率についての予測結果をみると、18年後の現時点では、かなりのものがクリアしている。その間の技術の進歩をみると、特に材料開発の寄与が大きい。さらに紫外、可視、赤外各放射の応用分野が拡大したことが特記される。

本委員会は、光源システムの技術動向を調査し、10年後の21世紀の光源システムの開発に寄与しうる関連科学技術資料を調査整理して、新たな光源の可能性を調査研究することが目的である。

本委員会の構成は次の通り。

委員長 加納 忠男（東芝ライテック）

幹 事 安西 良矩（三菱電機）

小原 章男（東芝ライテック）

柴田 治男（松下電子工業）

委 員 稲垣 富樹（日本電池）

大久保啓介（ウシオ電機）

金井 義介（岩崎電気）

四宮 雅樹（松下電工）

東 忠利（東芝ライテック）

松野 博光（日立製作所）

松原 修（日本電気ホームエレクトロニクス）

山崎 敏（前・小糸製作所）（'87/6-'89/6）

佐藤 修（小糸製作所）（'89/7-）

渡部 勁二（三菱電機）

協力者 五十嵐 昇（東芝セラミックス） [セラミックス]

石松 純男（スタンレー電気） [発光ダイオード]

大西 秀臣（愛媛大学） [薄膜エレクトロルミネセンス]

大森 隆雄（東芝硝子） [ガラス]

笠井 佐夫（大阪市立大学） [化学発光]

後藤 達美（東芝） [レーザー]

谷水 伸吉（日立製作所） [フォトルミネセンス]

平井 佳紀（関西日本電気） [厚膜エレクトロルミネセンス]

調査期間は1987年 6月から1990年 4月までの3 年間である。

2. 調査方法

2. 1. 基本方針

- (1) 最近の文献、特許などの光源関連の技術情報を収集整理して、技術動向を把握する。
- (2) 21世紀の照明分野における要求性能を考慮して、期待される光源像を構築する。
- (3) 既存光源の性能向上のみでなく、新原理による新光源の可能性を探索する。
- (4) 新光源に関しては、公開研究会（シンポジウム）を開催し、専門家の意見を聞く。
- (5) 技術予測手法を活用する。
- (6) 2001年の予測を最近の技術動向からその実現の可能性についてシナリオ化する。

2. 2. 調査対象の範囲

(1) 技術動向調査

一般照明用光源、特殊照明用光源（自動車用、スタジオ用など）、紫外、可視、赤外などの放射源（情報機器用、印刷用、工業用、医療用、農・水産用など）、点灯装置および光源材料（蛍光体、発光・封入材料、ガラス、セラミックス、薄膜材料、電極材料、金属材料およびその他化学材料）

(2) 光源システムの予測

一般照明用光源

(3) 期待される光源システム

一般照明用光源、特殊照明用光源（自動車用、スタジオ用など）、紫外、可視、赤外などの放射源（情報機器用、印刷用、工業用、医療用、農・水産用など）、点灯装置および新光源

2. 3. 調査対象の期間

(1) 技術動向調査

調査期間は1978～1989年とし、特に最近の技術情報を重視した。

(2) 光源システムの予測

次世代光源システムの予測する時点は、10年後の2001年とした。

(3) 期待される光源システム

21世紀に期待される機能・性能を考慮する。

2. 4. 調査の手法

(1) 技術動向調査

文献、特許などの情報を一覧表にした。その項目は次の通り。

(a) 一般照明用光源

理論性能（理論的に考えられる最高性能など）、最近の技術動向、2001年の予測、技術課題および文献。内容は文献の数字を重視した。

(b) 特殊照明用光源

要求性能、最近の技術動向、2001年の予測、技術課題および文献。

(c) 放射源

要求性能、最近の技術動向、2001年の予測、技術課題および文献。

(d) 点灯装置

理論性能（理論的に考えられる最高性能など）、最近の技術動向、2001年の予測、技術課題および文献。

(e) 光源材料

光源（使用対象部品）、材料名、基本特性、要求性能および文献。

(2) 光源システムの予測および期待される光源システム

(a) 予測手法

(i) 過去から現在の技術の流れから光源システムを予測する（傾向外挿法）。

(ii) 次世代光源システムを各分野の専門家によるアンケートの結果を集計する（デルファイ法）。

(i) と (ii) および理論性能から技術の将来予測を構築し、実現可能な次世代光源システムと実現へのプロセスをシナリオ化する。

(b) 実施方法

(i) 傾向外挿法

イ、基礎資料—技術動向および一覧表、主要性能の変遷図（白熱電球、蛍光ランプ、水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ、低圧ナトリウムランプなど）。

ロ、方法—担当委員が予測案（2001年以内に実現可能な次世代光源システム）作成し、委員会でオーソライズする。

(ii) デルファイ法

イ、アンケート対象者—光源専門家と光源関連の専門家を約半数づつとした。

回答者20名（回収率47%）[大学・公共研究機関：8名、照明・光源製造業10名、その他製造業2名]

ロ、アンケート内容

・既存照明用光源—要求機能、2001年以内に実現可能な性能、実現の条件（突破すべき技術内容、材料とその性能など）

・〇〇用光源—要求機能、2001年以内に実現可能な光源と性能、実現の条件（突破すべき技術内容、材料とその性能など）（〇〇は情報機器用など）

・新光源—期待機能、2001年以内に実現可能な光源の原理（放電、EL、LED、化学発光など）と性能、実現の条件（突破すべき技術内容、材料とその性能など）

ハ、アンケートの実施

・1回目—アンケート用紙を郵送による。

・2回目—1回でかなり収斂したので2回目を省略して、アンケート結果について委員会で討議して、妥当性のある線でまとめた。

(3) 公開研究会

新光源の可能性に関して、その分野の権威者による公開研究会(シナジウム)を実施する

(4) まとめ

(1)、(2) および (3) をもとに、次世代光源システムの展望をシナリオ化する。

2. 5. 調査経過

本委員会は、1987年10月13日の第1回委員会をもって、活動を開始した。次世代光源システムの技術動向調査と21世紀への展望について研究調査が目的である。その調査経過は次の通り。

- 1987-10-13 第1回委員会 調査項目、調査範囲、調査方法および担当の決定。
- 1987-12-16 第2回委員会 文献調査の検討。
- 1988-02-16 第3回委員会 文献調査の検討（継続）。
- 1988-05-17 第4回委員会 文献調査の一覧表作成の検討。
- 1988-08-30 第5回委員会 文献調査の一覧表作成の検討（継続）。
- 1988-11-09 第6回委員会 技術動向の検討。文献調査の一覧表作成の検討（継続）。
- 1989-02-14 第7回委員会 技術動向の検討（継続）。
次世代光源システムの予測方法の検討。
- 1989-05-17 第8回委員会 技術動向の検討（継続）。
次世代光源システムの予測に関するアンケートの検討。
新光源に関するシンポジウムの検討。
- 1989-09-21 第9回委員会 技術動向などの検討（継続）。
次世代光源システムに関するアンケート集計結果の検討。
「理想の光源」（期待される光源）の検討。
- 1989-10-22 電気関連学会関西支部連合大会シンポジウム「新光源の可能性とその応用」
（大阪市大）、光の発生・関連システム研究専門部会と共催。
 - (1) 総論 東 忠利（東芝ライテック）
 - (2) LEDの光源への応用 小山 稔（スタンレー電気）
 - (3) 薄膜エレクトロルミネセンスの可能性 大西 秀臣（愛媛大）
 - (4) 化学発光の特性と可能性 神谷 巧（愛知学泉大）
 - (5) 生物発光の特性と可能性 笠井 佐夫（大阪市大）
 - (6) エキゾチック蛍光体の特性 谷水 伸吉（日立製作所）
 - (7) 赤外線反射膜付白熱ランプの特性と可能性 弓削 洋二（東芝ライテック）
- 1989-12-05 第10回委員会 技術動向、一覧表の2次原稿の検討。
「期待される光源」の検討（継続）。
次世代光源システムの展望の検討。
- 1990-02-06 第11回委員会 技術動向、一覧表の2次原稿の検討（継続）。
「期待される光源」の検討（継続）。
次世代光源システムの展望の検討（継続）。
新光源の可能性の検討。
- 1990-03-22 第12回委員会 報告書の原稿の検討。
- 1990-04-20 第13回委員会 報告書の原稿の完成。
- 1990-05-24 報告書の完成。

3. 光源システムの技術動向

3. 1. 照明用光源

3.1.1. 白熱電球

白熱電球は、1879年実用的な炭素電球が発明されて一世紀余り過ぎ、その暖かい光は人間社会に豊かな環境を創り出した。それをなしとげた主な技術成果を挙げると、フィラメント材料は炭素から融点の高いタングステンの採用、その形状は真線から単コイル、二重コイルへと熱損失の減少、タングステンの蒸発を抑えるために真空から不活性ガスの封入、また、まぶしさを和らげるため、透明バルブから内面つや消し、白色塗装（シリカ）などがある。現在の一般照明用電球は、白色塗装バルブのガス入り二重コイル電球が最も多く使用され、その効率は16lm/W（100W形）で、発売当時の炭素電球（効率約1.7 lm/W）の約10倍に達している（図3.1.1-1）²⁴⁾。

白熱電球は高演色で、小形、高輝度で配光制御が容易であるなど、他の光源にない多くの優れた特性をもっているが、省エネルギー時代を迎えて、効率の向上が最大の技術課題となり、クリプトン封入ガスの採用、赤外反射膜の改良などが進められている。

(1) 省電力設計

省エネルギー化の要請によって、省電力設計された一般電球として、白色薄膜塗装電球とクリプトン電球がある。白色薄膜塗装電球は、ガラス球に塗布する白色拡散材料（シリカ）の改良と、封入アルゴンガス純度を90から92.5%とすることにより、効率が約5%向上した分を光束を変えずに5%の省電力をはかっている¹³⁾。クリプトン電球は、封入ガスのうちアルゴンに代り原子量の大きいクリプトンを封入することによって、ガスによる熱損失の減少と、タングステンの蒸発抑制効果により、効率を約10%向上⁸⁾させることができる。一般照明用クリプトン電球では、光束をほぼ同じ（効率3%アップ）にして、寿命を2倍（2000時間）にしている。さらに、電球の小形化のため、PS形バルブ径35~45mmの60~100Wやアルミナシリケート硬質ガラスのバルブ径14mmの管形60Wの小形電球がある。

(2) 反射形電球（投光用電球）

反射形は外管バルブ内面にアルミニウムを蒸着させて、光の利用率を上げた省電力電球といえる。バッフル付き器具に使用した場合、バッフル部の光の損失を少なくするため、楕円反射面を用い、銀を蒸着させた楕円反射形電球が開発された。この電球は、バッフル部への光が減少し、散光形150Wと同程度の有効な光束を75Wで得ることができる。また、クリプトンガスを封入することによって、小形・省電力化をはかっている。

PAR形電球では、前面ガラスに SnO_2 や In_2O_3 の赤外反射膜を設けて、熱線を低減したタイプが製品化され、さらに反射面に ZnS と MgF_2 を交互に多層蒸着した多重干渉膜を形成させることによって、可視光を反射し、赤外線透過させて反射面後方に逃がし、照射面への熱線を低減したタイプも製品化された。また、反射面の設計の最適化をはかって、有効ビーム光束をほぼ同じで、約20%の省電力をしたものがある。さらにハルブのコンパクト化のため反射面形状の最適化により、中心光度（20-30°）を1.5-2.0倍にしたものが開発された^{20, 21)}。

(3) 赤外反射膜応用

白熱電球からの赤外線は入力約70%も占めている。外管バルブ内面に透光性赤外反射膜を形成して、フィラメントからの赤外線を赤外反射膜により、再びフィラメントに戻すことによって、フィラメントの加熱に寄与して、効率向上をはかっている。効率は赤外反射膜の可視透過特性と赤外反射特性、および赤外線が再び戻る割合を示すバルブ形状係数によって決まる。

赤外反射膜は、誘電体—金属—誘電体の組合せで TiO_2 -Ag- TiO_2 や ZnS -Ag- ZnS などの多層の蒸着膜が検討されている⁵⁾。バルブ形状係数は、楕円状バルブなどで約0.8が得られている。実用化として、 TiO_2 -Ag- TiO_2 膜を用いたもので、100Wと同じ光束で65W(35%省電力、寿命2,500時間)の赤外反射膜応用電球が開発された。

最近、回転楕円体バルブの両口金のもので赤外反射膜応用により、60W,100Wクラスで効率を35%向上できるとの報告¹⁷⁾がある。

以上の技術動向について表 3.1.1-1にまとめた。

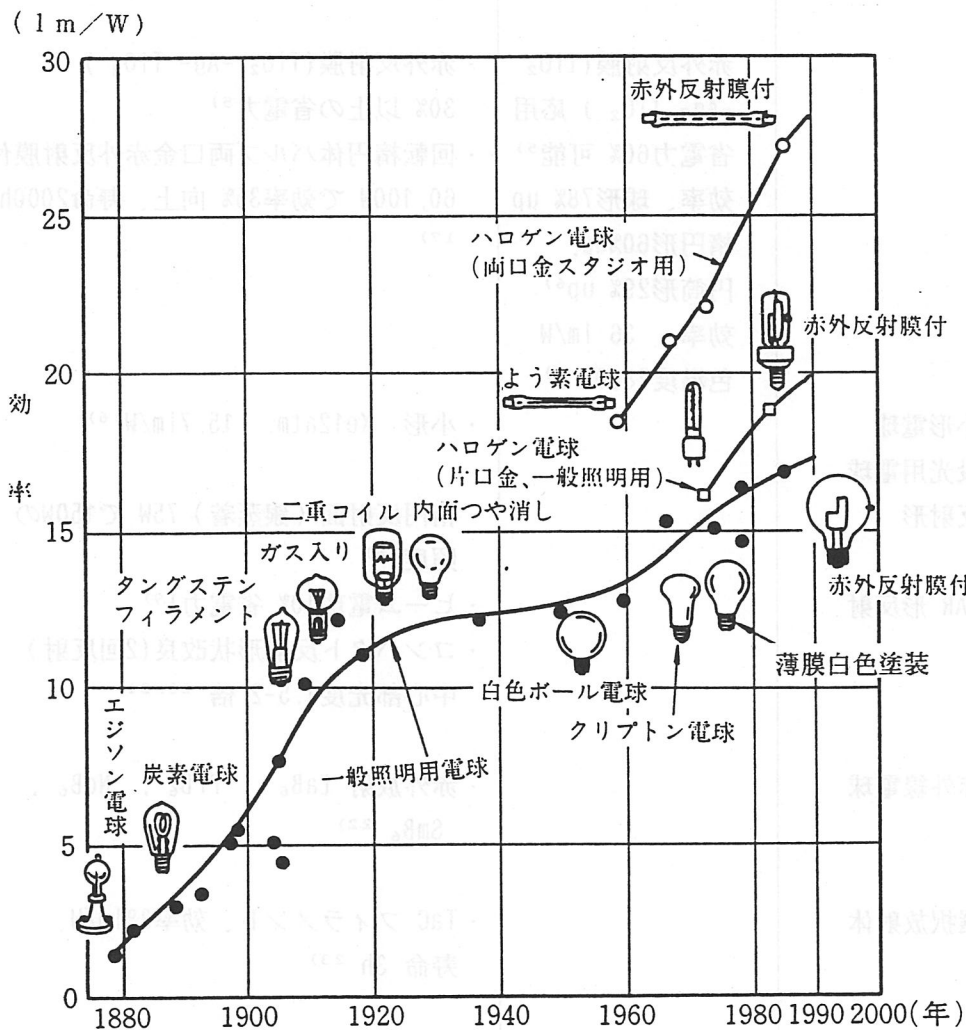


図 3.1.1-1 白熱電球の効率の変遷²⁴⁾

表 3.1.1-1 白熱電球

光源	理論性能	最近の技術動向
<p>1. 白熱電球</p> <p>1.1. 一般電球</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般照明用 <p>・ 小形電球</p> <p>1.2. 投光用電球</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 反射形 ・ PAR 形反射 <p>1.3. 赤外線電球</p> <p>1.4. 選択放射体</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 効率：理論最大値 95lm/W¹⁾ ・ 効率：Wフィラメントの場合、51lm/W (Wの融点の98%の3585K)²⁾ ・ 効率：50.7lm/W (3600K)³⁾ 50lm/W (Wの融点3683K)⁴⁾ ・ 赤外反射膜(TiO₂-Ag-TiO₂) 応用 省電力60% 可能⁵⁾ ・ 効率、球形78% up 楕円形60%up、円筒形29% up⁶⁾ ・ 効率、36 lm/W 色温度2800K⁷⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Kr封入、効率10% 向上、寿命2 倍⁸⁾ ・ Krランプ 17.6/W(100W)1150h (cc8 フィラメント)⁹⁾ ・ T 形Krランプ 75W, 14.7lm/W, 2000h¹⁰⁾ ・ Re3%-Wフィラメント 2000h¹¹⁾ ・ 白色薄膜塗装、省電力5%¹²⁾、効率 16.0lm/W(95W)¹³⁾ ・ 高照度形、下面照度up30~50%。^{14. 15)} ・ 赤外反射膜(TiO₂-Ag-TiO₂) 30% 以上の省電力⁵⁾ ・ 回転楕円体バルブ両口金赤外反射膜付 60, 100W で効率35% 向上、寿命2000h¹⁷⁾ ・ 小形 Xe12atm. 15.7lm/W¹⁶⁾ ・ 楕円反射面(銀蒸着) 75W で150Wの照度¹⁸⁾ ・ ビーム電球10% 省電力¹⁹⁾ ・ コンパクト反射形状改良(2回反射) 中心部光度1.5-2 倍^{20. 21)} ・ 赤外放射 LaB₆, PrB₆, NdB₆, SmB₆²²⁾ ・ TaC フィラメント、効率38lm/W、寿命 3h²³⁾

表 3.1.1-1 白熱電球（つづき）

2001年の予測	技術課題	文 献
<p>一般照明用電球 (60W形57W)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 光束 918lm, 13%向上 ・ 効率 16.1lm/W, 13%向上 ・ 寿命 1250h, 25%向上 ・ 放射熱66%, 8%減 (表 4.1.2-2参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 赤外反射膜の応用 ・ 多層干渉膜の形成技術（複雑なバルブ形状、コスト低減など） ・ フィラメントへの放射熱戻し(バグ形状) ・ フィラメント材料、（放射効率の良いもの、機械的強度大など） ・ フィラメントコイルの均一性（ホットスポット解消） ・ 封入ガスの種類、組成、ガス圧など 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Willowghby, A.H.: Light. Res. Tech. 1-2(1969)69 2. CIE TC.2.1: CIE Bulletin No.37. 24 3. Coaton, J.R. : Light. Res. & Tech. 1-2(1969)98 4. Cayless, M.A. : Elect. Engineer, Mar.(1976)18 5. Brett, J., et al: J. Illum. Engng. Soc. 6-7(1980)197 6. Goldstein, I.S., et al: Light. Res. & Tech. 18-2(1986)93 7. 下垣ほか：照学誌, 68-2(1984)72 8. Thouret, W.E., et al: Illum. Engng. 70-4, (1975)188 9. Thouret, W.E., et al: IES Conf. Preprint No.10(1969) 10. 渡辺：National Tech.Rep.33-3(1987) 340 11. Carlson, V.H. : Illum. Engng. May (1966)386 12. 赤石ほか：東芝レビュー, 33-10(1978) 875 13. 本田ほか：東芝レビュー, 37-2(1982) 106 14. 永井ほか：昭52照学全大(1977)2 15. 細谷ほか：照学誌, 63-5(1979)237 16. Howe, S.H. et al : J. Illum. Engng. Soc., Oct.(1983)122 17. Bergman, R.S., : 5th Inter. Symp. Sci. & Tech. Light Sources(1989) 18. Evans, W.M., et al : Light. Des. Appl. Mar.(1977)22 19. 平野：照学誌, 63-5(1979)243 20. Gehring Andre P., : IES Annual Conf. Preprint(1989) 21. Koedam, M., : IES Annual Conf. Preprint(1989) 22. 山根ほか：光源関連装置研究会資料 LS-76-4(1976)1 23. 隈部ほか：光源関連装置研究会資料 LS-76-5(1976) 24. 小原：照学誌, 74-5(1990)268

3.1.3. ハロゲン電球

ハロゲン電球は、1959年に開発され、さらに小形化と高効率・長寿命化がはかられた。ハロゲン封入物質、タングステンフィラメントの改良による長寿命化、耐熱性の赤外反射膜の開発による高効率化、熱線低減ができ、その応用分野が拡大している。

(1) 一般照明用（赤外反射膜応用）

一般照明用は小形の片口金形のもので店舗照明などに、長管形の両口金形のもので投光照明に多く普及しているが、最近、耐熱性のある赤外反射膜が開発され、片口金形、両口金形ともに応用された。この赤外反射膜は、500℃以上の耐熱性のある誘電体多層膜が用いられ、 TiO_2-SiO_2 膜をディップ法により形成して、片口金形に採用して、従来のものに比べ、約15% 省電力化をはかられた(65W, 85W, 130W)⁴⁾。両口金形では、ディップ法による $TiO_2 (+GeO_2) -SiO_2$ 膜¹⁴⁾ や真空蒸着法による $Ta_2 O_5 -SiO_2$ 膜⁵⁾ の形成した赤外反射膜を応用することによって、従来のものより、30~50%の効率向上が達成された。

これらの赤外反射膜付ハロゲン電球は、高効率化（または省電力化）のほか、赤外線（熱線）を30~40%低減することができ、さらに片口金形ではダイクロイックミラーと組合せると赤外線（熱線）を約90%遮断することができる。

(2) 低電圧形

低電圧(12V/24V)の片口金形はフィラメントが小さく、シャープなスポット照明ができるので、店舗照明などに普及している。可視光反射・赤外透過膜のダイクロイックミラー付の12V/20~75Wは寿命を2,000~3,000時間に設計され、色温度を約3,000Kにするため、ダイクロイックミラーの分光反射特性を調整している。低電圧形用器具にはトランスを内蔵したものがあり、小形軽量化のため電子トランスが開発された。

(3) 2重管形

一般照明用電球と同じE26/27口金付の外管バルブ内に小形ハロゲン電球を封じ込んだ2重管形は、白熱灯器具にそのまま点灯できる。外管バルブとして、T形、BT形、反射形、PAR形などがあり、PAR形で反射形状を改良して、従来の150Wとほぼ同じ有効光束が得られる90W(省電力40%)のものがある。

表 3.1.2-1 ハロゲン電球

光源	理論性能	最近の技術動向
<p>1. ハロゲン電球</p> <p>1.1. 一般照明用</p> <p>1.2. 投光用</p> <p>1.3. スタジオ用</p> <p>1.4. 映写用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 効率 58lm/W¹⁾ ・ 効率 35-40lm/W²⁾ ・ 色温度4000K 以上³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般片口金 (100W) 効率16.0 lm/W、寿命1500h、 ・ 赤外反射膜 $TiO_2 - SiO_2$⁴⁾, $Ta_2 O_5 - SiO_2$⁵⁾ 多層干渉膜の応用 片口金(85W) : 効率18.8 lm/W、寿命1500h, 熱線カット40% ・ 散光形85W : 17.6 lm/W⁶⁾ ・ フッ素入り $C_2 Cl_3 F_3$, $CF_2 C Cl_4$, $CF_4 B Cl_3$⁷⁾, $NF_3 - HBr$⁸⁾ ・ $SnI_4 + I_2$ or $CH_2 Br_2$, 2000h 黒化少い(22.7 lm/W)⁹⁾ ・ $SiO_2 + Ta_2 O_5$ 29層干渉膜、効率45%up (消費電力3分の1)¹⁰⁾ ・ 赤外反射膜付両口金900W効率35.6lm/W 分布温度3050K, 寿命2000h¹¹⁾ ・ 半導体多層膜 $ZnS - Ag - ZnS (-170^\circ C)$¹²⁾ ・ ゲッター $P_3 N_5$¹³⁾ ・ 一般両口金500W : 効率21 lm/W 寿命2000h ・ 両口金1000W 効率40 lm/W 赤外反射膜 TiO_2 (ルチル) + $GeO_2 - SiO_2$¹⁴⁾ ・ 高色温度3420K, ダイクロイックミラー-応用、100W 寿命2000h, Ra: 97¹⁵⁾ ・ 効果演色 (590nm 吸収) 3200K, ダイクロイックミラー-応用、^{16, 17)} ・ 一般スタジオ用効率21.4 lm/W ・ 赤外反射膜付両口金500W効率27 lm/W 分布温度3050K, 寿命500h ・ 赤外反射膜付両口金650W効率38.8lm/W 分布温度3200K, 寿命400h¹¹⁾ ・ 一般映写用24V150W, 効率32 lm/W 分布温度3400K, 寿命50h ・ 24V150W, 効率31.8lm/W, 3400K, 92h(F) 効率31.2lm/W, 3400K, 63h(Br) $CH_2 Br_2$¹⁸⁾

表 3.1.2-1 ハロゲン電球 (つづき)

2001年の予測	技術課題	文 献
<p>照明用ハロゲン電球 (100W 形85W)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 光束1940lm, 21%向上 ・ 効率21.7lm/W, 15%向上 ・ 色温度 3120K ・ 寿命 2050h, 37%向上 ・ 放射熱 49%, 2%減 (表 4.1.3-2参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐熱、耐ハロゲン材料 ・ 封入ガスの高圧化 (耐高圧透光性材料) ・ ハロゲン化合物の開発 ・ 赤外反射膜の改良 (高精度化、低価格) ・ 均一なフィラメントの開発 ・ W以外のフィラメント材料 ・ ハロゲン物質とWとの反応のシミュレーション 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Willowghby, A.H. : Light. Res. Tech. 1-2(1969)69 2. Coaton, J.R., : Proc.IEE, 177-10 (1970)1953 3. Philips Tech. Rev. 26-2(1965) 4. 川勝ほか : 照学誌、69-10(1985)537 5. 鈴木ほか : National Tech.Rev. 33-3 (1987)70 6. 渡辺ほか : 東芝レビュー、42-9(1987) 949 7. 錦織ほか : 光源関連装置研究会資料 LS-76-8(1976)1 8. Zhou Wei-Zhong et al:5th Inter. Symp.Sci. & Tech. Light Sources(1989) 9. Kulkarni, A.P., et al : J. Illum. Engng.Soc. Jan.(1977)100 10. Proc. Annual Tech. Conf., Society of Vacuum Coaters 29th, (1986) 11. Hocgler, L.E. et al : J. Illum. Engng. Soc. Oct.(1984)165 12. Kostlin, H., : J. Illum. Engng. Soc. Oct.(1984)151 13. Bird, E. et al : 5th Inter. Symp.Sci. & Tech. Light Sources(1989) 14. 川勝ほか : 昭63照学全大 1 15. 鈴木ほか : 平1 照学全大 3 16. 白鳥ほか : 昭63照学全大 3 17. 大友ほか : 昭63照学全大 2 18. Fitzpatrick, J.R., et al: Light. Res. Tech. 11-2(1979)85

3. 1. 3 蛍光ランプ

蛍光ランプは1938年にGeneral Electric社のInman によってはじめて実用化されて以来、50年余りが過ぎたが、この間に新しい蛍光体の開発や放電技術、量産技術の著しい進歩があり、その効率は100lm/Wに達しようとしている。また演色性も大幅に改善され、寿命が長く、質の良いあかりが比較的安価に入手できるようになった。近年、電球用ソケットにそのまま差し込むだけで使用できる、点灯回路を内蔵した小形の電球形蛍光ランプも広く普及しており、又、同等光束の蛍光ランプより全長を約3分の1に短くできるコンパクト形蛍光ランプも広く普及し始めている。

一方では、電子点灯回路やエレクトロニクス技術を生かしたさまざまな電子制御回路とのシステム化が進みつつあり、情報化社会にマッチした光源システムが採用されつつある。

(1) 蛍光ランプ

(a) 高効率、高演色化

蛍光ランプの効率、演色性を大幅に向上させたのは3波長域発光形蛍光ランプ（以下3波長形蛍光ランプと略す。）の開発・商品化である。人の目は可視光の中で青、緑、赤の3色の波長をピークとする部分に強い色覚反応があり、この3つの波長域に光放射を適度に分布させてやるとランプの効率が上がり、演色性も良好となることが知られていたが、1974年にオランダでこれらを実現する希土類蛍光体が開発された。そしてコンピュータシミュレーションによる最適エネルギー分布の検討や蛍光体の改善さらに新しい蛍光体の開発が引続き、3波長形蛍光ランプが急速に普及していった。現在多く用いられている蛍光体としては赤色が $Y_2O_3 : Eu$ 緑色が $LaPO_4 : Ce, Tb, GdMgB_5O_{10} : Ce, Tb$ 、青色が $BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu$ などがある。このころ3波長形蛍光ランプを用いた照明は、明瞭感、透明感が高く感じられ、演色効果に優れた点があり、従来ランプで、照明した時に比べて約30%低い照度でも同等の明るさ感が得られることが報告され実際の光束測定値以上に照明効果の高いランプといえる。また3色の蛍光体の混合比率を変えると光色（色温度）を容易に変えることができるが、わが国では色温度5,000Kの3波長形昼白色が普及し、最近では色温度6,700Kの3波長形昼光色も普及している。また従来のハロリン酸カルシウム蛍光体を使用した蛍光ランプでも、1982年頃より白色、昼光色に替わって昼白色が多く用いられるようになった。欧米では3波長形の場合でも日本より色温度の低い4,200Kや3,500Kのものが多く普及した。

蛍光ランプの著しい効率改善は省電力形蛍光ランプの設計思想と、3波長形蛍光ランプに採用された高効率希土類蛍光体の開発によりなされ、同時に演色性も改善されたが、その状況を図3.1.3-1に示す。最近では、直管40Wを例にとると管径25mmの予熱スタート形で効率96lm/W、平均演色評価数Ra84（色温度5000Kの場合）に達し、管径32mmのラピッドスタート形のものでも同等のレベルに達している。また、専用蛍光ランプと電子安定器を組み合わせ、システムで総合効率を上げる検討が1981年から1982年にかけて集中的に発表された^{18~23)}。このシステムではアルゴンガスを

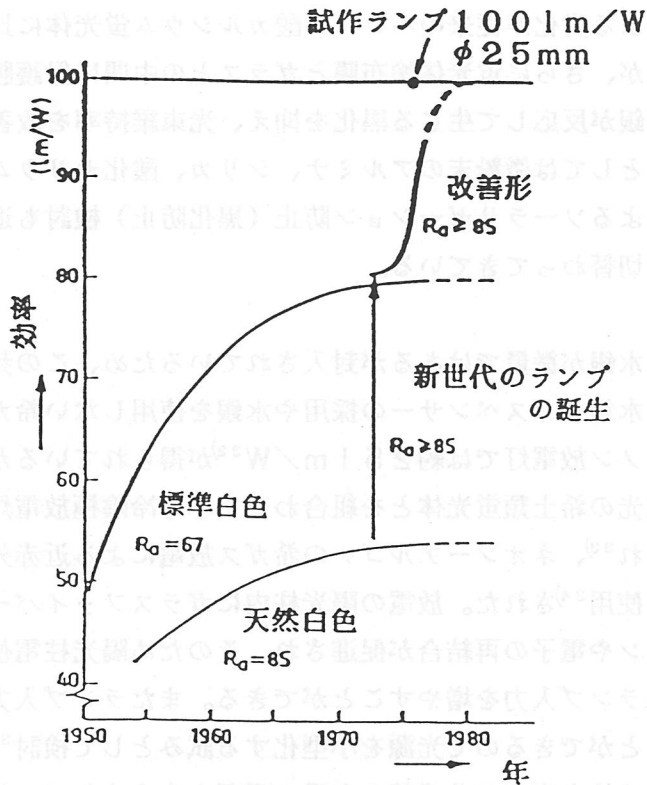


図3. 1. 3-1 40ワット形直管蛍光ランプ（色温度4000K）の効率の改善と予想⁵⁾

含む管径25mmの専用ランプを電子安定器と組合わせて高周波点灯することにより、商用周波数点灯時よりランプの効率を改善するとともに、点灯回路の入力損失も減し、システムの総合効率を100lm/Wまで改善している。ランプを高周波点灯すると陽極損失が減り、陽光柱の効率も改善されるためにランプ効率が改善される。その上、ランプのチラツキも無くなり、調光が容易になる、点灯回路が軽量コンパクトになるなどの利点があり、回路のコスト低減とともに近年、高周波点灯回路との組合わせで使用される場合が非常に多くなっている。

一方、3波長形蛍光ランプをさらに改善して高効率と高演色性を両立させたランプの開発も進められ、青緑色領域に発光スペクトルを追加した4波長形や青緑色と深赤色に発光スペクトルを追加した5波長形も検討された。後者で効率75lm/W、Ra93¹⁷⁾が達成されている。これら3波長形や5波長形などの狭帯域発光形蛍光ランプは効率が良く演色効果に優れた点があるため、一般照明用途はもちろん、店舗照明やショーケース照明用途に主流として使用されてきている。また従来の広帯域発光形蛍光ランプによる高演色化も進められ、405nmや436nmの青色水銀輝線や青色領域の光を効果的に吸収して発光する青緑色蛍光体の開発、応用により、一層塗布でRa99、効率59lm/W¹⁸⁾を得ており色検査用照明や、美術館、博物館の照明などに用いられている。

(b) 長寿命化、動程特性改善

蛍光ランプの長寿命化についてはスティックコイルのような新しい電極フィラメントの設計、封入ガスの種類と封入圧力の検討などが行われ、直管40W形で寿命2万時間を優に越えるものも実用化されている。また3波長形蛍光ランプに使用される希土類蛍光体は

紫外線劣化や高温使用による劣化が従来のハロリン酸カルシウム蛍光体に比べて少なく、光束維持率が良好であるが、さらに蛍光体塗布膜とガラスとの中間に保護膜を形成し、蛍光体の劣化とガラスと水銀が反応して生じる黒化を抑え、光束維持率を改善する方法も実用化された。保護膜材料としては微粉末のアルミナ、シリカ、酸化セリウムなどが採用された。ガラスの紫外線によるソーラリゼーション防止（黒化防止）検討も進み、アルカリ溶出量の少ないガラスに切替わってきている。

(c) その他の動向

蛍光ランプには有害な水銀が微量ではあるが封入されているため、この封入量をさらに減らす目的で、ゲッター水銀ディスペンサーの採用や水銀を使用しない希ガス放電の検討も続けられた。低圧キセノン放電灯では約 $25 \text{ lm/W}^{32)}$ が得られているが、キセノン放電による紫外線と緑色発光の希土類蛍光体とを組合わせた小形冷陰極放電灯はファクシミリ用光源として実用化され³³⁾、ネオン-アルゴンの希ガス放電による近赤外線を利用した放電灯はOCR用光源に使用³⁴⁾された。放電の陽光柱内にガラスファイバーなどの再結合構物を挿入すると、イオンや電子の再結合が促進され、そのため陽光柱電位傾度が大きくなり、単位長さ当たりのランプ入力を増やすことができる。またランプ入力一定の場合は発光管長さを短くすることができるので光源を小型化する試みとして検討³⁷⁾された。そのほか水銀の同位元素の組成比を変えて共鳴線の自己の吸収を小さくして、効率改善をすることも行われた²⁷⁾。色の調光としてはネオンと水銀を封入した放電灯において点灯電源のパルス幅、繰返し周波数、パルスの立ち上がり時間などを変えて赤色発光と青色発光を切替える可変色放電も検討された^{68, 69)}。

(2) 電球形・コンパクト形蛍光ランプ

(a) 電球形蛍光ランプの高出力、高効率化

発光管、安定器、スタータを一体構造とし、電球口金を取付けて電球代替として始めて実用化（1978年）されたのは、既存の環形蛍光ランプと抵抗バラストを組込んだタイプであった。ガラスウールを再結合構体として陽光柱内に挿入し、発光管長の短縮や入力アップをする検討も行われたが、ボール電球に近い形状で商品化されたのは1979年であった。このタイプは直管を二回折り曲げた鞍形状の発光管とチョーク形安定器、スタータを球状の透光性グローブ内に組込んだものであり、効率はまだ 29 lm/W であった。その後さらにランプの小形化や光出力のアップ、高効率化について多くの検討がされ、活発な商品化が展開された。

電球形蛍光ランプの小形化、高効率化における主な技術的問題点は小形化するための発光管形状、高温時における水銀蒸気圧の制御方法、高温高負荷に耐える蛍光体の導入であった。発光管形状としては細い直管を複数回折り曲げたり、つないだりして小形化する方法が多く採用された。水銀蒸気圧を制御する方法としては発光管を空冷する方法以外に、熱伝導性冷却媒体を用いて発光管を冷却する方法、真空二重管構造を採用して外管の最冷点で水銀蒸気圧を制御する方法、水銀アマルガムを用いて水銀蒸気圧を制御する方法などが検討され商品化された。水銀アマルガムとしては 60°C から 110°C 付近の高温で水銀蒸気圧を最適に制御できるビスマス-インジウム-水銀アマルガム³⁵⁾、鉛-錫-ビスマス-水銀アマルガム³⁶⁾、ビスマス-インジウム-錫-水銀アマルガム³⁶⁾などが新たに開発

され、この種ランプの効率向上に大きく寄与した。また発光管が細く、コンパクトな形状のうえグローブ内に密閉される構造のため発光管の管壁温度は著しく上昇するが、このような高温において高負荷に耐える蛍光体としては、3波長形蛍光ランプに採用されている希土類蛍光体が有効である。そして、演色性も良好であるため、演色性の良い電球に代替できる効率の良いランプとして、広く普及する一因となった。一方では、ランプと回路部分を着脱可能にしてランプ交換のできる電球形蛍光ランプも商品化された。最近では、チョーク形バラストに替わって高周波点灯回路を内蔵したのも商品化されさらに高効率軽量化が実現されてきている。商品化されているものとしてはグローブ付のもので光束1,100lm、効率64.7lm/W⁴³⁾、グローブ無しのもので光束1,550lm、効率57.4lm/W^{44,45)}が達成されている。チョークバラスト内蔵のものでは光束1,200lm、効率48lm/W⁴⁷⁾(電源電圧220Vで使用)が得られている。

(効率バラストの電力損失も含めて計算した。)

(b) 電球形蛍光ランプの小形、軽量化

電球形蛍光ランプは小形・軽量化も技術的に大きな問題であった。発光管の小形化は前述のように鞍形やダブルU形、直管を複数本つないだ形のものがあり、効率を下げないようにして、管径やアーク長の検討、水銀蒸気圧制御方法が検討された。安定器についても温度上昇を抑えつつ、小さく軽量にする検討がなされたが、軽量化については電子安定器を使用したほうがはるかに有利である。コンパクト化を計る物差しとして、全光束をランプ全長で割った値(単位長さ当たりの全光束)を考えると実用化されているランプの中では100V使用のグローブ付ランプでは5.9lm/mm(入力17W、全光束860lm、全長145mm、重量190g)^{51,52)}、220V使用のグローブ付ランプでは5.8lm/mm(入力20W、全光束1,200lm、全長207mm、重量120g)が達成されており、グローブ無し構造のランプでは、8.4lm/mm(入力27W全光束1,550lm、全長185mm、重量200g)⁴⁴⁾が達成されている。この数値は60ワット白色ボール電球では5.8lm/mm、100ワット白色ボール電球では10.8lm/mmとなり、図3.1.3-2に示すように電球形蛍光ランプでもかなり電球に近いコンパクト化が実現されている。

(c) コンパクト形蛍光ランプの高出力、高効率化

電球形蛍光ランプは、電球のソケットにそのまま差し込むだけで使用できることを設計上の条件にしているため、大きさ、重量、温度上昇などの設計上の制約が大きかった。コンパクト形蛍光ランプはこの制約をできるだけ取り去り、電球代替を意図としながら、さらにコンパクトで高輝度な蛍光ランプを目的として開発、商品化された。発光管形状は、U形や2本または4本の直管をつないだ形状で、専用の4ピン口金を取付けた片口金小形蛍光ランプである。欧州のものは電源電圧が220Vと高いため、管径を細くして管電圧を上げ、口金内にスタータを内蔵した2ピン口金を採用している。

4本チューブ構造のコンパクト形蛍光ランプはコンパクトで高輝度のため主にスタンドペンダント、ダウンライト、ウォールライトなどに使用され、電源電圧100Vで使用されるものは入力18Wで全光束1,070lm、効率59lm/W、入力27Wで全光束1,550lm、効率57lm/Wが得られている。また電源電圧220Vで使用されるものでは入力17Wで全光束1,300lm、効率75lm/W、入力26Wで全光束

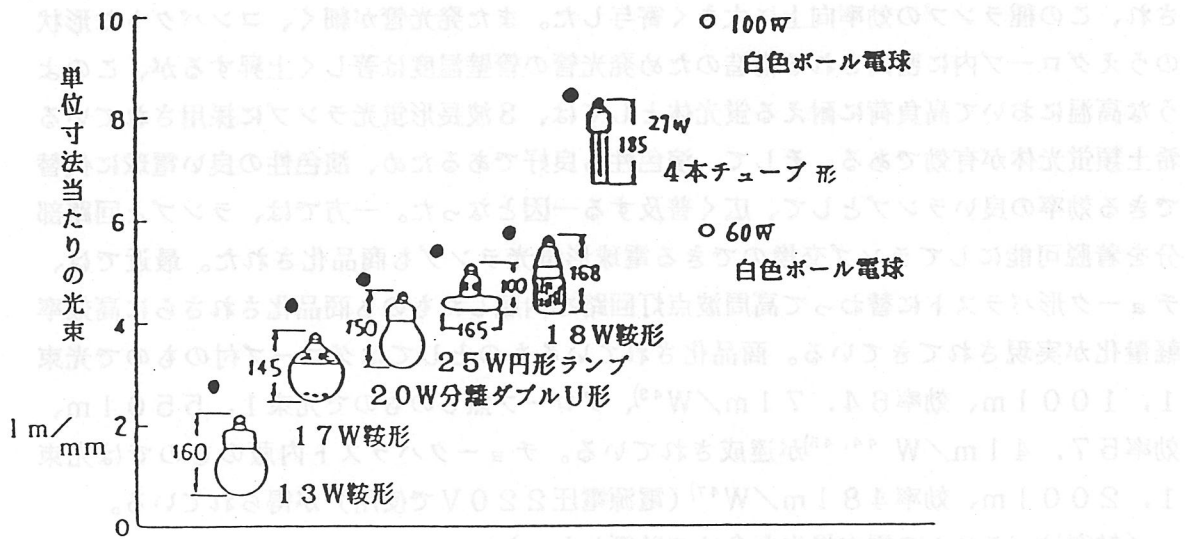


図3. 1. 3-2 各種電球形蛍光ランプの単位寸法光束⁵²⁾

1, 800 lm、効率69 lm/Wが得られる。

2本チューブ構造のコンパクト形蛍光ランプは4、6、9Wの小入力のものから最近では55、96Wの高入力のものまで商品化されている。小入力のもは4本チューブ構造のものと同様に電球が主として使用されている用途に使用されている。高入力のもは長さが同一入力の直管蛍光ランプと比較して約1/3と短いため、正方形の天井用照明器具や薄型器具など新しいイメージの器具が設計可能となり、店舗、ショッピングセンターなどの全体照明にも広く使用されつつある。効率としては、36W入力のもで全光束2,900 lm、効率81 lm/W、96W入力のもで全光束8,600 lm、効率90 lm/Wが得られている。

(d) 寿命および動程特性の改善

(1)の(b)項で述べたようにガラスと蛍光体塗布膜との間に保護膜を設けて、ガラス及び蛍光体の劣化を抑え、光束維持率を改善する方法が検討された。電極も小形、高負荷ランプに適合した設計見直しが行われ、現在の寿命は、電球形蛍光ランプや低入力のコンパクト形蛍光ランプでは平均6,000時間、高入力のコンパクト形蛍光ランプでは平均7,500時間である。

(e) その他のコンパクト形蛍光ランプ

上述のような実用化されている電球形・コンパクト形蛍光ランプ以外にも図3, 1, 3-3に示すような様々な形状、構造や放電方式が検討された。2D形は直管を4角形に成形したもので、商品化されており、入力16Wで効率66 lm/W⁵⁰⁾を得ている。マルチアーク方式は同芯2重円筒構造の中央部に陰極が、内管と外管の間に複数個の陽極があり直流で点灯してアークを分流するもので、約40 lm/Wの効率^{50, 60)}が報告されている。発光管内部に仕切板を設けて放電路長を長くし効率アップを図った内部仕切形では効率40~48 lm/W⁶¹⁾が、同様に外管と内管との間に蛇行形放電路を設け放電路長を長くしたものでは効率50~70 lm/W⁶³⁾が報告されている。また、磁場によりアークを拡張して効率改善を図ったものとしては効率42 lm/W⁶²⁾が報告された。

一方、放電方式を変えた例としては無電極放電ランプを高周波誘導磁場により励起したものが報告され、効率 $671\text{ m/W}^{2.01}$ が得られている。

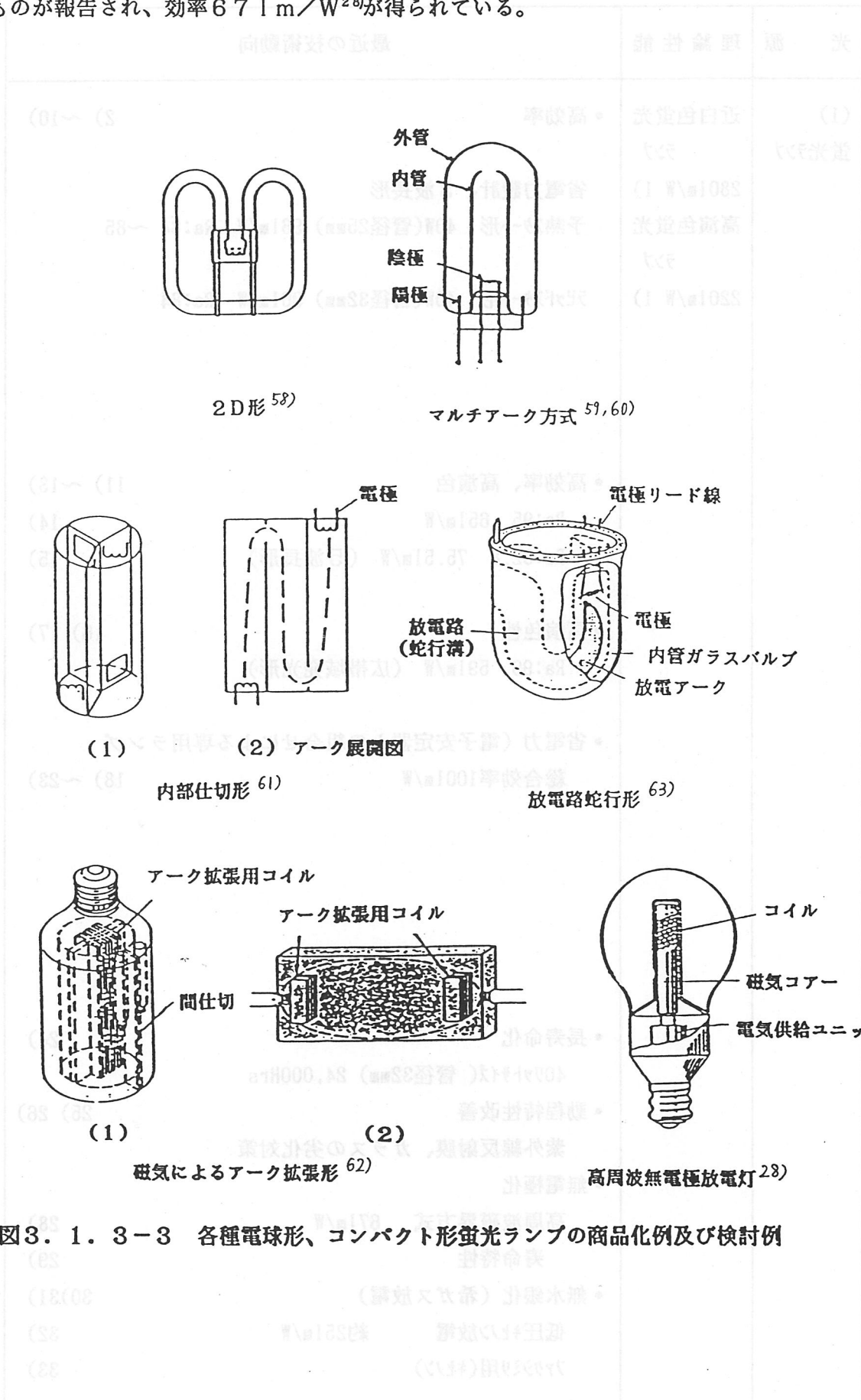


図3. 1. 3-3 各種電球形、コンパクト形蛍光ランプの商品化例及び検討例

表3. 1. 3 蛍光灯ランプ

光源	理論性能	最近の技術動向
(1) 蛍光灯ランプ	近白色蛍光灯	<ul style="list-style-type: none"> • 高効率 2) ~10)
	280lm/W 1)	省電力設計、3波長形
	高演色蛍光灯	<ul style="list-style-type: none"> 予熱スタート形 40W(管径25mm) 96lm/W Ra:84 ~85
	220lm/W 1)	<ul style="list-style-type: none"> ラピッドスタート形 40W(管径32mm) 96lm/W Ra:84
		<ul style="list-style-type: none"> • 高効率、高演色 11) ~13)
		Ra:95 65lm/W 14)
		Ra:92.8 75.5lm/W (5波長形) 15)
		<ul style="list-style-type: none"> • 高演色性 16) 17)
		Ra:99 59lm/W (広帯域発光形)
		<ul style="list-style-type: none"> • 省電力(電子安定器との組合せによる専用ランプ)
	総合効率100lm/W 18) ~23)	
	<ul style="list-style-type: none"> • 長寿命化 24) 	
	40ワットサイズ(管径32mm) 24,000Hrs	
	<ul style="list-style-type: none"> • 動程特性改善 25) 26) 	
	紫外線反射膜、ガラスの劣化対策	
	<ul style="list-style-type: none"> • 無電極化 	
	高周波磁界方式 67lm/W 28)	
	寿命特性 29)	
	<ul style="list-style-type: none"> • 無水銀化(希ガス放電) 30)31) 	
	低圧キセノン放電 約25lm/W 32)	
	フックシミリ用(キセノン) 33)	

技術課題	参 考 文 献
<ul style="list-style-type: none"> • 発光効率・演色性の向上 紫外-可視変換効率の高い蛍光体の開発 4波長、5波長形蛍光灯用高効率蛍光体の開発とピーク波長の最適化 • 光束維持率の向上 動程中劣化の少ない蛍光体の開発 各種保護膜の採用 アルカリ溶出量が少なく変色の少ないガラスの開発 • 周囲温度による特性への影響の軽減 周囲温度による水銀蒸気圧変動が少ないアマルガム等の開発 	<ol style="list-style-type: none"> 1)石川ほか：照学誌60-11(昭51)586 2)大塚ほか：昭49照学全大、5 3)広田ほか：昭51照学全大、10 4) Vrenken, L.E.: J. Illum. Engng. Soc., 7-3(1978)154~160 5) Vrenken, L.E.: Light. Res. Technol., 10-3(1978)161~163 6)土井ほか：三菱電機技報52-10(1978)706~710 7) JACK, A.G. et al: Phillips Tech. Rev., 42-10/12(1986)342~351 8)各社カタログ 9)神谷ほか：昭53照学全大、10 10) Thornton, W.A.: J. Illum. Engng. Soc., 2-1(1972)29 11) Walter, W.: J. Illum. Engng. Soc., 7(1978) 66 12) 淵田ほか：照学誌63-5 (昭54)21 ~25 13) 昆布谷ほか：昭53照学全大、9 14) フィリップスカタログ 15) 高橋：照63照学全大、13 16) 村上ほか：三菱電機技報52-10(昭53)701~705 17) 高橋ほか：昭59照学全大、14 18) Bessone et al: IES Conference, Atlanta 1982 19) Hitchcock, D.E.: IES Conference, California 1983 20) 延原ほか：昭58照学全大、35 21) 四宮ほか：昭58照学全大、36 22) 杉山ほか：東芝レビュー39-3(昭59)200~203 23) Hammer, E.E.: J. Illum. Engng. Soc., Winter 1987 52~61 24) Light Des. Appl., 17-6(1987)36~37 25) 大園ほか：昭60照学全大、12 26) 大野ほか：昭53照学全大、7 27) Maya, J. et al: SCIENCE, 226-26 October(1984)435 28) 特開 昭60-235354 29) 平尾ほか：昭54照学全大、6 30) 奥野：昭50照学全大、16 31) 河本ほか：昭51照学全大、8 32) 小坂橋ほか：昭49照学全大、10 33) 吉池：東芝レビュー、40-12(1985) 1079~1082

光源	理論性能	最近の技術動向
(2) 電球形・ コンパクト形 蛍光ランプ		OCR用(ネオン-アルゴン) 34)
		<ul style="list-style-type: none"> • 高温用(60-110℃) エスマス-インジウム-水銀アマルガム 35)
		<ul style="list-style-type: none"> 鉛-錫-エスマス-水銀アマルガム エスマス-インジウム-錫-水銀アマルガム 36)
		<ul style="list-style-type: none"> • 再結合構物による効率アップ 管径25mm、電極間距離 110cm、6340lm、86lm/W 37)
		(a) 電球形蛍光ランプ
		<ul style="list-style-type: none"> • 高出力・高効率化 38) ~41)52)
		100V系
		<ul style="list-style-type: none"> φ付、電子バラスト内蔵 1100lm、64.7lm/W 43)
		<ul style="list-style-type: none"> φ無し、電子バラスト内蔵 1550lm、57.4lm/W 44)45)
		200V系
		<ul style="list-style-type: none"> φ付、電子バラスト内蔵 1080lm、60lm/W 42)46)
		<ul style="list-style-type: none"> フォークバラスト内蔵 1200lm、48lm/W 47)
<ul style="list-style-type: none"> • 寿命 6000Hrs 48) 		
<ul style="list-style-type: none"> • 動程特性改善 49)50) 		
<ul style="list-style-type: none"> • 小形化・軽量化 		
100V系		
<ul style="list-style-type: none"> φ付 		
<ul style="list-style-type: none"> 17W、860lm、145mm、5.9lm/mm、190g 51)52) 		
<ul style="list-style-type: none"> φ無し 		
<ul style="list-style-type: none"> 27W、1550lm、185mm、8.4lm/mm、200g 44) 		
200V系		
<ul style="list-style-type: none"> φ無し 		
<ul style="list-style-type: none"> 20W、1200lm、207mm、5.8lm/mm、135g 46) 		
(b) 片口金小形蛍光ランプ		
<ul style="list-style-type: none"> • 高出力・高効率化 		
100V系		
<ul style="list-style-type: none"> 4本チューブ構造 44)53)54) 		
<ul style="list-style-type: none"> 18W 1070lm 59lm/W 		
<ul style="list-style-type: none"> 27W 1550lm 57lm/W 		

光源	理論性能	最近の技術動向	
		2本チューブ構造	55)
		36W 2900lm 81lm/W	
		55W 4500lm 82lm/W	
		96W 8600lm 90lm/W	
		200V系	56)
		4本チューブ構造	
		17W 1300lm 75lm/W	
		26W 1800lm 69lm/W	
		2本チューブ構造	
		36W 2900lm 81lm/W	
		• 寿命	57)
		7500Hrs	
		• 動程特性改善	
		• 高演色性	
		(C) その他 のコンパクト形蛍光ランプ	
		• 形状、構造	
		2D形 16W 66lm/W	58)
		マルチアーク方式 約40lm/W	59)60)
		内部仕切形 40~48lm/W	61)
		磁場によるアーク拡張 42lm/W	62)
		アーク蛇行形 50~70lm/W	63)
		• 再結合構物による放電路長の短縮化	64)65)
		• 高温用 (60-110℃)	
		ビスマス-インジウム-水銀フマルガム	40)66)67)
		鉛-錫-ビスマス-水銀フマルガム	35)
		ビスマス-インジウム-錫-水銀フマルガム	36)
		• 無電極化	
		高周波磁界方式 67lm/W	28)
		寿命特性	29)

技術課題	参 考 文 献
	<p>56) Verheij, C.M.: J. Illum. Engng. Soc., Fall(1985)85~94</p> <p>57) 各社カタログ</p> <p>58) ソーンカタログ</p> <p>59) 渡辺ほか：昭54照学全大、8</p> <p>60) 山根ほか：照学誌、63-9(昭54)19~25</p> <p>61) Young, R.G. et al: Light, Des. Appl., May(1980)38~42</p> <p>62) Gross, Leo et al: Light, Des. Appl., (1979)31~35</p> <p>63) Wsselink, G.: Philips. J. Res., 35(1980)337</p> <p>64) Hasker, J. : J. Illum. Engng. Soc., Oct.(1976)29~34</p> <p>65) Hasker, J. et al: J. Illum. Engng. Soc., April(1980)134~14</p> <p>66) 伊藤ほか：昭60照学全大、7</p> <p>67) 山崎ほか：昭60照学全大、8</p> <p>68) 青野ほか：照学誌、64-4(1980)205</p> <p>69) 竜子ほか：照学誌、65-10(1981)513</p>

3.1.4. 高圧水銀ランプ

高圧水銀ランプが実用になり50数年経過した。HIDランプの中心的な存在として屋外照明および屋内高天井照明に数多く使われており、技術的にはすでに飽和期にきている。高圧水銀ランプの技術改善発表は1970年代は活発に行われたが、1980年代になってからはその数は少なくなっている。

(1) 演色性および光色の改善

水銀ランプは可視域に4本の強い水銀ラインスペクトル(405, 436, 546, 577-9nm)しかなく、440~540nmの青緑および、590~700nmの赤の色が不足している。従って蛍光体のない透明形水銀ランプの平均演色評価数Raは約23と低い。365nmの紫外スペクトルを励起波長とし619nmに発光スペクトルをもつ、 $YVO_4:Eu$ または $Y(P,V)O_4:Eu$ 蛍光体の使用により、 $Ra=44$ 効率=60lm/Wとなり、20年程前から高圧水銀ランプの主流になっている。

この赤色発光蛍光体に緑色発光の $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu, Mn$ または $Y_2SiO_5:Ce, Tb$ などの蛍光体を混合することにより、 $Ra=50$, 効率=62.5lm/Wに改善される。

また436nmの可視水銀ラインによって励起し緑色発光する $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ と赤色発光の $Y(P,V)O_4:Eu$ 蛍光体の混合により、3300~3500Kの低色温度形の水銀ランプも実用化されている。

(2) 高効率化

演色性改善に利用されている緑色発光蛍光体は演色性を改善するだけでなく効率も改善している。

緑色発光の $Y_2SiO_5:Ce, Tb$ を単独に使用したHF400で68lm/Wを得たとの報告がある。

また緑色発光の $Y_2O_3 \cdot nAl_2O_3$ と赤色発光の $YVO_4:Eu$ を二層に分けて塗布することにより、HF400で65lm/W, HF1000で70lm/Wの白色光を得たとの報告もある。

(3) 電極の改良

水銀ランプのエミッターとして、Ba, Ca, Sr, Siなどの酸化物と ThO_2 を混合したものが古くから使われてきた。しかしThは放射性物質であり取扱いに十分な管理が必要である。そこでこれに代りBaの飛散が少なく始動特性の良いバリウムタングステートエミッターの開発が行われた。

Ba_3WO_6 , Ba_2CaWO_6 , $Ba_{1.8}Sr_{0.2}CaWO_6$ あるいは $Ba_3Y_2WO_6$ などが実用化になっている。

またエミッター量のコントロールが難しい低ワットのランプには、タングステンの粉とエミッターを混合し焼結した焼結形電極が使用され、動程特性（光束維持率、始動特性）の改善が計られている。

(4) 省電力形など

オイルショックによる省エネ気運の影響により、明るさが同じでランプ入力が増減するという省電力形水銀ランプが開発された。ランプ電圧を高くするとランプ電力が減少することを利用したもので6～8%の省エネ効果がある。

また口金部に倍電圧整流回路を組み込んだフィラメントバラストの水銀ランプが試作され200Wで43lm/w、寿命16,000時間との報告がある。

光源	理論性能	最近の技術動向
高圧水銀ランプ	効 率 Intrinsic 効率 120 lm/w (1) 演色性 蛍光水銀ランプで Ra = 80 以上 寿 命 30000H 以上 光束維持率 80% 以上	演色性の改善 (2) (3) (4) Ra = 55 ~ 60 光色の多様化 (2) (5) Tc = 3300 ~ 3500 K Tc = 4000 ~ 4100 K Tc = 4200 K 高効率化 400w : 68lm/w (6) 1000w : 70lm/w (7) 省電力形水銀ランプ 6~8%の省電力 (8) 外球破損時の紫外線放射防止 (9) 電極の改良 焼結形電極 (10) (11) バリウムタングステートエミッター (12) (13) 安定器内臓型水銀ランプ (14) 倍電圧整流 200w : 43lm/w 16000H (15) 点灯回路の電子化 (16) (17) ランプの理論的考察 (18) (19)

技 術 課 題	文 献
<p>蛍光体</p> <p>主な励起波長が365nmで外球温度約300℃で効率良く発光すること</p> <p>発光波長のエネルギーバランスが良く劣化が少ないこと</p> <p>製造および点灯時の安定性がすぐれていること</p> <p>電極</p> <p>黒化が少ないこと</p> <p>始動電圧が低いこと</p> <p>石英と反応しないこと</p> <p>取扱いが容易なこと</p>	<p>(1) Burn J. A. et al : GEC Journal 31-1 (1964)</p> <p>(2) 各社カタログ</p> <p>(3) 栗津他 : 照学誌 60-1 (1976) 8</p> <p>(4) Hoffman M. V. : J. Illum. Engng. Soc. 7-1 (1977) 89</p> <p>(5) 岩間他 : 第159回蛍光体同学会 (1974)</p> <p>(6) 渡辺他 : 第167回蛍光体同学会 (1977)</p> <p>(7) 猪島他 : 第162回蛍光体同学会 (1976)</p> <p>(8) 森他 : 東芝レビュー 34-12 (1979) 1080</p> <p>(9) Anderson H. A. : Light. Des. Appl. 5-10 (1975) 45</p> <p>(10) 飯豊他 : 電学研究会 LS-74-10 (1974) 45</p> <p>(11) 清水他 : 東芝レビュー 34-9 (1979) 797</p> <p>(12) 渡辺他 : 照学誌 62-4 (1978) 175</p> <p>(13) Bhall R. S. : J. Illum. Engng. Soc. 8-3 (1979) 174</p> <p>(14) 下垣他 : 照学誌 68-6 (1984) 271</p> <p>(15) Lake W. H. : Light. Des. Appl. 5-10 (1975) 33</p> <p>(16) 電学会技術報告(Ⅱ部) 第172号 (1984)</p> <p>(17) 照学会報告書 JIER-009 (1987)</p> <p>(18) 中西他 : 照学誌 72-6 (1988) 301</p> <p>(19) 尾崎他 : 照学誌 73-9 (1989) 561</p>

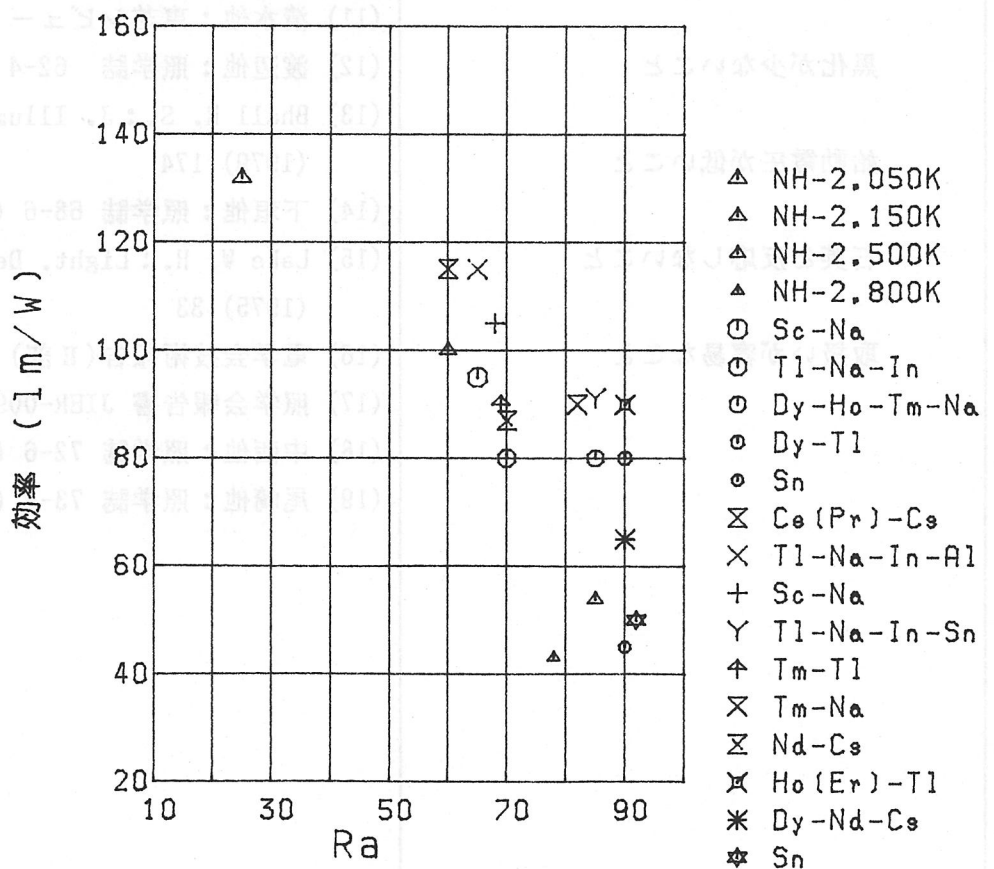
3. 1. 5メタルハライドランプ

メタルハライドランプの開発および技術の動向は、光源の基本性能である高効率化と高演色性化、用途開発の面からは高効率、高演色性は勿論のこと、低ワット化、コンパクト化と水銀灯安定器による点灯化等であり、かなりの進歩がなされてきたが、ランプ寿命動態特性（光束維持率、光色の変化など）、あるいは点灯姿勢による特性の変化、さらに調光点灯が難しいなど改良すべき課題も多い。

メタルハライドランプの発光物質として、前回(光源調査専門委員会報告書 1972年)の調査以後引き続いて各種の金属ハロゲン化物について検討されてきたが、カルシウム、セリウム、ネオジムなどのハロゲン化物の新しい発光物質を除けば、前回に報告された金属ハロゲン化物の組み合わせの検討が主である。また、ハロゲンについてはほとんどが沃素であり、臭素ならびに塩素の内、臭素については沃素と組み合わせて金属ハロゲン化物を利用しているが、塩素については実験報告はあるが、その化学反応性の強さからほとんど実用化には至っていない。

現在一般に広く用いられている発光物質は、TlI-NaI-InI系、ScI₃-NaI(ThI₄)系、DyI₃-TlI系およびSnI₂系ランプであり、この金属ハロゲン化物の組み合わせはメタルハライドランプ開発当初から利用されており、前回の調査段階ではTlI-NaI-InI系の添加物とするランプが主流であったが、近年は高い効率を示すScI₃-NaI系を利用するランプの種類が多くなってきている。さらに、HIDランプがインテリア照明や屋内照明分野

図3. 1. 5-1 メタルハライドランプの各種封入物における効率とRaの関係(400W)



への利用の増加に伴い演色性が重視され、優れた演色性を示すDyI₃-TlI系のコンパクトなメタルハライドランプが多く開発されるようになった。

メタルハライドランプの各種封入物による効率と演色性(Ra)の関係を高圧ナトリウムラ

ンプと比較して図3.1.5-1に示す。

(1) 高効率化

メタルハライドランプの高効率化に関しては、発光管形状やXeガスおよび水銀添加量などにより発光管内の発光物質の対流の改善を行う。さらに、効率の増加のために各種の金属ハロゲン化物の中で、特に注目すべきことは複塩化合物の形成による添加金属ハロゲン化合物の蒸気圧の増大であり、この増大の効果は $\text{ScI}_3\text{-NaI}$ 、 $\text{DyI}_3\text{-NaI}$ 、 $\text{CeI}_3\text{-CsI}$ などのように希土類金属とアルカリ金属のハロゲン化物とを組み合わせるときに顕著である。効率については $\text{ScI}_3\text{-NaI}$ 系のランプで組成比の最適化によって 1051lm/W (400W)、 1401lm/W (1kW)の値が得られ、また希土類金属ハロゲン化物の $\text{CeI}_3\text{-CsI}$ 系のランプでは $110\sim 1151\text{lm/W}$ (400W)の値が報告されている。

(2) 高演色性化

高演色性ランプは、従来から分子発光を示す錫をハロゲン化物として用いて $\text{Ra}92$ のランプが実用化されてきたが、本ランプの効率は 400W で 501lm/W と低い値であった。一方、希土類金属は、タリウムや、セシウム、ナトリウムなどのアルカリ金属のハロゲン化物と組み合わせると可視光全域にわたって密集した原子、イオンスペクトルに加えて分子スペクトルを放射するため演色性が優れ、しかも効率も高いDy系のランプが実用化されていたが、このDy系ランプもDy-Tl系の組み合わせの他に、Dy-Ho-Tm-Tl-Na系の封入物が検討され、光源のコンパクト化の動向と関連して実用化された。この五金属元素添加ランプの Ra は 85 (250W で効率 801lm/W 、色温度 $4,000\text{K}$)の特性が得られ、さらに現在までのところ実用化はされていないが、Ho系およびEr系ランプでは Ra が 90 (400W で効率 901lm/W 、色温度 $5,000\sim 6,000\text{K}$)の特性が報告されている。

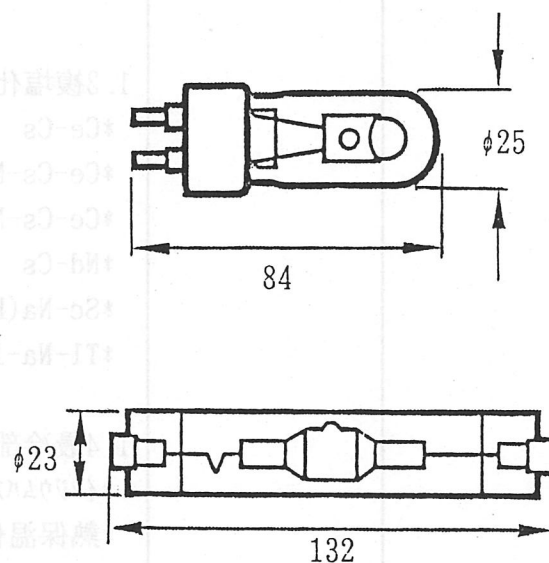
図3.1.5-2 150Wコンパクトランプ外観図

(3) 低ワット・コンパクト化

HIDランプのインテリア照明などへの用途拡大に低ワット化、コンパクト化の貢献度が大きい。メタルハライドランプの低ワットにともなう問題点としては次のようなことが考えられる。まず第一に、発光管の熱損失の割合の増加による効率の低下、次に発光管の小形化にともない容積の縮小による不純ガスの相対量が増大し、始動特性および働程特性の悪化、さらに、ランプ電流減少による電極アークスポットの不安定化などがある。

これらの問題以外にも安定器の電子化にともなう高周波点灯による音響共鳴現象など解決

(42ページへ)



光源	理論性能	最近の技術動向
メタルハライドランプ	*効率 120lm/W以上 *色温度 3,000~5,500K *Ra 100 *寿命 18,000H以上 *光束維持率 100% *破損しない	1. 高効率化 1.1 発光管内の対流現象 *キセノンガスによる対流効果 ¹⁾ *発光管形状によるSc-Naランプ 125lm/W ⁶⁾ *無重力状態によるランプの解析 ³⁾ *発光管内径と極間長 ⁷⁾ *対流現象の調査 ^{18) 20)} 1.2 ハロゲン化物の封入比率 ^{12) 45) 59)} *Sc-Na系ランプ 140lm/W(1kW) ¹⁷⁾ 105lm/W(400W) ²⁶⁾ *Tl-Na-In系ランプ 70lm/W ¹³⁾ *Tm-Tl系ランプ 105lm/W ⁶⁴⁾ 1.3 複塩化合物の形成 *Ce-Cs 110-115lm/W(400W) ²⁶⁾ *Ce-Cs-Na 104lm/W(400W) ¹⁹⁾ *Ce-Cs-Na-Sm 130lm/W(800W) ⁶⁵⁾ *Nd-Cs 84lm/W(400W) ⁴⁰⁾ *Sc-Na(Li) 87lm/W(400W) ²³⁾ *Tl-Na-In-Al 115lm/W(400W) ³²⁾ 1.4 最冷部温度の制御方法 *インジウムバスによるSnCl ₂ -SnI ₂ -NaCl系 90-100lm/W ²⁷⁾ *熱保温体 Sc-Na系 121lm/W(400W) ³⁸⁾ *封止部形状 Dy-Tl系 83lm/W ⁷⁸⁾

技術課題	参考文献
発光管材料 *耐熱性 *耐ハロゲン性 *耐金属反応性 *高負荷に耐える	11) Ishigami, T. et al: J. Illum. Engng. Soc., 11-3(1982)140 66) Fohl, T. : ibid, 4-4(1975)265 37) Bellows, A. H. et al: Light. Des. Appl., 15-8(1985)30 77) 馬場ら: 昭53照学東支大, No5 18) Zollweg, R. J. : J. Illum. Engng. Soc., 8-3(1979)126 20) Zollweg, R. J. : ibid, 8-2(1979)90
封入材料 *可視域に強い発光を有する *発光管と反応しにくい *蒸気圧の温度依存性が小さい	12) Partlow, W. D. et al: ibid, 11-3(1979)153 45) 斎藤ら: 昭60照学全大, No29 59) 森ら: GS News, 38-1(1985)40 17) Saito, M. et al: J. Illum. Engng. Soc., 10-3(1981)133 26) Tielmans, P. : Light. Res. Technol., 17-2(1985)79 13) Krsko, Z. K. : J. Illum. Engng. Soc., 11-3(1982)162 64) 東: 照学誌, 65-10(1982)487 19) Liu, C. S. et al: J. Illum. Engng. Soc., 8-3(1979)147 65) Zollweg, R. J. et al: ibid, 4-4(1975)249 40) McAllister, W. A. : J. Electrochem. Soc., 132-11(1985)2798 23) Hirayama, C. et al: J. Illum. Engng. Soc., 6-4(1977)209 32) Lorentz, R. : Light. Res. Technol., 8-3(1976)136 27) Whittaker, F. L. : ibid, 13-1(1981)11 38) Saito, M. et al: J. Light & Vis. Env., 7-2(1983)65 78) 馬場ら: 昭53照学東支大, No6

光源	理論性能	最近の技術動向																																																																								
		<p>2. 高演色化</p> <table border="1" data-bbox="703 286 1428 869"> <thead> <tr> <th>封入物</th> <th>効率 (lm/W)</th> <th>色温度 (K)</th> <th>Ra</th> <th>電力 (W)</th> <th>文献</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sn-Ca-Tl</td> <td>60</td> <td>3,600</td> <td>73</td> <td></td> <td>10)</td> </tr> <tr> <td>Sn-Tl-Na-In</td> <td>91</td> <td>3,300</td> <td>85</td> <td>250</td> <td>30)</td> </tr> <tr> <td>Sn-In</td> <td>60</td> <td>4,700</td> <td>92</td> <td>400</td> <td>34)</td> </tr> <tr> <td>Sn-Li</td> <td>65</td> <td>3,400</td> <td>92</td> <td>400</td> <td>34)</td> </tr> <tr> <td>Ca-Tl-Al</td> <td>86</td> <td>3,300</td> <td>88</td> <td>400</td> <td>32)</td> </tr> <tr> <td>Th-Al</td> <td></td> <td>7,256</td> <td>92</td> <td></td> <td>39)</td> </tr> <tr> <td>Dy-Tl</td> <td>80</td> <td>4,800</td> <td>90</td> <td>150</td> <td>46)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>83</td> <td>6,000</td> <td>90</td> <td></td> <td>78)</td> </tr> <tr> <td>Dy-Nd-Cs</td> <td>62</td> <td>6,500</td> <td>88</td> <td>50</td> <td>47)</td> </tr> <tr> <td>Ho-Tl</td> <td>90</td> <td>5,100</td> <td>90</td> <td>400</td> <td>64)</td> </tr> <tr> <td>Er-Tl</td> <td>90</td> <td>5,500</td> <td>90</td> <td>400</td> <td>64)</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 長寿命化</p> <p>3.1 エミッターと過剰金属</p> <ul style="list-style-type: none"> *Dy系ランプにDy₂O₃エミッターを用いる400Wで1,000時間 91%の光束維持率⁸⁾ *Dy系ランプでエミッターをThO₂からDy₂O₃に変更することにより10%の維持率の向上^{7,8)} *Sc系ランプでSc金属を添加し維持率の改善^{7,2)} *Sc系ランプでSc金属を添加したときの電極極頭の変形現象の解明⁸⁷⁾ <p>3.2 石英と封入物の反応に関するもの</p> <ul style="list-style-type: none"> *Dy系ランプ^{6,3)} *Sc系ランプ^{7,3)} *三元素系ランプでのNaの反応^{8,8)} *沃素の影響について^{8,9)} <p>4. その他性能に関するもの、始動、再始動、調光、点灯姿勢など</p>	封入物	効率 (lm/W)	色温度 (K)	Ra	電力 (W)	文献	Sn-Ca-Tl	60	3,600	73		10)	Sn-Tl-Na-In	91	3,300	85	250	30)	Sn-In	60	4,700	92	400	34)	Sn-Li	65	3,400	92	400	34)	Ca-Tl-Al	86	3,300	88	400	32)	Th-Al		7,256	92		39)	Dy-Tl	80	4,800	90	150	46)		83	6,000	90		78)	Dy-Nd-Cs	62	6,500	88	50	47)	Ho-Tl	90	5,100	90	400	64)	Er-Tl	90	5,500	90	400	64)
封入物	効率 (lm/W)	色温度 (K)	Ra	電力 (W)	文献																																																																					
Sn-Ca-Tl	60	3,600	73		10)																																																																					
Sn-Tl-Na-In	91	3,300	85	250	30)																																																																					
Sn-In	60	4,700	92	400	34)																																																																					
Sn-Li	65	3,400	92	400	34)																																																																					
Ca-Tl-Al	86	3,300	88	400	32)																																																																					
Th-Al		7,256	92		39)																																																																					
Dy-Tl	80	4,800	90	150	46)																																																																					
	83	6,000	90		78)																																																																					
Dy-Nd-Cs	62	6,500	88	50	47)																																																																					
Ho-Tl	90	5,100	90	400	64)																																																																					
Er-Tl	90	5,500	90	400	64)																																																																					

