

研究調査報告書

省エネルギー・省資源のための光源システムの研究

2004年（平成16年）5月

社団法人 照 明 学 会

省エネルギー・省資源のための  
光源システム研究調査委員会

## 目 次

1.	まえがき	1
	委員構成	2
	委員会経過報告	3
2.	本報告書の概要	5
3.	日本のエネルギー事情と関連する法規制	7
3. 1	照明用エネルギーの位置づけ	9
3. 2	改正省エネ法	10
4.	省資源、環境保全に関する現状の整理（LCA の概要）	14
4. 1	環境アセスメントと LCA	14
4. 2	リニューアール等関連技術	18
4.2.1	リニューアールにかかわる基本問題	
4.2.2	全面的リニューアールと部分的リニューアール	
4.2.3	リニューアール時における諸問題	
4.2.4	リニューアールと今後の課題	
5.	省エネルギー技術の現状と今後の方向性	20
5. 1	概要	20
5. 2	白熱電球	22
5.2.1	現状	
5.2.2	今後の動向	
5. 3	電球形蛍光ランプ	26
5.3.1	電球形蛍光ランプの出荷動向	
5.3.2	高効率化と省資源化（小形化）の動向	
5.3.3	光束立ち上がり特性の改善	
5.3.4	新たな技術開発	
5.3.5	今後への期待	
5. 4	蛍光ランプ	29
5.4.1	蛍光ランプの変遷	
5.4.2	蛍光ランプの現状	
5.4.3	蛍光ランプの今後の展望	
5.4.4	まとめ	
5. 5	HID ランプ	36
5.5.1	はじめに	
5.5.2	HID ランプの現状	
(1)	水銀ランプ	
(2)	メタルハライドランプ	

(3)	高圧ナトリウムランプ	
(4)	その他 HID ランプ	
5.5.3	HID ランプの今後	
5.5.4	まとめ	
5. 6	LED,有機 EL .....	40
5.6.1	発光効率	
5.6.2	形状の多様化と大出力化	
5.6.3	白色 LED の発光方式	
5.6.4	用途	
5.6.5	LED の今後の方向性と動向	
5.6.6	有機 EL	
5. 7	電子安定器実用化の経緯と最近の動向 .....	44
5.7.1	施設照明器具用蛍光灯電子安定器	
5.7.2	住宅照明器具用電子安定器	
5.7.3	HID ランプ用電子安定器	
5.7.4	今後の動向	
5. 8	電子安定器の回路技術 .....	50
5.8.1	インバータ回路方式	
5.8.2	高調波抑制技術	
5.8.3	効率向上の動向	
5. 9	電子安定器の半導体技術 .....	54
5.9.1	バイポーラトランジスタ	
5.9.2	蛍光灯電子安定器用 IC	
5. 10	照明器具 .....	58
5.10.1	照明器具の種類	
(1)	ランプの分類	
(2)	器具の形状	
(3)	施工形態	
(4)	建築設備	
5.10.2	器具効率	
5. 11	照明システム .....	62
5.11.1	初期照度補正制御	
5.11.2	外光（昼光）利用制御	
5.11.3	在/不在制御	
5.11.4	プログラムタイマ制御	
5.11.5	その他（ネットワーク制御等）	

6.	関連技術の動向	66
6. 1	半導体関連技術の動向	66
6.1.1	パワーMOSFETの特性改善動向	
6.1.2	高速ダイオードの特性改善動向	
	(1) 超高速ファーストリカバリーダイオード(FRD)	
	(2) ショットキーバリアダイオード(SBD)	
6.1.3	ワイドバンドギャップ半導体素子	
	(1) SiC ショットキーバリアダイオード(SiC SBD)	
	(2) SiC FET	
6. 2	電源技術等回路技術関連	76
6.2.1	電源における力率改善, 高調波電流低減技術	
6.2.2	共振形コンバータによる低ノイズ, 低損失技術	
6.2.3	電源における待機電力低減技術	
	(1) 間欠発振方式	
	(2) 直列コンデンサ挿入方式	
7.	省資源・環境保全対応技術などの現状と動向	81
7. 1	環境保全について	81
7. 2	省資源・環境保全対応技術	82
7. 3	リサイクル	83
7. 4	インバータ化率向上, 高効率化, 調光器具の普及に関する環境保全効果試算	85
7.4.1	施設用 40W 以上蛍光灯器具のインバータ化による省電力効果	
7.4.2	施設用蛍光灯器具のインバータ化普及状況と今後の見通し	
7.4.3	省エネ蛍光灯システム導入加速のための公的仕組み	
7.4.4	インバータ蛍光灯器具の高効率化	
7.4.5	ランプ長寿命化による省資源	
7.4.6	商用電源の直流化	
7. 5	関連業界との関わり等について	
	(産業用照明、自販機、建築、光害等)	89
7.5.1	産業用照明業界における地球温暖化防止策	
7.5.2	自販機業界における地球温暖化防止策	
7.5.3	建築業界における地球温暖化防止策	
7.5.4	光(ひかり)害について	
	(1) 光害の定義	
	(2) 光害対策による二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )排出抑制効果の試算	
8.	あとがき	94

## 1. まえがき

人類は、その誕生以来、「技術」の進歩を常に求めてきた。その要求は留まることを知らず、人類にとって掛け替えのない「すみか」である地球の環境に大きな影響を与えるほどに進歩し続けている。このため昨今の科学技術の行く末について多くの人々が不安感を覚えるほどにまでなっている。人類は、科学技術に一定の制限を加えなければならないことに気付き始めた。このような状況に至って、今まで相対する関係にあったと思われていた「地球の環境の保全」や「資源の有効利用、いわゆる省資源」を進めるために、積極的に科学技術を利用しようという気運が芽ばえてきている。このような流れを育て、確実なものにするために、世界の各国で「法規制」が整備されつつある。現代に生きている我々は、人類の子孫のためだけでなく、地球のあらゆる生物との共存のために「環境保全と省資源」、「科学技術」および「法規制」の関係のバランスを保つことが求められている。そして、我々はこのことに対する努力に喜びを覚え、「快適さ」、「快適性」を感じ取れるようになってきている。

1997年12月に地球環境保全の国際的規模での解決のために京都議定書が締結されたことは、その最も象徴的な出来事である。各国ともそこで決められた二酸化炭素 CO<sub>2</sub> の削減目標の達成に取り組み、日本では6%の削減を目指している。そのための方策としては、森林による吸収が3.9%、排出量取引等の京都メカニズムによるものが1.8%と大半を占めており、一見、科学技術による貢献の必要性は低いように見える。しかし、国内の使用エネルギーの量は増加を続けており、技術開発による CO<sub>2</sub> の排出量の削減は、社会全体にとって重要な課題となっている。照明の分野においても照明設備で消費される電気エネルギーは工場や高層ビルだけに限定しても日本の全消費電気エネルギーの約15%を占めており、照明設備、情報電子機器等の光源システム全体では15%をはるかに上回っている。このことから、光源システムの省エネルギー・省資源化への対応は極めて重要であり、これに対する一層の努力が強く望まれている。

そこで、照明学会としては、2001年5月に「省エネルギー・省資源のための光源システム研究調査委員会」を設置し、省資源と環境保全の視点に立ち、まず、光源システムを構成する半導体素子、光源、点灯回路、照明器具、制御システム、又、光源システムに関するライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment, 略してLCA)、リサイクルおよび法規制の現状と動向、さらには今後の光源システムのあるべき方向性について調査してきた。

本委員会は、2001年6月に第1回の委員会が開催された。その後、2004年5月までの3年にわたり、計13回の委員会が開催され、省エネルギー・省資源のための光源システムに関して調査研究を進めてきた。本報告書は、その調査結果を基に、日本のエネルギー事情と関連する法規制、省資源と環境保全に関する現状、省エネルギー技術の現状と今後の動向、関連技術の動向、及び省資源と環境保全への対応技術の現状と今後の動向という5つの項目についてまとめたものである。

委員会の構成と審議の経過は以下の通りである。

「省エネルギー・省資源のための光源システム研究調査委員会」 委員構成

委員長	松尾 博文	長崎大学
幹事	東方 眞	(在任中 松下電工(株)所属 2002年2月まで幹事,途中退会)
	大西 雅人	松下電工(株) (2002年3月 委員から幹事へ)
	清水 恵一	東芝ライテック(株)
	黒川不二雄	長崎大学
委員	青池 南城	ニッポ電機(株)
"	糸川 剛	岩崎電気(株)
"	井上 昭浩	福井工業高等専門学校
"	今井 崇之	ウエスト電気(株)
"	浦山 隆	立命館大学
"	大川内 治	NECライティング(株)
"	落合 政司	(株)東芝
"	桑原 厚二	富士日立パワーセミコンダクタ(株)
"	清水 敏久	東京都立大学
"	下垣 光太郎	下垣技術士事務所 (2002年3月から委員)
"	次田 和彦	三菱電機照明(株)
"	鶴谷 守	サンケン電気(株)
"	原田 和郎	同志社大学
"	古矢 幸生	日立ライティング(株)
"	御園 勝秀	東芝ライテック(株)
"	山崎 広義	オスラム・メルコ(株)
"	渡辺 晴夫	新電元工業(株)

(所属は2004年4月現在)

## 委員会経過報告

第1回委員会 2001年6月13日 15:00～17:00 照明学会第1会議室

トップランナー方式の目標値、現状、動向についての紹介が行われ、研究調査項目の審議を行った。

第2回委員会 2001年9月11日 13:30～16:30 照明学会第1会議室

省エネルギー規制の背景と照明電力需要の位置づけについて、背景および省エネルギー規制の具体的方法、照明電力の比率とその増加についての紹介が行われた。又、照明器具の商品環境アセスメントとLCAの事例を用い、使用時が全消費の98～99%を占め、Hf器具は大幅な省エネルギー効果があり、照明制御システムの有効性等、現状と動向についての紹介が行われ、研究調査項目の審議を行った。

第3回委員会 2001年12月11日 13:30～16:30 照明学会第1会議室

最近のパワーICの動向（自動車用、電源用）、パワーMOSFETやオーディオアンプの低損失化の現状と動向についての紹介が行われた。又、パワー半導体の製造に要するエネルギーとパワー半導体の省エネ化、パワー半導体開発のポイントについての紹介が行われ、研究調査項目の審議を行った。

第4回委員会 2002年3月8日 13:30～16:30 富士電機（株）23階第2ホール

電源の動向における低電圧大電流に必要な技術と高効率化についての紹介が行われた。又、光源の研究開発動向、技術経緯、特に白熱電球や蛍光灯等を中心とした研究開発動向についての紹介が行われ、研究調査項目の審議を行った。

第5回委員会 2002年6月7日 13:25～16:30 インダストリアルH1階 中会議室

照明用LEDの動向、特徴、構造、特性、総合効率、経済効果、省エネルギー性、応用例、今後の市場規模の予測等についての紹介が行われ、今後の委員会の進め方についての審議を行った。

第6回委員会 2002年9月6日 13:30～16:00 インダストリアルH1階 中会議室

AC/DCコンバータ用のマルチチップパワーICについて、広い範囲で効率向上が図れる制御方法と、マルチチップIC及びその実装についての紹介が行われ、今後の検討課題（講演内容）、おおまかなスケジュールについての審議を行った。

第7回委員会 2002年12月6日 13:30～17:00 インダストリアルH1階 中会議室

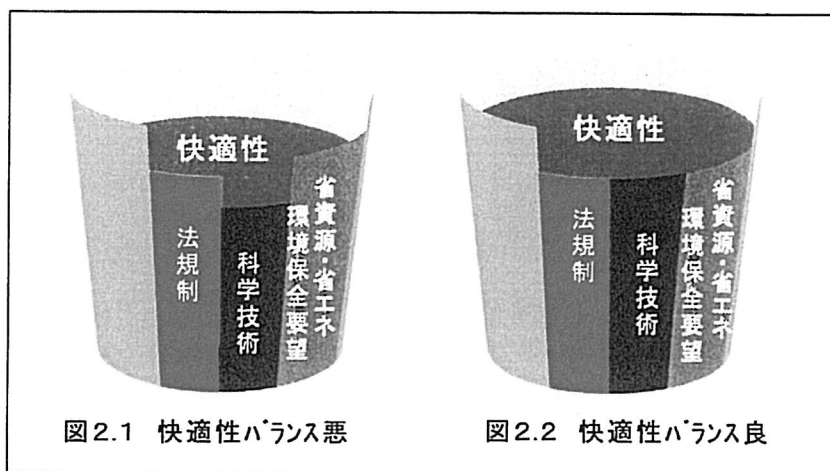
電子安定器の技術動向、蛍光灯照明システムの高効率化の経緯、点灯回路の損失低減についての紹介が行われた。又、照明システムによる省エネルギーについて、各種照明制御手法とシステム例、省エネルギー効果についての紹介が行われた。更に自動販売機及び自動サービス機の動向、普及台数、自販機の仕様、照明電力、回路構成等の現状についての紹介が行われ、今後の検討課題（講演内容）の決定、スケジュール等についての審議を行った。

- 第8回委員会 2003年3月14日 13:30～16:40 インダストリアルH3階 第1会議室  
建築分野での照明の省エネルギー、照明システムの課題、展望についての紹介が行われ、報告書の主題、まとめの方向性、具体的内容、執筆分担等についての審議を行った。
- 第9回委員会 2003年6月6日 13:30～16:50 インダストリアルH 1階中会議室  
店舗用HIDランプの最新動向、セラミックメタルハライドランプを中心とした今後の方向性、用途展開等についての紹介が行われ、報告書の主題、章立て、執筆分担等についての審議を行った。
- 第10回委員会 2003年9月25日 13:30～16:40 インダストリアルH 4階会議室  
省エネルギーの最新動向に関して、エネルギーの需給、環境対策、省エネルギー法、RPS法、家庭での省エネルギー対策等についての紹介が行われ、報告書の章立てと執筆分担案を修正確認し、執筆を開始した。
- 第11回委員会 2003年12月12日 13:35～16:50 インダストリアルH 4階会議室  
報告書内容案の確認、具体的検討、各執筆担当者の内容案について審議し、具体的修正について確認した。
- 第12回委員会 2004年3月12日 13:30～17:45 NEC晴嵐会館  
前回の委員会での修正案を踏まえた報告書内容の確認を行い、又再度具体的な修正について審議した。
- 第13回委員会（臨時） 2004年5月28日 13:30～16:30 照明学会第1会議室  
報告書内容の最終確認を行い、報告書を提出して委員会を終了した。
- 委員会の報告会（後日開催予定）