技術課題	参考文献
<p>電極材料</p> <ul style="list-style-type: none"> *耐ハロゲン性 *耐熱材料 *金属ハロゲン化物と反応しないエミッター <p>その他の特性</p> <ul style="list-style-type: none"> *点灯姿勢によって特性の変化が小さいこと *調光点灯可能 	<p>10) Caruso, N. J. : J. Illum. Engng. Soc. , 13-1(1984)206</p> <p>30) Fromm, D. C. et al: Light. Res. Technol. , 11-1(1979)1</p> <p>34) Drop, P. C. et al: ibid, 6-4(1974)212</p> <p>39) Higashi, T. J. Light & Vis. Env. , 5-1(1981)18</p> <p>46) 山崎ら: 昭60照学全大, No32</p> <p>47) 杉浦ら: 昭59照学全大, No35</p> <p>8) Watanabe, K. et al: J. Illum. Engng. Soc. , 13-1(1984)94</p> <p>72) 本田ら: 光源システム研究会, LS-82-12(1982)</p> <p>87) 犬飼ら: 平1照学全大, No27</p> <p>63) 松野ら: 照学誌, 65-4(1981)176</p> <p>73) 石神ら: 光源システム研究会, LS-82-13(1982)</p> <p>88) Nagel, F. : Proc. Symp. High Temp. Lamp Chem. , 2(1988)18</p> <p>89) Fischer, E. : ibid, 2(1988)90</p>

光源	理論性能	最近の技術動向
		<p>5. 低ワット・コンパクト化</p> <p>5.1 音響的共鳴現象</p> <ul style="list-style-type: none"> * 発光管端部の形状^{2) 61)} * 楕円発光管と安定周波数⁴⁾ 851m/W(30W)^{5 6)} * 発光管形状((X-L)/L)¹⁴⁾ 851m/W(30W) 1001m/W(70W) * 第3高調波点灯、矩形波点灯方式 671m/W(75W)⁴⁴⁾ * 高周波点灯 電流波形のDC変換⁹⁰⁾ * 高周波点灯 安定周波数と波形の関係⁹¹⁾ <p>5.2 低ワットランプの製造方法と不純ガス解析</p> <ul style="list-style-type: none"> * レーザー加工法^{42) 52)} 851m/W(30W)³⁾ * HgH/Hgスペクトルによる分析^{5) 52)} <p>5.3 コンパクト化</p> <ul style="list-style-type: none"> * シングルエンドランプ <ul style="list-style-type: none"> • 621m/W(35W) 691m/W(70W) 801m/W(150W)⁸⁵⁾ • Sc-Na系の熱バランス⁷⁾ * 両口金ランプ <ul style="list-style-type: none"> • Tm-Dy-Ho-Na-Tlランプ^{67) 80)} • 外管にArを封入して始動特性を改良^{67) 80)} <p>5.4 その他</p> <ul style="list-style-type: none"> * 安定を早めるために <ul style="list-style-type: none"> • プレヒートする^{25) 74) 79)} • Xeガス圧を高め、15-20kVのパルスで点灯⁸⁶⁾ * 発光管に石英スリーブをかぶせて保温 851m/W(100W)^{36) 82)} * 上下非対称電極⁴³⁾ * 発光管の端部を小形 621m/W(50W)⁴⁷⁾ * 3重巻電極⁴⁹⁾ * ペニングガス 751m/W(100W)⁵⁴⁾ * Tm-Tl-Naランプ 751m/W(50W)⁴¹⁾ * 航路用ランプで白熱電球よりも長い寿命と輝度向上⁸³⁾ 671m/W(45W) 1071m/W(150W)

技術課題	参考文献
*製造技術 ・封止技術 ・排気技術 *性能 ・長寿命化 ・高効率化	2) Wada, S. et al: J. Illum. Engng. Soc. , 16-1(1987)162 3) Hansler, R. L. et al: ibid, 15-1(1986)109 4) Davenport, J. M. et al: ibid, 14-2(1985)633 14) Lake, W. H. et al: ibid, 11-3(1982)66 61) 岡田ら: 照学誌, 71-6(1987)339 56) Davenport, J. M. et al: IES Tech. Conf. , (1980) 44) 清水ら: 昭61照学全大, No2 90) Nishimura, H. et al: Proc. Symp. High Temp. Lamp Chem. , 2 (1988)70 91) Faehnrich, H. J. et al: ibid, 2(1988)131 42) 持丸ら: 東芝レビュー, 39-3(1984)204 5) Mochimaru, S. et al: ibid, 14-1(1985)264 44) 持丸ら: 昭58照学全大, No40 60) J. ハルダーら: 照学誌, 71-9(1987)554 85) Heider, J. : J. Illum. Engng. Soc. , 17-2(1988)94 67) 友清ら: National Tech. Rep. , 33-3(1987)314 52) 福田ら: 昭62照学全大, No32 7) Krasco, Z. K. : J. Illum. Engng. Soc. , 13-1(1984)64 9) English, G. J. et al: ibid, 13-1(1984)131 25) Inoue, A. et al: Light. Res. Technol. , 18-4(1984)185 74) 佐々木ら: 昭61照学東支大, No8 79) 本田ら: 東芝レビュー, 42-6(1987)662 35) Popp, H. P. : Licht Forsch. , 5-1(1983)1 36) Keeffe, W. M. et al: Light. Des. Appl. , 15-11(1985)48 82) Keeffe, W. M. et al: J. Illum. Engng. Soc. , 17-2(1988)39 86) Davenport, J. M. et al: Light. Des. Appl. , 19-3(1989)15 43) 村瀬ら: National Tech. Rep. , 27-3(1981)390 47) 杉浦ら: 昭59照学全大, No35 49) 島谷ら: 昭58照学全大, No37 54) 神谷ら: 東芝レビュー, 37-2(1982)101 41) Oogenet, V. et al: IES Tech. Conf. , No41(1983) 83) English, G. J. et al, J. Illum. Engng. Soc. , 17-2(1988)51

光源	理論性能	最近の技術動向
		<p>6. 水銀灯安定器共用</p> <p>6.1 ペニングガス方式</p> <ul style="list-style-type: none"> *Ne/Arと始動用低抵抗⁴³⁾ *100WのL形ランプ 75lm/W⁵⁴⁾ *Ne/Arと始動用低抵抗 700~1kW⁵⁵⁾ <p>6.2 点灯管のパルス点灯方式</p> <ul style="list-style-type: none"> *点灯管にArガスを用いる^{50) 53) 58)} *限流抵抗に1kΩ以上⁴⁸⁾ <p>6.3 その他</p> <ul style="list-style-type: none"> *スパイラルパルス発生器¹⁾ *バイメタルスイッチによる 1000W 120lm/W¹⁷⁾ *水銀灯400Wをメタルハライドランプ300W(80lm/W)に置き換えて点灯²¹⁾ *水銀灯定電力安定器を用いる 325W 86lm/W⁵⁷⁾ <p>7. アルミナセラミック管メタルハライドランプ</p> <p>7.1 封止方法</p> <p>(1) サーメット封止</p> <ul style="list-style-type: none"> *Sn-Na-Cl 150W 93lm/W¹⁵⁾ *150W⁴⁶⁾ Dy-Tl 80lm/W Sc-Na 97lm/W Tl-Na-In 79lm/W *シール材にLa-Y-Al-Si酸化物を用いる⁶⁸⁾ <p>(2) タングステン圧膜を用いる⁸¹⁾</p> <p>7.2 その他</p> <ul style="list-style-type: none"> *R. G. B発光ランプ(Tl-In-Li)⁹²⁾

技術課題	参考文献
	<p>55)河野ら:東芝レビュー, 35-5(1980)472</p> <p>48)堀越ら:昭60照学全大, No28</p> <p>50)朝倉ら:昭58照学全大, No38</p> <p>53)井上ら:昭56照学全大, No20</p> <p>58)石神ら:東芝レビュー, 36-5(1981)483</p> <p>1)Lester, J. N. et al: J. Illum. Engng. Soc. , 16-1(1987)72</p> <p>17)Saito, M. et al: ibid, 10-3(1981)133</p> <p>21)Kerney, J. P. et al: ibid, 7-4(1978)234</p> <p>57)Washick, J. M. et al: IES Tech. Conf. , (1980)</p>
<p>*耐ハロゲン性のシールの開発</p> <p>*アルミナ管の透過率の改善</p> <p>*発光管の管径の太い材料の低コスト化</p>	<p>15)Brown, K. E. et al: J. Illum. Engng. Soc. , 11-2(1982)106</p> <p>46)山崎ら:昭60照学全大, No32</p> <p>68)山崎ら:光の発生関連システム研究会, LS-86-10(1986)</p> <p>81)古久保ら:昭62照学全大, No36</p> <p>92)高津ら:昭63照学東支大, No13</p>

(33ページから)

すべき点が多いが、現状は下記に示す状態と言える。不純ガスの除去については、ランプ製造方法において石英発光管を従来のガスバーナーによる加工ではなく、炭酸ガスレーザーによって加工する技術が開発され、残留不純ガスを減らすことが可能となり、またこの残留不純ガスもHgH/Hgのスペクトルにより分析する方法も発表されている。

高周波点灯特性については各種のランプパラメータ（発光管形状など）と関係させて安定に点灯できる周波数域の調査、音響共鳴現象の防止方法として直流点灯方式、第3次高調波重畳点灯方式、矩形波点灯方式、電流波形の直流変換方式、安定周波数と波形の関係など、多くの提案がなされ電子安定器として実用化に至っている。

熱損失を減少させる方法としては、発光管を高負荷、楕円形に設計し、封止端部の面積を可能な限り小さくし、あるいは片端封止構造などにする。このように設計されたランプとして、外管に通常の硬質ガラスを用いたタイプでは100～125Wと32Wのランプが、一方外管に石英ガラスを用いてよりコンパクト化したタイプに両口金直管形ランプとして70～250Wが、また単口金としたランプに35～150Wなどが実用化あるいは発表されている。150Wについて単口金および両口金タイプのランプの外観を図3.1.5-2に示す。

(4) 水銀灯安定器共用化

メタルハライドランプは開発当初において安定器の二次無負荷電圧を高めるか、始動用の高圧パルス電圧を発生する始動装置を内蔵した専用安定器が用いられていた。その後、製造技術の進歩にともない専用の始動装置を内蔵しない水銀灯の安定器（インダクタンス形）で点灯させるため始動電圧が低いNe/ArあるいはNe/Krのペニングガスを始動用ガスに用いる点灯方式や、あるいはパルス電圧を発生させるために外管内に点灯管（グロースターター）あるいはバイメタルスイッチなどの始動用ユニットを組み込む点灯方式などが採用され実用化されたことによって、初期設備費の低減効果をもたらしメタルハライドランプの普及に大きく貢献した。

(5) その他発光管材料など

最後にその他の技術動向として、メタルハライドランプは通常発光管材料には石英ガラスを用いるが、高圧ナトリウムランプの発光管材料である石英ガラスより耐熱性に優れたアルミナセラミックに封止端部に耐ハロゲン性を有するサーメット(W-Al₂O₃)キャップあるいはタングステン厚膜を用いてメタルハライドランプ化する試みもなされている。

3. 1. 6 高圧ナトリウムランプ

高圧ナトリウムランプにおいても、メタルハライドランプと同様な開発および技術動向で、高効率化と高演色性化、用途拡大の面から高効率、高演色性は勿論のこと、低ワット化と水銀灯用安定器による点灯化などが行われてきた。

(1) 高効率化

高効率化においては高圧ナトリウムランプの当初に効率は105lm/Wであったが、発光管の設計の最適化、アルミナセラミック管の改良により125lm/W、さらに最近では始動用のキセノンガスの封入圧を $2.7 \times 10^4 \sim 4.7 \times 10^4$ Paまで高めることによって139lm/Wの効率（色温度2,050K、Ra25）が達成された。このキセノンガス封入圧を高めた高効率タイプの高圧ナトリウムランプは外管内にバイメタルスイッチあるいは点灯管などの始動ユニットを備え、水銀灯用安定器（インダクタンス形）で点灯できるように設計されており、現在このタイプのランプが主流となっている。

その他にも、ランプ効率の改善の方法がいろいろ試みられ、例えば、アルミナ管の透過率を向上させるためにアルミナの粒径を大きくしたり、化学研磨を施したりしたが、現状アルミナセラミック管ではこれ以上の効率の向上は限界であり、単結晶アルミナやイットリアなどの新しい発光管材料の開発が待たれる。

(2) 高演色性化

高圧ナトリウムランプの演色性は、ナトリウム蒸気圧と発光管内径の増大にともなってD線の発光スペクトルが可視域全域にわたって広がり改善される。HIDランプの屋内照明やインテリア照明などの用途拡大には低ワットでしかも高演色性能が必要であり、点灯中のナトリウム蒸気圧を高めるためにさまざまな設計がなされてきた。特に発光管の負荷が高まるために耐熱性に優れたシール材の開発、発光管の形状（モノリシック）、保温方法などが検討された。このナトリウムの発光状態は演色性の改善はなされるが、放射の視感効率が低くなるのでランプ効率は低下する。現在ランプとしては効率106lm/Wの演色改善形（色温度2,150K、Ra60）と、同じくランプ効率が52lm/Wと41lm/Wの演色本位形（色温度2,500/2,800K、Ra85/78）の二つのタイプのランプが製品化されている。現在最も低いランプ電力のランプは30Wのものが製品化されている。

(3) その他（不飽和形ランプなど）

その他の技術動向として少量のナトリウムアマルガムを封入した不飽和形高圧ナトリウムランプが開発されており、このランプは水銀灯と同じランプ電圧特性をもち、耐震性に優れている。ナトリウムアマルガムにセシウムを付加してランプの消灯電圧を低下させた省電力形ランプも開発されている。さらに、6kWで150lm/Wという大電力ランプ、一つの外管内に二つの発光管を設けたランプ、30Wの自動車前照灯用ランプなども検討されている。

光源	理論性能	最近の技術動向
高圧ナトリウムランプ	*効率 360lm/W *色温度 2,100~2,700K *Ra 25~90 *光束維持率 100%	1. 高効率化 1.1 キセノンガス圧 26.6~46.6kPa 139lm/W 1.2 発光管材質 *単結晶アルミナでPCAよりも10%向上 ^{4) 5)} 15%向上 ³⁷⁾ *Y ₂ O ₃ を用いる 132lm/W(400W) ¹¹⁾ *Al ₂ O ₃ の粒径を大きくして、透過率を向上 ⁵⁴⁾ *化学研磨による透過率の改善 ⁷⁾ *Al ₂ O ₃ 中のCaOがβ-Al ₂ O ₃ の成長を促進 ¹⁰⁾ *粒径、管肉厚、温度とナトリウム侵入速度 ¹⁴⁾ 2. 高演色性化 2.1 蒸気圧と発光管管径 *ナトリウム圧13.3kPa以上 150W 52lm/W 2,500K Ra85 ⁵⁾ 41lm/W 2,800K Ra78 *Xe圧を高める 360W 120lm/W 2,150K Ra50/60 ^{8) 47)} *管径を太くし、アマルガム組成で 105lm/W 2,150K Ra65 ⁴⁶⁾ 2.2 耐熱性シール材(金属酸化物) *Al-Ca-Si 250W 100lm/W Ra65 ¹²⁾ *Al-Ca-Sr-Yフリット ⁴⁹⁾ *Al-Ca-Mg-Ba 220W 105lm/W 2,150K Ra60 ^{8) 29)} 2.3 保温 *石英製保温筒 85W 45lm/W 2,500K Ra80/85 ⁴⁴⁾ 2.4 その他 *寿命特性の改善、ナトリウム消失の抑制発光管仕様 ⁷⁶⁾ *高周波点灯でランプ電圧に応じて制御し色温度差の制御 ⁷⁷⁾ *ランプ電圧範囲の規定 ⁷⁸⁾

技術課題	参考文献
*7ルミ管の透過率の向上	<p>40)大谷ら:三菱電機技報, 50-11(1976)603</p> <p>55)Loytty, E. :Light. Des. Appl. , 6-2(1976)14</p> <p>37)Bahlla, R. S. , :IES Tech. Conf. , (1980)</p> <p>11)Waymouth, J. F. et al:J. Illum. Engng. Soc. , 10-4(1981)237</p> <p>54)大谷ら:昭53照学東支大, (1978)8</p> <p>7)Ingold, J. H. et al:J. Illum. Engng. Soc. , 11-4(1982)223</p> <p>10)Hing, P. : ibid, 10-4(1981)194</p> <p>14)Wyner, E. F. : ibid, 8-3(1979)166</p> <p>5)Akutsu, H. et al: ibid, 13-4(1984)341</p> <p>8)Otani, K. et al: ibid, 11-4(1982)231</p> <p>64)大谷ら:昭55照学全大, (1980)21</p> <p>46)稲田ら:昭56照学全大, (1981)37</p> <p>12)Bahlla, R. S. et al:J. Illum. Engng. Soc. , 8-4(1979)202</p> <p>49)下垣ら:照学誌, 69-2(1985)59</p> <p>29)Otani, K. et al:Light. Des. Appl. , 4-1(1980)24</p> <p>44)大谷ら:昭60照学全大, (1985)42</p> <p>76)富永ら:平1照学全大, (1989)30</p> <p>77)塩見ら: ibid, (1989)38</p> <p>78)Brabham, D. E. et al:J. Illum. Engng. Soc. , 17-1(1988)10</p>

光源	理論性能	最近の技術動向
		<p>3. 低ワット・コンパクト化</p> <ul style="list-style-type: none"> *パルス点灯とAC点灯の比較 (パルス)100W 891m/W 2,200K Ra25¹⁾ *ナトリウム圧 6.7~13.3kPa 32W 471m/W 2,500K Ra82²⁾ *ヘッドライト用ランプ 30W 551m/W 2,000K³⁾ *口金内パルス始動器 50W 701m/W⁹⁾ *φ22のダブルエンド、外管にXeガス^{4,2)} *モノシック発光管 50W 401m/W 2,500K Ra85^{5,2) 5,3) 5,7)} <p>4. 大電力化</p> <ul style="list-style-type: none"> *管径と効率の関係 6kW 1501m/W^{4,3)} <p>5. 水銀灯用安定器との共用化</p> <p>5.1 ペニングガス点灯方式</p> <ul style="list-style-type: none"> *補助極付き 350W 981m/W^{2,4)} *近接導体 400W 1151m/W^{3,9)} *0.1~1%Ne/Ar 150W 801m/W^{1,9)} <p>5.2 バイメタル点灯方式</p> <ul style="list-style-type: none"> *バイメタルスイッチのバウシング現象^{3,4)} *Ne/Arペニングガス方式 150W 871m/W^{4,1)} *Xe圧29.3kPa パルス4,000V 360W 1391m/W^{4,8)} <p>5.3 点灯管点灯方式</p> <ul style="list-style-type: none"> *2,000V以上のパルス電圧 110W 1251m/W^{3,5)} *高キセノン封入圧 75W 901m/W^{3,6)} *小形電極 80W 901m/W^{4,5)} <p>5.4 固体素子化^{7,5)}</p>

技術課題	参考文献
*耐熱性のシール材の開発	1) Brates, N. E. et al: J. Illum. Engng. Soc., 16-2(1987)50 2) van Kememalle, J. T. C. et al: ibid, 16-1(1987)150 3) Szekas, Gy. : ibid, 15-2(1986)59 9) Wyner, E. F. et al: ibid, 11-2(1982)79 42) 富永ら: 昭62照学全大, (1987)33 52) 富永ら: National Tech. Rep., :33-3(1987)321 53) 尾形ら: 光源システム研究会, LS-83-16(1983) 57) Ogata, Y. et al: J. Illum. Engng. Soc., 17-2(1988)105 43) 池ら: 昭61照学全大, (1986)32
*スターターレス化	19) Cohen, S. et al: J. Illum. Engng. Soc., 4-4(1975)279 24) DeNeve, G. : Light. Res. Technol., 8-3(1976)157 39) Nguyen, N. et al: ibid, 9-2(1977)112 34) Collins, B. R. et al: Light. Des. Appl., 5-9(1975)18 48) 稲田ら: 昭61照学全大, (1986)27 34) 斎藤ら: National Tech. Rep., 27-3(1981)381 35) Minors, K. L. : IES Tech. Conf., (1981) 72) 伊東ら: 昭55照学全大, (1981)36 36) 神谷ら: 東芝レビュー, 37-2(1982)101 75) 安川ら: 平1照学全大, (1989)34

光源	理論性能	最近の技術動向
		<p>6. その他</p> <p>6.1 不飽和蒸気圧タイプ³²⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> *不飽和蒸気圧タイプのランプで電力変動による効率の調査 最大 150lm/W⁴⁾ *高いランプ電圧で省電力 152V 300W(メーカカタログ値) *ナトリウム添加量とランプ電圧/Na発光吸収幅の研究⁷³⁾ <p>6.2 色温度制御点灯装置²⁾</p> <p>6.3 多発光管ランプ²⁶⁾</p> <p>6.4 始動時の整流作用の除去²¹⁾ (端部に段差をつけ電極とアマルガムの接触を防ぐ)</p> <p>6.5 その他</p> <ul style="list-style-type: none"> *四タイプの封着法の比較¹⁵⁾ *ニオブとフリットの間にシリコン層を設ける¹⁶⁾ *アルミナ管の表面解析(SEM解析)⁷⁹⁾ *電極の仕事関数を下げて特性の改善⁸⁰⁾ *シール材中の有機化合物不純物の影響⁸¹⁾ *シール材の反応⁸²⁾ *ナトリウム消失に関するエミッター物質の作用⁸³⁾ *封着圧力の有限要素法解析⁸⁴⁾

技術課題	参考文献
	<p>32)竹治ら:GS News, 44-2(1985)50</p> <p>4)White, P. J. et al:J. Illum. Engng. Soc. , 15-1(1986)95</p> <p>73)小佐々ら:平1照学全大, (1989)29</p> <p>26)Kane, R. M. et al:Light. Des. Appl. , 16-12(1986)31</p> <p>21)Denbigh, P. L. :Light. Res. Technol. , 15-4(1983)171</p> <p>15)McVey, C. I. :J. Illum. Engng. Soc. , 8-2(1979)72</p> <p>16)Bahlla, R. S. :ibid, 8-2(1979)86</p> <p>79)Kock, A. H. J. M. :Proc. Symp. High Temp. Chem. , 2(1988)194</p> <p>80)Datta, R. K. :ibid, 2(1988)220</p> <p>81)Nagel, F. ibid, 2(1988)240</p> <p>82)Snellgrove, R. A. :ibid, 2(1988)251</p> <p>83)Hollo, S. et al:ibid, 2(1988)329</p> <p>84)Lakshminha, M. et al:Trans. Indian. Ceram. Soc. , 47-2(1988)32</p>

3.1.7. 低圧ナトリウムランプ

低圧ナトリウムランプは1930年代実用化され、それ以降今日に至るまで一般照明用光源の中で最も効率が最も高い光源としての地位を保ち続けている。これはナトリウム蒸気放電で発生する光が視感効率が高い589nmと589.6nmの黄色のほぼ単色光であるためである。室温におけるナトリウム蒸気圧は最適な発光効率を得るには低すぎるためネオン-アルゴンベニングスが用いられる。さらにナトリウム蒸気圧を最適発光効率を得られる0.4Paに保つには最冷点温度を約260℃にする必要がある。したがって低圧ナトリウムランプの効率向上を図るためには発光管の管壁温度を高く保つ手段と、高温のナトリウム蒸気に耐えるガラスの開発が不可欠である。

管壁温度を高く保つ方法として当初は二重管方式、真空二重管方式などが採用されたが、画期的方法として外管内面に赤外放射(熱)を反射する透明酸化金属膜を設ける方法が1965年に発表され、最初に酸化錫(SnO_2)が導入された。さらに酸化インジウムが酸化錫より赤外反射が優れている点に注目して、現在は酸化インジウムが用いられている。その後1985年に酸化インジウムに錫をドーブしたものが提案されて、200lm/Wが得られたとの報告がある¹⁾ほか、最近では二重管内のメタンガス除去および真空度改善などにより熱損失の低減が提案されている²⁾。これら保温手段の改善により最高効率が得られるランプの大きさも当初は1000ワットを越えていたが、最新のものでは100ワット近くまで下がってきている(第1図)³⁾。一方、高温ナトリウム蒸気に耐えるガラスとしては当初はほう酸ガラスが用いられたが、高価なうえに加工が難しいために、内面に約50ミクロンの厚みの耐ナトリウム性ほう酸ガラスをコーティングしたソーダガラスにとってかわった。ランプ自体の効率改善以外にランプ点灯回路の改善によりシステム効率の改善が図られ、矩形波の電圧波形を採用したハイブリッド回路により118lm/Wと、従来のオートリーケジトランスを用いたものの107lm/Wに比べて11lm/Wの向上が得られている。また100kHz以上の高周波点灯回路の採用によりランプ電力130ワットで10-20lm/W効率が向上し、225lm/Wが実現できたとの報告がある。現在ではNX35(35ワット)、NX55(55ワット)、NX90(90ワット)、NX135(135ワット)、およびNX180(180ワット)の5タイプが製品化されている。

参考文献

- 1) L.Sprengers et al: J. of Illum. Eng. Soc. 12-4 (1985) 607
- 2) W.Kroontje et al: J. of Vac. Sci. Tech. A4-5(1986) 2293
B.de Maagt and J.Willems: The 4th Int. Symp. Sci. Tech. Light Sources.
(Karlsruhe) No. 36(1986)
- 3) A.G. Jack & L.E. Vrenken: IEE Proc. 127-3 (1980)

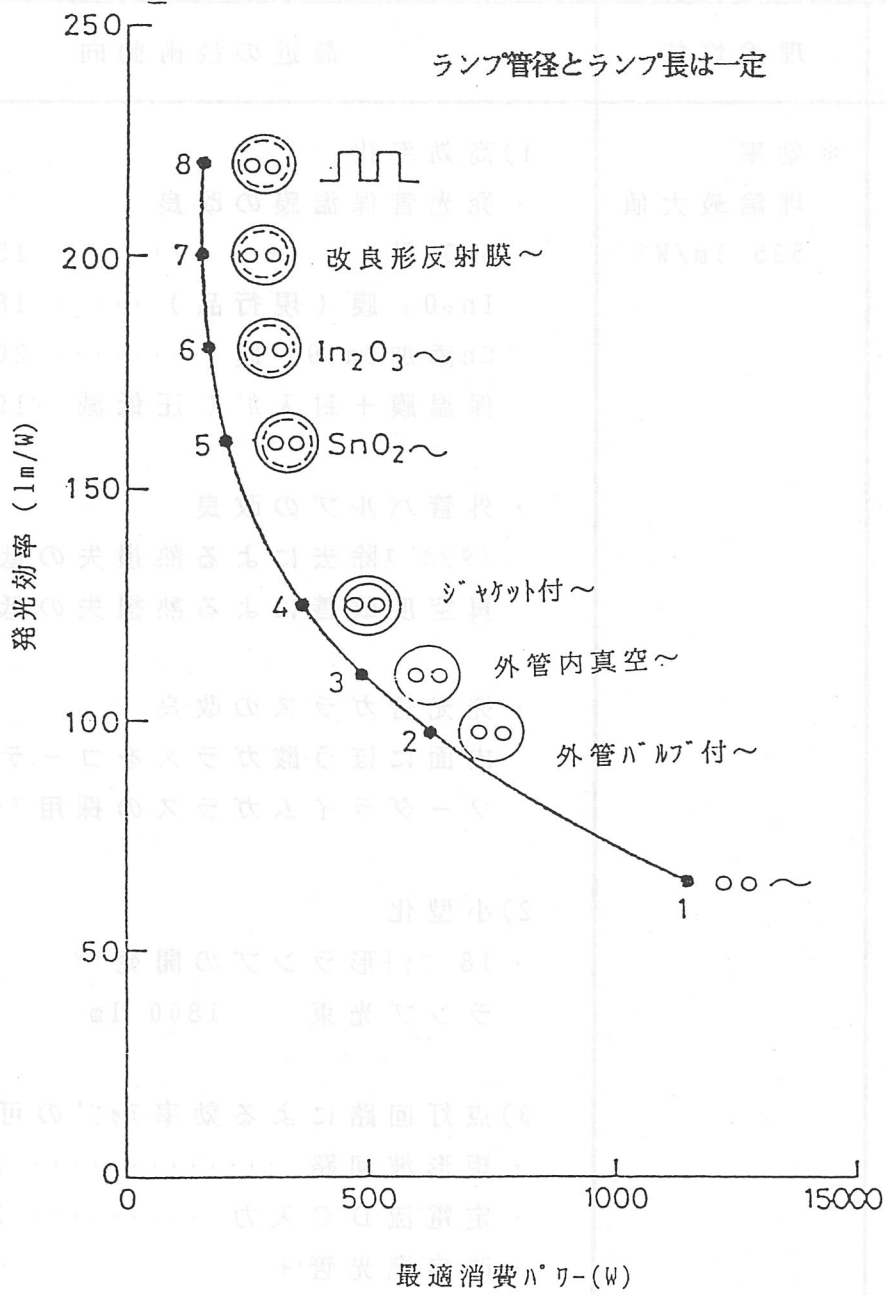


図3.1.7-1 ランプ効率とランプ電力³⁾

光源	理論性能	最近の技術動向
低圧ナトリウムランプ ¹⁾	* 効率 理論最大値 525 lm/W ¹⁾	1) 高効率化 <ul style="list-style-type: none"> ・ 発光管保温膜の改良 <ul style="list-style-type: none"> SnO₂膜 …………… 150 lm/W In₂O₃膜 (現行品) …… 180 lm/W²⁾ Sn添加In₂O₃膜 …… 200 lm/W³⁾ 保温膜 + 封入ガス圧低減 …… 190 lm/W⁴⁾ ・ 外管バルブの改良 <ul style="list-style-type: none"> メタンガス除去による熱損失の低減⁵⁾ 真空度改善による熱損失の低減⁶⁾ ・ 発光管ガラスの改良 <ul style="list-style-type: none"> 内面にほう酸ガラスをコーティングしたソーダライムガラスの採用⁷⁾ 2) 小型化 <ul style="list-style-type: none"> ・ 18ワット形ランプの開発⁸⁾ ランプ光束 1800 lm 3) 点灯回路による効率アップ ⁹⁾ の可能性 <ul style="list-style-type: none"> ・ 矩形波回路 …………… 190 lm/W⁴⁾ ・ 定電流DC入力 …… 210 lm/W⁴⁾ ・ 改良発光管 + 定電流DC入力 …… 225 lm/W⁴⁾ ・ 高周波点灯回路 <ul style="list-style-type: none"> 100kHz以上で10-20%の効率向上 225 lm/W (ランプ電力 130W)⁹⁾

2001年予測	技術課題	参考文献
<p>180ワット形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 光束34900lm, 11% 向上 ・ 効率190lm/W 8.6%向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 赤外線反射膜の改良 ・ ナトリウムD線の透過率大で赤外放射大の耐ナトリウムガラスの開発 ・ 点灯回路の改良（高周波点灯回路含む） 	<ol style="list-style-type: none"> 1) A.H. Willoughby: CIE 20th Session 1983 (Invited paper) 2) L. Beijer et al: Light. Des. & Appl. 4-7, (1974), 15 3) L. Sprengers et al: J. of IES. 12-4 (1985), 607 4) M. Koedam et al: Light. Des. & Appl. 5-9. (1975), 39 5) W. Kroontje et al: J. Vac. Sci. Tech A4-5 (1986), 2293 6) B. de Maagt and J. Willems: The 4th Int. Symp. Sci. Tech. Light Sources. (Karlsruhe) No. 36 (1986) 7) O. Adams: Light. Res. & Tech. 10-2, (1978), 83 8) A. Jack: Light Res. & Tech. 10-3, (1978), 150 9) J. de Groot et al: Annual Conf. of IES. No. 7 (1984)

3.1.8 キセノンランプ

キセノンランプは大別して3種に分類される。それらは高圧力で短アークの「ショートアークキセノンランプ」、低圧力で長アークの「ロングアークランプ」と、数 μ ・secから数m・secのパルス放電で発光される「フラッシュランプ」である。この節では、ショートアークキセノンランプについてのみ記す。

表3.1.8-1にショートアークキセノンランプの特性と代表的用途を示す。

(1) 輝度の安定化

ショートアークキセノンランプの特性の一つは、高輝度な点光源である。特に陰極点の輝度は非常に高く、およそ $3 \times 10^5 \text{cd/cm}^2$ である。ほとんど全ての装置で、この高輝度な特性が利用されており輝度の安定度の向上と不安定に到るまでの点灯時間の延長が要求されてきた。

ランプ入力300W程度以下のランプでは、ポーラスタングステンに $\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 系のエミッターを含浸した陰極を採用することにより、光出力のリップルを0.5%程度にまで小さくすることに成功している。また、その寿命は3000時間である。^{1) 2)}

1KW以上のランプでは、従来から使用されていたトリエーテッドタングステンのグレインサイズの適正化等により、輝度安定の長寿命化が試みられている。³⁾

(2) 破裂に対する信頼性の向上

ショートアークキセノンランプの動作時の圧力は20気圧から50気圧程度で、ガラスを使った製品としては、実用的限界圧の近くで使用されている。

このため、破裂に対する信頼性の向上が進められてきた。その方法として、石英ガラスバルブの内表面に TiO_2 膜をコートすることにより、石英ガラスの紫外線劣化を防止し、寿命末期の破裂を防ぐ方法が報告されている。⁴⁾

また、機械的強度が石英ガラスよりも強いアルミナと光出射の窓として単結晶アルミナを組み合わせたランプが製品化された。⁵⁾ 図3.1.8-1

(3) その他

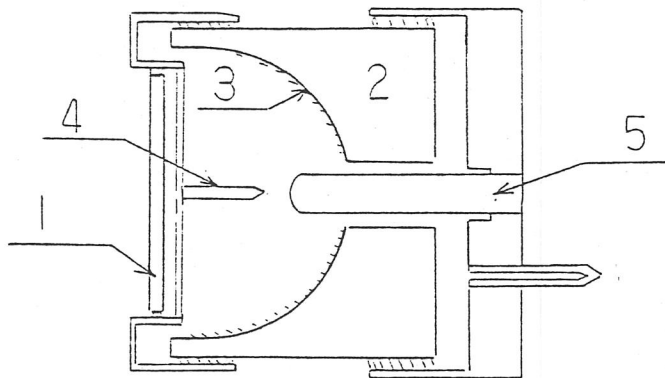
スタータレス化の実験がなされたが実用化されていない。⁶⁾

空冷ランプでは50Wから7KW入力、水冷ランプでは10KW入力から30KW入力まで商品化された。全てのランプは水平点灯可能であり、必要に応じてオゾンフリー化されている。

カソード材料として、酸化ナトリウムに変わるエミッター材料が検討され、希土類の酸化物($\text{CaO} \cdot \text{LaO}$)が検討された。⁷⁾

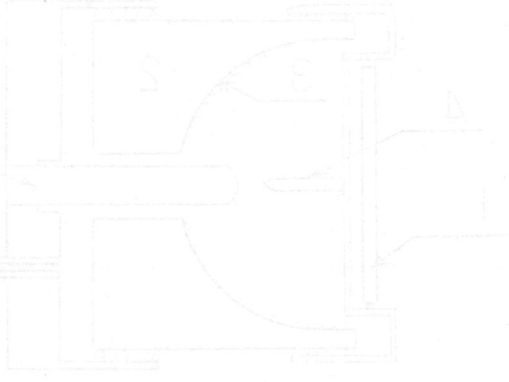
表3.1.8-1 Xeランプの特性と用途（○はその用途に適した特性）

用途 特性		計測・試験・実験用					投影用		特殊照明			工学用		医療用	
		白色標準光	分光計	ソーラーシミュレーター	耐色試験	各種実験装置	16・35・70nm映写機	顕微鏡	スポットライト	舞台照明	投照灯	光溶接機	アークイメージ炉	内視鏡	コアギュレーター
スペクトル	昼光スペクトルに酷似 演色性が良色温度6000℃)	○		○	○	○	○	○	○	○			○		
	赤外域の強いスペクトル				○						○	○		○	
	紫外域の強いスペクトル				○										
	紫外から赤外までの連続 スペクトル		○		○	○									
	光色の安定性（入力変動 及び寿命期間中色温度が 変わらない）	○	○	○		○	○	○	○	○				○	
点光源性	高輝度		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	安定なアーク	○	○	○		○	○	○	○		○	○	○	○	
	小さくできる発光部					○	○	○	○	○	○		○	○	



- 1. サファイア窓
- 2. アルミナボディー
- 3. Al蒸着ミラー
- 4. カソード
- 5. アノード

図3.1.8-1 セラミックス製キセノンショートアークランプ

光源	要求性能	最近の技術動向
ショートアークキセノンランプ	発光効率 長寿命化 輝度の安定化 安全性の向上 スタータレス化 もしくは始動パルス高圧の低下	<p>BaO, CaO, SrO, Al₂O₃ 系のエミッター使用によるアーク輝度の安定化と長寿命化^{1) 2)}</p> <p>トリエーテッドタングステンのThO₂含有率とグレインサイズの適正化によるアークの安定化³⁾</p> <p>紫外線劣化防止による破損対策⁴⁾</p> <p>セラミックスボディとサファイア窓を使用したミラー内蔵型ランプ⁵⁾</p> <p>可動電極を使用したスタータレス化⁶⁾</p> <p>トリエーテッドタングステンカソードの代替化⁷⁾</p> 

技 術 課 題	文 献
<p>高入力（1 KW）以上のランプに使用可能なBa系長寿命陰極</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) R. Eckel et al; Proc. Annu. Tech. Meet. Inst. Environ. Sci. Vol. 22nd '76 2) 浜松ホトニクス、ウシオ、I.L.C.カタログ 3) N. Ohba et al; Nippon Tungsten Review Vol. 12 '79 4) 公開特許公報(A) 昭和61-165942 5) I.L.C.社カタログ 6) U.S.P. 3,488,546 7) タングステンメーカーカタログ

3. 2. 特殊照明用光源

3. 2. 1. 自動車用

自動車用電球はその使用目的から、前照灯用電球と標識灯用電球に大別される。

前照灯は夜間の安全走行確保のために使用されるもので、自車の前方を照明するものである。走行時に前方遠くを明かるく照明するための走行ビーム（主ビームまたは主灯ともいう）と、対向車とのすれ違い時に、相手車の運転者に眩惑を与えないために、減光又はビームの照射方向を下方に向けるすれ違いビーム（副ビームまたは副灯ともいう）との二機能を備えている。またすれ違いビームの配光パターンの相違により米国系と欧州系に分けることができる。

1939年に米国で開発され実用化されたオールガラスシールドビーム電球は米国での標準品として採用され、開発後50年以上を経た現在でも使われている。

開発当初丸形（178mmφ、PAR56）2灯式（車輛の左右に各1灯）であったが、その後丸形（146mmφ、PAR46）4灯式（車輛の左右に各2灯）が開発された。更に、車のスタイル（デザインの要求）に合わせて角型2灯式（142×200mmφ）、角型4灯式（100×165mm）と外見上の変遷はあったが、前面レンズ、アルミ蒸着反射鏡、タングステンフィラメントで構成される基本的構造に変化はなく現在に至っている。その主な特長は下記の通りである⁽²³⁾。

- (1) 一連の自動機械による連続生産なので、安定した高品質の製品が得られる。
- (2) 光度維持率が良い。
- (3) 電球交換式のものに比べて長寿命。
- (4) 標準化されているので入手・交換が容易。
- (5) 大量生産による低価格。

自動車用前照灯の光源としては最高傑作といえよう。

2灯式シールドビーム型電球の場合、走行ビームとすれ違いビームは、電球内に設置された2本のフィラメント（C-6/C-6、主フィラメントおよび副フィラメント）を切換点灯して所定の配光パターンを形成する。主フィラメントは放物面反射鏡の焦点位置に配置され、前方正面方向を照射する。副フィラメントは、レンズに向かって見た場合、主フィラメントの2～3mm上方で、主フィラメントよりやや左側に偏った位置（左側通行用）、または右側に偏った位置（右側通行用）に配置されている。このフィラメント位置の偏位と前面レンズのステップの設計により、進行方向の前方斜左下方（左側通行用）、または斜右下方（右側通行用）を照射する。（非対称配光と呼ばれる）。

欧州では電球交換式の前照灯が主流である。1925年 A.Gravesの特許による電球が出現した。これはバルブ内にC-6/C-8の二本のフィラメントを有し、主フィラメント（C-6）は反射鏡の焦点位置に設置し主ビームを形成する。副フィラメント（C-8）は主フィラメントの前方（反射鏡の頂点より遠方）に設置し、さらにフィラメントの下半分を遮光板で囲み下方へ出る光を遮断してある。フィラメントの上半分から出た光は反射鏡の上半分で反射され、光軸に対して下向きの光となって路上手前を照射する。遮光板の端部で光が遮断されているため、前方に強い明暗境界線が生ずる。左右対称上下配光のこ

の方式は、以後欧州系の前照灯の主流となった。

1953～54年にCIE (International Commission on Illumination) が中心となり欧州系と米国系の前照灯の比較が行われた。走行ビームについては両者に大きな差はなかった。しかしすれ違いビームの場合前方正面を均一に照射する左右対称上下配光の欧州タイプに比べて、前方やや右側 (右側通行) の路面を照射する非対称配光の米国系配光パターンが歩行者や路肩の障害物の発見に有効であることがわかった。この結果をふまえて、これ迄フィラメントの下半分を覆っていた遮光板の一部を15°切り欠き、前方右側上方向にも光を照射させる現在の形に移行した。

一般照明用光源としてハロゲン電球が開発されるに伴ない⁽⁴⁾、⁽⁷⁾、⁽²⁴⁾、⁽²⁵⁾、⁽²⁶⁾、自動車用前照灯の光源にもハロゲン電球が使われるようになった。欧州では1962年H1型が開発され、以後H2、H3と続き、1969年にはH4型 (C-8/C-8) ハロゲン電球が開発された。ハロゲン電球は白熱電球に比べて、高効率で色温度が高いなどの特長があり、欧州ではH4型ハロゲン電球が前照灯用光源の主流となっている。

米国では前照灯用光源としてオールガラスシールドビーム電球以外は認められていなかったため、ハロゲン電球の採用は遅れた。C-6/C-6フィラメントで口金なしのカプセルを組込んだオールガラスシールドビーム電球が一部で使われた⁽²⁷⁾。

欧州および日本でのハロゲン電球の普及に加えて、車のデザインの要求 (車輛夫々の個有のフロントグリルの形状に沿った前照灯…異型前照灯) 等の流れもあり⁽²⁸⁾、米国でも1983年に電球交換式の前照灯の使用が認められるようになり、9004 (C-6/C-6)、9005 (C-8)、9006 (C-8) 等米国の配光規格に適合するハロゲン電球が開発された⁽⁹⁾。

1980年代半ばに、低ワット (30～35W) のHIDランプが開発され自動車用前照灯の光源としての採用が検討され始めた。メタルハライドランプは高効率で長寿命であるが、自動車用前照灯の光源として考えた場合、次の様な改良点が残されている。

- (1) 瞬時点灯、瞬時再点灯が困難。
- (2) 高周波点灯による電波障害。(雑音)
- (3) 点灯回路 (バラスト) が必要
- (4) 点灯に高電圧 (15～20KV) が必要。
- (5) コスト高。

しかし1988年米国SAE (Society of Automotive Engineers) で自動車用HIDランプのSAE規格案の検討が始まった。また1990年代の初めには限定された数量ではあるが、試用車が出現する見通しである。

前照灯のハロゲン電球は白熱電球に比べて色温度が高く標識灯用電球との光色の差が問題にされる様になって来た。例えば車幅灯は前照灯の近くにある関係上、色温度が低く、その差が目立つようになった。また全般的に長寿命、耐振性といった要求もあわせ、標識灯用光源として5W～30Wの小型ハロゲン電球が開発された。また一方では封入ガスを従来のアルゴンに代えて原子量の大きい不活性ガスであるクリプトンあるいはキセノンを封入したり、封入圧を上げて高色温度、長寿命化をはかった小形高輝度電球が開発され使用されるようになった⁽¹⁾、⁽²⁹⁾。

自動車 (特に乗用車) の追突事故防止策として、米国では1985年9月以降製造の車

(66ページへ)

光源	要求性能	最近の技術動向																																																																																																																																																							
3.2. 特殊照明光源 3.2.1. 自動車用 (1) ネオンガス 封入ランプ	長寿命 耐振 高効率	<p>特性例(ウエッジベース) 1)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>バルブ サイズ</th> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>効率 (lm/w)</th> <th>寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T-6.5</td> <td>14</td> <td>3</td> <td>27</td> <td>9.0</td> <td>1,500</td> </tr> <tr> <td>T-10</td> <td>14</td> <td>3.4</td> <td>35</td> <td>10.3</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>T-10</td> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>65</td> <td>13.0</td> <td>800</td> </tr> </tbody> </table> <p>特性例</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">初 特 性</th> <th colspan="2">寿 命</th> </tr> <tr> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>試験電圧 (v)</th> <th>定格寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>50</td> <td>14.5</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>14.0</td> <td>5</td> <td>38</td> <td>14.5</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>13.0</td> <td>7.5</td> <td>75</td> <td>14.5</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>10</td> <td>125</td> <td>14.5</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table> <p>特性例 2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">定 格</th> <th rowspan="2">色温度 (K)</th> <th rowspan="2">光束 (lm)</th> <th rowspan="2">効率 (lm/w)</th> <th colspan="2">封入ガス</th> </tr> <tr> <th>種類</th> <th>圧力(Atm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12V5W</td> <td>2,660</td> <td>54</td> <td>10.3</td> <td>Ar/N2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>12V10W</td> <td>2,750</td> <td>137</td> <td>14.0</td> <td>Kr/N2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>12V21W</td> <td>2,840</td> <td>428</td> <td>16.8</td> <td>Ar/N2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>12V55W</td> <td>3,090</td> <td>1,600</td> <td>25.0</td> <td>Ar</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>特性例 3)、4)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>寿命 (h)</th> <th>色温度 (K)</th> <th>口 金</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>80</td> <td>240</td> <td>3,050</td> <td rowspan="3">BA9s</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>10</td> <td>200</td> <td>240</td> <td>3,000</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>22.5</td> <td>450</td> <td>240</td> <td>3,250</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>80</td> <td>240</td> <td>3,000</td> <td rowspan="2">ウエッジベース W2.1×9.5d</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>10</td> <td>200</td> <td>240</td> <td>3,000</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>3</td> <td>26</td> <td>2,000</td> <td>2,750</td> <td rowspan="4">B10d</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>3</td> <td>26</td> <td>2,000</td> <td>2,750</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>50</td> <td>2,000</td> <td>2,800</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>5</td> <td>50</td> <td>2,000</td> <td>2,850</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>3</td> <td>34</td> <td>2,000</td> <td>2,750</td> <td rowspan="2">G4</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>3</td> <td>60</td> <td>2,000</td> <td>2,800</td> </tr> </tbody> </table>	バルブ サイズ	試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	効率 (lm/w)	寿命 (h)	T-6.5	14	3	27	9.0	1,500	T-10	14	3.4	35	10.3	500	T-10	13.5	5	65	13.0	800	初 特 性			寿 命		試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)	13.5	5	50	14.5	1,000	14.0	5	38	14.5	1,000	13.0	7.5	75	14.5	1,000	13.5	10	125	14.5	1,000	定 格	色温度 (K)	光束 (lm)	効率 (lm/w)	封入ガス		種類	圧力(Atm)	12V5W	2,660	54	10.3	Ar/N2	1	12V10W	2,750	137	14.0	Kr/N2	1	12V21W	2,840	428	16.8	Ar/N2	1	12V55W	3,090	1,600	25.0	Ar	4	試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	寿命 (h)	色温度 (K)	口 金	13.5	5	80	240	3,050	BA9s	13.5	10	200	240	3,000	13.5	22.5	450	240	3,250	13.5	5	80	240	3,000	ウエッジベース W2.1×9.5d	13.5	10	200	240	3,000	13.5	3	26	2,000	2,750	B10d	13.5	3	26	2,000	2,750	13.5	5	50	2,000	2,800	13.5	5	50	2,000	2,850	13.5	3	34	2,000	2,750	G4	13.5	3	60	2,000	2,800
バルブ サイズ	試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	効率 (lm/w)	寿命 (h)																																																																																																																																																				
T-6.5	14	3	27	9.0	1,500																																																																																																																																																				
T-10	14	3.4	35	10.3	500																																																																																																																																																				
T-10	13.5	5	65	13.0	800																																																																																																																																																				
初 特 性			寿 命																																																																																																																																																						
試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)																																																																																																																																																					
13.5	5	50	14.5	1,000																																																																																																																																																					
14.0	5	38	14.5	1,000																																																																																																																																																					
13.0	7.5	75	14.5	1,000																																																																																																																																																					
13.5	10	125	14.5	1,000																																																																																																																																																					
定 格	色温度 (K)	光束 (lm)	効率 (lm/w)	封入ガス																																																																																																																																																					
				種類	圧力(Atm)																																																																																																																																																				
12V5W	2,660	54	10.3	Ar/N2	1																																																																																																																																																				
12V10W	2,750	137	14.0	Kr/N2	1																																																																																																																																																				
12V21W	2,840	428	16.8	Ar/N2	1																																																																																																																																																				
12V55W	3,090	1,600	25.0	Ar	4																																																																																																																																																				
試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	寿命 (h)	色温度 (K)	口 金																																																																																																																																																				
13.5	5	80	240	3,050	BA9s																																																																																																																																																				
13.5	10	200	240	3,000																																																																																																																																																					
13.5	22.5	450	240	3,250																																																																																																																																																					
13.5	5	80	240	3,000	ウエッジベース W2.1×9.5d																																																																																																																																																				
13.5	10	200	240	3,000																																																																																																																																																					
13.5	3	26	2,000	2,750	B10d																																																																																																																																																				
13.5	3	26	2,000	2,750																																																																																																																																																					
13.5	5	50	2,000	2,800																																																																																																																																																					
13.5	5	50	2,000	2,850																																																																																																																																																					
13.5	3	34	2,000	2,750	G4																																																																																																																																																				
13.5	3	60	2,000	2,800																																																																																																																																																					
(2) クロムガス 封入ランプ																																																																																																																																																									
(3) ミニチュア HIDランプ																																																																																																																																																									

技 術 課 題	文 献
<p>1) フィラメント 材質の研究 加工技術の検討 コイル加工精度の向上</p> <p>2) 封入剤 (加圧化合物を含む) 組成の検討 純度の向上</p> <p>3) 管球材料 耐熱性の向上 加工性の改善 材質の研究</p>	<p>1) 本田 他 : 東芝レビュー, 42-9(1987), 662</p> <p>2) Howe, S.H. et al : Journal of IES, Oct. (1983), 122-130.</p> <p>3) オスラム社カタログ.</p> <p>4) 本田 他 : 東芝レビュー, 39-2(1984), 169.</p>

光源	要求性能	最近の技術動向																																							
(4) H4ランプ (前照灯明)	(a) 欧州	特性例																																							
		5),9)																																							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">形式</th> <th colspan="3">初 特 性</th> <th colspan="2">寿 命</th> </tr> <tr> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>試験電圧 (v)</th> <th>定格寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H 1</td> <td>13.2</td> <td>55</td> <td>1,550</td> <td>13.2</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>H 3</td> <td>13.2</td> <td>55</td> <td>1,450</td> <td>13.2</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>H 4</td> <td>13.2</td> <td>60/55</td> <td>1,650 /1,000</td> <td>13.2</td> <td>100/200</td> </tr> </tbody> </table>	形式	初 特 性			寿 命		試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)	H 1	13.2	55	1,550	13.2	150	H 3	13.2	55	1,450	13.2	150	H 4	13.2	60/55	1,650 /1,000	13.2	100/200										
		形式		初 特 性			寿 命																																		
			試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)																																		
		H 1	13.2	55	1,550	13.2	150																																		
		H 3	13.2	55	1,450	13.2	150																																		
		H 4	13.2	60/55	1,650 /1,000	13.2	100/200																																		
		(b) 日本																																							
		4),6),7),9)																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">形式</th> <th colspan="3">初 特 性</th> <th colspan="2">寿 命</th> </tr> <tr> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>試験電圧 (v)</th> <th>定格寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H1-C</td> <td>12.8</td> <td>70</td> <td>1,700</td> <td>14.0</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>H1-d</td> <td>12.8</td> <td>60</td> <td>1,000</td> <td>14.0</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>H3-C</td> <td>12.8</td> <td>68</td> <td>1,450</td> <td>14.0</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>H 5</td> <td>12.8</td> <td>50</td> <td>1,100</td> <td>14.0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>H 6</td> <td>12.8</td> <td>65/55</td> <td>1,200 / 800</td> <td>14.0</td> <td>100/200</td> </tr> </tbody> </table>	形式	初 特 性			寿 命		試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)	H1-C	12.8	70	1,700	14.0	320	H1-d	12.8	60	1,000	14.0	320	H3-C	12.8	68	1,450	14.0	300	H 5	12.8	50	1,100	14.0	100	H 6	12.8	65/55	1,200 / 800	14.0	100/200
形式		初 特 性			寿 命																																				
	試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)																																				
H1-C	12.8	70	1,700	14.0	320																																				
H1-d	12.8	60	1,000	14.0	320																																				
H3-C	12.8	68	1,450	14.0	300																																				
H 5	12.8	50	1,100	14.0	100																																				
H 6	12.8	65/55	1,200 / 800	14.0	100/200																																				
(c) 米国																																									
8),9)																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">形式</th> <th colspan="3">初 特 性</th> <th colspan="2">寿 命</th> </tr> <tr> <th>試験電圧 (v)</th> <th>電力 (w)</th> <th>光束 (lm)</th> <th>試験電圧 (v)</th> <th>定格寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9004</td> <td>12.8</td> <td>65/45</td> <td>1,200 / 700</td> <td>14.0</td> <td>150/320</td> </tr> <tr> <td>9005</td> <td>12.8</td> <td>65</td> <td>1,700</td> <td>14.0</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>9006</td> <td>12.8</td> <td>55</td> <td>1,050</td> <td>14.0</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>9007</td> <td>12.8</td> <td>66/55</td> <td>350 /1,050</td> <td>14.0</td> <td>150/320</td> </tr> </tbody> </table>	形式	初 特 性			寿 命		試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)	9004	12.8	65/45	1,200 / 700	14.0	150/320	9005	12.8	65	1,700	14.0	150	9006	12.8	55	1,050	14.0	320	9007	12.8	66/55	350 /1,050	14.0	150/320						
形式		初 特 性			寿 命																																				
	試験電圧 (v)	電力 (w)	光束 (lm)	試験電圧 (v)	定格寿命 (h)																																				
9004	12.8	65/45	1,200 / 700	14.0	150/320																																				
9005	12.8	65	1,700	14.0	150																																				
9006	12.8	55	1,050	14.0	320																																				
9007	12.8	66/55	350 /1,050	14.0	150/320																																				

技 術 課 題	文 献
1)フィラメント 材質の研究 加工技術の検討 コイル加工精度の向上 2)封入ガス (ハロゲン化合物を含む) 組成の検討 純度の向上 3)管球材料 耐熱性の向上 加工性の改善 材質の研究	5) Economic Commission for Europe : E/ECE/324. E/ECE/TRANS/505,Reguiation No.37 : Uniform Provisions Concerning the Approval of Incandescent Electric Filament Lamps to be used in Approved Lights of Power Driven Vehicles and of Their Trailers. 6) JIS C 7527-1984 7) 本田 他 : 東芝レビュー、36-12, (1981),1115. 8) Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS)No.108 : Lamps,reflective devices and associated equipment. 9) 本田 他 : 照学誌,71-3, (1987),201. 10) Cayless,M.A : Electrical Engineer,Mar.(1976), 18-20.

光源	要求性能	最近の技術動向																																																																			
(5) メタルハライドランプ		特性例 11)~16) 17), 18) <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Double-Ended</th> <th>Single-Ended</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電力 (w)</td> <td>35</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>光束 (lm)</td> <td>> 2,600</td> <td>2,400</td> </tr> <tr> <td>効率 (lm/w)</td> <td>74</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>色温度 (K)</td> <td>4,000</td> <td>3,000</td> </tr> <tr> <td>演色性 (Ra)</td> <td>—</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>寿命 (Hrs)</td> <td>> 1,500</td> <td>6,000</td> </tr> </tbody> </table>		Double-Ended	Single-Ended	電力 (w)	35	39	光束 (lm)	> 2,600	2,400	効率 (lm/w)	74	62	色温度 (K)	4,000	3,000	演色性 (Ra)	—	80	寿命 (Hrs)	> 1,500	6,000																																														
	Double-Ended	Single-Ended																																																																			
電力 (w)	35	39																																																																			
光束 (lm)	> 2,600	2,400																																																																			
効率 (lm/w)	74	62																																																																			
色温度 (K)	4,000	3,000																																																																			
演色性 (Ra)	—	80																																																																			
寿命 (Hrs)	> 1,500	6,000																																																																			
(6) 高圧ナトリウムランプ		特性例 19) <table border="1"> <tbody> <tr> <td>電力 (w)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>光束 (lm)</td> <td>1,650</td> </tr> <tr> <td>色温度 (K)</td> <td>2,000</td> </tr> </tbody> </table>	電力 (w)	30	光束 (lm)	1,650	色温度 (K)	2,000																																																													
電力 (w)	30																																																																				
光束 (lm)	1,650																																																																				
色温度 (K)	2,000																																																																				
(7)	高効率 低価格 各種発光色	特性例 20), 21), 22) <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材 料</th> <th rowspan="2">発光色</th> <th rowspan="2">発光波長 (nm)</th> <th colspan="2">視感効率 (lm/w)</th> </tr> <tr> <th>市販品</th> <th>最高値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>結 晶 基 板</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>GaP (Zn, O)</td> <td>GaP</td> <td>赤</td> <td>700</td> <td>~0.8 3.0</td> </tr> <tr> <td>Ga_{0.65}Al_{0.35}As</td> <td>GaAs</td> <td>赤</td> <td>660</td> <td>~1.2 2.1</td> </tr> <tr> <td>Ga_{0.65}Al_{0.35}As</td> <td>GaAlAs</td> <td>赤</td> <td>660</td> <td>~3.6 5.3</td> </tr> <tr> <td>GaAs_{0.6}P_{0.4}</td> <td>GaAs</td> <td>赤</td> <td>650</td> <td>0.14 0.35</td> </tr> <tr> <td>GaAs_{0.35}P_{0.65} (N)</td> <td>GaP</td> <td>橙</td> <td>630</td> <td>0.6 1.2</td> </tr> <tr> <td>GaAs_{0.15}P_{0.85} (N)</td> <td>GaP</td> <td>黄</td> <td>590</td> <td>0.5 1.1</td> </tr> <tr> <td>GaP (N)</td> <td>GaP</td> <td>黄</td> <td>590</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>GaP (N)</td> <td>GaP</td> <td>黄緑</td> <td>565</td> <td>~1.8 4.3</td> </tr> <tr> <td>GaP</td> <td>GaP</td> <td>緑</td> <td>555</td> <td>0.54 1.36</td> </tr> <tr> <td>GaN</td> <td>Al₂O₃</td> <td>青</td> <td>490</td> <td>0.04 0.14</td> </tr> <tr> <td>SiC</td> <td>SiC</td> <td>青</td> <td>480</td> <td>0.004 0.019</td> </tr> </tbody> </table> <p>赤色発光ダイオード InGaP系で23 lm/wを予測</p>	材 料	発光色	発光波長 (nm)	視感効率 (lm/w)		市販品	最高値	結 晶 基 板					GaP (Zn, O)	GaP	赤	700	~0.8 3.0	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAs	赤	660	~1.2 2.1	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAlAs	赤	660	~3.6 5.3	GaAs _{0.6} P _{0.4}	GaAs	赤	650	0.14 0.35	GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	GaP	橙	630	0.6 1.2	GaAs _{0.15} P _{0.85} (N)	GaP	黄	590	0.5 1.1	GaP (N)	GaP	黄	590	0.45	GaP (N)	GaP	黄緑	565	~1.8 4.3	GaP	GaP	緑	555	0.54 1.36	GaN	Al ₂ O ₃	青	490	0.04 0.14	SiC	SiC	青	480	0.004 0.019
材 料	発光色	発光波長 (nm)				視感効率 (lm/w)																																																															
			市販品	最高値																																																																	
結 晶 基 板																																																																					
GaP (Zn, O)	GaP	赤	700	~0.8 3.0																																																																	
Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAs	赤	660	~1.2 2.1																																																																	
Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAlAs	赤	660	~3.6 5.3																																																																	
GaAs _{0.6} P _{0.4}	GaAs	赤	650	0.14 0.35																																																																	
GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	GaP	橙	630	0.6 1.2																																																																	
GaAs _{0.15} P _{0.85} (N)	GaP	黄	590	0.5 1.1																																																																	
GaP (N)	GaP	黄	590	0.45																																																																	
GaP (N)	GaP	黄緑	565	~1.8 4.3																																																																	
GaP	GaP	緑	555	0.54 1.36																																																																	
GaN	Al ₂ O ₃	青	490	0.04 0.14																																																																	
SiC	SiC	青	480	0.004 0.019																																																																	

技 術 課 題	文 献
1)瞬時点灯 2)瞬時再点灯(高温時) 3)雑音対策 4)小型、軽量の安定器 5)価格	11) Labe,W.H.and Davenport,J.M : J.III Engng.Soc. Jan. (1982),66. 12) Hansler,R.L.and Davenport,J.M : 1985 IES Annual Conference Technical Paper,No.47,1985. 13) 井上 : 照明学会研究会資料,LS-83-13-16,1983. 14) 広瀬 : 照明学会研究会資料,LS-83-13-16,1983. 15) PHILIPS社カタログ. 16) OSRAM社カタログ. 17) Heider,J.and Fahrnich.H.J.(根本 訳) : 照学誌 71-9,(1987),554-556 18) Birkhofer,H.P : Lighting in Australia,Dec.(1987), 14~19.
上記に同じ	19) Szekacs,G : 1985 IES Annual Conference Technical Paper.No.4.1985.
青色発光ダイオードの開発。 橙・黄・緑色ダイオードの 効率向上	20) 古池 他 : 応物、53-2(1984),132. 21) 応用物理学学会関西支部編 : 化合物半導体、 日刊工業(昭61),113~122. 22) Bour,T.et al : SAE Paper No.870212.(1987). 23) 三橋 : 自動車技術,32-8(1978),781. 24) 小松 他 : 照学誌,64-11(1980),610. 25) 木瀬 他 : 自動車技術,36-10(1982),1047. 26) 本田 他 : 自動車技術,36-10(1982),1052. 27) Ehrhardt,R.A. : SAE Paper,790200(1979). 28) 佐藤 他 : 自動車技術,42-9(1988),1182. 29) 本田 : 照学誌,67-11(1983),548. 30) 上田 他 : 自動車技術,42-9(1988),1170. 31) 小川 : 自動車技術,38-10(1984),1189.

(59ページから)

にセンター・ハイマウンテド・ストップランプ (Center High Mounted Stop Lamp: CHMSL または HMSL) と呼ばれる停止灯を1灯増設することが法制化された。これは車輻中心で、後部窓の上縁又は下縁附近に取付けるもので、過去2回にわたる実地テストの結果追突事故の低減に効果が認められたものである^{(30), (31)}。

このCHMSLは取付場所やデザイン上の面で細い横長の設計のものが多く見られる。その一部には光源として白熱電球の代わりにGaAlAs系の高輝度赤色発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) を横に並べた灯具が1986年に実用化された。この他にリアー・サイド・マーカーランプ (Rear Side Marker Lamp) にも一部赤色LEDが使われるようになってきた。また後部標識灯にLEDを用いる試みもあるが、まだ実用化されていない。

赤色高輝度LEDは、白熱電球と赤色レンズを組合せた光源と比較して、省電力、小型、軽量、長寿命、高信頼性など多くの長所があるが、高価であることが最大の欠点である。赤色以外にGaAlInP系で橙色及び緑色の高輝度LEDの可能性が予測されている。LEDの低価格化と相まって橙色の高輝度LEDが実用化されれば、自動車用標識灯の設計・構造などが大きく変わるであろう。

3.2.2 映写・光学機器用

代表的な映写・光学機器の光源について技術動向を記す。

また、近年これら機器の光源としてメタルハライドランプ、特にショートアークタイプのランプが検討されている。

(1) 16mm, 35mm, 75mm映写用光源

1KW入力～5KW入力のキセノンショートアークランプが使用されている。ランプは全て水平点灯化された。ランプの技術動向は主に信頼性向上であり、寿命延長、アーク不安定対策破裂の信頼性向上がなされてきた。

光源には、昼光色に近似した分光分布と点光源性が要求される。

現在はビデオ装置にかわっているが、以前、航空機上の映写に300W～350W入力のショートアークメタルハライドランプが使用されていた。寿命、色ムラ等を改良すれば当光源としてメタルハライドランプの使用は可能である。

(2) 分光蛍光光度計用光源

発光長が1～2mm、75W～150Wのキセノンショートアークランプが使用されている。紫外から可視の連続発光、高輝度、出力の安定（光リップルで2%以下）が必要とされる。

出力の不安定は陰極輝点の移動や寸法変化が原因である。トリエーテッドタングステンを使用した陰極の寿命は500～1000時間である。Ba系の酸化物陰極を使用したランプが開発され、寿命が3000時間程度にまで延長された。¹⁾

発光長10mmのショートアークメタルハライドランプが、当光源として開発された。²⁾

出力の不安定原因は、キセノンランプと同じであって、その対策が検討されている。キセノンランプと異なる分光分布が必要な場合には有効であろう。

(3) オーバーヘッドプロジェクター用光源

ランプ入力250W～650W、色温度3000K～3200K、発光効率25lm/W程度のハロゲンランプが使用されている。

最近575W入力のショートアークメタルハライドを使用した装置が製品化された。明室での使用が可能で、演色性もすぐれている。³⁾

将来、当光源はメタルハライドランプが主流になると予想される。

(4) 内視鏡光源

150W～500W入力のショートアークキセノンランプが使用されてきた。光をガラスファイバーに集光する必要から、点光源性が当然要求される。

光源に要求される最も厳しい性能は色の再現性である。ランプの寿命劣化、ランプの交換等、いかなる場合でもキセノンランプ程度の色再現性が要求される。

文 献

- 1) 高岡他：照明学会研究会資料 L S - 8 6 - 3
- 2) 安田他：同上 L S - 8 6 - 4
- 3) エルモ、映機等、光学機器メーカーカタログ

3.2.3 スタジオ用

古くより白熱電球が主体で、近年はハロゲン電球に切り替わっている。
スタジオでは 1.5kW~2kW、舞台では 500W~1kW が代表的なものである。

HIDではメタルハライドランプがまれに使われる。外光(昼光)との混光が起こるところで、色温度を揃える意味で使われる。

蛍光灯もベースの光を確保するために用いられる場合がある。この場合色温度を揃えるために白熱灯色の蛍光灯を用い、パネルで色調整を行う。

キセノンは遠距離用のスポットに限って使われる。点光源であり、大光量が取れるためであるが、欠点としては点灯方向の制約、安定器が大きい、安定点灯までの時間がかかり調光ができないなど。

演出効果としてレーザーも使われる。

(参考文献)

- 1) 日本照明家協会：舞台テレビジョン照明4、照明設備と機器(1985)

3.2.4. 色判別、検査、鑑別用

a) 1層式色評価用蛍光ランプ

カラー印刷物等の色検査用には印刷学会の推奨基準が昭和40年に設定されたのを契機に、この基準を満足する色評価用蛍光ランプが昭和42年ころから各社により開発、製品化された。これらいわゆる第一次色評価用蛍光ランプはすべて2層蛍光体膜構造を採用しているのが特徴である。これは平均演色評価数(Ra)が95をうわまわる高演色性を得るには有害な青発光水銀輝線を吸収する必要があるため、そのためにガラス管側にフィルター層を設ける必要があるためである。

しかしながら、このフィルター層は青発光水銀輝線のみならず可視域全体に吸収帯を有するために、ランプ光束を大きく低下させるという性能上の問題と、塗布工程が2度必要になるという製造上の問題をかかえていた。

この問題を解決したのが2価ユーロピウムの発光を利用した各種の青緑色発光蛍光体の開発である。2価のユーロピウムは励起帯が可視光の青色領域近くまであり、母体の選定で青発光水銀輝線を必要なレベルまで低減することが可能となる。現在実用化されているのは以下に示す3種類の蛍光体である。

- * $2(\text{Sr}, \text{Eu})\text{O} \cdot 0.84\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0.16\text{B}_2\text{O}_3$
- * $(\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Eu})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
- * $(\text{Sr}, \text{Eu})_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$

これら蛍光体の採用により、Raは従来の98から99に向上するとともに、ランプ効率は実に15~19%も向上したいわゆる第2次色比較用蛍光ランプが開発、製品化された。

1層塗布でよいためランプ製造工程も簡素化され、製品の品質も大幅に向上した。さらに蛍光体層が1層塗布になったため、従来は困難であった紫外線防止形(退色防止形)も製品化が可能となった。

b) 標準光D65用蛍光ランプ

可視域の色比較には上記の色比較用蛍光ランプで実用上は問題ないが、蛍光色のように300~380nmの紫外線を含む物体色の表示に用いる最も基本的な光は標準の光、D65である。これまではこれを実現する標準光源はなく、それに近似するものとしてJISキセノン標準白色光源があったが、性能、取扱性から問題が多くほとんど普及していない。これにたいし、上記第2次色評価用蛍光ランプの蛍光体とその塗布技術を基に、紫外発光蛍光体を付加してまず2層方式ランプが開発された。しかしながら、2層式ランプは上記第1次色評価用蛍光ランプと同様に製造上の問題が多く、ひきつづき単層化への努力が重ねられ、1988年に単層式ランプが製品化された。

分光分布は厳密には標準の光D65を再現していないものの、重要な特性の条件等色指数はBC級であり、キセノン標準白色光源のBD級を上回っている。

c) ダイヤモンド鑑定用蛍光ランプ

ダイヤモンドの鑑定はきわめて高度な技術が要求され、かつその色の鑑定には用いる光源の選定がきわめて重要である。一般にダイヤモンドは400nm付近に吸収が見られ、特に黄色系統の演色性(R10)が重視される。この要求に合致した蛍光ランプが1980年に製品化されたが、寿命性能に問題があり、高負荷に強い新青緑蛍光体の採用により寿命性能の向上と、演色性もRa93、R10=79と従来より向上したものが開発された。

光源	要求性能	最近の技術動向
色判別、検査、鑑別用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発光スペクトルと基準光源との合致 ・ 高演色性 ・ 高効率性 	<p>1) 色評価用蛍光ランプ^{1) 2) 3)} (退色防止形⁴⁾も含む)</p> <p style="padding-left: 40px;">ランプ色温度：5000K Ra：99, Ri ≥ 95</p> <p style="padding-left: 40px;">ランプ効率：59.01m/W¹⁾ 57.51m/W^{2) 3)}</p> <p>2) 色比較・検査用 D65 蛍光ランプ^{5) 6)}</p> <p style="padding-left: 40px;">ランプ色温度：6500K Ra：98, Ri ≥ 94</p> <p style="padding-left: 40px;">条件等色指数：MI_{v10} = 0.44 MI_{uv} = 0.56</p> <p style="padding-left: 40px;">ランク：B C</p> <p>3) ダイヤモンド鑑定用蛍光ランプ^{7) 8)}</p> <p style="padding-left: 40px;">ランプ色温度：5500K Ra：93 R₁₀：79</p> <p style="padding-left: 40px;">(R_{v1} = 90, R_{v2} = 90, R_{v3} = 90, R_{v4} = 91, R_{v5} = 92)</p> <p style="padding-left: 40px;">R₁₀は特に黄色の見えかたが重要で選定 R_{v1} ~ R_{v5} はダイヤモンドの色判定用に選定された試験色</p> <p>4) 葉たばこ選別用蛍光ランプ⁹⁾</p> <p style="padding-left: 40px;">ランプ色温度：6100 ± 100K R_{τa} ≥ 90</p> <p style="padding-left: 40px;">R_{τa}は代表的な葉たばこ6種類に対する特殊演色評価数の平均値</p>

技術課題	参考文献
要求性能に準 ずる	1) 村上 他：三菱電機技報 <u>52</u> , 701(1978) 2) 高橋 他：昭59照学全大14 3) 田屋 他：東芝レポ- <u>38</u> , 167(1983) 4) 秋山 他：東芝レポ- <u>40</u> , 1140 (1985) 5) 秋山 他：昭62照学全大65 6) L.Mori et al:CIE 20th session '83 D1111/1 7) 秋山 他：昭56照学全大5 8) 秋山 他：電気通信学会技術報告 <u>82</u> , 69 (1982)CPM82-17 9) 日本色彩研究所：葉たばこ用蛍光ランプの規定 及び検査方法SK540724(1979)

3. 2. 5. ディスプレイ用素子

ディスプレイ用素子として、発光形と非発光形があるが、ここでは発光形として、発光ダイオード(LED)、エレクトロルミネセンス(EL)、プラズマディスプレイ(PDP)、蛍光表示管(VFD)、陰極線管(CRT)、白熱電球および放電管を、非発光形として、液晶(LCD)およびエレクトロクロミック(ECD)を取上げる。

ディスプレイデバイスに要求される機能として、基本的なものは、表示情報量(表示色、表示の種類と要素の数、観察距離など)、表示品質(輝度とコントラスト、解像度、フリッカ、グレアなど)、運用性(対話機能など)、経済性に大別される。ディスプレイデバイスの主要特性について比較したものを表3.2.5-1に示す。種類、使用条件により評価も異なるが、技術動向を見る上で参考にされたい。これらの特性のうち、明るさ(輝度、効率など)、光色などを主に最近の技術動向を簡単に概説するにとどめる。

(1) 発光ダイオード(LED)

発光ダイオード(Light Emitting Diode)はⅢ-V族の化合物半導体が一般的に使用され、赤色、橙色、黄色、緑色のものが実用化されているが、青色のものは効率が低く研究課題である。その特性は、小形電球に比べ、長寿命、信頼性に優れ、小形軽量、省電力、低電圧駆動など多くの特徴がある。

1928年、Lossevによる、SiC注入形ELの実験の成功に始まるが、Ⅲ-V族の化合物半導体として1968年のGaAsP(赤色光)および1970年のGaP(赤色光)の実用化以降、高輝度化、多色化、低価格化が進んだ。GaP, GaAsPを用いたLEDの基本構造を図3.2.5-1に示す。LEDの技術動向を表3.2.5-2(90ページ)に示す。