## 2. 本報告書の概要

省エネルギー・省資源を実現していく場合、生活上の快適性をいかに高いレベルで維持実現していくかということが重要である。快適性との関わりとして、省資源・環境保全からの要請、それに伴う法規制、対応の技術があると考えられ、それらの関係を環境保全要望、法規制、科学技術という木片からなる樽を用いたイメージ図として図 2.1、図 2.2 に示す。樽の内部に蓄えられる水の量が多くなれば快適性が高いことを示す。図 2.1、図 2.2 は、互いに関係する省資源・環境保全要望と法規制と科学技術のバランス状態を示している。図 2.1 は、省資源・省エネ・環境保全の要望に対し法規制がやや遅れており、その法規制に対応すべき科学技術のレベルがさらに遅れているため、早急なキャッチアップが必要な状態を示している。このような状態が続けば、省資源・省エネ・環境保全の要望を満たしていないことによる環境面への悪影響が深刻となって、全体としての快適性は低いレベルとなってしまふ。これに対し図 2.2 は、省資源・省エネ・環境保全の要望に対し、複雑化かつ多様な法規制や対応すべき科学技術のレベルが向上し、調和がとれ、快適性が高くなった状態を示している。このように、今後の環境問題を早い段階でクリアしながらユーザの快適性も追求しようとするほど、それぞれが高い点で調和するように対応していくことが重要となり、全体的な調和を考慮して合理的に対応していく必要がある。

環境の悪化で CO<sub>2</sub> などの温暖化ガスの増加が問題となり、それらを減少させるために 1997 年に京都議定書（COP3）が交わされた。今後はこのような新たなバランスが強く求められている。



照明用光源、点灯回路、器具、設備の設計から材料調達、製造、販売・物流・施工、使用・消費、廃棄・リサイクルまでのサイクルを効率的・効果的に展開する社会システムを構築し、地球温暖化と環境保全への対応、環境負荷低減への一層の努力が必要である。照明設備の消費電力は、例えばビルにおいては全消費電力の約 15%を占めているため、光源システムの省エネルギーや省資源化は効果的であり、これらへの取り組みに対して一層の努力が求められている。

本報告書では、地球温暖化、環境保全への対応の視点に立ち、省資源・省エネを実現するための技術動向をまとめ、今後の科学技術のあるべき方向性を示し、これに基づいて提言を行う。

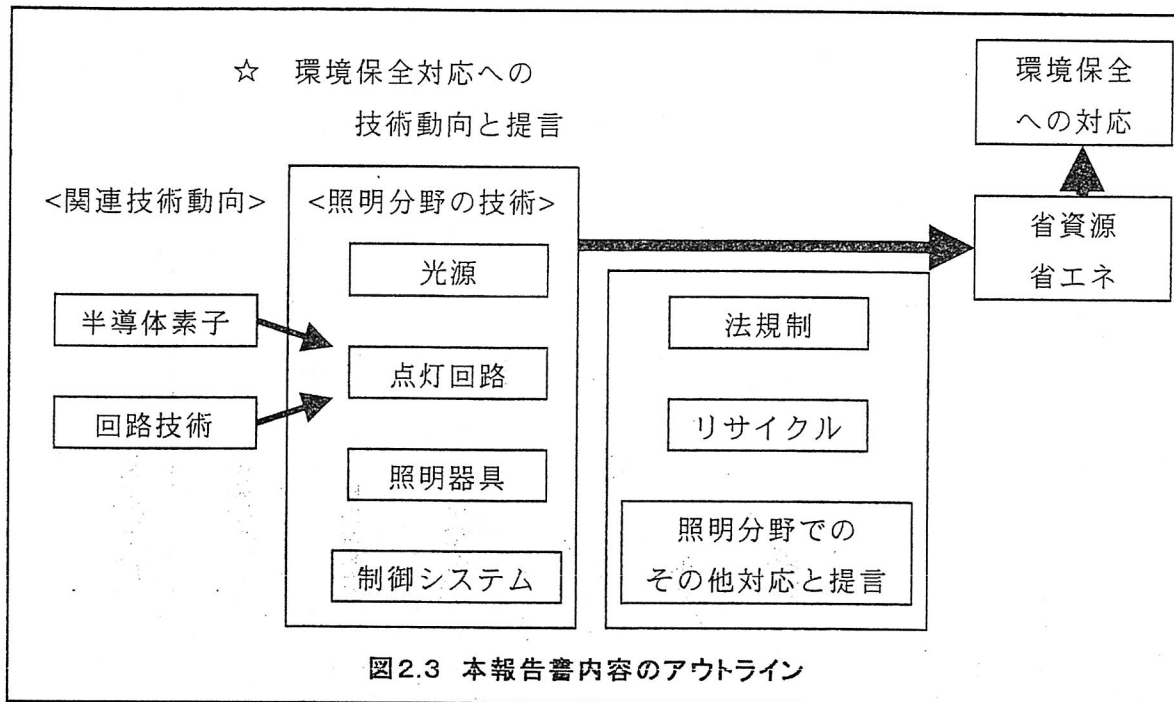


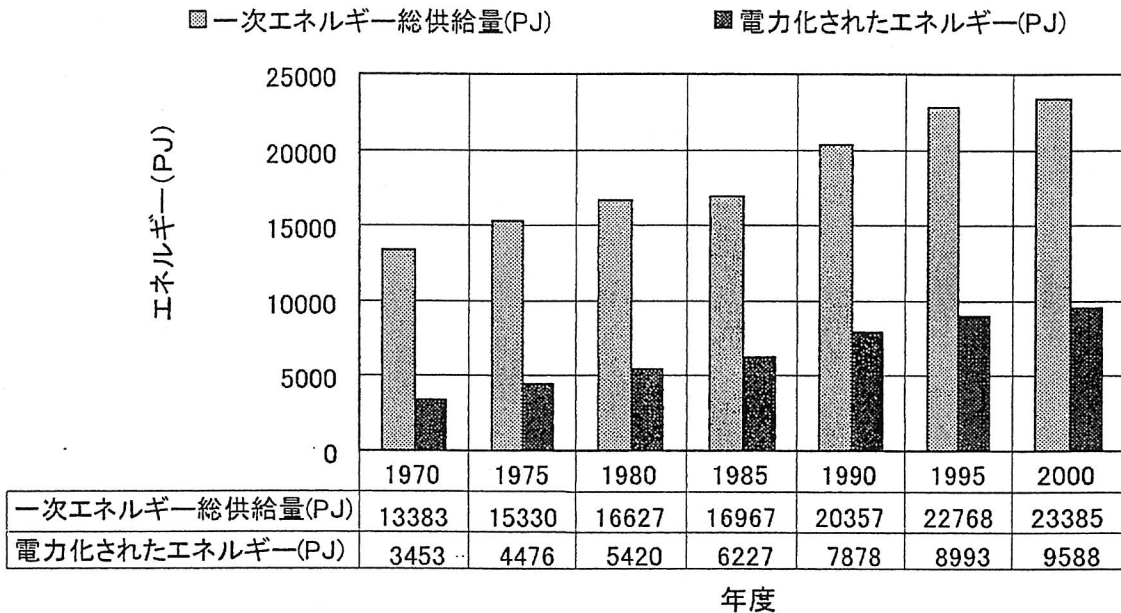
図2.3 本報告書内容のアウトライン

まず、地球温暖化や法規制の現状と照明に関するエネルギー事情を示し、商品環境アセスメントやLCA、リニューアブルを考慮した技術開発と商品開発、使用時のエネルギー消費を抑えることの重要性を示す。次に図 2.3 のように、照明分野の技術として光源、点灯回路、照明器具、制御システムにおける環境保全対応への技術動向を具体的に紹介し、提言を行う。又、点灯回路技術の関連の課題として半導体素子技術や近年進展している電源分野の回路技術動向についても説明する。

更に、リサイクルについて述べ、産業用途や光害の現状と今後の問題、インバータ化率向上による省エネの効果の試算、省エネルギーのための公的な取り組み、枠組み作り等への提言を行う。

### 3. 日本のエネルギー事情と関連する法規制

日本の一次エネルギー総供給量は 2000 年度で 23,385 ペタジュール (10<sup>15</sup> ジュール, 以下 PJ) であり, その内の 41%が電力に変換されている<sup>[1]</sup>。電力化されたエネルギーは年々増加しており, 1970 年から 2000 年までの 30 年間で約 2.8 倍に伸びている。また, 1990 年度を 100%としたときのここ十数年間の電力需要の伸びを図 3.2 に示すが, 総需要が年平均約 2.5%, 従量電灯電力量が約 3.5%, 照明用電力量が約 2.5%それぞれ増えている<sup>[2],[3]</sup>。



備考 1 PJ: ペタジュール (10<sup>15</sup> ジュール)

図 3.1 日本の一次エネルギー総供給量と電力化されたエネルギー

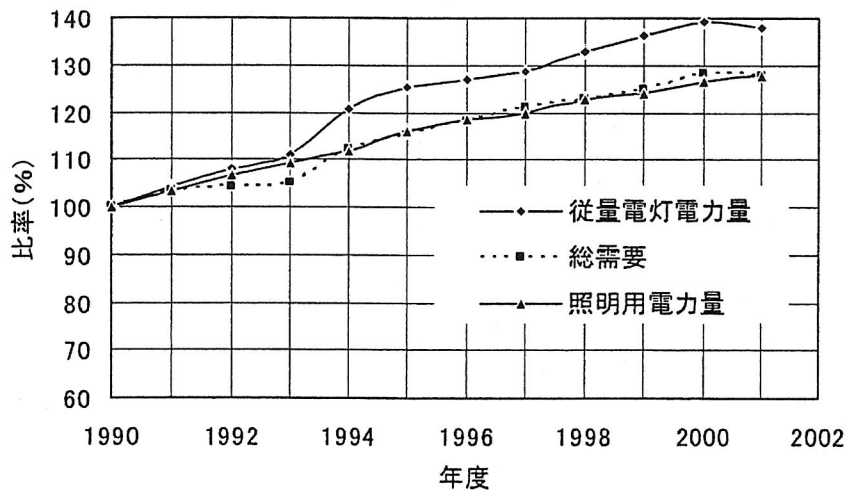


図 3.2 電力需要の伸び

一方, 電力を供給する側は石炭, 天然ガス, 石油を一次エネルギーとする火力発電が主

10 電力会社の平均値) と良くなく、半分以上のエネルギーが損なわれてしまう<sup>15)</sup>。また、石炭、天然ガス、石油を燃焼することにより二酸化炭素が発生することになる。

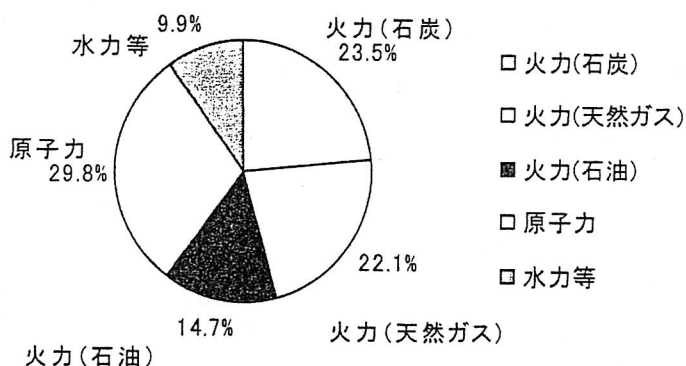


図 3.3 2000 年度における発電源別構成比

表 3.1 は主要国の一次エネルギー供給構造を示したものであるが、日本は他国に比べて石油に対する依存度が大きく、2000 年度で 50.5% を占めている<sup>16)</sup>。2010 年にはこれを 45% に下げる計画がある<sup>17)</sup>。また、輸入エネルギーへの依存度が高く、日本のエネルギー事情には厳しいものがある。

表 3.1 主要国の一次エネルギー供給構造 (内訳比率)

		日本		米国		英国	
		1973 年	2000 年	1973 年	2000 年	1973 年	2000 年
構成比 (%)	石油	77.8	50.5	47	38.7	50.5	35.9
	石炭	18.0	17.9	20.3	23.6	34.7	15.5
	天然ガス	1.6	12.4	29.9	23.7	11.4	37.8
	原子力	0.8	16.0	1.3	9.1	3.3	9.6
	水力その他	1.9	3.2	1.5	4.9	0.2	1.2
	合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
輸入エネルギーへの依存度 (%)		90.8	81.0	16.0	26.5	36.8	-17.6

このようなことが背景となり、1979 年にエネルギーの使用の合理化に関する法律 (旧省エネ法) が制定され、これに基づき、乗用・貨物自動車や蛍光灯器具を含む電気器具が特定機器に指定され、エネルギー消費効率の改善が義務付けられた<sup>18)</sup>。さらに、二酸化炭素を含む温室効果ガスの削減を目的として、省エネ法が改定され 1999 年 4 月から適用になった。自動車及び電気器具は、エネルギー消費効率の更なる改善が今求められている<sup>19)、10)</sup>。

#### 改正省エネ法の狙い

- (1)工場・事業所におけるエネルギーの使用の合理化の徹底
- (2)トッランナー方式の導入による自動車・電気器具等のエネルギー消費効率の更なる改善

### 3. 1 照明用エネルギーの位置づけ

2001年度における総発電電力量は1兆758.9億kWhであり、総需要は9,777.34億kWhとなっている。また、家庭で消費している従量電灯電力量(A,B)は1,956.43億kWhであり、総需要の20.0%を占めている。この内、照明用電力量は冷蔵庫に次いで多く、従量電灯電力量(A,B)の15.8%あり、需要全体の約3.2%を占めている<sup>[2],[3]</sup>。

表 3. 2 日本の総発電電力量と総需要 (単位：億 kWh)

	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度
a:総発電電力量	10,379.38	10,462.88	10,661.30	10,915.00	10,758.90
電気事業用	9,049.80	9,091.50	9,210.62	9,406.87	9,219.97
自家発電	1,329.57	1,371.38	1,450.68	1,508.13	1,538.93
b:総需要	9,264.58	9,346.61	9,573.7	9,820.66	9,777.34
c:従量電灯電力量(A,B,C)	2,195.38	2,269.46	2,326.57	2,373.62	2,355.35
d:従量電灯電力量(A,B)	1,821.59	1,886.18	1,933.80	1,973.20	1,956.43
冷蔵庫(%)	17.8	17.3	16.8	16.5	16.5
照明用(%)	15.9	15.7	15.5	15.5	15.8
冷暖房兼用エアコン(%)	12.6	12.9	13.3	13.6	13.9
ルームクーラー(%)	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5
テレビジョン受像機(%)	9.6	9.5	9.4	9.4	9.6
こたつ(%)	4.0	4.0	4.0	—	—
電気カーペット(%)	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0
温水洗浄便座(%)	2.8	2.9	3.2	3.3	3.5
衣類乾燥機(%)	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7
その他(%)	20.4	20.8	20.9	24.6	23.5
計(%)	100	100	100	100	100