(a) 高輝度化

高輝度化は、結晶材料自体の内部発光効率の向上と電極構造、モールド樹脂材質、レンズ形状などによる外部発光効率の向上の二面からの改良があった。

内部発光効率の向上は、赤色発光のものの結晶材料としてGaAsPからGaPへ、さらにGaAlAsが開発され、結晶欠陥の少ない結晶成長法の開発により、発光効率3~4%、光度300~500mcd(電流20mA時以下同じ)が得られている。GaAlAsのLEDはピーク波長660nmで、高電流でも発光効率は飽和しない。さらに、ダブルヘテロ構造により、1,000~5,000mcdのものがある。緑色発光(565nm)のものも、GaPの結晶成長法の改良およびNのドーピングなどにより、光度100~300mcdのものが得られている。純緑色発光(555nm)のものは、フォノンを介した自由エキシトンの再結合を利用したもので、光度400mcdが得られている。橙色発光、黄色発光のものはGaAs_{1-x}P_xの混晶比Xを変化させることによって得られ、黄色発光はGaP(Nのドーピング)も実用化されている。

青色発光のLEDは、GaN(ピーク波長490nm、光度10mcd)、SiC(480nm、6mcd)が実用化されているが、輝度が低い。この他の材料として、Ⅱ-Ⅳ族化合物のZnSe、ZnSなどが注目されている。

外部発光効率の向上は、チップの裏面や側面に出る光も前方に取り出すため、チップ

ディスプレイデバイスの主要特性比較⁽¹⁾

表 3.2.5-1

(記号説明, ◎:優れている, ○:良い, △:可, ×:不可)

特性項目	デバイス	CRT	LED	ELP	VFD	PDP	LCD	ECD	白熱電球	放電管	備考
1. 表示容量 (情報量)	大	大	小~中	大	小~大	大	小~大	小	小~中	小~中	画素数/面積
2. 表示サイズ	小~大	小~大	小~大	中~大	小~大	中~大	小~大	小~中	小~大	中~大	
3. 表示品位	◎	◎	◎~◎	◎	◎	◎~◎	◎~◎	◎	◎	◎	文字, 図形, 映像等総合的
4. 応答速度 (μs)	0.01~10 ⁵	0.01~10	0.01~10	1~10	10	1~20	0.1~500×10 ³	50~500×10 ³	~10×10 ³	1~5×10 ³	温度, 方式による
5. メモリ	なし	なし	なし	なし(可)	なし	可能	可能	可能	なし	なし	
6. 表示モード	発光	発光	発光	発光	発光	発光	非発光	非発光	発光	発光	
7. 発光色	フルカラー	赤黄緑	赤黄緑	黄緑ほか	緑(赤黄青)	橙ほか (フルカラー可)	白/黒地 (フルカラー可)	青ほか	白ほか (フルカラー可)	フルカラー	代表色を示す。
8. 輝度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	—	—	◎	◎	
9. 視認角	◎	△~◎	△~◎	◎	◎	◎	△~◎	◎	◎	◎	LCDのGH方式はよい。
10. 大きさ (形状)	大	薄形	薄形	薄形	薄形	薄形	薄形	薄形	中	中	
11. 温度範囲 (°C)	-20~70	-40~85	-30~70	-40~85	-20~70	-20~70	-25~85	-20~70	-40~50	5(-20)~40	パネル動作時 ()内, 水銀なしのもの
12. 信頼度(寿命)(hrs)	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴ ~10 ⁵	10 ⁴ ~10 ⁵	10 ⁵	10 ⁷ 回	5×10 ³	10 ⁴	
13. 消費電力	多	多	中~多	中	中~多	中~多	少	少	多	中~多	駆動回路含む
14. 動作電圧 (V)	10~30k	2	200	10~40	120~300	1.5~15	2	1.5~100	100~20	100~20	表示容量, 駆動方式による
15. LSI駆動容易性	×	◎	△	◎	△	◎	◎	◎	×	△	

マウントする電極をパラボラ形にし、外圍器反射板を反射率の高い樹脂で構成し、さらにレンズを最適形状にして、高輝度化が図られた。

高輝度化により、屋内のみでなく屋外ディスプレイ用途にも使用されるようになり、文字が流れるスクロール表示、グラフィック表示などができる交通情報板、広告板などの大形ディスプレイ装置が実用化されている。さらに高輝度になれば、信号機、警報機、自動車の尾灯、非常灯なども実用化可能である。

(b) 多色化

赤色、橙色、黄色および緑色発光のLEDは高輝度のものが実用化され、青色のLEDも1981年に実用化され、フルカラー化が可能となった。しかし、青色のLEDは赤色、緑色のLEDにくらべ輝度が低く、信頼性など課題が多い。また、GaN（青色）は順方向電圧の低減も課題である。フルカラーの平面パネルや壁掛けテレビの開発には青色のLEDの高輝度化に掛かっているといえる。また、1チップで、赤色から緑色までの色が変わるマルチカラーLEDが発表されている。これらのパネルの製品化や電子写真用プリンタの書込み光源、ファクシミリ用原稿読取り光源など高密度実装化が課題となる。その方法として、ハイブリット方式、モノリシック方式などがあり、モノリシック方式で発光点間が100 μm 程度のものが可能となった。

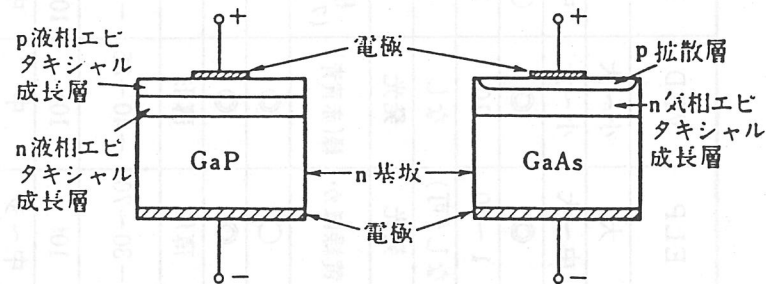


図 3.2.5-1 GaP, GaAsPを用いたLEDの基本構造(6)

(2) エレクトロルミネセンス (EL)

エレクトロルミネセンス (Electroluminescence) は電流で発光する注入形EL (LED、半導体レーザー) と電界で発光する真性ELに大別されるが、一般にELは、真性ELを指す場合が多い。

1936年、Destriauは硫化亜鉛 (ZnS) を主体とする蛍光体に高電界を加えたときに発光する現象を発見した。1952年、米国でELランプ (無機分散形EL) が開発され、面光源として注目された。無機分散形EL (ホーロー形EL) は低輝度、短寿命のため自動車、航空機、船舶などの計器盤照明などに使用されるにとどまった。長い低迷ののち、1968年のルモセン素子 (米国)、1974年の二重絶縁構造薄膜EL (日本) の発表により、再び注目されるようになり、材料および製造方法の改良により、有機分散形EL、薄膜ELは輝度、信頼性など向上して実用化された。現在実用化されている各種ELの基本構造を図3.2.5-2に、特徴を表3.2.5-3に示す。ELの技術動向を表3.2.5-4(92ページ)に示す。

(a) 無機分散形

無機分散形ELは蛍光体粉末 (ZnS にCu, Al, Clなどをドーピングした材料) を有機溶剤で分散した高誘電体バインダと混合し、ホーロー (またはガラス) 上に数10 μ mの厚さに塗布し、その上に反射絶縁層と電極を付けたものを防湿性フィルムでパッケージしたものである。

緑色光 (ZnS : Cu, Cl) で1lm/W程度で、計器の指示などに使用されている。

(b) 有機分散形

有機分散形ELは、透明導電膜 (酸化インジウム) 付きフィルム上に、蛍光体粉末と高誘電率バインダと混合したものを数10 μ mの厚さに塗布し、その上に反射絶縁層と金属電極 (Al箔) を付けたものを防湿性フィルムでパッケージしたものが一般的である。

高輝度、長寿命化には、蛍光体材料・付活剤の改良、最適粒径化、高誘電率バインダの開発、防湿対策および膜厚作製技術の改良などにより、青緑色発光 (500nm) の蛍光体 (ZnS : Cu, Cl) のものが、輝度10~150cd/m² (100V/50~1,000Hz) で最も明るい。青緑色以外の発光色については、付活剤の変更や蛍光顔料を添加などして、青色、緑色、橙色、赤色、白色の発光のものが実用化されているが、各色の発光効率の差が大きすぎる。寿命は輝度と相反する関係にある。寿命時間は点灯条件、環境条件に影響されるが、5,000時間以上 (20℃、湿度70%) である。

分散形有機ELの特徴は、(a) 薄くて軽く、フレキシブルな面光源である。(b) 形状が自由で、大面積もできる。(c) 消費電力が少ないので、発熱も少ない。(d) 構造が簡単で量産化が容易、などである。この特徴を生かし、装置の計器盤の照明、複写機 (PPC感光ドラム) の除電用光源、液晶用バックライトなどに使用されている。小形白黒液晶テレビのバックライト (白色光) の例として、輝度65cd/m²、寿命2,000時間以上のものがある。

(c) 薄膜EL

薄膜ELは発光層を絶縁層で挟む二重絶縁構造となっており、透明導電膜電極付きガラス基板上に順次、絶縁層、発光層、絶縁層、背面電極が真空蒸着またはスパッタなどの薄膜作製技術によって積層されている。絶縁層の材料として、絶縁破壊電圧の高い(10⁶ V/cm以上) Y₂O₃、SiO₂、Al₂O₃、Ta₂O₅、Si₃N₄、Sm₂O₃、などや誘電率の高いSrTiO₃、BaTiO₃、PbTiO₃などが用いられている。発光層として、ZnS:Mn(黄橙色)、ZnS:TbF₃(緑色)など、輝度100~2,000cd/m²、寿命10,000時間以上のものが実用化されている。また、駆動回路や駆動用ICの開発により、黄橙色マトリックス表示パネルが実用化され、表示面積の大形化、高精細化が進んでいる。駆動電圧の低減については、絶縁層に高誘電セラミック結晶体(誘電率15,000)の使用などにより、動作電圧40Vで、輝度100cd/m²が得られている。

多色化については、付活剤として希土類元素が注目され、緑色ではZnS:TbF₃の輝度がほぼ実用的レベルに達しているが、橙赤色のZnS:SmF₃と青色のZnS:TmF₃の輝度は低い。さらにアルカリ土類硫化物が検討され、赤色では、CaS:Eu、SrS:Eu(橙赤色)、緑色では、CaS:Ce、青色では、SrS:Ce(空色)、SrS:Cu、SrS:Ce,K(青緑色)などが発表されている。色純度、輝度など、さらに一層の改善が必要であるが、フルカラー用として、CaS:Eu(赤色)、ZnS:TbF₃(緑色)、SrS:Ce(青色:フィルター付)が有望である。

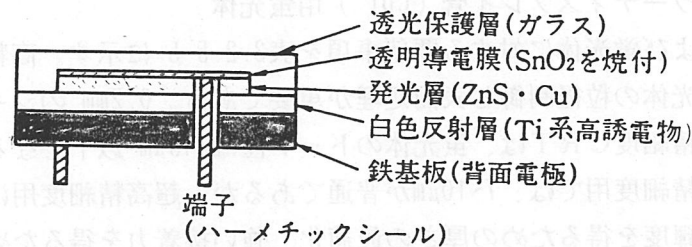
薄膜ELの特徴は、表示面積が比較的大きく、輝度、コントラスト、視野角、ちらつきなどの特性が総合的に優れており、メモリー効果があることである。用途として、計測機器、OA機器などの表示などがある。課題として、低電圧駆動、直流駆動、高輝度化、多色化などがあり、これらの改良により、ELディスプレイの多色化や薄形ELテレビの実用化が期待される。

(d) 有機薄膜EL

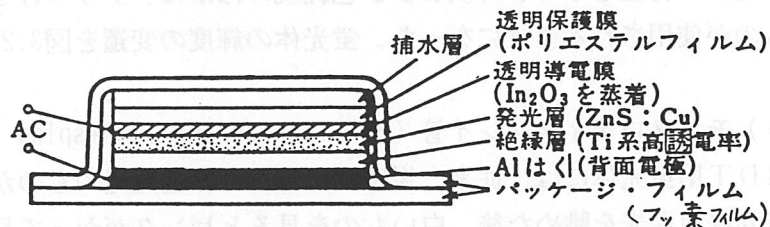
無機の蛍光膜の代りに有機材料を用いたEL素子が輝度1,000cd/m²以上、効率1.5lm/Wのものが発表された。⁽⁹⁾これは緑色光であるが、赤、青などに発光する材料もあり注目されている。

表 3.2.5-3 各ELパネルの特徴

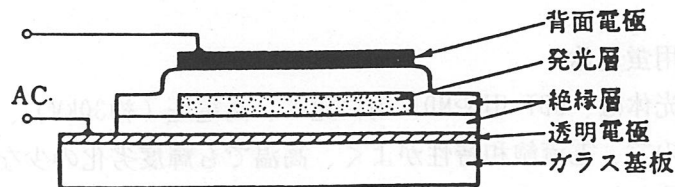
	有機分散型	無機分散型	薄膜型
EL表示方法	面発光	面発光	マトリクス発光
駆動電源	単一電源	単一電源	線順次走査方式
駆動電圧	中(50V以上)	高い(100V以上)	高い(100V以上)
発光輝度 (cd/m ²)	30~150	15~30	100~2,000
発光色	多色(5色)	多色(3色)	オレンジ
発光形状自由度	曲面も可	平面	平面
厚み(mm)	1	2	4
重量、	軽	中	中
寿命(HR)但輝度半減	$5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$	$5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$	2×10^4
応答速度(ms)	0.1	0.1	0.1
消費電力(ルーメン/W)	3	3	1
価格 EL	安価	中	高い
駆動回路	安価	安価	高い



(1) 無機分散形



(2) 有機分散形



(3) 薄膜EL

図 3.2.5-2 ELの基本構造

(3) 陰極線管 (CRT)

CRT (Cathode Ray Tube) はOAやFA用などの端末ディスプレイとして、表示画質(輝度、コントラスト、中間調、色度など)が優れ、低コストなどの特徴を生かして、多く使用されている。特に情報量の増加、見易さからカラーディスプレイ管(CDT:Color Display Tube)が増加している。

CRTの技術はかなり成熟しているが、情報端末機の機能として、高解像度、見易さなどへの要求が高くなってきている。解像度については、シャドーマスク、電子銃、偏向方式などの改良により、ドットピッチはカラーで0.2mm、モノクロで0.13mm程度のものが実用化されている。見易さについては、ノングレアガラス、長残光蛍光体、ポジ白色表示面などが採用され、また、人間工学的なディスプレイ装置の設計も検討されている。

投写管用CRTでは、三色管による映像投写方式が主流なので、高励起用の蛍光体や電子銃、レンズ、スクリーンなどの光学系も含めた改良がなされている。

CRTのフラット化は、電子ビームを垂直に曲げる方式と面状電子線源を用いる方式がある。また、シャドーマスクを取り除いたインデックス管は、ビーム位置指示用の特殊蛍光体を用いることによって小形化に適している。高品位テレビ用CRTは50インチのものが実用化されている。ここでは、主にCRT用蛍光体について述べる。

CRTの技術動向を表3.2.5-6(94ページ)に示す。

(a) カラーディスプレイ管(CDT)用蛍光体

CDTおよび蛍光体に対する要望事項を表3.2.5-5に示す。高精細度CRTの蛍光膜を得るには、蛍光体の粒径制御と表面処理が重要である。0.2mmのシャドーマスクのホールピッチの超高精細度CRTは、蛍光体のドット径は115 μm 以下となる。そのためには、蛍光体粒径は高精細度用では、7~10 μm が普通であるが、超高精細度用は4~6 μm が要求される。また、最大輝度を得るための厚さの最適化、強い接着力を得るためには、蛍光体の粒子の分散、蛍光体への表面処理などが重要である。

蛍光体の特性として、輝度および色純度のほかに、フリッカを少なくするため長残光性のものが使用されるようになった。蛍光体の輝度の変遷を図3.2.5-3に示す。

(b) モノクロディスプレイ管(MDT:Monochromatic Display Tube)用蛍光体

MDT用蛍光体には、従来、視感度に合った緑色発光のものが多く使用されていたが、長時間緑色発光を眺めた後、白いものを見るとピンクがかって見えるというマッカロー(McColough)現象が起こる。このためアンバー色や白色発光のものが増えている。

(c) 投写管用蛍光体

投写管用蛍光体は、CDT用やMDT用に比べ、高電圧(約30kV)、高電流密度(10倍以上)で動作させるので、電流飽和特性がよく、高温でも輝度劣化の少ないものが要求される。

現在、蛍光体として、青色は、 ZnS:Ag,Cl または ZnS:Ag,Al 、緑色は、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Tb}$ 、 $\text{Y}_3(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}$ 、 $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Tb}$ 、 $\text{LaOCl}:\text{Tb}$ など、赤色は、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ が使用されている。

表 3.2.5-5 CDT及び蛍光体に対する要望特性

NO	C D T	蛍 光 体
(1)	高精細	小粒子で塗布性, 接着力, 混色が良い
(2)	高輝度	高い発光効率-高いエネルギー変換効率 発光の取り出し効率が高い
(3)	広い色再現範囲と見易い発光色	発光色純度と蛍光体の選択
(4)	フリッカー(ちらつき)が無い	中又は長残光蛍光体の採用
(5)	高コントラストと無反射画面	蛍光体表面の外光の選択吸収-顔料付蛍光体
(6)	電子線による劣化が少ない	安定性の高い母体結晶及び発光センター
(7)	蛍光膜が均一かつ稠密充填である ユニフォミティ(均一性)が良い画面	小粒子で塗布性(均一膜厚、稠密)が良い

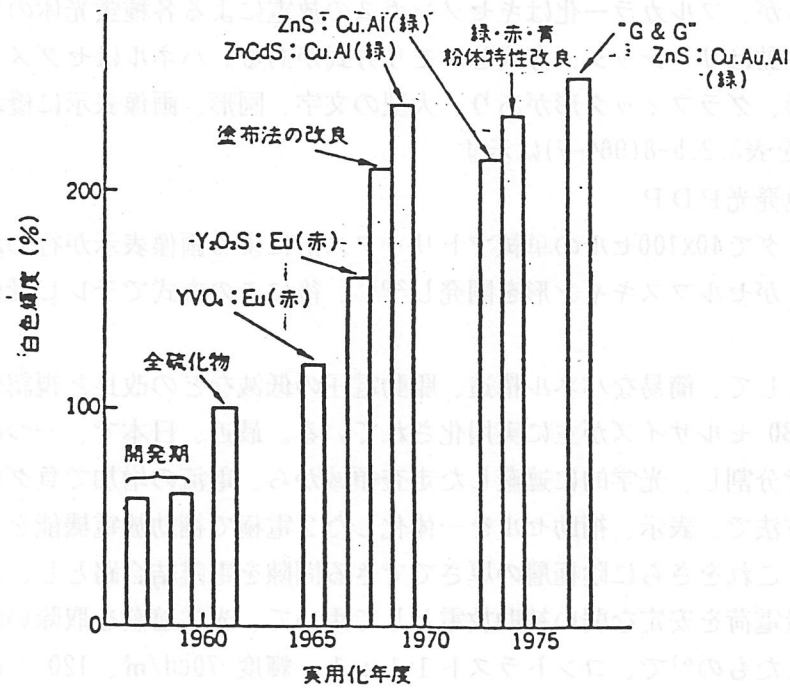


図 3.2.5-3 カラー管蛍光面の蛍光体および輝度の変遷^{5)~6)}

(4) プラズマディスプレイ (PDP)

プラズマディスプレイパネル(PDP: Plasma Display Panel)^{1)~5)} は放電発光を利用した平面形表示パネルで、直流(DC)形は1954年に、交流(AC)形が1966年にそれぞれ開発された。DC形は、2枚のガラス基板内側にそれぞれ網状の電極を設け、それを交差させてガラス基板周辺をシールしたのち、希ガス(ネオンなど)を封入した構造(図 3.2.5-5(a))である。電極が放電空間に露出しており、直流電圧印加している行電極と列電極の交点箇所でグロー放電させる。AC形は電極を薄い絶縁層で被覆した構造(図 3.2.5-5(b))で、交流電圧の印加によってグロー放電させ、絶縁層で蓄積する電荷を逆電圧で印加することでメモリ効果をもたせることができる。直流(DC)形はセルフスキャンが可能で、駆動回路は簡単で、かつアドレス機能をもつが、メモリ機能がなく、パネルが複雑になる。AC形はメモリ機能を持ち、構造が簡単であるが駆動回路が複雑であり一長一短がある。

PDP の特徴は高輝度で大画面が作りやすいが、印加電圧が高い。発光色はネオンの橙色がほとんどであるが、フルカラー化はキセノンガスの放電による各種蛍光体の発光により行われている。駆動はリフレッシュ方式とメモリ方式がある。パネルはセグメント形、ドットキャラクタ形、グラフィック形があり、大型の文字、図形、画像表示に優れている。PDP の技術動向を表3.2.5-8(96A-J)に示す。

(a) DC形橙色発光PDP

1968年にオランダで40x100セルの単純マトリックス形による画像表示が行われたが、その後、Burroughs がセルフスキャン形を開発し²⁰⁾、後にこの方式でテレビ受像が初めて実験された。

DC形は携帯用として、簡易なパネル構造、駆動電圧の低減などの改良と視認性の良さから640x400, 640x480 セルサイズが主に実用化されている。最近、日本で、一つの陰極動作領域を低い障壁で分割し、光学的に遮蔽した走査領域から、電流の増加で負グローを表示領域に拡大する方法で、表示、補助セルを一体化した2電極で補助放電機能をもったパネルが開発された。これをさらに陰極層の厚さでできる間隙を電離結合路とし、電極間浮遊容量に蓄えた微量電荷を安定な弱い補助放電として用いて、光学遮蔽を取除いた単純なパネル構造に改良したもの⁶⁾で、コントラスト11:1、輝度70cd/m²、120°の均一視野角を得ている。640x400セルのパネルが主で、パルス幅を変調した4階調表示も行うこともできる。また、トリガー放電形で、512x1024セルの高解像度パネルが試作され、輝度100cd/m²、高コントラストが得られている²¹⁾。

(b) AC形橙色発光PDP

1964年にイリノイ大で発表後、1970年代には512x512セルサイズが、1980年には1212x1596セルのメータパネルが生産された。最近、米国で2048x2048セルの大型の60形が開発され¹⁸⁾、輝度50cd/m²、メモリー動作マージン10Vのパネルが製作された。OA用としては、768x960セルのものが、コントラスト18:1、輝度40cd/m²のものが実用化されている^{22)、23)}。メモリー機能をもった容量マトリックス駆動形²⁴⁾は、Y電極の両端を容量結合とし、マトリックスを構成して駆動し、Y電極には書込みパルスで1行のセルをすべて放電させた直後に消去パルスを加えると同時に、選択X電極に低い電圧パルスを加えて、

放電を維持させるという消去キャンセルアドレス方式を採用している。640x400 セルパネルでコントラスト20:1、輝度150cd/m²を得ている。

(c) DC形カラーPDP

PDPのカラー化は1973年、日本で8形が発表された。キセノンの147nm 真空紫外放射によって3原色蛍光体を用いる方法で、色再現域はよいが、輝度、効率が低かった。1981年にパルスメモリー駆動法を開発し、その構造はセルフスキュン形に似た3電極構成のパネルを用いている。表示セルには周期4 μ sの高速の維持パルスを加える。階調表示は、フィールド期間を時分割し、分割したサブフィールドに時間を変えた2値画像を順次に表示して合成する。126x160セルのパネルに、500行、256階調を表示する条件で、コントラスト90:1、輝度(白色)140cd/m²、効率(白色)0.34lm/Wが得られた²⁵⁾。また、2 μ s周期の駆動の可能性があり、大画面壁掛けテレビの可能性が出てきた。

画像表示には、コントラストが最重要であり、表示セルに外光反射を減少させるため、厚膜構造を主体に無機材質の3色フィルターを反射形の蛍光面に導入した。白色のセル障壁のパネルで、外光反射率2.6%、輝度70cd/m²、効率0.15lm/W、200lxの面照度の条件でコントラスト40:1が得られた¹³⁾。

輝度と効率向上を目的にタウンゼント放電形のメモリーパネルが開発され、輝度700cd/m²、効率1.6lm/Wが得られた^{15)、26)}。

(d) AC形カラーPDP

1980年にX、Y電極を共に背面板上に構成した面放電マトリックス形パネルの前面板に蛍光面を形成した方法でカラー化の開発が盛んになり、面放電形による最初のカラーテレビ表示は1983年に64階調ものが発表された²⁷⁾。その後、輝度、効率の改善のため、三相駆動法²⁸⁾、デコード形のパネル²⁹⁾、Ne-Xe混合ガスと緑色蛍光体を用いたもの³⁰⁾など多色表示のものが試作された。

一方、対向電極形においては、片側の面板の誘電体層そのものを、有機けい素樹脂で蛍光体を埋め込んだもの、さらに前面板には蛍光体層の上にMgO保護層を形成し、背面板には厚膜を加工して障壁をセルごとに形成して、光学クロストークを低減したものが開発された。256x256セルの6形カラーパネルで、輝度34cd/m²、効率0.25lm/W、寿命(1/2輝度)数千時間を示した¹⁴⁾。

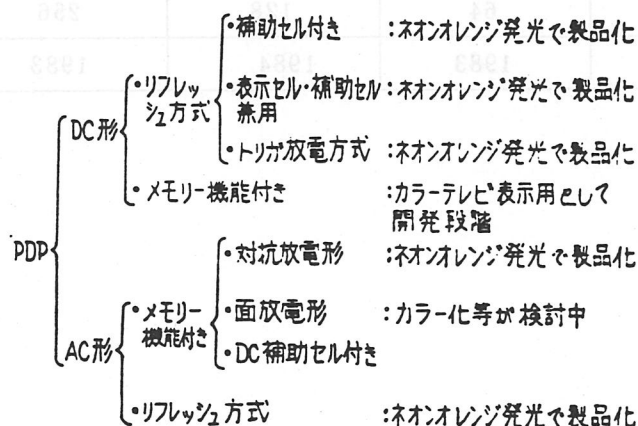


図 3.2.5-4 PDP の分類

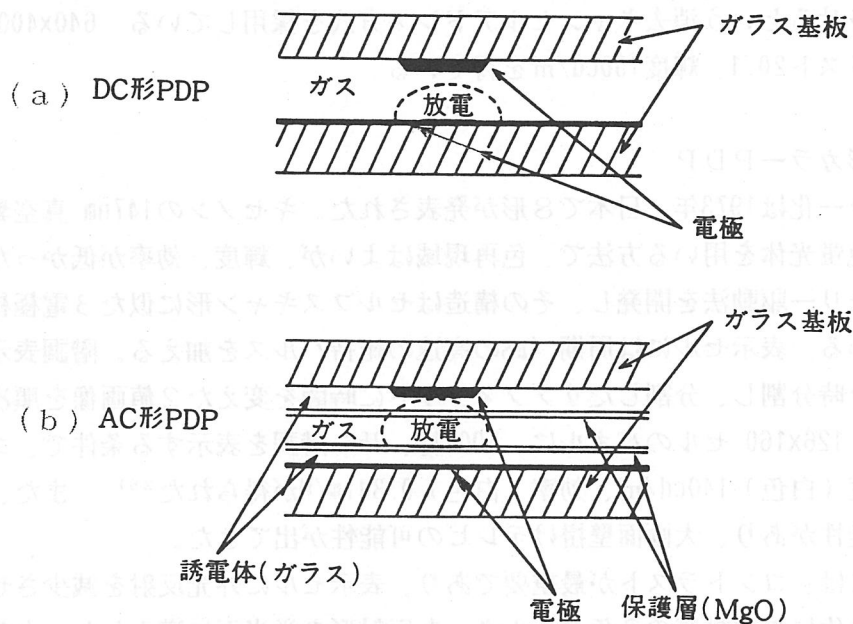


図 3.2.5-5 PDP の基本構造

表 3.2.5-7 PDP のフルカラー表示の1例

	面放電AC型 パネル	タウンゼント メモリーパネ ル	パルスメモリーパネル	
			テーパーセル 構成	平面構成
画面サイズ 表示面積 (mm ²)	50×50	8型 160×120	8型 160×126	20型 416×291
表示セル数	100×100×3/4	160×120	160×126	640×448
セルピッチ	0.5	1.0	1.0	0.65
セル配列	$\begin{matrix} \text{R} & \text{B} \\ \text{■} & \text{G} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{R} & \text{G} & \text{B} \\ \text{B} & \text{R} & \text{G} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{G} & \text{R} \\ \text{B} & \text{G} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{G} & \text{R} \\ \text{B} & \text{G} \end{matrix}$
ガス組成	He-Xe	Xe	He-Xe	He-Xe
輝度 (白, cd/m ²)	52(15fL)	690(200fL)	135(40fL)	58(17fL)
発光効率 (lm/W)	0.2	1.6	0.34	0.13
コントラスト	45:1		75-100:1	90:1
階調	64	128	256	256
発表年	1983	1984	1983	1988

(5) 蛍光表示管 (VFD)

蛍光表示管 (VFD : Vacuum Fluorescent Display) は加速された電子が蛍光体付き陽極に突入するときに蛍光体を励起して放射する光を利用した表示パネルである。

構造は高真空のガラス容器の中に、電子放射用陰極、制御用メッシュ状グリッド、蛍光体付き陽極からなっている (図 3.2.5-6)。蛍光体として酸化亜鉛 (ZnO:Zn) (緑色、効率 10lm/W) のほか青色、黄色、赤橙色もある。駆動はスタティック方式と、ダイナミック方式がある。

VFD の特徴は、高輝度で駆動電圧が低い。また、平面フロントガラス内面に陽極セグメントを蒸着し、その上に蛍光体を塗布したものは見易くなっている。機種として、セグメント形、バーグラフ形、ドットマトリックス形などがある。電気製品、自動車などの数字、文字、バーグラフ、画像などの表示に使用されている。

VFD は1967年に実用化されたセラミック製陽極基板をガラス管球に封入した単管 (丸形管) に始まる。その後、多桁の表示部を横方向に並べたセラミック製陽極基板を長目のガラス管球または金属製パッケージに封入した多桁蛍光表示管が開発され、1972年に製品化された12mm直径のガラス丸形多桁管は、ハンドヘルド形電卓の表示素子として注目された。1973年から量産化されたガラス平形多桁管は陽極基板として板ガラスに多層厚膜技術を導入して、配線、層間絶縁被膜、電極、蛍光体などをスクリーン印刷で積層形成などして実用化された。これによってあらゆる種類の電卓および電子機器などの小形表示が可能となった。

ガラス基板平形蛍光表示管によって、実用表示素子として普及したが、開発当初から酸化亜鉛 (ZnO:Zn) 蛍光体による緑色がほとんどであった。蛍光表示管の2色以上の多色 (マルチカラー) 化は開発当初からの課題であった。

蛍光表示管の蛍光体としては、数10V 以下 (10数V 以下が好ましい) の陽極電圧で実用輝度が得られる低速電子線励起蛍光体が必要である。その蛍光体として、表 3.2.5-9に示すものが使用されるようになり、一応、赤、橙、黄、緑、青色がそろっているが、緑色以外は発光効率の向上が望まれる。

マルチカラーの実用化は緑色のZnO:Zn蛍光体と黄橙色発光の硫化亜鉛 (ZnS:Mn) 蛍光体を使用したステレオのレベルメータである。その後、自動車用パネル、電子レンジ、エアコンなどの家電製品にもマルチカラー化が進んでいる。VFDの技術動向を表3.2.5-9 (98ページ)に示す。

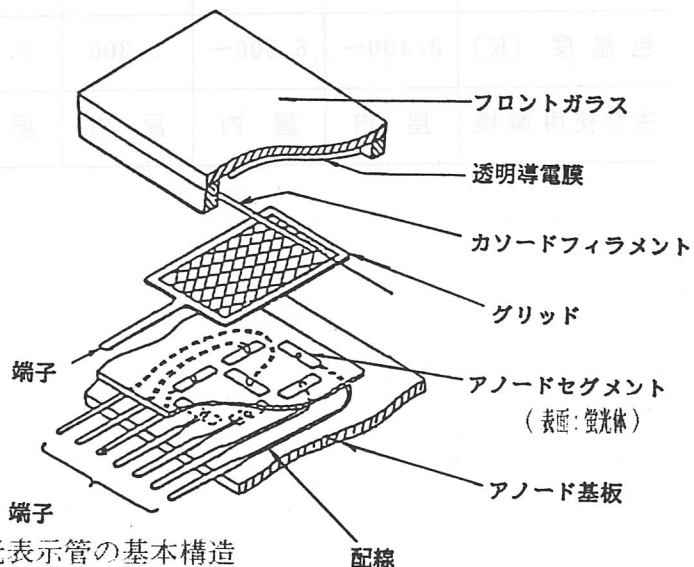


図 3.2.5-6 平形蛍光表示管の基本構造

(6) 大形ディスプレイ用光源

大形ディスプレイ装置（表示画面40インチ（約1m）以上とする）は、その構造、機能により投写形と直視形に大別される。投写形には、CRT投写形、ライトバルブ投写形、レーザ走査形などがあり、直視形には、白熱電球、小形CRT、蛍光放電管、液晶ディスプレイ素子、蛍光表示管、発光ダイオードなどを用いた画素モジュールの配列による大形ディスプレイ装置である。超大形（10×10 m²以上の画面）のディスプレイ装置ではほとんどが直視形である。

ディスプレイ装置の表示面の見え方から要求される輝度は、コントラストと関連するが、屋内では 10~10³ cd/m²（望ましくは50~500 cd/m²）の範囲がよく、屋外では、画面寸法や直射日光の遮蔽方法にもよるが、画面平均輝度で最低1,000~2,000 cd/m²必要であり、画質の面から3,000cd/m²以上ほしい。屋外用には小形CRT と蛍光放電管が使用され、屋内用には液晶ディスプレイ素子、蛍光表示管、発光ダイオードなども使用されている。これらの光源・素子を用いた大形ディスプレイ装置の性能比較を表 3.2.5-10 に示す。さらに技術動向を表3.2.5-11(100ページ)に示す。

表 3.2.5-10 大形ディスプレイ装置の性能比較⁴⁾

方 式		液晶方式 〈投写型〉 〔フロント〕	液晶方式 〈投写型〉 〔リア〕	液晶方式 〈直視型〉	CRT方式 〈直視型〉	蛍光放電 管方式 〈直視型〉
表示画面の寸法	縦(m)	0.6~1.5	0.610	3.12	7.68	10.58
	横(m)	0.8~2.0	0.813	4.16	10.24	20.16
画素数	縦×横	240×384	480×650	432×576	384×512	376×560
最大輝度 (cd/m ²)		1,030	550	300	4,000	5,000
コントラスト		100:1	100:1	60:1	15:1	---
色温度(K)		8,400~	6,500~	9,300	9,300	9,300
主な使用環境		屋内	屋内	屋内	屋外	屋外

(7) 液晶表示 (LCD) ^{1)~3)}

液晶はある温度範囲で液体と結晶体の性質を兼ねそなえた状態の物質をいう。一般にスメクチック相、ネマチック相、コレステリック相の3種類がある。

液晶表示(LCD: liquid crystal display)は、液晶分子を特定の方向に配列させて、部分的に電界を加えて液晶分子の配列を変えることによって、液晶セル内に生じる光学的屈折率の変化による光の透過または遮断する性質を利用して、文字、図形、画像などを表示することをいう。

ツイストネマチック(TN)液晶を用いた表示デバイスの原理を図 3.2.5-7に示す。1対の偏光板と透明電極の間に液晶を入れ、電極への電圧on-offによって、光の透過のon-offの制御を行うことができる。液晶は自ら発光しない素子であるので、見やすくするにはバックライト(背面照明)が必要である。バックライトとしては、蛍光ランプが多く、ELランプ、発光ダイオード、白熱電球なども使用されている。

TN液晶表示は、デューティ数を増すとコントラストが低下するため大形化は困難であったが、スーパーツイストネマチック(STN)液晶表示方式⁴⁾によって大形パネルが可能となった。最近のワープロやラップトップパソコンは、このパネルが主流となっている。

カラー表示の方法として、TN形を使用し、偏光板を変えてカラー表示する方法、各種カラーフィルター、反射板を利用する方法、液晶に染料を混入するゲストホスト(GH:gust host)法などがある。また、スーパーTN液晶表示では、2層STN方式(表示面積:182mmx137mm,表示色数:8,コントラスト:22:1)、フィルム積層STN方式(表示面積:120mmx90mm,表示色数:512(8階調),コントラスト:25:1)が実現している^{5)、6)}。

液晶表示デバイスの特徴は、薄くて軽く、数ボルトから数十ボルトで駆動し、消費電力が少ないので、LSIなどの集積回路との組合せが容易である。一方、視野角が狭い、表示の鮮明さが劣る、応答速度が遅いなど技術的課題がある。主な用途として、時計、電卓、計測器などの表示、ポケットテレビ、大形画像表示装置などがある。

液晶の特徴、液晶表示デバイスの種類、ゲストホスト表示の種類および特性比較を表3.2.5-12~表3.2.5-15に示す。

(参考文献)

1. 照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会: 報告書、照明学会(1988)
2. 電子ディスプレイデバイス調査専門委員会: 電気学会技術報告(II部)第205号、電気学会(1985)
3. 高: 照学誌, 73-12(1989)757-763
4. Akatsuka, M., : Proc. SID, 28-2(1987)159
5. Koh, H. et al: SID'88 Digest Paper 53
6. Ohgawara, M. et al: SID'89 Digest Paper 390
7. 青柳: Technology and Market 1987 3, 1-36
8. 葛下: 金属 1989 9, 22-28
9. '85年版編集委員会編: 表示素子・装置最新技術'85年版、総合技術出版(1985)
10. 松本: 化学と工業, 41-11(1988)1014-1017

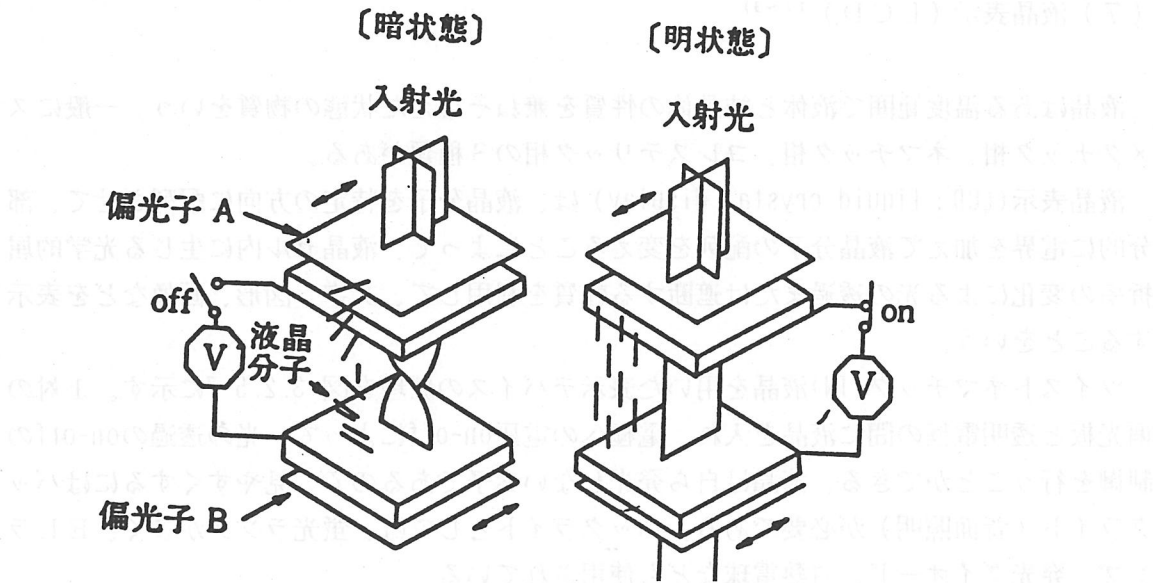


図 3.2.5-7 TN液晶の基本構造¹⁾

表 3.2.5-12 液晶の特徴⁷⁾

液 晶	外 見	光学的特徴
スメクチック (S)	グリース状の粘着性の強い、濁った流体 (毛管中ではメニスカスをつくりにくい)	正の単軸結晶 直交ニコル間で錐体組織像
ネマチック (N)	毛管中でメニスカスをつくるほど流動性のある濁った流体	正の単軸結晶 直交ニコル間で繊維状の組織像
コレステリック (Ch)	ネマチック相にもスメクチック相にも似たところのある流体	負の単軸結晶 大きな旋光性 特定波長領域の円偏光反射 (見る角度で異なる色を示す)

表 3.2.5-13 液晶表示デバイスの分類⁷⁾

液晶組成物	分子配列の基本形態		垂直配列	傾斜配列	ハイブリッド配列
	水平配列	ねじれ配列			
Np	干渉色	モノクロ(ポジネガ)	×	干渉色	干渉色
		TNモード			HANモード
Nn	×	×	干渉色⇔モノクロ ⇔光散乱	干渉色	干渉色
			DAPモード⇔ DSモード		HANモード
Nn + 導電ドーパント	光散乱	光散乱	光散乱	△	△
	(DSモード)	DTNモード	DSモード		
Np(+Ch) + 2色性染料	単色(ネガ)	単色(ネガ)	×	△	△
	GHモード	(GHモード)			
Nn + 2色性染料	×	×	単色(ポジ)	単色(ポジ)	単色(ポジ)
			GHモード	(GHモード)	(GHモード)
Nn+Ch	×	×	光散乱(メモリ機能あり)	△	△
			コレステリック ネマチック相転移		
Np+Ch	△	△	光散乱(メモリ機能あり)	△	△
			コレステリック ネマチック相転移		

(注) △：表示可能, ×：表示不能 (Ch:コレステリック液晶) Np正 $\Delta\epsilon > 0$, Nn負 $\Delta\epsilon < 0$
 上段：電気-光学現象, 色, 下段：表示モード

表 3.2.5-14 GH(Guest Host)表示素子の種類⁹⁾

タイプ	液晶 ^{*1}	染料 ^{*2}	初期配列	偏光板	表示形態
1. GH・LCD	N _p	D _p	平行またはTN	有	ネガ
2. P-GH(N _n)	N _n	D _p	垂直	有	ポジ
3. P-GH(D _n)	N _p	D _n	平行またはTN	有	ポジ
4. DGH・LCD	N _p	D _p	平行	無	ネガ
5. PC-GH・LCD	C _p	D _p	平行または垂直	無	ネガ
6. HH-GH・LCD	C _n	D _p	垂直	無	ポジ

* 1 N_p：誘電異方性が正のネマチック液晶、
 C_p：誘電異方性が正のカイラル液晶、
 * 2 D_p：pタイプ染料(分子長軸方向に吸収軸) N_n：誘電異方性が負のネマチック液晶
 C_n：誘電異方性が負のカイラル液晶
 D_n：nタイプ染料(分子短軸方向に吸収軸)

表 3.2.5-15 GH(Guest Host)表示素子の特性比較⁹⁾

項 目	GH・LCD	DGH・LCD	PC-GH・LCD
動作電圧	5 ~ 7 V	~ 7 V	5 ~ 10V
コントラスト比	>1:5	1:8	1:4
明るさ(ON時透過率)	< 10 %	30%	50%
視角*	~70°	~70°	~70°

* 基板法線方向を0°とした場合

表 3.2.5-16 STN 液晶の種類¹⁰⁾

分 類		表示色/ 背景色	通 称
着 色 方 式	Y-STN	黒/黄	黄色(Yellow)モード
	B-STN	白/青	青色(Blue)モード
	W-STN	紺/白	無彩色(White または Neutral)モード
白 示 黒 方 表 式	LR-STN	白/黒	OMI または低リタデーションモード
	GH-STN	白/黒	ゲスト・ホスト(Guest Host)モード
	D-STN	黒/白	2層(Double)モード
	RF-STN	黒/白	位相差板(Retardation Film)モード

(8) エレクトロクロミックディスプレイ (ECD)

エレクトロクロミックディスプレイ(ECD: electrochromic display)は無機または有機物質に電圧を印加したとき、電極面や電極付近で発生する酸化還元反応によって着色または変色を利用した表示素子である。基本構造は図 3.2.5-8に示すように、エレクトロクロミック膜を設けた透明電極付ガラス板と透明電極付ガラス板の間に電解質が封入されている。無機材料として、酸化タングステン(WO₃)、酸化マンガン(MnO)、酸化チタン(TiO₂)、酸化イリジウム(Ir₂O₃)など、有機材料としては、ピオロゲン、ジフタロシアン、プルシアンブルーなどがあり、WO₃が実用化されている。ECD用材料として可能なものを表 3.2.5-17に示す。

ECDの特徴は、自発光でないが、液晶のように視角依存性がなく、WO₃では白地に青色の鮮明な表示で見易いが、エレクトロクロミック膜の経時変化によるコントラスト低下のため寿命が短く、電気化学反応のため応答速度が遅い。また、消費電力が液晶の数倍である。用途として、文字、図形などの表示装置が期待されている。

(参考文献)

1. 照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会：報告書、照明学会(1988)
2. 電子ディスプレイ調査専門委員会：技術報告(II部)第205号、電気学会(1985)
3. '85年版編集委員会編：表示素子・装置最新技術'85年版、総合技術出版(1985)
4. 山田：光学、17-4(1988)152-157

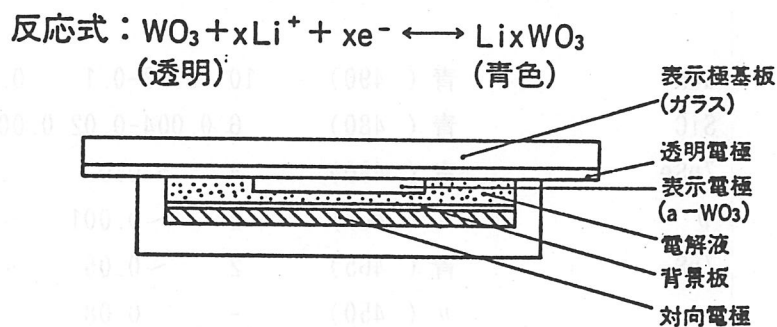


図 3.2.5-8 ECDの基本構造

表 3.2.5-17 EC用材料

(a) カソードイックEC材料		(b) アノードイックEC材料	
物質	色変化	物質	色変化
WO ₃	無色 ↔ 青色	Ir(OH) ₃	無色 ↔ 暗青色
MoO ₃	無色 ↔ 濃青色	Ni(OH) ₂	無色 ↔ 暗褐色
Mo _x W _{1-x} O ₃	無色 ↔ 暗青色	Rh(OH) ₃	淡黄色 ↔ 暗緑色
TiO ₂	無色 ↔ 黒色	Cr ₂ O ₃	赤紫色 ↔ 黒灰色
V ₂ O ₅	黄色 ↔ 緑色		
Nb ₂ O ₅	無色 ↔ 暗青色		
Au-WO ₃	青色 ↔ 桃色		

表3.2.5-2 発光ダイオード (LED)

光源	最近の技術動向																																																										
1. 発光ダイオード 1)~6)	(材料)	(発光色)	光度**	量子効率	発光効率																																																						
	() 内ドープ材	(nm)	(mcd)	(%)	(lm/W)																																																						
1.2 主な特性																																																											
	GaP(Zn, O)	赤 (700)	30	4-15	0.8 -3.0																																																						
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	赤 (660)	500	3- 7	1.2 -2.0																																																						
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As*	赤 (660)	5000	9-20	3.6 -5.3																																																						
	GaAs _{0.6} P _{0.4}	赤 (650)	20	0.2-0.5	0.14-0.35																																																						
	GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	赤 (630)	300	0.3-0.65	0.6 -1.2																																																						
	GaAs _{0.25} P _{0.75} (N)	橙 (605)	300	~0.6	~ 1.3																																																						
	GaAs _{0.15} P _{0.85}	黄 (590)		0.12-0.25	0.5 -1.1																																																						
	GaAs _{0.1} P _{0.9} (N)	黄 (585)	200	~0.2																																																							
	GaP (N)	黄 (570)	400	~0.5																																																							
	GaP (N)	黄緑 (565)	300	0.3 -0.7	1.8 -4.5																																																						
	GaP (N)	黄緑 (560)	250	~0.3																																																							
	GaP	緑 (555)	400	0.08-0.2	0.54-1.36																																																						
	GaN	青 (490)	10	0.03-0.1	0.042-0.14																																																						
	SiC	青 (480)	6	0.004-0.02	0.0038-0.019																																																						
	ZnSe	青 (480)	4	~0.03	~ 0.029																																																						
	〃	〃 (467)	2	~0.001	~ 0.00062																																																						
	ZnS	青 (465)	2	~0.05	~ 0.048																																																						
	〃	〃 (450)	-	0.08	0.021																																																						
	* 液相エピタキシャル (ダブルヘテロ接合)																																																										
	**20mAのとき																																																										
1.2. 発光特性をもつ材料	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">II-VI族化合物</th> <th colspan="2">III-V族化合物</th> <th colspan="2">他の材料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZnS</td> <td>ZnSe</td> <td>GaP*</td> <td>GaAs*</td> <td>SiC*</td> <td>Ge Si C</td> </tr> <tr> <td>ZnTe</td> <td>ZnO</td> <td>GaAs</td> <td>P *</td> <td>NaCl</td> <td>AgCl</td> </tr> <tr> <td>CdTe</td> <td>CdS</td> <td>Ga_xAl_{1-x}As*</td> <td></td> <td>ZnF₂</td> <td>CaF₂</td> </tr> <tr> <td>CdSe</td> <td></td> <td>Ga_xIn_{1-x}P</td> <td></td> <td>Al₂O₃</td> <td>Cu₂O</td> </tr> <tr> <td>BaS</td> <td>CaS</td> <td>GaN*</td> <td>GaSb</td> <td>SnO₂</td> <td>TiO₂</td> </tr> <tr> <td>SrS</td> <td></td> <td>InP</td> <td>InSb</td> <td>CdTiO₃</td> <td>SrTiO₃</td> </tr> <tr> <td>MgO</td> <td>BeO</td> <td>InAs</td> <td>BN</td> <td>CaTiO₃</td> <td>KNbO₃</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>AlN</td> <td>AlP</td> <td></td> <td>etc.</td> </tr> </tbody> </table>					II-VI族化合物		III-V族化合物		他の材料		ZnS	ZnSe	GaP*	GaAs*	SiC*	Ge Si C	ZnTe	ZnO	GaAs	P *	NaCl	AgCl	CdTe	CdS	Ga _x Al _{1-x} As*		ZnF ₂	CaF ₂	CdSe		Ga _x In _{1-x} P		Al ₂ O ₃	Cu ₂ O	BaS	CaS	GaN*	GaSb	SnO ₂	TiO ₂	SrS		InP	InSb	CdTiO ₃	SrTiO ₃	MgO	BeO	InAs	BN	CaTiO ₃	KNbO ₃			AlN	AlP		etc.
II-VI族化合物		III-V族化合物		他の材料																																																							
ZnS	ZnSe	GaP*	GaAs*	SiC*	Ge Si C																																																						
ZnTe	ZnO	GaAs	P *	NaCl	AgCl																																																						
CdTe	CdS	Ga _x Al _{1-x} As*		ZnF ₂	CaF ₂																																																						
CdSe		Ga _x In _{1-x} P		Al ₂ O ₃	Cu ₂ O																																																						
BaS	CaS	GaN*	GaSb	SnO ₂	TiO ₂																																																						
SrS		InP	InSb	CdTiO ₃	SrTiO ₃																																																						
MgO	BeO	InAs	BN	CaTiO ₃	KNbO ₃																																																						
		AlN	AlP		etc.																																																						
	(注) *印はLEDとして実用化されている。																																																										

表3.2.5-2 発光ダイオード（LED）（つづく）

技術課題	参 考 文 献
<ul style="list-style-type: none"> ・量子効率のよい発光材料（直接遷移型が望ましい） ・結晶成長技術、分子線エピタキシャル法(MBE)、有機金属気相成長法(MOCV)など ・PN接合近傍とダブルヘテロ(DH)構造の設計の最適化 ・青色LED の輝度向上 ・単一LED のマルチカラー化 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 照明学会編：ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告書（1988） 2. 新名：昭61電気・情報関連学会連合大会 14-4(1986)2-165 3. 西沢監修：発光ダイオードとその応用、産業図書(1988) 4. 小山：照学誌73-12(1989)734 5. 青柳：Technology and Market No.39,Mar.(1987)1 6. 照明学会編：ライティングハンドブック、(1987)108 オーム社

表3.2.5-4 エレクトロルミネセンス (EL)

光源	最近の技術動向																																				
2. エレクトロルミネセンス (EL)																																					
2.1. 無機分散形 (ホーロー形)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蛍光体 (ZnS:Cu, Cl) (青緑色) ^{(1) (2)} <li style="padding-left: 2em;">(ZnS:Cu, Cl, Mn) (橙黄色) 1 lm/W⁽¹⁾ ・ 輝度 青緑色光 100cd/m² (100V 2kHz) 半減寿命3,000h⁽³⁾ <li style="padding-left: 2em;">白色光 65cd/m² (100V 400Hz) <li style="padding-left: 2em;">赤色光 18 " (") <li style="padding-left: 2em;">黄緑色光 70 " (") <li style="padding-left: 2em;">緑色光 45 " (") <li style="padding-left: 2em;">青緑色光 70 " (") 																																				
2.2. 有機分散形 ⁽⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輝度 白色光 150-195cd/m² (100V 400Hz) 輝度半減寿命2,500h 																																				
2.3. 薄膜EL ^{(1) (5) - (7)}	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">(材料)</th> <th style="text-align: left;">(発光色)</th> <th style="text-align: left;">(輝度) (cd/m²)</th> <th style="text-align: left;">(効率) (lm/W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZnS:Mn</td> <td>黄橙</td> <td>5,000-10,000</td> <td>1 -5</td> </tr> <tr> <td>ZnS:Sm, F</td> <td>橙赤</td> <td>600</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>ZnS:Tb, F</td> <td>緑</td> <td>5,000</td> <td>1.0-1.5</td> </tr> <tr> <td>ZnS:Tm, F</td> <td>青</td> <td>10</td> <td>0.003</td> </tr> <tr> <td>CaS:Eu</td> <td>赤</td> <td>900</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>CaS:Ce</td> <td>緑</td> <td>650</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>SrS:Ce</td> <td>青</td> <td>1,600</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>SrS:Ce, Eu</td> <td>白</td> <td>1,500</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>	(材料)	(発光色)	(輝度) (cd/m ²)	(効率) (lm/W)	ZnS:Mn	黄橙	5,000-10,000	1 -5	ZnS:Sm, F	橙赤	600	0.05	ZnS:Tb, F	緑	5,000	1.0-1.5	ZnS:Tm, F	青	10	0.003	CaS:Eu	赤	900	0.05	CaS:Ce	緑	650	0.11	SrS:Ce	青	1,600	0.3	SrS:Ce, Eu	白	1,500	0.1
(材料)	(発光色)	(輝度) (cd/m ²)	(効率) (lm/W)																																		
ZnS:Mn	黄橙	5,000-10,000	1 -5																																		
ZnS:Sm, F	橙赤	600	0.05																																		
ZnS:Tb, F	緑	5,000	1.0-1.5																																		
ZnS:Tm, F	青	10	0.003																																		
CaS:Eu	赤	900	0.05																																		
CaS:Ce	緑	650	0.11																																		
SrS:Ce	青	1,600	0.3																																		
SrS:Ce, Eu	白	1,500	0.1																																		
2.4. 有機薄膜EL ^{(5) (8)}	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緑色発光輝度 1,000 cd/m²以上 (効率 1.5lm/W) (ジアミンと 8-hydroxyquinoline aluminum (Alq₃)) ⁽⁹⁾ ・ 有機発光層材料 <li style="padding-left: 2em;">赤 (橙) 色光: ペリレン (誘導体)、Alq₃ + ピラン (DCM) <li style="padding-left: 2em;">黄色光: フタロペリノン誘導体 <li style="padding-left: 2em;">緑色光: Alq₃、コロネン、アントラセン+テトラセン <li style="padding-left: 2em;">青色光: アントラセン、シクロペンタジェン 																																				

表3.2.5-4 エレクトロルミネセンス (EL) (つづく)

技術課題	参 考 文 献																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
無機分散形 ・発光効率のよい 蛍光体 (緑色以 外、白色光) ・輝度半減期 (耐 湿、フォーミン グなど) 有機分散形 ・蛍光体 ・膜の形成 薄膜EL ・EL発光層 ・絶縁層 (高誘電 体) ・膜の形成法	1. 電気学会編：電気学会技術報告 (II部) 第205号 (1985)18 2. 佐藤：NEC 技報, 38-5 (1985)166 3. Hirabayashi, K., et al: J. Electrochem. Soc., 130, (1983) 2448 4. 森口ほか：照明学会研究資料MD-89-15 (1989)97-101 5. 松原：照学誌73-12 (1989)729 6. 小林ほか：電気・情報関連学会連合大会 (1986)174 7. 照明学会編：ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会 報告書 (1988) 8. 布村ほか：平成元年電気・情報関連学会連合大会12-7 (1989) 2-123 9. Tang, C.W., et al: Appl. Phys. Lett., 51 (1987)913																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
有機薄膜EL ・発光効率のよい 有機材料 ・膜の形成法	<table border="1"> <thead> <tr> <th>発光色</th> <th>輝度 (cd/m²)</th> <th>寿命 (h)</th> <th>材料</th> <th>参考文献</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>1)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>2)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>3)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>4)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>5)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>6)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>7)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>8)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>9)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>10)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>11)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>12)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>13)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>14)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>15)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>16)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>17)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>18)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>19)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>20)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>21)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>22)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>23)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>24)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>25)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>26)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>27)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>28)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>29)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>30)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>31)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>32)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>33)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>34)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>35)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>36)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>37)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>38)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>39)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>40)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>41)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>42)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>43)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>44)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>45)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>46)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>47)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>48)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>49)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>50)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>51)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>52)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>53)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>54)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>55)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>56)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>57)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>58)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>59)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>60)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>61)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>62)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>63)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>64)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>65)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>66)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>67)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>68)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>69)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>70)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>71)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>72)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>73)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>74)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>75)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>76)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>77)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>78)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>79)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>80)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>81)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>82)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>83)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>84)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>85)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>86)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>87)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>88)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>89)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>90)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>91)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>92)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>93)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>94)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>95)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>96)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>97)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>98)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>99)</td> </tr> <tr> <td>赤</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>有機材料</td> <td>100)</td> </tr> </tbody> </table>	発光色	輝度 (cd/m ²)	寿命 (h)	材料	参考文献	赤	100	100	有機材料	1)	赤	100	100	有機材料	2)	赤	100	100	有機材料	3)	赤	100	100	有機材料	4)	赤	100	100	有機材料	5)	赤	100	100	有機材料	6)	赤	100	100	有機材料	7)	赤	100	100	有機材料	8)	赤	100	100	有機材料	9)	赤	100	100	有機材料	10)	赤	100	100	有機材料	11)	赤	100	100	有機材料	12)	赤	100	100	有機材料	13)	赤	100	100	有機材料	14)	赤	100	100	有機材料	15)	赤	100	100	有機材料	16)	赤	100	100	有機材料	17)	赤	100	100	有機材料	18)	赤	100	100	有機材料	19)	赤	100	100	有機材料	20)	赤	100	100	有機材料	21)	赤	100	100	有機材料	22)	赤	100	100	有機材料	23)	赤	100	100	有機材料	24)	赤	100	100	有機材料	25)	赤	100	100	有機材料	26)	赤	100	100	有機材料	27)	赤	100	100	有機材料	28)	赤	100	100	有機材料	29)	赤	100	100	有機材料	30)	赤	100	100	有機材料	31)	赤	100	100	有機材料	32)	赤	100	100	有機材料	33)	赤	100	100	有機材料	34)	赤	100	100	有機材料	35)	赤	100	100	有機材料	36)	赤	100	100	有機材料	37)	赤	100	100	有機材料	38)	赤	100	100	有機材料	39)	赤	100	100	有機材料	40)	赤	100	100	有機材料	41)	赤	100	100	有機材料	42)	赤	100	100	有機材料	43)	赤	100	100	有機材料	44)	赤	100	100	有機材料	45)	赤	100	100	有機材料	46)	赤	100	100	有機材料	47)	赤	100	100	有機材料	48)	赤	100	100	有機材料	49)	赤	100	100	有機材料	50)	赤	100	100	有機材料	51)	赤	100	100	有機材料	52)	赤	100	100	有機材料	53)	赤	100	100	有機材料	54)	赤	100	100	有機材料	55)	赤	100	100	有機材料	56)	赤	100	100	有機材料	57)	赤	100	100	有機材料	58)	赤	100	100	有機材料	59)	赤	100	100	有機材料	60)	赤	100	100	有機材料	61)	赤	100	100	有機材料	62)	赤	100	100	有機材料	63)	赤	100	100	有機材料	64)	赤	100	100	有機材料	65)	赤	100	100	有機材料	66)	赤	100	100	有機材料	67)	赤	100	100	有機材料	68)	赤	100	100	有機材料	69)	赤	100	100	有機材料	70)	赤	100	100	有機材料	71)	赤	100	100	有機材料	72)	赤	100	100	有機材料	73)	赤	100	100	有機材料	74)	赤	100	100	有機材料	75)	赤	100	100	有機材料	76)	赤	100	100	有機材料	77)	赤	100	100	有機材料	78)	赤	100	100	有機材料	79)	赤	100	100	有機材料	80)	赤	100	100	有機材料	81)	赤	100	100	有機材料	82)	赤	100	100	有機材料	83)	赤	100	100	有機材料	84)	赤	100	100	有機材料	85)	赤	100	100	有機材料	86)	赤	100	100	有機材料	87)	赤	100	100	有機材料	88)	赤	100	100	有機材料	89)	赤	100	100	有機材料	90)	赤	100	100	有機材料	91)	赤	100	100	有機材料	92)	赤	100	100	有機材料	93)	赤	100	100	有機材料	94)	赤	100	100	有機材料	95)	赤	100	100	有機材料	96)	赤	100	100	有機材料	97)	赤	100	100	有機材料	98)	赤	100	100	有機材料	99)	赤	100	100	有機材料	100)
発光色	輝度 (cd/m ²)	寿命 (h)	材料	参考文献																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	1)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	3)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	6)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	7)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	8)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	9)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	10)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	11)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	12)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	13)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	14)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	15)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	16)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	17)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	18)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	19)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	20)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	21)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	22)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	23)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	24)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	25)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	26)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	27)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	28)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	29)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	30)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	31)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	32)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	33)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	34)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	35)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	36)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	37)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	38)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	39)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	40)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	41)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	42)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	43)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	44)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	45)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	46)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	47)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	48)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	49)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	50)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	51)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	52)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	53)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	54)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	55)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	56)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	57)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	58)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	59)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	60)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	61)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	62)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	63)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	64)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	65)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	66)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	67)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	68)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	69)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	70)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	71)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	72)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	73)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	74)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	75)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	76)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	77)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	78)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	79)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	80)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	81)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	82)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	83)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	84)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	85)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	86)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	87)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	88)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	89)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	90)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	91)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	92)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	93)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	94)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	95)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	96)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	97)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	98)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	99)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
赤	100	100	有機材料	100)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

表3.2.5-6 陰極線管 (CRT)

光源	最近の技術動向																																																																																																												
3. 陰極線管 ⁽¹⁾ (CRT) 3.1. カラーディスプレイ管 (21型) プレイ管 ⁽²⁾ 3.2. 蛍光体の特性 (3) - (6)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表示サイズ : H370mm x V280mm ・ 表示容量 : H1280 pixels x V1024 lines ・ ビームスポット径 : 全画面 半値幅 0.47mm 以下 ・ スクリーンピッチ : 0.26mm ・ ミスコンバージェンス : 全画面 0.3mm以下 ・ 輝度 : 130cd/m² ・ コントラスト : 21 (300 lxの外光下) ・ 単色色度(x/y) R : 0.625/0.340 G : 0.310/0.592 B : 0.150/0.063 																																																																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>発光色</th> <th>ピーク波長 (nm)</th> <th colspan="2">色度点 x y</th> <th>10%残 光分類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">カラーTV</td> <td>ZnS: Ag + 青色顔料</td> <td>青</td> <td>450</td> <td>0.146</td> <td>0.061</td> <td>MS</td> </tr> <tr> <td>ZnS: Cu, Al</td> <td>黄緑</td> <td>530</td> <td>0.282</td> <td>0.620</td> <td>MS</td> </tr> <tr> <td>ZnS: Au, Cu, Al</td> <td>黄緑</td> <td>535</td> <td>0.306</td> <td>0.602</td> <td>MS</td> </tr> <tr> <td>(ZnCd)S: Cu, Al</td> <td>黄緑</td> <td>530~560</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>MS</td> </tr> <tr> <td>Y₂O₂S: Eu + 赤色顔料</td> <td>赤</td> <td>626</td> <td>0.640</td> <td>0.352</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>白黒TV</td> <td>ZnS: Ag + (ZnCd)S: Cu, Al</td> <td>白</td> <td>450 560</td> <td>0.267</td> <td>0.291</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>端末ディスプレイ</td> <td>ZnS: Cu</td> <td>緑</td> <td>530</td> <td>0.265</td> <td>0.558</td> <td>MS</td> </tr> <tr> <td rowspan="4"></td> <td>Zn₂SiO₄: Mn, As</td> <td>緑</td> <td>525</td> <td>0.205</td> <td>0.714</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>r-Zn₃(PO₄)₂: Mn</td> <td>赤</td> <td>636</td> <td>0.655</td> <td>0.343</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>Y₃Al₅O₁₂: Ce</td> <td>黄緑</td> <td>535</td> <td>0.402</td> <td>0.557</td> <td>VS</td> </tr> <tr> <td>Y₂SiO₅: Ce</td> <td>青紫</td> <td>410</td> <td>0.169</td> <td>0.109</td> <td>VS</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">投写管</td> <td>Y₂O₃: Eu</td> <td>赤</td> <td>611</td> <td>0.642</td> <td>0.351</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Zn₂SiO₄: Mn</td> <td>緑</td> <td>525</td> <td>0.205</td> <td>0.714</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Gd₂O₂S: Tb</td> <td>黄緑</td> <td>544</td> <td>0.334</td> <td>0.561</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Y₃Al₅O₁₂: Tb</td> <td>黄緑</td> <td>545</td> <td>0.342</td> <td>0.572</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Y₂SiO₅: Tb</td> <td>黄緑</td> <td>545</td> <td>0.340</td> <td>0.570</td> <td>M</td> </tr> </tbody> </table>			発光色	ピーク波長 (nm)	色度点 x y		10%残 光分類	カラーTV	ZnS: Ag + 青色顔料	青	450	0.146	0.061	MS	ZnS: Cu, Al	黄緑	530	0.282	0.620	MS	ZnS: Au, Cu, Al	黄緑	535	0.306	0.602	MS	(ZnCd)S: Cu, Al	黄緑	530~560	-	-	MS	Y ₂ O ₂ S: Eu + 赤色顔料	赤	626	0.640	0.352	M	白黒TV	ZnS: Ag + (ZnCd)S: Cu, Al	白	450 560	0.267	0.291	-	端末ディスプレイ	ZnS: Cu	緑	530	0.265	0.558	MS		Zn ₂ SiO ₄ : Mn, As	緑	525	0.205	0.714	L	r-Zn ₃ (PO ₄) ₂ : Mn	赤	636	0.655	0.343	L	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ce	黄緑	535	0.402	0.557	VS	Y ₂ SiO ₅ : Ce	青紫	410	0.169	0.109	VS	投写管	Y ₂ O ₃ : Eu	赤	611	0.642	0.351	M	Zn ₂ SiO ₄ : Mn	緑	525	0.205	0.714	M	Gd ₂ O ₂ S: Tb	黄緑	544	0.334	0.561	M	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ : Tb	黄緑	545	0.342	0.572	M	Y ₂ SiO ₅ : Tb	黄緑	545	0.340	0.570	M
		発光色	ピーク波長 (nm)	色度点 x y		10%残 光分類																																																																																																							
カラーTV	ZnS: Ag + 青色顔料	青	450	0.146	0.061	MS																																																																																																							
	ZnS: Cu, Al	黄緑	530	0.282	0.620	MS																																																																																																							
	ZnS: Au, Cu, Al	黄緑	535	0.306	0.602	MS																																																																																																							
	(ZnCd)S: Cu, Al	黄緑	530~560	-	-	MS																																																																																																							
	Y ₂ O ₂ S: Eu + 赤色顔料	赤	626	0.640	0.352	M																																																																																																							
白黒TV	ZnS: Ag + (ZnCd)S: Cu, Al	白	450 560	0.267	0.291	-																																																																																																							
端末ディスプレイ	ZnS: Cu	緑	530	0.265	0.558	MS																																																																																																							
	Zn ₂ SiO ₄ : Mn, As	緑	525	0.205	0.714	L																																																																																																							
	r-Zn ₃ (PO ₄) ₂ : Mn	赤	636	0.655	0.343	L																																																																																																							
	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ce	黄緑	535	0.402	0.557	VS																																																																																																							
	Y ₂ SiO ₅ : Ce	青紫	410	0.169	0.109	VS																																																																																																							
投写管	Y ₂ O ₃ : Eu	赤	611	0.642	0.351	M																																																																																																							
	Zn ₂ SiO ₄ : Mn	緑	525	0.205	0.714	M																																																																																																							
	Gd ₂ O ₂ S: Tb	黄緑	544	0.334	0.561	M																																																																																																							
	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ : Tb	黄緑	545	0.342	0.572	M																																																																																																							
	Y ₂ SiO ₅ : Tb	黄緑	545	0.340	0.570	M																																																																																																							
	注) VS: 1 css than 1 μs, S: 1 μs ~ 10 μs, Ms: 10 μs ~ 1 ms ~ 100 ms, L: 100 ms ~ 1s, VL: 1 sec or over																																																																																																												

表3.2.5-6 陰極線管 (CRT) (つづく)

技術課題	参考文献	編 号
<ul style="list-style-type: none"> ・カソードの高電密度 ・偏向ヨークの磁界の均一化 ・シャドーマスクの高精細化と大型平坦化 ・蛍光体の高輝度化、長残光化 ・フェースプレート処理 (コントラストの改善) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電気学会編：電気学会技術報告 (II部) 第205号 (1985)53 2. 森：照学誌73-12 (1989)739 3. 照明学会編：ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告書 (1988) 4. 青柳：Technology and Market No. 39, Mar. (1987)1 5. 松浦ほか：東芝レビー、33, (1978)515 6. 森ほか：昭和61年電気・情報関連学会連合大会14-3 (1986) 2-159 	

表 3.2.5-8. プラズマディスプレイ

光源	最近の技術動向					
4. プラズマディスプレイ ^{1)~5)}	[方式]	[発光色]	[表示面積] (mm×mm)	[輝度] (cd/m ²)	[効率] (lm/W)	[その他]
4.1. DC形	リフレッシュ方式					
	・表示セル	橙(Ne)	640×400	170		
	・補助セル兼用	橙(Ne)	640×400	70 ⁶⁾ 、7)		
				80 ⁸⁾		
	・トリガ放電	橙(Ne)	640×400	100 ⁹⁾		
	・モノカラーパネル ¹⁰⁾	緑、白	"	77		
		アンバー	"	32		
	パルスメモリ方式					
	・縦型セル構成	フルカラー	160×126	135	0.34 ¹¹⁾	
		He-Xe				
	・平面構成	フルカラー	160×126	58	0.13 ¹²⁾	
		He-Xe				
		パルスメモリパネル導入		70	0.15 ¹³⁾	
		MgO 保護層フルカラー	256×256	34	0.25 ¹⁴⁾	数1000h
	クワンゼント放電メモリ式 ^{15) 25)}					
		Xe	フルカラー 160×120	700	1.6	
4.2. AC形	リフレッシュ方式 ¹⁶⁾					
		橙(Ne)	640×400	69		
	メモリ方式					
	・対向放電形	橙(Ne)	640×400	151 ¹⁷⁾		コントラスト20:1
			大形化 ¹⁸⁾ 2048×2048			
	・面放電形 ¹⁹⁾	フルカラー	50×50	52	0.2	

表 3.2.5-8. プラズマディスプレイ (つづき)

技術課題	参 考 文 献
・フルカラー化 UV出力向上 高輝度蛍光体 ・大型化、高精細化 ・駆動回路の小形軽量化 ・白色パネル	<ol style="list-style-type: none"> 1. 照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会：報告書、照明学会(1988) 2. 電子ディスプレイデバイス調査専門委員会：電気学会技術報告 (II部) 第 205号、電気学会(1985) 3. 小島：照学誌、71-9(1987)562-568 4. Weber, L.F. (内池訳)：照学誌、72-11(1988)642 5. 村上：照学誌、73-12(1989)752-756 6. 中川ほか：National Tech. Rep., 33-1(1987)108-116 7. 小松：沖電気研究開発53-3(1987)3-8 8. 稲熊ほか：テレビ学技報, 4[43]IPD58-3 (1981)9 9. Amano, Y., et al : 1982 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers (1982)160 10. 小原ほか：テレビ学技報 13-8(1989)7-11 11. 村上ほか：テレビ学技報, 7[29]IPD82-9(1983)49 12. 村上ほか：テレビ学技報, 9[13]IPD98-3(1985)13 13. 坂井ほか：テレビ技報、10-3, IPD113-8(1986)43-48 14. Knauer, P.E. et al: SID 87 Dig. 7-1(1987)84-87 15. Mikoshiba, S. et al : 1984 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers(1984)91 16. Oida, O., et al : 1985 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers(1985)351 17. Otsuka, A., et al : 1986 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers(1986)224 18. Wedding, D.K. et al: SID 87 Dig., 7. 4(1987)96-99 19. 横沢ほか：テレビ学技報, 8[30] ED824(1984)13 20. Holz, G., et al: SID 83 Dig. (May 1983)130-131 21. 五十嵐ほか：信学技報、86-368, EID86-47(1987)45-48 22. Pleshko, P. et al: 1981 IEDM Tech. Dig. 13-2(Dec. 1981) 299-300 23. Pleshko, P. et al: SID. Dig. 5-1(Jan. 1984)21-31 24. 里見ほか：テレビ技報、10-14, IPD109-2(1986)7-10 25. 村上ほか：テレビ誌、38-9(1984)836-842 26. Mikoshiba, S. et al: SID 84 Dig. 7-3(1984)91-94 27. 横沢ほか：テレビ技報、8-30, IPD 91-11(1984)13-18 28. Uchiike, H. et al : SID 87 Dig. 7-2(1987)88-91 29. 篠田ほか：テレビ技報、9-43, IPD 104-7(1986)37-42 30. Dick, G. W. et al: Proc. Japan Display '86, 13-5(1986) 504-506

表 3.2.5-9 蛍光表示管(VFD) (つづき)

技術課題	参 考 文 献
<p>・ 低速電子線励起 蛍光体の輝度</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会：報告書、照明学会(1988) 2. 電子ディスプレイデバイス調査専門委員会：電気学会技術報告 (II部) 第 205号、電気学会(1985) 3. 森本：照学誌, 73-12(1989)746-751 4. 森本：JEE, 18-177(1981)51 5. Morimoto, K., et al : SAE 830044(1983)69-72 6. Yoshida, Y., et al : SAE 830045(1983)73-77 7. Morimoto, K., et al : Japan Display '83 Proc.3rd Inter. Display Res. Conf. (1983)242-245 8. Watanabe, H., : SID '86 407-409

表 3.2.5-11 大形ディスプレイ用素子

光源	最近の技術動向
6. 大形ディスプレイ用素子 ^{1)~4)}	[方式] [素子径] [画素構成] [輝度] [色温度] (mm2) (mm2) (cd/m ²) (K)
6.1. CRT	(白) (赤) (緑) (青) ・ CRT 投写形 ⁵⁾ 36-100インチ 200-700 ⁶⁾ ・ 単色CRT (1) ^{7)、8)} φ35 90x90 2500 3900 9000 2400 9300 単色CRT (2) ⁹⁾ 32x22 44x82 5000 ・ 複合CRT ^{10)、11)} 384x512 4000 (コントラスト 15:1) (表示面積 7.68mx10.24m)
6.2. 蛍光放電管	・ 単色放電管 ^{12)、13)} φ34 ¹²⁾ 88x88 3350 7300 11500 3500 7500 小形 ¹³⁾ 376x560 5000 9300 (表示面積10.58mx20.16m、観視距離 20-370m) ・ 複合放電管 ^{14)、15)} 23x23 120x160 5000 7500 (表示面積3mx4m、観視距離 30-70m)
6.3. 白熱電球	・ カラー電球 ¹⁶⁾ φ18-36 1800 6000
6.4. 発光ダイオード(LED)	・ LED (赤、アンバー、緑) ^{17)~19)} (青なし) 16x16, 24x24
6.5. 蛍光表示管	・ 蛍光表示管(R, G, B) ²⁰⁾ 5x5 31.2x3 120
6.6. 液晶表示(LCD)	・ TN形 ²¹⁾ 8x64 ・ GH形 ^{22)、23)} 432x576 300 (表示面積3.12mx4.16m) (コントラスト 60:1) GH形 ²⁴⁾ 5x6.6 250 6500 ・ 投写形 フロント式 ²⁵⁾ 240x384 1030 8400~ 大形フロント式 ²⁶⁾ (40-100インチ、光源として300Wハロゲン電球、 150Wメタルハライドランプ使用) 860-1030 リア式 ²⁷⁾ 480x650 550 6500~