備考1 こたつについては、2000年度以降は区分とデータがない

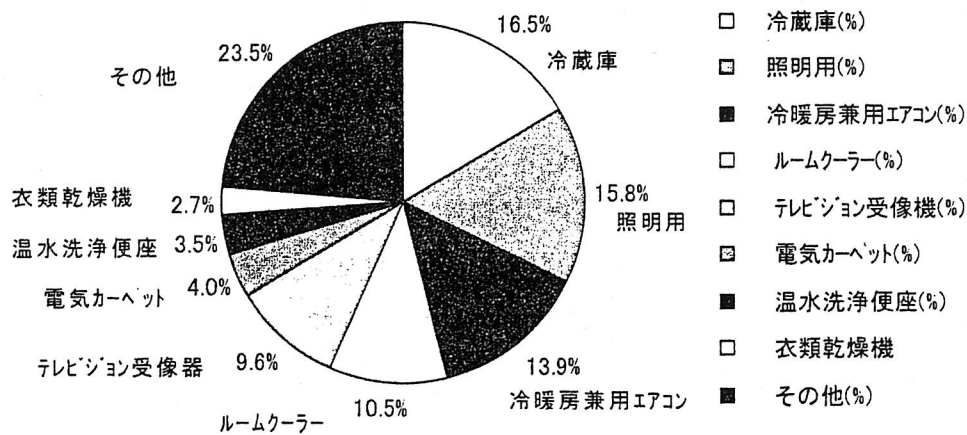


図 3.4 2001年度における従量電灯電力量の内訳比率

3. 2 改正省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律, トップランナー方式)

1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議(第3回締約国会議)で、日本は、二酸化炭素を始めとする温室効果ガスの排出量を第1約束期間までに基準年に対して6%削減することで合意をした<sup>[11],[12]</sup>。図3.5は日本における温室効果ガスの排出量を示したものであるが、1999年度の排出量は基準年に対して6.8%ほど増えてしまっている状況にある<sup>[13]</sup>。

地球温暖化防止国際会議(第3回締約国会議)の合意事項

(1)対象ガス：6種類

二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)、亜鉛化窒素(一酸化二窒素：N<sub>2</sub>O)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)

(2)基準年

二酸化炭素、メタン、亜鉛化窒素(一酸化二窒素)：1990年／その他3種類：1995年

(3)目標年

2008年～2012年の5年間の第1約束期間とする。

(4)温室効果ガスの排出削減割当て(数値目標)

+10%：アイスランド

+8%：オーストラリア

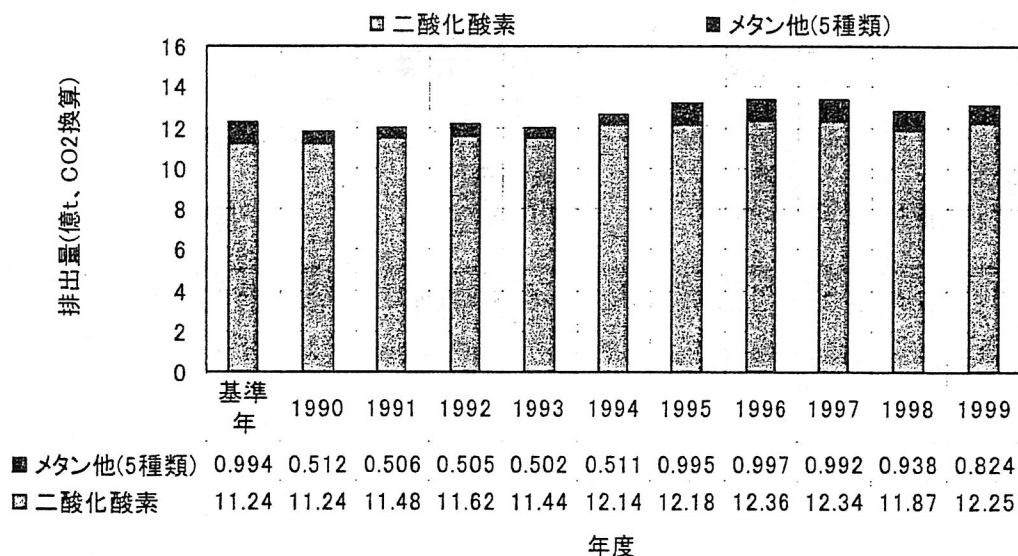
+1%：ノルウェー

0%：ニュージーランド、ロシア、ウクライナ

-6%：カナダ、ハンガリー、ポーランド、日本

-7%：アメリカ

-8%：EU各国、ブルガリア、チェコ、ラトビア、エストニア、ルーマニア、スイス他



備考1 メタン他(5種類)：CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>

備考2 基準年 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O：1990年、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>：1995年

図3.5 日本における温室効果ガスの排出量

1979年に制定された省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)が改定され、1999年4月から適用になったが、改正省エネ法は二酸化炭素等の排出量を削減することを目的としており、工場や事業所におけるエネルギーの使用の徹底した合理化と、トップランナー方式の導入による自動車や電気器具等のエネルギー消費効率の更なる改善を旨としている<sup>[9]</sup>。表3.3はトップランナー方式の規制対象機器とカテゴリ分け並びに目標値の設定形態及び目標の達成年度を示したものである<sup>[10]</sup>。現在では、表3.3に記載された機器の他に、ストーブ、ガス調理機器、ガス温水機器、石油温水機器、温水便座、自動販売機、変圧器が特定機器に指定されている。

表 3.3 トップランナー方式の規制対象機器とカテゴリ分け及び目標値の設定形態

対象機器	カテゴリ	目標値単位	達成年度
エアコン	機能, 能力	冷房専用 : 冷房 COP 冷暖房兼用 : (冷房 COP + 暖房 COP) / 2	4kW 未満の壁掛け型 : 2004 冷凍年度, それ以外 : 2007 冷凍年度
蛍光灯器具	形状と大きさ	光束 / 消費電力 (lm/W)	2005 年度
VTR	機能	待機電力(W)	2003 年度
テレビ	画面サイズ, 機能, 他	年間消費電力量 (kWh/年)	2003 年度
電子計算機	サーバ型 / クラウド型, 他	消費電力 / 複合理論 性能 (W/MTOPS)	2005 年度
磁気ディスク装置	ディスクサイズ, 他	消費電力 / 記憶容量 (W/GB)	2005 年度
複写機	複写速度	一時間当たりの平均 電力 (Wh/h)	2006 年度
電気冷蔵庫・ 電気冷凍庫	冷却方式, 内容量	年間消費電力量 (kWh/年)	2004 年度
乗用・貨物自動車	重量, 他	燃費(km/l)	ガソリン車: 2010 年度 ディーゼル車: 2005 年度

備考 1 COP: Coefficient of Performance, 成績係数 = 能力 / 消費電力

備考 2 MTOPS: Million Theoretical Operation per Second, 1 秒当たりの 100 万論理演算回数

蛍光灯器具は 12 のカテゴリーに分類され、それぞれのエネルギー消費効率と達成年度が規定されています。以下に蛍光灯器具の規制内容について述べる<sup>[14]</sup>。

(1)対象となる範囲

蛍光ランプを主光源とする照明器具。

(2)製造者等の判断の基準となるべき事項

①目標年度 2005 年度

②目標基準値

各製造事業者等は目標年度に国内向けに出荷する蛍光灯器具について、③で定める方法により測定したエネルギー消費効率を表 3.4 の区分毎に出荷台数で加重平均した値が、目標値を下回らないようにすること。

③測定方法

エネルギー消費効率は[lm/W]で表す。

表 3.4 蛍光灯器具の区分と目標基準値

区 分		目標基準値 lm/W	
直管形			
110 形	ラピッドスタート形蛍光ランプを用いるもの	79.0	
40 形	高周波点灯専用直管形蛍光ランプを用いるもの	86.5	
	ラピッドスタート形蛍光ランプを用いるもの	71.0	
	スタータ蛍光ランプを用いるもの	60.5	
20 形	スタータ蛍光ランプを用いるもの	電子安定器式のもの	77.0
		磁気安定器式のもの	49.0
環形			
	ランプの大きさの区分の総和が 72 を超えるもの	81.0	
	ランプの大きさの区分の総和が 62 を超え 72 以下のもの	82.0	
	ランプの大きさの区分の総和が 62 以下のもの	電子安定器式のもの	75.5
		磁気安定器式のもの	59.0
卓上スタンド			
	コンパクト形蛍光ランプを用いるもの	62.5	
	直管形蛍光ランプを用いるもの	61.5	

参考文献

- [1] <http://www.atom.meti.go.jp/siraberu/qa/00/nippon/02-009.html>. “一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）”（2004）
- [2] 電気事業連合会統計委員会編，通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修，“電気事業便覧（平成11年度版,12年度版,13年度版,14年度版,15年度版）,” 日本電気協会.
- [3] 経済産業省資源エネルギー庁公益事業部編，“電力需要の概要(平成11年度,12年度,13年度,14年度)” 中和印刷.
- [4] 電気事業連合会統計委員会編，通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修，“電気事業便覧（平成15年度版）,” pp.287, 日本電気協会(2003)
- [5] 電気事業連合会統計委員会編，通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修，“電気事業便覧（平成15年度版）,” pp.107, 日本電気協会(2003)
- [6] 電気事業連合会統計委員会編，通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修，“電気事業便覧（平成15年度版）,” pp. 295, 日本電気協会(2003)
- [7] 電気事業連合会統計委員会編，通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修，“電気事業便覧（平成15年度版）,” pp. 264-265, 日本電気協会(2003)
- [8] <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S54/S54HO049.html>. “エネルギーの使用の合理化に関する法律”（2004）
- [9] <http://www.columbus.or.jp/jyohooita/9903/gorika.html>. “エネルギーの使用の合理化に関する法律の改正について”（2004）
- [10] 資源エネルギー庁 石炭・新エネルギー部省エネルギー対策課監修，“省エネルギー総覧2000・2001,” pp.190-212 (2000)
- [11] (社)日本機械工業連合会, (株)三菱総合研究所, “地球温暖化対策と機械情報産業への影響予測調査結果,” pp.12-13, (1998)
- [12] 資源エネルギー庁編, “エネルギー2000” pp.40-41(1999)
- [13] <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/index.html>, “1999年度（平成11年度）の温室効果ガス排出量について”（2004）
- [14] (社)照明学会, “照明用電子安定器における入力電流高調波問題の研究,” pp.23-25(1999)

#### 4. 省資源、環境保全に関する現状の整理（LCAの概要）

省資源や環境保全に関して様々な取組みが行われているが、ここでは照明器具が生産されてから廃棄されるまでに環境に与える影響や、リニューアルに関わる現状を示す。

##### 4.1 環境アセスメントとLCA

環境問題として1970年代は公害発生事後対策時代、1980年代は公害発生予防対策時代、1990年代は地球環境保護時代であったと言え、2000年代に入り持続可能な発展を目指す時代として、環境面（商品のライフサイクル

の環境負荷低減）、経済面（利益、計画、投資など）、社会面（顧客満足度、社会貢献活動など）を同時に成立させるように考えられつつある。

法律面では、1993年に環境基本法、1997年に地球温暖化防止国際会議があり、温暖化ガス削減の要請から1998年に省エネ法が改正強化され、2001年にグリーン購入法、資源有効利用促進法が制定された。このため、地球環境保全を

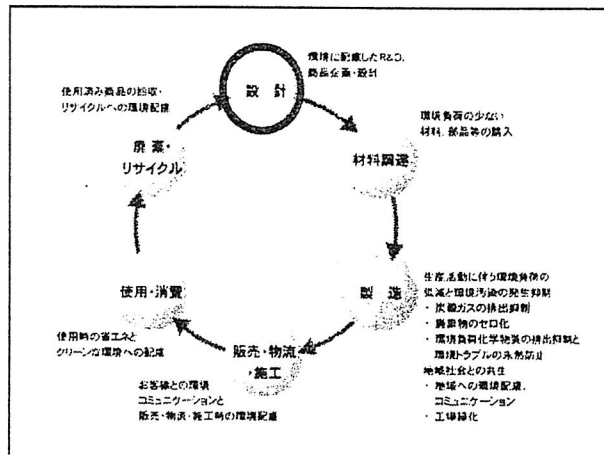


図 4.1.1 環境調和型商品の設計

考慮した商品づくりの考え方が重要となり、図 4.1.1 に示すように、設計から材料調達、製造、販売・物流・施工、使用・消費、廃棄・リサイクルというサイクルにわたって考慮することが必要である。省エネ、省資源、クリーンといった商品を環境調和型商品（Environmental Conscious Products）と称し、環境調和性を評価し ECP の開発支援を行うための手法が2つある。その一つは商品環境アセスメントであり、商品の企画、設計、開発段階で商品環境面を事前評価（省エネ、省資源(3R)、クリーン、環境情報開示、包装・製造、LCAなどを）するものである。商品が環境に与える負荷は、商品企画・設計・開発段階でほとんど決まるので、企画段階で目標とする環境調和性を明確化し、中間チェックを行い、商品審査として最終評価を行うことが重要である。例えば、省エネでは商品の使用、待機時のエネルギー消費量の削減を評価すること、省資源では商品の軽量・小型化、部品点数削減・共通化などによる資源使用量・最終処分量（廃棄量）の削減を評価する。もう一つがライフサイクルアセスメント（LCA）であり、これは商品環境アセスメントの評価項目でもあり商品のライフサイクル全体での環境負荷の把握と低減が目的となる<sup>1)</sup>。

例えば蛍光ランプ器具では、省エネのために高周波点灯によるランプ発光効率のアップと電力ロスの低減が可能な電子安定器が広く普及してきている。蛍光ランプ器具に入力される電力のうち光に変換されるのは20%強であり、それ以外は何らかのロスとなっている。最近は効率向上のために高周波点灯専用ランプが普及してきており、100 lm/W を超える効率となってきている。商品環境アセスメントの事例を図 4.1.2 に示す。これは、高周波専用ランプを用い高効率電子式安定器を搭載した1995年時点のもので、消費電力は従来

型照明器具と同じ照度で約 25% の省エネとなり、重量は 1/2~1/3 となっている。図 4.1.2 から各項目に対して大きな改善効果があることがわかる。Hf 照明器具では、高周波点灯はチラツキの改善という効果もある。

LCA としては、図 4.1.3 に示すような概念があり、資源の投入、環境への排出と、商品のライフサイクルとの関連を明確にし、環境影響として、地球環境、人体・生態への影響を考慮している<sup>[2-7]</sup>。

また近年、効率向上のために高周波点灯専用ランプが開発されており、一般ランプと比べ長寿命化が図られている。また、高周波二重環形蛍光ランプ (FHD) は一般ランプと比べ光出力で 1.7 倍の約 45% の省エネとなっている。これは、一つは高周波点灯によって電極損失が減少することがあげられる。また、陽光柱の発光効率の向上も効率向上の理由となっている。具体的には、ランプの発光効率が 10~20% アップし、さらに安定器の電力損失の低減により最大 30% 程度の省電力効果が得られる。さらに調光にも有利である。

図 4.1.4 にライフサイクルエネルギー消費量の各ステージ別の比較を示す。10 年の使用を仮定すると、エネルギー消費は使用時が全エネルギーの約 99% を占めており、高周波点灯専用 (Hf) 直管照明

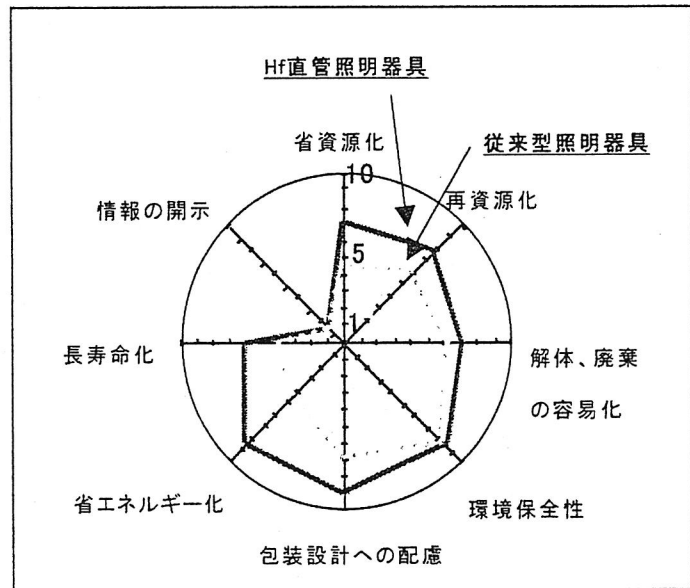


図 4.1.2 商品環境アセスメント

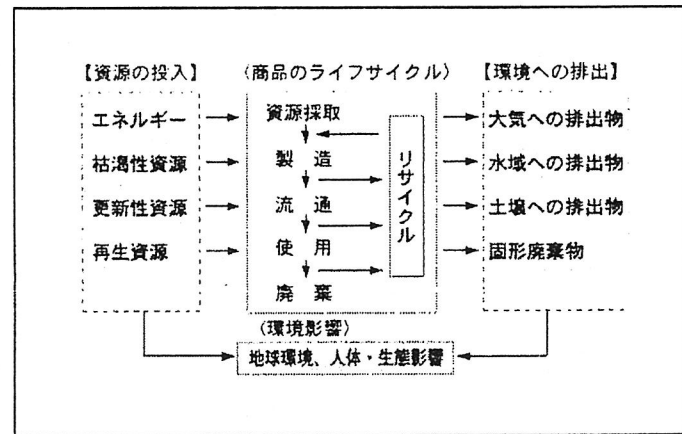


図 4.1.3 LCA の概念図

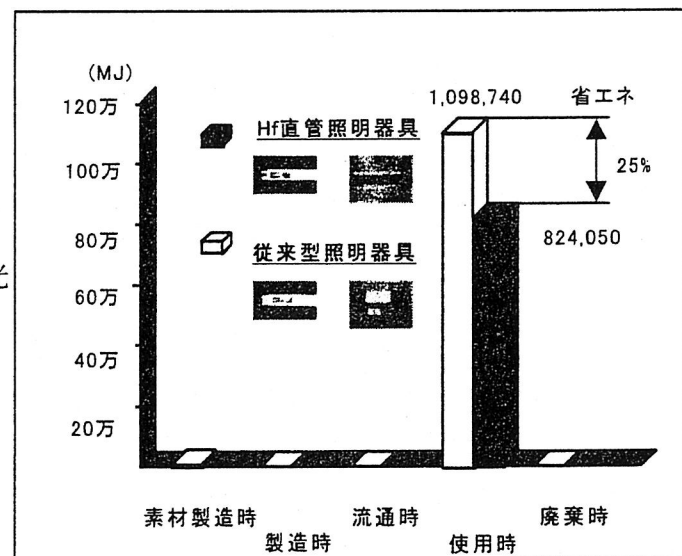


図 4.1.4 ライフサイクルでのエネルギー消費量

器具では、従来型のラピッド照明器具と比べて約 25%の省エネとなっている<sup>[8-9]</sup>。

図 4.1.5 に Life Cycle Inventory 分析による CO<sub>2</sub> 排出量比較の例を示す。高周波二重環形蛍光ランプ (FHD)を用いた器具は、一般ランプを用いた器具と比べて使用時の排出量の比率は大きく変わらないが、全体量は一般ランプと銅鉄安定器を用いた器具と比べて約 40%減となっている。

さらに、図 4.1.6 に示すインパクトカテゴリー分析結果としての環境負荷相互比較でも大きな軽減が図れていることがわかる。

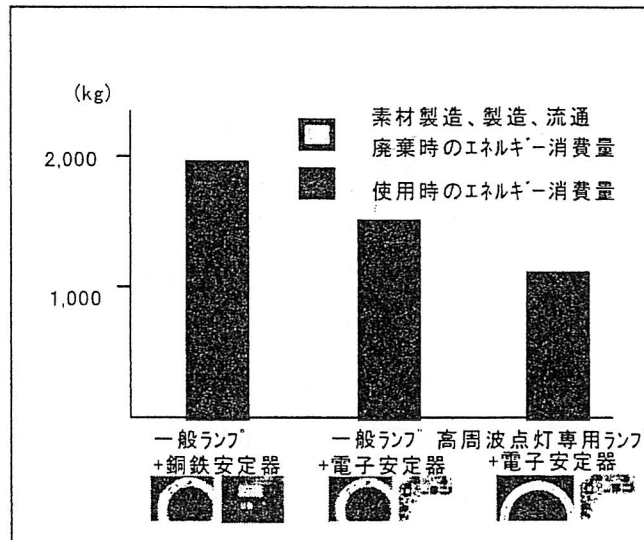


図 4.1.5 Life Cycle Inventory 分析による CO<sub>2</sub> 排出量の比較

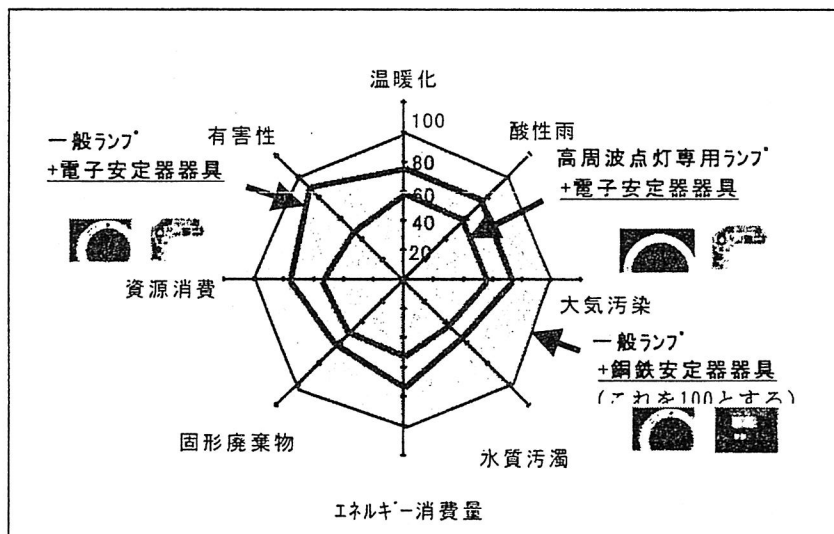


図 4.1.6 環境負荷相互比較 (インパクトカテゴリー分析結果)

以上をまとめると、ライフサイクルにおけるエネルギー消費量では、使用時が 98~99%をしめることがわかる。また、従来の銅鉄形安定器を用いた器具と比べ、高周波点灯専用ランプを用いた照明器具は大幅な省エネを図ることが可能である。

これらにより、今後は電子安定器 (インバータ) の一層の普及、高効率化を図る必要があり、高周波点灯専用ランプ + 電子安定器の照明器具を用い、照明システムとして使用時の省エネを積極的に図ることが重要である。

参考文献

- [1] 松下電工（株） Sustainability Report 2003 p14 , Feb. (2003)
- [2] 基礎素材のエネルギー解析調査報告書 , 化学経済研究所 (1994)
- [3] エネルギー使用合理化手法国際調査委員会 , 環境管理 , 31, 6 72-84 (1995)
- [4] エネルギー使用合理化手法国際調査委員会 , 環境管理 , 31, 7 91-97 (1995)
- [5] 「環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書
- [6] LCA 日本フォーラム報告書 , 日本フォーラム (1997)
- [7] LCA 製品のライフサイクルアセスメント, (翻訳) 戦略 LCA 研究フォーラム
- [8] 脇 , 八陣 , 松下電工技報, No.54, 20-24 (1996)
- [9] 脇 ほか, 松下電工技報, No.54, 39-43 (1996)

## 4. 2 リニューアル等関連技術

### 4.2.1 リニューアルにかかわる基本問題

建物・設備は年月とともに劣化していく。また,OA化,IT化,省資源化をはじめとした時代の変化や,技術革新が進む中で,設備に関する要求機能は増大し,そのままでは設備は劣化し,重大事故や競争力の低下につながる。劣化に対応する為に補修(機能・性能の回復)は不可欠であるが,質(技術,製品)を「社会動向」に合わせたリニューアルが必要である。

又,建物のエネルギー消費量のうち,照明エネルギーは約 1/4 を占めている。インベントリ分析によると,照明設備のライフサイクルにおけるエネルギー使用量は全エネルギーの 98%以上が使用時に消費されており,照明設備については使用時のエネルギー削減が大きな課題である<sup>1)</sup>。

したがって,照明設備の省エネルギー化は新設に限らずリニューアル時にも考慮することが重要である。

### 4.2.2 全面的リニューアルと部分的リニューアル

リニューアルの判断は 1.物理的变化(設備機器・配管類の腐食) 2.機能的变化(機能低下,エネルギーコスト増大) 3.社会的変化(環境への影響,時代遅れのイメージ)によって行うべきであるが,照明機器では下記が考えられる。

- 1) 構造・性能が劣化し,機能が維持できないとき
- 2) 安定器,電線,ソケットなどが劣化し,安全性が維持できないとき
- 3) 反射鏡,グローブなどを清掃しても光学特性が元の状態近くまで回復しないとき
- 4) 外観上,錆,傷,変色などが著しく,美観的に好ましくないとき
- 5) 照明効果,照明経済性,デザインなどの要求が変化したとき

以上の項目から劣化度,重要度,必要性,経済性を相互に検討する。そして利便性の向上,機能の改善,安全性の向上,イメージアップ,維持管理の合理化等を考慮し,全面的リニューアルか部分的リニューアルを行うことが望ましい<sup>2)</sup>。

### 4.2.3 リニューアル時における諸問題

リニューアル時にはコストが最重要視されがちであるが,省エネルギー(使用時,待機時の消費量削減),省資源(資源使用量,廃棄量の削減,再利用,長寿命)を考慮した製品を使用することが重要である。同時に負荷の抑制,自然エネルギーの利用,エネルギー・資源の有効利用等により運用段階の省エネルギー・省資源に努める事も必要である。

又,従来からの 3R,即ち Reduce(省資源),Recycle(再資源化),Reuse(再利用)が重要であることは言うまでもないが,これからはこれに加えて 4R, Refuse(不要・不適材の削減・グリーン設計)を基本

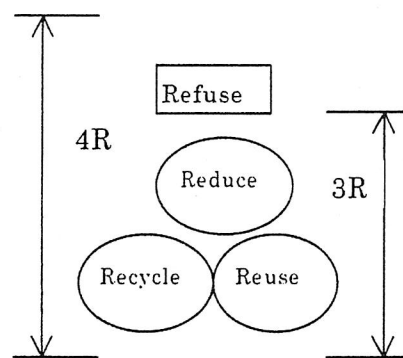


図 4.2.1 4R の構成

におくことが求められる<sup>13)</sup>。

そして、これらが考慮された製品をリニューアル時にも利用することが時代の要請に対応することになり、照明関連機器の進歩も促すことになる。

#### 4.2.4 リニューアルと今後の課題

- 1) 関連技術として照明設計側,器具側(ランプ,器具,回路),施工側,保守側が相互にリンクする必要がある。
- 2) これらからは光源,器具,点灯装置は電気設備・システムの端末になるからリニューアルでもそれに対応しておく必要がある。
- 3) 従来のリニューアルの考え方は低下した機能を回復させ,劣化した部材を交換することであったが,これからは「例えば20年後にも対応できる」リニューアルを考えなければならない。
- 4) 各々の照明関連機器に対してリニューアル時に必要性が揃うよう求めていくことになる。

#### 参考文献

- [1] 日本照明器具工業会 HP: 最近の照明「人に地球にやさしいあかり」  
京都議定書の実施に向けた“わが国の取り組み”
- [2] 岩崎電気(株): 照明器具リニューアルの提案 リーフレット RN-1.98.1
- [3] 電気設備学会誌: Vo1.21 No7 (電気設備年報) 542 (2001)

## 5. 省エネルギー技術の現状と今後の方向性

### 5. 1 概要

照明における資源やエネルギーの消費を考える場合、光源自体のみならず、光源に電力を供給する点灯回路（安定器）、光源を保持するとともに光の制御を行う照明器具、複数の照明器具に対して点滅・調光など行う制御システムなどを一連の系として取り扱う必要がある。本章では、照明に関わる省エネルギー・省資源技術の各論として、光源（5. 2～5. 6）、点灯回路（5. 7～5. 9）、照明器具（5. 10）および照明制御システム（5. 11）について、現状技術と今後の方向性について個別に記述する。まずは各論に入る前に、現状の各種光源について概略特性を把握することを目的に、形状・寸法、消費電力、効率、演色性、寿命についての代表値を一覧として表 5. 1. 1 に示す。