表 3.2.5-11 大形ディスプレイ用素子(つづき)

技術課題	参 考 文 献
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会：報告書、照明学会(1988) 2. 電子ディスプレイデバイス調査専門委員会：電気学会技術報告(II部)第205号、電気学会(1985) 3. 小原：電気・情報関連学会連大(1985)13-6 4. 重田ほか：照学誌, 73-12(1989)771-776 5. 山崎ほか：照学光関連材料・デバイス研究会(1989)39-46 6. 藤沢ほか：テレビ誌, 38-1(1984)120-129 7. 吉岡ほか：三菱電機技報, 57-6(1983)419 8. 岩田ほか：三菱電機技報, 60-9(1986)47 9. 大越ほか：照学光の発生・関連システム研究会資料LS-85-4(1985)28 10. 岡ほか：三菱電機技報, 59-3(1985)217-204 11. 児玉：放送技術 No.1(1986)140-146 12. 金子ほか：東芝レビュー, 39-10(1984)907 13. 井手ほか：電気・情報関連学会連大(1989)3-91~3-95 14. 塩浜ほか：照学光関連材料・デバイス研究会(1989)65-71 15. 大木ほか：照学全大(1989)106 16. 高田ほか：National Tech. Rep. 30-1(1984)120-129 17. 上井：電気情報通信学会技術研究報告 86-368(1986)25-28 18. 成瀬ほか：National Tech. Rep. 33-1(1987)86-93 19. 柏原：電気・情報関連学会連大(1989)3-75~3-78 20. 福田ほか：テレビジョン学会技術報告ED 922 IPD 104-6(1986)31 21. 明道ほか：テレビ誌 43-4(1989)371-374 22. 太田ほか：照学光関連材料・デバイス研究会(1988)89-94 23. 太田ほか：三菱電機技報, 63-3(1989)205-208 24. 中村ほか：National Tech. Rep. 33-1(1987) 25. 両角：テレビ学全大(1988)449-452 26. 金谷ほか：電気・情報関連学会連大(1989)3-79~3-82 27. 宇野ほか：テレビ学全大(1989)85-86

3.2.6. 液晶バックライト

近年、カラー液晶素子を表示部に用いたポケットテレビやポータブルパソコンが急速に普及しつつある。液晶素子は低電圧駆動、低消費電力、軽量、安価という特長をもつが、非発光素子であるために通常、照明装置（バックライト）が不可欠である。バックライトには高輝度、輝度の均一性、色調、寿命、低消費電力、薄形などの要求性能があり、その最適化が大きな課題である。バックライトに用いられる光源にはEL、LED、蛍光ランプ（冷陰極形、熱陰極形）、ハロゲン電球等がある。現時点では上記要求性能のすべてを一つの光源で満足するものはなく、用途に応じて使い分けられているのが現状である。バックライトは面光源であることが不可欠なために、EL以外のものは面光源化のために種々の工夫がなされている。直管形蛍光ランプの例を示すと一つは反射板方式で、もう一つは導光体方式とよばれるものである。前者は高輝度、低コストが特長であるのに対し、後者は省スペース、均一輝度という特長を有している。

1) 小形蛍光ランプ方式

現在、カラー表示用のバックライトにはランプ容積やランプ消費電力の増大にもかかわらず高輝度の白色光が得られ、発光効率が高い小形蛍光ランプが用いられている。蛍光ランプを用いたバックライトは陰極構造の違いで冷陰極形と熱陰極形の二種類がある。前者は寿命が20000時間以上と長寿命であるが発光効率が低いのに対し、後者は発光効率が高く、高輝度を得られる。但し寿命は約3000時間と短い。現在、効率が高い3波長形蛍光体を用いた6000K熱陰極形蛍光ランプを高周波点灯回路で用いたバックライトで6800 cd/m²（但し光スクリーンあり）が得られている。これによりCRTに近い表示輝度を得られている。一方、これまでの管形にかわり、薄形化のために平板形の冷陰極形蛍光ランプが開発されている。サイズは3～12インチで、厚みは8-12mmである。輝度は冷陰極形であるため、3～5インチサイズで3000cd/m²である。この他にランプ形状をU形やW形に成形したものも開発されている。

現時点では蛍光ランプが形状が大きいという点で他の光源に比べ圧倒的に不利にもかかわらず、高輝度、フルカラー化が可能なだけの理由で最大の使用実績を誇っている。蛍光ランプの今後の課題は平板化、細管化等による光源自体のより一層のコンパクト化への取り組みと、周辺回路を含めたシステム全体の省スペース化の取り組みが必要である他、発光効率の向上（低消費電力化、発熱低減、光源の小形化）と長寿命化も大きな課題である。

2) EL方式

ELは高画質、高信頼性に加えてバックライトに最適な平板構造をしているという大きな利点を有している。現在バックライトに用いられているELは真性形とよばれる有機分散形ELである。問題は光色が緑色系に限られ、輝度が約100cd/m²と低く、蛍光体の粒径、発光層と絶縁層の膜厚調整、駆動電圧、周波数を上げるなどして輝度を上げると、発熱による有機バインダーの変質などの理由により寿命が短くなるという問題がある。現在では、輝度と寿命はほぼ反比例することが知られている。従ってELの第一の課題は輝度の大幅

3) LED方式

LEDは低電圧、低電流駆動が可能で、応答速度が早く、かつ長寿命という特徴をもっている。またチップオンボード形に成形できるために、薄形のバックライトがえられる。しかしながら発光色が緑色から赤色までにかぎられ、効率の高い青発光が得られていないため、カラー表示ができないという大きな課題を抱えている。高輝度青色発光LEDの開発とあわせて現行品の輝度の大幅なレベルアップが不可欠である。

現在得られている代表的特性は黄緑色発光で複数個のLEDを樹脂で固めたもので33.5 cd/m²が得られている。

液晶ディスプレイはこれまでの家電を中心とした民生機器からOA機器の端末用などの新規分野に急速に展開しつつある。それに伴い市場規模も1987年の約700億円が2000年には約7000億円と10倍に拡大すると予測されている。しかしながら一方では他のディスプレイデバイスとの熾烈な競合があり、液晶ディスプレイについてはバックライトの性能向上にかけられた期待は大きい。

品名	寸法(mm)	輝度(cd/m ²)	消費電力(W)
LED	2.5x2.5	33.5	0.1
LED	3.0x3.0	33.5	0.1
LED	3.5x3.5	33.5	0.1
LED	4.0x4.0	33.5	0.1
LED	4.5x4.5	33.5	0.1

(注)

品名	寸法(mm)	輝度(cd/m ²)	消費電力(W)
LED	2.5x2.5	33.5	0.1
LED	3.0x3.0	33.5	0.1
LED	3.5x3.5	33.5	0.1
LED	4.0x4.0	33.5	0.1
LED	4.5x4.5	33.5	0.1

光源	要求性能	最近の技術動向																																				
* 蛍光ランプ (1) 小型カラーテレビ用、ワープロ・パソコン用およびビデオビューファイナダ-用	明るさ 均せい度 色相 消費電力 寿命	<u>1. 全般的動向</u> ・ 3波長形蛍光体の採用による高輝度化 ¹⁾ ・ 各種光学系による画面輝度均整化 ・ 高周波インバータ回路の採用による高効率化 ²⁾																																				
	厚さ	<u>2. 光色 (色温度)</u> 大部分のものに6000~7000Kが採用されており、特に6500Kのものが多くみられる。																																				
		<u>3. 寿命特性</u> 熱陰極形で約3000時間とやや短いが冷陰極形では20000時間以上が得られている。 <u>4. 代表的ランプ特性</u> (熱陰極形)																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ランプ寸法</th> <th>輝度</th> <th>画面サイズ・mmxmm</th> <th>光学系</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15.5φ/8W*4</td> <td>7000cd/m²</td> <td>248x186</td> <td>反射板</td> <td>3)</td> </tr> <tr> <td>15.5φ/6W*1</td> <td>6800</td> <td>140x120</td> <td>反射板</td> <td>4)</td> </tr> <tr> <td>15.5φ/8W*2</td> <td>2800</td> <td>248x186</td> <td>導光体</td> <td>5)</td> </tr> <tr> <td>8.0φ * 1</td> <td>1500</td> <td>(2インチ)</td> <td>導光体</td> <td>3)</td> </tr> <tr> <td>4.1φ/0.55W</td> <td>3000</td> <td>18.6x13.9</td> <td>反射板</td> <td>6)</td> </tr> </tbody> </table>				ランプ寸法	輝度	画面サイズ・mmxmm	光学系		15.5φ/8W*4	7000cd/m ²	248x186	反射板	3)	15.5φ/6W*1	6800	140x120	反射板	4)	15.5φ/8W*2	2800	248x186	導光体	5)	8.0φ * 1	1500	(2インチ)	導光体	3)	4.1φ/0.55W	3000	18.6x13.9	反射板	6)					
ランプ寸法	輝度	画面サイズ・mmxmm	光学系																																			
15.5φ/8W*4	7000cd/m ²	248x186	反射板	3)																																		
15.5φ/6W*1	6800	140x120	反射板	4)																																		
15.5φ/8W*2	2800	248x186	導光体	5)																																		
8.0φ * 1	1500	(2インチ)	導光体	3)																																		
4.1φ/0.55W	3000	18.6x13.9	反射板	6)																																		
(冷陰極形)																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ランプ寸法</th> <th>輝度</th> <th>画面サイズ・mmxmm</th> <th>光学系</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>W形6.φ/3W</td> <td>5300cd/m²</td> <td>66x83</td> <td>反射板</td> <td>7)</td> </tr> <tr> <td>厚さ10mm/5W</td> <td>3000</td> <td>103x81</td> <td>面光源</td> <td>8)</td> </tr> <tr> <td>厚さ8mm/2W</td> <td>2700</td> <td>67x53</td> <td>面光源</td> <td>8)</td> </tr> <tr> <td>厚さ12mm/5W</td> <td>1000</td> <td>156x90</td> <td>面光源</td> <td>8)</td> </tr> <tr> <td>厚さ12mm/10W</td> <td>1000</td> <td>240x176</td> <td>面光源</td> <td>8)</td> </tr> <tr> <td>8.0φ * 2</td> <td>300</td> <td>230x100</td> <td>導光体</td> <td>4)</td> </tr> </tbody> </table>				ランプ寸法	輝度	画面サイズ・mmxmm	光学系		W形6.φ/3W	5300cd/m ²	66x83	反射板	7)	厚さ10mm/5W	3000	103x81	面光源	8)	厚さ8mm/2W	2700	67x53	面光源	8)	厚さ12mm/5W	1000	156x90	面光源	8)	厚さ12mm/10W	1000	240x176	面光源	8)	8.0φ * 2	300	230x100	導光体	4)
ランプ寸法	輝度	画面サイズ・mmxmm	光学系																																			
W形6.φ/3W	5300cd/m ²	66x83	反射板	7)																																		
厚さ10mm/5W	3000	103x81	面光源	8)																																		
厚さ8mm/2W	2700	67x53	面光源	8)																																		
厚さ12mm/5W	1000	156x90	面光源	8)																																		
厚さ12mm/10W	1000	240x176	面光源	8)																																		
8.0φ * 2	300	230x100	導光体	4)																																		

光源	要求性能	最近の技術動向																																								
* 蛍光ランプ (2) 大型画面ディスプレイ用		<p>1. <u>光色 (色温度)</u> 大部分のものに6500Kが採用されている。</p> <p>2. <u>代表的ランプ特性</u></p> <table border="1" data-bbox="646 448 1340 649"> <thead> <tr> <th>ランプ寸法</th> <th>輝度 (cd/m²)</th> <th>光学系</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28φ / 20W-40W</td> <td>10000-30000</td> <td>拡散板 ⁹⁾</td> </tr> </tbody> </table>	ランプ寸法	輝度 (cd/m ²)	光学系	28φ / 20W-40W	10000-30000	拡散板 ⁹⁾																																		
ランプ寸法	輝度 (cd/m ²)	光学系																																								
28φ / 20W-40W	10000-30000	拡散板 ⁹⁾																																								
* ELランプ (分散形) モノクロディスプレイ用		<p>1. <u>発光色</u> 青緑色からオレンジ色まで得られるが、黄緑色が最も輝度が高い。</p> <p>2. <u>代表的ランプ特性 (400HZ駆動)</u></p> <table border="1" data-bbox="646 907 1300 1254"> <thead> <tr> <th>電圧 (V)</th> <th>発光輝度 (cd/m²)</th> <th>発光効率 (lm/W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>140</td> <td>73</td> <td>5.2 ¹⁰⁾</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>155</td> <td>3.1 ¹⁰⁾</td> </tr> <tr> <td>115</td> <td>30-100</td> <td>2-7 ¹¹⁾</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. <u>寿命特性</u></p> <table border="1" data-bbox="646 1355 1380 1870"> <thead> <tr> <th>電圧 (V)</th> <th>周波数 (Hz)</th> <th>輝度 (cd/m²)</th> <th>輝度半減期 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>115</td> <td>400</td> <td>30-100</td> <td>4000 ¹¹⁾</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1000</td> <td>70</td> <td>5000 ¹²⁾</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1000</td> <td>130</td> <td>1500 ¹²⁾</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1000</td> <td>110</td> <td>5000 ¹²⁾</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td>1000</td> <td>270</td> <td>2500 ¹³⁾</td> </tr> <tr> <td>160</td> <td>400</td> <td>150</td> <td>12000 ¹³⁾</td> </tr> </tbody> </table>	電圧 (V)	発光輝度 (cd/m ²)	発光効率 (lm/W)	140	73	5.2 ¹⁰⁾	200	155	3.1 ¹⁰⁾	115	30-100	2-7 ¹¹⁾	電圧 (V)	周波数 (Hz)	輝度 (cd/m ²)	輝度半減期 (h)	115	400	30-100	4000 ¹¹⁾	100	1000	70	5000 ¹²⁾	100	1000	130	1500 ¹²⁾	100	1000	110	5000 ¹²⁾	140	1000	270	2500 ¹³⁾	160	400	150	12000 ¹³⁾
電圧 (V)	発光輝度 (cd/m ²)	発光効率 (lm/W)																																								
140	73	5.2 ¹⁰⁾																																								
200	155	3.1 ¹⁰⁾																																								
115	30-100	2-7 ¹¹⁾																																								
電圧 (V)	周波数 (Hz)	輝度 (cd/m ²)	輝度半減期 (h)																																							
115	400	30-100	4000 ¹¹⁾																																							
100	1000	70	5000 ¹²⁾																																							
100	1000	130	1500 ¹²⁾																																							
100	1000	110	5000 ¹²⁾																																							
140	1000	270	2500 ¹³⁾																																							
160	400	150	12000 ¹³⁾																																							

光源	要求性能	最近の技術動向								
* LED ランプ		<p>1. 発光色¹⁴⁾</p> <p>緑色、黄緑色、黄色、赤色が実用化されている。</p> <p>赤色 GaP:ZnO, GaAlAs, GaAsP/GaAs, GaAsP/GaP,</p> <p>黄色 GaAsP/GaP,</p> <p>黄緑色 GaP:N</p> <p>緑色 GaP</p> <p>2. バックライトへの応用例¹⁴⁾</p> <table border="1" data-bbox="711 745 1449 1205"> <thead> <tr> <th>ランプ構造</th> <th>輝度 (cd/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>・ 樹脂硬化形 （黄緑色）</td> <td>35.5</td> </tr> <tr> <td>・ ミニモールドアセンブリ形 （黄緑、赤、黄色）</td> <td>5-7</td> </tr> <tr> <td>・ チップオンボード形 （黄緑色）</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	ランプ構造	輝度 (cd/m ²)	・ 樹脂硬化形 （黄緑色）	35.5	・ ミニモールドアセンブリ形 （黄緑、赤、黄色）	5-7	・ チップオンボード形 （黄緑色）	7
ランプ構造	輝度 (cd/m ²)									
・ 樹脂硬化形 （黄緑色）	35.5									
・ ミニモールドアセンブリ形 （黄緑、赤、黄色）	5-7									
・ チップオンボード形 （黄緑色）	7									

技術課題	参考文献
<p><u>* 蛍光ランプ</u></p> <p>1) 熱陰極形： ・ 寿命の改善</p> <p>2) 冷陰極形： ・ 効率と輝度向上</p> <p>全体の問題として光源の平面と熱の軽減がある。</p> <p><u>* ELランプ</u></p> <p>・ 輝度向上 ・ 多色化 ・ 純白色の実現 ・ 寿命改善 ・ 温度特性改善</p> <p><u>* LEDランプ</u></p> <p>・ 白色の実現 (青色の開発) ・ 大幅な輝度向上</p>	<p>1) 小口：日経エレクトロニクス(1984.9.10)</p> <p>2) 新井：テレビジョン学会技術報告 9,4 (昭61)21</p> <p>3) 重田：照明学会研究会MD-88-50,30</p> <p>4) 新井：照明学会研究会MD-85-9,5</p> <p>5) 村上：電気関連学会関西支部連大 G13-4,G376(1987)</p> <p>6) 数永：照学会誌73-5,260(1989)</p> <p>7) 中村：1989年照学全大,46</p> <p>8) 岸本：照明学会研究会MD-88-47,15</p> <p>9) 小沢：テレビジョン学会技術報告 IPD 105-5,P21(1987)</p> <p>10) 佐藤：照明学会研究会MD-85-10,9</p> <p>11) 門倉：第217回蛍光体同学会予稿 1(1988)</p> <p>12) 鈴木：同上、13(1988)</p> <p>13) 森口：照明学会研究会MD-89-15, 97</p> <p>14) 三橋：テレビジョン学会技術報告 IPD 105-4,P15(1987)</p>

3. 3 放射源

3.3.1 情報機器用

情報化社会の進展とともに、FAX、PPC、イメージリーダなどの情報端末機器はますます高性能化が進むとともに、パーソナルマシンとして小型・低価格化が進み市場が急激に拡大している。高性能か、パーソナル化する情報機器を開発する上で、光源ユニットは機器の特性を左右するキーデバイスとしてますます重要となっている。特に、光源に対しては機器の高速化、カラー化、低価格化を進める上で高性能なものが求められている。

(1) 蛍光ランプ

蛍光ランプは、長尺・高効率（省電力）・長寿命・任意の放射スペクトル選択などの特徴を生かし、情報機器用光源の主力として使われている。また、短所である温度特性変動に対しては、ランプと点灯回路の両面から対策が取られている。

機器の小型化にたいしては、希土類蛍光体の開発が進んだため高負荷の点灯が可能となり、管径を従来の26mmから16mm、さらに4～12mmと縮小化が進み、その最適設計の検討が進んでいる。また、電極ステム構造の改良、接続ピンを口金の側面に位置させた特殊口金の採用などからランプ端部の非発光長の短縮化も同時に進み、ランプのコンパクト化が進んだ。

ファクシミリやイメージリーダのカラー化にたいしては、センサー感度やフィルター特性を考慮した発光スペクトルを持つ、色再現性の良いカラー読み取り用蛍光ランプや、R・G・Bの各光源を順次間欠点灯してカラー読み取りする短残光性の専用蛍光ランプが製品化された。

紫外蛍光ランプは、図面の青焼き用のジアゾ複写機の光源として根強い需要があり現在も使われている。従来390nmや405nmに発光ピークを持つランプが使用されていたが、現在は420nmピークの蛍光ランプが使われている。この紫外ランプの新しい用途として、ジアゾ光定着型感熱紙の光定着用光源としての用途がでてきた。この感熱紙は、現在ファクシミリや乗車券の用紙として多用されている染料発色型感熱紙の画像の不安定性を改善するものとして開発されたものである。

蛍光ランプの最大の欠点である大きな温度特性変動に対しては、ランプ管壁にヒータを設け、管壁温度とランプ電流を制御して光出力を一定に保つ方式が実用化された。

(2) 希ガス放電ランプ

蛍光ランプの温度特性変動を放電メカニズムの面から解決するものとして希ガス放電灯の開発が進められている。希ガス放電ランプは、封入希ガスの発光を利用する希ガス放電ランプと希ガスの真空紫外放射で蛍光体を励起する希ガス蛍光ランプに分類される。いずれも発光過程に水銀が関与しないため温度特性変動がなく、光の高速立ち上がり特性を持つなど長所がある。

希ガス放電ランプでは、ネオンの640nm付近の発光を二色ファクシミリ用の赤色光源に、またアルゴンの810nm付近の近赤外発光を赤外撮像用やOCR用の光源に用いるランプが製品化された。光出力の劣化がないのも特徴となっている。

希ガス蛍光ランプとしては、キセノンを使用した冷陰極グロー蛍光ランプが検討され、管径4～7mmのアーチャ形として3000cd/m²程度に高輝度化をはかり、ファクシミリやレーザー用光源として製品化された。またこの方式のランプで白色発光をさせるための短波長紫外励起蛍光体の検討もされている。この希ガス蛍光ランプはランプ電流を増加しても光束は飽和傾向を示し大きな出力が得にくいことが難点である。これを解決する方法としてパルス的に高周波間欠点灯する方式が研究され、高効率化と大出力化に有効であることが報告され注目されている。

キセノンを主体とする希ガスフラッシュランプが電子写真分野の露光とトナーの定着用に製品化されている。管の単位断面積当りのピーク電流値として1000～3000A/cm²程度の高電流パルス発光を起こし、可視部から近赤外部の連続スペクトルと近赤外部の線スペクトルを短時間に多量発生させ利用するものである。高速な情報機器に使用されている。

(3) ハロゲン電球

ハロゲン電球は放電ランプに比較し発光効率が低く、赤外放射が多いにもかかわらず情報機器用光源として多く使われている。この理由は大きさ、消費電力、配光特性、点灯制御性などの面で安定性と柔軟性に優れているためである。技術面でも着実に開発が進められている。ランプ構造面ではセグメント型が多く使われるようになった。従来複数個の電球を直列に接続して構成されていたが、これを複数個のフィラメントを一定の間隔に支持体（非発光）で直列に接続し、石英バルブ中に封入し一本のランプにする構造である。また露光用としての照明の均斉度をあげるため、電球表面をサンドブラスト処理やTiO₂・SiO₂の多層被膜処理する方法が開発されている。後者の多層被膜に可視透過赤外反射特性を持たせることにより効率も約15%向上させている。可視透過赤外反射被膜の利用は一般照明用ランプの効率向上手段として開発が進んでいるので今後情報機器用ランプにも多用されると予想される。

光源	要求性能	最近の技術動向
<p>3.3.1 情報機器用</p> <p>複写（露光・定着） OCR、イメージリ ーダ用など</p> <ul style="list-style-type: none"> ・蛍光ランプ ・希ガス放電ランプ ・ハロゲン電球 	<ul style="list-style-type: none"> ・小形化 ・高出力化 ・高効率カラー読み取り用 ・特性変動の低減 ・長寿命化 ・調光特性の改善 ・点灯装置を含めたシステムとしての小形・高効率・低価格化 	<p>(1) 蛍光ランプ、希ガス放電ランプ¹⁰⁾¹¹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小形化 管径26mmより16mmのアーチャ形ランプ¹⁾ 管径8~12mmの冷陰極蛍光ランプ⁷⁾ 管径4~12mmランプの最適設計検討⁹⁾ ・高出力化 希土類蛍光体の使用と細管設計により28%原稿面照度向上¹⁾ ・カラー読み取り用 2色読み取り用光源⁴⁾⁵⁾ 赤色(Ne希ガス)と青色(蛍光ランプ)を使用した順次点灯読み取り 多色読み取り用光源 赤・緑・青(蛍光パネル)ランプの順次点灯読み取り⁶⁾ センサー、フィルター感度を考慮した昼光色系ランプ²⁾ ・特性変動の低減 管壁温度、ランプ電流を制御して光出力一定化²⁾ XeのVUV励起を利用したキセノングロー蛍光ランプとそれに使用する蛍光体の検討³⁾〔14)15)16)〕 希ガス蛍光ランプの高周波間欠点灯による効率向上 ファクシミリ用Ne希ガス赤色発光ランプ¹²⁾ Ar-Ne系希ガス近赤外ランプのOCR、赤外撮像への応用¹³⁾ ・長寿命化：小形冷陰極蛍光ランプ⁷⁾ ・その他 光定着用：感熱紙の光定着用紫外ランプ⁸⁾ Xeフラッシュランプ：電子写真の露光とトナー定着用の大電流パルス点灯¹⁷⁾¹⁸⁾ <p>(2) ハロゲン電球¹⁹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> ・照明の均斉度向上：電球表面のサンドブラスト処理 やTiO₂・SiO₂の多層皮膜処理²⁰⁾ ・高効率化：赤外反射膜の利用で効率15%向上²⁰⁾ ・構造：セグメント型構造の採用¹⁹⁾

技 術 課 題	文 献
<ul style="list-style-type: none"> ・対象機器が多岐にわたるためそれぞれの特徴に合った光源の開発 ・開発にあたり情報機器技術者との深い連携が必要 ・ランプ・点灯装置システムとしての小形・高効率・低価格化 	<ol style="list-style-type: none"> (1) 能見ほか：昭57照学全大、9 (2) 石田ほか：テレビジョン学会研究報告ICS87-54 (3) 吉池：東芝レビュー、40-12(昭60) 1079 (4) 西勝ほか：昭57照学全大、4 (5) 戸村ほか：三菱電機技報、57-6(1983) 424 (6) 太田ほか：信学技報、ED87-35 (7) 恒川ほか：昭59照学全大、17 (8) 島田ほか：NEC技報、40-2(1987) 23 (9) 御園ほか：照学会研究会資料、LS-88-20 (10) 安西：電子写真学会誌、27-1(1988) 39 (11) 熊見：照学誌、73-5(平元年) 224 (12) 西勝ほか：昭58照学全大、54 (13) Anzai, Y. et. al. :Light. Des. Appl., 17-2(1987) 33 (14) 奥野：昭50照学全大、15 (15) Anzai, Y. et. al. :Fifth International Symposium on the Science & Technology of Light Sources, York (1984) 49 (16) 中川ほか：昭63照学全大、12 (17) 中嶋：照学誌、73-5(平元年) 230 (18) 中嶋：電子写真学会誌、27-1(1989) 51 (19) 西山ほか：照学誌、73-5(平元年) 237 (20) 渡辺ほか：東芝レビュー、42-12(昭62) 949

3.3.2 印刷用

印刷用光源として、製版焼付用光源とインキや塗料の乾燥と硬化に使用されているランプの動向について記す。

(1) 製版焼付用光源

従来から製版焼付に使用されていたパルスドキセノンランプは1.5KW入力 of 直管ランプとU字型ランプ、3KW、5KW、8KW入力 of ヘリカル型ランプまでシリーズ商品化された。このランプはキセノンガスのみを使用した空冷放電ランプであり、一定出力に達するまでの時間（安定時間）が短く（5秒MAX.）、その再現性が良いこと、さらに消灯後再点灯に必要な休止時間（再点灯時間）が短い（2～3秒）という特徴をもっている。製版焼付に使用される感光材料の分光感度は一般に300nm～500nmである。

上記パルスドキセノンランプではこの領域の効率向上は望めない。

焼付スピード向上のために300nm～500nmの波長域の放射効率が高いガリウム入りメタルハライドランプが1970年代に製版、焼付用光源として利用され始めた。初期のガリウムランプは長い安定時間（10分）、および長い再点灯時間（数分）という欠点があった。そのため、ランプを連続で点灯し、シャッターの開閉で光をオン・オフする方法が採用されていた。

1980年代にランプ寸法と始動ガス圧の適性化、積分光量計の使用、およびイグニッションの強化等により、製版用としては実用上瞬時安定、瞬時再点灯可能なガリウムランプが開発された。現在、1.5KW、3KW、6KW、8KW入力 of 瞬時安定、瞬時再点灯 of ガリウムランプが製品化されている。

水銀ランプも製版焼付用光源に適した分光分布をもっている。特に300nm～400nmの波長を必要とする明室焼付用装置に適した光源である。

瞬時安定と再点灯性にすぐれた水冷の毛細管型超高圧水銀ランプ（管内径約2mm、発光長40mm～140mm）を使用した装置が製品化されている。ランプ入力は1kW～5kWである。

また、無電極マイクロ波点灯方式の水銀ランプも製品化された。無電極のためにバルブの汚染が少なく、光出力劣化が有電極ランプよりも遅いこと、熱の放射が少なく、紫外放射の放射効率が高いとされている。

(2) インキ乾燥・硬化用光源

インキや塗料の乾燥・硬化には赤外放射と紫外放射が使用されている。

赤外放射の工学的利用はフォード社で1938年に行われた自動車塗料の乾燥焼付が最初であるとされている。

放射源としては、白熱電球、ニクロム、炭化珪素等の通電発熱体、熱源による二次加熱を利用するセラミックス放射体が使用されてきた。

赤外放射の放射効率は放射体の表面温度、形状、放射率によって変わるが、50%～70%である。

近年、ハロゲンランプの石英ガラスバルブに赤外放射塗料を塗布した光源が製品化された。赤外放射の立ち上がり、立ち下がりが速く、放射量の制御が簡単なこと、また、装置の軽量化が可能なこと等、新光源として期待されている。

従来のインキよりも高価ではあるが、紫外放射硬化形インキ（UVインキ）の使用は溶

剤を含まないため無公害に近く、また自然乾燥等従来の乾燥法に比べれば瞬時乾燥であり、各方面で実用化された。UVインキは200~400nmの紫外放射を吸収し、光重合反応で硬化・乾燥する。

上記用途に適した光源として、最初に高圧水銀ランプが使用された。発光長は用途により変わり、250mm~1400mm程度である。初期のランプの入力は単位長当たり30W/cm~60W/cmであったが、現在では最大160W/cmの入力ランプも商品化されている。ランプを高入力化するためにはランプの管壁温度を適性かつ一様に保つことが必要で、反射鏡にもうけられた冷却装置の工夫で上記条件が達成された。インキ乾燥用高圧水銀ランプのランプ寿命は5000~6000時間（出力減衰30%）である。インキの膜厚が厚い（数10 μ m以上）場合、あるいはインキの種類によっては300nm~450nmの紫外放射が有効となる。鉄を主体にスズやマグネシウムを添加したメタルハライドランプが上記目的で開発された。ランプの寸法、入力はほぼ高圧水銀ランプと同レベルに作られている。但し、ランプ寿命が1000~2000時間であり、高圧水銀ランプにくらべ短い。

マイクロ波点灯方式の無電極放電ランプも乾燥、硬化に利用された。発光長が150mm~250mm、バルブ入力が120W/cm程度のコンパクトな放電管で、安定時間と再点灯時間が短いこと（4秒および12秒）、発光体として水銀および他のメタルを封入することにより、放射の主波長の異なる放射体が比較的容易に作られることが特徴である。バルブ寿命は3000時間である。またマグネトロンの寿命は1000~2000時間である。

下に製版用およびインキ硬化光源の代表的なランプの分光分布とマイクロ波放電管の基本構成を示す。

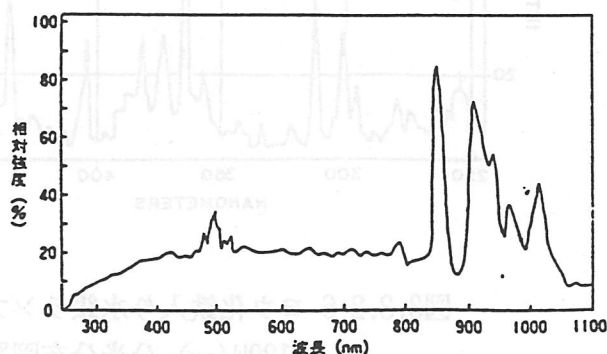


図3.3.2-1 キセノンランプ分光分布図

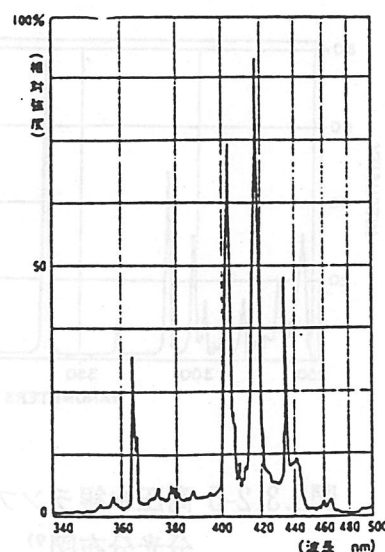


図3.3.2-2 ガリウムランプ分光分布図

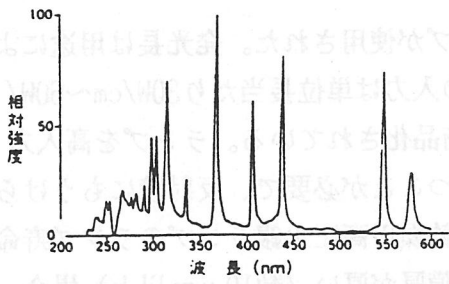


図3.3.2-3 毛細管型超高压水銀ランプ
分光分布図³⁾

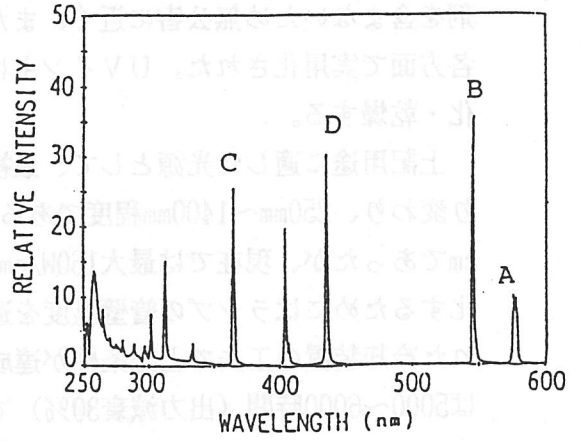


図3.3.2-4 マイクロ波放電水銀ランプ
分光分布図⁶⁾

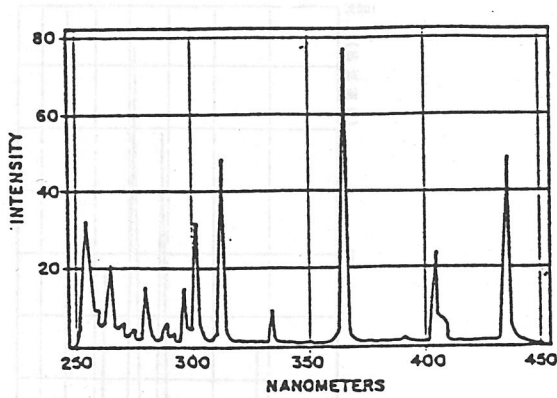


図3.3.2-5 高压水銀ランプ(200W/inch)
分光分布図⁹⁾

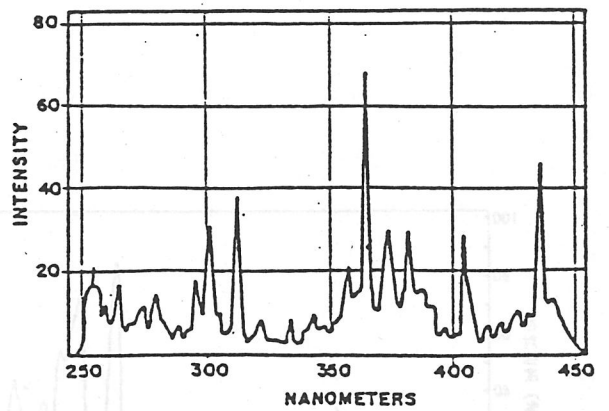


図3.3.2-6 ヨウ化鉄入り水銀ランプ
(120W/cm) 分光分布図⁹⁾

光源	要求性能	最近の技術動向																		
<p>3.3.2 印刷用光源</p> <p>(1) 製版焼付用光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルステキセン ・ガリウムランプ ・毛細管型超高压水銀ランプ ・マイクロ波方式水銀放電ランプ <p>(2) インキ乾燥・硬化用光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧水銀ランプ ・鉄封入メタルハイドランプ ・マイクロ波方式放電ランプ (無電極放電ランプ) ・赤外放射源 	<p>300~500nmの出力効率向上</p> <p>瞬時安定</p> <p>瞬時再点灯</p> <p>長寿命化</p> <p>200~400nmの出力効率向上</p> <p>ランプの高負荷化</p> <p>オゾンレス化 (=大出力化)</p> <p>用途に合致した波長の選択性</p>	<p>製版焼付用光源の性能例</p> <table border="1" data-bbox="815 376 1396 1086"> <thead> <tr> <th>光源</th> <th>品種・性能等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ハルステキセン</td> <td>ランプ入力1.5KW~8KW 瞬点可能 寿命~500時間</td> </tr> <tr> <td>ガリウムランプ 1) 2)</td> <td>入力1.5KW~8KW 安定時間 10秒 再点灯時間 6秒~10秒 寿命 400時間 出力減衰 30%</td> </tr> <tr> <td>毛細管型超高压水銀ランプ 3)</td> <td>入力 1KW~5KW 安定時間 2~3秒 再点灯時間は~1秒</td> </tr> <tr> <td>マイクロ波点灯方式水銀ランプ 4) 5) 6)</td> <td>入力 1500W 球状 安定時間 3秒~5秒 寿命 500時間で出力減衰10%</td> </tr> </tbody> </table> <p>インキ乾燥・硬化用光源の性能例</p> <table border="1" data-bbox="815 1187 1396 1863"> <thead> <tr> <th>光源</th> <th>品種・性能等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高圧水銀ランプ 1)</td> <td>発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~160W/cm ランプ寿命 5000~6000時間</td> </tr> <tr> <td>鉄封入メタルハイドランプ 7) 8)</td> <td>発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~120W/cm ランプ寿命 1000~2000時間 水銀ランプよりも300~450nmの出力を向上</td> </tr> <tr> <td>マイクロ波点灯方式水銀ランプとメタルハイドランプ 4) 6)</td> <td>発光長 150mm~200mm (および球状) ランプ入力 ~120W/cm ランプ寿命 3000時間 (マグネトンの寿命 1000~2000時間 各種主波長のバルブができる</td> </tr> </tbody> </table> <p>遠赤外ヒーターの多様化¹⁰⁾</p>	光源	品種・性能等	ハルステキセン	ランプ入力1.5KW~8KW 瞬点可能 寿命~500時間	ガリウムランプ 1) 2)	入力1.5KW~8KW 安定時間 10秒 再点灯時間 6秒~10秒 寿命 400時間 出力減衰 30%	毛細管型超高压水銀ランプ 3)	入力 1KW~5KW 安定時間 2~3秒 再点灯時間は~1秒	マイクロ波点灯方式水銀ランプ 4) 5) 6)	入力 1500W 球状 安定時間 3秒~5秒 寿命 500時間で出力減衰10%	光源	品種・性能等	高圧水銀ランプ 1)	発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~160W/cm ランプ寿命 5000~6000時間	鉄封入メタルハイドランプ 7) 8)	発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~120W/cm ランプ寿命 1000~2000時間 水銀ランプよりも300~450nmの出力を向上	マイクロ波点灯方式水銀ランプとメタルハイドランプ 4) 6)	発光長 150mm~200mm (および球状) ランプ入力 ~120W/cm ランプ寿命 3000時間 (マグネトンの寿命 1000~2000時間 各種主波長のバルブができる
光源	品種・性能等																			
ハルステキセン	ランプ入力1.5KW~8KW 瞬点可能 寿命~500時間																			
ガリウムランプ 1) 2)	入力1.5KW~8KW 安定時間 10秒 再点灯時間 6秒~10秒 寿命 400時間 出力減衰 30%																			
毛細管型超高压水銀ランプ 3)	入力 1KW~5KW 安定時間 2~3秒 再点灯時間は~1秒																			
マイクロ波点灯方式水銀ランプ 4) 5) 6)	入力 1500W 球状 安定時間 3秒~5秒 寿命 500時間で出力減衰10%																			
光源	品種・性能等																			
高圧水銀ランプ 1)	発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~160W/cm ランプ寿命 5000~6000時間																			
鉄封入メタルハイドランプ 7) 8)	発光長 250mm~1400mm ランプ入力 60W/cm~120W/cm ランプ寿命 1000~2000時間 水銀ランプよりも300~450nmの出力を向上																			
マイクロ波点灯方式水銀ランプとメタルハイドランプ 4) 6)	発光長 150mm~200mm (および球状) ランプ入力 ~120W/cm ランプ寿命 3000時間 (マグネトンの寿命 1000~2000時間 各種主波長のバルブができる																			

3.3.3. 工業用

(1) 低圧水銀ランプ

254 nmの紫外放射を主に発光する低圧水銀ランプは殺菌ランプともいわれ30 Wが限度であった。管球材料を軟質ガラスから石英ガラスに変え、水で冷却し管壁温度を40℃前後に保つことにより、高容量化が計られた。400～500 Wが商品化されている。従来のGL15の紫外放射出力が3 Wであるのに対し400 Wでは60 Wとなり、有効発光長が2倍になるものの出力は20倍になっている。

185 nmの紫外放射も発光する低圧水銀ランプは、酸素をオゾン化し、このUV/オゾンクリーニングは電子部品の洗浄に利用されている。

殺菌ランプを石英ガラスで作し、そのランプの周囲に水を流す事により、水の殺菌ができる。水中の有機物も酸化できるため超純水を作る過程に利用されている。

(2) 超高圧水銀ランプ

リソグラフィの高解像度化と生産性向上化のためg線(436nm)より短波長であるi線(365nm)を利用する傾向にある。i線は波長の違う4本のスペクトル線より構成されており、半値巾がg線に比べ大きい。高解像度を実現するためi線の強度を落とさずにi線の半値巾と連続スペクトル強度をできるだけ抑える必要がある。

またフラッシュ点灯ランプは連続点灯ランプよりランプ寸法が小さく、また発光効率がg線で約10%増加する。

(3) Xe-Hgランプ

Deep UV領域(300nm以下)に発光するXe-Hgランプが市販されており半導体製造工程に使われている。より高輝度化が望まれている。

商標商標の記号	商標商標	商標商標
<p>半導体製造への利用</p> <p>(1) ニーニマ</p> <p>の加工に用いられる半導体製造に</p> <p>の高容量</p> <p>(4) 400w (3) 400w (2) 400w (1)</p> <p>大規模な半導体製造に</p> <p>500x124</p> <p>(8) 10x10x10</p> <p>(9) 10x10x10</p> <p>(10) 10x10x10</p> <p>(11) 10x10x10</p> <p>半導体製造への利用 (11) (12)</p> <p>光CVD 装置の製造に</p> <p>高容量</p> <p>(13) 150w x 8 時間 20 x 10 (14)</p> <p>100 x 10 (15)</p> <p>100 x 10 (16)</p> <p>100 x 10 (17)</p> <p>100 x 10 (18)</p> <p>100 x 10 (19)</p> <p>100 x 10 (20)</p> <p>100 x 10 (21)</p> <p>100 x 10 (22)</p> <p>100 x 10 (23)</p> <p>100 x 10 (24)</p> <p>100 x 10 (25)</p> <p>100 x 10 (26)</p> <p>100 x 10 (27)</p> <p>100 x 10 (28)</p> <p>100 x 10 (29)</p> <p>100 x 10 (30)</p> <p>100 x 10 (31)</p> <p>100 x 10 (32)</p> <p>100 x 10 (33)</p> <p>100 x 10 (34)</p> <p>100 x 10 (35)</p> <p>100 x 10 (36)</p> <p>100 x 10 (37)</p> <p>100 x 10 (38)</p> <p>100 x 10 (39)</p> <p>100 x 10 (40)</p> <p>100 x 10 (41)</p> <p>100 x 10 (42)</p> <p>100 x 10 (43)</p> <p>100 x 10 (44)</p> <p>100 x 10 (45)</p> <p>100 x 10 (46)</p> <p>100 x 10 (47)</p> <p>100 x 10 (48)</p> <p>100 x 10 (49)</p> <p>100 x 10 (50)</p> <p>100 x 10 (51)</p> <p>100 x 10 (52)</p> <p>100 x 10 (53)</p> <p>100 x 10 (54)</p> <p>100 x 10 (55)</p> <p>100 x 10 (56)</p> <p>100 x 10 (57)</p> <p>100 x 10 (58)</p> <p>100 x 10 (59)</p> <p>100 x 10 (60)</p> <p>100 x 10 (61)</p> <p>100 x 10 (62)</p> <p>100 x 10 (63)</p> <p>100 x 10 (64)</p> <p>100 x 10 (65)</p> <p>100 x 10 (66)</p> <p>100 x 10 (67)</p> <p>100 x 10 (68)</p> <p>100 x 10 (69)</p> <p>100 x 10 (70)</p> <p>100 x 10 (71)</p> <p>100 x 10 (72)</p> <p>100 x 10 (73)</p> <p>100 x 10 (74)</p> <p>100 x 10 (75)</p> <p>100 x 10 (76)</p> <p>100 x 10 (77)</p> <p>100 x 10 (78)</p> <p>100 x 10 (79)</p> <p>100 x 10 (80)</p> <p>100 x 10 (81)</p> <p>100 x 10 (82)</p> <p>100 x 10 (83)</p> <p>100 x 10 (84)</p> <p>100 x 10 (85)</p> <p>100 x 10 (86)</p> <p>100 x 10 (87)</p> <p>100 x 10 (88)</p> <p>100 x 10 (89)</p> <p>100 x 10 (90)</p> <p>100 x 10 (91)</p> <p>100 x 10 (92)</p> <p>100 x 10 (93)</p> <p>100 x 10 (94)</p> <p>100 x 10 (95)</p> <p>100 x 10 (96)</p> <p>100 x 10 (97)</p> <p>100 x 10 (98)</p> <p>100 x 10 (99)</p> <p>100 x 10 (100)</p>	<p>100 x 10 (101)</p> <p>100 x 10 (102)</p> <p>100 x 10 (103)</p> <p>100 x 10 (104)</p> <p>100 x 10 (105)</p> <p>100 x 10 (106)</p> <p>100 x 10 (107)</p> <p>100 x 10 (108)</p> <p>100 x 10 (109)</p> <p>100 x 10 (110)</p> <p>100 x 10 (111)</p> <p>100 x 10 (112)</p> <p>100 x 10 (113)</p> <p>100 x 10 (114)</p> <p>100 x 10 (115)</p> <p>100 x 10 (116)</p> <p>100 x 10 (117)</p> <p>100 x 10 (118)</p> <p>100 x 10 (119)</p> <p>100 x 10 (120)</p> <p>100 x 10 (121)</p> <p>100 x 10 (122)</p> <p>100 x 10 (123)</p> <p>100 x 10 (124)</p> <p>100 x 10 (125)</p> <p>100 x 10 (126)</p> <p>100 x 10 (127)</p> <p>100 x 10 (128)</p> <p>100 x 10 (129)</p> <p>100 x 10 (130)</p> <p>100 x 10 (131)</p> <p>100 x 10 (132)</p> <p>100 x 10 (133)</p> <p>100 x 10 (134)</p> <p>100 x 10 (135)</p> <p>100 x 10 (136)</p> <p>100 x 10 (137)</p> <p>100 x 10 (138)</p> <p>100 x 10 (139)</p> <p>100 x 10 (140)</p> <p>100 x 10 (141)</p> <p>100 x 10 (142)</p> <p>100 x 10 (143)</p> <p>100 x 10 (144)</p> <p>100 x 10 (145)</p> <p>100 x 10 (146)</p> <p>100 x 10 (147)</p> <p>100 x 10 (148)</p> <p>100 x 10 (149)</p> <p>100 x 10 (150)</p> <p>100 x 10 (151)</p> <p>100 x 10 (152)</p> <p>100 x 10 (153)</p> <p>100 x 10 (154)</p> <p>100 x 10 (155)</p> <p>100 x 10 (156)</p> <p>100 x 10 (157)</p> <p>100 x 10 (158)</p> <p>100 x 10 (159)</p> <p>100 x 10 (160)</p> <p>100 x 10 (161)</p> <p>100 x 10 (162)</p> <p>100 x 10 (163)</p> <p>100 x 10 (164)</p> <p>100 x 10 (165)</p> <p>100 x 10 (166)</p> <p>100 x 10 (167)</p> <p>100 x 10 (168)</p> <p>100 x 10 (169)</p> <p>100 x 10 (170)</p> <p>100 x 10 (171)</p> <p>100 x 10 (172)</p> <p>100 x 10 (173)</p> <p>100 x 10 (174)</p> <p>100 x 10 (175)</p> <p>100 x 10 (176)</p> <p>100 x 10 (177)</p> <p>100 x 10 (178)</p> <p>100 x 10 (179)</p> <p>100 x 10 (180)</p> <p>100 x 10 (181)</p> <p>100 x 10 (182)</p> <p>100 x 10 (183)</p> <p>100 x 10 (184)</p> <p>100 x 10 (185)</p> <p>100 x 10 (186)</p> <p>100 x 10 (187)</p> <p>100 x 10 (188)</p> <p>100 x 10 (189)</p> <p>100 x 10 (190)</p> <p>100 x 10 (191)</p> <p>100 x 10 (192)</p> <p>100 x 10 (193)</p> <p>100 x 10 (194)</p> <p>100 x 10 (195)</p> <p>100 x 10 (196)</p> <p>100 x 10 (197)</p> <p>100 x 10 (198)</p> <p>100 x 10 (199)</p> <p>100 x 10 (200)</p>	<p>100 x 10 (201)</p> <p>100 x 10 (202)</p> <p>100 x 10 (203)</p> <p>100 x 10 (204)</p> <p>100 x 10 (205)</p> <p>100 x 10 (206)</p> <p>100 x 10 (207)</p> <p>100 x 10 (208)</p> <p>100 x 10 (209)</p> <p>100 x 10 (210)</p> <p>100 x 10 (211)</p> <p>100 x 10 (212)</p> <p>100 x 10 (213)</p> <p>100 x 10 (214)</p> <p>100 x 10 (215)</p> <p>100 x 10 (216)</p> <p>100 x 10 (217)</p> <p>100 x 10 (218)</p> <p>100 x 10 (219)</p> <p>100 x 10 (220)</p> <p>100 x 10 (221)</p> <p>100 x 10 (222)</p> <p>100 x 10 (223)</p> <p>100 x 10 (224)</p> <p>100 x 10 (225)</p> <p>100 x 10 (226)</p> <p>100 x 10 (227)</p> <p>100 x 10 (228)</p> <p>100 x 10 (229)</p> <p>100 x 10 (230)</p> <p>100 x 10 (231)</p> <p>100 x 10 (232)</p> <p>100 x 10 (233)</p> <p>100 x 10 (234)</p> <p>100 x 10 (235)</p> <p>100 x 10 (236)</p> <p>100 x 10 (237)</p> <p>100 x 10 (238)</p> <p>100 x 10 (239)</p> <p>100 x 10 (240)</p> <p>100 x 10 (241)</p> <p>100 x 10 (242)</p> <p>100 x 10 (243)</p> <p>100 x 10 (244)</p> <p>100 x 10 (245)</p> <p>100 x 10 (246)</p> <p>100 x 10 (247)</p> <p>100 x 10 (248)</p> <p>100 x 10 (249)</p> <p>100 x 10 (250)</p> <p>100 x 10 (251)</p> <p>100 x 10 (252)</p> <p>100 x 10 (253)</p> <p>100 x 10 (254)</p> <p>100 x 10 (255)</p> <p>100 x 10 (256)</p> <p>100 x 10 (257)</p> <p>100 x 10 (258)</p> <p>100 x 10 (259)</p> <p>100 x 10 (260)</p> <p>100 x 10 (261)</p> <p>100 x 10 (262)</p> <p>100 x 10 (263)</p> <p>100 x 10 (264)</p> <p>100 x 10 (265)</p> <p>100 x 10 (266)</p> <p>100 x 10 (267)</p> <p>100 x 10 (268)</p> <p>100 x 10 (269)</p> <p>100 x 10 (270)</p> <p>100 x 10 (271)</p> <p>100 x 10 (272)</p> <p>100 x 10 (273)</p> <p>100 x 10 (274)</p> <p>100 x 10 (275)</p> <p>100 x 10 (276)</p> <p>100 x 10 (277)</p> <p>100 x 10 (278)</p> <p>100 x 10 (279)</p> <p>100 x 10 (280)</p> <p>100 x 10 (281)</p> <p>100 x 10 (282)</p> <p>100 x 10 (283)</p> <p>100 x 10 (284)</p> <p>100 x 10 (285)</p> <p>100 x 10 (286)</p> <p>100 x 10 (287)</p> <p>100 x 10 (288)</p> <p>100 x 10 (289)</p> <p>100 x 10 (290)</p> <p>100 x 10 (291)</p> <p>100 x 10 (292)</p> <p>100 x 10 (293)</p> <p>100 x 10 (294)</p> <p>100 x 10 (295)</p> <p>100 x 10 (296)</p> <p>100 x 10 (297)</p> <p>100 x 10 (298)</p> <p>100 x 10 (299)</p> <p>100 x 10 (300)</p>

光源	要求性能	最近の技術動向
<p>3.3.3. 工業用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハロゲンランプ ・低圧水銀ランプ ・高圧水銀ランプ ・メタルハライドランプ ・超高圧水銀ランプ ・Xe-Hgランプ ・希ガス共鳴線ランプ ・赤外線放射材料 	<p>185、254nm の高出力化</p> <p>365nmの高出力化</p>	<p>半導体製造への利用 光アニール (1) ランプ加熱によるエピタキシャル成長 (2)</p> <p>高容量化 400w (3) 450w (4) 500w (5) 1000w (6)</p> <p>水中有機物の酸化分解 (7) 500w×12灯</p> <p>UV/オゾンクリーニング (8) オゾン濃度 約80PPM (9) 350w×2 合成石英 (10)</p> <p>半導体製造への利用 (11) (12) 光CVD レジスト硬化 光洗浄</p> <p>流水殺菌 120w×8 処理量 50 t/h (13) 入力1.5KW " 100m³/h (14)</p> <p>公害処理 H100を利用した光酸化分解 (15) H1200 " (16)</p> <p>カプロラクタム生成 (17) 60Kw Tl-Na ランプ 効率 : 高圧水銀ランプの2倍</p> <p>塩素化反応用 (17) 4kw Inランプ 効率 : 高圧水銀ランプの1.5倍</p> <p>促進耐候試験機への利用 (18) 光リソグラフィへの利用 (19) (20) 短波長化:g線(436nm)からi線(365nm)へ 遠紫外(Deep Uv)ランプ 300nm以下 エッチングへの利用 (21) (22) Xe:147nm,マイクロ波放電 (23) 遠赤外線セラミックス (24) (25) (26)</p>

技 術 課 題	文 献
<ul style="list-style-type: none"> ・長寿命化 ・高出力化 ・小形化 ・光出力の安定性 ・応用開発 	<ol style="list-style-type: none"> (1) 赤坂：オプトロニクス 11 (1985) 83 (2) 前田：オプトロニクス 8 (1985) 8 (3) 河合：昭59照学全大 58 (1984) (4) 田中他：照学研究会 LS-83-10 AR-83-19 (1983) (5) 壬生：電学研究会 LAV-83-25 (1983) (6) 杉本他：昭62照学全大 47 (1987) (7) 黒田他：昭61照学全大 44 (1986) (8) Bolon D.A.: Eng. and Sci. 12-2 (1972) 109 (9) 安達他：照学研究会 LS-83-11 AR-83-20 (1983) (10) 杉岡他：照学研究会 AR-84-19 (1984) (11) 平本：オプトロニクス 10 (1985) 53 (12) 平本：NIKKEI MICRODEVICES 1985春号 特別編集版 61 (13) 広瀬：照学研究会 AR-86-8 (1986) (14) Baden D. K.: Broun Boveri Rev. 66-1 (1979) 34 (15) 鍵屋他：照学誌 61-1 (1977) 47 (16) 鍵屋他：照学誌 62-2 (1977) 106 (17) 加納他：東芝レビュー 36-2 (1981) 169 (18) 吉田他：工業材料 33-14 (1985) (19) 電学技術報告 II部 257号 (1987) (20) Bettes T. C.: Semicond. Int. 5-4 (1984) 83 (21) 有間他：オプトロニクス 9 (1985) 111 (22) Sugita K. et al: Photographic Science and Engng. 27-4 (1983) 146 (23) 吉沢他：照学研究会 LS-87-13 AR-87-17 (1987) (24) 河本：電熱 22 (1985) 14 (25) 高島：照学誌 69-1 (1985) 33 (26) 笹森：照学研究会 LS-87-16 AR-87-20 (1987)

3.3.4 医療用

医療分野（医療、健康、美容、殺菌）に使用されている光放射源の動向について記す。

（１）白熱電球・ハロゲン電球

白熱電球は赤外域に多くの放射を持つため医療用赤外電球として用いられている。血液の循環促進や、患部組織の加熱による関節炎や神経痛の軽減など治療の補助手段として利用されている。医療用の赤外電球は赤外放射の割合を一般の電球より増加させるため、色温度を約2500Kと低下させているものが多い。また、赤外電球の可視放射分をカットするため、赤色フィルターガラスを外管や照明器に使ったものもある。

医療用機器の光源としては、例えばファイバースコープなどの光学機器の光源には小型高演色性が要求されるためハロゲン電球が用いられている。また、外科手術用の照明には高照度で无影照明が要求されるため配光制御が容易な白熱電球が複数用いられている。手術中の患部の温度上昇を防ぐため、この白熱電球には赤外放射の割合を少なくする可視透過赤外反射多重被膜処理が施されているものもある。このランプは反射する赤外放射をフィラメントの再加熱に利用するため可視放射効率が約30%向上する。

（２）蛍光ランプ

蛍光ランプは医療設備の一般照明用の他に、診察室や病室に多く使われている。患者の顔色や患部の状態が正確に観察出来るように、自然光に近い高演色形の蛍光ランプが多用されるようになった。

医療用としては、波長400～500nmに発光スペクトルを持つ青色蛍光ランプが新生児黄疸の光治療用として、波長330～400nmの紫外放射（UV-A）蛍光ランプが白斑病（白なまず）や乾せんなどの治療に、また波長280～360nmの紫外放射（UV-B）蛍光ランプがくる病の予防や光線過敏症の診断に使われている。医療用とは異なるがUV-Aの紫外放射蛍光ランプが人工日焼け用に使われている。

（３）H I Dランプ

一般照明用にH I Dランプは多用されているが医療用にはまだ限られた用途しか使われていない。これは出力が大きく制御が難しいこと、光がやや不安定で点灯性に問題があるなどによるためである。しかし、最近のH I Dランプの技術進歩は著しいものがあるので今後は使われて行くものと予想される。

このような中でキセノンランプが眼の網膜の光凝固用として治療用に使われている。

（４）殺菌ランプ

紫外放射の殺菌作用が各種医療・産業応用に使われている。空気殺菌、水殺菌、表面殺菌を目的としてさまざまなかたちで使われている。この殺菌用の紫外放射を得るための人工放射源としては、低圧水銀放電ランプが依然として主に使われている。しかし大規模な水殺菌装置など、大きな紫外放射出力の要求が増大してきたことから水冷式やアマルガム方式の高負荷高出力形ランプの研究開発が盛んになってきた。今後は低圧水銀放電ランプの一層の開発と共に、H I Dランプの適用開発も進むと予想される。

光源	要求性能	最近の技術動向
<p>3.3.4 医療用</p> <p>医療、健康、美容 殺菌 など</p> <ul style="list-style-type: none"> ・白熱電球、ハロゲン電球 ・蛍光ランプ ・HIDランプ ・殺菌ランプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・発光波長と対象物の作用感度曲線の一致性、非利用発光波長の除去 ・小型化 ・高効率化 ・高出力化 	<ul style="list-style-type: none"> ・医療用 ¹⁾²⁾ <ul style="list-style-type: none"> 医療用赤外電球：色温度を低下（2500K程度）させ赤外放射比を増大、可視放射分をフィルターで除去 ²⁾ 外科手術用：患部の温度上昇防止用に可視透過赤外反射多重被膜処理を施したハロゲン電球を使用、可視放射効率約30%向上 ³⁾ ファイバースコープ用：小型高演色性からハロゲン電球を使用 新生児の黄疸治療用：青色蛍光ランプ ⁴⁾ 白斑病治療用：UV-A紫外放射蛍光ランプ ⁴⁾ くる病の予防、光線過敏症の診断：UV-B紫外蛍光ランプ ⁵⁾ 網膜の光凝固用：キセノンランプ ⁶⁾⁷⁾ 診察室、病室：高演色形蛍光ランプ 乾せん、アトピー性皮膚炎の光化学療法 ⁸⁾⁹⁾ ・健康、美容用 <ul style="list-style-type: none"> 人工日焼け用：UV-A紫外放射蛍光ランプ ²⁾¹⁰⁾ ・殺菌用 ¹¹⁾¹²⁾¹³⁾ <ul style="list-style-type: none"> 大規模な水殺菌など大出力紫外放射源の要求が増大し、水冷式やアマルガム方式の高負荷高出力形低圧水銀放電ランプの開発が盛んになってきた

技術課題	文献
<ul style="list-style-type: none"> ・人体の光放射に対する各種作用感度曲線を究明する学際的な研究の推進・・・ ・基礎データの収集 ・特定医療用の専用ランプの開発 ・HIDランプの適用開発 	<ul style="list-style-type: none"> (1)照明学会編：照明教室No62、光放射の応用(2)、(昭60)66 (2)元山ほか：照学誌、72-12(昭63)708 (3)本田ほか：東芝レビュー、39-8(昭62)192 (4)佐藤：照学誌、72-12(昭63)725 (5)佐藤：光線過敏症、金原出版(昭58) (6)関：照学誌、72-12(昭63)721 (7)野寄ほか：レーザー眼科学、医学書院(1983) (8)野田：臨床皮膚科、41-1(1987)31 (9)栗本：医薬ジャーナル、23-8(1987)1579 (10)Light. Design & Appl. 11(1986)30 (11)杉本ほか：照学全大、(昭62)47 (12)河合ほか：照学全大、(昭59)58 (13)黒田ほか：照学全大、(昭61)46

3.3.5 農・水産用

農・水産用光源として、園芸を含めた植物育成用光源、および防虫、捕虫、集魚など生物を対象とした光源の動向について記す。

(1) 植物育成用光源

植物の生育には光が不可欠のことから、人工光源の利用は昔から電照栽培として、主に電球が補光、日長調整用に使われてきた。しかしここに来て多くの問題を抱える農業の突破口を切りひらくものとしてバイオテクノロジー技術と植物工場に代表される農業のシステム化が大きく注目されてきた。

特に植物工場は、自然条件に左右され、「適地適作」に依存してきた従来の農業の問題点を解決するものとして注目され、最近は多くの技術開発がなされている。この植物工場は光条件を人工光源に多く依存するため照明関連の研究も活発になつてきた

太陽光利用形の植物工場では、自然光を最大限に利用しつつ夜間および悪天候時の補光を行い、高効率・周年栽培を可能とさせている。そのため照明器は遮光率が低いものが求められる。そのため、ランプ外管が照明器の役割を果たす高圧放電灯の反射形が用いられ好結果が得られている。

太陽光を利用しない完全制御形の植物工場では、主要な環境条件を人為的に制御するため、立地条件や四季を問わず栽培できる理想的な植物工場である。しかし、電力コストが高くなるのが難点であり、その中の大きな比重をなす照明費用の低下が大きな課題である。そのため、光源、器具、点灯方式についていろいろ検討されている。光源としては、高効率性から高圧ナトリウムランプが多く用いられており、青色スペクトルの不足によって生育に問題が出るばわいはメタルハイドランプと混光して使われている。最近高圧ナトリウムランプの改良も行なわれており、赤外反射膜を利用した効率改善、短波長スペクトルの増強などが発表されている。また、蛍光ランプもその波長の選択が広く、出力制御がしやすいことから栽培物に近接させて使われている。

植物工場に用いる照明器具に対しては、まだ専用のもので製品化されていない。グレアが問題にならず高照度が要求されるため、一般照明用より近接して設置されるばわいが多く、配光的に不十分なものが多い。今後、専用器具の開発が望まれる。一方、照明の熱が冷房負荷に与える影響を軽減するため、水冷形照明器の検討も行なわれており、今後が期待される。

植物工場は高速栽培するため昼夜連続照射する例が多いが、最近の研究では間欠的に照明しても栽培効率が上がるため栽培速度が大きく落ちないことが知られている。間欠時間は、時間オーダ、ミリ秒オーダが検討され、そのための専用点灯装置も開発されている。このように植物工場を実現するためには高効率照明の開発が重要であるため多くの研究がなされている。しかし、照明条件が、ただ単に照らすだけでなく、生長度と大きく関係しているため、他の環境条件や植物の生理条件と関連させて実施する事が必要となる。そのためまだ解明点が多く残されている。

植物工場用の照明方式の研究に関連して光の計測方法、使用される光源の評価方法も幾つか提案され、実際の栽培状態と比較検討されている。

植物工場の開発と併行して組織培養苗の順化などバイオテクノロジー方面にも人工光を

利用した研究が増加しており、今後この方面の需要増大が見込まれる。

電照栽培に代表される花卉の生長制御は盛んに行なわれている。従来のように電球を使用した日長制御だけでなく、光源の発光スペクトル（波長）と関連付けた研究が数多く行なわれており、着実に実用化へ進んでいる。そのため、使用される光源も、電球、蛍光灯、高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプなど幅広く比較使用されている。今後は、一般照明用光源の使用から、目的に合った新しい光源の開発使用へと向かうと予想される。

(2) 集魚灯用光源

集魚灯漁業に使われる光放射源は、江戸時代のかがり火から石油灯、そして現在の電気式の光源（ランプ）へと変わってきている。現在使われている集魚灯光源は、白熱電球、ハロゲン電球、およびH I Dランプ（水銀ランプ、メタルハライドランプ）である。白熱電球は安価な光源として数多く使われていたが石油ショック後の燃料費の上昇と明るさ競争から、光源を多数使い大きな明るさを得る用途にはH I Dランプが使われるようになった。H I Dランプの中では、水銀ランプが最初使われた時期があったが、現在は効率、光色の点からほとんどメタルハライドランプに変わって来ている。ハロゲン電球は、電球に比較し小型長寿命であり、光束劣化が少ない、点灯が即時で容易なことなどから水中灯をはじめ現在も多く使われている。主な集魚灯光源の特性を表3.3.5-1に示す。

特にメタルハライドランプは、その高効率性と発光スペクトルを海水の透過性や集魚性に合わせ設計出来ることから多く使われるようになってきた。ランプの大きさも1 K Wから4 K Wと非常に大きなものが発売されている。光色は緑白色系のものが多い。代表的なランプの特性例を表3.3.5-2に、その発光スペクトル分布を図3.3.5-1に示す。

集魚灯を使用している操業漁船下およびその周囲の光環境の測定も行なわれて来ている。その結果、集魚灯の配光・照明笠と水中照度分布の関係や魚の誘引効果との関係が測定された。

一方魚類の対光特性については、実際の船上での測定や実験水槽中での基礎的な測定が現在まで多く行なわれてきており、多くの特性が判明してきている。魚の好適照度、好適波長、パルス的な光の断続現象に対する反応などが生態学的実験や生理学的手法により明らかにされて来ている。今後の集魚灯は、これら魚の対光特性を十分考慮にいった専用ランプの開発に向かうものと予想される。

(3) その他の応用光源

畜産用：家畜、家禽類は体内のホルモンが光刺激により影響を受け光周性反応が起こることが知られている。これを利用して家畜、家禽類の成育や産卵などを制御することが行われている。日照時間の制御が主体であり、使用光源としては白熱電球、蛍光ランプが使われている。経済性が重要となるので施設費の安価な白熱電球が使われる例が多かったが、近年は電球形蛍光ランプが経済的に有利として多用されてきている。

近年の大規模な養鶏場や養豚場では、衛生管理・環境管理の面から伝染病の防止用として殺菌ランプ、保温用として赤外線ランプが使われている。

害虫防除用：稲作害虫の防除として昭和18年頃から戦後にかけて広く使われた誘蛾灯は、その後の農薬の普及により現在はほとんど使われなくなった。現在は果樹園での誘蛾灯として昆虫の走光特性に合った波長360 nm付近にピークを持つ近紫外放射蛍光ランプが使われている。また、果樹園では吸蛾類の複眼に明順応反応を起こさせ、吸蛾類の活動を抑制するため黄色ランプが使われている。ランプとして黄色蛍光ランプ、低圧ナトリウムランプ、高圧ナトリウムランプなどが使われている。

昆虫類の光周性に関する研究は現在も多く進められており、今後昆虫毎の特性が求められると予想される。農薬の弊害から誘蛾灯が再度見直される時期がくれば、これらの研究成果を利用し、より誘蛾効果のあるランプを作ることが出来よう。

表3.3.5-1 集魚灯用光源の特性

種類	定格電力	効率lm/W	平均寿命 (Hr)	備考
電球	5W~5KW	8~12	45~1000	水中灯あり
ハロゲン電球	1KW~5KW	15~20	~2000	水中灯あり
メタルハライドランプ	1KW~4KW	100~120	1500~4000	水中灯あり

表3.3.5-2 集魚灯用メタルハライドランプの特性 (Sc-Na系)

定格ランプ電力	ランプ電流	全光束	効率	平均寿命	総消費電力
2.0 KW	9.0 A	240 klm	120 lm/w	4000 Hr	2.15 KW

注：総消費電力=ランプ電力+安定器消費電力

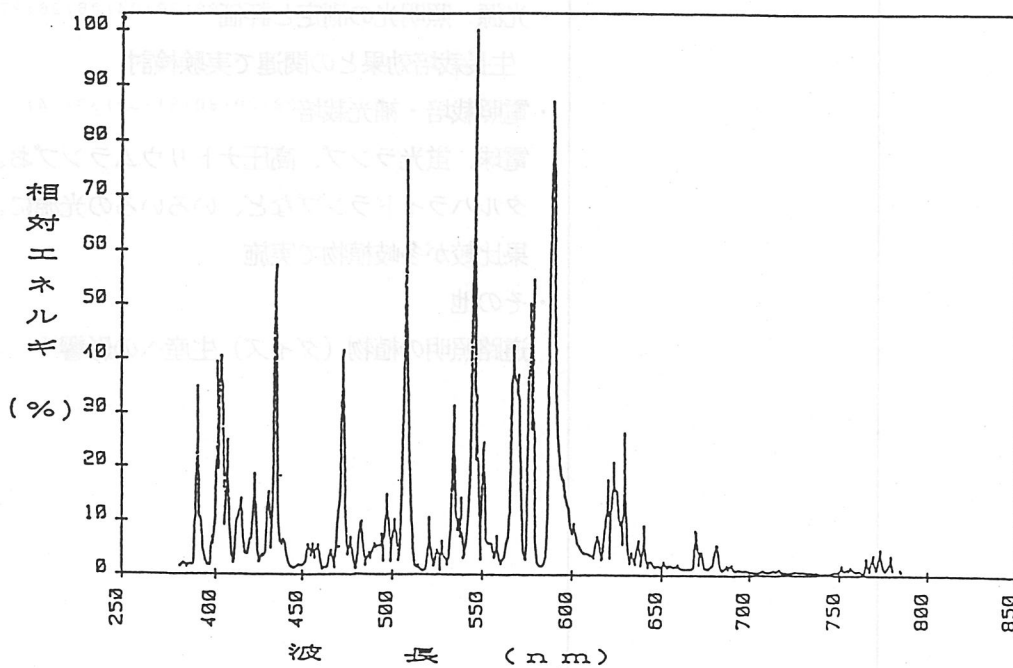


図3.3.5-1 集魚灯用メタルハライドランプの発光スペクトル分布 (Sc-Na系)

光 源	要 求 性 能	最 近 の 技 術 動 向
<p>3.3.5 農・水産用光源</p> <p>(1) 植物育成用光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電球 ・蛍光ランプ ・H I Dランプ 水銀ランプ メタルハライドランプ 高圧ナトリウムランプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・発光波長と対象植物の作用・感度曲線との一致性（光合成曲線、光形態形成作用曲線など ・高効率化 ・省電力化 	<ul style="list-style-type: none"> ・植物工場用ランプ^{1)~10)} <ul style="list-style-type: none"> 太陽光利用形：メタルハライドランプ¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ または 高圧ナトリウムランプ 完全制御形：高圧ナトリウムランプ¹⁵⁾¹⁶⁾ または 高圧ナトリウムランプとメタルハライドランプの混光 または 蛍光ランプ ・植物工場用の省電力照明方式 <ul style="list-style-type: none"> 間欠照明方式：植物の明暗反応に基づくmSec オーダのパルス点灯方式、時間単位の間欠点灯方式¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾ 水冷式照明器：高圧ナトリウムランプ照明器を水冷熱交換によりエネルギー収支改善²¹⁾ ・光源・照明光の測定と評価²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾ <ul style="list-style-type: none"> 生長栽培効果との関連で実験検討 ・電照栽培・補光栽培²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾³⁴⁾ <ul style="list-style-type: none"> 電球、蛍光ランプ、高圧ナトリウムランプおよびメタルハライドランプなど、いろいろの光源による効果比較が多岐植物で実施 ・その他 <ul style="list-style-type: none"> 道路照明の植物（ダイズ）生産への影響³⁵⁾

技 術 課 題	文 献
<p>・ 光合成・光形態形成作用曲線など光放射と植物生理の関係を究明する学際的な研究の推進・・・ ・ ・ 基礎データの収集</p> <p>・ 特定植物の光合成・光形態形成作用曲線に合わせた高効率専用ランプの開発</p> <p>・ 高効率近接照射照明器具 (H I Dランプ、蛍光ランプ用)</p> <p>・ 高機能調光電子点灯装置 (H I D・蛍光ランプ用の点灯周期、出力の制御)</p>	<p>(1) 稲田ほか：照明学会研究会資料AR-86(昭61)</p> <p>(2) 伊藤：農業及園芸、<u>61</u>-1(昭61)94</p> <p>(3) 洞口ほか：National Technical Report,<u>33</u>-3(1987)135</p> <p>(4) 杉本ほか：照学全大、(昭63)143</p> <p>(5) 芦田：照学全大、(昭63)144</p> <p>(6) E.Goto et al:Acta Horticulture 230(1988)313</p> <p>(7) M.Oda et al:Acta Horticulture 230(1988)451</p> <p>(8) 高辻：電学連合研会、LAL<u>88</u> 9(1988)1</p> <p>(9) 橋本：電学連合研会、LAL<u>88</u> 11(1988)15</p> <p>(10) 小林：野菜工場、東京電機大学出版局(1989)</p> <p>(11) 関山ほか：電中研研究報告485031(1987)49</p> <p>(12) 岡野ほか：空気と冷凍、日本空調技術出版社(1987)58</p> <p>(13) 関山：第26農業研究会資料(1988)1</p> <p>(14) 吉岡：農業施設、<u>19</u> 2(1988)123</p> <p>(15) 池田ほか：計測自動制御学会論文集<u>21</u>-7(昭60)765</p> <p>(16) 池田ほか：生環調節、<u>26</u> 3(1988)101</p> <p>(17) 安西ほか：日本生物環境調節学会24大会、(1986)36</p> <p>(18) 山崎ほか：照学全大、(昭62)50</p> <p>(19) 安西ほか：照学全大、(昭63)138</p> <p>(20) 易ほか：生環調節、<u>26</u> 1(1988)31</p> <p>(21) 古在ほか：農気学会関東支部開始12(1987)28</p> <p>(22) 森田ほか：電学連合研会、LAL<u>88</u> 12(1988)25</p> <p>(23) 小原：食品流通技術、<u>18</u> 4(1988)15</p> <p>(24) 農業における情報・計測・制御調査研究委員会編：植物生産における計測・制御・情報、計測自動制御学会(1989)191</p> <p>(25) 洞口：照学全大、(昭63)139</p> <p>(26) 岩尾：照学全大、(昭63)137</p> <p>(27) 中川：照学全大、(昭63)142</p> <p>(28) 川田：農耕と園芸、<u>42</u>-10(1987)126</p> <p>(29) 福田：農耕と園芸、<u>42</u>-10(1987)136</p> <p>(30) Grmsted.S.O.:Scientia Horticulture <u>32</u>-3/4(1987)297</p> <p>(31) Philips Lighting Division:Artificial Lighting in Hort(1987)40</p> <p>(32) 岡部：園芸62秋要旨(1987)326</p> <p>(33) Anderson A. :Scientia Horticulture <u>28</u>-1(1986)14</p> <p>(34) Koontz H. U. et al:Hort-Science <u>22</u>-3(1987)424</p> <p>(35) 坂ほか：愛知農総試研報、19(1987)66</p>