表 5. 1. 1 各種光源の比較表（代表値）

項目 (単位)	形状・寸法 (mm)	消費電力 (W)	効率 (lm/W)	平均演色 評価数	寿命 (千時間)
白熱電球	φ55×λ98 等	20～100	11～17	100	1～2
電球形蛍光ランプ	φ60×λ109 等	8～22	60～72	84	6～8
蛍光ランプ					
従来型（3波長）	管径 28～38 等	20～110	60～90	85～90	8.5～12
コンパクト形	管径 12～22 等	6～96	60～90	80～90	6～12
高周波点灯専用形	管径 16～25 等	16～84	81～110	80～90	8.5～12
H I D					
水銀ランプ	φ116×λ290 等	40～1000	40～50	14～40	12
メタルハライドランプ	φ116×λ290 等	100～1000	80～115	65～95	9～12
高圧ナトリウムランプ	φ116×λ290 等	75～940	60～145	25～85	12～24
L E D					
青 LED+黄蛍光体	φ5 砲弾形、 SMD 形など	0.05～5	15～30	70～80	(5～50)

各光源ともに、効率の向上や環境負荷物質の削減など省資源・省エネルギーに関わる技術開発が着実に進行している。近年の進歩において特に注目されることは、メタルハライドランプにおいて、従来の石英管に代わってセラミックの発光管を採用することで大幅な性能向上を達成したことや、LEDが照明用光源としても他の光源と比較できるレベルにまで効率向上を達成したことなどがある。光源の特性向上は、材料技術に依存する面が大きく、今後の材料技術の進展により着実な向上を積み上げていくとともに、ナノテクノロジー等の活用による飛躍的な特性向上が期待されている。使用光源の選択は、単純に効率だけで判断できるものではないが、白熱電球の電球形蛍光ランプへの代替のように、高効率光源へ置き換えをすすめるソフト面の施策も重要である。

点灯回路においては、蛍光ランプにおける高周波点灯の普及拡大が最も省エネルギーに貢献している。光源における材料技術に対応するものが、点灯回路では半導体技術であり、点灯回路に要求される機能・性能の素子開発が進められている。回路効率改善についての研究開発も進められているが、その成果は間接的に価格低下の形で製品に還元され、普及

率の上昇を支えている。また、電源電圧 100V/200V の共用化や複数のランプを点灯できる機能など機能面の充実が進んでいる。

照明器具においては、光源から放射された光を適切に制御して照明される空間に送り届ける機能が要請されるが、基本に立ち返って反射板の反射率向上について見直されている。また、建築モジュールへの適合や、細形・小形光源の採用による器具のコンパクト化により省資源や施工性向上などに配慮した開発が進められている。

大局的にみた場合、光源～照明器具の効率向上は比較的ゆっくりしたペースで着実に進行している。これに対して、照明制御システムを利用して状況に応じて光の量を制御する技術の進歩は大きく、エネルギー使用の抑制に大きな成果を上げている。タイムスケジュールに基づく制御や、各種センサを活用して人の在/不在や外光の状態に応じてきめ細かく照明を制御することで、照明環境の快適性を犠牲にすることなく大きな省エネルギー効果をあげることができる。また、建築設備全体のネットワークシステムとの連携により、照明単独よりもより効果的なエネルギー管理が期待されている。

今後、環境に優しい照明システムづくりを推進していくには、照明デザインや照明環境の快適性等に留まらず、望ましいエネルギー使用形態に導くような社会システムづくりの観点からもソフトウェアの重要性が高まっていると考えられる。

## 5. 2 白熱電球

### 5.2.1 現状

一般白熱電球のエネルギーの行方を図示すると図 5.2.1 となる。この 90%に及ぶ熱損失を軽減することによって省エネルギー化が図られる。

その第 1 は電球封入ガスを熱伝導率の低いガス、すなわち重いガスを用いることである。図 5.2.2 に各種ガスの熱伝導率を示す。従来の窒素ガスに変えて、アルゴン、クリプトンなど希ガスに変更することによって伝導損失が抑制され、効率が 10%程度向上する。現在クリプトン電球が実用化されているが、将来は原子炉から大量に生成される Xe を用いた高効率のキセノン電球も実用化されるものと予測される。

その第 2 は 72%の熱放射を減少させることにある。電球のバルブに屈折率の異なる 2 種類の光学薄膜を積層することによって、可視域は透過、赤外域を反射する干渉フィルタを形成するものである。その模式図を図 5.2.3 に示す。また干渉膜に用いられる光学材料の屈折率を表 1 に示す。またこの干渉膜を用いた赤外反射膜付電球の分光分布の例を図 5.2.4 に示す。赤外放射の一部が、この膜によってフィラメントに戻され、15%前後効率が向上する。

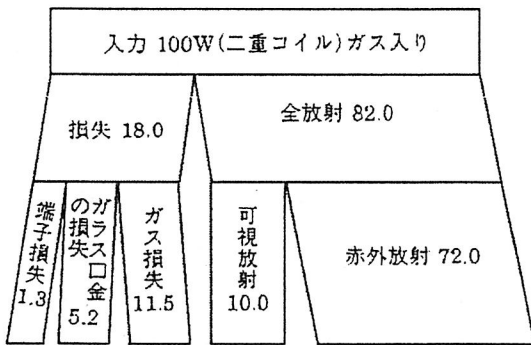


図 5.2.1 電球のエネルギーの行方

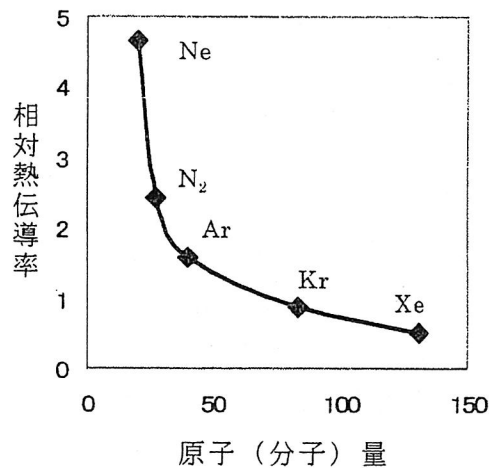


図 5.2.2 ガスによる熱伝導率の違い

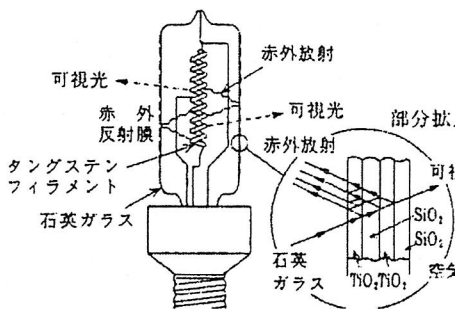


図 5.2.3 赤外反射膜付電球の構造模式図

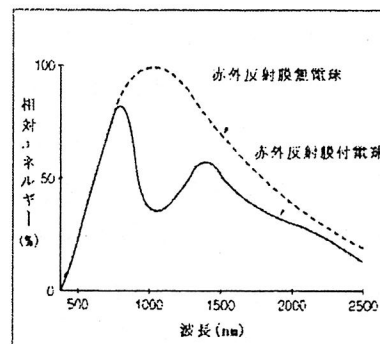


図 5.2.4 赤外反射膜付電球と膜無電球の分光分布比較

この赤外反射膜付電球の効率は、どれだけ多層の膜を形成し、可視域透過と赤外域反射の効率を上げるかにかかっており、試作レベルでは50%を超える効率向上も達成している。

したがって近い将来の白熱電球としては、より多層の干渉膜を形成する技術が極められ、赤外反射効率を高めた可視域放射効率 30%乃至 50%の白熱電球が実用化されてくると予想される。

このような赤外反射膜付電球は、ハロゲンサイクルを用いてタングステンの蒸発を押さえてフィラメント温度を高め、放射効率を向上させたハロゲン電球に応用されている。

表 5.2.1 各種光学材料と屈折率

材料	屈折率
$MgF_2$	1.37
$CaF_2$	1.43
$SiO_2$	1.46
$Al_2O_3$	1.76
$Y_2O_3$	1.92
ZnS	2.1
$TiO_2$	2.2
$BaTiO_3$	2.4

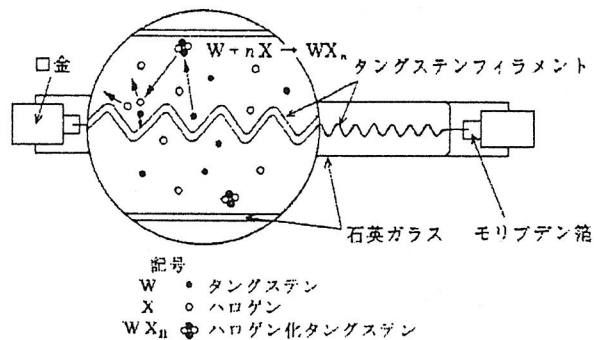


図 5.2.5 ハロゲンサイクル模式図

ハロゲンサイクルは図 5.2.5 に示すように、タングステン W がフィラメントから蒸発すると、管壁近傍の低温部でハロゲン化タングステン  $WX_n$  になり、タングステンが管壁に黒化するのを防止する。また  $WX_n$  はフィラメント近傍で W と X とに解離し、タングステン W の蒸発を抑制する。このためにハロゲンを封入しない電球よりもフィラメント温度を高くして 20%前後効率向上を図ることができる。

### 5.2.2 今後の動向

熱放射は本質的に Planck の放射則に従い、幅広い波長範囲にエネルギーを放射する。従ってこの放射エネルギーを限定された波長範囲にのみ放射できれば、それだけ効率が向上し、省エネルギー・省資源に通じる。そのような放射をする材料が選択放射体である。

この選択放射を人工的に起こす機構を用いたものがマイクロキャビティ放射<sup>[1]</sup>である。これはマイクロ波の導波管における遮断波長と同じ原理で、ミクロンオーダーの空洞共振器を無数に製作し、赤外域放射を遮断し、可視域のみを放射させる構造の放射体である。この原理図を図 5.2.6 に示す。縦横幅 0.35 $\mu$ m、深さ 7 $\mu$ m の穴を無数に空けた金属を加熱し、可視域のみ放射させる。2000K における完全導体（抵抗率ゼロ）の物体からの放射分布をタングステンの場合と比較したのが図 5.2.7 である<sup>[2]</sup>。

このマイクロキャビティの研究は、いくつかの研究機関で行われているが、課題も多い。

マイクロキャビティの効率を上げるためには、キャビティ間の仕切り板を薄くナノサイズにする必要があるが、このような薄い物質は、結合力が弱く蒸発・昇華し易くなる。またこのような深いアスペクト比を有する超微細（ナノ）加工技術も最先端技術に於ける限界領域にあり、今後の技術の進歩を待つところが大きい。

これと同様な原理に、超微粒子表面に定在する電磁波を利用する放射がある。クラスター発光と呼ばれ、上述のハロゲンサイクルを利用して数十ナノメートルの超微粒子を放電空間に形成し、放電により数千度に加熱することで、可視域への白熱放射を起こすものである。これによって 60lm/W 前後の効率を得ているが、白熱放射とはいえ放電を用いる。そこでこのような超微粒子を基板状に形成し、選択放射を行わせる方式のフィラメントも検討されている。TaC などの焼結体フィラメントは、その表面が超微細な凹凸で覆われており、この表面に可視域電磁波が定在し、選択放射するものである。

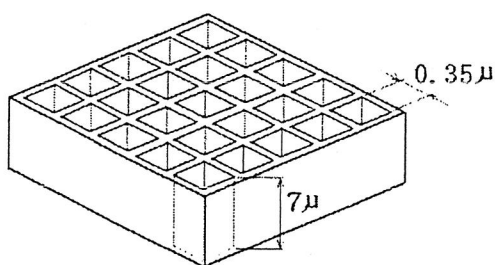


図 5.2.6 マイクロキャビティ原理図

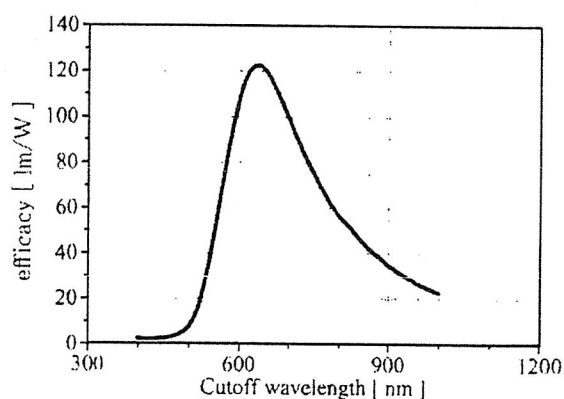


図 5.2.7 タングステンマイクロキャビティ放射効率 計算値<sup>2)</sup> 2000K

またタングステンのように、素材自身の可視域放射率が赤外域での放射率に比較して高い選択放射材料もある。タングステンの場合には、温度 3000K における赤外放射量は完全黒体放射の 76% である。したがって、このように赤外域の放射率が低く、可視域の放射率が高い材料を見出すことができれば、高効率白熱電球を実現できる。このような材料として ZrC, TaC, HfC など炭化物が挙げられるが、可視域放射率の高い一因は、前述の表面凹凸による部分もあると考えられる。

省エネルギー・省資源の観点からみると電球の発光効率は低い。したがって小型 HID ランプ、電球型蛍光灯ランプ、更には LED 白色光源の出現によって、電球使用分野の一部では、電球への置き換えが進行している。日本電球工業会公表の平成 10 年から 14 年の 5 年間における電球の出荷統計を見ると、一般電球は数量ベースで年平均 95.6%、ハロゲン電球は同じく年平均 92.8% で減少している。上述のように効率・寿命ともに優れた代替光源

の出現で、使用量が減少している表れである。しかしながら電球の光が点光源であり、器具と組み合わせたとき制御しやすく、更に輝度が高く高級感がある、色温度が低く温かみがあるなど、人間の感性に適合した光源として、未だ根強く好まれおり、このような白熱発光の特徴を生かしながら、高効率且つ長寿命の白熱発光光源が、次世代の白熱光源として望まれることになる。そのような意味において、マイクロキャビティ光源、選択放射電球など、ナノテクノロジーを用いた最先端高度技術利用電球の開発が、今世紀前半には実用化されるものと推定される。

#### 参考文献

- [1] J. F. Waymouth : “Where will the Next Generation of Lamps Come from?“, J. Light & Visual Environment, 13-2, pp51-68 (1989)
- [2] 佐藤渉, 関根征士, 大河正志 : 「エリプソメトリーによるタングステンの複素屈折率の測定」照明学会誌 87-5, pp328-334 (2003)

### 5.3 電球形蛍光ランプ

電球形蛍光ランプは1979年に日本で初めて製品化されて以来、年々改良が進んでいる。今日では省電力光源として電球比で1/4から1/5の省電力を実現しており、形状もほぼ一般電球と同じサイズまで小形化された。光色は2800Kから6700Kまであり電球では出せない白色光が得られるのも特長である。ここではこれまでの出荷動向、近年の技術開発の紹介および今後の期待についてまとめる。

#### 5.3.1 電球形蛍光ランプの出荷動向

電球形蛍光ランプの普及率そのもののデータは無いが、アンケート調査によると75%の家庭で電球形蛍光ランプが使われている<sup>[1]</sup>。1992年度から2002年度までの国内出荷数量の統計データを図5.3.1に示す<sup>[2][3]</sup>。

1992年度を基準として出荷数量の伸び率を比較すると1995年頃を堺に一般電球の出荷本数はゆっくり下降し、電球形蛍光ランプは1998年に一旦低下するが右肩上がりが増え続けている。

省電力光源としての社会ニーズからだけでなく、1998年の電球形状に近似したA形の登場<sup>[4]</sup>など電球に近づけるための技術開発による器具への装着率向上も出荷本数の伸びに寄与しているものと考えられる。2002年度の一般電球の出荷本数は1億1,500万個に対して電球形蛍光ランプは約1,800万個であり<sup>[2][3]</sup>、今後も普及が進んでいくものと思われる。

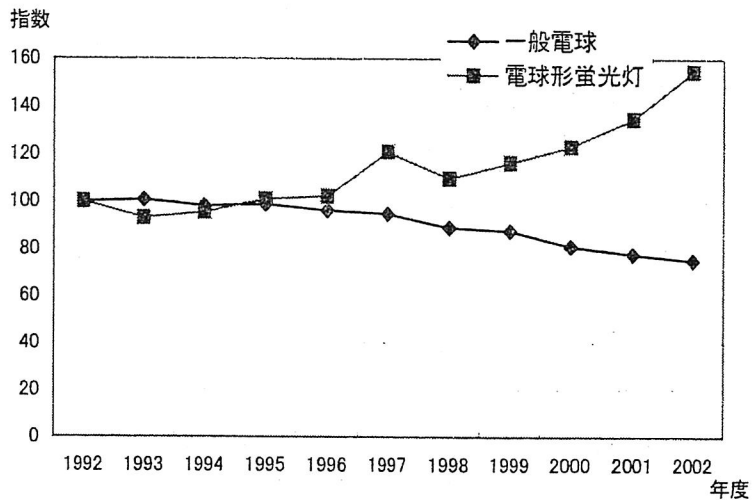


図 5.3.1 一般電球と電球形蛍光ランプの出荷数量の伸長（'92年度基準）

#### 5.3.2 高効率化と省資源化（小形化）の動向

現在実用化されている電球形蛍光ランプは電球比で1/4から1/5の省電力を実現しており、60W電球相当で12から13Wである<sup>[4]</sup>。図5.3.2に電球との比較のため筒状のT形と電球形状のA形の大きさ

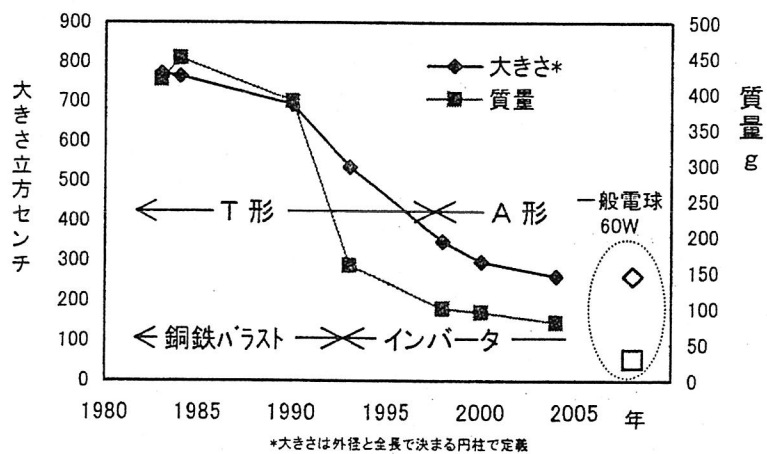


図 5.3.2 電球形蛍光ランプの小形化の推移

と質量の推移を示す<sup>[4]</sup>。電球形状の実現のため技術開発が続けられ 60W 電球相当のタイプでは一般電球と同サイズにまで小形化されたものが発表された。

電球形蛍光灯の高効率化と小形・軽量化にはインバータ技術の改良と発光管のコンパクト化が寄与している。銅鉄バラスト時代には 17W であったものが 1993 年頃のインバータ化で 15W 前後に改善され、質量は約 400 g から約 150 g に大幅に低減された<sup>[4]</sup>。銅鉄安定器では発光管の管径が 15.5~17.5mm だったものがインバータ化で細管化が進み、最近のものでは管径 9~11mm が採用されている<sup>[5]</sup>。電球形状の容器の中にインバータと発光管を詰め込み、さらに明るさを確保するためには放電路を長くする必要がある。このため、3U やスパイラル状に加工した発光管など新たな加工技術が投入され小形化を実現している<sup>[6]</sup>。また、発光管を細管化することでランプ電流を下げられるためインバータも小形、高効率化が可能となり省エネ光源としての高効率化と省資源である小形化を両立している。

### 5.3.3 光束立ち上がり特性の改善

電球形蛍光灯をさらに普及させるためには、省電力と長寿命の特徴を活かしたまま電球の機能に近づける必要がある。電球は電源を入れて瞬時に明るくなるため、新たな技術開発が投入されている。最近の光束立ち上がり特性改善の事例について述べる。

コンパクト形状で明るさを確保するため水銀蒸気圧を最適に保つ技術としてアマルガム式発光管が採用されてきた。アマルガム式発光管は安定時に最適の明るさになる設計であるため点灯直後は水銀蒸気圧が低く、点灯直後の明るさは安定時の 10% 程度で、明るくなるまでしばらく時間がかかる<sup>[5]</sup>。図 5.3.3 はアマルガム発光管の細管を伸ばして口金内にアマルガムを設置して水銀蒸気圧をコントロールし、点灯直後の明るさを 35% に改善したものである<sup>[5]</sup>。図 5.3.4 は最冷部として発光管に凸部を設け、さらに熱伝導媒体を介して外管に熱を逃がすことによりアマルガムを廃して点灯直後の明るさを 40% に改善している<sup>[6]</sup>。これらの技術開発の進化で、より一層電球の機能に近づき、用途の拡大でさらに普及するものと期待される。

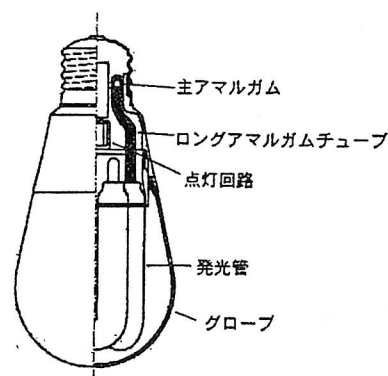


図 5.3.3 ロングアマルガムチューブ方式

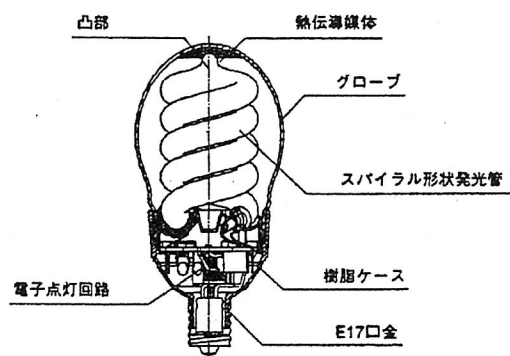


図 5.3.4 熱伝導媒体方式

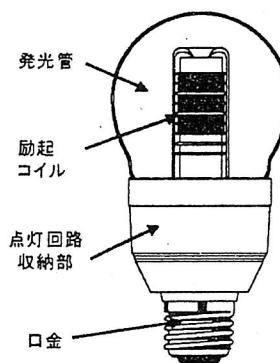


図 5.3.5 無電極タイプの構造

#### 5.3.4 新たな技術開発

新たな提案として電極の無い発光管を採用した無電極タイプの電球形蛍光ランプが製品化された<sup>[7]</sup>。図 5.3.5 に無電極タイプの構造を示す。発光管内に筒状の凹部を設けこの中に励起コイル挿入して電磁結合で発光管内の水銀を励起させる。無電極蛍光灯は従来数 MHz ～十数 MHz の点灯周波数を使っていたが、480 kHz に下げることインバータ回路の小形化を実現している。寿命は発光管内に電極が無いことと封入ガスを工夫することで有電極の 6,000 時間に対して 5 倍の 3 万時間と大幅に伸ばすことができた。また電極が無いため瞬時点灯と点滅にも強く、10 万回以上の点滅が可能で、従来の電球形蛍光ランプは得意ではなかった点滅の多い場所にも使えるようになった。

クリプトン電球で多く採用されている E17 口金タイプも各社から商品化されてきた<sup>[6]</sup><sup>[8]</sup><sup>[9]</sup>。これらはクリプトン電球と同サイズまでには至っていないが、器具装着率を向上させるために形状の工夫がされており今後の用途の拡大が期待される。

#### 5.3.5 今後への期待

電球形蛍光ランプの基本機能である高効率化とコンパクト化や調光機能の付加など電球代替光源として電球に近づける技術開発は今後も進化すると思われる。一方では電球形蛍光ランプの特長を生かした専用器具の開発も進められている<sup>[10]</sup>。今後の用途拡大による省電力への貢献に期待したい。

#### 参考文献

- [1] 電球工業会報, 455, p.8 (2003)
- [2] 笹川静夫: 電球形蛍光ランプの市場動向, 照学誌, 87-12, p.965 (2003)
- [3] 電球工業会報, 456, p.26 (2003)
- [4] 池田, 浦滝: 電球形蛍光ランプ開発の歴史と今後, 照学誌, 87-12, pp.966-973 (2003)
- [5] 高原雄一郎: 電球形蛍光ランプの光束立ち上がり特性, 照学誌, 87-12, pp.974-977 (2003)
- [6] 板谷賢二: 電球形蛍光ランプの小形化動向(その I), 電球工業会報, 457, pp.26-28(2003)
- [7] 荒川ほか: 低周波 (480kHz) 駆動電球形無電極蛍光ランプ, 照学誌, 87-12, pp.978-981(2003)
- [8] 土屋正志: 電球形蛍光ランプの小形化動向(その II), 電球工業会報, 457, pp.29-31(2003)
- [9] 小宮章利: 電球形蛍光ランプの小形化動向(その III), 電球工業会報, 457, pp.32-34(2003)
- [10] 加藤義行: 電球形蛍光ランプ応用器具の開発動向, 照学誌, 87-12, pp.983-985 (2003)

## 5. 4 蛍光ランプ

### 5.4.1 蛍光ランプの変遷

低気圧の水銀-希ガス放電プラズマで生成される紫外放射を蛍光体で可視放射に変換するというアイデアはフランスの G.Claude によって着想され、1933 年に冷陰極蛍光ランプが発明されたが、実用的な熱陰極蛍光ランプは 1938 年に GE 社の Inman 等によって発明された<sup>[1]</sup>。その後、高効率、長寿命を優先テーマとし、放電面では放電管の管径と形状、封入ガスの圧力と組成および点灯方式が、材料面では蛍光体、保護膜、および電極材料が、そして放電の制御面では点灯回路技術のたゆまぬ研究開発が成され、現在では高周波点灯専用形の FHF32 で効率 110lm/W、寿命 12,000 時間が実現している。表 5.4.1 に Inman 等が 1938 年に実用化した蛍光ランプ<sup>[1]</sup>と、現在の蛍光ランプの実力とを比較して示す。この 65 年の間に、効率は 2.3 倍に、寿命は 6 倍に改善された。また、経済産業省の生産動態統計によると、蛍光ランプの生産数量は 1970 年に電球を追い抜き、2002 年では 36,000 万本(バックライトを除く)に達し、照明用の主流光源である。

表 5.4.1 蛍光ランプの特性比較

年	寸法 (管径×全長) (mm)	ランプ電流 (mA)	ランプ電力 (W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	Ra	平均寿命 (時間)
1938	φ38×1,200	420	40	1,880	47	92	2,000
2003	φ25×1,200 (FHF32EX-N)	425	45	4,950	110	88	12,000

昨今では、環境保全に対する世界的な意識の高まりに対応して、さらなる高効率化および有害物質の廃止や削減、また高齢化社会の急激な進行に伴い、高出力、長寿命の蛍光ランプの開発が盛んに行なわれている。

### 5.4.2 蛍光ランプの現状<sup>[2]</sup>

1999 年にいわゆる改正省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)の施行により、2005 年までの効率の規制値達成に向けた開発が盛んに行われるようになった。その主な内容は、3 波長形蛍光ランプと高周波点灯専用形蛍光ランプの採用、および器具内での実使用条件を考慮して、効率が最大となる周囲温度を高温側にシフトさせた蛍光ランプの実用化である。

3 波長形蛍光ランプは高い平均演色評価数と高効率を兼ね備えており、

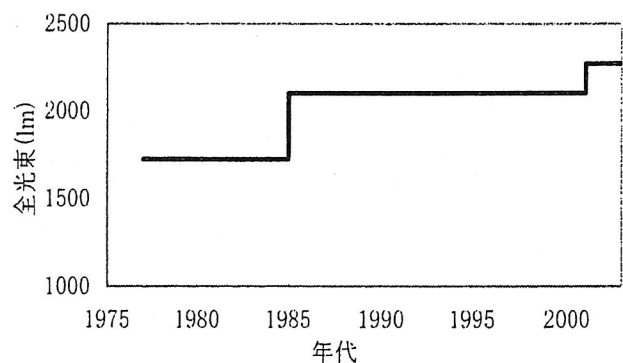


図 5.4.1 FCL30EX-N/28 の全光束推移

1977年に我が国で初めて発売されてから既に26年が経過した。その間、3波長形蛍光ランプは高い管壁負荷でも光束低下が少なく、また水銀消費量も少ないことがわかり、蛍光ランプの応用範囲を拡大することに貢献してきた。最近の3波長蛍光体の開発動向では、蛍光体の表面処理や、特性に影響を与えやすいアルミネート系の青色蛍光体(BAM)について、組成、粒形、および合成プロセスなどの研究がなされ、効率、演色性、劣化の改善に貢献している。一例として、住宅用蛍光ランプの主力である30W形環形蛍光ランプ(FCL30EX-N/28)の全光束の推移を図5.4.1に示す。1977年の1720lm(61lm/W)から2003年の2270lm(81lm/W)まで、全光束は32%向上した。