光源	要求性能	最近の技術動向
<p>3.3.5 農・水産用光源</p> <p>(2) 集魚灯用光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電球 ・ハロゲン電球 ・H I Dランプ <p>(3) その他の応用光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・畜産用 ・害虫防除用 	<ul style="list-style-type: none"> ・魚を誘引するのに必要な明るさと光色 (魚の走光作用曲線との一致性) ・高効率性 (省電力性) ・耐振動・衝撃性 ・点灯装置の小型軽量化 <ul style="list-style-type: none"> ・養鶏・養豚用：高効率 ・長寿命 ・害虫防除用：害虫の走光感度曲線との一致性 	<p>(1) ランプの動向 ^{1) 2) 3)}</p> <ul style="list-style-type: none"> ・石油ショック後の燃料費の高騰と明るさ競争からランプを多数使い、大きな明るさを得る用途にはメタルハライドランプが多用されるようになった <ul style="list-style-type: none"> ・・・大出力ランプの製品化 (1 KW～4 KW) ・ハロゲン電球は点灯の即時性、低光束劣化などから水中灯をはじめ多く使われている。また、高ワットのものも製品化されている <ul style="list-style-type: none"> ・・・ (1 KW～5 KW) ・発光スペクトルの検討：海水の透過性、集魚性を考慮したメタルハライドランプの開発が進められている <p>(2) 魚類の走光特性 ^{4) ～14)}</p> <ul style="list-style-type: none"> ・魚類の対光特性の解明が船上や水槽実験で進められ、魚の好適照度、好適波長、光のパルス応答性などの特性が判明してきた <p>(1) 養鶏用 ^{15) 16) 17) 18) 19) 24)}</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電球に代わり省電力と長寿命な電球型蛍光ランプが使われはじめた ・照明時間と生産性について多くの検討がなされた ・育すう用：赤外電球、白熱電球が使われている <p>(2) 捕虫用 ^{20) 21) 22) 23) 24)}：360nm付近の近紫外放射を出すランプが製品化されている。しかし、大きな技術進展は見られない</p> <p>(3) 養豚用 ²⁴⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> ・赤外電球、殺菌ランプが豚舎内の環境改善用に使われている

技 術 課 題	文 献
・魚類の対光特性（好適照度、好適波長、断続光への反応など）を究明する学際的な研究の推進・・・基礎データの収集	(1) 照明学会編：新編・照明のデータブック、オーム社、(1968)151 (2) 安西ほか：照学誌、 <u>74</u> -5、(1990) (3) 各社カタログ（1989年入手）：オクト電子（株）、エバ電子（株）、（株）オーシャンランプ、古野電気（株）など
・魚の対光特性、海水の透過特性を考慮した魚種毎の高効率専用ランプの開発・・・メタルハライドランプ	(4) 井上：魚の行動と漁法、恒星社厚生閣（1978） (5) 宮崎：照学誌、 <u>53</u> -3（1968）138 (6) 黒木ほか：北海道大学水産学部彙報、 <u>14</u> -4、（1964）215 (7) 三次：集魚灯ガイド、東海区水産研究所、さかな、 <u>7</u> （1971） (8) 川本：魚類生理生態学、恒星社厚生閣（1972）
・小形軽量メタルハライド用電子点灯装置	(9) 稲田：北海道大学水産学部研究彙報、 <u>36</u> （1985）191 (10) 北村ほか：日本水産学会春季大会要旨、（昭61）110 (11) 小倉：日水誌、 <u>38</u> （1972）913 (12) 田村：魚類生理、恒星社厚生閣（1970）451 (13) T.Koike et al:Nippon Suisan Gakkaishi, <u>54</u> -(5)(1988)829 (14) 照明学会編：照明教室No61、光放射の応用（I）（昭60）72
・害虫の走光特性の基礎データの究明	(15) 田中：鶏の光線管理の理論と実際、畜研、 <u>26</u> -9（1972）1174 (16) 養鶏電化、農電ハンドブック、 <u>12</u> （1982）33
・光放射の動物への影響の基礎的解明	(17) 福田ほか：福岡県農総試研報、 <u>6</u> （1987）51 (18) 水野：畜産の研究、 <u>42</u> -5（1988）609 (19) 岡山養鶏試：中国農試研究成果情報、（1988）275 (20) 内田：植物防疫、 <u>36</u> -10（昭57）474 (21) 本田：農業技術、 <u>37</u> -8（昭57）347 (22) 氏家：日本応動昆虫学会誌、 <u>27</u> -2（昭58）117 (23) 菅野ほか：日本応動昆虫学会誌、 <u>29</u> -2（昭60）137 (24) 照明学会編：照明教室No61、光放射の応用（I）（昭60）56～72

3.3.6 その他

(1) レーザ励起用光源

最初の励起光源であるキセノンフラッシュランプとクリプトンアークランプが現在でも主流の光源である。

フラッシュランプの基本的な性能、例えば、分光分布、放射効率、電気特性、プラズマの透過率、およびワンパルス当りの入力と寿命の関係は1960年代にまとめられ、その後のランプの進歩は信頼性の向上が主である。

励起効率の改善が研究レベルで行われたが、実用上顕著な改善とは言えない。

レーザ出力の高出力化に伴い、高速繰り返し点灯が要求され始めた。低速繰り返し点灯で成立するランプの寿命予想式（gontzの式）と同レベルの寿命達成が高速繰り返し点灯でも必要とされてきた。

ヤグレーザの連続励起に使用されるクリプトンアークランプの寿命は、従来200から300時間程度であったが、カソードの改良により、500から1500時間に延長されている。

フラッシュランプと同様、レーザ出力の高出力化に伴い、ランプの高入力化が要求され始めた。従来、発光長1cm当り500Wから600W（管壁負荷で250W/cm²から300W/cm²）であったが、最近では同上700Wから800W（管壁負荷で350W/cm²から400W/cm²）のランプも使用されている。

上記キセノンフラッシュランプとクリプトンアークランプは単純な希ガス放電灯であり、励起効率（1～3%）の大幅な向上は望めない。

効率改善の光源としてヤグレーザの励起波長に対する適合性と出力効率が高いカリウムランプの研究が行われた。励起効率は5%程度になるが、必要な励起エネルギーを供給するに足るランプ入力を負荷できないこと、および、集光効率の高い光学系が作り難いため、実用化されていない。

半導体レーザの進歩に伴い、半導体レーザによるヤグレーザ励起が注目されてきた。励起効率は5%から15%と非常に高い。半導体レーザ励起によるヤグレーザ出力が1W程度の小型発振器が市販され始めた。現在、高出力の半導体レーザは高価であるが、熱発生および寿命の点でも他の励起源よりすぐれているから、価格の低減、高出力半導体レーザのアーレー化等が進めば、今後、当光源が励起光源の主流になるであろう。

(2) ソーラーシュミレーター用光源

ソーラーシュミレーターは、主に耐光試験機と太陽電池の性能検査に使用されている。

耐光試験機には、その分光分布が太陽光の分光分布に近いキセノンランプが使用されている。

キセノンショートアークランプ（入力2KW～30KW）に関しては特別な技術的進歩は報告されていない。信頼性向上の目的で水冷キセノンショートアークランプの水冷機構の改善や、バルブの紫外線劣化に伴う破裂対策等がなされた。

水冷ロングアークランプについては、その電気特性の理論的考察、および、出力低下の原因分析等により、ランプ寿命の大幅な改善が報告されている。

耐光試験の時間を短縮する目的で、水銀灯や、メタルハライドランプによる250nm～400nmの波長の使用が始まった。塗料の光劣化に及ぼす波長の依存性が明確になれば、上記ランプの優位性は当然である。

光源	要求性能	最近の技術動向								
3.3.6 その他 (1)レーザ励起用光源 キセノンフラッシュランプ クリプトンアークランプ 半導体レーザー	効率向上 高繰り返し時の寿命向上 効率向上 故障に対する信頼性向上 半導体レーザーのパワーアップ	セリウムドープ石英使用による励起効率の10%向上 ¹⁾ 高繰り返し点灯 (100PPS) で寿命式 ²⁾ $\{N = (E_{in}/E_{ex})^{-8.5}\}$ を満足させること ³⁾ 多層膜反射による励起効率の向上 ⁴⁾ ランプの信頼性向上 ⁵⁾ カリウムランプによるヤグレーザの効率向上 ⁶⁾ 半導体レーザーによるヤグレーザの励起 ^{7) 8) 9)} <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">半導体レーザー発振波長</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">800nm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">半導体レーザー出力</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">1 ~ 5W</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ヤグレーザ出力</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5W</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">励起効率</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5 ~ 15%</td> </tr> </table> </div>	半導体レーザー発振波長	800nm	半導体レーザー出力	1 ~ 5W	ヤグレーザ出力	5W	励起効率	5 ~ 15%
半導体レーザー発振波長	800nm									
半導体レーザー出力	1 ~ 5W									
ヤグレーザ出力	5W									
励起効率	5 ~ 15%									
(2)ソーラーシュミレーター 水冷キセノンショートアークランプ	長寿命化 出力安定化 大入力化	陰・陽極の熱バランピングの研究によるランプの信頼性向上 ¹⁰⁾								
空冷キセノンショートアークランプ	長寿命化 輝度安定化	BaO, CaO, SrO, Al ₂ O ₃ 系エミッター陰極の利用による輝度の安定化 ¹¹⁾ 輝度の安定度 従来±1.5%を±0.5%に改善								
水冷Xeロングアークランプ	長寿命化	水冷Xeロングアークランプの電気特性の理論的な考察 ¹²⁾ 実効的は管壁負荷のダウンによる長寿命化 1200Hを3000Hに ¹³⁾								
メタルハライドランプ	高効率化	水銀灯及びメタルハライドランプの使用による紫外線利用 ¹⁴⁾								

技術課題	文献
半導体レーザの低価格化	1) I.L.C 社カタログ 2) J.H.Goncz, "New Developmets in Electronic Flashtubes" ISA Transact ions Vol.5, No.1 3) 吉田英次他 第48回応用物理学会学術講演会予稿集 4A-R-2 4) S.A.Baranov et al: Sov. J. Quatum Electroron. 8(1), Jan. 1978 5) 大久保他 1986年電気通信学会 OQE86-59 6) N.C.Anderson et al: SPIE Vol.150 Laser&Fiber Optics Communication '78 7) G.T.Forrest: Laser Focus Electro-optics June 1988 57-74 8) 光技術応用プロジェクトの開発報告書1-06-2 財団法人 光産業技術振興協会 9) 中井他: オプトロニクス(1990)No.3 100~107 10) L.A.Nelson: PaP Am inset Aeronaut Actronaut No.75-723 '75 11) 浜松フォトニクス及び他メーカーカタログ 12) P.J.Walsh: J.Appl.Phys.61(9)'87 13) アトラス社カタログ 14) 岩永他: メタルハライドランプを応用した研修試験機; S60照明全大No.51(85)
耐色の波長依存値	

3.4 点灯装置

3.4.1 蛍光ランプ用

(1) 磁気回路式安定器

(a) スタータ形蛍光ランプ用

蛍光ランプは最初冷陰極形が登場し、これには現在のネオントランスのような高圧を発生させる安定器が用いられた。1938年に商品化されたものは熱陰極形で、続くグロースタータの発明によって簡単な回路で点灯できたことは蛍光ランプの普及に大きな功績があったと言えよう。この組み合わせは現在にいたっても最も安価な点灯装置として広く使われている。電源の力率を高めるためにはコンデンサが付加される。

ランプと電源電圧の組み合わせがこのままでは不適切な場合、リーケージトランス形安定器が用いられる。この場合もグロースタータがあわせて使われる。

グロースタータは小形で安価という利点はあるが、始動に数秒の時間がかかることから半導体スタータも使われている。始動時間は0.5秒程度となり、設計の良いものではランプ寿命も良い。小形のものとは従来のグロースタータのケースに内蔵されている¹⁶⁾。

(b) ラピッドスタート形蛍光ランプ用

初期のラピッドスタート形蛍光ランプ用の点灯装置はリーケージトランス形であったが1957年にリードピーク形安定器が現れ、さらには2灯用ではランプを直列に接続し、始動用コンデンサを付加したリードピーク形シリーズシーケンス安定器が優れており、これらが現在でも主流となっている。

(2) 高周波点灯形電子式安定器（インバータ式）

蛍光ランプ用電子式安定器では高周波点灯形が主流となり、定着してきた。蛍光ランプを数十kHzで高周波点灯するとランプの発光効率〔光出力／ランプ電力〕が上がる。これにランプ力率〔ランプ電力／（ランプ電流×ランプ電圧）〕の向上もあいまって、同じランプを使っても高周波で点灯することにより光出力を40～60%増大させるという設計が可能となる。これとは逆に効率を重視すればランプ電流を少なく、ランプ電圧を高くすればよいことから、従来安定器との互換性を外し、高周波点灯専用ランプを設計すれば高効率な光源システムが構成できるという議論もされている。

電子式では瞬時点灯が可能で、段調光、あるいは連続調光などの付加機能を持つものも多い。

商用周波数での点灯ではランプ管端部のフリッカが気になるが、高周波点灯ではそれがないことが特長とされている。とりわけ問題となりやすい机上用電気スタンドなどでは同様の効果を得る他の手段として直流点灯や、磁界を印加するもの¹⁷⁾ などがあるが、いずれ高周波点灯形が中心となろう。

回路方式は自励の定電流プッシュプル方式が主流であったが、最近では他励式のもの、ハーフブリッジ式、あるいは1石式など、多様な回路方式が検討されている。

蛍光ランプ用点灯装置の総合効率は40W形2灯用の実用のもので磁気回路式が77 lm/W、電子式で83 lm/Wに達している。図3.4.1に入力電力の推移を示す。

3.4.2 HIDランプ用

(1) HIDランプ用磁気回路式安定器

H I Dランプ用点灯装置の代表的なものはチョークコイル式であり、力率を改善するためのコンデンサが電源に並列に接続されている（一般高力率形）のが普通である。

この形はランプの始動時に入力電流が定常時の 1.5～2 倍になる。コンデンサの容量を大きくし、始動時は進相で定常時は遅相とすることで入力電流の変化を小さくしたものが低始動電流形である。

磁気回路の非線形性を利用して電源電圧の変動に対して安定な電力をランプに与えるもの（定電力形）もあるが最近では一般的ではない。

H I Dランプ用においてはリードピーク式はあまり用いられない。

スタータを付加する場合、安定器からランプまでの回路が長いとパルスが減衰するためにその長さを制限することが普通である。このため最近ではスタータを安定器本体とは別にランプに近接して設けることが行われている。

(2) H I D用点灯装置の電子化

H I D用でも当面の焦点はその電子化である。

H I Dにおいては高周波点灯しても蛍光ランプのようにランプの発光効率そのものの向上はあまり見込めない。そればかりか、H I Dを数十kHzで点灯すると音響的共鳴と呼ばれる現象が生じ、アークが不安定になってランプの著しい短寿命を引き起こすことが知られた。一方点灯装置の側からは高周波を用いることで点灯装置の小形化、軽量化が図られることから、これらの接点を求める検討が集中して行われた^{28)~41)}。

現在は概ねの方式として次のようなものが実用化されている。

- (a) 電源をいったん高周波に変換し、ランプには低い周波数の方形波を与える⁵⁷⁾。
- (b) 高周波点灯でもその波形を方形波に近づける⁵⁶⁾。
- (c) 音響的共鳴現象の生じない周波数を選択する⁵⁵⁾。

今後はさらに他の方式も検討されるだろう。

(3) 無電極H I Dランプ

照明用ではないがメタルハライドの無電極ランプが実用化されている。2.45GHzのマイクロ波を用い、直径30mmのメタルハライドランプに 1.2kWを入力している。初始動は3秒、再始動は20秒を実現している。

これらの時間短縮には回路入力電力の制御や強制空冷装置なども寄与しているが、ランプ構造が単純で熱的な時定数が小さいということがこのクラスにしては驚異的な短時間を実現している理由となっている。

また無電極ランプでは頻繁な点滅によっても寿命劣化がないということも大きな特長である。

3.4.3 その他

(1) 低圧ナトリウムランプ用

低圧ナトリウムランプは照明用としてはもっとも効率の高い光源であるが、方形波で点灯することでさらに効率が向上することが報告されている⁷³⁾⁷⁴⁾

(2) キセノンランプ用

可飽和リアクタ形のもので漁業用を中心に使われているほか、2kW～30kWでは位相制御形が、50W～1kWでは点灯装置の小形、軽量化を狙い、スイッチングレギュレータ

(146ページへ)

点 灯 装 置 (1)

適合ランプ	要求性能	最近の動向
全般		電子回路化
蛍光ランプ	効率向上 高出力化 寿命 瞬時点灯 端部フリッカ防止 点灯装置の小形化 配電昇圧対応	40~50kHz の高周波インバータ点灯 ^{5)~10)} 40Wサイズでランプ効率 17%アップ システムで 100 lm/W 磁界印加で 4 ~ 7%アップ ^{11), 12)} 高周波ダブルスポット 商用点灯の1.6倍 ¹³⁾ 予熱条件の適正化 高周波点灯でも良好 ^{14), 15)} グロー管代替スタータ ¹⁶⁾ 磁界印加で陽極振動安定化 ¹⁷⁾ インバータ制御回路のIC化 ^{18), 19)} 演算増幅器によるコイルレス安定器 ²⁰⁾ デューティ0.2のパルス点灯 ²¹⁾ 242V用調光電子安定器 ²²⁾ 100V/230V二重定格電子安定器 ²³⁾
電球形蛍光ランプ	高出力化 小形化	高周波点灯 27 W 1550 lm 65 × 185 200gr ²⁴⁾ 磁界による放電路の拡大 ²⁵⁾
平板形 無電極ランプ		^{26), 27)} 40 W 2000 lm 50 lm/W ²⁷⁾

技術課題	参考文献
	<p>1) 青池南城：蛍光ランプ用安定器・点灯回路50年の発達, 照学誌 72-5(1988)255-268</p> <p>2) Zackrison, H.: LDA 15-7(1985)25-36</p> <p>3) 照明学会電子点灯回路の実用化研究調査委員会報告書, JIER-009(1987)</p> <p>4) 中西宣一郎：放電灯回路の技術進歩, 照学誌67-11(1983)34</p> <p>5) 四宮ほか：昭58照学全大33</p> <p>6) 延原ほか：昭58照学全大35</p> <p>7) 四宮ほか：昭58照学全大36</p> <p>8) LDA 2(1983)39</p> <p>9) Licht 4(1982)264</p> <p>10) Hammer, E. et al: IES Tech. Conf. Preprint 8(1982)</p> <p>11) Moskowitz, P.: J. IES, 16-1(1987)105</p> <p>12) Zhou, T.M. et al.: J. IES, 16-1(1987)170</p> <p>13) Yuhara, K. et al.: IES Conf. Tech. Preprint(1986)#58</p> <p>14) 西野ほか：昭58照学全大31</p> <p>15) 杉山ほか：昭55照学全大31</p> <p>16) Electrical Times(1981/10/09)</p> <p>17) 木本ほか：昭58照学全大 8</p> <p>18) 大西ほか：平 1 照学全大22(1989)</p> <p>19) 松川ほか：昭和63電気関係関西支部連大G410</p> <p>20) 加藤、横関：平 1 照明学会東京支部大会</p> <p>21) Davenport, J.M. et al: IES Conf. Tech. Preprint 29(1988)</p> <p>22) 垣谷ほか：昭63照学全大40</p> <p>23) 佐藤ほか：昭59照学全大26</p> <p>24) 御園ほか：昭63照学全大15</p> <p>25) Gross, L. et al: LDA 9-12(1979)31-39</p> <p>26) Wharmby, D.O.: 5th Inter. Symp. Sci. & Tech. Light Sources(1989)36</p> <p>27) Anderson, J.M.: 3rd Inter. Symp. Sci. & Tech. Light Sources(1983)10</p>

点 灯 装 置 (2)

適合ランプ	要求性能	最近の動向
H I Dランプ 一般	点灯回路の 小形軽量化	<p>～1MHzの高周波点灯 ²⁸⁾～⁴¹⁾</p> <p>音響的共鳴のシミュレーション ²⁹⁾</p>
小形H I Dラン プ用	<p>始動時間短縮</p> <p>再始動特性</p> <p>連続調光</p>	<p>始動時に大電流を流す ⁴²⁾</p> <p>10～数十kVの高圧パルス印加 ⁴³⁾</p> <p>方形波点灯の始動性 ⁴⁴⁾</p> <p>補助昇圧トランス</p> <p>水銀ランプで～1% ⁴⁵⁾、⁴⁶⁾</p> <p>⁴⁷⁾～⁵³⁾</p>
安定器内蔵形 水銀ランプ	効率向上	<p>ヘッドライト用高圧ナトリウムランプ ⁵¹⁾</p> <p>白熱電球代替 ⁵²⁾</p> <p>直流点灯で 32 lm/W ⁵⁴⁾</p>

技術課題	参考文献
音響的共鳴の回避	28)中西ほか：平1照学全大35(1989) 29)斎藤：平1照学全大31(1989) 30)Wada, S. et al.: J. IES 16-1(1987)162 31)水野ほか：照学誌71-10(1987)622-625 32)永瀬ほか：昭61照学全大37 33)内橋ほか：昭61電気関係関西連大G13-6 34)清水ほか：昭61照学全大29 35)腰原ほか：昭60電気関係関西連大S9-7 36)宮下ほか：昭59照学全大37 37)和辻ほか：昭58照学全大49 38)越村ほか：照学誌67-2(1983)55-61 39)LRT 15-4(1983)127-132 40)Shafer, R:国際光源学会(1983)71 41)越村ほか：昭57照学全大47 42)中西ほか：昭63照学全大25 43)藤野ほか：昭63照学全大23 44)永瀬ほか：昭63照学全大24 45)中西ほか：照学誌70-2(1986)14-18 46)姫井ほか：照学誌67-6(1983)235-240 47)Fraia, L. D.: J. IES 10-4(1981)7 48)Engel, J. C.: IES Tech. Conf. Preprint(1979)
瞬時点灯再始動特性	49)Keeffe, W. M. et al: IES Conf. Tech. Papers(1985)#7 50)Hansler, R. L. et al: IES Conf. Tech. Papers(1985)#47 51)Szekas, G.: IES Conf. Tech. Papers(1985)#9 52)電波新聞(昭和57年11月19日) 53)Elliot, W. et al: J. IES 1(1982)79-84 54)下垣ほか：照学誌68-6(1984)271-276

点 灯 装 置 (3)

適合ランプ	要求性能	最近の動向
メタルハライド ランプ	点灯回路の 小形軽量化 効率向上 始動性 再始動特性	200kHzを超える電子安定器 ⁵⁵⁾ 100kHzに第3高調波を重畳した電子安定器 ⁵⁶⁾ 120Hz方形波 による電子安定器 ⁵⁷⁾ 方形波点灯で 4.5%アップ ^{58), 59)} 紫外線による始動電圧低下 ⁶⁰⁾ ショートアークメタルハライドランプの瞬時再 始動
高圧ナトリウム ランプ	点灯回路の 小形軽量化 高色温度化 光色安定 始動性 再始動特性	高周波点灯装置 ⁶¹⁾ パルス点灯による発光の変化 ⁶²⁾ パルス電流重畳で 6100 K ⁶³⁾ 光色安定 ^{64)~66)} 位相制御で定管電圧 色温度の変動を従来の 1/3に ^{65), 66)} 始動特性 ⁶⁷⁾ 瞬時再始動 ^{68)~70)}
無電極H I Dラ ンプ		2.45GHzのマイクロ波点灯 ^{71), 72)}
低圧ナトリウム ランプ キセノンランプ	ランプ効率の向上 定照度化	方形波点灯で9~14%アップ ^{73), 74)} 受光器よりフィードバック ^{75), 76)}
超高压水銀 ランプ ハロゲン電球用	安定性 電子トランスの 小形化	AC電流の重畳 ⁷⁷⁾ 26 × 55 × 22 ⁷⁸⁾ 37 × 90 × 31 ⁸⁹⁾
その他	可変色	パルス点灯による可変色 ⁸⁰⁾

技術課題	参考文献
	<p>55)新井ほか：平1照学全大38(1989)</p> <p>56)清水ほか：昭62照学全大40</p> <p>57)永瀬ほか：昭62照学全大41</p> <p>58)斎藤ほか：昭55照学全大19</p> <p>59)Hall, R. :LRT 10-2(1978)106</p> <p>60)松野ほか：照学誌68-6(1984)248-253</p> <p>61)塩見ほか：平1照学全大38(1989)</p> <p>62)石神ほか：平1照学全大33(1989)</p> <p>63)Vdovin, V.T. et al. :Sveto Texnika 12(1983)16-18</p> <p>64)伊藤ほか：昭63照学全大44</p> <p>65)西村ほか：松下電工技報 30(1985)7-11</p> <p>66)塩見ほか：昭59照学全大49</p> <p>67)岡村ほか：昭63照学全大26</p> <p>68)Kane, R.M. et al. :LDA 16-12(1986)</p> <p>69)LDA 15-12(1985)</p> <p>70)LDA 7(1982)53</p> <p>71)Yoshizawa, K. et al :IES Conf. Tech. Papers(1984)No. 23</p> <p>72)吉沢ほか：昭58照学全大51, 52</p> <p>73)Groot, et al :IES Conf. Tech. Papers(1984)No. 7</p> <p>74)Fischer, D. :Licht Tech. 30-12(1978)</p> <p>75)Stabilizing the radiant flux of xenon arc lamp, 1981 Opt. Soc. of America</p> <p>76)Xenon arc lamp intensity stabilizer, Rev. Sci, 45-3(1974)</p> <p>77)Optical output stabilization method for DC arc lamp, Rev. Sci. Ist. 56-2(1985)</p> <p>78)藤井ほか：昭63照学全大42</p> <p>79)垣谷ほか：昭62照学全大4</p> <p>80)竜子ほか：照学誌65-10(1981)513-519</p>

(139ページから)

形のものが出ている。

また始動時のノイズを低減する試みもされている。

(3) 超高圧水銀ランプ用

50W～5kWまでほとんどすべてがスイッチングレギュレータ化している。キセノンランプと同様に始動時のノイズを低減するために3000～5000Vの直流高電圧を印加して始動する方式が試みられている。

(4) ハロゲン電球用電子トランス

電球もインバータで点灯されている。12V用のハロゲン電球を AC100Vラインで点灯するために従来ダウントランスが用いられていたが、これを小形、軽量化するために電子化したものである。

もともと 100V用の電球を作ればよいのだが、50W程度の小電力のものを作るとフィラメントが細く長くなり、短寿命となることと、光学的な性能としても発光部が小さいほうがよいので12V定格となっているものである。点灯装置との組み合わせで光源システムとしての機能を発揮している例として面白い。

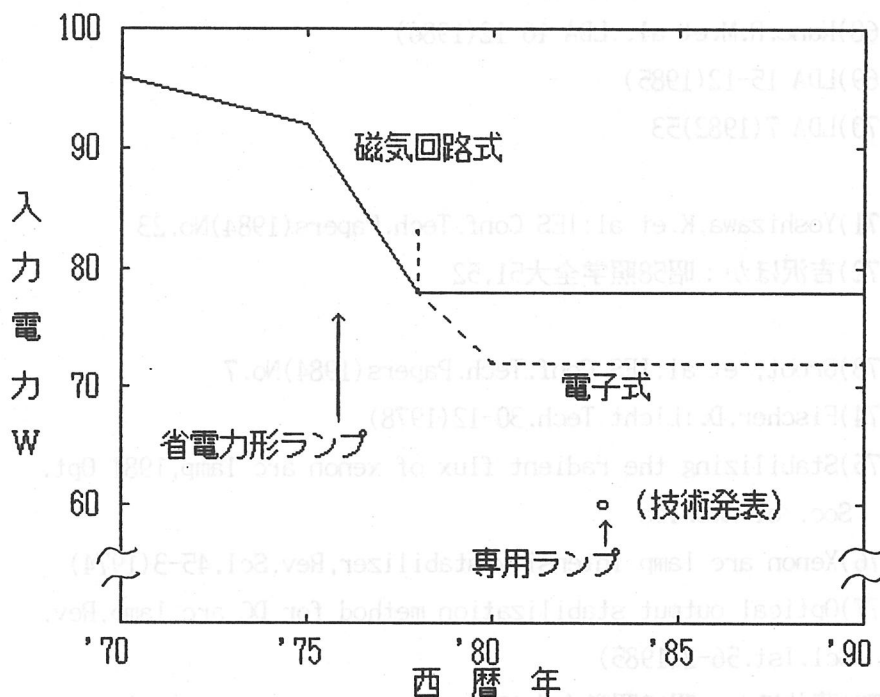


図3.4.1 蛍光ランプ用点灯装置の入力電力の推移
(40W形2灯用)

3. 5. 光源材料

3. 5. 1. 蛍光体

(1) 蛍光ランプ用

1971年ころより蛍光ランプ用蛍光体の研究開発の中心は徐々にハロリン酸カルシウム蛍光体から希土類蛍光体に移行しつつあり、その先駆的なものとして1966年にジアゾ複写機用光源として2価ユーロピウム付活アルカリ土類リン酸塩蛍光体を採用した蛍光ランプが製品化された。引き続き2価ユーロピウム付活アルカリ土類けい酸塩、アルミノけい酸塩等が開発され、一部は水銀ランプの色補正用として実用化された。

ハロリン酸カルシウム蛍光体は付活剤のSbとMnの結晶格子内のサイトの解明や短波長紫外線185nmによるカラーセンター生成機構の解明とその抑制方法など、理論面から特性向上を図った報告が多数発表された。これによりハロリン酸カルシウム蛍光体の発光機構と劣化機構に対する理解は一段と深まったが、これを最後に研究開発の重点は急速に希土類蛍光体に移っていく。

1975年に新規な希土類蛍光体の青発光アルミン酸バリウムマグネシウム(BAM)と緑発光アルミン酸セリウムマグネシウム(CAT)が発表された。その後これらの合成条件、劣化特性の改善についての報告やその他の新規な緑発光蛍光体、テルビウム、セリウム付活けい酸イットリウム、セリウム、テルビウム付活リン酸ランタンの開発や青発光蛍光体の2価ユーロピウム付活ストロンチウム・カルシウム・バリウムクロロアタイト(SCA)の改良開発が積極的に行われ、これらを採用した三波長形蛍光ランプの光束は環形30ワットを代表に急速に向上した。

ところで2価ユーロピウムの遷移はストークシフトが小さく、青発光の一部が吸収される場合がある。1979年に発表された2価ユーロピウム付活ほうりん酸ストロンチウム、1983年に発表された2価ユーロピウム付活バリウム・カルシウム・マグネシウムクロロアタイトおよび1984年に発表された2価ユーロピウム付活アルミン酸ストロンチウムはこの条件を満たすもので、青色部の水銀輝線を吸収するため一層蛍光体膜方式でRa 99、効率が従来の二層式より約20%高い演色AAA蛍光ランプが製品化された。

1986年以降は蛍光ランプの開発の重点がコンパクト形蛍光ランプにおかれるようになり、それとともに蛍光体開発、改良も蛍光体発光の高温特性の改善や高負荷時の劣化機構の解明など、細管化にともなう高負荷化に耐える蛍光体開発にも重点が置かれてきている。

(2) 水銀ランプ色補正用

水銀ランプの色補正用蛍光体は特に高温特性が重視されるため、適用できる蛍光体は限られ、長い間マンガン付活フロゲルマン酸マグネシウムが用いられてきた。1966年に619nmに発光ピークをもつ3価ユーロピウム付活バナジン酸イットリウムが、また1971年頃から3価ユーロピウム付活りんバナジン酸イットリウムが相次いで導入され、大幅なランプ効率の向上と光束維持率改善が実現された。ところで水銀ランプの演色性は赤成分の補強だけでは不十分で、青緑発光も必要であることが明らかにされ、このための蛍光体として2価ユーロピウム、マンガン付活アルミン酸バリウムマグネシウム、2価ユーロピウム付活クロソライト(1976)、セリウム、テルビウム付活けい酸イットリウム(1978)、2価ユーロピウム付活クロけい酸バリウム(1980)等が開発され、製品化された。

(3) EL用

ELは構造から薄膜形と有機分散形に分けられる。薄膜形の歴史は比較的新しく、最初に発表されたのは1974年である。半導体技術の進歩による薄膜成形技術の向上が大きく寄与している。現在は交流駆動二重絶縁層構造の薄膜形素子が実用化検討の主流を占め、多色

化や輝度アップへの取り組みが活発に行われている。蛍光体はZnSを母体とし、これにMnをドープしたもので585nmに発光ピークをもつものが主として用いられている。希土類ふっ化物を用いた多色化の試みも盛んで、ZnS:TbF₃で緑色発光が得られているが輝度は117-204 cd/m²と、Mn付活品にくらべて1/2-1/3と大幅に低い。

これについては従来の蒸着法にかわりスパッター法を用いることにより、約4倍に輝度が向上したとの報告がある。このほかに膜成形法の工夫で輝度を向上させる試みが多数報告されている。MOCVD法によるMIS構造を有するもので5000cd/m²(160V,5kHz)が、またMBE法により153cd/m²(73.5V,5kHz)がそれぞれ得られている。赤発光蛍光体にはCaS:Euが開発されているが、輝度が1kHz駆動で14.6cd/m²と、ZnS:Mnの175cd/m²に比べて約1/12と極めて低い。

この他に多色化を目的とした薄膜EL用蛍光体としてはSrSを母体としたものがある。SrS:Ceで従来のZnS系薄膜EL素子では得られなかった高輝度の青発光が得られている。これにより他の発光材料と組み合わせ赤、緑、青の三原色からなる白色発光や多色発光素子の得られる可能性がでてきた。このうち、SrS:Sm,CeやSrS:Nd,Hoでかなりよい色調の白色発光が得られている。

一方の有機分散形EL用蛍光体は長い歴史を有するが、本格的に見直されて開発が再開したのは1970年代に入りELがディスプレイデバイスとして見直されてからである。駆動方式のちがいでAC-ELとDC-ELとがある。AC-EL用蛍光体には一族化合物のZnSが、主として用いられ、発光中心にはCu,I,Cl,Al,Mn等が用いられ、発光色は青色、青緑色、オレンジ色が得られている。DC-EL用蛍光体にはオレンジ色発光のZnS:Mn,Cuが最も多く用いられているが、そのほかにa-b化合物のCaSやSrSが母体として用いられ、SrS:Ce,Clで青緑発光が、CaS:Ce,Clで緑発光、CaS:Eu,Clで赤発光が得られているが、いずれも輝度、効率が低い。これら有機分散形ELに共通の問題としては湿度に弱く、防湿構造にしないと劣化が大きくなる。現在、AC-ELでは200V,700Hzで2500時間前後の輝度劣化が50~60%のものが製品化されており、DC-ELでは約1000時間で50%のものが得られている。

(4)赤外可視変換用

赤外可視変換蛍光体は1966年にYb³⁺を添加したNaWO₄で増感現象が見いだされて以来、主としてディスプレイデバイス素子への適用を目的とした多数の報告がある。しかしながら変換効率に原理的な限界が明らかになるにつれ研究報告は少なくなっている。

この蛍光体の発光機構はかなり複雑であるが簡単なモデルで説明ができ、実験により特性の最適化が可能である。現在得られている代表的なものは緑発光:(Y,Yb,Er)F₃、赤発光:(Y,Yb,Er)OCl、青発光:(Y,Yb,Tm)F₃である。前記のように材料面からは飛躍的な効率アップの可能性は少ないが、素子構造の工夫で1桁以上の効率向上が可能であるとの報告がある。用途としてはレーザー光のような強い励起光の、簡便な検出手段に一部採用されている。

用途	材料名	基本特性
蛍光ランプ 紫外発光用	オキシクロケイ酸カルシウム：鉛 $(Ca_3SiO_4Cl_2:Pb)$ ビロリン酸ストロンチウム・ハトリウム：ユーロピウム $[(Sr, Be)_2P_2O_7:Eu^{2+}]$ フッ化ランタン・アルミニウム・セリウム：セリウム $(La, Al, Ce)F_3:Ce^{3+}$ ケイ酸ハトリウム・ストロンチウム：セリウム $[(Ba, Sr)_2SiO_3:Ce^{3+}]$	量子効率60%、 $\lambda_{max}=360nm$, ¹⁾ 温度特性が悪い $\lambda_{max}=395nm$, ²⁾ Mnを付加すると 580nmにも発光が現れる $\lambda_{max}=286nm$, ³⁾ ランタンをイットリウムにか えると $\lambda_{max}=293nm$ $\lambda_{max}=390nm$, ⁴⁾
蛍光ランプ 青発光用	正リン酸カルシウム・マグネシウム $(Ca, Mg)_3(PO_4)_2:Eu^{2+}$ ケイ酸ストロンチウム・ハトリウム・マ グネシウム：ユーロピウム $(Sr, Ba, Mg)_2SiO_3:Eu^{3+}$ アルミン酸ハトリウム・マグネシウム： ユーロピウム $(BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+})$ ストロンチウム・カルシウム・クロロアハ タイト：ユーロピウム $[3 \cdot Sr_3(PO_4)_2CaCl_2:Eu^{2+}]$ アルミン酸ストロンチウム・ハトリウム・ マグネシウム：ユーロピウム $[(Sr, Ba, Mg)O \cdot Al_2O_3:$ $Eu^{2+}]$ ハトリウム・カルシウム・マグネシウム・ クロロアハタイト：ユーロピウム $[(Ba, Ca, Mg)_{10}(PO_4)_6:$ $Eu^{2+}]$	$\lambda_{max}=435nm$, ⁵⁾ Mnを付加すると 445nmと665nmに発光が現れる 青～緑発光 ⁶⁾ $\lambda_{max}=452nm$, ⁷⁾ 4000K, Ra=85 3波長形蛍光ランプ青成分 $\lambda_{max}=452nm$, ⁸⁾ 23 lm/W, 4200K- 95 lm/W, Ra=86, 3波長形青成分 AlCl ₃ 添加で輝度20%向上 ⁹⁾ 4200 K-ランプで3.1%効率向上 $\lambda_{max}=465nm$, ¹⁰⁾ Ra=92, 3波長形 青成分 $\lambda_{max}=442nm$, ¹¹⁾ P5000Kで3400lm /40W, Ra=84, 3波長形青成分

用途	材料名	基本特性
蛍光灯用 青緑発光用	アルミン酸ストロンチウム:ユーロピウム $(2\text{SrO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{2+})$ $[1.29(\text{Ba}, \text{Ca})\text{O} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{2+}]$	$\lambda_{\text{max}}=460\text{nm}, 4000\text{K}$ TLD36Wランプで $3600-3620\text{lm}, \text{Ra}=86-87^{12)}$ $\lambda_{\text{max}}=440\text{nm}, 4000\text{K}$ TLD36Wランプで $3600\text{lm}, \text{Ra}=81^{12)}$
蛍光灯用 青緑発光用	カリウム 酸リチウム・亜鉛・ マグネシウム:マンガン ホウリン酸ストロンチウム:ユーロピウム $(2\text{SrO} \cdot 0.16\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 0.84$ $\text{P}_2\text{O}_5 : \text{Eu}^{2+})$ ストロンチウム・カルシウム・マグネシウム クロロアハタイト:ユーロピウム $[(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Mg})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ $: \text{Eu}^{2+}]$ アルミン酸ストロンチウム:ユーロピウム $(\text{Sr}_4\text{Al}_{11}\text{O}_{25} : \text{Eu}^{2+})$	明るい青緑発光 ¹³⁾ , Ga_2O_3 を Al_2O_3 に置換するとオレンジ発光 ¹⁴⁾ $\lambda_{\text{max}}=480\text{nm},^{15)}$ 演色AAA 用青緑 成分 $5000\text{K}, \text{Ra}=99, 60\text{lm/W}^{16)}$ 演色AAA 用青緑成分 $\lambda_{\text{max}}=490\text{nm},^{17)}$ ハ口蛍光体と組 合せて $\text{Ra} \geq 95, (\text{Sr}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2$ と 組合せて $\text{Ra}=99, (5000\text{K})^{18)}$ 演色AAA 用青緑成分
蛍光灯用 緑発光用	タンタル酸カルシウム:ウラニウム $(\text{Ca}_3\text{TaO}_6 : \text{U})$ アルミン酸バリウム:ユーロピウム、 マンガン $(\text{BaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{2+}, \text{Mn})$ アルミン酸セリウム・マグネシウム: テルビウム $(\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19} : \text{Tb}^{3+})$ オキシ塩化インジウム:テルビウム $(\text{InOCl} : \text{Tb}^{3+})$	$\lambda_{\text{max}}=500\text{nm}$, カルシウム をバリウム に代 えると 600nm にシフト ¹⁹⁾ 明るい緑発光, 劣化小さい ²⁰⁾ $\lambda_{\text{max}}=543\text{nm},^{21)}$ 3波長形用緑成 分 $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ に匹敵する輝度を有す る ²²⁾

用途	材料名	基本特性
蛍光ランプ 緑発光用	シリカ・ケルマン酸亜鉛・マグネシウム：マンガン [(Zn, Mg) ₂ (SiGe)O ₄ :Mn ケイ酸イットリウム：セリウム、テルビウム (Y ₂ SiO ₅ :Ce, Tb) リン酸ランタン：セリウム、テルビウム (LaPO ₄ :Ce, Tb) ホウ酸カトリニウム・マグネシウム：セリウム、テルビウム、マンガン (GdMgB ₅ O ₁₀ :Ce, Tb, Mn)	AsとPb添加により110 lm/W, λ _{max} =530nm ²³⁾ λ _{max} =543nm ²⁴⁾ 3波長形用緑成分 λ _{max} =543nm, ²⁵⁾ PO ₄ の一部をSiO ₂ , ZrOで置換すると効率向上 ²⁶⁾ λ _{max} =550nm, 630nm, ¹⁷⁾ 演色AAA用緑, 赤発光成分
蛍光ランプ 赤発光用	テルル酸マグネシウム：マンガン (Mg ₇ Te ₂ O ₁₂ :Mn) リン酸ストロンチウム・リチウム：マンガン、セリウム (SrO·Li ₂ O·P ₂ O ₅ :Mn, Ce ホウ酸カトリニウム：ユーロピウム (GdBO ₃ :Eu ³⁺) ホウ酸カトリニウム・マグネシウム：セリウム、マンガン (GdMgB ₅ O ₁₀ :Ce, Mn) 酸化イットリウム・ランタン：ユーロピウム [(Y, La) ₂ O ₃ :Eu ³⁺]	λ _{max} =670nm, ²⁷⁾ λ _{max} =610nm, ²⁸⁾ バンド状赤発光 赤発光用 ²⁹⁾ 粉体輝度は高いがランプ製造工程での劣化大 λ _{max} =630nm, ¹⁷⁾ 演色AAA用赤発光成分 La ₂ O ₃ 10mol%まで輝度向上 ³⁰⁾ 3波長形赤成分用
蛍光ランプ 白色用	ハロリン酸カルシウム：アンチモン、マンガン [Ca ₃ (PO ₄) ₂ F, Cl:Sb, Mn	後処理にジエチレン・トリアミン-5酢酸を用いる ³¹⁾ 185nm照射による輝度低下と組成 ³²⁾ 、アパタイト以外の相の影響 ³³⁾ カラーセンター生成とSb, Cdとの関係 ³⁴⁾ 、カラーセンターをESRや光学的手段で解明 ³⁵⁾ 、熱ルミネッセンスとの関係 ³⁶⁾ 、Cs添加効果 ³⁷⁾

用途	材料名	基本特性
蛍光ランプ 近赤外用 高圧水銀ランプ 色補正用	カルシウム・クロロフタタイト：マンガン、スズ $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3\text{F}_2:\text{Mn}, \text{Sn}]$ ストロンチウム・フクロフタタイト：セリウム、マンガ $[\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}_2:\text{Ce}, \text{Mn}]$ ガリウム酸イットリウム：鉄 $(\text{YGaO}_3:\text{Fe}^{3+})$ アルミン酸リチウム：鉄 $(\text{LiAlO}_2:\text{Fe})$	$\lambda_{\text{max}}=575\text{nm}$, ³⁹⁾ Sb, Mn のものより 20% 明るい $\lambda_{\text{max}}=575\text{nm}$, ³⁹⁾ 量子効率 ~ 70% 2成分系白色ランプの黄色成分 $\lambda_{\text{max}}=742\text{nm}$, ⁴⁰⁾ 植物栽培用 全放射束 2.3W ⁴¹⁾ (FL20ワット) 植物光周性制御と赤外線撮影用 赤発光用, 100ppmオーダーの Tb 添加で 数% 効率向上 ⁴²⁾
E L 用	ヲキシ 塩化ケイ酸イットリウム：ユーロビウム、テルビウム $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}$ クロロケイ酸ストロンチウム：ユーロビウム $\text{Sr}_2\text{Si}_3\text{O}_8 \cdot \text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}$ アルミン酸ハリウム・マグネシウム：ユーロビウム、マンガ $\text{BaMgAl}_{14}\text{O}_{24}:\text{Eu}, \text{Mn}$ アルミン酸イットリウム：テルビウム $3 \cdot \text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Tb}$ ケイ酸イットリウム：セリウム、テルビウム $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}, \text{Tb}$ オキシ 塩化ケイ酸ハリウム：ユーロビウム $\text{Ba}_5\text{SiO}_4\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ 硫化亜鉛：マンガ $(\text{ZnS}:\text{Mn})$	青緑発光用 ⁴³⁾ , $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ と混合して用いる 上に同じ ⁴⁴⁾ 黄緑発光用 ⁴⁵⁾ , 400W形で 68lm/W 緑発光用 ⁴⁶⁾ $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ と $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}$ と共に用いて 4% 効率向上 62.5lm/W, Ra=50 青発光用 ⁴⁷⁾ $\lambda_{\text{max}}=440\text{nm}$, 半値巾 30nm 300℃以上の高い温度消光性 有する DCELで 効率 0.1% ^{48), 49)}

用途	材料名	基本特性
赤外可視変換 用	硫化ストロンチウム：セリウム、塩素 (SrS:Ce,Cl)	青発光用 ⁵⁰⁾ 、100V印加で 100cd/m ²
	硫化亜鉛：テルビウム、 (ZnS:Tb)	緑発光 ⁵¹⁾ 、スッパタリンク法で輝度 ~11 lm/W 向上
	硫化ストロンチウム：セリウム、カリウム (SrS:Ce,K)	青緑発光 ⁵²⁾
	硫化カルシウム：ユーロピウム、 (CaS:Eu ³⁺)	赤発光 ⁵³⁾ 、1KHz駆動で180cd/m ²
	オキシフッ化イットリウム：イッテル ビウム、ホロミウム YOF:Yb, Ho	発光励起特性 ⁵⁴⁾
	フッ化イットリウム・ナトリウム： イッテルビウム、エルビウム NaYF ₄ :0.2Yb, 0.03Er	緑発光用、効率6% ⁵⁵⁾
	フッ化ガドリニウム・イットリウ ム：エルビウム、イッテルビウム GdYF ₃ :Yb, Er	合成時のフラックスと輝度 ⁵⁶⁾
	フッ化ナトリウム・ランタニド： イッテルビウム、エルビウム NaLnF ₄ :Yb, Er	合成条件と発光特性 ⁵⁸⁾
	イットリウム・オキシサルファイト： ホロミウム、エルビウム、テイス フロシウム Y ₂ O ₂ S:Ho, Er, Dy	発光特性 ⁵⁷⁾

実現可能性	参考文献
	<p>1) W.L.Wanmaker: Philips Res.Rept., <u>28</u>(1973)80, 2) 特公昭48-34116 3) 成田: 第147回蛍光体同学会(昭48) 4) P.V.Kelsey: J.Electrochem.Soc. <u>123-9</u>(1976)1384 5) 特公昭48-31480 6) 特公昭48-37714 7) 特公昭49-77893(昭49) 8) 中本: 昭55照学全大(昭55)9 9) 谷水: 昭56照学全大(昭56)14 10) 山本: 昭56照学全大(昭56)17 11) 田屋: 昭59照学全大(昭59)12 12) B.Smets: J.Electrochem.Soc. 136-7, 2119(1989) 13) 特公昭48-43030 14) 特公昭48-43277 15) 村上: 昭53照学全大(昭53) 16) 田屋: 第192回蛍光体同学会(昭57)9 17) J.T.Van Kemenade: CIE 20th Session(1983)D702 18) 岩間: 昭58照学全大(昭58)12 19) S.Natasohn: J.Electrochem.Soc. <u>120</u>, (1973) 660 20) 玉谷: 第144回蛍光体同学会(昭47) 21) J.M.P.J.Verstegen: J.Electrochem.Soc. <u>121-12</u> (1974)1627 22) S.Sugai: J.Luminescence <u>8</u> (1974)488 23) 特公昭51-33518 24) 相田: 第173回蛍光体同学会 25) 中島: 第186回蛍光体同学会(昭56) 26) 寺島: 同上 27) 特公昭48-24155 28) 29) 成田: 昭57照学全大(昭57)15 30) 東: 第205回蛍光体同学会(昭60)27, J.Luminescence <u>31/32</u>, (1984)709</p>

実現可能性	参考文献
	31) E. Graff: J. Electrochem. Soc. <u>119-1</u> , (1972) 118
	32) J. A. Parodi: J. Luminescence <u>9</u> (1974) 315
	33) G. R. Gillooly: Electrochem. Soc. Ext. Abst. 74-1, 222 (1974)
	34) R. W. Warren: Electrochem. Soc. Ext. Abst. 74-1, 238 (1974)
	35) R. W. Warren: J. Electrochem. Soc. <u>112-6</u> , (1975) 752
	36) 小峰: 応物昭50年度年会, 4a-H-13, (昭50) 379
	37) K. Narita: Bull. Chem. Soc. Japan, <u>48-7</u> , (1975) 2047
	38) R. G. Pappalardo: J. Luminescence <u>31</u> , (1984) 284
	39) R. G. Pappalardo: J. Electrochem. Soc. <u>130-10</u> (1983) 2087
	40) J. G. Rabatin: J. Electrochem. Soc. <u>125-6</u> (1978) 920
	41) 河本: 昭55照学全大 (昭55) 12
	42) S. Faria: J. Electrochem. Soc. <u>121-12</u> , (1974) 305
	43) 粟津: 昭50昭学全大 (昭50) 8
	44) 岩間: 同上, 9
	45) 猪島: 第162回蛍光体同学会 (昭51)
	46) 渡辺: 第167回蛍光体同学会 (昭52)
	47) A. Garcia: J. Electrochem. Soc. <u>126-10</u> , (1979) 1735
	48) Dean: 固体素子国際会議講演 Aug. 29 (昭48)
	49) 高木: 電子材料 <u>12-7</u> , (1973) 74
	50) 三浦: 学振第125委員会研究資料 NO. 416 (昭59)
	51) J. Owaki: Japan. J. Appl. Phys. <u>23</u> (1984) 1649
	52) S. Tanaka: Japan. J. Appl. Phys. <u>25</u> (1986) L225
	53) 同上: Appl. Phys. Letters <u>48</u> (1986) 1730
	54) J. Wojciechowski: J. Electrochem. Soc. <u>112-2</u> , (1975) 312
	55) A. Brill: <i>ibid</i> , <u>112-5</u> , (1975) 660
	56) N. Low: Mat. Res. Bull. <u>7-3</u> , (1972) 203
	57) 加納: 第145回蛍光体同学会 (昭47)
	58) G. Garlick: J. Luminescence <u>12/13</u> (1976) 707

3.5.2 発光・封入材料

光源用の封入材料は原子あるいは単純な分子なので、封入材料のあたらしい展開は少なかった。しかし、材料自身は従来の材料であるが、社会情勢の変化（例えば、石油危機による省エネルギー化、OA機器の発展など）や関連分野の技術進歩に対応して、従来は利用されていない材料特性を使用することによって、新しいランプが開発されている。

以下、主要な進歩について記す。

(1) 白熱電球用封入材料

アルゴンに窒素を少量混入したガスが一般に使用されているが、クリプトン封入も実用化され、電球の小形化が行われた。

ハロゲンサイクルを利用した電球においては、前回の調査において、可視光の吸収が少なく、かつ、過不足のないハロゲンサイクルを維持させる新材料の開発が期待されていたが、目覚ましい進歩は無かった。

(2) 蛍光ランプ用封入材料

一般の蛍光ランプの発光気体は水銀蒸気であるが、キセノンを発光ガスとしたとした蛍光ランプが実用化された。この蛍光ランプは、周囲温度によって光出力特性が変わらないという特徴を有し、OA機器用として使用されている。

蛍光ランプの高出力化、コンパクト化に伴い、水銀の蒸気圧を制御する新しいアマルガムが開発された。これは、Bi-In-Hg, Bi-Pb-Sn-Hg, Bi-In-Sn-Hgなどで、低温における水銀の蒸気圧が比較的高く、広い温度範囲で水銀蒸気圧が一定であるなど、従来のIn-Hgアマルガムには無かった利点を有する。

水銀の同位元素の混合比を調整し、水銀の共鳴線254nmのプロファイルを変えることにより254nmの自己吸収係数を小さくして、蛍光ランプの高効率化が行われた。数%の効率向上が確認されているが、実用上のポイントは同位元素の分離技術であろう。

放電始動用封入ガスとしては一般にアルゴンが使用されているが、石油危機による省エネルギー化の要求に対して、クリプトン混合希ガスを使用した省電力形蛍光ランプが開発され、現在も広く使用されている。

(3) HIDランプ用封入材料

メタルハライドランプの発光物質であるハロゲン化物は、分子単体の種類としては、前回の調査以降、新しい材料は出ていない。しかし、種々のハロゲン化物の組み合わせが検討された。効率、演色性、寿命特性などから、実用化されている主な組み合わせは、少数の原子スペクトル線を利用するNa-Tl-In、多数の原子スペクトル線を利用するNa-Sc系、分子スペクトル線を利用するSnや希土類元素のハロゲン化物にしばられてきている。

適当な二種類のハロゲン化物を組み合わせて複合ハロゲン化物にすると、蒸気圧が大幅に高くなることが確認され、多くの研究がなされた。また、希土類元素のハロゲン化物の熱力学的特性が測定された。

高圧ナトリウムランプにおいては、演色性を向上させる目的で、管壁負荷の増大や発光管の形状の改良などによってナトリウムの蒸気圧を高くすることが行われた。さらに、セラミックス発光管に、ハロゲン化物を封入することも試みられた。

メタルハライドランプの放電始動用ガスは一般にアルゴンであるが、始動電圧低下のための材料として、ペニングガスが使用された。高圧ナトリウムランプにおいては、従来は数千Paのキセノンが封入されていたが、これを数万Paに高くすることにより高効率化がなされた。

メタルハライドランプおよび高圧ナトリウムランプにおいて、アークを安定化するための材料として、電離電圧の小さいセシウムが使用された。

(4) その他の封入材料

低圧放電ランプにおいて、封入ガスとしてネオンと水銀を用い、これをパルス電圧で点灯し、放電立上り時の非平衡状態におけるネオンの発光と、放電が定常状態になったときの水銀の発光の割合を制御することにより、可変色放電ランプが実現された。

近赤外線放射源として、ネオン、アルゴン、キセノンを使用した低圧放電ランプが開発された。OA機器用光源として使用されている。

表3.5.2-1 発光・封入材料

光源		材料名	基本特性		
1.白熱電球(1)	封入ガス		原子量	熱伝導率 ×10 ⁻⁴ (W/cm・K)	電離電圧 (V) (2)
		アルゴン Ar	39.9	1.58	15.8
		クリプトン Kr	83.8	0.88	14.0
		窒素 N ₂	28.0	2.43	
		アルゴン+窒素			
2.ハロゲン電球(1)	ハロゲン サイクル		融点 (°C)	沸点 (°C)	
		ヨウ素 I ₂	113.7	184.5	化学的に最も安定。
		臭素 Br ₂	-7.3	58.2	
		塩素 Cl ₂	-100.7	-33.8	
		ヨウ化水素 HI	-50.9	-35.1	
		臭化水素 BrI	-87.0	-66.5	
		三臭化ホウ素 BBr ₃	-46	96	
		臭化メチル CH ₃ Br	-93	4.5	水素:ハロゲンサイクルを抑制 炭素:ゲッター作用
		臭化メチレン CH ₂ Br ₂	-52.6	98.2	同上
		ブロモホルム CHBr ₃	8	149.5	同上
		塩化メチレン CH ₂ Cl ₂	-96.8	39.95	同上
		クロロホルム CHCl ₃	-13.5	61.2	同上
		ホスホトリック ブロマイド (PNBr ₂) _n			吸収性が小。 リン:ゲッター作用

要求性能	参考文献																																																
<ul style="list-style-type: none"> ・フィラメントの熱蒸発抑制の効果大 ・熱伝導率小 ・高アーキング電圧 	<p>1) 照明学会光源調査専門委員会：光源の評価・性能・材料, 照明学会 (昭47年), 60-67</p> <p>2) D.E.Gray: American Int.Phys.Handbook, McGraw Hill(1957) 4-282</p>																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">電圧 (V)</th> <th style="width: 25%;">長さ (mm)</th> <th style="width: 25%;">電流 (A)</th> <th style="width: 25%;">寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.0</td> <td>100</td> <td>0.1</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>15.0</td> <td>150</td> <td>0.15</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>20.0</td> <td>200</td> <td>0.2</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>250</td> <td>0.25</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>30.0</td> <td>300</td> <td>0.3</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>	電圧 (V)	長さ (mm)	電流 (A)	寿命 (h)	10.0	100	0.1	1000	15.0	150	0.15	1500	20.0	200	0.2	2000	25.0	250	0.25	2500	30.0	300	0.3	3000	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">電圧 (V)</th> <th style="width: 25%;">長さ (mm)</th> <th style="width: 25%;">電流 (A)</th> <th style="width: 25%;">寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.0</td> <td>100</td> <td>0.1</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>15.0</td> <td>150</td> <td>0.15</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>20.0</td> <td>200</td> <td>0.2</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>250</td> <td>0.25</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>30.0</td> <td>300</td> <td>0.3</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>	電圧 (V)	長さ (mm)	電流 (A)	寿命 (h)	10.0	100	0.1	1000	15.0	150	0.15	1500	20.0	200	0.2	2000	25.0	250	0.25	2500	30.0	300	0.3	3000
電圧 (V)	長さ (mm)	電流 (A)	寿命 (h)																																														
10.0	100	0.1	1000																																														
15.0	150	0.15	1500																																														
20.0	200	0.2	2000																																														
25.0	250	0.25	2500																																														
30.0	300	0.3	3000																																														
電圧 (V)	長さ (mm)	電流 (A)	寿命 (h)																																														
10.0	100	0.1	1000																																														
15.0	150	0.15	1500																																														
20.0	200	0.2	2000																																														
25.0	250	0.25	2500																																														
30.0	300	0.3	3000																																														

表3.5.2-2 発光・封入材料

光源		材料名	基本特性																										
3. 蛍光 ランプ	ハロゲン 電球	封入ガス	アルゴン クリプトン 窒素	「白熱電球」参照 同上 同上																									
	紫外線 放射物	水銀(天然) Hg	<table border="1"> <thead> <tr> <th>原子量</th> <th>沸点 (°C)</th> <th>共鳴線 (nm)</th> <th>電離電圧 (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>220.6</td> <td>356.7</td> <td>185, 254</td> <td>10.4</td> </tr> </tbody> </table>				原子量	沸点 (°C)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)	220.6	356.7	185, 254	10.4															
			原子量	沸点 (°C)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)																							
	220.6	356.7	185, 254	10.4																									
	蒸気圧が下記圧力になる温度(°C)																												
	0.13Pa	1.3×10 ² Pa	1.3×10 ¹ Pa																										
	18	126	262																										
	水銀蒸気圧約0.8Pa中で低圧放電を行い共鳴線254および185nmを放射させる。 可視光は共鳴線の数%。																												
	紫外線放射物	水銀(同位元素)	Hg ¹⁹⁶ (5) (6) (7)	共鳴線254nmのプロファイルを変																									
			Hg ²⁰² (3) (7)	えることにより自己吸収を小さくし																									
Hg ²⁰¹ (4) (7)			高効率化する。																										
Hg ¹⁹⁸ (4) (7)																													
水銀蒸気圧 の制御	アマルガム	In-Hg																											
		Bi-In-Hg	(9) (10)																										
		Bi-Pb-Sn-Hg	(9) (10)																										
		Bi-In-Sn-Hg	(11)																										
封入ガス	シリコンゴム (12)	(12)電球形蛍光ランプにおいて内管と 外管の間の熱伝導率をよくする。																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>原子量</th> <th>電離電圧 (V)</th> <th>共鳴線 (nm)</th> <th>電離電圧 (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ヘリウム He</td> <td>4.0</td> <td>19.8</td> <td>59.1, 58.4</td> <td>24.6</td> </tr> <tr> <td>ネオン Ne</td> <td>20.2</td> <td>16.6</td> <td>74.4, 73.6</td> <td>21.6</td> </tr> <tr> <td>アルゴン Ar</td> <td>39.9</td> <td>11.6</td> <td>107, 105</td> <td>15.8</td> </tr> <tr> <td>クリプトン Kr</td> <td>83.3</td> <td>9.9</td> <td>124, 116</td> <td>14.0</td> </tr> </tbody> </table>				原子量	電離電圧 (V)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)	ヘリウム He	4.0	19.8	59.1, 58.4	24.6	ネオン Ne	20.2	16.6	74.4, 73.6	21.6	アルゴン Ar	39.9	11.6	107, 105	15.8	クリプトン Kr	83.3	9.9	124, 116	14.0
		原子量	電離電圧 (V)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)																								
		ヘリウム He	4.0	19.8	59.1, 58.4	24.6																							
		ネオン Ne	20.2	16.6	74.4, 73.6	21.6																							
アルゴン Ar	39.9	11.6	107, 105	15.8																									
クリプトン Kr	83.3	9.9	124, 116	14.0																									
ヘリウム He	4.0	19.8	59.1, 58.4	24.6																									
ネオン Ne	20.2	16.6	74.4, 73.6	21.6																									
アルゴン Ar	39.9	11.6	107, 105	15.8																									
クリプトン Kr	83.3	9.9	124, 116	14.0																									

要 求 性 能	参 考 文 献
<ul style="list-style-type: none"> ・「白熱電球」と同一 ・同位元素の安価な 分離方法の確立 ・組成、温度による 水銀蒸気圧の変動小。 ・低温における水銀蒸気圧が高い ・酸化しにくい。 ・高融点。 ・熱伝導率大。 ・可視光の吸収率小。 ・放電始動電圧が低い ・電極物質の蒸発抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 3) G.Franck, et al:Light.Res.Technol. 7-1(1975) 49 4) R.K.Sun, et al:IES Tech.Conf.Paper (1983) No35 5) S.G.Johnson, et al:Third Int.Symp.Science and Technol.Light Sources 1983 No66 6) M.W.Grossman et al:J.Illum. Engng.Soc.12 (1983) 1 7) J.H.Ingold et al:IES Tech.Conf.Paper (1984) No43 651 8) J.Maya et al:Science 226 (1984) 435 9) J.Bloem et al:Philips Tech.Rev. 38-3(1978/79) 38 10) J.Bloem et al:J.Illum.Eng.Soc. 16-2(1977) 14 11)佐藤,他:照学全大(照60) No16 12)三軒,他:照学全大(照60) No16

表3.5.2-3 発光・封入材料

光源		材料名	基本特性
4.水銀 ランプ(1)	再結合構体	混合希ガス	主にアルゴンが使用されている。アルゴンにヘリウム、ネオンを混合するとランプ電圧が高くなり、クリプトンを混合するとランプ電圧が低くなる。クリプトン含む混合希ガスを用いることにより、省電力型蛍光ランプが得られる。
		(13)(14) 石英ガラスウール	Φ10 μm 再結合を促進し、 ランプ電圧を高くする。 Φ20 μm 同上
		ガラスファイバー	
	発光物質	水銀	「蛍光ランプ」の項参照。 10 ⁵ ~10 ⁶ Paの水銀蒸気中での高圧放電。 共鳴線は自己吸収のため非常に弱くなり 主な発光スペクトル線は、365,405,436, 546,577/579 nmである。
	発光管封入 ガス	アルゴン	「蛍光ランプ」の項参照。
	外管封入 ガス	窒素 アルゴン+窒素	「白熱電球」の項参照。

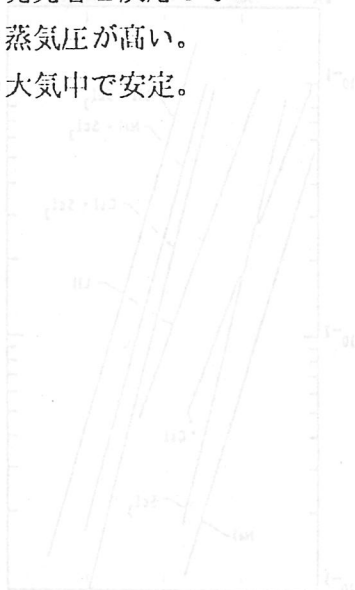
要求性能	参考文献
<ul style="list-style-type: none"> ・光を吸収しない。 ・放電空間に均一に分散する。 <ul style="list-style-type: none"> ・「蛍光ランプ」の項参照 <ul style="list-style-type: none"> ・外管内収容物と反応しない。 ・支持線間で放電しない。 	<p>13) J. Hasker: J. Illum. Engng. Soc. 6-1(1976) 29</p> <p>14) J. Hasker, et al: J. Illum. Engng. Soc. 10-2(1980) 134</p>

表3.5.2-4 発光・封入材料

光源	材料名	基本特性						
		融点 (°C)	蒸気圧が下記の圧力 になる温度(°C)		主発光波長(nm) スペクトルの状態			
			1.3Pa	133Pa				
5.メタル ハライド ランプ	発光物質 (1)	ヨウ化物	TlI	440	右図参照	右図参照	535	
			NaI	651	636	744	589	
			InI		右図参照	右図参照	410,451	
			LiI	446			610,671	
			CaI ₂				429,612 (16) (20)	
			SnI ₂		右図参照	右図参照	色温度4500Kの 連続スペクトル	
			PbI ₂	402		479		
			AlI ₃				連続スペクトル	
			ThI ₃		右図参照	右図参照		
			ScI ₃		604	664	密集した線スペクトル	
			CeI ₃	761	981	1129		
			PrI ₃	773	970	1111	と分子スペクトル	
			NdI ₃	775	970	1113	同 上 (16)	
			GdI ₃	931	974	1109	同 上 (29)	
			TbI ₃	955	962	1114	同 上	
			DyI ₃	955	960	1112	同 上	
			HoI ₃	1010	970	1108	同 上 (29)	
			ErI ₃	1020	958	1097	同 上 (29)	
			TmI ₃	1015	950	1088	同 上	
			FeI ₂	594			同 上	
			CoI ₂				同 上	
			MnI ₂				同 上	
			SbI ₃	167			同 上 (18)	
			GaI				同 上 (18)	
							同 上 (18)	
				臭化物	SnBr ₂			同 上 (18) (16)
					CaBr ₂			紫外線 (19) (20)
								同 上 (19)
				塩化物	AlCl ₃			同 上 (19)
					NaCl			同 上 (19)
					CaCl ₂			同 上 (19)
					NaI-TlI-InI ₃	一般照明用の代表的な組合せ例 (35)		
					ScI ₃ -NaI	同 上		
					DyI ₃ -TlI-	同 上		
					(InI ₃ , NaI, CsI)	同 上		
		SnI ₂ -SnBr ₂	同 上					

要求性能

- ・適切な波長領域に発光する。
- ・発光管と反応しない
- ・蒸気圧が高い。
- ・大気中で安定。



参考文献

- 15) D.E. Work: Light. Res. Technol. 13-7(1981) 143
- 16) C. Hirayama, et al: J. Right. Vis. Environ. 4-1(1980) 17
- 17) N. J. Caruso: J. Illum. Engng. 13-1(1983) 206
- 18) 東: 照学誌 65-10(1981) 17
- 19) R. B. Page: Right. Res. Technol. 18-2(1986) 75
- 20) S. Kondoh: J. Light. Vis. Environ. 3-2(1979) 5
- 21) T. Ishigami, et al: J. Right. Vis. Environ. 1-2(1977) 5

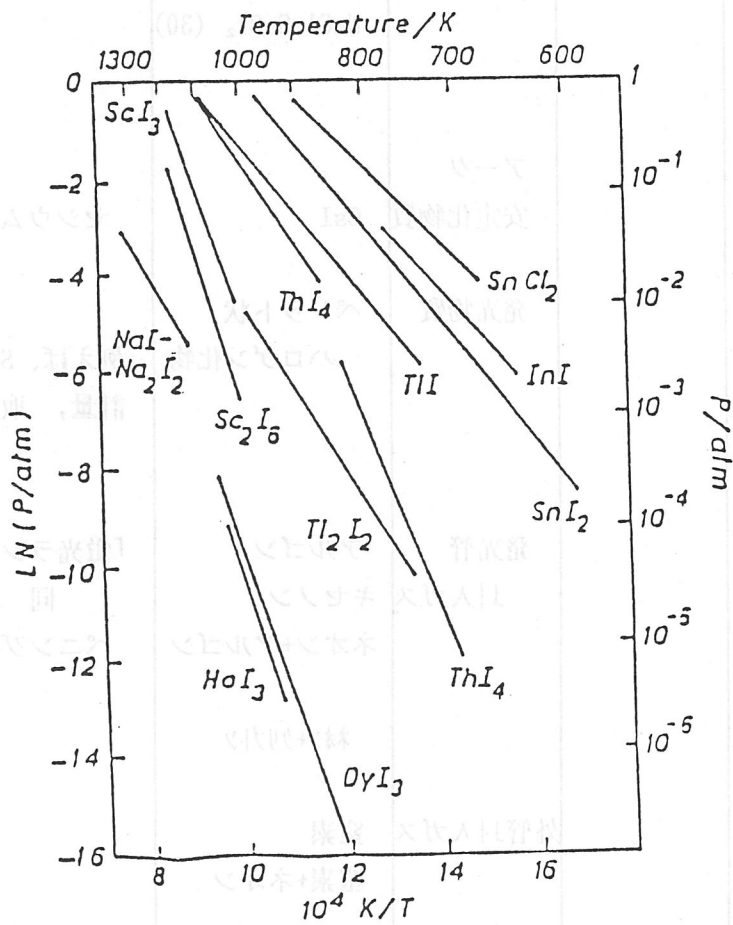
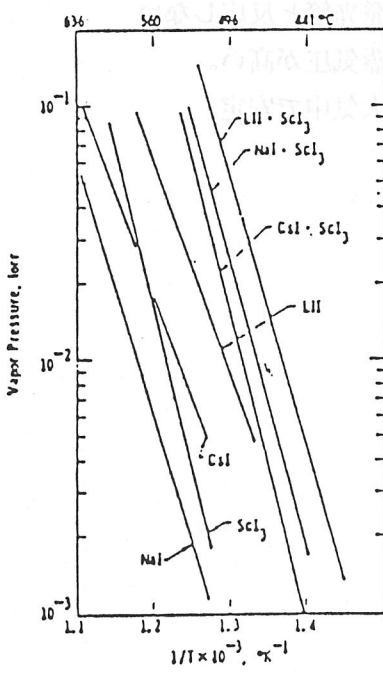


表 3.5.2-5 発光・封入材料

光源	材料名	基本特性
発光物質	複合ハロゲン化物 NaI・ScI ₃ (16) LiI・ScI ₃ (25) CsI・ScI ₃ (25) CsI・LaI ₃ (16) CsI・NdI ₃ (16) (24) (29) SmI ₂ ・2NaI (16) SmI ₂ ・2CsI (16) SmI ₂ ・NaI・CsI (16) NaI・SnI (26) (28) NaI・PbI ₂ (26) NaI・AlCl ₃ (23) NaI・SnBr ₂ (27) (28) NaCl・SnCl ₂ (30)	
アーク	安定化物質	CsI
	発光物質	セシウムの低電離電圧を利用し アークを安定化する。
	ペレット状 ハロゲン化物	例えば、ScI ₃ ・NaIでΦ300~340 μm球。 計量、取り扱いが容易。
発光管	アルゴン	「蛍光ランプ」の項参照。
封入ガス	キセノン	同上
	ネオン+アルゴン	ペニング効果により 放電始動電圧を下げる
	ネオン+クリプトン	同上
外管封入ガス	窒素	
	窒素+ネオン	

要 求 性 能	参 考 文 献
<p>・複合化することにより、単独のハロゲン化物よりも蒸気圧を高く出来る。</p>	<p>22)C.Hirayama,et al:J.Chem.Engng.Data 20-1(1975) 1</p> <p>23)R.Lorenz:Light.Res.Technol.8-2(1976) 136</p> <p>24)C.S.Liu,et al:J.Cehm.Phys.60(1974) 2384</p> <p>25)C.Hirayama,et al:J.Illum.Engng.Soc. 6(1977) 209</p> <p>26)K.Hilpert,et al:Inter.Symp.Science Technol. Light Sources(1983) No59</p> <p>27)D.C.From,et al:Light.Res.Technol. 13-1(1979) 1</p> <p>28)F.L.Whittaker:Light.Res.Technol. 13-1(1979) 13</p> <p>29)C.Hirayama,et al:J.Illum.Engng.Soc. 8(1979) 147</p> <p>30)S.A.Mucklelohn,et al:Inter.Symp.Science Technol.Light Sources (1983) No58</p> <p>31)R.J.Zollweg,et al:J.Illum.Engng.Soc. 4-4(1975) 249</p> <p>32)R.J.Zollweg:J.Illum.Engng.Soc.4-1(1975) 12</p> <p>33)S.Anderson,et al:J.Right.Vis. Environ. 5-1(1981) 1</p>
<p>・「蛍光ランプ」と同一</p>	

表3.5.2-6 発光・封入材料

光源		材料名	基本特性			
6.高圧 ナトリウム ランプ	(1) 発光物質 アーク 安定化物質	ナトリウム Na	原子量	沸点 (°C)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)
			23.0	882.9	589	5.1
		セシウム Cs (34)	132.9	684.9	894,852	3.9
			蒸気圧が下記の圧力になる 温度(°C)			
			1.3×10 ² Pa	1.3×10 ⁴ Pa		
		Na	439	701		
		Cs	279	509		
		Naの蒸気圧を10 ⁴ Pa程度に高くし、共鳴線の線幅を広げ演色性を改善する。 セシウムの低電離電圧を利用しアークを安定化する。				
	内管封入ガス	キセノン Xe ネオン+アルゴン	「キセノンランプ」の項参照。 「メタルハライドランプ」の項参照。			
7.低圧 ナトリウム ランプ	発光材料	ナトリウム Na	「高圧ナトリウムランプ」の項参照。 Naの蒸気圧を0.5Pa程度にして効率を最大にする。放射光は589/590 nm。(35)			
	封入ガス	ネオン+アルゴン	「メタルハライドランプ」の項参照。			
8.殺菌ランプ	発光材料	水銀 Hg	「蛍光ランプ」と同一。			
	封入ガス	アルゴン	「蛍光ランプ」と同一。			

要求性能	参考文献
<p>（V） 0.11 イーロ ーで ア</p>	<p>34)竹治, 他: GS News Tech.Rep.44-2(昭60) 50</p>
<p>・「メタルハライドランプ」と同一</p>	<p>35)照明学会編: ライティングハンドブック オーム社(1987) 129</p>

表3.5.2-7 発光・封入材料

光源		材料名		基本特性			
9.キセノン ランプ	発光材料	キセノン	Xe	原子量	電離電圧 (V)	共鳴線 (nm)	電離電圧 (V)
				131.3	8.3	147, 130	14.0
				点灯中のキセノンの圧力は、ショート アークランプで20~50気圧、ロングアーク ランプで1気圧、フラッシュランプで 10 ⁴ Paである。(35)			
10.超高圧 水銀ランプ	発光材料	水銀	Hg	「蛍光ランプ」の項参照。 点灯中の水銀の圧力は、10~50気圧 (35)			
11.グロー ランプ	発光材料(1)	ネオン		赤色発光。			
		ネオン+ヘリウム		色調を変える。			
		ネオン+アルゴン		色調を変える。			
		ネオン+水銀		寿命の改善。			
12.閃光電球	発火剤(1)	アルミニウム		「金属材料」の項参照。			
		ジルコニウム					
		ハフニウム					
		ハフニウム+					
	封入ガス	セリウム					
		酸素					
		酸素+不活性ガス					
13.赤外線 放電ランプ	封入ガス	キセノン		近赤外線			
		アルゴン (36)		同上			
		ネオン (36)		同上			
14.グロー スタータ	封入ガス 放射性物質	アルゴン		「蛍光ランプ」と同一			
		混合希ガス		初期電子を供給することにより、 暗黒中における放電開始の遅れ時間を 短くする			
		(37) ¹⁴⁷ Pm					
		³ H					
		⁸⁵ Kr					

要求性能	参考文献
	<p>36) Y. Anzai, et al: IES Tech. Conf. Paper (1985) 336</p> <p>37) 鶴飼、他: 照学全大 (昭49) No20</p>

3.5.3. ガラス

(1) 白熱電球用ガラス

アルミノシリケートガラスは、耐熱性、化学的耐久性が高く、しかもモリブデン線と直接封着できる特長があり、自動車用ハロゲン電球のバルブや大形H I Dランプの外管などに使用されている。最近、クリプトン電球の小形化に伴いをこれらの特長を生かして使用されるようになった。このガラスは、熔融温度が高く、急熱加工時の再発泡、失透、成型性など難点があるが、アルミナ、アルカリ土類酸化物の調整などで改良している。

石英ガラスは、耐熱性、透光性、耐ハロゲン性など優れた特性を持っているので、ハロゲン電球のバルブに適しており、黒化や寿命に影響する不純ガス放出の少ないものが使用される。

最近、ゾルーゲル法すなわち金属アルコキシド溶液の加水分解により生成した均一なゲルを、加熱して脱水・縮合固化してガラスを製造する方法が注目されている。この方法のみで製造されたガラスは実用化されていないが、石英ガラスに赤外反射膜を付着させる方法に応用された。金属アルコキシド溶液のディップ法により SiO_2 - TiO_2 の赤外反射多層膜をハロゲン電球に応用して、効率が大幅に向上している。

(2) 蛍光ランプ用ガラス

環形蛍光ランプ用ガラスの価格低減化のため、鉛ガラスからソーダ石灰ガラスへの移行が行われつつある。ソーダ石灰ガラスが蛍光ランプの動程特性に影響するものとして、管壁の黒化、ガラスのソーラリゼーションなどがある。黒化の原因として、管壁ガラスの電位傾度またはイオン交換により、アルカリ（主にナトリウムイオン）がガラス表面へ拡散移動し、それと置換してガラス内面へ拡散した水銀イオンが、droplet(コロイド状)としての析出が指摘されている。

ソーダ石灰ガラスは鉛ガラスより軟化温度が高く、環形形成温度が高いので、蛍光体の劣化が大きく、またアルカリ含量が多いため、黒化の原因となりやすい。ソーダ石灰ガラスを90℃の塩化カリまたは塩化セシウムの溶液に浸して、イオン交換処理することにより黒化が著しく減少したとの報告がある。これは異種のアルカリイオンの層により、ナトリウムイオンの拡散を防止する障壁を形成して、水銀の析出を抑制していると考えられる。また、酸化チタンを0.2~1.2%添加したガラスを採用して、黒化防止の効果が出ている。

環形蛍光ランプ用ガラスとして、ソーダ石灰ガラスの採用は管壁黒化など動程特性に課題があるが、 Al_2O_3 保護膜を用いたり、二重蛍光体層を採用するなどの対策を行うことで実用化されている。一部は PbO の重量比5.5%（従来26~29%）の低鉛ガラスとなっている。

(3) H I Dランプ用ガラス

産業用大電力水銀ランプの外管に硬質ほうけい酸ガラスが使用されているが、5.5eV(波長220nm)以上の紫外線を長時間連続照射するとガラス表面層が収縮して、強い張力歪みのため強度が劣化する。この現象は石英ガラスや軟質ガラスでは起らない。防止策として、ガラス中に PbO 、 TiO_2 などを数%添加することによって防止できる。

また、ホウケイ酸ガラスのソーラリゼーションの防止として、TiO₂ を0.5%添加によって、十分な着色防止効果がある。

石英ガラスは、耐熱性、透光性(0.2~3.5μm)、電気絶縁性、化学的安定性、機械的強度などに優れているので、水銀ランプ、メタルハライドランプ、キセノンランプの発光管に使用されている。ランプの光束低下の原因である石英発光管の黒化は、石英ガラス、電極材料、封入物などから放出されるガスの影響と石英発光管内表面の凸凹にも影響される。管壁負荷の大きいメタルハライドランプなどでは、発光管内表面の不純物成分と水銀との反応も原因となる。特に紫外域の影響は大きくなる。

石英ガラスからのガス放出はランプの寿命や光束低下への影響が大きく、特にメタルハライドランプ発光管用の石英ガラスは、真空溶融法および連続製管法によるOH基の少ないものや、さらに真空の熱処理をして、OH基や不純ガスのほとんど除去したものが使用されている。

石英ガラスの紫外透過特性は波長162nm に吸収端があるが、紫外吸収イオンや酸化物の添加によって紫外透過特性が変化する。紫外吸収イオンの代表的なものとして、Fe³⁺、Ce³⁺、Ti⁴⁺、V⁵⁺、Cr⁶⁺、U⁶⁺、Pb²⁺などが知られている。TiO₂ 30ppm 添加した石英ガラス(厚さ10mm)は、吸収端220nm となり、オゾンフリーとして、映写用キセノンランプや複写用ランプに使用されている。また、CeO₂ 1% 添加した石英ガラス(厚さ5mm)は、吸収端 340nmとなる。

石英ガラスの赤外透過特性は普通波長 4.8μm以上は透過しない。火炎溶融法の場合、OH基による吸収として、2.73、2.22、1.90、1.38μm などがあるが、真空溶融法の場合は、OH基がないので、この吸収はない。

表 3.5.4-1. ガラス(1)

光源		材料名	膨脹係数 (10^{-7} $^{\circ}\text{C}^{-1}$)	軟化温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
1. 白熱電球 一般電球 1)~3)	バルブ	ソーダ石灰ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系)	90-105	680-740	
	ステム (排気管)	鉛ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{R}_2\text{O}$ 系) 低鉛ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{R}_2\text{O}$ 系)	89- 95 90- 96	600-640	
	特殊電球	バルブ、ス テム	ホウケイ酸ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{R}_2\text{O}$ 系)	32- 50	700-820
	ハロゲン電球	バルブ、ス テム	石英ガラス (SiO_2) ¹⁾ 高ケイ酸ガラス (96% SiO_2 -4% B_2O_3) 6)	5- 6 8	1590 1500
			アルミノシリケートガラス ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{RO}$ 系) 7) - 9)	38- 50	900-1050
2. 水銀ランプ ・超高压水 銀ランプ・ メタルハラ イドランプ	発光管	石英ガラス (SiO_2) ¹⁰⁾	5.5	1590	
	外管、冷却 管	ホウケイ酸ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{R}_2\text{O}$ 系)	32- 51	770-830	
3. 殺菌ランプ	バルブ、ス テム	ホウケイ酸ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{ZnO}$)	42- 50	720-780	
		ケイ酸バリウムカリガラス ($\text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{R}_2\text{O}$ 系)	92- 98	680-740	
4. 高压ナトリ ウムランプ	発光管	多結晶アルミナ (Al_2O_3 系) ¹⁴⁾	70- 80	>1700	
	封着ソルダ ー	$\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3$ 系 15)			
5. 低圧ナトリ ウムランプ	基材	ソーダ石灰ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系)	90-105	680-740	
	耐ナトリウ ム膜	アルミノホウ酸ガラス ¹⁰⁾ ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaO}$ 系)	80-100	450-650	

表 3.5.4-1 ガラス(1) (つづき)

その他 (用途別技術動向)	要求性能	参 考 文 献
<p>PbO 27-29%</p> <p>PbO 18-24%⁴⁾</p> <p>Nd³⁺の導入 (着色) (580nm付近の吸収) 1). 5)</p> <p>Mo金属との直接封着 可能ガラス</p> <p>紫外線照射によるク ラック防止^{11), 12)}</p> <p>253.7nm で65% 以上 透過 (t=0.7mm) 8), 13)</p> <p>金属ニオブとの封着</p> <p>耐ナトリウム性</p>	<p>耐ソーラリゼ ーション</p> <p>耐ナトリウム 性</p>	<p>1. 作花済夫編：ガラスの事典、朝倉書店、 (1985)20, 22, 206, 134, 27</p> <p>2. Vincent, K. :Glass, Feb. (1984)68.</p> <p>3. 特開昭 56-14445</p> <p>4. Neukunft, E. et al :Glastech. Ber. 57-3 (1984)</p> <p>5. 特公昭 61-56174</p> <p>6. 鈴木由郎：New Glass 4(1987) 40</p> <p>7. Corning Catalogue 2/83</p> <p>8. 大森：東芝レビュー 37-2(1982) 119</p> <p>9. 特公昭 55-37505</p> <p>10. ガラスハンドブック、朝倉書店、(1975) 836 117</p> <p>11. Vitko, J. et al : J. Am. Ceram. Soc., 95-6 (1982)c86</p> <p>12. 大森：照学誌、69-1(1985) 6</p> <p>13. 技術ノート：東芝レビュー 37-2 (1982) 176</p> <p>14. 一ノ瀬：照学誌、69-12(1985) 13</p> <p>15. Chu, G.P.K. : IES Tech. Conf. (1978)</p>

表 3.5.4-1 ガラス(2)

光源		材 料 名	膨脹係数 (10^{-7} $^{\circ}\text{C}^{-1}$)	軟化温度 ($^{\circ}\text{C}$)
6. 蛍光ランプ 3)、8)、10)、 12)、16)、18)	チューブ	ソーダ石灰ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系)	90-105	680-740
		鉛ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{R}_2\text{O}$ 系)	89- 95	600-640
	ステム	低鉛ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{R}_2\text{O} - \text{PbO} - \text{RO}$ 系)	90-102	660-700
		低鉛ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{R}_2\text{O}$ 系)	90- 96	610-650
7. レーザ	ガラスレーザ	リン酸ガラス ¹⁹⁾ ($\text{P}_2\text{O}_5 - \text{R}_2\text{O}_3 - \text{RO}$ 系)	90-150	
8. 光源一般 光源組立用 特殊ガラス	封着用ソルダーガラス	結晶性鉛・ホウ酸ガラス ($\text{PbO} - \text{ZnO} - \text{B}_2\text{O}_3$ 系) ²⁰⁾	80-100	380-420
		非結晶性鉛・ホウ酸ガラス ($\text{PbO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系) ¹⁾	50-110	350-450
光源フィルタ	着色ガラス	全般		
バルブ表面 処理ガラス	蒸着	全般		
	ステーニング	ソーダ石灰ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{R}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系)		
	コーティング	ゾルーゲル法 CVD法		
	強化 化学強化			
	スチアリン酸 SO_2 処理	ソーダ石灰ガラス ($\text{SiO}_2 - \text{R}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系)	90-105	680-740

表 3.5.4-1 ガラス(2) (つづき)

その他 (用途別技術動向)	要求性能	参 考 文 献
<p>PbO 27-29%</p> <p>PbO 3-10%</p> <p>PbO 18-24%</p> <p>遷移金属イオン、コロイド着色¹⁰⁾ MgF₂, TiO₂, SiO₂, ZrO₂ 等の多層膜²¹⁾</p> <p>Cu⁺、Ag⁺ → イオン交換¹⁾</p> <p>赤外反射膜 (TiO₂, SiO₂ 多層膜)²²⁾ ²³⁾</p> <p>導電性 (SnO₂, In₂O₃)¹⁾</p> <p>熔融塩によるイオン交換²⁴⁾</p>	<p>可視部透過率大</p> <p>紫外線反射率大</p> <p>アルカリ溶出少 (黒化防止)</p> <p>ソーラリゼーション少 (黒化防止)</p> <p>耐摩耗強度²⁵⁾</p> <p>表面圧縮強度²⁶⁾</p>	<p>16. 特開昭 57-135743</p> <p>17. Mulder, B.J., et al : Electrochem. Soc. 130-2 (1983) 440</p> <p>18. Fuller, M.J. : Light. Res. Tech. 16-3(1984)113</p> <p>19. 泉谷 : 新しいガラスとその物性、経営システム研究所、(1984)</p> <p>20. P & P 14(1986) 4</p> <p>21. Kostlin, H., : Philips Tech. Rev. 41-7(1984)225</p> <p>22. 本田ほか : 東芝レビュー, 39-3(1984) 192</p> <p>23. Yuge, Y., : 5th Inter. Symp. Sci. & Tech. Light Sources(1989)</p> <p>24. Ackerman : J. Non-Cryst. Solid, 45-2(1981)</p> <p>25. Levene, L. : Glass Ind. 67-12(1986) 20</p> <p>26. Passel, P. : Phys. Chem. Glasses, 26-2 (1985) 46</p>

3.5.4. セラミックス

(1) 透光性アルミナ

透光性アルミナは、高圧ナトリウムランプ用発光管としてのニーズから開発され、耐熱性、透光性、耐ナトリウム性など優れた特性があり、高圧ナトリウムランプの効率、寿命を中心に改良されてきた。多結晶アルミナの光透過率に影響するのは、不純物による光の吸収、粒界、気孔、表面による光の反射、散乱がある。

透光性多結晶アルミナの光透過率を向上させるため、高純度化、高密度化および表面処理が進められた。原料として、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ が使用され、緻密化の阻害や光学的に異なる相を形成する不純物の除去、さらに、d殻が不完全なイオンを形成するFe, Co, Ni, Cu, V, Crなどの遷移元素、あるいは、f殻が不完全なイオンを形成するNd, Er, Hoなどの希土類元素の不純物は極力除去しなければならない。したがって、アルミナ原料の純度は99.9%以上、不純物の総量は約200ppmに抑えてある。気孔のない高密度焼結体を得るには、異状粒成長を抑えることが大切で、MgOを微量(約0.04wt%)添加する。また、正(直線)透過率は表面状態の平滑度に影響し、電解研磨などにより向上している。現在、透光性多結晶アルミナの拡散(全)透過率は96%以上、正透過率は30%~65%のものが使用されている。

高圧ナトリウムランプでは、拡散透過率が同じ透光性アルミナでも、正透過率が優れていれば、発光管内でのナトリウム蒸気による光の吸収の影響が少なくなりランプ効率が向上する。さらに、単結晶アルミナ(サファイア)は、拡散透過率96%以上、正透過率80%以上で、ランプ効率の向上には有利であるが価格が課題である。

高圧ナトリウムランプの寿命は、多結晶アルミナより封着ソルダの影響が大きい。耐熱性、ぬれ性、耐ナトリウム性があり、しかもアルミナの熱膨脹係数に近いものが選ばれ、 Al_2O_3 40~50%、CaO 40~50%、残り5~15%がMgO, BaO, SiO_2 、 Y_2O_3 、SrOなどの単独または数種の組合せた組成のものが使用されている。

(2) その他の透光性セラミックス

透光性アルミナ(Al_2O_3)の開発以来、MgO、 Y_2O_3 、ZrO、 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ など多くの透光性セラミックスが開発されてきた。その中でイットリア(Y_2O_3)は、希土類イオンに対する母結晶として優れ、融点が高く(2,410°C)、0.3~8 μm の波長域での透過性がよい。また、 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ThO}_2$ 系は、 ThO_2 が結晶粒界に偏析して、粒界の移動速度を非常に弱め、結晶粒の成長を抑えている。

表 3.5.4 セラミックス

光源	材料名	基本特性			
		膨脹係数 (10^{-7} cm/cm/°C)	熱伝導率 (W/m°C)	光透過率 (%)	融点 (°C)
1. 発光管 (HID) ランプ	多結晶アルミナ ^{1)~14)} (Al_2O_3 99.9%)	72 (20- 500°C) 88 (20-1000°C)	1.9	96(拡散) 30(正) *(内径8mm 肉厚0.75 mm) (15)	2,050
	単結晶アルミナ ¹⁶⁾ (サファイア) (Al_2O_3) イットリア (Y_2O_3) ^{17)、18)} [Y_2O_3 (90mol%) - ThO_2] ¹⁹⁾	79 (25-1000°C)	6.3	80(拡散) >60 (拡散)	2,410 >2,250
セラミック ク封着用	高アルミナガラス ^{21)~32)} [Al_2O_3 -CaO-SrO- Y_2O_3] ³³⁾ [Al_2O_3 -CaO-BaO- MgO] ³⁴⁾ [Al_2O_3 -CaO-BaO-MgO - B_2O_3] ³⁵⁾ サーメット [Al_2O_3 -W 系] (MgO 0.072wt%) ^{36)、37)}	70~90 50			
2. 光源一般 部品	焼結セラミックス [MgO-SiO ₂ 系]	80			

表 3.5.4 セラミックス (つづき)

その他の特性	要求性能	参 考 文 献
<p>粒径35-40 μm 電解研磨 全透過率10%up¹³⁾ 表面あらさ少ない 高密度化 (MgO約0.04wt%) 高圧ナトリウム 効率6-16%up (400W-50W)²⁰⁾ 1,500 $^{\circ}\text{C}$使用可 抵抗値 約$5 \times 10^{-5} (\Omega \cdot \text{m})$</p>	<p>全透過率 96% 以上 1,500 $^{\circ}\text{C}$ 以上で使 用、耐ナ トリウム 1,300 $^{\circ}\text{C}$ 以上で使 用、耐ナ トリウム</p>	<p>1. J. Amer. Ceram. Soc., 56[12] 654-659 2. 特開昭49- 30406(Phi), 3. 特開昭56-116246(NGK)、 4. 特開昭56-162452(NGK), 5. 特公昭54- 32005 (兼テ) 6. 特公昭55- 1746 (Phi), 7. 特開昭54-148008 (NGK) 8. 特公昭54- 8363 (兼テ), 9. 特公昭54- 35205 (WH) 10. 特公昭54- 35206 (WH), 11. 特開昭53-112912 (GE) 12. 特開昭48- 9706 (兼テ) 13. 山本ほか: 照学誌, 69-1(1985)11~14 14. 一ノ瀬: 照学誌, 69-12(1985)637~641. 15. 各社カタログ 16. 大谷 勘: 三菱電機技報, 50(1970)603 17. Brissette, L.A. et al: J. Amer. Ceram. Soc., 49 (1966)165. 18. Rhodes, W.H.,: Polycrystalline Oxides for Optical Applications, (1985). 19. Chem. & Eng. News, Oct. 17(1966)38. 20. Waymouth, J.F. et al : J. Ill. Engng. Soc., JUL (1981)237-244. 21. 特公昭59- 10940 (三菱) 22. 窯業協会誌, 84-11(1976)32~40. 23. 窯業協会誌, 82- 5(1974)16~24. 24. 窯業協会誌, 84- 9(1976)16~22. 25. J. Ill. Engng. Soc., 1(1979)86~89. 26. Ceram. Bulle., 59-8(1980)794~799. 27. 特公昭56- 4405 (GE), 28. 特開昭57-151148 (Y-Y) 29. 特開昭57-12605*(Y-Y), 30. 特開昭59-219849 (三菱) 31. 特開昭59-219850 (三菱), 32. 特開昭61- 40876 (崎) 33. 下垣 勘: 照学誌, 69-2(1985)59~64. 34. 大谷 勘: 照学誌, 64-10(1980)577 35. 特公昭49- 35794(Phi) 「106-114. 36. Brown, K.E. et al: J. Ill. Engng. Soc., JUN(1982) } 37. 特開昭52- 71695 (Y-Y) 38. 戸田ほか: 光学セラミックスと光ファイバ-, 技報堂出版 38-41</p>

3.5.5. 薄膜材料

ハロゲン電球の効率アップに寄与した赤外線反射膜およびダイクロイックミラーに利用されている光学薄膜は、そのニーズに対応した材料および膜の製造方法の向上により近年著しく進歩した。

(1) 赤外線反射膜

白熱電球の69%が赤外線であり、これを有効に再利用しようという考えは古くからあった。 $TiO_2-Ag-TiO_2$ の金属誘電体複合膜が実験的に作られ、最適設計により60%の省電力が可能であると報告されている。 TiO_2-SiO_2 又は $Ta_2O_5-SiO_2$ の誘電体多層膜を石英ガラス外面に形成したものが実用化され、15%の省電力が得られている。金属アルコキッド溶液を利用したディップ法により、低コストで生産できることがポイントになっている。

低圧ナトリウムランプでは589nmのNa-D線付近の透過率がよく、3 μ m以上の赤外線を有効に反射させることが必要である。このため、 SnO_2 または In_2O_3 の半導体膜が利用されていたが、さらに赤外線反射特性の優れているFドープ SnO_2 、またはSnドープ In_2O_3 の使用により効率が130Wで200 ℓ m/Wに達している。

(2) ダイクロイックミラー

一般に多層蒸着膜の $ZnS-MgF_2$ 、 TiO_2-MgF_2 または TiO_2-SiO_2 が使用されている。真空蒸着技術および膜厚制御技術の向上により品質のよい製品が低コストで製造されるようになっている。

一方レーザーミラー等の場合は必然的にハイコストになるがハイレベルのものが必要とされる。

蒸着基板がガラス製のものから金属又はプラスチック製のものまで用途が拡大している。

(3) バルブ強化剤

メタルハライドランプの外球破損時、飛散防止のため、外球表面にふっ素樹脂を40~80 μ mコーティングしている。外球が破損しやすい漁業用や一般照明用の低ワツトの一部に実用化されている。

蛍光ランプの外面に溶剤可溶性ふっ素樹脂を20~30 μ mの膜厚で塗布し、紫外線を吸収させる役目と飛散防止の役目をもたせる方法もある。

(4) 蛍光ランプの保護膜

紫外線によるガラスの劣化(ソラリゼーション)を防止するため、蛍光ランプのガラス管と蛍光体の間に保護膜を設けることが必要である。

保護膜の物質としては TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Mg_2O_3 、 CeO_2 等がある。これにより光束維持率が改善される。

薄 膜 材 料

光 源		材 料 名	基 本 特 性
<ul style="list-style-type: none"> ・白熱電球 ・ハロゲン電球 ・低圧ナトリウムランプ ・メタルハライドランプ ・蛍光ランプ 	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線反射膜 (2)(3) コールドミラー 光拡散剤 バルブ強化剤 保護膜 赤外線反射膜 バルブ強化剤 始動補助 	<ul style="list-style-type: none"> TiO₂-SiO₂ TiO₂-Ag-TiO₂ Ta₂O₅-SiO₂ ZnS-MgF₂ TiO₂-MgF₂ TiO₂-SiO₂ TiO₂-MgF₂-Ge-MgF₂ Siゴム+SiO₂ (TiO₂)+着色剤 CdS-CdSe MgF₂-CeO₂ ZnS-MgF₂ TiO₂-MgF₂ TiO₂-SiO₂ SiO₂ ZrSiO₂ (10) SiO₂+Al₂O₃ シリコン樹脂 ポリカーボネイト アクリル樹脂 Al₂O₃-TiO₂-P₂O₅ In₂O₃:Sn SnO₂:F ふっ素樹脂 SnO₂ 黒鉛 + Al₂O₃ Ag₂O 	<ul style="list-style-type: none"> 高屈折率にTiO₂,低屈折率にSiO₂ (1) 15%の省電力,ディップ式 (4) TiO₂-SiO₂より可視光透過率劣るが最適設計により60%の省電力 (5) 耐熱性があり1500W相当の特性が900Wで得られ40%の省電力 (6) 赤外線をミラーの背後へ逃す 赤外線反射膜付きランプとの組合せもある 外面コーティング 250℃ 1000H (7) 単層蒸着膜 混合比により赤から黄まで変化 多層蒸着膜 赤から青まで変化 (8) " 色温度5000~6500K (9) " " 粒径 約2~20μm 静電塗装 光束1%向上(11) 250℃ 1000H 200℃以下 " ふっ素入り電球の黒化防止 (12) 25Wで140lm/w 130Wで200lm/w (13)(14) 40~80μm (15) ランプ内にSnO₂の透明導電性皮膜を1000KΩ以下に設定する (16) ランプ内に線状に塗布し抵抗を下げる (16) ランプ外面に3mm幅に印刷する (16)

要 求 性 能	参 考 文 献
<p>可視光透過率 赤外線反射率の向上</p> <p>可視光反射率 赤外線透過率の向上</p> <p>耐熱性の向上</p> <p>Na-D線付近(598nm)の透過率 および赤外線反射率の向上</p> <p>局部放電で被膜が破壊されない こと 被膜の抵抗値が制御できること 被膜の透過率が良いこと</p>	<p>(1) 一般文献として</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Macleod H. A.: Thin-Film Optical Filters American Elsevier Publishing Co. Inc. N. Y. (1969) ・Schoder H.: Physics of Thin Film No5 Academic Press N. Y. (1969) 89 ・藤原他: 光学薄膜 共立出版 (1985) <p>(2) 杉浦他: 照学誌 69-1 (1985) 29</p> <p>(3) 一ノ瀬: エレクトロ・セラミクス 16-75 (1985) 36</p> <p>(4) 本田他: 東芝レビュー 39-3 (1984) 192</p> <p>(5) Brett J. et al: J.Illum.Engng.Soc. 6-7 (1980) 197</p> <p>(6) Hoegler L. E. et al: J. Illum. Engng. Soc. Oct. (1984) 165</p> <p>(7) 大前: 照学誌 52-11 (1968) 622</p> <p>(8) 大前他: 東芝レビュー 23-7 (1968)</p> <p>(9) 特公昭 45-20755</p> <p>(10) 平野: 照学誌 63-5 (1979) 17</p> <p>(11) 本田他: 東芝レビュー 37-2 (1982) 106</p> <p>(12) Fitzpatrick J. R. et al: J. Illum. Engng. Soc. Jan. (1981) 107</p> <p>(13) Kostlin H.: J. Illum. Engng. Soc. Oct. (1984) 151</p> <p>(14) Sprengers L. et al: J. Illm. Engng. Soc. Apr. (1985) 607</p> <p>(15) 岩沢他: 昭61照学東京支部 10</p> <p>(16) 照明学会: 光源の評価・性能・材料 光源調査専門委員会報告 (1972) 75</p>

光源論文		材料名	基本特性
・蛍光ランプ	反射膜	TiO ₂ アルカリ土類金属 族ハロリン酸塩 TiO ₂ + ZnO	
	表面浣水剤	シリコン樹脂	ガラス表面に500MΩ以上好ましくは1000MΩ以上となるよう薄膜を形成する (17)
	飛散防止膜	ポリエステル樹脂	
	紫外線吸収膜	溶剤可溶型ふっ 素樹脂	蛍光ランプの外面に20~30μmの膜厚で塗布 飛散防止の役目もある (18)
	保護膜	TiO ₂ SiO ₂ Al ₂ O ₃ CeO ₂	光束劣化機構に関して,透過率低下は水銀拡 散とソーラリゼーションによるガラス内反 応と表面における水銀の反応である (19) 水銀に対する高い隔絶作用 (20)(21)

要 求 性 能	参 考 文 献
	<p>(17)特許 188488 号</p> <p>(18)田屋他：照学誌 69-10 (1985) 533</p> <p>(19)Fuller M. J.： Light. Res. Technol. 16-3 (1984) 133</p> <p>(20)明星：昭63照学全大 14</p> <p>(21)Loster J.N. et al： J. Illum. Engng. Soc. (1986) 31</p>

3. 5.6 電極材料

蛍光ランプの電極には、長年にわたってBa, Sr, Caの酸化物に1～10wt%のZrO₂を混合した電子放射材料が使用されており、実用上完成している。最近情報機器の高性能化、小型化にともない、管径の細い冷陰極蛍光ランプが使用されているが、材料としてはNiを用い、ホローカソード構造とすることが多い。

水銀ランプでは、各種材料が使用されており、主なものとしてBaO-CaO-ThO₂, Ba₂CaWO₆, Ba_{1-x}Sr_xO₂CaWO₆-Y₂O₃-BeO, Ba₃Y₂WO₆などがあげられ、耐熱性の向上、吸湿性の少ないものを目指している。なお、低ワットの水銀ランプ用にWとBa₂CaWO₆, ThO₂を混合した焼結型電極を用い、低ノイズ、始動・劣化特性の改善がはかられている。

高圧ナトリウムランプには、一般に水銀ランプに用いられている電子放射材料が使用される。しかし、高圧ナトリウムランプの発光管内には、Na金属を封入しているため、水銀ランプに比較して、より水分の混入を避けなければならない。そこで上記Ba₂CaWO₆や、Ba_{1-x}Sr_xO₂CaWO₆などが使用され、また、Ba₂Ca(Nb, Ta)O₆が報告されている。

メタルハライドランプにおいては、上記アルカリ土類金属の酸化物やタングステン酸塩の電子放射材料は、発光管内に封入されている金属ハロゲン化物と反応するため使用できない。そこでWのみで電極を構成したり、ThO₂を1～2%含有したトリエーテッドタングステンを使用したり、また、Th金属を少量用いたりする。一方、希土類金属ハロゲン化物を封入したランプでは、電子放射材料として希土類金属酸化物が使用されている。たとえば、Dy-Tlのよう化物を封入したランプではDy₂O₃を用い、Na-Scのよう化物を封入したランプではSc₂O₃を用いる。封入ハロゲン化物と同一の希土類金属酸化物を用いることにより封入ハロゲン化物との化学反応を制御できる。

その他、Hg-Xe ショートアークランプで、ポーラスタングステンにBaO-CaO-ThO₂を浸した含浸型カソードが使われ、また、スパッタ粒子が付着したガラス面を水銀が濡らすと、ガラス面と水銀との境界線が陰極点となり、冷陰極パルスアーク放電を実現できるなど、注目される。

蛍光ランプは直管・環形ランプを経て、電球形蛍光灯、コンパクト蛍光灯が注目されている。コンパクトで明るい光源とこれを生かした照明器具とにより、快適な照明環境が実現できるからである。しかし、ランプのガラス管径が16mm程度に細くなり、従って電極の全長が短くなるので寿命などの特性に課題がある。従来から使われているBa、Sr、Caの酸化物とZrO₂の混合物に代わり、高電流密度に耐える材料の開発が期待される。また(Ba・Sr・Ca)₀の出発原料は(Ba・Sr・Ca)CO₃であり、これを真空中で過熱して酸化物に分解する。この分解プロセスさらには遊離Baを生成するための活性化プロセスが不要となれば、製造設備・プロセスの簡略化、特性の安定などの点ではかり知れない利点が出てくる

メタルハライドランプは、効率、演色性ともに優れたランプであるので、高ワットランプから低ワットランプまで多岐にわたっているが、光色および寿命のバラツキを抑えることが最大の課題となっている。この課題の解決には電子放射材料に負うところが大きい。封入金属ハロゲン化物との反応、さらに発光管材料である石英ガラスとの反応が介在する極めて複雑な反応が発光管内で起きている。材料の開発とともに化学反応が解明され、特性の安定したメタルハライドランプがやがては実現するであろう。

電子放射材料

光源	材料名	基本特性
1. 蛍光ランプ 一般蛍光ランプ	$(\text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Ca})\text{O} - \text{ZrO}_2$	約1100℃の動作温度で、BaO からBa原子が生成され、電子放射が容易となる ⁽¹⁾
冷陰極形蛍光ランプ	Ni	イオン、電子の衝撃によって発生する二次電子で放電を維持、ホローカソード形が多い ^{(2) (3)}
2. 水銀ランプ、高圧トリウムランプ	$\text{BaO} - \text{SrO} - \text{CaO} - \text{ThO}_2$	BaO などのアルカリ土類金属酸化物に比較してタングステン酸塩は耐熱性向上し、また水分吸収が少ない。 ⁽⁴⁾
	$\text{Ba}_3 \text{WO}_6$	
	$\text{Ba}_2 \text{CaWO}_6$	
	$\text{Ba}_{1.8} \text{Sr}_{0.2} \text{CaWO}_6 - \text{Y}_2\text{O}_3 - \text{BeO}$		タングステン酸塩の耐熱性向上と基体への接着性改善のため$\text{Y}_2\text{O}_3$とBeO を同時添加^{(5)}
	$\text{Ba}_3 \text{Y}_2 \text{WO}_6$	水分吸収少ない、 ⁽⁶⁾ $\text{Ba}_3 \text{Ca} (\text{Nb}, \text{Ta}) \text{O}_9$ も安定 ⁽⁷⁾
	焼結型電極	W と $\text{Ba}_2 \text{CaWO}_6, \text{ThO}_2$ を結合して焼結、水銀ランプ低ワット用、低ノイズ、始動・劣化特性良好。 ⁽⁸⁾ Wと炭酸バリウム、炭酸カルシウム、酸化イットリウムを混合し、焼結、低ワット用、光束維持率良好 ⁽⁹⁾

電子放射材料

	技 術 課 題	参 考 文 献
	黒化、始動特性 改善 高電流密度化 分解・活性ロスリ- 放電開始・維持電圧 の低減 黒化の少ないこと ランプ電圧上昇少 ない ガラスセラミックス と反応しない	(1) 渡部：照明学会誌、64-3(1980)124 (2) 恒川ほか：昭和59 照学全大17 (3) 日野谷ほか：昭61電気関係学会 関西支部連合大会G358 (4) Smyser, W. E. et al; U. S. Patent NO. 3,708,710 (5) 渡部ほか：照明学会62-4(1978)721 (6) Bhalla, R. S. : J. Illum. Eng. Soc. 8-3(1979)174 (7) Bhalla, R. S. : IES Tech. Conf. Preprint NO. 52 (1980) (8) Mihashi, Y et al: Nippon Tangsten Review 9 (1976) 4 (9) 清水他：東芝レビュー 34-9(1979)797

電子放射材料

光源	材料名	基本特性
3. マルハライドランプ	<p>W</p> <p>Th</p> <p>トリエ-テッドタングステン</p> <p>ThO₂</p> <p>Dy₂O₃</p> <p>Sc₂O₃</p>	<p>封入ハロゲン化物との反応のため、BaO を含んだオキサイドや (Ba_{0.8} Ce_{0.2})B₆ は使用できない⁽¹⁰⁾</p> <p>Dy-Tl 系よう化物封入ランプでは、Dy₂O₃ が ThO₂に比較して光束維持率良好⁽¹¹⁾</p> <p>Sc-Na 系よう化物封入ランプでは、Sc₂O₃ が良好⁽¹²⁾⁽¹³⁾</p> <p>電極心線タングステン中のThO₂とScI₃とが反応⁽¹⁴⁾</p> <p>Sc-Na 系よう化物封入ランプでは、Sc₂O₃ +Sc エミッター⁽¹³⁾</p>
4. その他の放電ランプ	<p>含浸型電極</p> <p>水銀陰極</p>	<p>Hg-Xe ショートアークランプで、ポーラスタングステンにBaO-CaO-Al₂O₃ を含浸した電極を採用、発光点が安定⁽¹⁶⁾</p> <p>スパッタ粒子が付着したガラス面を水銀が濡らすと、ガラス面と水銀との境界線が陰極点となり、冷陰極パルスアーク放電を実現⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾</p>

電子放射材料

	技術課題	参考文献
	光束維持率改善 始動特性改善 封入ハロゲン化合物と 反応しない	(10) 松野ほか：昭和51 照学全大19 (11) Tsuchihashi, M etal: Proc. the Symposium on High Temperature Chemistry, ECS (1978) (12) 渡部ほか：昭和54 照学全大15 (13) Watanabe, K etal: J. Illum. Eng. Soc. 13- 1(1983) 94 (14) 石神ほか：昭和57 照学全大18 (15) 近藤ほか：昭和56 照学全大28 (16) 高岡ほか：照学光の発生・関連システム 研究会 LS-86-3 (17) 青野ほか：照明学会誌 67-2(1983)62 (18) 青野ほか：照明学会誌 67-2(1983)68

(1) タングステン

光源の進歩とともに、光源用金属材料の品質の改善、向上が積み重ねられてきている。白熱電球やハロゲンランプに用いられるタングステンフィラメントでは、ノンサグ性（耐垂下性）の改善のための $Al_2O_3-K_2O-SiO_2$ 系ドーブが一般的になり、ドーブ剤の線中の存在形態やノンザグ組織形成のメカニズムが明白になった。すなわち、ドーブ剤を添加したタングステン線では、軸方向に長く伸びかつくさび形に入り組んだ粒界をもつ二次再結晶粒を形成し、粒界には100 ~ 1000Å程度の微小なドーブ孔が緊密に整列している。この整列ドーブ孔形成に寄与するのは、特にKであり、Kが多いほど整列ドーブ孔密度が増加し、長大な再結晶粒、すなわちノンサグ組織を形成しやすい傾向にある。振動の多い環境で使われる場合には、ノンサグ性ととも耐振性が要求される。ノンサグ組織の再結晶粒の長さ、巾や数のコントロールを製造条件により行ない、粒界でのすべり破断を抑えている。また、タングステンに0.3 ~ 5%のReを添加し、さらに熱処理条件をコントロールして二次再結晶粒の長さ、巾を制御したフィラメントは耐振性がよいことが報告されている。またタングステンに1 ~ 2重量%の酸化トリウムを4 μ未満の粒子として均一に分散させ、延性を改善した報告がある。

ランプの高効率化、小型化、長寿命化の流れは今後も一層急ピッチで進行するであろうが、一方情報化社会の進展とともに各種情報機器が普及し、そのなかで光源が従来の一般照明用とは異なる要求に対応させられることが次第に増えている。例えば輝度、輝度分析光色、寿命などの個々のバラツキがよりきびしく制限される。ハロゲンランプは、複写機光学機器、映像機器に使われ、当然のことながら、タングステンの品質改善が一層求められている。タングステンフィラメントにおけるドーブ剤の効果が明らかにされたことは、技術の発展の上で大きな成果であろう。また、フィラメントコイル形状、フィラメントやバルブ温度などランプ自体の設計によって材料の特性に影響されることが多く、材料とランプの一層の協調が重要となる。（p. 196の表参照）

(2) その他

モリブデンは主にアンカー、マンドレルに使われ、種々改善が行なわれている。20～50ppm のKを含有させて線軸方向に再結晶粒を形成させ、折曲性を改善したマンドレル用モリブデン、200℃の焼きなましにおいて緩やかな温度勾配を与えることによって、二次再結晶を一方向に制御し、軸に沿った長い組織が得られることなどの報告がある。また0.01～0.2重量%のKおよびSiを含有し、さらにAl, Re, Zr, Ti, Nb, Ta, Ni, Co, Caの中の1種または2種以上を微量添加し、引張強さを向上させた報告がある。光源用金属材料としては、封着材料としてMo, W, Nb, Fe-Ni, デュメット線、また口金材料としてはAl, Cu-Zn合金などがあり、それぞれのランプの要求特性に見合った材料が使用されている。

(p. 198の表参照)

3. 5.8 その他の化学材料

その他化学材料として重要なものに、ゲッタ、保温剤、口金接着剤などがある。これらの材料では、とくに際立った技術の変化があるわけではないが、光源の種類や形に応じて使用方法の最適化が行なわれてきた。とくにゲッタの光源の寿命特性への影響は大きく、メタルハライドランプでは、Zr-Al系合金ゲッタによる外管内の水素吸収、また蛍光ランプへの水銀合金の応用などが行なわれた。(p. 200の表参照)

金属材料

曲の予(2)

用途	材料名	基本特性
1. タングステン フィラメント	W	<p>融点、蒸気圧、電気抵抗、ガス含有量、引張強さ</p> <p>脆性—延性遷移温度、再結晶温度⁽¹⁾</p> <p>ドーパ剤Kの分散状態が良好なW⁽²⁾</p> <p>ドーパ剤残存量の一定化⁽³⁾</p> <p>繊維組織が形成される過程⁽⁴⁾</p> <p>K量の調整⁽⁵⁾</p> <p>WO₃の還元⁽⁶⁾</p> <p>高温クリープ⁽⁷⁾</p> <p>ノリグ性、耐振性、再結晶粒の長さとの巾⁽⁸⁾</p> <p>コイル加工性⁽⁹⁾</p> <p>K含有量の高いW線、ノンサグ性、高い再結晶温度⁽¹⁰⁾</p> <p>低い再結晶温度かつノンサグ性、型付け容易⁽¹¹⁾</p> <p>耐振性0.3~5% Re, L/W1.2以上、Lが2μm以上⁽¹²⁾</p> <p>Al₂O₃-K₂O-SiO₂系ドーパ剤⁽¹³⁾</p> <p>ThO₂をドーパ、1~2wt%、粒径4μ未満再結晶温度を高く⁽¹⁴⁾</p> <p>ハロゲン雰囲気での耐食性、W2μ以下、Y₂O₃添加⁽¹⁵⁾</p> <p>ドーパ剤によるノリグ性、耐振性向上⁽¹⁶⁾</p>

	技術課題	参考文献
		<p>(1) 光源調査専門委員会報告書 光源の評価・性能・材料・照明 学会(1972)</p> <p>(2) 辻川ほか; 特公昭61-60122</p> <p>(3) 小関ほか; 特公昭61-38246</p> <p>(4) Stuwe, H,P; MeTAll. Trans. A 17-8(1986) 1455</p> <p>(5) 山本; 特公昭60-7683, 昭60-57 481</p> <p>(6) Tanaka,K;Nippon Tangsten Rev. 17 (1984) 32</p> <p>(7) Schade,P;High Temp.High Press. 15-5(1983)587</p> <p>(8) 小倉; 特開昭59-114749</p> <p>(9) 清水ほか; 特開昭 59-121768</p> <p>(10) 大野; 特開昭 58-141308</p> <p>(11) 田中ほか; 特公昭 58-11501</p> <p>(12) 清水ほか; 特開昭 58-40768</p> <p>(13) 山崎; 粉体および粉末冶金 29-8(19 82)263</p> <p>(14) トマス・イクスマン・ダンハム; 特公昭 55- 9941</p> <p>(15) 小倉ほか; 特公昭 55-1962</p> <p>(16) 辻川; 照学誌 64-3(1980)115</p>

金属材料

用途	材 料 名	基 本 特 性
2. アンカー, マンドレル	モリブデン	<p>融点、蒸気圧、電気抵抗、ガス含有量、引張強さ⁽¹⁾</p> <p>20~50PPm Kを含有、線軸方向に再結晶粒が成長、折曲性良好、マンドレル用⁽¹⁷⁾</p> <p>2000℃の焼きなまし、緩やかな温度こう配</p> <p>二次再結晶を一方向に制御⁽¹⁸⁾</p> <p>K, Siに加えてAl, W, Re, Zr, Ti, Nb, Ta, Ni, Co, Caを微量、引張強さ向上⁽¹⁹⁾</p> <p>Mo に Ni, Co, Fe, Snを微量、マンドレル用⁽²⁰⁾</p>
3. 封着材料 ⁽¹⁾	Mo W Nb Fe-42Ni デュメット	
4. 口金 ⁽¹⁾	Al Cu-Zn合金 Cu-Zn合金に Niメッキ	

金属材料

型 種	技術課題 基	参 考 文 献 用
		<p>(17) 林ほか；特開昭 62-52849</p> <p>(18) Ohba, Y; Acta Metall 34 - 7 (1986) 1329</p> <p>(19) 浜田ほか；特開昭 60 - 33335</p> <p>(20) 志賀ほか；特公昭 58 - 57865</p>

その他の化学材料

用途	材料名	基本特性
<p>1. ゲッタ⁽¹⁾</p> <p>(1) 白熱電球</p> <p>(2) 水銀ランプ メタルハライドランプ</p> <p>(3) 低圧ナトリウムランプ, 高圧ナトリウムランプ</p> <p>(4) 蛍光ランプ</p> <p>2. 保温剤⁽¹⁾</p> <p>3. 口金接着剤⁽¹⁾</p>	<p>赤リン</p> <p>バリウム</p> <p>ジルコニウム</p> <p>Zr-16Al 合金</p> <p>BaO₂</p> <p>BaAl₄ 合金</p> <p>Zr-16Al 合金</p> <p>Zr-16Al 合金</p> <p>Ti-Hg 合金</p> <p>ZrO₂</p> <p>カーボン</p>	<p>400 ± 50 °C H₂ 吸収大⁽²⁾</p> <p>BaがAlで保護されているので、空気中で安定⁽²⁾</p> <p>500 °C以上で水銀を放出⁽²⁾</p> <p>蛍光ランプへの応用⁽³⁾</p> <p>メタルハライドランプで採用⁽⁴⁾</p>

その他の化学材料

	技術課題	参考文献
		<p>(1) 光源調査専門委員会報告書 光源の評価・性能・材料 照明学会(1972)</p> <p>(2) Rabusin, E : Getters for Lamps, Saes Getters(1982)</p> <p>(3) 広田 : 照学誌 68-2(1984)77</p> <p>(4) 奥村ほか : National Tech Rept. 23-4(1977)571</p>

4. 次世代光源システムの展望

4. 1. 照明用光源の展望

4.1.1 期待される光源（理想光源）

(1) はじめに

現在実用化されている光源は白熱電球、蛍光ランプ、H I Dランプなど様々なものがある。これらはそれぞれに他に優れた特徴があるいっぽうで欠点も持ち合わせ、その特質を活かして使い分けがされている。次世代光源システムの展望を考える上で、これら現状の光源の制約を離れて期待されるべき理想の光源像を思い浮かべることが無駄ではない。

ここでは一般の照明用途として理想の光源のスペックについて考えてみる。

(2) 形状

光学制御の面から考えると一つの理想は点光源にある。しかし一部の用途で線光源と面光源も求められる。とくにこれらの形状が要求される用途は次のようなものである。

点光源 → スポットライト、ダウンライトほか

線光源 → ショーケース、流し下灯、建築化照明

面光源 → シーリングライトなど

(3) 全光束

用途により多様な光量が要求される。現在照明用光源としてカタログなどで現れているものは小丸電球の 10 lm から 2 kWメタルハイドランプの 20万 lm と幅が広い。

(4) 大きさ

光源自体では発光部分の大きさとそれを保持する外管、口金などを含んだ全体の大きさの2つがある。照明装置全体としてはこれに点灯装置、さらに反射鏡など光学系を含む器具とが加わる。光学系を小形化する観点からは発光部分が小さいことと、外管も小さいほうが良い。この点でハロゲン電球は都合がよく、H I Dランプでは発光部は小さいものの外管の大きいことが不利である。最近ではH I Dランプで外管にも石英を使い小形化したものがある。

発光部分の大きさは小さいほど良いが、点光源の目標としてはφ 1～5mm程度。スポットライトなどで照射面のエッジを強調する場合に特に小さいものがよい。

ボール形電球のように光源を直接見せて使うようなものではむしろ輝度を下げるために大きいことが好ましいものもあるが、ビーム電球と同様に器具の機能を一体化したものと考えると光源の本質的な要件ではない。

表面輝度が高いほど目標配光の器具を小さく作ることができる。

形状を球体とすれば発光部分の大きさと全光束 F [lm] とから表面輝度 L [cd/m^2] が計算できる。球の直径を D [m] とすれば

$$L = F / (\pi D)^2$$

蛍光ランプなど発光部分が線状のものでは同じ評価項目を単位長さあたりの光束で代用することもできる。

(5) 色温度

用途により 2700 K～7500 K 程度が用いられる。

白熱電球の色温度はおよそこの下限であるが、最近の好みからはやや低いと感じられ、蛍光ランプの電球色も 3000 K 前後のものが多い。

(6) 演色性

黒体軌跡ないしは昼光軌跡からの距離は $u v$ 座標系で 0.005 以内が望ましい。

演色性は現状の3波長域発光形のRaが80以上あり、一般用としてもこの程度が望まれるところである。ただし3波長域発光形蛍光ランプは特殊演色性評価数のうちの特にR9(赤)が低い¹⁾。理想としては特殊演色性も含めて広い範囲での演色性を問題にしたい。

(7) スペクトル分布

可視光の範囲を380～780nmとし、それ以外の紫外放射、赤外放射はできるだけ抑制されること。照射されるものの退色を特に問題にする場合があり、このときは紫外放射をさらに抑制したものが望まれる。

可視光範囲内の分光分布は前項演色性の項目を満たしておれば問わない。

ただし色評価用など一部のものでは可視光の範囲内について黒体輻射の分光分布に近似していること。

(8) 効率

点灯装置を含んだ総合効率で評価することが望ましい。

理論的限界は555nmの単一波長で683lm/Wであるが、白色光源では220～280lm/Wといわれている²⁾。現状の蛍光ランプあるいはメタルハイドランプでは100lm/Wに達しており、当面の目標となる。

(9) 寿命

長いものに越したことはないが、照明器具の他の部分と同等以上であればよいので4万～7万時間あれば交換不要となる。

年に1度の交換という条件では3000～6000時間が望まれる。

(10) 光束維持率

寿命末期で初期光束の90%を維持するのが望ましい。既存の光源ではハロゲン電球がこの程度となっている。

(11) 周囲温度特性

周囲温度-10～+40℃でピーク光束の90%以上を維持するのが望ましい。

(12) 始動時間

初始動、再始動ともに0.5秒以内であれば瞬時点灯と言える。

白熱電球はこれを十分に満足しているが、蛍光ランプでは電子式であってもやや遅く感じられる場合がある。

(13) 調光性

調光の目的により大きく3種類が考えられる。

1つは緩やかに消灯あるいは点灯する場合で、この時は0～100%まで連続的にかつスムーズに調光できなければならない。既存の光源では白熱電球だけが可能で、蛍光ランプでは1%未満でややスムーズさに欠ける。

第2のものは場の雰囲気演出するため照度を変えたい場合で、10%～100%程度の連続調光が望ましい。段調光でも良いようだが、適切な照度レベルを目で確認しながら探るために連続調光が望ましい。

第3は主に省電力の意味の調光で、50%程度と100%との段調光があればよい。

住宅用蛍光ランプ器具で1灯2灯の切り替えの付いてるものはこの部類に属する。

またこのときの光色は変化が無いことが理想だが実用的には黒体軌跡に沿った変化は比較的許容され、黒体軌跡からの距離が小さいことが目標となる。

白熱電球はこの点ではまず許容されているが、テレビスタジオなどでは色温度変化が問題とされるために広範囲の調光はできない。カラー写真用にはストロボ（キセノンフラッシュランプ）は色温度変化がなく調光できるためにこの分野に適合している。

調光時も効率に変化がないことが望ましいが、先にあげた省電力目的の場合に特に関心が持たれるものである。

(14) 点灯姿勢

点灯の姿勢による光束変化が $\pm 10\%$ 以内であること。また光色変化あるいは黒体軌跡からの距離が大きく離れないこと。

その他点灯の姿勢による不都合のないこと。

(15) 価格

性能とのバランスではあるが、点灯回路を含めた価格は小さいほうが良い。

以上の期待される光源（理想光源）から見た既存光源を当委員会委員による評価をしたものが表4.1.1である。

引用文献

- 1) JIS Z 9112 蛍光ランプの光源色及び演色性による区分
- 2) 石川ほか：照学誌60-11(1976)586

表4.1.1 既存光源の評価

○：優れる △：やや劣る ×：劣る

光源	一般白熱電球	ハロゲン電球	一般蛍光灯ランプ	電球形	コンパクト形	蛍光水銀ランプ	メタルハライド	高圧ナトリウム	低圧ナトリウム	キセノンランプ
発光部形状	○	○	×	△ ⁺	△	○	○	○	×	○
大光量	○	○	△ ⁺	×	△	○	○	○	○	○
小光量	○	○	○	○	○	△	×	×	×	×
発光部大きさ	○	○	×	△	△	△	○	△ ⁺	×	○
全体の大きさ	△	○	×	△	△	△ ⁺	△ ⁺	△ ⁺	×	△
色温度	△	○ ⁻	○	○	○	○ ⁻	○	×	×	○
演色性	○	○	○	○	○	△ ⁻	○ ⁻	×	×	○
不要紫外放射	○ ⁻	△	△	× ⁺	× ⁺	×	×	△	○	×
不要赤外放射	×	×	△ ⁺	△ ⁺	△ ⁺	△	△	△	○	△
効率	×	×	○	△	○	△	○	○	○	×
寿命	×	×	○ ⁻	△ ⁺	△ ⁺	○	△ ⁺	○	○ ⁻	×
温度特性	○	○	×	×	×	○	○	○	△	○
始動時間	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○
調光性	○	○	○ ⁻	△	△	△ ⁻	×	×	×	△ ⁻
点灯姿勢	○	○	○	○ ⁻	○	○ ⁻	×	△	×	○ ⁻

4.1.2. 白熱電球

(1) 特徴と評価

白熱電球は演色性がよく、暖かい光色、点光源に近く集光が容易、連続調光が可能、瞬時点灯、ちらつきが少ないなど、一般照明用光源として優れた長所をもっているが、他の光源に比べて、効率が低い、寿命が比較的短い、熱線放射が多いことなどの短所がある。したがって、あらゆる分野の照明用に適した汎用性のある光源であるが、長時間連続して使用され、演色性が要求されない事務所や屋外の照明では、経済性の面からあまり使用されない。また、店舗などは照明の高級化によりシャープな集光性、高色温度（白っぽさ）および熱線低減の要求が強いためハロゲン電球に譲った感がある。

しかしながら、安価であり、汎用性のある光源であるので、あらゆる分野に適する貴重一般照明用光源として使用されるので、効率と寿命の改善が強く要望されている。

(2) 2001年までに実現可能な性能

実用化されている一般照明用電球の主な性能を表4.1.2-1 に示す。60W 形57W 薄膜白色塗装電球の効率は14.2lm/W、寿命1,000 時間である。専門家によるアンケートの結果によると、一般照明用電球における改良が要望される性能・機能は、寿命、効率および放射熱低減が主で、次いで形状の小形化、色温度（高く）、光束維持率の向上があげられる（図4.1.2-1）。

最近の技術動向を考慮して、専門家による2001年の白熱電球の性能を予測したのが、表4.1.2-2 である。これによると、効率は13%、寿命は25% 向上することが期待される。

(3) 技術課題と展望

これらの予測された性能が達成されるためには、多くの技術課題がある。21世紀に向けて、飛躍的な性能向上は難しいかもしれないが、構成する材料、部品の改良によって、若干の向上が期待できよう。主な技術課題として、効率向上（または省電力化）・長寿命化、小形化、光の有効利用などがあり、フィラメント材料、封入ガス、赤外反射膜、ダイクロイックミラーなどの改良が期待される。

(a) フィラメント

フィラメント材料として、タングステン線はすぐれた性能をもっており、有効なドーパ剤（ $Al_2O_3 - K_2O - SiO_2$ 系）によるノンサグ性の向上、さらにCoやRe(3%)¹¹⁾ の添加によって、耐振性が向上したものが実用化されている。また、電球の寿命に関し、ホットスポットモデルによる焼断現象について、タングステン線、欠陥、コイルのピッチの変化から起る温度変化によるとの報告がある。

フィラメント材料は融点が高く、しかも分光放射率が可視域で大きく、赤外域で小さい選択放射体が望ましい。高融点材料として、炭化物、硼化物、窒化物などがあるが、低蒸気圧、機械的強度などの条件を満たすものは極めて限定される。炭化タンタル(TaC) が研究された²³⁾ が、効率、分布温度はかなり優れているが、寿命、機械的強度など課題が多い。

(b) 封入ガス

封入ガスとして、クリプトンガスが効率向上（または省電力化）・長寿命化と電球の小形化に寄与している。さらに原子量の高いキセノンガスを使用すれば、効率向上が期待できるが価格が課題である。

(c) 赤外反射膜

赤外反射膜として、光学特性の向上は誘電体—金属膜の金属膜厚を赤外反射率が高く、かつ可視透過率をあまり低下しないように制御することが重要である。また、バルブの赤外反射の利用率を示す形状係数を上げるには、最適形状のバルブの製造方法に困難がある。理論的には60%以上の効率向上⁵⁾が期待できるが、実用的には赤外反射膜の膜層を増すことなどにより、30%以上の向上が可能¹⁷⁾であろう。ダイクロイックミラーの多層膜も同様の技術開発により、赤外線（熱線）遮断率の向上が期待される。

以上のべた技術課題、参考文献などについては表 3.1.1-1にまとめた。

表 4.1.2-1 一般照明用電球の主な性能

種 類	大 き さ (W)	光 束 (lm)	効 率 (lm/W)	色 温 度 (K)	平均演色 評価数Ra	定格寿命 (h)
一般照明用電球 (白色塗装)	60	810	13.5	2850	100	1,000
一般照明用電球 (薄膜白色塗装)	57	810	14.2	2850	100	1,000
ボール電球 (白色塗装)	57	705	12.4	2800	100	2,000
クリプトン電球	60	840	14.0	2850	100	2,000

図 4.1.2-1 白熱電球における改良が要望される性能・機能

(専門家20人によるアンケート結果)

	0	5	10 (数)	15
(a) 寿命	#####	*****	*****	*****
(b) 効率	#####	*****	*****	*****
(c) 放射熱	*****	*****	*****	*****
(d) 形状・大きさ	*****	*		
(e) 色温度	*****	*		
(f) 光束維持	***			
(g) 光の制御	#			
(h) 光束	*			
(i) まぶしさ	*			
(j) バルブ温度	*			
(k) 電源変動の影響	*			
(l) 紫外線	*			

(注) # : 最も重要、* : 重要 (5つ以内)

表 4.1.2-2 一般照明用電球 (60W形57W) の主な性能の予測

性能	光束 (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	寿命 (h)	光束維持率 (%)	放射熱 (対入力%)
現在 (1990年)	810	14.2	2,850	1,000	90	72
2001年の予測	918	16.1	2,870	1,250	91	66
() %	(+13)	(+13)	(+1)	(+25)	(+1)	(-8)
(予測範囲)	810-1140	14.2-20	2850 -2950	1,000 -2,000	90-95	50-75

4.1.3. ハロゲン電球

(1) 特徴と評価

ハロゲン電球の特徴は一般照明用電球に類似しているが、これと比較すると、さらに点光源に近く高輝度でシャープな集光が容易で、色温度が高く(3,000-3,400K)できる。また、効率と寿命はハロゲンサイクルによりすぐれているが価格が高くなる。他の蛍光ランプやHIDランプなどの光源に比べると、効率が低い、寿命が比較的短い、熱線放射が多いことなど短所がある。しかし、赤外反射膜の応用により効率向上、放射熱低減がはかられた。したがって、ハロゲン電球は一般照明用光源のほか、店舗照明などのスポット照明、映写機、光学機器、自動車用前照灯、飛行場、複写機用などに多く使用されるようになった。

(2) 2001年までに実現可能な性能

実用化されている一般照明用ハロゲン電球の主な性能を表 4.1.3-1に示す。85W 片口金形(赤外反射膜付)で効率18.8lm/W、寿命1,500 時間である。これをベースにして、専門家によるアンケートの結果によると、一般照明用ハロゲン電球における改良が要望される性能・機能は、効率、寿命および放射熱低減が主で、ほかにバルブ温度、色温度(高く)、形状の小形化、紫外線の低減があげられる(図 4.1.3-1参照)。

最近の技術動向を考慮して、専門家による2001年の照明用ハロゲン電球の性能を予測したのが、表 4.1.3-2である。これによると、効率は15%、寿命は37% 向上することが期待される。

(3) 技術課題と展望

これらの予測された性能が達成されるためには、多くの技術課題がある。ハロゲン電球は、一般電球よりハロゲンサイクルにより効率(または寿命)が高く、性能向上の可能性が高い。性能向上のための技術課題として、ハロゲン封入物質の探索とハロゲンサイクルに関する熱力学的解析、赤外反射膜やダイクロイックミラーの光学特性の向上、フィラメント材料の改良などがある。

(a) ハロゲン封入物質

封入されるハロゲン物質は、よう素、臭素、塩素およびそれらの炭化水素系の化合物が主に使用されているが、ホウ化物(BBr_3)や金属ハロゲン化物(SnI_4 など)⁹⁾なども採用されるようになった。フッ素化合物($CBrF_3$ など)^{7,8)}は、臭素入り電球より2倍以上の長寿命との報告がある。これらのハロゲン物質と水素、酸素などの不純物を含むタングステン-ハロゲン系において、ハロゲンサイクルによるタングステンの輸送現象について熱力学的解析がなされた。これらの成果により、ハロゲン封入物質の選択、不純物の制御方法などシミュレーションによって検討できるようになった。

(b) 赤外反射膜

ディップ法による TiO_2-SiO_2 膜の形成は膜剥離のおそれがあるが、10層程度のもので実用化されており製造コストが低いのが特長である。一方、真空蒸着法による $Ta_2O_5-SiO_2$ 膜などの形成は29層¹⁰⁾のものまで可能である。

これらの赤外反射膜の層数を増し、赤外反射率と可視透過率をともに高くする膜厚を最

適化することと、バルブ形状の改良により赤外利用の形状係数を向上などによって、50%以上の効率向上が期待される。また、ダイクロイックミラーも同様の技術開発によって、可視反射率と赤外透過率をともに高くする膜厚を最適化することなどによって、赤外線（熱線）遮断率の向上が期待される。なお、ミラー（反射板）はガラスのみでなく、金属製も同じレベルのものが可能となるであろう。

赤外反射膜応用の興味あるものとして、590nm 付近の波長を吸収させて、ネオジウム電球と同じような演色効果をもたせることや、また、効率がやや犠牲になるが赤色光領域の光を少しカットして色温度を高くすることができる^{16, 17)}。

(c) フィラメント材料

ハロゲン電球のフィラメントは一般電球のものより高温で使用されるので、耐高温性、耐振性など厳しい条件が要求される。ホットスポットによる焼断現象の解析、との関係、ノンサグ性を高めるためのドーパ剤とドーパ孔の効果、熱処理工程の条件最適化など多くの研究が行われてきた。また、炭素やTaC のフィラメントとハロゲン化炭化水素を組合せた報告²³⁾があった。

表 4.1.3-1 現用一般照明用ハロゲン電球の主な性能

種類	性能	大きさ (W)	全光束 (lm)	効 率 (lm/W)	色温度 (K)	寿 命 (h)
片口金形（一般照明用）		100	1,600	16	2,850	1,500
片口金形（赤外反射膜付）		85	1,600	18.8	2,850	1,500
両口金形（スタジオ用）		500	11,000	22	3,050	500
両口金形（赤外反射膜付）		500	13,500	27	3,050	500
低電圧形（12V）		50	900	18	3,000	2,000
二重管形（透明形）		100	1,600	16	2,850	1,500
二重管形（白色塗装形）		100	1,450	14.5	2,850	1,500

図 4.1.2-1 ハロゲン電球における改良が要望される性能・機能
(専門家20人によるアンケート結果)

	0	5	10 (数)	15
(a) 効 率	###**	*****	*****	*****
(b) 寿 命	#####	*****	*****	*****
(c) 放 射 熱	###**	*****	*****	*****
(d) バルブ温度	###**	*****	*****	*****
(e) 色 温 度	****	*****	*****	*****
(f) 形状・大き	****	*****	*****	*****
(g) 紫 外 線	**	*****	*****	*****
(h) その他(罫)	**	*****	*****	*****
(i) 光 の 制 御	#	*****	*****	*****
(j) 光 束	*	*****	*****	*****
(k) 光 束 維 持	*	*****	*****	*****
(l) 調 光	*	*****	*****	*****
(m) まぶしさ	*	*****	*****	*****
(n) 電源変動の影響	*	*****	*****	*****

(注) # : 最も重要、* : 重要 (5つ以内)

表 4.1.3-2 照明用ハロゲン電球 (100W形85W)の主な性能の予測

性 能	光 束 (lm)	効 率 (lm/W)	色温度 (K)	寿 命 (h)	光 衰 率 (%)	放射熱 (対入力%)
現在 (1990)	1,600	18.8	3,000	1,500	95	50
2001年の予測	1,840	21.7	3,120	2,050	95	49
() %	(+15)	(+15)	(+4)	(+37)	(0)	(-2)
(予測範囲)	1700 -2380	20-28	3000 -3800	1,500 -3,000	95	40-60

4. 1. 4 蛍光ランプ

(1) 特徴と評価

蛍光ランプの特徴は高効率、高演色な光源であることと、電球に比べて寿命が長く、任意な色や色温度のランプが経済的コストで得られることである。そのため一般照明分野だけでなく、産業用、医療用、農・水産用、特殊照明用分野にも広く用いられている。しかし、光束や始動性が周囲温度の影響を受けること、形状が制約され大きいこと、点灯装置が大きく重いことなどの短所もある。屋内照明用の主流光源であるため、従来からその効率や演色性の改善には並々ならぬ努力が払われ、3波長形蛍光ランプの開発や省電力設計により効率、演色性、光束維持率が大幅に改善されてきた。近年では電子点灯回路との組み合わせで調光も容易になり、点灯装置の軽量化も図られつつある。

電球形蛍光ランプは、電球と比較して寿命が3倍以上、消費電力が3分の1と少ないため電球を多用しているところでは電球形蛍光ランプに置き換えることにより、消費電力を抑え経済的効果を出すことができる。そのためショッピングセンターや大型店舗に広く普及した。しかし、点灯回路を内蔵するために点灯中の温度上昇が高く、使用雰囲気温度や使用条件の制約を受けるため入力が大きく大光束のものは作りにくい。また、一般蛍光ランプに比べれば、効率、光束維持率が劣り、大きさ、重量についても改善されてきたが、電球と比較するとさらに改良が必要である。

コンパクト形蛍光ランプは蛍光ランプの長さを短くできる長所があり、電球形蛍光ランプのように点灯回路を内蔵しないため、温度上昇の制約を受けない。そのため、小入力のものから大入力のものまで商品化され、4本チューブ構造や2本チューブ構造のランプは主としてスタンド、ペンダント、ダウンライト、ウォールライトなどの用途に普及し、2本チューブ構造で入力の大きいものは店舗やショッピングセンター、百貨店などの全体照明用として普及しつつある。光束や始動性が周囲温度の影響を受けること、点灯装置が大きく、重いことなどの短所は一般の蛍光ランプと同じである。

(2) 2001年までに実現可能な性能

(a) 蛍光ランプ

現在、広く用いられている省電力設計の直管40W形37W蛍光ランプの主な性能を表4. 1. 4-1に示す。全光束、効率、平均演色評価数(Ra)はそれぞれ3,560lm、96lm/W、84である。これをベースにした専門家のアンケート結果では、一般照明用蛍光ランプにおいて改良が要望される性能・機能は、周囲温度の影響、形状・大きさ、全光束、効率、光束維持率などである。(図4. 1. 4-1参照)

最近の技術動向を考慮して専門家による2001年の一般照明用蛍光ランプの性能を予測したのが表4. 1. 4-1である。これによると全光束は8%、効率は7%、光束維持率は9%向上することが期待される。

(b) 電球形蛍光ランプ

現在多く用いられている入力電力17Wの電球形蛍光ランプの主な性能を表4. 1. 4-2に示す。全光束、効率、平均演色評価数(Ra)はそれぞれ780lm、46

lm/W、84である。これをベースにした専門家のアンケート結果では、電球形蛍光ランプにおいて改良が要望される性能・機能は、効率、全光束、寿命、光束維持率などである。(図4.1.4-2参照)

最近の技術動向を考慮して、専門家による2001年の電球形蛍光ランプの性能を予測したのが、表4.1.4-2である。これによると効率は20%、全光束は19%、寿命は33%、光束維持率は15%向上することが期待される。

(C) コンパクト形蛍光ランプ

入力電力36Wのコンパクト形蛍光ランプの主な性能を表4.1.4-3に示す。全光束、効率、平均演色評価数(Ra)はそれぞれ2,900lm、81lm/W、84である。これをベースにした専門家のアンケート結果ではコンパクト形蛍光ランプにおいて改良が要望される性能・機能は、効率、光束維持率、寿命、全光束、周囲温度の影響などである。(図4.1.4-3参照)

最近の技術動向を考慮して専門家による2001年のコンパクト形蛍光ランプの性能を予想したのが、表4.1.4-3である。これによると効率は9%、光束維持率は10%、寿命は30%、全光束は9%向上することが期待される。

(3) 技術課題と展望

蛍光ランプ、電球形蛍光ランプ、コンパクト形蛍光ランプに共通する

主な技術課題は、

1. 発光効率の向上
2. 光束維持率の向上
3. 周囲温度による特性への影響の軽減
4. 演色性の向上

などであり、電球形・コンパクト形蛍光ランプでは小形化や寿命もあげられる。

(a) 発光効率、演色性の向上

発光効率については、図3.1.3-1に示すように3波長形蛍光ランプの開発と省電力設計により飛躍的に向上したが、放電中における紫外線放射から可視光放射への蛍光体の変換効率は、図4.1.4-4に示すように39%と低く、半分以上は熱損失となっている。したがって蛍光体の紫外-可視変換効率の向上が重要な課題となるが、3波長形蛍光ランプに用いられている蛍光体の量子効率は0.8を越えており、今後大幅な向上は期待できにくい。将来、1個の紫外線フォトンから2個の可視光フォトンに変換できるような可視光変換効率の高い蛍光体が開発されれば、蛍光ランプの発光効率はさらに飛躍的に向上することが期待されよう。一方では3波長形蛍光ランプなどに用いられる狭帯域発光形蛍光体を使って、コンピュータシミュレーションにより演色性を改善する試みがなされた。Walterは460、530、580、620nmにそれぞれピークのある効率のよい蛍光体を使うことにより効率、演色性が大きく改良できると述べているが¹⁾この付近にピーク波長のある効率のよい蛍光体が開発されれば、効率、演色性ともに、さらに改善される可能性があり、4波長形、5波長形蛍光ランプのピーク波長の最適化と新しい蛍光体の開発が期待される。

(b) 光束維持率の向上

紫外線による劣化の少ない蛍光体の開発やランプ点灯中にガラス中のアルカリ成分と反応して劣化することが少ない蛍光体の開発が課題となる。また、ガラスとランプ内の水銀とが反応して、ガラスの黒化がおこるのを防止する必要がある。そのため蛍光体の製造方法や蛍光体粒子表面を保護膜で覆う方法、蛍光体塗布膜とガラスとの間に保護膜を形成する方法などが引き続き検討されていくものと考えられる。電球形蛍光ランプの発光管のように特に発光管温度が上がるものにおいては、高温、高負荷に耐える蛍光体の開発も期待される。

(C) 周囲温度による特性への影響の軽減

蛍光ランプの中に封入される水銀の蒸気圧は温度によって変動するため、蛍光ランプの全光束や始動性能は周囲温度の影響を受ける。水銀を含まない希ガス放電灯は周囲温度の影響をほとんど受けてないが、放電中における紫外線への変換効率が水銀-アルゴンガス系よりかなり悪いため発光効率が著しく悪くなる。そのため一般照明用途への適用は困難であり、特殊用途に限定されることになる。

水銀に替わる効率のよい代替物資は現在のところ見つかっていないが、電球形蛍光ランプなどに用いられている水銀アマルガムより、さらに広い温度範囲にわたって安定な水銀蒸気圧が得られるアマルガムが開発されれば、周囲温度による全光束への影響は軽減されることが期待出来る。

(d) 小形化

電球形蛍光ランプは発光管や点灯回路、スタータを内蔵するため、点灯中の温度が一般蛍光ランプより大幅に上昇する。そのため周囲温度が高いところや密閉器具内での使用は制限され、ランプの大出力化、小形化が困難である。グローブを無くしたタイプは温度上昇の制約が多少緩和されるので、この方向での小形化が期待されるが、同時に小形化にともなう効率の低下についても対応していく必要がある。図3. 1. 3-3に示す蛍光ランプの各種小形化の試みなども実用上の障害や量産技術を克服したものについては、実用化が期待される。

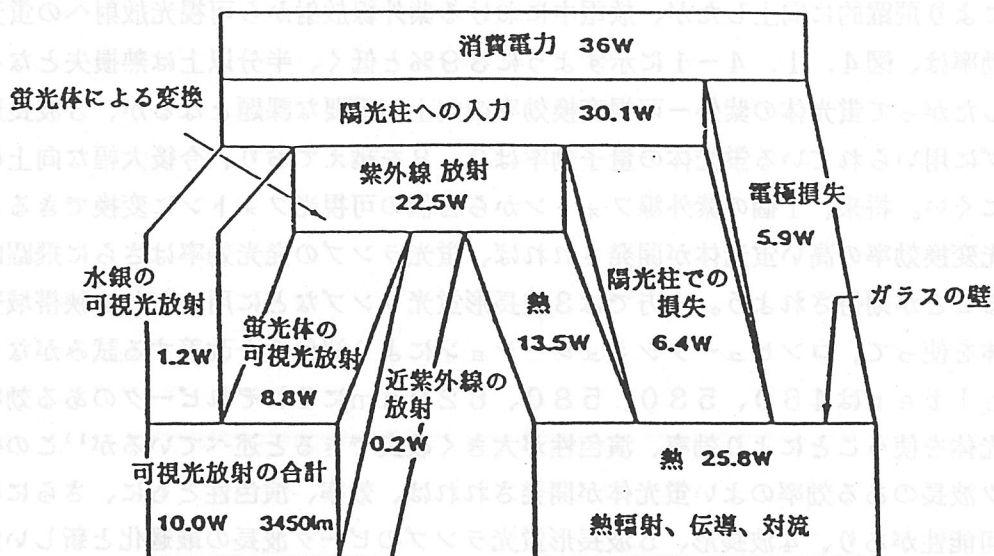


図4. 1. 4-4 省電力設計の40W形直管蛍光ランプ (管径25mm、消費電力36W) のエネルギーバランス

表4. 1. 4-1 蛍光ランプの主な性能と2001年の予測(直管40W形37W)
(専門家20人によるアンケート結果)

性能	全光束 [*] (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	平均演色 評価数 (Ra)	寿命 (時間)	光束維持率 (%)
現在 (1990)	3,560	96	5,000	84	10,000	70~80
2001年の 予測 (改善割合%)	(+8)	(+7)		(+2)	(+30)	(+9)
予測範囲	3,700 ~ 4,000	100 ~ 105		84~90	10,000 ~15,000	80~85

表4. 1. 4-2 電球形蛍光ランプの主な性能と2001年の予測(17W)
(専門家20人によるアンケート結果)

性能	全光束 [*] (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	平均演色 評価数 (Ra)	寿命 (時間)	光束維持率 (%)
現在 (1990)	780	46	5,000	84	6,000	60
2001年の 予測 (改善割合%)	(+19)	(+20)		(+2)	(+33)	(+15)
予測範囲	850 ~ 1,000	50~60		84~90	6,000 ~10,000	60~75

表4. 1. 4-3 コンパクト形蛍光ランプの主な性能と2001年の予測(36W)
(専門家20人によるアンケート結果)

性能	全光束 [*] (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	平均演色 評価数 (Ra)	寿命 (時間)	光束維持率 (%)
現在 (1990)	2,900	81	5,000	84	7,500	70
2001年の 予測 (改善割合%)	(+9)	(+9)		(+2)	(+30)	(+10)
予測範囲	3,000 ~ 3,250	83 ~90		84~90	7,500 ~12,000	70~80

*100時間点灯後の値

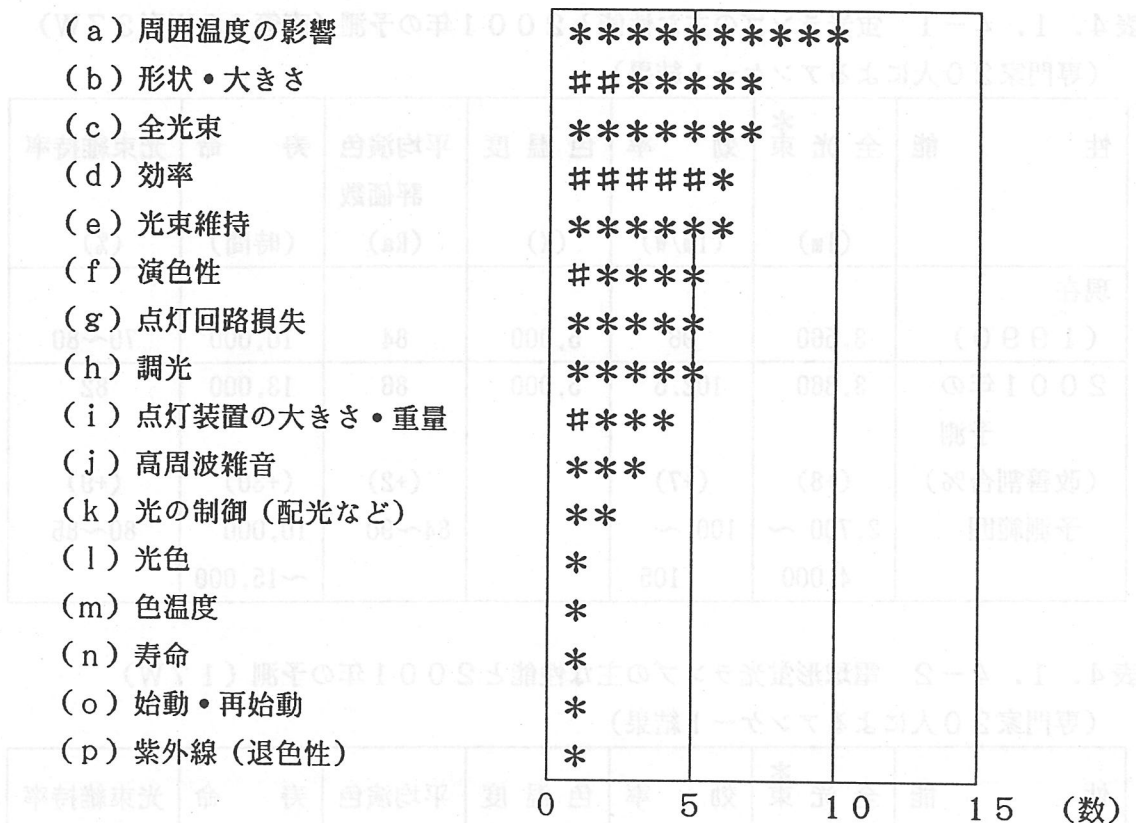


図4. 1. 4-1 蛍光ランプ (直管形、環形) における改良が要望される性能・機能 (専門家20人によるアンケート結果 # : 最も重要 * : 重要 (5つ以内))