蛍光体の改良は、施設用蛍光ランプとして普及しつつある高周波点灯専用形蛍光ランプ(FHFタイプ)にも展開されている。FHFタイプは日本では1992年に40W形のFHF32が商品化され、それ以降20W形のFHF16と65W形のFHF50が追加され、1999年には110W形のFHF86が商品化された。2002年にはFHF32で従来品より10%全光束を向上させて110lm/Wを達成した。

ヨーロッパでは、1995年に管径16.5mmで20W~65W形サイズ(550~1450mm)までの直管形蛍光ランプが発表された。これらのランプは器具内で高い効率を実現するために、周囲温度35℃付近でランプ効率が最大になるように設計されている。具体的には、片側の電極を封止端から遠ざける構造(いわゆるハイマウント構造)を採用することにより、水銀蒸気圧を決定する最冷部を温度の低い口金近くのガラス部に形成させている。さらに1996年には、それぞれのクラスで全光束がFHFタイプに近い高出力タイプが発表された。国内でも、この高出力タイプが1996年から発売されている。

高周波点灯専用形コンパクト形蛍光ランプとしては、1997年に2本管形のFHP105が発表された。これは、2本の直管を接合することにより、全長の短縮と効率および全光束の絶対値を確保したもので、直管40W並の全長で、FLR110Hと同等の全光束とFHF32と同等の効率を実現している。その後、このFHPタイプは品種が拡充され、1999年にFHP32が、2001年にFHP45が、2003年にFHP23が商品化された。それぞれ、FPL27, 36, 55を高周波点灯した場合(JIS C 7618-2:2003)に比べて3~8%効率が向上している。FHPシリーズはいずれも管径17.5mmである。一方、管径20mmで高温特性を改善したコンパクト形蛍光ランプとして、2001年にFHP45/HF, FHP32/HFが商品化されている。

小形のコンパクト形蛍光ランプとしては、高周波点灯専用形の6本管形(以下FHT)がダウンライトに用いることを主な用途として開発されている。FHTは高照度化を目的にヨーロッパで製品化され、1994年頃から日本にも導入されはじめた。FHT16, 24, 32がJIS化されている。現在では、さらに高ワットなFHT42, FHT57(図5.4.2)も製品化されており、さらに欧州では120Wで9,000lmのタイプが製品化されている。高出力化の促進により、小形HIDランプの代替光源として用途の拡

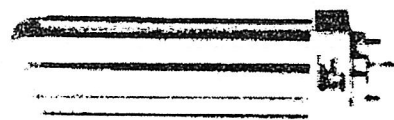


図 5.4.2 FHT42

大が期待されている。

直管形とコンパクト形の高周波点灯専用形蛍光ランプは、施設用のベース照明として、今後もラインアップの拡充と普及が進んでいくものと考えられる。主な品種の特性を表 5.4.2 と表 5.4.3 に示す。

日本の家庭では主に環形蛍光ランプが使われているが、環形の高周波点灯専用形蛍光ランプは、1996年に管径 16mm のタイプ(以下 FHC)と管径 20mm の二重環形タイプ(以下 FHD)が商品化された。FHC は 2000 年に、高温域での光出力特性改善を目的として片側ハイマウント方式が採用され、光束の最大値が周囲温度約 35℃で得られるように改善された。また、FHD はブリッジ接合部トップ(口金内部)に最冷部を設けた方式を採用しており、周囲温度約 40℃に光束の最大値がある。いずれも寿命は従来の環形蛍光ランプの 1.5 倍の 9,000 時間を達成している。さらに、2001 年に FHC41 と FHC13 が、2002 年に FHD85 がそれぞれ追加された。主な品種の特性を表 5.4.4 に示す。

表 5.4.2 主な直管高周波点灯専用形蛍光ランプの特性

形名	管径 (mm)	管長 (mm)	定格ランプ 電力(W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
FHF16EX-N	25.5	589	23	2,100	91	8,500
FHF32EX-N	25.5	1,198	45	4,950	110	12,000
FHF50EX-N	25.5	1,499	65	6,400	99	12,000
FHF86EN/RX	25.5	2,367	84	9,200	110	12,000
FHF24SEN	16.5	549	24	1,950	81	9,000
FHF54SEN	16.5	1,145	54	5,000	93	12,000

- ・ 2重定格のものは、高出力特性のみ記載した。
- ・ 16.5mm 管は、35℃での全光束値を記した。

表 5.4.3 主なコンパクト形高周波点灯専用形ランプの特性

形名	管径 (mm)	管幅 (mm)	全長 (mm)	定格ランプ 電力(W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
FHP23EN	17.5	37.5	245	23	1,770 1,850	80 -	10,000
FHP32EN	17.5	37.5	412	32	2,900	91	12,000
FHP45EN	17.5	37.5	560	45	4,350 4,500	97 -	12,000
FHP105EN	17.5	37.5	1,150	105	11,000	105	12,000
FPL32EN/HF	20	43	412	32	2,970 3,200	93 -	12,000
FPL45EN/HF	20	43	557	45	3,980 4,500	88 -	12,000
FHT16EX-N	12.3	-	116	16	1,200	75	10,000
FHT24EX-N	12.3	-	131	24	1,800	75	10,000
FHT32EX-N	12.3	-	147	32	2,400	75	10,000
FHT42EX-N	12.3	-	168	42	3,200	76	10,000
FHT57EX-N	12.3	-	195	57	4,300	75	10,000

- ・ 全光束下段は、35℃での値。

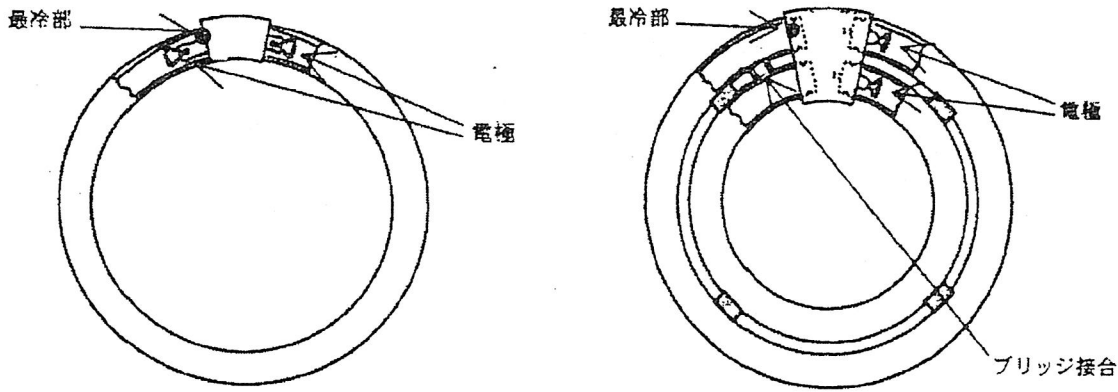


図 5.4.3 環形 (FHC, 左) および二重環形 (FHD, 右) の高周波点灯専用形蛍光ランプの構造<sup>13)</sup>

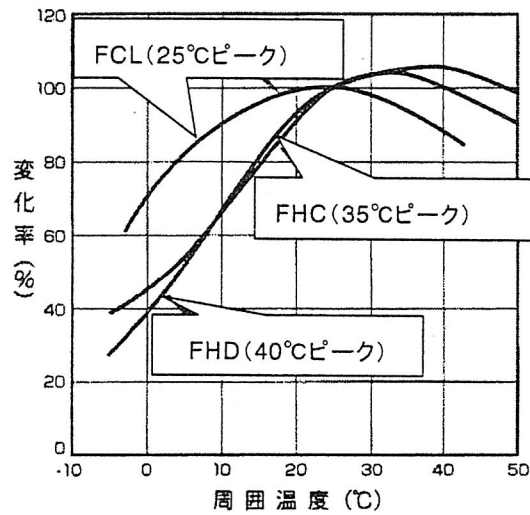


図 5.4.4 環形蛍光ランプ：FCL, FHC, FHD の周囲温度に対する相対光束

表 5.4.4 環形 (FHC) および二重環形 (FHD) の高周波点灯専用形蛍光ランプの特性

形名	管径 (mm)	環径 (mm)	定格ランプ 電力 (W)	全光束 (lm)		効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
				25°C	35/40°C	25°C	
FHC13EN	16	151	18	1320	1230	73	9,000
FHC20EN	16	225	28	2310	2320	83	9,000
FHC27EN	16	299	38	3430	3450	90	9,000
FHC34EN	16	373	48	4480	4510	93	9,000
FHC41EN	16	447	58	5300	5680	91	9,000
FHD40EN	20	192	41	3100	3300	76	9,000
FHD70EN	20	296	68	5900	6300	87	9,000
FHD85EN	20	342	83	7600	8100	92	9,000
FHD100EN	20	400	97	8800	9600	91	9,000

- ・ 2重定格のものは、高出力特性のみ記載した。
- ・ 全光束は、FHCが35°Cにおける値、FHDが40°Cにおける値。

無電極蛍光ランプは、一般照明用では誘導結合放電タイプのものが実用化されている。長寿命の利点を生かして、保守が困難な街路灯、高天井、トンネル照明で使用されている。誘導結合放電タイプでは高ワット化も比較的容易なので、1999年には、誘導コイルが発光管に覆われているタイプでは、165Wで12,000lmのランプが商品化された。また、発光管が四角環状のタイプでは、150Wで12,000lmのランプが商品化された。今後、保守が困難な場所への普及がさらに進むものと期待される。主な品種の特性を表5.4.5に示す。

表 5.4.5 主な無電極蛍光ランプの特性

形名	寸法A (mm)	寸法B (mm)	定格電力 (W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
QL55W/840	85	141	55	3,500	64	90,000
QL85W/840	111	181	85	6,000	71	90,000
QL165W/840	131	210	165	12,000	73	90,000
ENDURA70W	139	313	70	6,200	89	60,000
ENDURA100W	139	313	100	8,000	80	60,000
ENDURA150W	139	414	150	12,000	80	60,000

- ・QLランプの寸法A：最大径，寸法B：全長
- ・ENDURAランプの寸法A：短径，寸法B：長径
- ・QLランプの定格電力には点灯装置の消費電力も含む。
- ・ENDURAランプの定格電力はランプの消費電力のみ。
- ・効率=全光束/定格電力

#### 5.4.3 蛍光ランプの今後の展望

まず、省エネルギーという観点では、照明の質を考慮して蛍光灯器具の消費効率の指数を算出するという規格<sup>14)</sup>がJISに取り入れられようとしている。一例として、平均演色評価数が70未満のランプを規準（係数1.00）にして90以上の蛍光ランプには係数1.23を与えたり、センサ機能も調光機能もない器具を基準（係数1.00）にして両方とも備えた器具には係数1.30を与えたりすることが検討されている。

蛍光ランプをLCA分析すると地球温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>の排出量が最も大きいのは使用時である。従って、高効率であるほど環境に対して負荷の低い蛍光ランプであるといえる。一方、欧州のRoHS指令に代表されるように、蛍光ランプの封入水銀量を最低限に抑えるために規制を設ける動きがある。水銀削減のための要素技術には、水銀の消耗速度を抑える技術と水銀の定量封入技術があるが、前者に対しては、蛍光体の表面処理やガラスに対する保護膜の技術が、また後者に対しては、水銀合金、水銀カプセル、アマルガムなどで定量封入する技術が実用化されている。また、国内にはグリーン購入法があり、その基準の一つに「一本あたりの水銀量は平均10mg以下」に指示されている。近年、3波長形蛍光ランプや高周波点灯専用形蛍光ランプなど、この基準を満足する蛍光ランプが増加してきている。

水銀削減の究極は、水銀フリー蛍光ランプの実用化である。そのための基礎研究として

エキシマが注目されている。誘電体バリア放電で形成されるキセノン Xe のエキシマから放射される真空紫外放射（ピーク波長 172nm）の効率は 60%に達しており<sup>15)</sup>、現在の蛍光ランプに使われている水銀-希ガス放電の紫外放射(254nm)の効率：約 63%と比べても遜色が無い。一方、真空紫外放射などで励起させる多光子蛍光体の原理的な研究はなされているが、実用化には至っていない。現在、Xe エキシマの真空紫外放射を利用した水銀フリー蛍光ランプの効率は 30lm/W<sup>16)</sup>が達成されており、速い光束立ち上がりやフラットな温度特性が要求される液晶バックライトや複写機用の光源として実用化されている。一般照明に応用するためには 70~100lm/W の効率が必要で、多光子蛍光体などのブレークスルーが実現するまで、一般照明に使われる可能性は低い。

一方、AlInGaN をベースにした白色 LED は、青色放射または紫外放射を蛍光体で白色光に変換するという意味において広義の蛍光ランプと考えると、将来、現在の蛍光ランプを凌駕する特性の水銀フリー蛍光ランプになる可能性を秘めている。

次に、蛍光ランプを電子安定器で点灯することが普及するにつれ、両者のインターフェースの重要性が認識されてきている。すなわち、人感センサと併用して使った場合の頻繁な点滅に耐えたり、照度センサと併用して使った場合の調光で寿命が損なわれないようにするために、始動時の予熱条件や調光時の補助加熱条件の規格化が IEC および電球工業会で審議されている。また、寿命末期でも蛍光ランプと器具の安全性を確保するための基準についても議論がなされている。

以上、蛍光ランプの今後の展望を述べたが、最後に、将来の性能を予測することの難しさを示す一例をあげておく。表 5.4.6 は 1990 年に照明学会の次世代光源システム研究調査委員会が「光源システムの技術動向と展望」<sup>17)</sup>の中で報告した、2001 年の蛍光ランプの効率予測を、現時点（2003 年）での効率と比較したものである。1990 年に予測した 2001 年の効率より 2003 年に実現した効率の方が大きい。これは高周波点灯に特化した蛍光ランプの開発とその特性改善によるところが大きいですが、1990 年当時では高周波点灯専用形蛍光ランプがまだ実用化されていなかったために、予測が低めに出してしまった。要は、現在の技術の外挿で将来の特性を予測すると読み違える場合があるという教訓である。