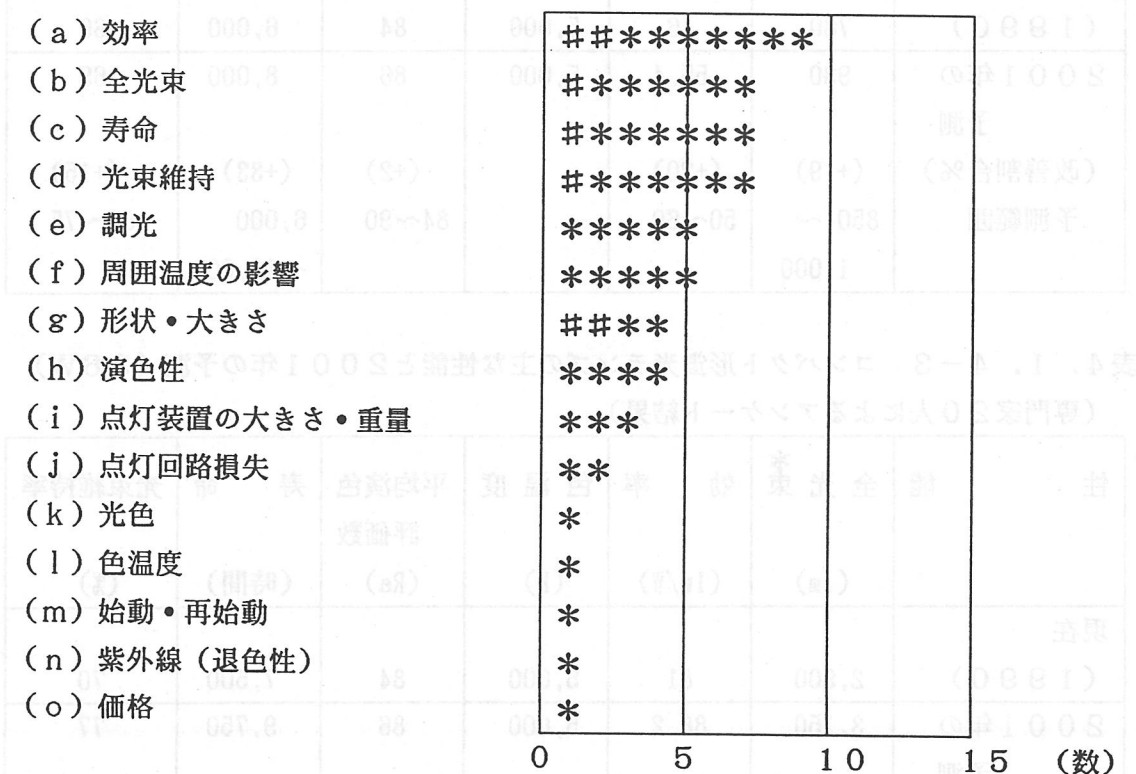


図4. 1. 4-2 電球形蛍光ランプにおける改良が要望される性能・機能 (専門家20人によるアンケート結果 # : 最も重要 * : 重要 (5つ以内))

(a) 効率	#####			
(b) 光束維持	#####			
(c) 寿命	#####			
(d) 全光束	#####			
(e) 周囲温度の影響	#####			
(f) 点灯装置の大きさ・重量	####			
(g) 調光	####			
(h) 形状・大きさ	####			
(i) 演色性	###			
(j) 光色	**			
(k) 光の制御（配光など）	#			
(l) 色温度	*			
(m) 放射熱	*			
(n) まぶしさ	*			
(o) 始動・再始動	*			
(p) 価格	*			
(q) 外観	*			
	0	5	10	15 (数)

図4. 1. 4-3 コンパクト形蛍光ランプにおける改良が要望される性能・機能

(専門家20人によるアンケート結果 #：最も重要 *：重要(5つ以内))

参考文献

(1) Walter, W.: J. Illum. Engng. Soc., 7(1978)66

(2) Dorleijn, J.W.F. et al : J. Illum. Engng. Soc., Fall(1985) 75~84

4.1.5. 高圧水銀ランプ

(1) 特徴と評価

高圧水銀ランプは透明形水銀ランプと蛍光水銀ランプの2種類に大きく分けられるが、発光部の高輝度が要求されない限り蛍光水銀ランプが一般的である。構造が簡単な為、品質も安定しておりH I Dランプの代表的存在として使用されている。

専門家によるアンケート結果によると蛍光水銀ランプの改良が要求される性能・機能は図1の通りであり、(a)演色性の改善、(b)点灯装置の小形化・軽量化、(c)効率の向上、(d)始動・再始動の改善、(e)回路損失の低減などがあげられる。

(2) 2001年までに実現可能性能

表1に400W蛍光水銀ランプの現在および2001年の予測をまとめる。2001年の予測は専門家へのアンケートによるものである。予測範囲を表に示すが現在の性能と変わらないという予測からメタルハライドランプなみに高効率、高演色になるという予測まで色々である。

(3) 技術課題と展望

高圧水銀ランプの技術課題として重要なのは(a)蛍光体、(b)電極、(c)点灯方式を含めた点灯回路の改良である。蛍光体の改良といってもまったく新しい蛍光体を開発する方法と現在使っている蛍光体の製造方法および塗布方法の改善がある。いずれの方法も研究開発が進められるであろう。

放電灯の寿命は電極に帰因するところが多い。現在は一部にしか使われていない焼結形電極も、その製造方法の研究によつて普及するものと思われる。

安定器の電子化が進みトータルとしての効率向上、コストの低減が検討されよう。また点灯方式として電子部品内臓のフィラメントバラスト水銀ランプ、マイクロ波または、高周波点灯による水銀ランプも検討されていくであろう。

図4.1.5-1 高圧水銀ランプにおいて改良が要望される性能・機能
(専門家20人によるアンケート結果)

	0	5	10
(a) 演色性	* * * * *	* * * * *	
(b) 点灯装置大きさ・重量	# * * * *	* * * *	
(c) 効率	# # # # *	* * *	
(d) 始動・再始動	# # * * *	* *	
(e) 点灯回路損失	* * * * *	*	
(f) 光色	* * *		
(g) 調光	* *		
(h) 高周波雑音	* *		
(i) 形状・大きさ	* *		

: 最も重要、 * : 重要

表4.1.5-1 高圧水銀ランプ (HF400) の主な性能の予測

性能	全光束 (lm)*	効率 (lm/W)	色温度 (K)	演色性 (Ra)	寿命 (h)	光束維持率 (%)	放射熱 (対入力%)
現在(1990)	22,000	55	4,100	44	12,000	80	15
2001年の予測 () %	24,900 (+13)	62.5 (+13)	4,100 (±0)	54 (+23)	14,000 (+21)	81 (+1)	18 (+20)
予測範囲	22,000 ~32,000	55 ~80	4,100	44 ~80	12,000 ~24,000	80 ~85	15 ~20

* : 100時間点灯時の値

4. 1. 6 メタルハライドランプ

(1) 展望

実用化されている一般照明用のメタルハライドランプの主な性能を封入ハロゲン化物の組み合わせで表4.1.6-1に示す。これと別に表4.1.6-2に示す現状の性能をベースに専門家のアンケートによる結果によると、メタルハライドランプにおける改良が要望される性能・機能は光束維持率、寿命特性、始動・再始動特性などの改良に対する要求が大きく、次いで、効率、調光、演色性、点灯装置の大きさなどに対する性能改善の要望が強くなっている。アンケート結果のまとめを図4.1.6-1に示す。

最近の技術動向を考慮して、専門家による2001年のメタルハライドランプの性能を予想したのが、表4.1.6-2である。これによると光束は12%、寿命は13%向上し、光束維持率の改善は60~85%とその予想にかなりの幅があり、その改善の期待も大きく、逆にそれほど改善できないとの予想する専門家もいる。

(2) 技術課題

メタルハライドランプの性能・機能改善要求の中で最大のものは、始動・再始動特性、光束維持率についてであるが、HIDランプがインテリア照明への用途拡大に伴い前者の要求は大きくなるものと考えられる。

(a) 始動・再始動

最近のHIDランプの技術動向の中に、一般照明とは異なるが自動車の前照灯にメタルハライドランプを用いる研究が盛んに行われている。使用目的から当然のように瞬点、瞬時安定の二つの要求を満足しなければならない。発光管の形状もそれなりの設計は必要であるが、始動時間の短縮には①予備加熱方式、②高圧ガス封入方式、とに大別され、自動車の前照灯みたいに厳密な条件でなければかなりのところまで技術的に今後進むと思われる。

一方、瞬点については、従来から大型のランプでグランド照明に用いられるメタルハライドランプなどに使用されており、高圧の電圧を印加するだけで原理的に可能であり、電源装置のコストと安全面での問題の克服が課題と言える。

(b) 光束維持率

ランプ寿命について、特に光束維持率の低下については、発光物質である金属ハロゲン化物がランプ構成材料である石英ガラスと反応して消失したり、電極材料であるタングステンが蒸発飛散して発光管の管壁が黒化するところが大きい。この維持率の改良は石英ガラスとハロゲン化物の化学反応のメカニズムの解明や、耐ハロゲン性のある石英ガラスの表面コーティング材も含めて発光管材料と電極エミッター材料の開発が待たれる。

この一つの方策としてアルミナ・セラミック管をメタルハライドランプに応用する試みも従来のニオブ管の封着に変えて耐ハロゲン性のあるサーメットやタングステン厚膜を用いる技術も開発されてきたが、シール材の化学反応性、アルミナ管径に制約などがあって、高ワットランプに適した材料がなく、また低ワットランプの排気技術など克服すべき課題も多く、現在までのところ製品化されていない。セラミックの特性を生かした新しいランプの出現が期待される。

(c) 調光点灯

メタルハライドランプは点灯姿勢、ランプ寿命働程中および調光点灯によって光色、ランプ電圧などの諸特性の変化が大きいが、これはランプの最冷部温度および温度分布によって特性が大きく影響を受けることを示しており、原理的には点灯姿勢などの条件によって最冷部の温度の変化の少ない発光管形状とするか、温度の変化によって蒸気圧の変化の小さい金属ハロゲン化物を発光物質として採用するか、さらに温度によって組成の変化の小さい発光物質の組み合わせを選択すれば寿命を含めて諸特性の変化が小さいランプの開発も可能である。錫のハロゲン化物を発光物質とするメタルハライドランプで約40%まで調光可能なものも開発されている。

(d) その他

H I Dランプのインテリア照明分野への展開は今後も続くものと考えられる。中でも効率、演色性、色温度の面からメタルハライドランプにその期待が高いと考えられる。従って、このランプの信頼性の向上、性能の改良の要求はますます強くなるものと考えられる。

また、メタルハライドランプは一般照明分野のみならず、低ワット・コンパクト化の方向で自動車の前照灯、プロジェクター用ランプなど電子回路の開発、低コスト化、性能の安定化を含めてこれらの動向が注目される。

さらに、メタルハライドランプの低ワット・コンパクト化とは反対に大きな設備の照明用として、器具のコンパクト化が図れる高ワットメタルハライドランプのコンパクト化と長寿命化が期待される。

表4.1.6-1 代表的メタルハライドランプの特性

封入ハロゲン化物の組合せ	効率 (lm/W)	平均演色評価数 Ra	色温度 (K)	ランプ電力 (W)
InI-TlI-NaI	80	65	4,000	400
ScI ₃ -NaI(ThI ₄)	100	65	4,000	400
DyI ₃ -TlI(NaI)	80	90	6,000	400
DyI ₃ -NdI ₃ -CsI	80	90	6,500	400
SnI ₂ (Br ₂ , Cl ₂)	50	92	5,000	400
DyI ₃ -TmI ₃ -HoI ₃ -TlI-NaI	80	85	4,200	250
InI-TlI-NaI-SnI ₂ (Br ₂)	67	80	3,800	70
Tm ₃ -TlI-NaI	80	80	4,000	150

図4.1.6-1 メタルハライドランプにおける改良が要望される性能・機能
(専門家20人によるアンケート結果)

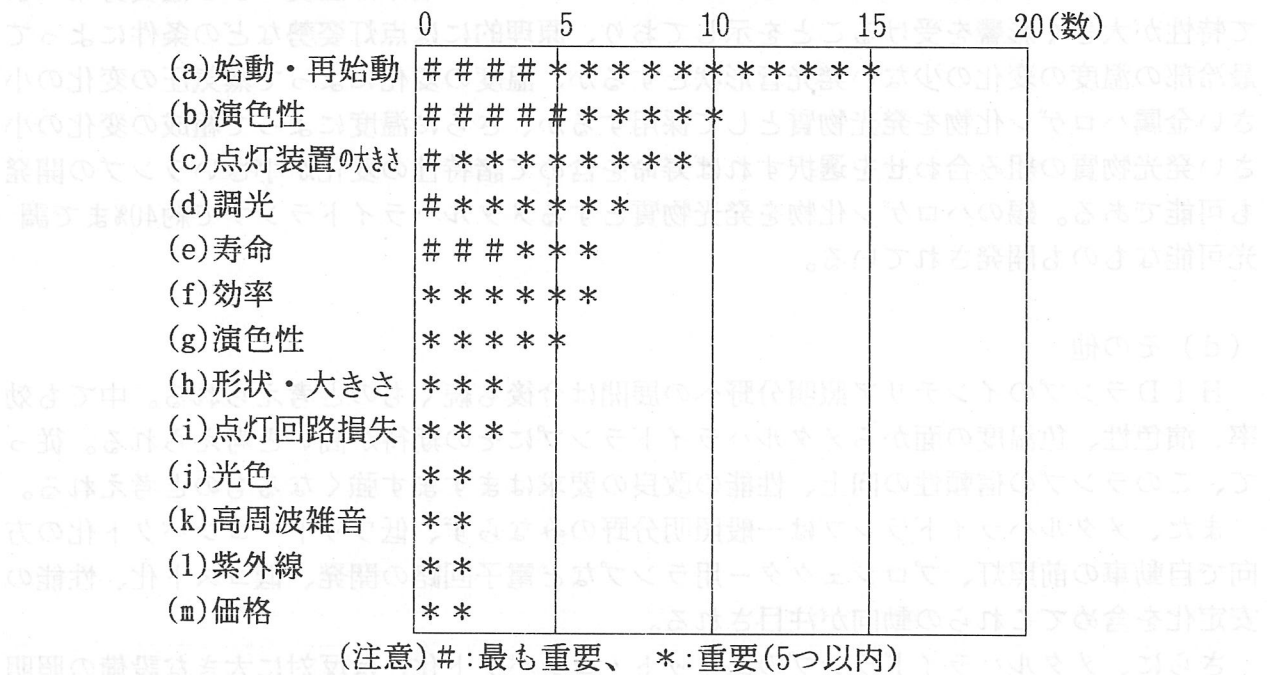


表4.1.6-2 メタルハライドランプの性能予測(400W)

性能	光束 (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	演色性 Ra	寿命 (hrs.)	光束維持率 (%)
現在(1990)	40,000	100	4,000	65	9,000	50~70
2001年の予測	44,600	112	4,170	75	10,200	76
() %	(+12)	(+12)	(+ 4)	(+15)	(+13)	(+9 ~ +52)
(予測範囲)	40,000 ~ 48,000	100 ~ 120	4,000 ~ 5,000	65 ~ 85	9,000 ~ 13,000	60 ~ 85

4. 1. 7 高圧ナトリウムランプ

(1) 展望

実用化されている高圧ナトリウムランプを表4.1.7-1に示す。現状の性能をベースに専門家のアンケートによる結果によると、高圧ナトリウムランプにおける改良が要望される性能・機能は始動・再始動特性、演色性、色温度などの改良に対する要求が大きく、次いで、点灯装置の大きさ、光色、ランプの形状・大きさなどに対する性能改善の要望が強くなっている。アンケート結果のまとめを図4.1.7-1に示す。

最近の技術動向を考慮して、専門家による2001年の高圧ナトリウムランプの性能を予想したのが、表4.1.7-2である。これによると光束は5%、寿命は28%向上することが期待されている。

(2) 技術課題

高圧ナトリウムランプが生まれてから25年が経過し、その間多くの新しい技術が開発され、技術的には成熟期に達しつつある。しかしながら新しい材料開発等によりランプ特性の改善と新形ランプの開発が進むものと考えられる。

(a) 始動・再始動

ランプ設計者からみると始動・再始動特性の改良については、特に高圧ナトリウムランプでこのように改良要求が大きいとは考えられなかったが、再始動については発光管を二本外球に組み込んで早める方式が発表されている。さらに、メタルハライドランプと同じように電源装置の方で解決できる課題と言える。

始動時間を短縮する方法として、①L形ランプの始動器に従来のバイメタルスイッチに代えて、例えば非線形コンデンサーを用いた始動器など、電気回路をランプ外球内あるいは口金内に組み込める耐熱性の優れた回路素子の開発、②発光管の温度を点灯中の状態まで高めて始動するための予備加熱あるいはこれに代わる方式の開発、③始動直後のランプ電力をでき得る限り大きく付加する点灯方式とこれに耐えるランプの設計、などが考えられる。①を除けばナトリウムの蒸気を点灯中不飽和としたランプの方が飽和形ランプよりも短いことが知られている程度で今後の研究が待たれる。

(b) 演色性、色温度

演色性についてはナトリウム蒸気だけではRa85で飽和しており、演色性の改善と高色温度化を行うにはナトリウムのD線以外の波長を利用するか、他の金属の発光を利用するか方法がなく、前者の方法として高周波点灯が報告されており、後者についてはナトリウムの励起電圧と蒸気圧に匹敵し利用できる金属単体および化合物はほとんどないのが現状で、高圧ナトリウムランプの演色性と色温度の改良は前者の方法で発光のメカニズムの研究を待たねばならない。

その他の方法としてメタルハライドランプの発光管に使用している石英と同じように大きな管径で端部を絞った形状でアルミナ管材料がコスト的に見合って開発されるならば、演色性の改善を図ることができる。

(c) 効率

高圧ナトリウムランプで効率を高めるには、①現在使用しているアルミナ管材料よりも直線透過率に優れ、放射率の低い材料の開発、②管壁負荷を高めても使用できる発光管材料の開発、③始動用ガスの封入圧を高めても点灯できる電源装置および回路方式の開発、などが考えられ、材料と回路方式の開発が効率を高めるための技術課題と言える。

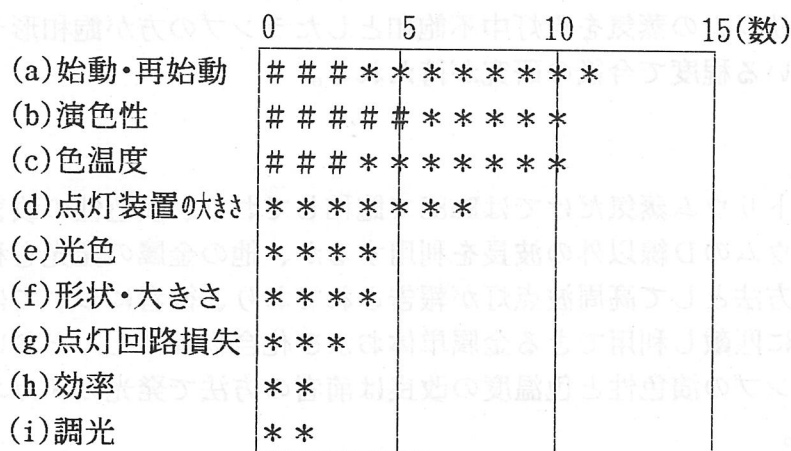
(d) その他

また高圧ナトリウムランプの新しい用途として、植物の成長に適したスペクトル分布をもった新しいランプが開発され、その用途も拡大するものと思われる。

表4.1.7-1 高圧ナトリウムランプの特性(外球透明形)

種類	効率 (lm/W)	平均演色評価数 Ra	色温度 (K)	ランプ電力 (W)
高効率形	142	28	2,100	360
演色性改善形	106	60	2,150	360
高演色形	58	85	2,500	400
高彩度形	45	78	2,800	400

図4.1.7-1 高圧ナトリウムランプにおける改良が要望される性能・機能
(専門家20人によるアンケート結果)



(注意) #:最も重要、*:重要(5つ以内)

表4.1.7-2 高圧ナトリウムランプの性能予測(360W)

性 能	光束 (lm)	効率 (lm/W)	色温度 (K)	演色性 Ra	寿命 (hrs.)	光束維持率 (%)
現在(1990)	51,000	142	2,100	28	12,000	85
2001年の予測 () % (予測範囲)	53,400 (+ 5) 53,000 ~ 55,000	148 (+ 4) 147 ~ 160	2,130 (+ 1)	32 (+14) 28 ~ 35	15,300 (+28) 12,000 ~ 24,000	87 (+ 2) 85 ~ 90

4.1.8. 低圧ナトリウムランプ

1. 特徴と評価

このランプの最大の特徴は既存の一般照明用光源のなかで最高の発光効率を持っているという点につきる。黄色の単色光ゆえに用途は屋外照明用に限定はされるものの、特に道路照明用に大量に採用されている。黄色という光色に対しては欧米と日本ではかなりの相違がみられ、欧州では一般の生活道路にも採用されているのに対し、日本では主として高速道路の一部とトンネル内の照明に限られている。このようにランプが採用される範囲の違いについては種々の説があるが、光色に関する限りではこのランプの評価は欧州のほうが高いといわざるをえない。日本において今後このランプが従来の用途を含めてより大量に用いられる見込みはほとんどないといえよう。

2. 2001年までに実現可能な性能

このランプの性能は端的に言って発光効率の大小であるといっても過言ではない。このランプの効率は発光管内のナトリウム蒸気圧をいかにして最適の260℃という高温に保持するかで決まる。現在、外管内面に可視光を効率よく透過し、赤外放射を反射する酸化インジウム膜を設けることにより、開発レベルでは200lm/W(180Wランプ)に達している。この値はかなり最適条件に近づいているといわれているが¹⁾、最近進歩が著しいハロゲン電球用赤外反射多層膜技術を援用し、10-20lm/Wの向上が期待されよう。

3. 技術課題と展望

このランプの今後の技術課題は下記の3項目に絞られよう。

1. 発光効率の向上
2. 小型化
3. 電子回路化

発光効率については保温膜の採用とその改良により相当のレベルアップが実現しているが、図2に示したランプ入力にたいする光出力の関係(パワーバランス)をみると、陽光柱中での輻射変換効率は43%で、蛍光ランプの79%に比べて大幅に低いことがあきらかである。効率が高いといわれる割にはまだ非輻射ロスが45%もあり、この辺にまだ改良の余地が大きく残っているといえよう。課題としては保温膜材料として酸化インジウム膜の一層の最適化と、多層赤外反射膜との組合せによる赤外反射効率の向上である。

小形化は低圧ナトリウムランプに限らず光源全体の大きな趨勢である。特に従来の低圧ナトリウムランプは発光管をU形にしてコンパクト化を図っているが、保安用、非常用光源として電球代替用とした場合、小ワットランプの開発が望まれる。現在18ワットまで開発されているが、10ワット以下までランプレンジを拡大、製品化が望まれる。

電子回路化も蛍光ランプをはじめすべての放電ランプに共通の課題であり、特に低圧ナトリウムランプは電極降下電圧の低下による効率向上のほかに陽光柱効率の大幅な向上が期待される。これまでの研究で、周波数100KHZ以上で約10%の効率向上が得られるとの報告²⁾があるが、まだ十分な考察が加えられていないのが現状であり、今後定量的評価を加えることにより、ランプで240lm/W以上、システムとして220lm/W以上の効率（但しランプ電力は130ワット以下）が実現可能となろう。

参考文献

- 1) 杉浦 稔ほか：照学誌，69 (1985)29
- 2) J. de Groot et al: J. Illum. Eng. Soc. 14, (1984)188

4.1.9 キセノンランプ（ショートアーク）

（1）特徴

ショートアークキセノンランプの特徴は光のスペクトルが昼光に近いこと、紫外から赤外に十分な放射があること、入力変化でスペクトル分布が変化しないこと、高輝度の点光源であることなど、映写用、特殊照明、計測用光源としてすぐれた性能をもっている。

一方、メタルハライドランプや水銀等にくらべ、効率が低いこと、始動に高いイグニッションの高圧が必要なこと、電源寸法が大きなこと等が欠点とされていた。

（2）改良の要望と2001年までに実現が期待される性能

図4.1.9-1 キセノンランプに改良が要望される性能・機能のアンケート結果を示す。電源の小型化、寿命延長、効率向上、始動時のイグニッション電圧の低下の順で性能向上が希望されている。

表4.1.9-1には同じくアンケート結果による2001年の性能予測を示す。発光効率で20%程度、寿命で40%程度の向上が期待されている。

（3）技術課題と展望

(a)発光効率の向上：キセノンランプは純粋な希ガス放電ランプであり、ランプ単体で大幅な効率向上（lm/W）は困難である。

すでにハロゲンランプで採用されている多層膜による赤外反射や電極形状、寸法の改良による熱損の低下、および発光部の形状・寸法を光学系にマッチングさせる事等によりシステムとしての効率を向上させるべきであろう。

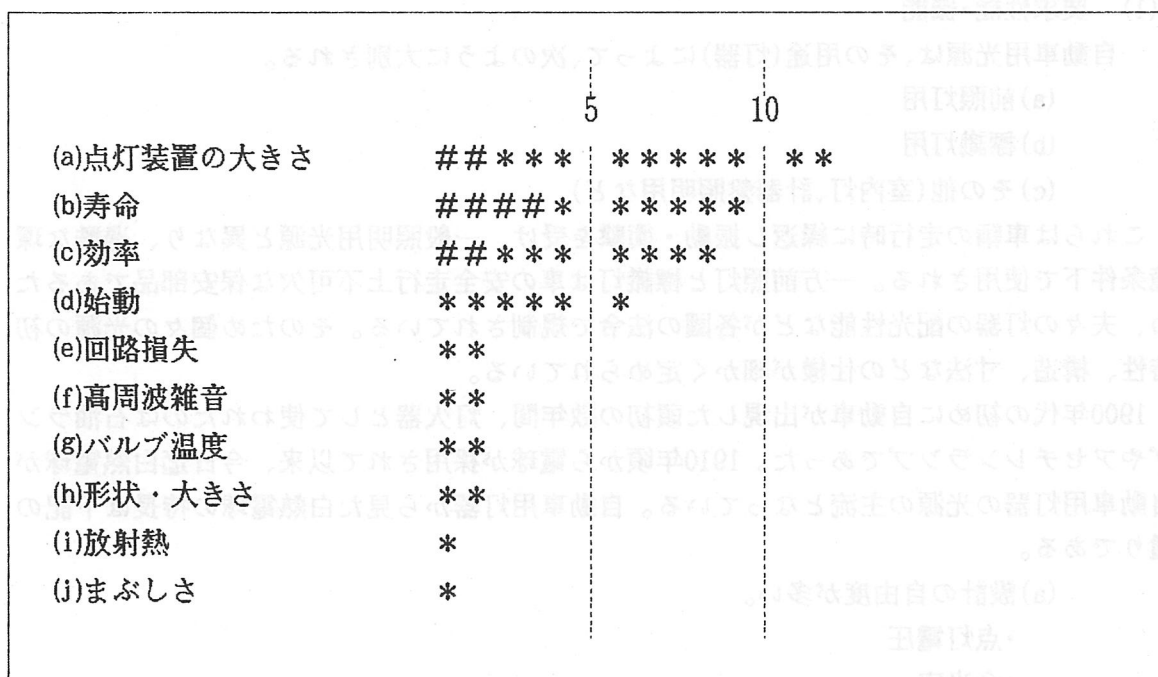
(b)ランプ寿命：ランプ寿命は主に出力の減衰、輝度の不安定、破裂確率の上昇の3つの要因で決まる。ランプの用途、ランプ入力等でどの寿命要因が支配的かは異なる。150W～300W入力程度のランプでは輝度の不安定が寿命要因であったが、ランプ寿命は3000時間程度まで改善されている。

カソードの改良、バルブの最適寸法形状化等で少なくとも1KW～5KW入力のランプは2000～3000時間程度までの寿命延長は期待される

(c)その他：電源の小型化はスイッチングレギュレーター方式で進められている。他の放電灯よりいくぶん大きい範囲での小型化は可能になる。

始動時のイグニッション電圧の必要値は主にキセノン封入圧で決まる。可動電極の採用でイグニッション電圧の低下の可能性はあるが、ランプの用途と普及度から考えて実用化は困難であろう。

図4.1.9-1 キセノンランプにおいて改良が要望される性能・機能
(専門家20人によるアンケート結果)



: 最も重要 * : 重要

表4.1.9-1 キセノンランプの性能予想 (1000W)

性能	光束 (lm)	効率 (lm/W)	色温度	演色性	寿命
現在 (1990年)	31,000	31	6,000	94	1,500
2001年の予測 () %	36,800 (+18)	38 (+22)	6,000	94	2,100 (+40)
予測範囲	31,000~50,000	31~50		94~95	1,500 ~3,000

4. 2. 特殊照明用光源の展望

4. 2. 1. 自動車用

(1) 要求性能・機能

自動車用光源は、その用途(灯器)によって、次のように大別される。

- (a) 前照灯用
- (b) 標識灯用
- (c) その他(室内灯、計器盤照明用など)

これらは車輛の走行時に繰返し振動・衝撃を受け、一般照明用光源と異なり、過酷な環境条件下で使用される。一方前照灯と標識灯は車の安全走行上不可欠な保安部品であるため、夫々の灯器の配光性能などが各國の法令で規制されている。そのため個々の光源の初特性、構造、寸法などの仕様が細かく定められている。

1900年代の初めに自動車が出現した頭初の数年間、灯火器として使われたのは石油ランプやアセチレンランプであった。1910年頃から電球が採用されて以来、今日迄白熱電球が自動車用灯器の光源の主流となっている。自動車用灯器から見た白熱電球の特長は下記の通りである。

- (a) 設計の自由度が多い。
 - ・点灯電圧
 - ・全光束
 - ・効率
 - ・寿命 など
- (b) 光る部分(光源)が小さい。
- (c) 小形・軽量である。
- (d) 点灯姿勢が自由である。
- (e) 点灯回路が不要である。
- (f) 瞬時点滅が可能である。
- (g) 交・直流両用である。
- (h) 大量生産が可能で安価である。
- (i) 互換性があり、入手容易で保守が簡単である。

カーボンフィラメントの真空電球に始まり、タングステンフィラメントの発明、ガス入電球さらにハロゲン電球と数々の進歩・改良がなされて来た白熱電球は、自動車用灯器から見た場合、放電灯、発光ダイオードなどの新しい光源に比べて、その優位性は今しばらく続くであろう。

(2) 期待される光源

自動車用灯器の光源としては、下記のような性能が期待される。

- (a) 光る部分(フィラメント)が小さいこと(長さ数mm以下)。
- (b) 高光束が得られること。
- (c) 低消費電力で高効率であること。
- (d) 色温度が高いこと(3,000 K以上)。
- (e) 長寿命であること(1,000 h以上)。

- (f) 動程特性が良いこと(95 %以上)。
- (g) 振動および衝撃に耐えること。
- (h) 点滅の応答特性が良いこと。
- (i) 電圧変化に対して特性(寿命、光束など)の変化が少ないこと。
- (j) 小形・軽量であること。
- (k) 寸法・初特性などのバラツキが少ないこと。
- (l) 可視光以外の放射(UV、IR)が少ないこと。
- (m) 安全性の高いこと。
- (n) 市販性があり、保守・交換が容易で安価であること。
- (o) (世界的に)標準化されていること。

これらの諸条件をすべて満足する光源は現時点では存在しない。これ迄の長い使用実績から、ここ数年間は、白熱電球(ハロゲン電球を含む)が、自動車用灯器の光源の主流を占めるであろう。

近年になり、白熱電球以外の光源が議論されるようになってきた。

前照灯は、現在オールガラスシールドビーム型電球(主として商用車)と、ハロゲン電球(主として乗用車)が共に使用されている。今後ハロゲン電球の使用比率が徐々に増加するであろう。またハロゲン電球については高効率・長寿命化への努力がなされるであろう。1990年代の初頭には、ハロゲン電球に代わる光源として、放電灯を用いた前照灯が出現するであろう。前照灯用としてはメタルハライドランプ(HID)が、霧灯(フォグランプ)用としては高圧ナトリウムランプが挙げられる。しかし両者共自動車用灯器の光源としては未解決の問題が多い。

標識灯も白熱電球が当分は主流であろう。効率改善のために、封入ガスにアルゴンにかえて、クリプトンあるいはキセノン入り小形電球が使われるようになり、さらに低ワットの小形ハロゲン電球の使用比率が高まるであろう。

発光ダイオード(LED)は標識灯用の次世代光源の有力候補の一つに挙げることができる。現在のところ、高光度のLEDは赤色だけである。わずかにハイマウンテッドストップランプ(CHMSL)に使用されるようになったばかりである。LEDを光源として使用すれば、灯器の奥行を浅く(薄く)することが可能になり、灯器の意匠、光学設計および構造に大きな影響をもたらす。赤色以外にアンバー色の高輝度LEDが開発されれば、標識灯は大きく変貌することになるだろう。

車の室内用および計器盤用としては、白熱電球(ハロゲン電球を含む)、蛍光灯、LEDおよびELが既に使用されている。これら光源の特性の改善により、応用範囲が広がり、多様な使われ方がなされるであろう。

前にも述べたように、一種類の光源ですべての要件を満足することはできない。白熱電球、放電灯、LED、ELなどそれぞれの長所を生かし、相補完する形で使われることになろう。

(3) 技術課題と展望

白熱電球(ハロゲン電球を含む)に望まれるのは、高効率と長寿命および耐振動・衝撃性である。そのためには、

- (a) フィラメント

(b)封入ガス(ハロゲン化合物を含む)

(c)管球材料

の性能向上が期待される。例えば(a)については、フィラメント材質の研究、加工技術の検討、およびコイル加工精度の向上が必要である。

メタルハライドランプ(HID)および高圧ナトリウムランプ(HPS)は、白熱電球に比べて高効率であり次世代の光源として期待される。しかし自動車用灯器の光源としては未解決の問題が多い。特に瞬時点灯・再点灯特性の大巾な向上と小形・軽量の点灯装置の開発が重要課題である。

発光ダイオード(LED)は標識灯用の光源として今後の発展が大いに期待される。現時点では高輝度の赤色のみである。それも発光波長が約660 nmで、白熱電球と赤フィルターを組合せた標識灯の赤色(主波長615nm前後)に比べて濃赤色で違和感が強い。GaAlAs以外の新しい発光材料の開発および製造技術の開発により、赤色(発光波長612~620 nm)およびアンバー色(発光波長588~596 nm)で高効率(10~20 lm/W)のLEDが出現すれば、標識灯に大きな変革をもたらされるであろう。

自動車用灯器は、常に灯器と被照射物体(障害物など)の相対位置(距離・方向など)が変化するなかで、運転者が瞬時に適切な判断と行動をするために、極めて重要な役割を持っている。一例をあげれば、前照灯は、自車のために、前方をより明るく照射する必要がある一方、対向車の運転者に与える眩惑は少なくしなければならない、といった相矛盾する問題に直面する。単に光源だけではなく、灯器(配光パターン)、視覚(心理・生理面)など含めた幅広い総合的研究が必要である。

4.2.2 スタジオ用

スタジオ用としては古くより白熱電球あるいはハロゲン電球が主体である。以下の要件を満足するためにはこれに替わるものがないというのが現状である。

(1) 色温度が揃っている

現在使われているハロゲン電球の色温度は3050 K～3400 Kであるが、使用される光源の色温度が揃ってさえいればこれにはこだわらない。逆に昼光があるところではそれに応じた色温度の高いものが要求されている。

色温度のバラツキや働程中の経時変化などはテレビにおいては写真スタジオほどにはシビアではない。

(2) 調光性

照度バランスを取るという意味では調光範囲は 100～20%くらいでよいし、通常はその範囲でしか使わない。しかし0%までスムーズに調光できるということは、シーンの転換の際に必要な要件となる。

白熱電球では調光すると色温度が変化するが、20%くらいまでの調光による色温度の変化は許容されている。

(3) 光量

現在のテレビスタジオで主に使われているのは 1.5 kW～2 kWである。照度でいえば 1000～2000 lxである。この値は以前にはもっと大きかったが、(2500～3000 lx) テレビカメラの感度が上がると共に必要照度は低下してきた経緯がある。しかしハイビジョンなど高精細になると所要照度は現行の2倍程度になると言われている。

(4) 発熱

照明器具の効率が低いと、直接的な電力費用に加えてスタジオ内全体の冷房負荷が大きくなるという点で問題である。俳優やスタッフが暑い中で仕事をしなければならないということにもなる。白熱電球は他の条件から代替え光源が無いという状況の中でこの点での犠牲の上で使用されている。

(5) 光学制御の上から

光学的な制御の上から点光源に近いほどよい。照射面の均整度やエッジの切れなど、他の用途に比較して極めてシビアなものが要求される。この要求を白熱電球は概ね満たしているが、それでもフィラメントの大きさは小さいものが望まれる。この意味からか欧米では24 Vなどの低電圧のタイプがしばしば使われている。

(6) コンパクト性

1つのシーンでも使用される照明器具は多く、またセット替えが頻繁であることなどから照明器具はコンパクトであることが要求される。多くの器具はレンズ系を持っており、この大きさ、重量の点からも光源はできるだけ小さいものがよい。

煩わしい陰を避けるために照明としては点よりもできるだけ大きく、面に近いほうがよいことがあるが、実際の対応は反射や拡散のためのシートなど補助機材を用いて実現し、光源そのものとしては点光源に近いものが使われる。これは設営、撤去の際のコンパクト性からの要求である。従って蛍光灯を並べるなど光源そのものから面光源に近づけた照明器具などは大型になるのでかえって不便であり、据え付けの設備でなければ使われない。

4. 3 放射源の展望

4.3.1 情報機器用

(1) 要求性能・機能

情報機器は、その用途が業務用からパーソナル機器として家庭用にまでおよび、その進展普及は目ざましいものがある。要求性能も高速・高画質（高解像度、カラー化など）・高機能化が一層進むとともに小型化・携帯性・使い易さ・低価格など新たな要求が出てきている。これらに対応するため機器の開発は幅広く深く行なわれており、これに関連して情報機器用光源に対する要求も多岐に渡って求められている。

情報機器用光源に求められる主な要求性能は、小形・高出力で機器の受光器に合った分光分布を持ち、均一な照射光を出すものがまず求められる。そのほかに機器の使い方や用途から点滅寿命の強い特性や光束立ち上がり特性の速さ、残光性の長短、光束変動の大小などが求められる。特に光源の小形化は情報機器の多くが小型化の趨勢にあり、そのうえ機器の横幅はランプが決めていることが多いことからランプの径・長さとも最小なものが要求されている。ランプの分光分布は機器に使用されている感光体やイメージセンサなどの光電変換受光器の感度曲線に合わせることで光効率の面から必要であるが、機器に求められている感色特性を考慮して最終的には決めなければならない。機器がモノクロかカラーであるのか、カラーのばあいは一括読み取りか順次間欠点灯読み取りか、モノクロのばあいは読み取り原稿色の全てを読み込むのか、それとも特定色をドロップアウトさせるのかなど機器の用途を考えて決める必要がある。その上で機器の光学系の利用効率、ランプの光変動・劣化を考えて光出力、点灯方式などを決め、さらにランプの構造・電気特性などのランプ仕様が機器の要求仕様を満足するように決めることが求められる。

(2) 期待される光源

情報機器は今後幅広く進展すると考えられるのでそこに使用される光源への要求も多岐に渡るものと予想される。これらをまとめると次のような光源が期待されよう。

* 小形・高光出力光源

* 高効率カラー読み取り用ランプ

(機器の光学系の感度曲線を考慮した要求分光放射出力を持ったランプ)

* 特性変動の少ないランプ

(立ち上がり特性、温度特性、劣化特性など)

* 高寿命ランプ

(機器のメンテナンスフリー化に対応可能な寿命特性を持ったランプ)

* 調光特性の良いランプ

* ランプ・点灯装置システムとしての小形・高効率・低価格化

その他に、特殊な仕様・用途に対応可能な光源が期待されよう。

(3) 技術課題と展望

情報化社会の進展とともに、情報機器はますます高性能化が進むとともにその種類も多岐にわたり、それらはコンピュータを核としてシステム化され、我々の身近に無くてはな

4. 3. 2 印刷用

(1) 要求性能・機能

経済の発展にともない、印刷の用途と印刷物は限りなく増加する傾向にある。

製版焼付やインキ硬化はそのプロセスが現在と変わらなければ本質的に大出力の光源、したがって、大量にエネルギーを消費する光源が必要になる。

省エネルギーの観点からインキの分光感度にいま以上にマッチした光源の開発、安定時間や再点灯時間の改善による無効消費エネルギーの低下が要求される。

印刷を美しく仕上げるためには配光分布のよい光源、また、熱や光で変質、変形を起こさない光源も要求される。

印刷や硬化・乾燥をより早く行う（ラインスピードのアップ）ために、放射の大出力化が要求される。

(2) 期待される光源

印刷用光源としては、以下に示す光源が期待される。

- ・インキ、塗料の感度にマッチした高効率ランプ

（例：各種メタルハライドランプ、蛍光ランプ、マイクロ波点灯方式ランプ、高効率赤外放射体ランプ）

- ・大出力化（＝大入力化）

適性な冷却によるバルブ温度の均一化と温度の適性化により大入力化を行うこと。

（例：水冷水銀ランプ 350W/cm の応用

空冷メタルハライドランプの入力 160W/cmを200～250W/cm にアップ）

- ・瞬時安定、瞬時再点灯

製版焼付用光源は全てこの性能を満足している。

赤外線光源は発熱体の熱容量を小さくすることにより、この性能を向上する。

（例：ハロゲンランプに赤外放射体を塗布）

- ・小型化、多機能化

（例：マイクロ波方式放電ランプ

ハロゲンランプに赤外放射体を塗布した赤外放射光源。

パルス光による紫外硬化）

(3) 技術課題と展望

印刷の用途は今後さらに拡大する。また、個々の用途に適した生産方式で印刷物は仕上げられる必要がある。生産方式によって、光源に期待される性能と機能は異なるが、光源と印刷の研究者やエンジニアがそれらの性能・機能を明確に把握すれば、現行の光源をわずかな改良で今後の要求に充分対応できると予想される。

4.3.3. 工業用

工業用に利用されている放射源の要求性能・機能、期待される光源、技術課題と展望を表4.3.3-1 にまとめる。

表4.3.3-1 工業用放射源

要求性能・機能	用途	期待される光源	技術課題と展望
急速加熱	半導体製造 他	ハロゲンランプ	高温使用での長寿命化
185,254nmUV光強い ランプの発熱少ない	水処理 殺菌 UV洗浄	低圧水銀ランプ	高出力化 長寿命化
350~450nmUV光強い	塗料硬化	高圧水銀ランプ	長寿命化 小型化
光化学反応に適した発光	ナイロン製造	メタルハライドランプ	光出力安定性
輝度が高く光学系光源に適する 306,403,436nm光強い	半導体製造	超高圧水銀ランプ	高電力化 長寿命化 短波長化:G線(435nm)→I線(365nm) フラッシュ点灯
短波長化(200~300nm)	半導体製造	Xe-Hgランプ	高輝度化
短波長化(250nm以下)	半導体製造	重水素ランプ 希ガス共鳴線ランプ Ar:107nm Kr:124nm Xe:147nm	高出力 長寿命化 マイクロ波による励起 エキシマレーザーの利用
高熱 高輝度	溶接	ショートアークキセノンランプ	長寿命化
遠赤外線	乾燥	遠赤外線セラミックス	応用開発

4.3.4 農・水産用

(1) 植物育成用光源

(a) 要求性能・機能

植物育成用光源に求められる性能は、経済的に植物の光合成作用と光周性などを含めた光形態形成作用に有効に働く光放射を出すことである。従って、対象植物の波長に対する感度曲線が求められている場合は効率よく感度曲線に合わせた光放射を出すことが必要となる。感度曲線が不明な場合は、光合成作用については過去多くの研究がなされており、光波長に対する作用曲線としてPAR (Photosynthetically Active Radiation) 放射感度曲線、光量子感度曲線、あるいは西ドイツ規格のDIN 5031曲線などがあるのでそれに合わせる。光形態形成作用に関しては植物によって大きく異なるばあいが多いが、これも代表的な曲線が出されているのでこれに合わせる。

植物工場の照明を考える場合は、光源の選択だけでなく、その光源をどのように点灯し、その放射光をどのように植物に照射するかもまた重要な項目である。照明方式、点灯方式、照明器具など照明システムとして考えた高性能・高効率性が求められる。

(b) 期待される光源

植物工場の研究の進展と共に、光放射と植物生長の関係の究明は大きく進み、おそらく2001年には主な植物の光の作用曲線は求められていると予想される。従って、光源として次のようなものが実現されよう。

* 特定植物の光合成・光形態形成作用曲線に合わせた高効率専用ランプ

(メタルハライドランプ、蛍光ランプ、高圧ナトリウムランプを主体とした混光システム)

* 高効率近接照射照明器具

(HIDランプ、蛍光ランプ用)

* 高機能調光電子点灯装置

(HID・蛍光ランプ用の点灯周期、出力の制御可能な点灯装置)

(c) 技術課題と展望

植物の成長因子に合わせた専用の照明システムを実現するためには、光放射と植物の生理条件と言う基礎的な解明がなされていなければならない。しかし、植物に対する光放射の影響は植物によって異なる上に、光合成作用と光形態形成作用などが複雑に絡み合い、またその作用も光以外の環境条件によって影響されることからその解明は難しい課題である。そのため先人が多くの研究をしてきているがまだ十分な結果がえられていない。光放射の問題は植物工場など将来の食料生産問題にとって重要であり、植物の生理生体技術、環境制御技術、照明技術などそれぞれの研究者が結集して解明することが必要である。植物の生理特性に合わせたランプを作ることは、効率の点以外はあまり大きな問題は無いと予想される。効率の問題は一般照明用光源の技術進歩の結果に左右される面が大きいですが、専用ランプの設計により2001年には現在より20～50%の効率向上が期待できる。

(2) 集魚灯用光源

(a) 要求性能・機能

集魚灯光源が具備すべき特性としては、魚を集めるのに必要な明るさ（光出力）と光色（発光スペクトル）を効率よく出すことがまず第一に求められる。その他に、船上と言う使用環境から耐振動・衝撃特性や耐海水腐食特性が高いこと、長寿命で安価であることなどが求められる。また点灯装置の小型軽量化も重要なポイントである。

特に魚を誘引するのに必要な明るさと光色は魚の対光特性を十分把握し、その上に海水の透過特性を考慮に入れ設計する事が求められる。

(b) 期待される光源

魚類に対する対光特性の研究の進展とともに、主な魚や魚の餌となる動物性プランクトンの走光性などの対光特性の究明は2001年にはかなり進んでいると予想される。また一般照明用のメタルハライドランプは、その研究開発も進み、照明の主光源になり、点灯装置もかなり電子化されたものになっていると予想される。従って、光源として次のようなものが実現されよう。

* 特定魚の走光作用曲線に合わせた集魚灯専用高効率メタルハライドランプ

* 耐海水腐食特性のある小型軽量メタルハライド用電子点灯装置

(c) 技術課題と展望

魚類が集魚灯に集まる理由は、走光性と好適照度域の選択、明暗に対する条件反射、集魚灯に集まる動物性プランクトンや稚魚などに対する索餌集群行動などによるとされている。この魚類の対光行動については、実際の船上での測定や実験水槽中での基礎的な測定が現在も多く行なわれてきており、多くの特性が判明している。魚の好適照度、好適波長、パルス的な光の断続現象に対する反応などが生態学的実験や生理学的手法により明らかにされて来ている。しかし魚類はその対光行動がそれぞれの個体によって異なり、また同種の魚でも成長過程、環境条件などによって変化し複雑であることも知られており、更に詳細な究明が求められている。しかしながら今までの研究は光の条件設定など必ずしも十分で無いところも見受けられる。従って今後、魚類の対光特性をより深く精密に研究して行くためには照明研究者が魚類研究者と一体となり研究を進める体制が必要である。このような各分野の研究者が協力しあうことにより魚類の対光特性の解明は大きく進み、現在ではランプ特性に反映させる対光特性の知見が十分とは言えないが、2001年にはランプに十分反映できると予想される。

従って、2001年までには魚類の対光特性や海水の透過特性を考慮した魚種ごとの専用ランプが開発されて行くと予想される。そのばあい集魚効率はランプの効率向上予想（ハロゲン電球：15%、メタルハライドランプ：12%）より大幅になると期待される。

(3) その他の応用光源

畜産用や害虫防除用などの光源は現在あまり多く製品化されていない。しかしこれらの用途も今後それぞれの対象物の研究が進み、光放射に対する特性も解明され、産業的にも大きな発展が見込めるのでそれに合ったランプが開発されて行くものと予想される。

4. 4 点灯装置

4.4.1 蛍光ランプ用

(1) 磁気回路式安定器の高性能化

スタータ形蛍光ランプ用におけるグロースタータとラピッドスタート形蛍光ランプ用におけるリードピーク形安定器がそれぞれを代表する優れた方式であることに今も変わりはない。回路方式の改良による例としてセミ共振回路によるものがあるが、200V40W 1灯用に限定されたものである。

回路方式に改良の余地が無いとすると材料的な進歩に限られる。磁気回路式安定器の材料は大きく分けると導電材料、磁性材料と絶縁材料となる。導電材料はコストなどを考えると現状の銅以外には考えにくく、一時アルミニウムが検討されたが現在では使われていない。

磁性材料では、鉄損の少ない材料を用いることで安定器損失の減少と小形化ができる。1978年ごろ省電力形安定器に採用されて一定の効果をえた。しかし画期的材料は今後も登場しそうにない。鉄以外の磁性材料やアモルファスの箔体が性能的には期待されるのでコスト面が解決されれば検討の余地がある。

点灯装置の損失をそのままに小形化すれば温度が高くなってしまう。損失は導電材料と磁性材料によるので、以上述べたようにその減少は今後あまり見込みがない。しかし高い温度でも使用できる絶縁材料を用いれば、損失がそのままでも小形化することが可能である。1975年ごろからE種絶縁の安定器が登場して以前のA種絶縁のものに比べて小形になった。しかしさらに耐熱温度の高い絶縁材料を用いて非常に高温でも動作する安定器を作ったとしても、照明器具に接触する建築材料などの耐熱性を越えるようであればそれが限界となる。

全体としての小形化ができなくとも、例えば薄形化など器具デザインの要求に応じた特定の形に設計することは行われている。

(2) 電子式安定器の今後の動向

電子式安定器開発当初に比べ低コスト化が進み、普及期にさしかかろうとしている。蛍光ランプ用では予熱、始動の動作シーケンスがあり、また調光などの機能付加があるのでこれらの制御回路をIC化するなど、小形化、低コスト化がより進むだろう。主回路部分はこれまで自励の定電流プッシュアップ方式が主流であったが、最近では制御のしやすい他励式、ハーフブリッジ式、あるいはコンパクト蛍光ランプなど小電力のものでは1石式など、多様な回路方式が検討されている。

電子式安定器およびその他の電子機器も普及するにしたいが、電気雑音だけでなく電源ラインに混入する電流歪みなども問題視されており、今後規制レベルが厳しくなるであろう。また蛍光ランプ用電子式安定器特有の問題として赤外線式リモコンへの妨害がある。蛍光ランプ中のアルゴンガスの発光が赤外線を多く含んでいることが原因している。この問題は赤外線式リモコンと使用周波数を分離する方向で解決が進んでいる。

(3) その他の動向

蛍光ランプをパルスで点灯し、そのDutyを制御することで限流要素を無くすか極めて小さくすることが提案されている¹⁾。しかし蛍光ランプにパルス電流を流すとノイズの輻射が問題となるからこのためのフィルタを必要とするので全体としては高周波点灯式に比べ

でのメリットが出ないのではないかとと思われる。むしろ高周波点灯に問題のあるH I Dランプ用に適しているかもしれない。

オペアンプを使ってインダクタをシミュレートするなど限流要素を半導体化する試みもある²⁾。インダクタはその電圧降下はそのまま電力損失とならないところに利点があるが半導体に置き替えたものは電圧降下がそのまま損失となる。これらのものは表示素子など非常に小形の光源用に限られるものとなろう。

無電極点灯方式は蛍光ランプではまだ実用化には至っていないが、いくつかの報告がある^{3)・4)}。無電極点灯方式によればよりコンパクトな光源となるとともに瞬時点灯、調光容易、長寿命などの特性が期待できるが、ノイズ対策や回路の効率、コストなどが課題となろう。

そのほかには蛍光ランプに磁界を印加し効率が向上することが報告されている^{5)・6)}。

4.4.2 H I Dランプ用

H I Dにおける永年の課題は瞬時点灯、瞬時再始動、それに調光である。

瞬時点灯の課題は点灯開始時にはランプの温度が低いために金属蒸気圧が小さく、光量が充分になるまでに時間がかかるという問題である。始動時にランプ電力が大きくなるような制御を行えばよいが、一方で電源からの供給は通常点灯時に比べてあまり大きくしたくないということもある。

また点灯中のランプをいったん消灯し、再び点灯しようとするときはランプが高温になるので内部の蒸気圧が高く、通常の電圧では始動しないというのが再始動の問題である。これは急速に冷却するか、再始動に十分な高電圧を印加するしかない。しかし下手をするとランプ内部の蒸気を絶縁破壊させるのが早いか大気を絶縁破壊するのが早いという問題になって、ランプの機械的構造も絡んでくる。

以上の2つの問題はいずれも温度が絡んでいるから、ランプの構造上から熱的な時定数を小さくすると有利となる。

次に調光であるが、これもランプの温度が調光により変化し、蒸気圧が変わることが問題となる。水銀ランプでは比較的問題は少ないが、メタルハライドランプなどでは発光色が変わることが大きな問題となる。しかし白熱電球でも調光によって色温度は変化しているから、色の変化が許容されるようなものであればよい。その意味では黒体輻射の軌跡にそった変化であれば有利だろう。

このほかにはメタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプの発光色のバラツキ、点灯姿勢の制約などの問題があるが、前者について点灯装置の側からはランプ電圧を一定値とするように制御することが行われている。

4.4.3 その他

パルス点灯しその点灯波形を変えることで1つのランプの発光色を変える試みがされている⁷⁾。変化する色度範囲が狭いなどの問題はあるが将来の可能性として面白い。

(参考文献)

- 1) Davenport, J.M. et al: IES Conf. Tech. Preprint 29 (1988)
- 2) 加藤、横関：平1照明学会東京支部大会

4.5 新光源の可能性

白熱ランプ、蛍光ランプ、HIDランプなどの、一般照明用ランプの改良的な事項は第1章～第3章に述べられているため、本章では、主として一般照明用ランプ以外の発光ダイオード、エレクトロルミネッセンス(EL)、化学発光(生物発光を含む)、可視光および紫外域レーザおよびシンクロトロン放射(SOR)について述べ、白熱ランプ、放電ランプについては、特に新しい発想に基ずく技術に限定して述べる。

4.5.1 熱放射

熱放射を利用した光源は、初期の白金フィラメント、炭素フィラメントなどの使用を経て、現在はタングステンフィラメントが用いられており、これに代わりうる新光源を開発するには、図4.5.1-1の完全放射体からの放射の視感効率および同放射を波長400 nm-700 nmに限定したときの視感効率の温度依存性からも明らかなように、二つの方向が考えられる。

第一の方法は、発光物体の温度を上げることである。すなわち、タングステンと同等以上の耐熱性をもった物質を利用することであり、炭素、タンタルカーバイドなどの物質が研究されているが、いずれも蒸発を抑止する効果的な手段が未完成であり、タングステンフィラメント白熱電球より優れた性能は得られていない。

第二の方法は、可視波長域で選択放射を行うような適当な選択放射体を利用することであり、ほう化ランタン¹⁾、石英ガラスなどが検討されているが、いまだ

十分な性能が得られていない。第二の方法の一つとして最近W a y m o u t h²⁾が新しい方法を提案し、注目を浴びている。それはタングステン箔の表面に小さい多数の穴を開けておくことにより、cavity quantum electrodynamicsにより、可視波長域では高い放射率を、赤外域では低い放射率を得ようとするものであり、実現が待たれる。既に一部製品化されている赤外線反射膜により不要な赤外線をフィラメントに戻し、効率を高める方法も第二の方法の一つとも考えられる。

また熱放射の利用としては、以前より比較的よく利用されている $0.8\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ の比較的短波長の赤外線放射のほか、近年、波長 $2.5\mu\text{m}$ 以上の遠赤外線放射の応用が盛んになっており、実用的放射源としては $2.5\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 域や $6\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ 域など必要な波長域に合わせて、その波長域で放射率が高い、すなわち選択放射を行う酸化物(Fe_2O_3 、 MnO_2 、 Cr_2O_3 、 CoO 、 TiO_2 など)や炭化物(SiC など)

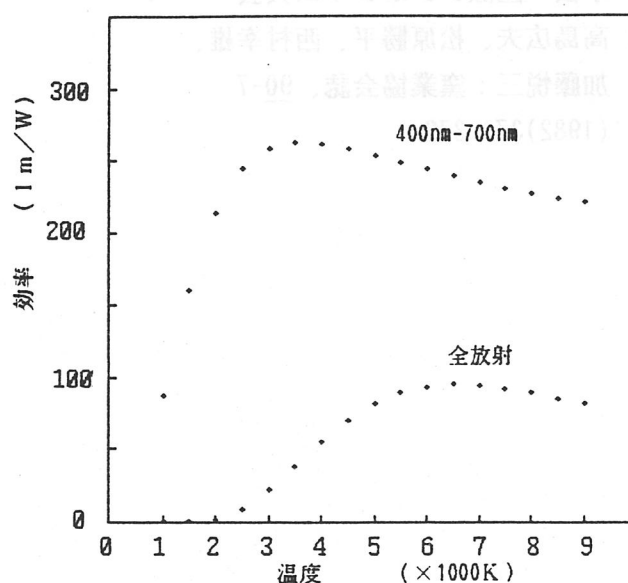
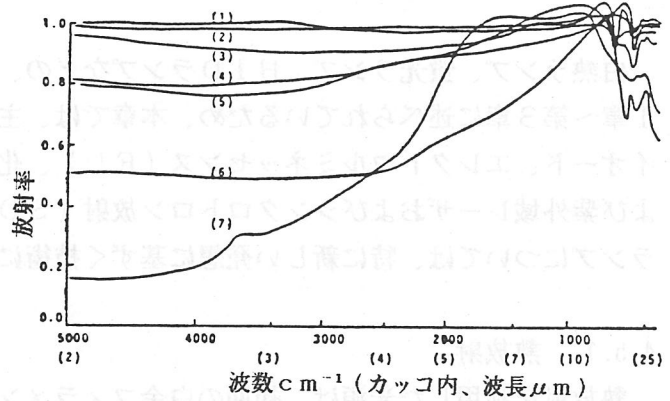


図 4.5.1-1 完全放射体からの放射および波長400nm-700nmに限定した放射の視感効率の温度依存性

窒化物 (Si_3N_4) が用いられている。実用的赤外域放射源の開発では、高放射率の物質をシーズ線などの熱源にいかにか強固に付けるかが主要な開発要素になっている。

図4.5.1-2 に、数種の金属酸化物について赤外域での分光放射率の例を示す³⁾。

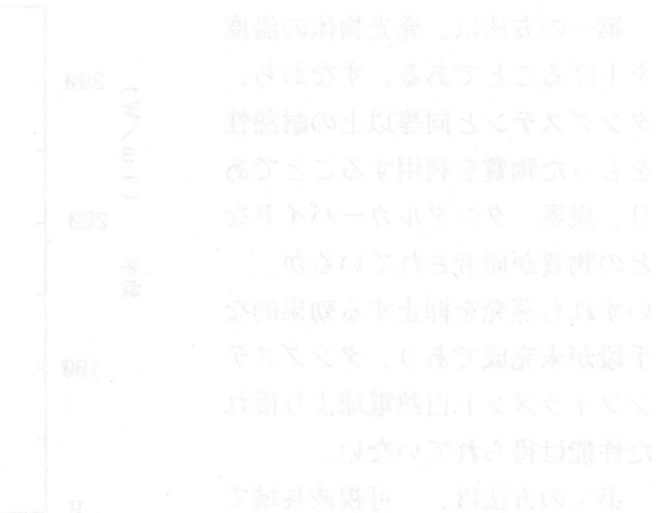


(1) : CoO , (2) : Fe_2O_3 , (3) : MnO_2 , (4) : Cr_2O_3 ,
(5) : CuO , (6) : NiO , (7) : TiO_2

図 4.5.1-2 各種金属酸化物の分光放射率の例

文献

- (1) E.Kauer:Philips Technical Review, 26-2(1965)33-47
- (2) J.F.Waymouth:1989 年度照明学会 国際シンポジウム大会
- (3) 高島広夫、松原勝平、西村幸雄、加藤悦三:窯業協会誌、90-7 (1982)373-379



4.5.2 放電

従来の放電ランプは、圧力数百Paから数百万Paのガス（蒸気）中で放電電流数mAから数百Aの放電を行い、発生したプラズマから放射される原子及び単純な分子の発光を利用している。これらの放電については古くから研究されており、従来の放電ランプ技術の単純な延長方式では新光源の可能性は少ないように思われる。

しかし、「次世代光源」という長い時間スケールで考えると、新光源の可能性を示すアイデア（もちろん、困難な技術課題は多いが）が散見される。以下、放電ランプの（1）材料、（2）放電方式、（3）ランプシステムの観点から、新光源の可能性を示していると考えられる二三のアイデアを紹介する。

（1）材料

良く知られているように、放電ランプの進歩は新材料の開発に大きく依存してきた。今後も、画期的な新光源は、新しい材料の出現によって誕生すると思われる。

低圧放電ランプ用の新しい発光材料として、図4.5.2-1に示したような、炭素の多原子分子 C_{60} が提案されている。(1)

この分子は、60個の炭素原子が球面状に結合したもので、内部は空洞で（サッカーボール状）、直径は0.7nmである。また、この C_{60} は、化学的に安定であり、蒸気圧も高く、かつ、波長

230nm付近に強い発光スペクトルを有すると予想されている。従って、 C_{60} は、蛍光ランプにおける水銀を代替できると考えられる。

更に興味深いことは、この C_{60} の空洞内にLa, Ba, Sr, Ca, Na, Liなどの原子が入った複合分子の存在が予想されていることである。この複合分子は、化学的な安定性や、蒸気圧が高いという性質は C_{60} と同様であり、発光特性としては C_{60} の内部に入り込んだ金属原子と類似の特性を示すと考えられる。 C_{60} -金属の複合化合物を用いることにより、高効率の低圧放電ランプが可能になり、かつ、低圧放電ランプにおいても、メタルハライドランプと同じように、かなり自由に発光色を選択できるようになる。

（2）放電方式

放電電流に休止期間をもたせると、直流でも交流でも得られない光放射特性が得られる。(2) すなわち、パルス放電における電流の立ち上りの波形を変えると、電子のエネルギーが変わり、励起の高い準位と低い準位の放射の比を制御することが出来る

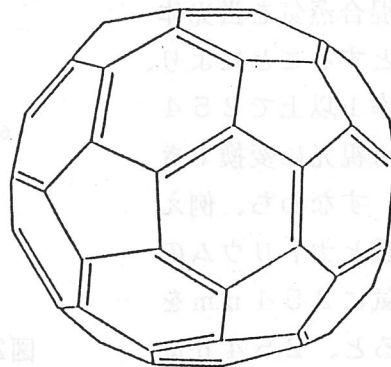


図4.5.2-1 炭素分子 C_{60} の想像図

ようになる。発光物質の組合せを適当に選択し、上記の放電方式を適用することにより、可変色の放電ランプが可能になる。

(3) ランプシステム

従来の技術の組合せによっても、新光源の実現は可能であろう。

蛍光ランプにおいては、水銀の共鳴線 254 nm を蛍光体で可視光に変換しているが、蛍光体の量子効率が高々1であるため、かなりのエネルギーを損失している（量子効率1以上の蛍光体も存在するが、実用化はされていない）。水銀とナトリウムの混合蒸気を蛍光体の代替とすることにより、量子効率1以上で 254 nm を可視光に変換できる。(3) すなわち、例えば、水銀とナトリウムの混合蒸気に 254 nm を照射すると、 254 nm は水銀原子に吸収され、

6^3P 準位に励起された励起水銀原子が生成される。図4.5.2-2 に示したように水銀の 6^3P 準位はナトリウムの電離準位にほぼ等しいので、この励起水銀原子とナトリウム原子が衝突すると、ナトリウム原子は電離準位に近い高い励起準位（例えば 4^2D レベル）に励起される。このナトリウム励起原子は、カスケード状に2個の光子（例えば 567 nm と 589 nm ）を放射するので、量子効率1以上が可能になり、高効率ランプの実現が期待できる。

メタルハライドランプや高圧ナトリウムランプなどの飽和蒸気圧型のHIDランプにおいては、発光物質の蒸気圧は放電管の管壁温度によって支配される。従って、比較的蒸気圧の低い物質は、優れた発光特性を有していても実用ランプには適用出来なかった。

管壁温度を異常に高くすること無く、放電空間における発光物質の密度を高くする方式が提案されている。(1) 図4.5.2-3に示すように、まず、ランプは垂直に点灯し、下側電極の根元を最冷部にする。発光物質は、通常よりも多量に封入する。さらに、下側電極の構造は、従来の構造と同様であるが、電極芯棒に巻いたコイルの巻きつけ長さを長くし、コイルの後端部が発光管の管端部に接する構造にする。この放電ランプを点灯すると、発光物質が溶融し、下側電極の根元に溶融発光物質の「池」が出来

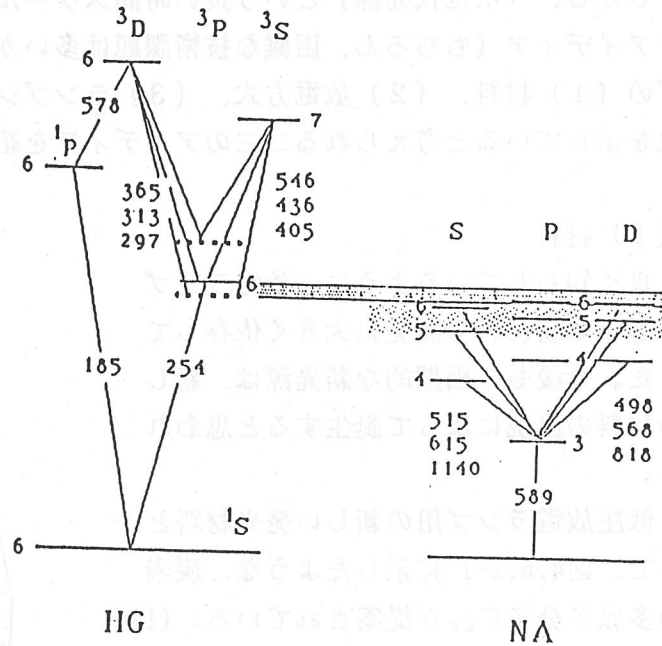


図2.5.2-2 HgとNa原子のエネルギー準位

る。電極芯棒に巻かれたコイルの後端部はこの「池」に浸っているのので、液状発光物質は、電極心棒とコイルの間を毛管現象によって電極先端部に向かって移動し、最冷部よりもはるかに温度の高い部分から蒸発する。従って、放電空間における発光物質の密度は、最冷部温度によって決まる密度よりも著しく高くなる。なお、放電空間から管壁に移動した発光物質は、管壁を流れ落ち「池」に戻る。この方式を用いることにより、従来は使用出来なかった蒸気圧の低い物質が使用出来るようになり、新光源の可能性が出てくる。

上記は、ほんの一例にすぎない。まだまだ埋もれていると考えられる興味有るアイデアと、周辺技術の進歩によって、画期的な新光源を実現できる可能性が有る。何時の日か、人魂を利用したコードレスのランプも実現するかも知れない。

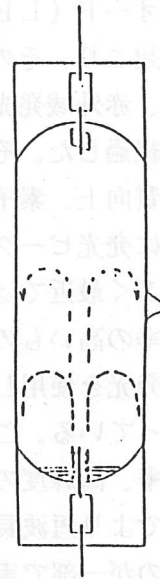
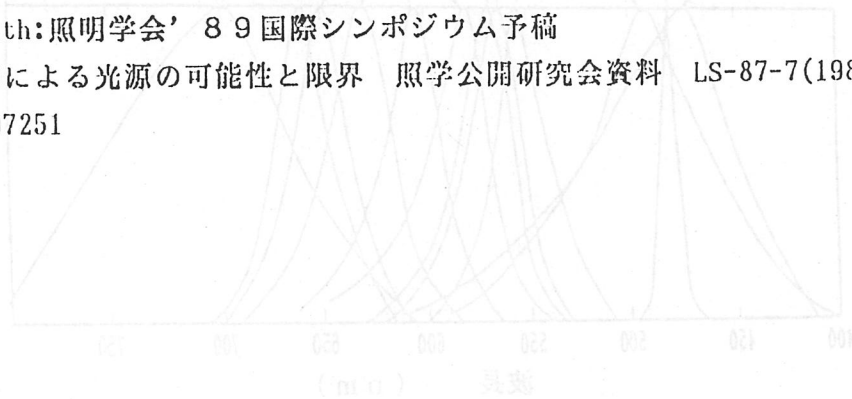


図2.5.2-3 非平衡蒸気圧式H I D

- (1) J.F. Waymouth: 照明学会' 89 国際シンポジウム予稿
- (2) 板谷: 放電による光源の可能性と限界 照学公開研究会資料 LS-87-7(1987)
- (3) 特開昭58-97251



4.5.3 発光ダイオード

(1) 現状技術

発光ダイオード (LED) は半導体のPN接合に順方向電流を流すと、自由電子と正孔の再結合が起こり、そのとき生じる余剰エネルギーを放射として放出する現象を利用したものであり、赤外域発光の素子が開発されて30数年、可視光発光の素子が実用化されて20数年が経過した。その間、LEDに適する材料の選定、発光効率を上げるための半導体材料の品質向上、素子構造の最適化がなされ、現在、表4.5.3.-1¹⁾に示す波長 940nm ~ 555 nmに発光ピークをもったLEDが、量産品として製品化されている。発光波長 660nm (ごく最近では 630nmも) 以上のLEDは直接遷移による発光が利用できおり、変換効率の高いものが得られている。発光波長 650nm ~ 555nmのLEDは間接遷移による発光を使用しているため変換効率が低い、幸いに視感度が高いため、実用的な製品になっている。このように光の三原色の赤、緑、青のうちで赤色LEDに関しては、十分に高効率、高輝度のものが開発されているが、緑色はピーク波長が 555nmであり、色純度の点でより短波長化と一層の高効率化が望まれる。青色LEDについてはSiCを使ったものが一部で実用化されているが、未だ高価であり、安価な素子の開発と一層の高効率化が必要である。図4.5.3.-1に可視波長域に発光するLEDについて発光の分光エネルギー分布を示す。図4.5.3-2 に高効率を得られる赤色LEDのダブルヘテロ構造とそのバンドモデルを示す²⁾。

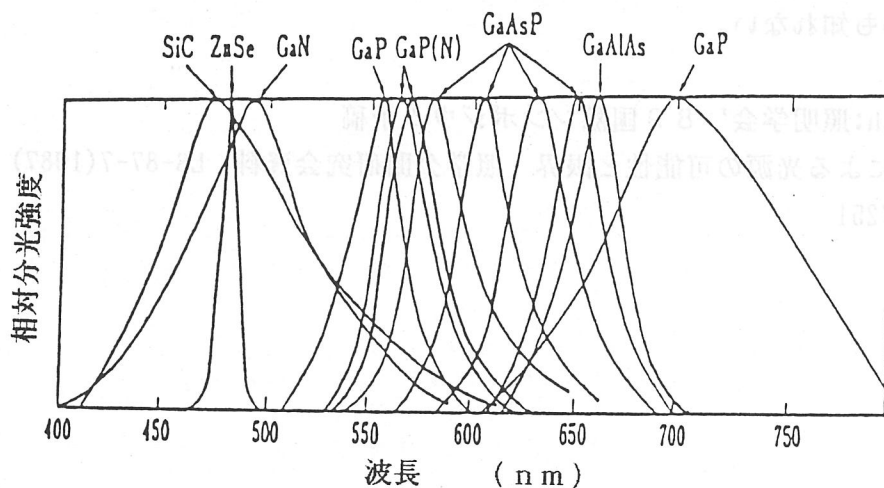


図 4.5.3-1 各種LEDの発光スペクトル¹⁾

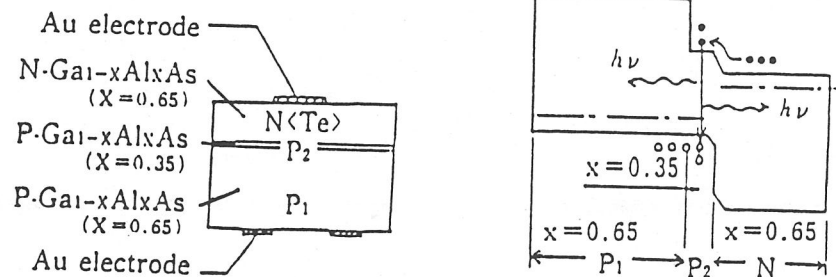


図 4.5.3-2 LEDのダブルヘテロ構造とエネルギー構造²⁾

表 4.5.3-1 LED 発光材料と発光波長および変換効率¹⁾

発光色	材 料		発光波長 (nm)	発光光度 (軸上光度) (mcd)	外部量子効率 (最高値) (%)	製造法
	結 晶	基 板				
赤 外	GaAs(Si)	GaAs	940	40 mW/sr	20	LPE
	GaAs(Zn)	GaAs	900	30 mW/sr	15	拡散
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As(Si)	GaAs	880	45 mW/sr	23	LPE(SH)
	Ga _{0.6} Al _{0.4} As	GaAlAs	850	85 mW/sr	28	LPE(DH)
赤	GaP(Zn O)	GaP	700	30	2	LPE
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAs	660	500	3	LPE(SH)
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAlAs	660	5,000	20	LPE(DH)
	GaAs _{0.6} P _{0.4}	GaAs	650	20	0.5	VPE+拡散
	GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	GaP	630	300	0.65	VPE+拡散
橙	GaAs _{0.25} P _{0.75} (N)	GaP	605	300	0.6	VPE+拡散
黄	GaAs _{0.1} P _{0.1} (N)	GaP	585	200	0.2	VPE+拡散
	GaP(N)	GaP	570	400	0.5	LPE
黄 緑 黄 緑 純 緑 色	GaP(N)	GaP	565	300	0.4	LPE
	GaP(N)	GaP	560	250	0.3	LPE
	GaP	GaP	550	200	0.2	LPE
青	GaN	Al ₂ O ₃	490	10	0.03	VPE(MIS)
	SiC	SiC	480	6	0.02	LPE
	ZnSe	ZnSe	480	4	0.03	LPE+拡散
	ZnS	ZnS	465	2	0.05	MIS

(注) ()内：ドーブ材

- LPE (LIQUID PHASE EPITAXY) 液相エピタキシャル
- VPE (VAPOR PHASE EPITAXY) 気相エピタキシャル
- SH SINGLE HETERO-接合
- DH DOUBLE HETERO-接合
- MIS METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR 構造

(2) 技術動向と展望

GaAlAsを材料とする赤色LEDは発光波長 660nmにおいて外部量子効率21%を得ている³⁾。これは組成比の最適化、エピタキシャル層の結晶性改良、P-N接合近傍とダブルヘテロ(DH)構造の最適化、さらに量産技術の確立などによるものである。内部量子効率は理論解析から限界に近づくといわれ、今後はパッケージ形状の検討により光の取り出し効率を向上させることが課題であると思われる。

GaPを材料とする緑色LEDは発光波長 555nmにおいて外部量子効率0.2%を得ているが間接遷移形のため飛躍的な向上は期待できない。GaPに代わる直接遷移形材料としてⅢ-V族化合物のInGaPとⅡ-VI族ZnTeがある。特に、ZnTeは現在の成長法ではP形結晶しか得られていないが、将来、蒸気圧制御法などによりPN接合からの発光が実現されれば発光効率の向上が期待される。

青色LEDについてはSiC、GaN、ZnS等いろいろな材料による研究が進められているが、SiC以外の材料については、未だ明るさが不十分でしかも再現性がよくないようである。Ⅳ-Ⅳ化合物のSiCは発光ピーク波長 480nmで、半値幅が広いため光色は青白色ではあるが、外部量子効率0.04%を得ている⁴⁾。SiCも緑色のGaPと同様、間接遷移形であるため大幅な効率向上は期待できない。将来、高効率の発光が期待できる直接遷移形材料としてはⅡ-VI族のZnSeがある。ZnSeは上記の緑色材料のZnTeとは反対に良好なP形半導体を得られにくい、構成元素の蒸気圧の制御によりP形結晶が実現され、PN接合による純青色発光が確認された⁵⁾。今後の開発の進展が待たれる。その他にもMOCVD法によりP形ZnSeを得た報告や⁶⁾MBE法によるPN接合からの発光の報告などがある⁷⁾。

今後の緑色、青色LEDの性能の向上のためには材料物性の解明、高品位高純度単結晶製作技術、高純度エピタキシャル成長技術、P-N不純物密度制御技術などの基礎技術の向上が求められる。

LEDは本質的に点光源であり、チップサイズは通常 300 μ m前後の方形であるが、光プリンタ用では 100 μ m間隔のアレイも実現されている。

現在、すでにLEDは、各種機器の表示、屋内外の情報板、道路標識、交通情報板、自動車のハイマウンテッドストップランプ(HMSL)、電車のテールランプのほか、液晶用バックライト、ファクシミリ用照明光源、プリンタ用書込み光源、複写機用電荷消去光源、などとして幅広く使われている。このように急速に普及した背景として、白熱電球と比べ長寿命、低消費電力、高速応答、単色性、小形軽量などの理由が上げられる。もしも現在の赤色LEDなみに安価な青色LEDが実用化されれば、フルカラー化により屋内外のディスプレイや表示装置にさらに多量に使用されることが期待される。

文献

- (1) 伊吹順章、他：「ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告」、照明学会誌、72-11(1989)675-680
- (2) 小山 稔：照明学会研究会資料LS-89-14(1989)30
- (3) 手島 透、高橋 香、坂田雅昭、吉田光春：電子材料、1983年7月号
- (4) K.Koga:Extended Abstract of 17th Conf.S.SDM(1985)249
- (5) J.Nishizawa,K.Itoh,Y.Okuno,F.Sakurai:J.Appl.Phys. 57(1985)2210
- (6) 安田 隆、三石 巖、終 元宏：第34回応用物理学会講演予稿集(1987年春)
- (7) K.Akiyama,T.Miyajima:OP-DET 4(1989)89

4.5.4 エレクトロルミネッセンス (EL)

(1) 現状技術

蛍光体に高電界を印加することにより、微小電流により励起され発光する現象を(狭義の)エレクトロルミネッセンス(EL)と呼び、蛍光体として、銅、マンガ、あるいは希土類元素などで付活したII-VI族化合物が用いられている。ELは蛍光体の形状によって分散形(厚膜形)と薄膜形に大別される。

(a) 分散形EL

分散形ELは、基本的には、ガラスまたはプラスチックの基板の上に透明電極(ITO)を付け、発光層と誘電体層とを塗布し、さらにその上に金属性電極をつけた構造よりなっている。発光層は高誘電率有機バインダ(例えば、シアノエチルセルローズ)に蛍光体粉末を分散したものが用いられる。さらに用途に応じて、吸湿層とプラスチック保護膜で覆われる。蛍光体は青緑色としてZnS:Cu系が、緑色としてZnS:Cu、Al系が、橙色としてZnS:Cu, Mn系のものが使われている。白色を得るためには青緑色の蛍光体に、青色発光の一部を橙色に変換する蛍光顔料を混合している。図4.5.4-1に上記、青緑色、緑色、橙色、白色LEDの発光の分光エネルギー分布を示す¹⁾。ELは印加電圧を高く、印加周波数を高くすれば、明るくなるが、寿命は短くなる。

分散形ELの場合、一般に100V-400Hz程度で点灯するが、固定電源で点灯すると点灯初期に抵抗が増大し入力電力が減少する性質があるので、インバータ回路で周波数調整をして、定電力で点灯することが行われ、それにより実質的に寿命を2~3倍に延ばすことができています。現在、白色ELで150~200cd/m²程度のものが実用段階にある。

分散形ELは均一な面発光をもつ光源として照明用、特に最近では液晶のバックライトとして使用され、また比較的簡単なディスプレイにも使われている。

(b) 薄膜形EL

薄膜形ELは基本的にはガラス基板に透明電極(ITO)、第1絶縁層、蛍光体層、第2絶縁層、電極を付けた積層構造になっている。絶縁層の材料としては、絶縁性の良いY₂O₃、SiO₂、Al₂O₃、Ta₂O₅、Si₃N₄などや、誘電率の高いSrTiO₃、BaTiO₃、PbTiO₃などが用いられている。蛍光体はディスプレイ用として、黄橙色のZnS:Mnや緑色のZnS:Tb、Fが実用化されている。薄膜形ELは輝度、寿命特性とも分散形ELより、格段に優れており、駆動回路や駆動用ICも開発され、マトリックス表示パネルとして実用化が進んでいる。

薄膜形ELはコストの点で、現在のところ応用はマトリックス表示用に限定されているが、量産体制が整えば高輝度の特長により液晶のバックライトとしても有望である。

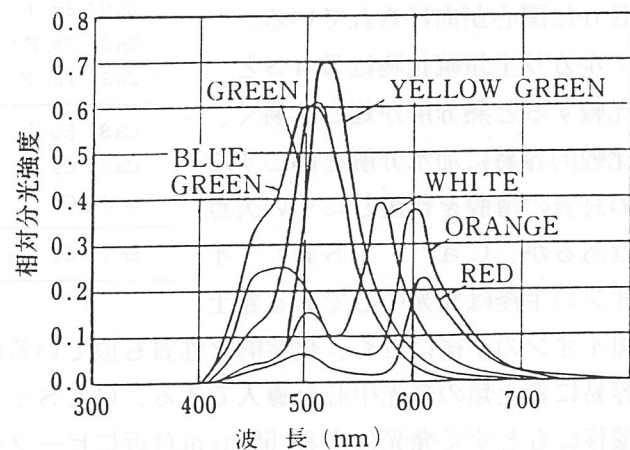


図 4.5.4-1 分散形ELの分光エネルギー分布¹⁾

(2) 技術動向と展望

(a) 分散形EL

分散形ELパネルは構造が簡単で量産性に富んでいるためモノクロ液晶バックライトとして、近年需要が急増しているが、まだ輝度が低く、輝度を上げようとするると寿命特性が悪くなる欠点がある。一層の高輝度化と長寿命化が求められており、蛍光体、バインダ、絶縁材料のそれぞれに対し改良が続けられており、水分による輝度劣化の防止対策も重要である。分散形ELの発光機構についてはまだ不明な点が多い。今後構成材料の相互作用の劣化メカニズムの解明により輝度低下の小さいEL素子が可能になるとと思われる。

(b) 薄膜形EL

薄膜形ELのフルカラー化はもっとも活発に研究が進められている。ZnSの母体中ではほとんどの希土類元素がEL発光を示し、その発光は希土類イオン固有の4f内殻電子の遷移による線スペクトルを示す。表4.5.4.-1に代表的な発光材料の輝度と効率の例を示す³⁾。ZnS:Tb, Fの緑色で

は実用的に十分な輝度のものが得られている。赤色もZnS:Sm, FのFをClに代えることにより、かなり純度の良い赤色が得られるようになったが、最近ではCaS:Euに関心が向けられている。

アルカリ土類硫化物はZnSと比較すると熱分解が起こり易く、比較的容易に加水分解を起こすため良質の薄膜を作製しにくい欠点はあるが、Ca²⁺、Sr²⁺イオンの半径は発光中心である希土

類イオンの半径に近く、化学的な性質も似ているため、CaS、SrSの母体中に比較的容易に希土類の発光中心を導入できる。CaS:EuはEu²⁺イオンの4f-5d許容遷移にもとづく発光による650nm付近にピークをもつ幅広いスペクトルをもち、色純度の良い赤色発光が得られる。現在のところ1kHzの駆動周波数で300cd/m²と、ZnS:Smと同程度の輝度が得られている。発光輝度を改善する一方法としてCaS:Se:Euが提案されている。この素子は発光のピーク波長が610nm近辺にあり、1kHzで650cd/m²の発光輝度が得られている²⁾。

青色用発光材料としてはZnS:Tm, ZnS:Ag、ZnS:Cuが考えられるが、これらでは、まだ実用的な輝度は得られていない。むしろSrS:Ceが有望と考えられている。SrS:Ce³⁺の発光スペクトルは490nm近辺にピーク波長を持ち、長波長側に広く分布した発光を示し、そのため青緑色となり。色純度は良くないが青色系の材料としては1kHzの駆動周波数で600cd/m²の高輝度が得られている³⁾。青色については、もっと色純度の良い発光材料が開発されることが望まれる。

白色用発光材料としては、ZnS:Pr、ZnS:Pr, Tb、SrS:Pr、SrS:Ce, Euなどが検討されている。発光中心であるPrは490nmの青色と、650nmの

表 4.5.4-1 カラー薄膜EL素子の発光色と輝度³⁾
(駆動周波数5kHz)

EL 材料	発光色	輝度 (cd/m ²)	効率 (lm/W)
ZnS: Mn	黄 橙 色	5,000~10,000	1~5
ZnS: Sm, F	橙 赤 色	600	0.05
ZnS: Tb, F	緑 色	5,000	1.0~1.5
ZnS: Tm, F	青 色	10	0.003
CaS: Eu	赤 色	900	0.05
CaS: Ce	緑 色	650	0.11
SrS: Ce	青 色	1,600	0.3
SrS: Ce, Eu	白 色	1,500	0.1

赤色に発光ピークをもち、互いに補色の関係にあるため視覚的には白色になる。しかし緑色成分がないため用途に限られる。SrS:Ce, EuはCeの青緑色とEuの赤色とにより白色が得られ、両者の発光スペクトルがブロードなため、可視域全域をカバーする白色となる。輝度は1kHzの駆動周波数で500cd/m²が得られている⁴⁾。

フルカラーELパネルを製作するには赤、緑、青の3原色の発光層をパターン化して作る方法が考えられるが、各発光層のしきい値電圧と輝度が異なり、また寿命特性も異なるため、駆動回路が複雑になることが予測される。むしろ白色蛍光体にカラーフィルターを組合せる方が実現容易と考えられる。そのためにも上記白色発光層の一層の輝度向上が望まれる。

最近では無機材料の発光膜に代わって有機材料を発光膜に用いた有機薄膜EL素子も発表されている。この方法では正孔伝導性材料であるジアミンと8-Alヒドロキシキノリンの有機蛍光体膜の発光層をもち、1000cd/m²以上の緑色発光輝度、1.5lm/Wの発光効率を得ている⁵⁾。さらに表4.5.4-2に示すように青色から赤色間での可視域にわたって高い発光効率で発光する有機材料が実現しており⁶⁾、新しい有機オプトエレクトロニクス素子として注目されている。

表 4.5.4-2 有機薄膜発光材料の例⁶⁾

発 光 色	材 料
赤 (橙)	ペリレン (誘導体) Alq ₃ +ピラン (DCM)
黄 緑	フタロペリノン誘導体 8-Al ヒドロキシキノリン コロネン
青	アントラセン+テトラセン アントラセン シクロペンタジエン

またJ. F. Waymouthは、薄膜EL中における電子の運動エネルギーの損失機構の考察からエネルギー損失を抑えるため、一辺約300nmの立方体の形状にして、できるだけ周囲から音響的に切り離すことを提案している。Waymouthの提案の構成⁷⁾を実用化するには、周辺技術において今後確立すべき要素も多いと考えられるが新しい観点からの提案として注目される

文献

- (1) 松原 修：照学誌、72-11(1989)729-733
- (2) T. Yoshioka, Y. Sano, K. Nunoshita & C. Tani: SID'89 Digest(1989)p313
- (3) S. Tanaka, H. Deguchi, Y. Mikami, M. Shiiki & H. Kobayashi: SID '86 Digest(1986)p29
- (4) S. Tanaka et al: SID '89 Digest(1989)p324
- (5) C. W. Tang, s. A. Vanslyke: Appl. Phys. Letters, 51(1987)913
- (6) 石子雅康：照明学会公開研究会資料MD-89-46(1989)30
- (7) J. F. Waymouth：1989年照明学会国際シンポジウム予稿（1989年11月）

4.5.5 フォトルミネッセンス

(1) 可視光放出方式の見直し

放射を励起源に用いる励起方式では、もし蛍光体の特性吸収帯（増感イオンまたは発光イオンの吸収帯）を選択励起できれば、他の励起方式、例えば電子線励起や電界励起と比較して格段に優れた変換効率が得られる。残念ながら現用の蛍光体では、励起に利用できる波長が限られているため、Hg 254nm線（ $\sim 4.9\text{eV}$ ）で励起してエネルギーが約 1/2の可視光を得ようとする、残りの1/2は熱損失となる。汎用蛍光ランプのUV変換効率は約60%¹⁾であるから、蛍光体の量子効率 q (=発光光子数/吸収光子数)を1と仮定しても、可視光へのエネルギー変換効率 η (=発光パワー/入力パワー)は30%を越えない。所定の励起エネルギーに対して、この種の熱損失を低減するには、

- (a) 1個のUV放射(photon)を吸収して、カスケード式に複数個の可視光を放出する、
- (b) 高エネルギーの紫外線を2分割して、等エネルギーの2個の可視光を放出する、
- (c) 複数個の低エネルギー赤外線吸収して、1個の可視光を放出する、

などの方式が考えられる²⁾。(a)、(b)はともに $q > 1$ の蛍光体であり所定の励起エネルギーに近い発光開始準位を利用することにより、熱損失分を低減させ、 η を向上させる方式である。因みに現用の3波長域発光形蛍光ランプでは希土類蛍光体の254nm励起の量子効率は $q=0.80\sim 0.95$ である。一方、(c)は(a)、(b)と変換機構を異にし、赤外 \rightarrow 可視変換による赤外放射成分の再利用策である。図4.5.5-1に、一般照明用蛍光ランプを想定した場合の可視光放出方式を模式的に示した。

(2) 具体例と問題点

前節(a)のカスケード形蛍光体と(b)の高エネルギー光分割形蛍光体については1957年に $q > 1$ の可能性を論じたDexter

理論³⁾が発表されており、以来、数件の検証例がある。以下に検証例を要約し、また(c)について述べる。

(a) $\text{YF}_3 : \text{Pr}^{3+}$ Pr^{3+} の発光遷移を図4.5.5-2(a)に示した。185nm励起では、 $^1\text{S}_0$ から405nmの光子を放出した後 $^3\text{P}_0$ から470 \sim 705nmの光子を放出する2光子放出形蛍光体を得られる⁴⁾⁵⁾。量子効率は $q=1.4$ である⁵⁾。

(b) $\text{CaF}_2 : \text{Mn}^{2+}, \text{Yb}^{3+}$ 発光遷移エネルギーは Mn^{2+} が 21000cm^{-1} 、 Yb^{3+} がその約1/2の 10000cm^{-1} である。従って1個の Mn^{2+} から等距離に2個の Yb^{3+} を配置すればphoton 2分割の可能性はある。実験では Yb^{3+} の等距離配置が難しく⁶⁾今日

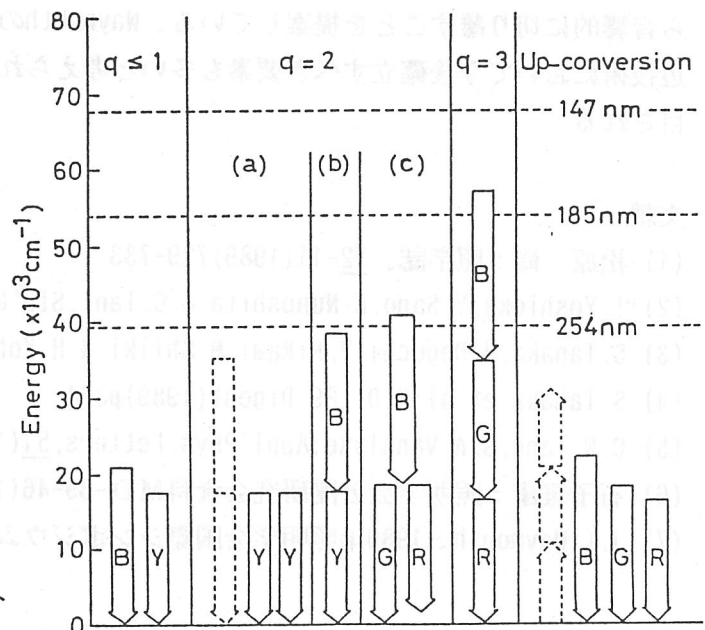


図 4.5.5-1 一般照明用蛍光ランプを想定した場合の可視光放出方式
(q : 蛍光体の量子効率、147nm : Xe共鳴線)

まで $q > 1$ の成功例はない。

(c) $YF_3 : Yb^{3+}, Er^{3+}$ 、 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 系の吸収と発光遷移を図4.5.5-2(b)に示す。 Yb^{3+} の吸収帯は0.9 ~ 1 μm に分布し、この領域の光を順次2個吸収して Er^{3+} を励起すると緑色発光が得られる。2段階励起では励起密度の2乗、3段階励起では3乗に比例した発光強度となるのがこの系の特徴である⁷⁾が、赤外→可視変換効率は $\sim 10^{-4}$ と低い。

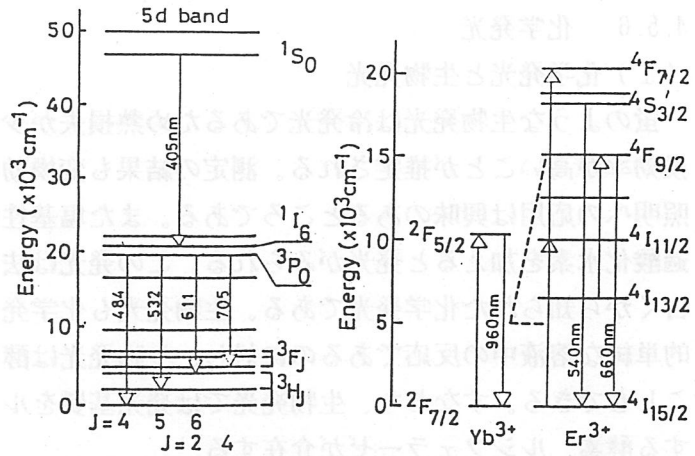
(d) 問題点 (a) ~ (c) の特性は弗化物系母体で良好な点に注意したい。結晶場が弱い弗化物系では、 Pr^{3+} 、 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 等の固有の特性が得られやすい半面、粉体では 185nm(6.7eV) の放射により母体着色(カラーセンター)が生じやすい、また、蛍光体塗布後の空气中ベーキングに対して変質しやすいなどの欠点がある。一方、着色やベーキングに耐性の現用オキソ酸塩系母体では、結晶場が強くなり弗化物系なみの特性を得るのは難しい。(a) ~ (c) の蛍光体がこれまで脚光を浴びなかった理由は、これらの点にあると考えられる。

(3) 今後の課題

1個のUV放射を2個の可視光に変換できる蛍光体や、無駄な赤外放射を再利用できる蛍光体は、蛍光ランプの効率倍増の可能性を秘めており、魅力的な材料といえよう。効率倍増の指摘は過去にもあった^{8,9)}が、詳細な検討例は見当たらない。新光源へのブレイクスルーを蛍光体サイドから見出すには、(a) ~ (c) の再検討が望まれる。實際上(c)の特性改善の期待は薄い、 $q > 1$ を実現しうる(a)と(b)への期待は大きい。具体的には「オキソ酸塩系の新規蛍光体を用いて弗化物系なみの弱い結晶場が得られるか否か。弗化物系に固執する場合は、着色やベーキングに耐性の蛍光体表面改質技術¹⁰⁾をより安価で、波及性のある技術と成し得るか否か」が今後の検討課題になるであろう。

参考文献

- (1) W. Elenbaas ; "Light Source" (Crane, Russac & Co. Inc., NY, 1972) p. 106
- (2) 谷水 ; 照学研究会資料LS-89-18(1989), 第229回蛍光体同学会予稿(1990) p. 19
- (3) D. L. Dexter ; Phys. Rev. : 108 (1957) 630
- (4) J. L. Sommerdijk, A. Brill and A. W. deJager ; J. Luminescence 8 (1974) 341
- (5) W. W. Piper, J. A. DeLuca and F. S. Ham ; J. Luminescence 8 (1974) 344
- (6) J. A. DeLuca and F. S. Ham ; J. Electrochem. Soc. 124 (1977) 1592
- (7) 蛍光体同学会編 ; 「蛍光体ハンドブック」(オーム社、1987) p. 342
- (8) Electronic Contractor(USA), June 1985, p. 59
- (9) J. F. Waymouth ; 照明学会国際シンポジウム(1989)招待講演
- (10) 例えば、US Patent 4,585,673(April 29, 1986), 4,797,594(Jan. 10, 1989)



(a) Pr^{3+} の発光遷移。 (b) Yb^{3+}, Er^{3+} 系の吸収と発光遷移。

図 4.5.5-1 カスケード式2光子発光(a)と赤外線による2段階励起の構造例(b)

4.5.6 化学発光

(1) 化学発光と生物発光

蛍のような生物発光は冷発光であるため熱損失が少なく、化学エネルギーから光への変換効率が高いことが推定される。測定の結果も変換効率の高さが裏付けられており、この照明への応用は興味のあるところである。また塩基性ルミノールの溶液に触媒の存在下で過酸化水素を加えると発光がみられる。この発光は法医学で血痕の検出などに用いられ、古くから知られた化学発光である。生物発光も化学発光の一種であるが、化学発光が比較的単純な溶液中の反応であるのに対し、生物発光は酵素表面における反応として区別することもできる。すなわち、生物発光では発光基質をルシフェリンといい、発光反応を触媒する酵素、ルシフェラーゼが介在する¹⁾。

(2) 化学発光の照明への応用

生物発光の特長は発光量子効率（反応により発光される光子数/反応分子数）が表4.5.6-1に示すように、きわめて高いことで、蛍でほぼ1に近いことである。これは生物発光の場合、酵素表面で反応が起こるので反応によって解放されるエネルギーが効率よく蛍光性分子に伝達されるためである。

一方、ルミノール反応などの古くから知られている化学発光は直接化学発光であるが、この発光の量子効率は高くても数%である。これに対し、間接化学発光は比較的最近発見された発光様式で、化学発光としては非常に量子効率が高いことが特長である。図4.5.6-1に発光機構図を示す。

発光量子効率の高い間接形化学発光の出現により、化学発光光源が実用化されるようになった。この化学発光光源はポリエチレン容器にガラスのアンブルが内蔵されており、アンブル外液には反応物質ビス〔2, 4, 5-トリクロロ-6-カルボトキシフェルオキサレート〕(TCPO)と蛍光物質、例えば9, 10-[フェニルエチニル]アントラセン(BPEA)をジブチルフタレートに溶かした液を、内液には過酸化水素と触媒テトラブチルアンモニウムサリシレート(TBAS)を3-メチル-3-ペンタノールに溶かした液が入っている²⁾。使用時に、容器を折り曲げてガラスアンブルを割り、両液を混合すると蛍光物質が発光する。用いる蛍光体を選ぶことにより、いろいろ

表 4.5.6-1 種々の発光反応の発光量子収率

	量子収率
化学発光	
ルミノール (直接化学発光)	0.036
過シュウ酸エステル 化学発光系 (間接化学発光)	0.34
生物発光	
バクテリア	0.12~0.17
ウミシイタケ	0.05
オワンクラゲ	0.23
ウミホタル	0.28, 0.4
ホタル	0.88

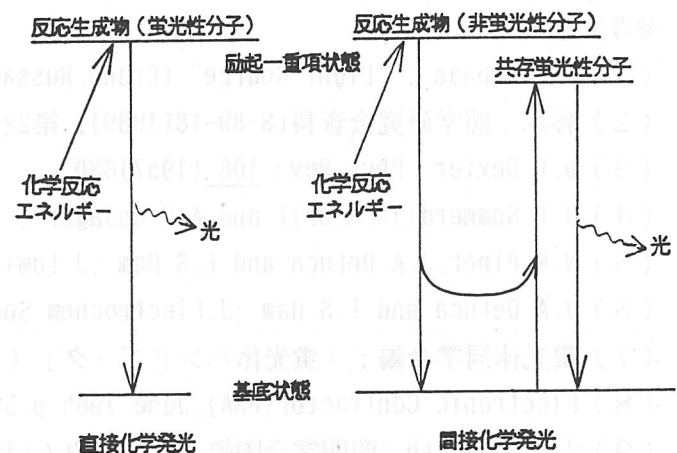


図 4.5.6-1 直接化学発光と間接化学発光

の色を発光させることができる。発光は通常8～10時間持続するように触媒の量が調節されているが、触媒を増加することにより、短時間に強い発光を得ることも可能である。これは非常灯、装飾灯として、また小形化したものが釣り用の浮子や玩具として製品化されている。

化学発光の利点は、系が単純なこと、いろいろな光色が得られること、液体の発光であるため自由な形態がとれる、独立した発光体であるから任意の場所に置ける、熱がほとんどでない、などである。欠点として、一般照明に用いるほど大光量が得られない、単位光量あたりの価格が高い、などである。

一方、生物発光は発光量子効率が高いものが多く、その点で興味がある。しかし生物発光に必要な、ルシフェリンは低分子化合物であるため技術的には化学合成可能であるが非常に高価である。また触媒のルシフェラーゼは蛋白質であり、生体から抽出している。最近の遺伝子工学の発達により大腸菌に生産させることが可能になったルシフェラーゼもいくつつかあるが、なおきわめて高価であり、照明に使うには至っていない。

上述のように化学発光光源は発光系としては既にかなり完成度の高いものが開発されている。しかし、さらに触媒の出し入れなどにより必要な時間だけ発光させるような改良が考えられるし、さらに効率の良い、安価な発光物質の開発も考えられる。

生物発光は近未来では照明への応用は困難であろうが、品種改良や遺伝子工学の応用により、観賞用生物の開発は考えられるし、発光生物の発光機構を研究することにより、より量子効率の高い発光系を開発するためのヒントが得られると考えられる。

文献

- (1) 笠井佐夫：照学研究会資料L S-89-17(1989)
- (2) 神谷 功：照学研究会資料L S-89-16(1989)

4.5.7 レーザ

1960年にルビーレーザーが開発されて以来、時代の要求にあった新技術として研究注力がなされた結果、新発振線の確認とレーザー遷移の同程が相次ぎ、その数は1960年代で、すでに無限にあると言われるまでになった。しかし励起方法、発振効率などの動作条件に実用的な枠を設けると、その数は激減するというのが現状である。

レーザーは、誘導放出作用によりコヒーレント光が高効率で得られることを基本的特長としており、この特長の満足度が低い場合には優位性が下がる。照明という観点からレーザーをみると、コヒーレント性を要求されることは少なく、高効率や使い易さなどの条件が優先する。ここでは、ある程度このような条件を考慮して、可視および紫外波長域で発振するレーザーを中心として技術動向をまとめる。

表4.5.7-1に、主要なレーザーについて代表的な強度と変換効率を示す¹⁾。

(1) 気体レーザー

励起方法は、研究段階では多様なレーザー発振ができ、励起機構の解明が比較的容易であるため電子ビームを用いる例も多いが、実用段階では放電励起方式に限られる。

He-Neレーザーは最初に登場したガスレーザーであり、波長632.8nmの赤色で安定な連続発振が得られる。Heの準安定準位を使ってNeの発光準位を効率よく励起しており、出力は放電長が2m近いレーザー管を用いて製品レベルで0.1W以上を得た例もあるが²⁾、最も一般的なのは出力数mWの内部ミラー方式のものでバーコードリーダ、プリンタなどの情報処理機器や、種々の計測機器に使われている。動作条件の例を挙げると、レーザー管電圧1100V、放電電流6mAで1mW以上の出力が得られるので、効率は0.02%程度と概算される³⁾。He-Neレーザーは簡便である特長があるため、波長543.1nmの緑色で発振するレーザー管も最近製品化されたが、さらに低効率であるため用途が限られている⁴⁾。簡便性の点でより優れた半導体レーザーの短波長化が進んだため、現在ではHe-Neレーザーの新規開発はほとんど行われていない。

アルゴン(イオン)レーザー、クリプトン(イオン)レーザーも安定な連続発振が得られ、前者では青緑色域から近紫外域において、後者では近赤外域から近紫外域において多数の発振線がある。研究室的には出力100W以上の記録値が報告され⁵⁾、50W出力の装置が市販されたこともあるが、一般には最大25W程度の装置が市販されている⁶⁾(いずれも全発振線同時発振の出力)。出力1W以下の空冷方式の装置が高速プリンタなどの情報処理機器用として、一方、大出力装置は眼科コアギュレータなどの医療用や、半導体プロセスの研究用などに多く使われている。この波長域で連続、安定に大出力が得られるレーザーが他に無いのため、効率は低いが多様な用途が考えられており、実用化を可能にすべく性能向上の努力が続けられている。

He-CdレーザーおよびCu(Au)レーザーは、いずれも放電による自己加熱か、外部ヒータにより必要な温度に金属を加熱、蒸気化して発振させる気体レーザーである。他の金属によるレーザー発振も研究としては数多くあるが、実用的に意味があるのは現在のところ、これらのみである。He-Cdレーザーは、アルゴンレーザーより短波長での連続発振が可能であり、国内外の数社で製品化されているが、性能的にも多くは望めず、用途も限定されている。Cuレーザーは、原子法レーザーウラン濃縮に色素レーザーの励起光源として使うとい

表 4.5.7-1 可視域および紫外域の主要レーザの出力と効率

分類	レーザ材料	波長(nm)	出力(W)	効率 (%)	備考
気体	He - Ne	632.8	0.1	0.05	CW (連続発振)
		543.1	0.001	0.005	原子準位 短波長発振化
	Ar イオン	799.3 ~	100	0.1	CW イオン準位 小形化長寿命化
		351.1			
	He - Cd	441.6	0.02	0.1	CW
325.0 他		0.005	0.01	イオン準位 大出力高効率化	
Cu 蒸気	578 510	200	0.1	パルス 原子準位 長寿命高効率化	
Xe Cl Kr F	308	200	3	パルス エキシマ	
	248				
液体	各種色素	可変	20	30	CW レーザ、光励起
固体	Cr : ルビー	694.3	50J/PULSE	1	パルス 技術的に飽和
	Ti : サファイア	可変 (> 670)	17	30	CW レーザ光励起 材料均質化
	Cr : アレキサー ンドライト	可変 (800-700)	100	3	CW 材料均質化
半導体	GaAlAs	可変 (> 700)	1	30	CW 大出力化
	GaAlInP	可変 (> 660)	0.005	10	CW 短波長大出力化
その他	自由電子	可変 (可視、紫外)	発振確認		CW可
	非線形光学素子	波長変換		変換70%	高調波発生

う特殊な目的で5～6年前より開発が加速され、国内においても最近、平均出力100W以上の研究用装置が発表されており⁶⁾、長寿命化や高効率化が課題とされ、大規模な開発が進められている。

赤外域の気体レーザーではCO₂レーザー(10.6μm)が効率がよく、大出力が得やすいため、出力100W以下のものが外科手術用などの用途に、また500W～20kW出力のものが熱加工分野に多用されている。

XeClで代表される、希ガスとハロゲンガスの組合わせで得られるエキシマ(Excited Dimerの略称)は紫外域にて大出力、高効率の発振が得られ、現在もっとも開発に注力されている気体レーザーである。レーザー発振に必要な条件を長時間は維持できず、通常は数10nsの短パルス幅でのみ、発振がえられる。最近、出力750W、パルス繰返し数500Hzの記録値が報告され、世界的に研究開発に激しい先陣争いが展開されている⁷⁾。

エキシマレーザーは光誘起化学反応用光源として半導体プロセスや新機能材料の創製などの産業用に将来、有用になると考えられ、国内では大形プロジェクトとして、大出力化や高繰返し化を目指して放電安定化、光学素子、励起電源、ガス循環・再生系などの要素技術が総合的に開発されつつある。平均出力150W、パルス繰返し数1kHz程度の装置がすでに製品化されている⁸⁾。希ガス-ハロゲン系エキシマレーザーでは、他にXeF(351nm)、KrF(248nm)、KrCl(222nm)、ArF(193nm)などが、ガス交換だけで同じ装置により発振させることができるが、これ以外のエキシマレーザーは数多く発振動作の研究報告はあるが、出力、効率ともに低いとか、簡便な放電励起ができないなどの理由から研究段階を出ていない。また従来、簡便な紫外光源として主に研究用に使われてきた短パルス発振N₂レーザー(337nm)は、エキシマレーザーの登場で影が薄くなった。

(2) 液体レーザー

液体レーザーの場合は、放電による励起方法は使えないため、通常ほかの放電灯やレーザーを使って光励起が行われる。液体レーザーはレーザー媒質の選択や調整が容易であることから、当初は有望なレーザーとして多くの研究投入が行われたが、一方では化学的に変化し易く、取扱いにくいなどの短所もあり、現在は波長可変性のある有機色素レーザーのみが生き残っている。

これまでにレーザー発振が確認されている色素は600種以上を数え、波長域は300nm～1400nmにわたると言われている¹⁾。最も多用されている色素は、発振効率が動作条件によっては50%にも達し(レーザー励起の場合)、化学的にも安定であり、かつ安価なロードミン6Gである。溶液を高速で流すことにより長時間の大出力動作が可能であり、大出力のCuレーザー励起では10Wを越える研究成果も報告されている⁹⁾。発振波長域が広いことからモードロッキングによりヘムト秒域の超短パルスレーザー発振も可能であり、超高速現象の研究にも多く使われている。

(3) 固体レーザー

以前は、直接レーザー発振できる固体レーザーは材料の吸収が大きいなどの理由からNdイオンを発光種とするYAG(Yttrium Aluminium Garnet)レーザー、ガラスレーザーおよびCrイオンを発光種とするルビーレーザーに限られていた。しかし1980年代になり、レーザーの応用が急速に進むにつれて、レーザー材料の開発も見直され、まず800nm～700

nm域で波長可変のアレキサンドライト ($\text{Cr}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$) レーザが登場した。これは常温で放電ランプによる励起で連続発振ができ、発振効率もYAGレーザと同程度の数%以上がえられるという注目すべきレーザであり、実用化が期待されている¹⁹⁾ この開発が引金となり、放電ランプ励起ではエメラルド ($\text{Cr}:\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$)、GSGG ($\text{Cr}:\text{Gd}_3(\text{ScGa})_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)、GSAG ($\text{Cr}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$) など同波長域でレーザ発振が可能との研究報告が相次ぎ、現在は“新固体レーザ”時代が開幕した観がある。しかしながら固体レーザの応用は産業分野での加工用が大半を占めるので、既に実用化が定着しているYAGレーザに対して総合的機能でいかなる優位性を出すかが今後の技術課題と思われる。

ごく最近、チタンを発光種としたサファイア ($\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$) で、結晶育成技術の向上から700nm~1000nmの広い範囲において波長が可変で、高効率の発振ができることが示された。研究室的値ではアルゴンレーザ励起にて、入力54Wに対し17Wの連続発振を得ており、また放電ランプ励起によるレーザ発振がホットニュースとして発表されている^{11, 12)}。

(4) 半導体レーザ、他

半導体レーザは、入力電力からの変換効率が数10%にも達するものがあり、効率が格段に高いこと、きわめて小さく出来ることなどの利点があり、現在、大出力化と短波長化が主要な研究開発課題となっている。大出力化では、GaAlAsにより1W¹³⁾、また活性層をアレイ構造にしたものでは10Wの出力が製品化され、レーザエネルギーの応用分野でも実用化が考えられるようになった¹⁴⁾。

この用途の一つとして、固体レーザ励起用光源に使い、固体レーザを高効率化、小形化する試みが注目されている。最近の研究記録値では1cmのアレイを0℃に冷却して、連続出力75Wを得た報告がある¹⁵⁾。また2次元での面発光素子の開発も行われている。一方、短波長化ではGaAlInPにより、最近、640nm程度までの発振が可能となり、出力はまだ数mWレベルであるが、今後さらに、短波長化と大出力かの開発が加速されるであろう¹⁶⁾。

特殊発光機構によるレーザとして加速器により高速に加速した自由電子からの制動放射光 (SOR) をレーザ動作させる自由電子レーザ (FEL: Free Electron Laser) と、波長変換ができる非線形光学材料とがある。前者は電子の速度や軌道の制御 (アンジュレータ) により、原理的には全波長域での発振が可能であり、多くの国内外機関で大規模な研究が進行あるいは計画されている¹⁷⁾。可視域でのレーザ動作の確認は既になされ、用途の多い可視波長域以下の短波長の発振が重要課題となっている。非線形光学素子も二次高調波用のKTP (KTiOPO_4)、三次高調波用のBBO (BaB_2O_4) などの変換効率の高い良質な結晶が開発され、高調波発生、周波数混合が広い波長域で可能となっている¹⁸⁾。

文献

- (1) レーザ学会編: 「レーザーハンドブック」オーム社 (1988) p189-316
- (2) 磯部皖一: O plus E, no. 121 (Dec. 1989) 81-85
- (3) 根本俊雄、他編: 「最新光システム総合技術」R&Dプランニング, (1987) 76-99

- (4) L.M.Holmes, et al: Laser Focus World, 25-9(Sept. 1989)73-88
- (5) 笠松充男: 電総研彙報、41(1977)938-944
- (6) 綾 啓一、他: レーザ学会10回年次大会講演予稿集 (1990)32
- (7) Laser Focus World, 26-1(1990)9
- (8) Lasers & Optronics, 1990 Buying Guide(1990)
- (9) 西村秀知、他: レーザ学会10回年次大会講演予稿集 (1990)36
- (10) 山田明孝、他: 東芝レビュー、42-7(1987)521-524
- (11) Y.A.Carts: Laser Focus World, 25-9(1989)73-88
- (12) Y.A.Carts: Laser Focus World, 25-8(1989)21-24
- (13) オプトロニクス、no. 94(1989-10)104-144
- (14) C.T.Forrest: Laser Focus World, 26-1(1990)113-119
- (15) Lasers & Optronics, 8, -6(1989)22
- (16) 日刊工業新聞 '90-2-13
- (17) 日刊工業新聞 '90-2-12
- (18) C.Chen: Laser Focus World, 25-11(1989)129-137

4.5.8 シンクロトロン放射

光速に近い、高エネルギーの電子が磁場によって曲げられたとき、電子の進行接線方向に放出される光がシンクロトロン放射である（国際的にはSynchrotron Radiation といひ、通常SRと略記するが、日本国内ではSynchrotron Orbital Radiation といひ、SORと略記している）

シンクロトロン放射（SOR）を得るための装置は通常、電子加速装置と、電子を蓄えSORを得るための電子蓄積リングとからなる。SORは電子を電子集団として加速し、蓄積リングに蓄えた電子集団に磁界を印加して曲げることにより、高繰返し周波数のパルス状電界を放出させるものであるから、一般にはその波長成分は連続スペクトルになるが、アンジュレータを用いることにより単色光を得ることもできる。

SORの特徴を挙げると

- (1) 硬X線から遠赤外線までの広範囲の連続スペクトルをもつ、
- (2) 指向性が良い。指向性はほぼ電子エネルギーに比例して良くなり、1 GeVのとき2分の1 miliradian程度である、
- (3) 真空紫外域およびX線の光源として従来光源よりはるかに（1桁以上）強力である、
- (4) 軌道面内の光は軌道面に平行な直線偏光である、
- (5) スペクトル、輝度などの発光特性は古典電磁気学の理論で計算でき、実測と良く一致する、などである。

SORの放射特性は、電子エネルギーE、偏向磁場B、通過電流Iに依存するが、特に電子エネルギーEへの依存度が大きい。例えばピーク波長 λ_p は $0.783/(E^2 B)$ であり、ピーク波長光の軌道面内の放射強度は $3.55 \times 10^3 E^6 B I$ (W/r² /nm) である¹⁾。

図4.5.8-1 に電子エネルギーをパラメータとして分光エネルギー分布を示す²⁾。蓄積リングの直線部分に極性の異なる磁場を交互にかけ、放射光を多重させて強力な光を得るようにしたものにウイグラー(wiggler)とアンジュレータ(undulator)がある。連続スペクトルが得られるものをウイグラーと呼び、干渉作用によって単色光を得られるものをアンジュレータと呼んでいる（自由電子レーザー）。

SORは非常に多くの分野への応用が考えられている。主なものを挙げると、

- (1) 標準光源
- (2) 半導体のリソグラフィ、等その他
- (3) 分光研究：短波長域における吸収、反射、回折、散乱などの特性から物質の微細構造の解析
- (4) X線蛍光微量分析：強力なX線により超微量、局所分析
- (5) 照射効果：光励起による発光、解離、蛍光等による化学現象の解析、生物現象の解明
- (6) 医学診断：よう素などの特定元素のX線吸収を利用することにより、

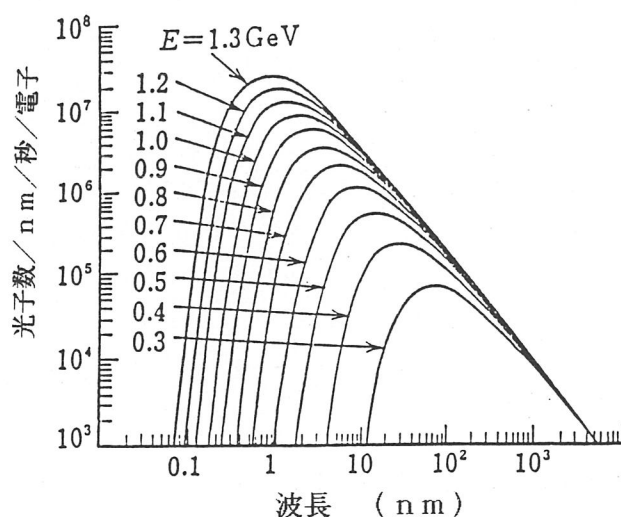


図 4.5.8-1 半径4 mの円軌道を回る電子から放射される光子数分布（分光分布）

血管など特定臓器の映像を鮮明に得ることができる。

SOR発生装置は現在、高エネルギー装置として国内では2.5 GeV装置が（高エネルギー研）、国外では3.7 GeV（西独）、3.0 GeV（米国）の装置が稼働しており、国内の低エネルギー装置としては0.23 GeV（電総研）、0.38 GeV（物性研）の装置などがある。今後、建設計画中の装置は、より大形、高エネルギー化の方向と小形で低価格の方向があり、研究ツールおよび産業用ツールとしてますます普及していくものと期待される。

文献

- (1) 篠崎俊昭、池田正幸：電子材料、1989年2月号p53-58
- (2) 波岡 武、他：「光源の特性と使い方」学会出版センター(1985)P122

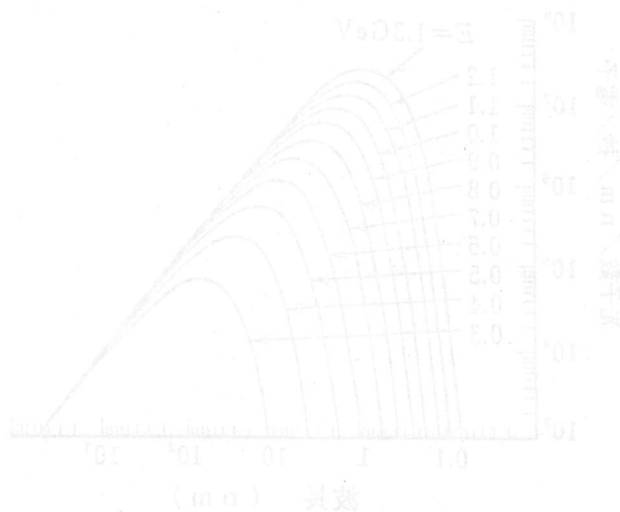


図4-8-1 1.3 GeV SORの放射線スペクトル（単位：光子/cm²・nm・sec）

- (1) 放射線
- (2) 半導体のVMA
- (3) 放射線による材料の劣化
- (4) 放射線による材料の劣化
- (5) 放射線による材料の劣化
- (6) 放射線による材料の劣化
- (7) 放射線による材料の劣化
- (8) 放射線による材料の劣化
- (9) 放射線による材料の劣化
- (10) 放射線による材料の劣化

5. あとがき

1990年はわが国で初めて白熱電球が製造・実用化されて100年、蛍光ランプが法隆寺の壁画模写用照明に使用されて50年の記念すべき年である。この間の光源の発達は何れも驚きがあり、電気の光は社会の発展と人間生活に大きな影響を与えてきた。近年、照明の普及とともに、照明への関心が深まり、自然光とともに人工光によってつくられる光環境の改善が重要な課題となっている。それは、目的にふさわしい照明、すなわち、オフィスでは見やすい照明、住宅ではくつろぎの照明、店舗では商品をよく見せる照明、道路では安全な照明などである。今後、人工光が主体の分野では、それぞれに適した光源および関連装置・システム（これを簡略化して「光源システム」と呼ぶことにした）の発達が進み、社会のニーズに応じて行くであろう。

21世紀まであと10年を残すのみとなった。現在、実用化されている光源として、白熱電球、ハロゲン電球、蛍光ランプ、HIDランプ、ナトリウムランプなどがあり、これらの光源が視覚支援の照明用のみでなく、紫外放射から赤外放射にいたる種々の放射応用光源が工業、農水産、医療などの分野に応用されている。これらの光源について、21世紀を見通す「光源システムの技術動向と展望」をまとめることは意義のあることと考えられ、当委員会が発足した。

当報告書の意図は、光源の技術発達の最近の動向を整理し、既存の光源および点灯装置については技術課題、光源の照明以外の応用分野、さらに、新しい原理による新光源の可能性について研究調査して、次世代の光源システムを展望することであった。この趣旨に従い、技術動向については文献調査、展望については文献調査にアンケート調査とシンポジウムを主体にして報告書をまとめることができた。その背後には、難しい課題に対して、アンケートに回答してくださった方々およびシンポジウムで発表してくださった方々、さらに文献を調査してくださった方々など、多数の方々のご努力があって完成できたものと考えます。ここに、快くご協力して下さったことに対して、深く感謝いたします。

ご参考までに、付録のアンケート調査の中、2001年までに実現可能な光源の効率の予測結果を表5-1に示した。光源の種類によって、効率アップ率は6-22%と異なるが、平均して約13%の向上が期待できると予測している。しかし、将来を展望することは困難な作業であり、当報告書の展望に関しては考察が不十分な点や不備な点が多いかと思われませんが、ご容赦いただきたい。

最後に皆さんが光源システムの将来を展望される時、この報告書が何らかのご参考になることを期待しています。

表 5-1 2001年までに実現可能な光源の効率（ランプ）

光源の種類	効率 (lm/W)	() 中は向上分 (%)
(1) 一般照明用電球(60W形57W)	16.1	(13.3)
(2) 照明用ハロゲン電球(100W形85W)	21.7	(15.4)
(3) 蛍光ランプ(直管形、環形)(40W形37W)3波長白色	102.7	(7.0)
(4) 電球形蛍光ランプ(17W)3波長白色	55.1	(19.8)
(5) コンパクト形蛍光ランプ(36W)3波長白色	87.9	(8.5)
(6) 蛍光水銀ランプ(400W)	62.3	(13.3)
(7) メタルハライドランプ(400W)(透明)	114	(14.0)
(8) 高圧ナトリウムランプ(360W)(透明)	151	(6.3)
(9) 低圧ナトリウムランプ(180W)	190	(8.6)
(10) キセノンランプ(1000W)	38	(22.6)

付録 次世代光源システムに関するアンケート調査結果

1. 調査内容

次世代光源システムに関する研究調査を進めるに際して、当委員のほか光源に関係深い各専門家のご意見も伺う手段として、アンケートを実施した。設問の内容は大別して次の3つである。

- (1) 既存照明用光源の改良すべき性能・機能、2001年までに実現可能な性能・機能レベルの予測および実現するための技術課題・条件
- (2) 応用分野における光源システムへの要求性能・機能と実現に必要な開発技術・材料
- (3) 2001年までに実現または有望と思われる将来の新しい光源システムと実現に必要な新技術・デバイス

2. 実施方法

アンケート用紙を照明学会員の中から分野別に専門家を選び、当委員を含む43名の方を対象に1989年7月～8月に亘り、郵送による回答を求めた。回答率は47%(20名)であった。設問がかなり専門的であったので、回答率が低かった。しかし、回答内容はかなり収斂しており、所期の目的は得られた。

3. 回答者のプロフィール

(1) 専門分野 (複数回答)

(a) 光源	11
(b) 点灯回路・装置	4
(c) 照明器具・装置	1
(d) 照明システム	1
(e) 照明設計	2
(f) 照明基礎	1
(g) 測光・計測	3
(h) 放射の応用	4
(i) その他(材料、レーザ応用)	4

(2) 職種 (複数回答)

(a) 研究・開発・設計	13
(b) 製造	-
(c) 管理・事務	2
(d) 管理者	3
(e) 教育	6
(f) 専門職(科学技術以外の)	-
(g) その他	-

(3) 業種 (複数回答)

(a) 大学・学校	7
(b) 研究機関	1
(c) 光源・照明製造業	10
(d) その他製造業	2
(e) 設計・サービス業	-
(f) エネルギー・公共事業	-
(g) 建設	-
(h) その他	-

4. (設問1) 既存照明用光源の改良すべき性能・機能(重要5つ以内、最重要1つ)
 (数字は最重要/重要+最重要) 記号は# : 10点以上、* : 5~9点、但し最重要は2点)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
(性能・機能) →	光	効	光	色	演	寿	光	放	光	配調
(光源の種類) ↓	束	率	色	度	性	命	持	熱	御	ど光
(1)一般照明用電球	(/ 1)#4/14	(/ 1)* / 5	(/ 1)#5/14	(/ 3)# / 13	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(2)照明用ハロゲン電球	(/ 1)#3/13	(/ 1)(/ 4)	(/ 1)#5/12	(/ 1)#1/ 9	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(3)蛍光ランプ(直管形、環形)	* / 7)#5/ 7	(/ 1)(/ 1)*1/ 7	(/ 1)* / 7	(/ 1)(/ 2)* / 5	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(4)電球形蛍光ランプ*	1/ 8)#2/ 9	(/ 1)(/ 1)(/ 4)*1/ 7	*1/ 8	(/ 1)(/ 1)* / 5	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(5)コンパクト形蛍光ランプ*	1/ 7)#3/ 8	(/ 2)(/ 1)(/ 3)*1/ 6	* / 9	(/ 1)(/ 1)(/ 4)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(6)蛍光水銀ランプ	(/ 1)#4/ 8	(/ 3)(/ 1)# / 10	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(7)メタルハライドランプ	(/ 1)* / 6	(/ 2)(/ 1)* / 5	*3/ 6)#7/11	(/ 1)(/ 1)*1/ 7	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(8)高圧ナトリウムランプ	(/ 1)(/ 2)	(/ 4)#3/10	#5/10	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(9)低圧ナトリウムランプ	(/ 1)(/ 2)	(/ 1)(/ 3)*4/ 5	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)
(10)キセノンランプ	(/ 1)#2/ 9	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)

(つづき)

	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)	(q)	(r)	(s)	(t)	(u)												
	高	ま	バ	形	電	周	始	紫	点	点	大	そ	評										
	周	ぶ	ル	状	源	の	の	動	再	外	退	灯	灯	き	の	価							
	波	雑	し	ブ	温	・	き	変	影	温	影	・	始	色	回	損	装	重	他	点			
	音	さ	度	さ	動	響	度	響	動	線	性	路	失	置	量						#/#+*		
(1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)* / 6	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 5]	
(2)	(/ 1)	(/ 1)*1/ 6	(/ 4)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 4]
(3)	(/ 3)	(/ 1)	(/ 1)*2/ 7	(/ 1)# / 11	(/ 1)(/ 1)* / 5	*1/ 4	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[2/ 9]
(4)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)*2/ 5	(/ 1)* / 6	(/ 1)(/ 1)	(/ 2)(/ 4)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[2/ 7]
(5)	(/ 2)	(/ 1)	(/ 1)* / 5	(/ 1)* / 5	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[1/ 7]
(6)	(/ 2)	(/ 1)	(/ 1)(/ 2)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)*2/ 7	(/ 1)* / 6	#1/ 9	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 5]
(7)	(/ 2)	(/ 1)	(/ 1)(/ 3)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)#4/15	(/ 1)(/ 1)	(/ 3)#1/ 9	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 7]
(8)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)(/ 4)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)#3/11	(/ 1)(/ 1)	(/ 3)* / 7	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 4]
(9)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)*1/ 6	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)*1/ 4	(/ 1)(/ 1)	(/ 3)* / 5	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[-/ 4]
(10)	(/ 2)	(/ 1)	(/ 2)(/ 2)	(/ 1)(/ 1)	(/ 1)* / 6	(/ 1)(/ 1)	(/ 3)#2/12	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	(/ 1)	[3/ 4]

(注 1.安全性 /1,特性のバラツキ /1)

5. (設問2) 主要な性能・機能について、2001年までに実現可能なレベルの予測値。
 (現在のレベル*を上段、中段に予測値、下段に予測値の幅を示す) (*:照明学会編
 「ライティングハンドブック」、各社カタログによる)

	(a)光束 (lm)	(b)効率(ランプ) (lm/W)	(c)光色	(d)相関色温度 (K)
(1) 一般照明用電球 (60W形57W)	[810] [946] [810-1140]	[14.2] [16.1] [14.2-20]	電球色 電球色	[2,850] [2,870] [2850-2950]
(2) 照明用ハロゲン電球 (100W形85W)	[1,600] [1,940] [1700-2380]	[18.8] [21.7] [20 -28]	電球色 電球色 (白色)	[3,000] [3,120] [3000-3800]
(3) 蛍光ランプ(直形、U形) (40W形37W) 3波長昼白色	[3,560] [3,890] [3700-4000]	[96] [102.7] [100-105]	昼白色 昼白色	[5,000] [5,000] [5,000]
(4) 電球形蛍光ランプ (17W) 3波長昼白色	[780] [924] [850-1000]	[46] [55.1] [50- 60]	昼白色 昼白色	[5,000] [5,000] [5,000]
(5) コンパクト形蛍光ランプ (36W) 3波長昼白色	[2,900] [3,160] [3000-3240]	[81] [87.9] [83- 90]	昼白色 昼白色	[5,000] [5,000] [5,000]
(6) 蛍光水銀ランプ (400W)	[22,000] [24,900] [22-32X10 ³]	[55] [62.3] [55- 80]	白色 白色	[4,100] [4,100] [4,100]
(7) メタルハライドランプ (400W)(U形)	[40,000] [44,600] [40-48X10 ³]	[100] [114] [100-120]	白色 白色	[4,000] [4,170] [4000-5000]
(8) 高圧ナトリウムランプ (360W)(U形)	[51,000] [53,400] [53-55X10 ³]	[142] [151] [147-160]	黄白色 黄白色	[2,100] [2,130] [2100-2200]
(9) 低圧ナトリウムランプ (180W)	[31,500] [34,900] [32.4-36X10 ³]	[175] [190] [180-200]	橙黄色 橙黄色	[1,740] [1,805] [1740-2000]
(10) キセノンランプ (1000W)	[31,000] [36,800] [31-50X10 ³]	[31] [38] [31- 50]	昼光色 昼光色	[6,000] [6,000] [6,000]

(つづき)	(e)演色性	(f)寿命	(g)光束維持	(h)放射熱
	(Ra)	(h)	(%)	(対入力%)
(1) 一般照明用電球 (60W形57W)	][ 100][	1,000][	90][	72]
	][ 100][	1,250][	91][	66]
	[100][	1000-2000][	90- 95][	50- 75]
(2) 照明用ハロゲン電球 (100W形85W)	][ 100][	1,500][	95][	50]
	][ 100][	2,050][	95][	49]
	[100][	1500-3000][	95][	40- 60]
(3) 蛍光ランプ(直管形、U形) (40W形37W) 3波長昼白色]	][ 84][	10,000][	70~80][-]
	][ 86][	11,700][	82][]
	[84- 90][	10000-15000][	80- 85][]
(4) 電球形蛍光ランプ] (17W) 3波長昼白色 ]]	][ 84][	6,000][	60][-]
	][ 87][	7,400][	70][]
	[84- 90][	6000-10000][	60- 75][]
(5) コンパクト形蛍光ランプ] (36W) 3波長昼白色]	][ 84][	7,500][	70][-]
	][ 86][	8,900][	76][]
	[84- 90][	7500-12000][	70- 80][]
(6) 蛍光水銀ランプ]] (400W)	][ 44][	12,000][	80][	15]
	][ 54][	14,500][	81][	18]
	[44- 80][	12000-24000][	80- 85][	15-20]
(7) メタルハライドランプ]] (400W)(透形)	][ 65][	9,000][	50~70][	10]
	][ 75][	10,200][	76][	15]
	[65- 85][	9000-13000][	60- 85][	15]
(8) 高圧ナトリウムランプ]] (360W)(透形)	][ 28][	12,000][	85][	20]
	][ 32][	15,300][	87][	30]
	[28- 35][	12000-24000][	85- 90][	30]
(9) 低圧ナトリウムランプ]] (180W)	][ -][	9,000][	80][-]
	[ ]][	10,300][	84][]
	[ ]][	9000-13000][	80- 85][]
(10) キセノンランプ]] (1000W)	][ 94][	1,500][-][-]
	[94][	2,100][][]
	][ 94- 95][	1500- 3000][][]

6. (設問3) 5項で予測された性能・機能(a~h)の実現に必要な技術開発または条件
(() 中の記号・数字は性能・機能の記号と記入件数を示す)
- (a) 光束 (b) 効率 (c) 光色 (d) 色温度 (e) 演色性 (f) 寿命 (g) 光束維持
(h) 放射熱 (i) 小形化 (j) 始動・再始動 (k) 調光
- (1) 一般照明用電球
- ・フィラメント(材料、高融点で機械的強度、均質性、ホットスポット解消、可視放射効率、小形化)(b, f-10)
 - ・赤外反射膜(多層干渉膜形成技術、バルブ成型精度)(b-9)
 - ・封入ガス(種類、組成)(b, f-3)
 - ・真空技術(b, f-1)
- (2) 照明用ハロゲン電球
- ・赤外反射膜(性能、多層干渉膜形成技術、バルブ成型精度、低価格)(b, c-9)
 - ・封入ハロゲン化合物(種類、組成)(b, f-7)
 - ・フィラメント(性能、均質性、W以外の材料)(b, d, f-5)
 - ・バルブ(耐熱・耐ハロゲン材料、耐高圧ガラス)(b-2)
 - ・ハロゲン物質とWフィラメントとの反応解明(f-1)
 - ・真空技術(b, f-1)
- (3) 蛍光ランプ(直管形、環形)
- ・蛍光体(材料(希土類など)の開発・改良、劣化機構の解明、粉体特性、塗布膜)(b, g, a, e-9)
 - ・点灯回路(性能、高周波回路)(b, a, g-3)
 - ・ガラス-蛍光体中間層コーティング材料の改良(g-1)
 - ・ガラスバルブ(ソラリゼーション、アルカリ溶出の防止)(g, b-1)
 - ・電極材料・構造の開発(b-1)
- (4) 電球形蛍光ランプ
- ・蛍光体(耐熱、耐UV、温度特性、高効率)(b, g, a, f-9)
 - ・点灯回路(電子化、耐熱形のパワートランジスタ、小形化、低価格)(b, a, g-6)
 - ・水銀蒸気圧制御(アマルガム、ランプ形状)(b, g-2)
 - ・封入ガス(高効率、正特性)(b-2)
 - ・保護膜材料(b-1)
 - ・コンパクト電極(長寿命)(f-1)
 - ・ガラス加工技術(b-1)
- (5) コンパクト形蛍光ランプ
- ・蛍光体(耐熱、耐UV、温度特性、高効率)(b, g, f-8)
 - ・点灯回路(電子化、高周波)(b-4)
 - ・水銀蒸気圧制御(Hg-Bi-In以外のアマルガム、ランプ形状)(b-3)
 - ・コンパクト電極(長寿命)(f-1)
 - ・ガラス加工技術(b-1)

(6) 蛍光水銀ランプ

- ・ 蛍光体 (高効率、耐UV(365nm)、耐熱、3波長用) (b, e, i-8)
- ・ 構造、回路(j-1)

(7) メタルハライドランプ

- ・ 発光物質 (材料、純度、組成、蒸気圧の温度依存性小、石英と反応小) (b, e, f, g, k-11)
- ・ 封入物(Na など)の挙動解析(g-2)
- ・ 石英バルブ (耐ハロゲン、耐金属、コーティング) (f, b, g-6)
- ・ 発光管材料 (セラミックス、耐ハロゲン、耐金属、高管壁負荷) (b, g, e-4)
- ・ 電極材料 (耐ハロゲン) (f, g-4)
- ・ 点灯回路 (高周波、発光管加熱方法とパルス印加) (j-4)
- ・ 封着材料と封着技術(g, f-1)
- ・ 封入ガス (始動特性) (j-1)
- ・ 真空技術 (b-1)
- ・ 精密秤量技術(b-1)

(8) 高圧ナトリウムランプ

- ・ 発光管 (透光性、機械強度、イットリアなどの開発) (b, f-4)
- ・ 点灯回路 (始動方式、発光管加熱構造) (j-3)
- ・ 封着材料と封着技術 (Naの消失防止、耐Na, 封止構造) (b, g, f-2)
- ・ 発光管設計 (封入ガス圧、形状、材料) (a, b-1)
- ・ 電極材料(b-1)
- ・ Na封入技術(b-1)

(9) 低圧ナトリウムランプ

- ・ 赤外反射膜 (性能、耐ナトリウム、D線透過率) (b-3)
- ・ 点灯回路 (電子化、矩形波電圧印加) (b-2)
- ・ 発光元素(e-1)

(10) キセノンランプ

- ・ 点灯回路 (電子化) (j, f, b-3)
- ・ 電極 (材料、構造、バラストレス化) (j, f-3)

7. (設問4) 光源、点灯装置、照明器具および照明システムの応用分野における要求される性能・機能()中の数字は記入件数を示す)
- (1) 情報機器用
- (a) 複写(露光、定着など)
- ・高輝度、感熱コピーの定着(390-470nm)のマッチング、発熱低下(現状の20%以下)、小形化(φ8mm以下)、光束の始動特性(1秒以内)(以上各2)、
 - 高速応答性、点滅寿命改善、細管化、高効率、有効放射束の増大、光束の周囲温度変化小、光量分布の均斉度、多波長形蛍光ランプ(以上各1)
- (b) OCR
- ・メタルハライドランプの再始動時間(5分以内)、近赤外の放射大(700nm以上)(熱線小)(以上各1)
- (c) イメージリーダー
- ・小形化、高出力、高演色(以上各1)
- (d) 液晶バックライト
- ・高効率、低価格(以上各2)、細管、薄形、白色、小型化、高輝度、寿命バラツキ小、長寿命(3,000h→20,000h)(以上各1)
- (2) 印刷用
- (a) 製版
- ・高出力、高効率、高輝度点光源、低熱放射、無電極長寿命ランプ(2,000h以上)、照度分布の均一性、光束の瞬時立上り(2秒以内に90%)、瞬時再始動、感剤にマッチした分光分布(以上各1)
- (b) インキ・塗膜硬化
- ・高出力UV、250nm以下のUV光源(以上各2)、高効率赤外ランプ、短波長をカットしない液冷システム、UVからEBへ(以上各1)
- (c) 乾燥
- ・水溶性ニス乾燥用IR光源装置(1)
- (d) 色評価用
- ・高演色性(Ra:99以上)(1)
- (e) その他
- ・耐圧防爆形UV光源装置(1)
- (3) 工業用
- (a) 光化学
- ・高出力UV光、高出力可視光(以上各1)
- (b) 半導体・回路基板・CRT(露光)
- ・露光室照明用(500nm以下カット)、定光出力光源、長寿命(以上各1)
- (c) 加熱・乾燥
- ・赤外放射の活用、赤外からマイクロ波(以上各1)
- (d) 加工・表面洗浄
- ・高出力DUV光源(長寿命)(2)、高出力UVによる水殺菌・純水(1)
- (e) 自動制御・センサ
- ・赤外線検知(1)

- (4) 医療用
 - (a) 医療
 - ・レーザメス用レーザポンピングランプ（高出力クリプトンランプ）、エキシマレーザの連続運転（以上各 1）
 - (b) 健康・美容
 - ・日焼け用(280-310nm)(1)
 - (c) 殺菌
 - ・254nm のUV、DUV 光源の効率2倍（以上各 1）
 - (d) オゾン、陰イオン
 - ・185nm のUV、DUV 光源の効率2倍（以上各 1）
- (5) 農・水産用
 - (a) 植物育成、園芸
 - ・遠赤色(700-800nm), 熱線カット（以上各 2）、光合成有効光量子出力(400-700nm), 高効率、長寿命、安価、観葉植物照明用、植物開花調節、分光分布のバランス（以上各 1）
 - (b) 貯蔵・加熱・乾燥
 - ・遠赤外光源(1)
 - (c) 防虫、捕虫
 - ・防虫用(500nm以下カット)、捕虫用(365nm) 高出力（以上各 1）
 - (d) 畜産
 - ・養鶏用（白熱電球、電球形蛍光ランプ）(1)
 - (e) 水産（集魚灯など）
 - ・高出力白色光源（イカ釣り）、青色光光源（シラス乾燥）（以上各 1）
- (6) その他
 - (a) ソーラシミュレーション
 - ・高出力太陽光（キセノン光源、カーボンアーク）(1)
 - (b) レーザポンピング
 - ・クリプトン放電、キセノン放電、100-1kW の900nm 帯のレーザダイオード(200 μ sパルス幅で繰返し100Hz 程度)（以上各 1）

8.（設問5）7の要求性能・機能をもつ光源、点灯装置、照明器具および照明システムと実現するための条件（技術、材料など）（条件は〔 〕中に記入した）

- (1) 情報機器用
 - (a) 複写（露光、定着など）
 - ・高出力ハロゲン電球(1kW以上)〔フィラメント材料の開発〕
 - ・小形高出力ハロゲン電球、蛍光ランプ、キセノンフラッシュ〔均斉度のシミュレーション〕
 - ・高輝度・細管ランプ〔コンパクト・高電子放射電極〕
 - ・超細管形蛍光ランプ〔電極構造、蛍光体塗布方法、HgアマルガムなどHg封入法〕
 - ・瞬時光束立上り放電灯〔新点灯回路、希ガスの発光利用、希ガス用高効率蛍光体〕
 - ・高効率青色LED〔材料およびそれを使ったデバイスの製作法〕

(b) OCR

- ・高効率発光管 [発光材料の開発]
- ・近赤外発光蛍光ランプ [既存 (LiAl_2O_3) に代わる高効率蛍光体の開発、アルミニウム酸リチウム (鉄付活)]
- ・高出力近赤外放射光源 [メタルハライドランプ瞬時点灯・安定、瞬時再始動]

(c) イメージリーダ

- ・発光長の長い均一光源、高輝度EL, LED [点灯回路の小形化]

(d) 液晶バックライト

- ・高輝度・細管ランプ [高電流・冷陰極]
- ・高出力小形放電ランプ (冷陰極) [電界放出形高密度電子放射物質]
- ・薄形蛍光灯 [封入ガスと構造]
- ・高効率・長寿命蛍光ランプ [冷陰極高効率化]
- ・高輝度EL [蛍光体]

(2) 印刷用

(a) 製版

- ・高輝度・点光源・指向性光源 [マイクロ波励起、半導体レーザ、よう化物のサイクル制御]

(b) インキ・塗膜硬化

- ・高出力紫外放射源 [Fe, Pb, Ga以外の放射効率のよい発光物質、塗膜硬化波長とのマッチング]
- ・高出力紫外放射源 (10kW以上) [新アマルガム]
- ・高負荷形UV光源 [耐熱材料 (放電管)、冷却システム]
- ・遠赤外放射源 [放射効率のよい材料]

(c) 乾燥

- ・高出力IR光源 [セラミックス、コーティング]
- ・高出力紫外放射源 (10kW以上) [新アマルガム]

(d) 色評価用

- ・D₆₅色評価用蛍光ランプ [蛍光体の塗布方法]

(e) その他

- ・UV冷光源 [半導体レーザ]

(3) 工業用

(a) 光化学

- ・高出力紫外放射源、高出力メタルハライドランプ [UV透過率のよい石英ガラス、化学反応とマッチングした波長の高出力 (発光物質)]

(b) 半導体・回路基板・CRT (露光)

- ・黄色蛍光ランプ [蛍光体]
- ・長寿命放電灯 [石英ガラスより強度大の発光管、消耗小の電極]

(c) 加熱・乾燥

- ・長寿命DUV光源 [電極の改良、無電極化]
- ・高効率赤外放射源 [赤外放射材料 (酸化物質材料)]

- (d) 加工・表面洗浄
 - ・高出力UV放射源 [Hgアマルガム化]
 - ・高出力低圧放電灯 [耐UVガラス、セラミックス]
- (e) 自動制御・センサ
 - ・高感度赤外センサ [新焦電素子]
 - ・赤外ランプ、赤外半導体レーザ [新材料]
- (4) 医療用
 - (a) 医療
 - ・レーザ用高出力ポンピング光源 (Kr, Xe) [小形化]
 - ・小形・長寿命のエキシマレーザ [材料、保護コーティング]
 - (b) 健康・美容
 - ・日焼け用ランプ [蛍光体]
 - (c) 殺菌
 - ・高出力UV放射源(254nm) [Hgアマルガム化、耐UVガラス]
 - ・DUV 光源の効率2倍 [水銀冷却コントロール]
 - (d) オゾン、陰イオン
 - ・高出力UV放射源(185nm) [Hgアマルガム化、耐UVガラス]
 - (e) 歯治療用樹脂硬化
 - ・高輝度UV放射源(スポット照射) [光ファイバーの光導入効率アップ、短アーク放電]
- (5) 農・水産用
 - (a) 植物育成、園芸
 - ・高出力メタルハライドランプ [光合成有効波長にマッチングしたスペクトル]
 - ・長寿命メタルハライドランプ [光合成、光形態形成エネルギーのバランス(赤色光)]
 - ・高出力高圧ナトリウムランプ [青色光のアップ]
 - ・近赤外発光を有する植物育成用蛍光ランプ [アルミン酸リチウムに代わる蛍光体]
 - ・均一配光器具 [安価]
 - (b) 防虫、捕虫
 - ・防虫用(500nm以下カット)光源 [カットフィルター]
 - ・捕虫用(365nm) 高出力光源 [蛍光体]
 - (c) 水産(集魚灯など)
 - ・高出力メタルハライドランプ [発光物質]
- (6) その他
 - (a) ソーラシミュレーション
 - ・高出力キセノンランプ [電極の水冷化]
 - (b) レーザポンピング
 - ・クリプトン放電ランプ [発光管材料]
 - ・キセノンフラッシュ [電極]
 - ・半導体レーザ [化合物半導体で耐熱、耐光性]

9. (設問6) 2001年までに実現可能な新しい光源、点灯装置、照明器具および照明システムの性能・機能、さらに、これらが実現するための新技術、新材料、デバイスなど。
([] 中は新技術、新材料、デバイスなどを記入)
- (1) 熱放射
- ・高効率赤外反射膜電球(20lm/W) [新材料開発]
 - ・赤外反射膜利用電球 (30lm/W) [フィラメント形状、反射膜の製造法の改良]
 - ・照明用ハロゲン電球の効率40lm/W [赤外反射膜の形成技術の向上]
 - ・LDE 代替マイクロランプ [構造、材料の開発で時定数の改良]
- (2) 放電現象
- ・高周波無電極放電ランプ(70lm/W) [高周波ノイズ低減技術、高周波点灯回路の小形化 (ICハイブリット化)]
 - ・電極放電管 [高周波変換装置の簡易化、ランプ構造、無雑音器具の開発]
 - ・無水銀(希ガス)放電ランプ(実用レベルの光束) [真空UV域で高効率蛍光体の探求、希ガス放電の最適化(封入ガス圧、ガスの種類、電極材料、電極構造など)]
 - ・瞬時立上り高効率低圧放電灯 [非平衡放電とアフターグローの利用、高効率パルス点灯回路の開発、希ガスのUV光→可視光変換用の高効率蛍光体(量子効率1以上を含む)の開発]
 - ・400WHID ランプでRa>70 で100lm/W の定着 [寿命現象の解明と対策]
 - ・瞬点可能な30-50Wの小ワットメタルハライドランプ [半導体回路]
 - ・新発光管(効率>150lm/W) [透光性アルミナに代わる新材料の開発]
 - ・非熱平衡高圧放電灯(高効率、高演色) [アーク中に霧状の発光物質を注入する技術(毛細管現象などの利用)の開発]
 - ・可変色光源 [点灯波形制御]
 - ・大電力・高出力アーク灯 [電極の開発]
- (3) フォトルミネセンス(蛍光、燐光)
- ・高効率蛍光ランプ(>100lm/W) [新希土類蛍光体の開発]
 - ・高演色高効率蛍光ランプ(Ra=99, 90lm/W) [青緑色発光希土類蛍光体の改良と620nm以上に発光をもつ新赤色蛍光体の開発]
 - ・高輝度緑色蛍光ランプ(複写機用光源)[2光子励起形蛍光体(付活剤、母体)の研究]
 - ・蓄光光源(太陽光を蓄積し、夜間照明、信号など) [高効率の太陽電池、蓄電池との組合せ]
 - ・夜間表示板 [蛍光体の蓄光特性の向上、材料の改良研究]
- (4) エレクトロルミネセンス
- ・分散ELを用いた壁面照明 [長寿命高輝度な蛍光体の開発、高性能防湿フィルムの開発]
 - ・長寿命発光素子(寿命10,000h) [ZnSなどに代わる新しい材料の開発]
 - ・500cd/m²以上のR,G,BのEL(フルカラーディスプレイ) [材料の開発]
 - ・フルカラーELパネル [青色発光ELの効率向上、製造法]
 - ・高輝度・長寿命のDCEL(自動車などのパネル照明) [材料開発、製法の研究改良]
 - ・薄膜白色EL(10lm/W) [発光材料と製造法の改良]
 - ・薄膜ELのカラー化によるマルチ表示 [新発光材料および工法の開発、低電圧発光駆動用ICの低コスト化]

(5) 発光ダイオード

- ・各色とも効率向上で色温度2,800K, 効率5lm/W[発光材料と製造法の改良]
- ・赤色(発光波長612-620nm)およびアンバー色(588-596nm)で高効率(10-20lm/W) [発光材料の改良・開発]
- ・青色LED (500cd/m²以上、カラーディスプレイ用、信号灯用) [発光材料の開発]
- ・高効率青色LED [量子効果デバイスの製法改良とその応用]
- ・青色LED の効率(10lm/W) [発光材料の開発]
- ・R,G,B 一体LED の可変色ディスプレイ [青色高輝度LED の実用化]
- ・LED のカラーディスプレイ、信号灯への応用 [高輝度LED の開発]
- ・LED のカラーディスプレイ [青色LED の効率向上(発光材料の開発)]

(6) 化学発光

- ・長寿命化学発光素子(寿命100h) [新発光素子の開発]
- ・長寿命・低温特性向上のケミカルライト [材料の改良]
- ・簡易信号灯(非常時用) [高輝度材料の開発]

(7) レーザ

- ・可視～近赤外の波長可変パルス固体レーザで効率10-20%のもの [高効率固体レーザ媒質、高ポンピング効率のレーザ励起源]
- ・R,G,B 室温連続発振半導体の出現で照明、ディスプレイ装置に変革 [材料開発]
- ・小形・長寿命・高出力の緑色、青色レーザ・ダイオード [高効率素子の開発]
- ・出力1Wクラスの白色レーザ(He-Cd⁺ レーザ) [レーザ管および陰極材料の開発]
- ・赤外レーザの開発(>1.06μm) [母結晶材料の開発]
- ・半導体レーザによるCDプレーヤ、プリンタなどへの応用 [低価格化]

(8) SOR

- ・実験室用小形紫外・可視発信器 [SOR の改良]

(9) 生物発光

- ・人工ホタルの開発 [ホタルの発光のメカニズムの解明、発光物質の合成]

(10) その他(自由記入)

- ・ホタルの発光メカニズムを生かした無電源形面光源、ディスプレイ用光源の可能性(発熱なし、瞬時発光)
- ・人魂を利用したコードレス光源
- ・入力率が良く、波形歪の少ない入力電流の小形軽量の点灯装置で、調光、調色が自由にできる照明システム
- ・超微粒子の製法の延長の応用による画期的な製法で高効率の蛍光体ができないか。
- ・効率とか寿命、演色性など光源の基本性能に関わる新光源は、赤外反射膜、電極材料、蛍光体、封入ガスおよび封入添加物などに関連した深掘り的改善を通じた、従来の延長線上の性能向上製品以外は当面出現しないのではないか。そして、今後の傾向として、needs orientedの指向が一層強まり、使用分野や用途によって、形状、寸法、或いは特性諸元を、その要望にきめ細かく対応した光源、システムの中の一要素としての効果を最大限に追求した光源、点灯装置へ歩みよった光源および灯具に歩みよった光源といった、従来の光源特性の深い追求とは別に、needs の深い追求に応じた横方向にtechnology transfer した光源類が、広い意味での新光源として増加してくるであろうと思う。