表 5.4.6 1990 年に予測した 2001 年の効率と 2003 年に実現した効率の比較

光源の種類	1990 年の実力(lm/W)	1990 年に予測した 2001 年の効率(lm/W)	2003 年に実現した 効率(lm/W)
40W 形の直管形蛍光ランプ	3560lm/37W=96 (FL40SSEX-N/37)	103(7%アップ)	4950lm/45W=110 (Hf 専用, FHF32EX-N)
40W 形のコンパクト形蛍光ランプ	2900lm/36W=81 (FPL36EN)	88(9%アップ)	2900lm/32W=91 (Hf 専用, FHP32EN)

#### 5.4.4 まとめ

一般照明用の主流光源である蛍光ランプの現状と今後の動向を、主に省エネルギーという観点からまとめた。

蛍光ランプは発明されてからすでに 65 年が経過したが、材料・プロセス、放電と紫外放射の生成、および点灯制御技術のブレークスルーと、蛍光ランプを取り巻く社会環境の変化が推進剤となり、現在でも性能は向上しており、最新の蛍光ランプでは、発明当時と比べて、効率：2.3 倍、寿命：6 倍になっている。また、多種多様な形状、光束、光色の蛍光ランプがラインアップされており、用途に適した選択が可能である。今後も蛍光ランプは「省エネルギー」をキーワードとして進化を続けていくと考えられる。

#### 参考文献

- [1] G.E.Inman and C.L.Armick(河本訳)：照明学会誌, 72-5(1988)232
- [2] 杉山：省資源・省エネ光源の現状, 照明学会誌, 87-10(2003)822
- [3] 高橋：細径環形蛍光ランプの開発と技術動向, 照明学会誌, 86-1(2002)12
- [4] 日本工業標準調査会：TR C 0022 照明の質を考慮した蛍光灯器具のエネルギー消費効率の指数の算出方法, 日本規格協会(2001)
- [5] F.Vollkommer and L.Hitzscheke, No.51, Proc. of the 8<sup>th</sup> Int. Symp. on the Sci. & Techn. of Light Sources(1998)
- [6] 長内, 他：水銀レス高出力平面蛍光ランプの開発, 平成 13 年度照学全大, No.12(2001)
- [7] 次世代光源システム研究調査委員会報告書：光源システムの技術動向と展望, 照明学会(1990)212

## 5.5 HIDランプ

### 5.5.1 はじめに

HIDランプ(High Intensity Discharge Lamp)とは水銀ランプ、メタルハライドランプ及び高圧ナトリウムランプなどを総称し、高輝度放電ランプと呼ばれている。

HIDランプは、白熱電球に比べ高効率、長寿命などの共通点があり、更に高ワット化が容易で大きな光束が得られ大規模空間の照明が可能で、公共施設や産業施設、商業施設その他、スポーツ施設やライトアップなど幅広い用途に対応している。

HIDランプの歴史は、1930年に水銀ランプが実用化され、水銀ランプの色と発光効率を改善したメタルハライドランプ、また、さらに発光効率の高い高圧ナトリウムランプは1960年代に実用化されている。

(図 5.5.1)

水銀ランプは、安価で信頼性も高いことから過去多く使用されてきたが、発光効率や演色性の面で他のものより劣るため、現在は高圧ナトリウムランプやメタルハライドランプに置き換わってきている。特に最近では、発光管の材料として、従来の石英に変わり、セラミックスを用いたセラミックメタルハライドランプが注目されている。

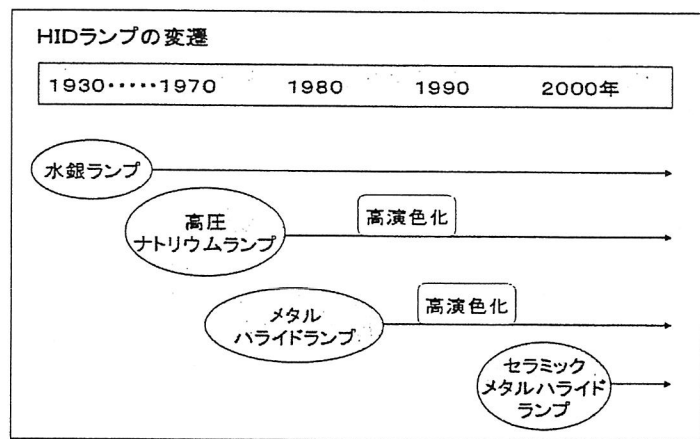


図 5.5.1 HIDランプの変遷

HIDランプの特徴としては、高純度の石英ガラスやアルミナ製セラミックスでできた発光管内中に封入された金属元素が、放電によりその元素特有の光を発する。また、多くのHIDランプは、点灯中の熱による構成材料の酸化を防ぐために外球バルブに封じられている。次の章では、HIDランプの代表例の現状を紹介する。

### 5.5.2 HIDランプの現状

#### (1) 水銀ランプ

一般照明用の水銀ランプの現状としては、安価で信頼性があるという実績から過去多く使用されてきたが、ここ最近の技術的变化は特にない。またHIDランプに占める水銀ランプの構成比率もこの10年間で57%から43%に低下している。しかし、最近では、長寿命を目的とし、外球内に2本の発光管を持ったランプが開発され、従来品の寿命(12,000時間)を2倍にしたものが商品化された。



図 5.5.2 水銀ランプ

一般照明用以外での水銀ランプは、プロジェクタ用光源として、小型の超高圧水銀ランプが注目されている。従来のショートアークメタルハライドランプでは輝度に限界があったが、超高圧水銀ランプにより、小型化、高輝度が得られている。水銀ランプの効率、透明形で40 lm/W、蛍光形で55 lm/Wである。

## (2) メタルハライドランプ

メタルハライドランプ(図 5.5.3)は、発光管内に水銀以外にハロゲン化金属を封入し、その金属固有の発光を利用することで効率及び演色性を改善したランプである。実用化当初は、専用安定器との組み合わせでの商品化であったが、一般水銀灯用安定器との組み合わせが可能な低電圧始動形メタルハライドランプが商品化され、急速に市場を伸ばしてきた。

またメタルハライドランプは、高輝度、高光束、高効率という特徴からスポーツ施設などの屋外照明や、高天井の施設照明として、普及してきた。しかし、屋内商業施設においても省エネルギーや快適性への要望は高く、コンパクト化と高演色を両立したさまざまな高演色メタルハライドランプが商品化され、急速に屋内商業施設分野に普及している。

メタルハライドランプの大きな進歩として、発光管を従来の石英発光管から、耐熱性、耐化学反応性に優れている透光性アルミナセラミックスを用いた発光管を使用することにより、ランプの高演色化、高効率化に加え寿命中の光色変化を改善した。(図 5.5.4 参照)

メタルハライドランプの効率は、中ワット形ランプでありながら、セラミック発光管と新規封入物の組み合わせたセラミックメタルハライドランプ(図 5.5.5)において、従来ランプと比べ35%高い115 [lm/W]を実現したランプが商品化された。また、セラミックメタルハライドランプと電子安定器の組み合わせや種々改善などにより15,000時間に達しているものがある。



図 5.5.3 メタルハライドランプ

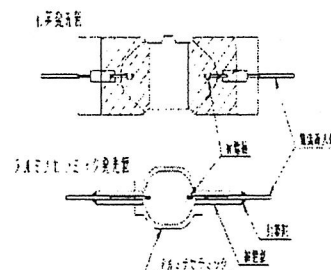


図 5.5.4 石英管とセラミック管

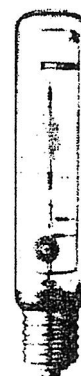


図 5.5.5 セラミックメタルハライドランプ

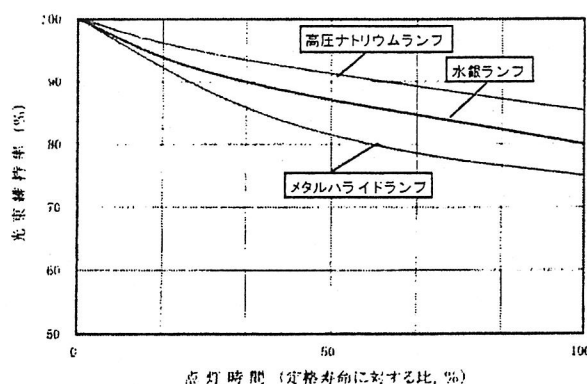


図 5.5.6 HIDランプの光束維持率

### (3) 高圧ナトリウムランプ

高圧ナトリウムランプは、発光効率の高さと、他のH I Dランプに比べ光束維持率が良いことが特徴である。(図 5.5.6) しかし、演色性が良くなく、また、光源色が黄色のため使用される場所が限られているが、その長寿命を生かした道路照明等に多く使われている。

また環境保護の観点から、水銀フリー高圧ナトリウムランプが欧州で商品化されたが、まだ普及はされていない。高圧ナトリウムランプの効率は、H I Dランプの中では最も高く高効率形で130~145 [lm/W] を実現している。

### (4) その他のH I Dランプ

映像用としてはショートアークタイプのメタルハライドランプが使われていたが、液晶プロジェクタ用などには前述した超高圧水銀ランプが主流となってきている。一方、自動車の前照灯として輝度の高いショートアークメタルハライドランプが使用されるようになった。また、マイクロ波などを利用した無電極H I Dランプの開発により、更なる長寿命が図られている。

## 5.5.3 H I Dランプの今後

一般照明用H I Dランプの開発動向は、高演色性・高効率性・長寿命化が基本となる。水銀ランプと高圧ナトリウムランプは今後技術的な変化は少ないであろう。ただ、発光管をツインにすることで長寿命化を図る。

メタルハライドランプについては、セラミック発光管や専用インバータの採用により、低ワットクラス(20~150W)では、店舗照明分野におけるハロゲン電球市場や蛍光灯市場への参入。中ワットクラス(200~400W)では施設用照明分野における調光システムへの対応がある。従来のメタルハライドランプでは調光は困難とされてきた。しかし、調光用インバータとの組み合わせることで、蛍光灯で実施されているようなセンサーなどとの組み合わせによる省エネルギー対策も可能になった。

また、H I Dランプ全般としては、環境対策の面から、水銀を使用しない、または、水銀が少ない発光管や、鉛を使用しないランプの開発が急がれるであろう。

表 5.5.1 H I Dランプの現状から今後

ランプ種類	寿命	Ra	効率[lm/W]	備考
水銀ランプ	12,000⇒24,000	14~40	40~50	・ツイン発光管にて長寿命
メタルハライドランプ	12,000⇒15,000	70~90	80~115	・調光システム ・セラミック発光管
高圧ナトリウムランプ	12,000⇒24,000	25~85	60~145	・ツイン発光管にて長寿命

#### 5.5.4 まとめ

H I Dランプは、屋外の道路灯や街路灯、体育館、工場などの大型施設照明から、商業、施設あるいはスポーツ照明など用途が拡大し、高演色のメタルハライドランプ、特にセラミックメタルハライドランプを中心に技術開発が進められるであろう。照明以外の分野においても、H I Dランプの各々の特徴を生かした技術開発が拡大していくであろう。また、H I Dランプの高演色性、高効率、長寿命化にプラスして環境に対する取り組みを念頭に置きながら今後の開発が進められるであろう。

#### 参考文献

- [1] 佐々木 俊一：「最新のH I Dランプの開発動向」照明学会誌 VOL81 No.1 (2002)
- [2] 高崎 光：「H I Dランプ」の最新動向 電球工業会報 No.455
- [3] H I Dランプ・その他の光源：日本電球工業史 第4追補版(1993～2002年)

## 5.6 LED, 有機EL

最近の LED の性能は飛躍的に向上している。発光効率の向上, 大パワー化, 形状の多様化などここ数年で LED は大きく変化している。

### 5.6.1 発光効率

LED は発光波長から赤色, 橙色, 黄色, 緑色, 青色など有色の LED と, 複数の色を混色した白色 LED がある。それぞれの LED について発光効率の現状を述べる。

有色 LED は光色によりその発光効率が異なる。直接遷移型の発光が可能な AlGaInP は赤色, 橙色, 黄色などの光色を高効率で実現している。特に, 発光波長 610nm の黄橙色では発光効率 100lm/W を超えるものが開発されている。InGaN を用いた緑色, 青色 LED も発光効率の向上が著しく緑色で 40lm/W, 青色で 8lm/W が実現している。図 5.6.1 に可視光 LED の効率の進歩を示す [1]。

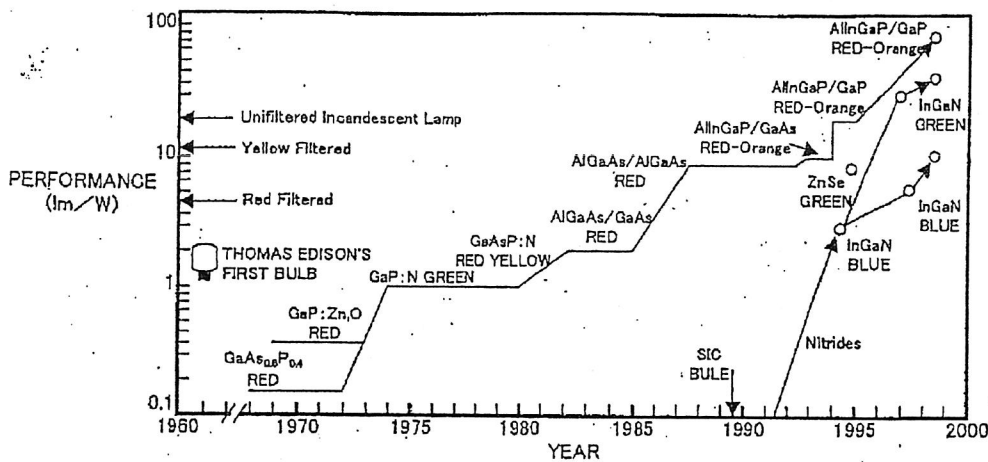


図 5.6.1 可視光 LED の効率の進歩

白色 LED は照明用として注目を集める光源である。現在の白色 LED は約 15~25 lm/W の発光効率をもつ。商品化された当時の発光効率は約 5 lm/W であった。この当時の白色 LED は照明用途としては光束不足であり, 住宅の足下灯に代表される安全ライトやサイン灯として使われた。現在では, その発光効率が 4 倍から 5 倍になり LED 一個あたりの光束も増加している。また, 参入メーカーも増え白色 LED の発光方式も多様化しつつある。

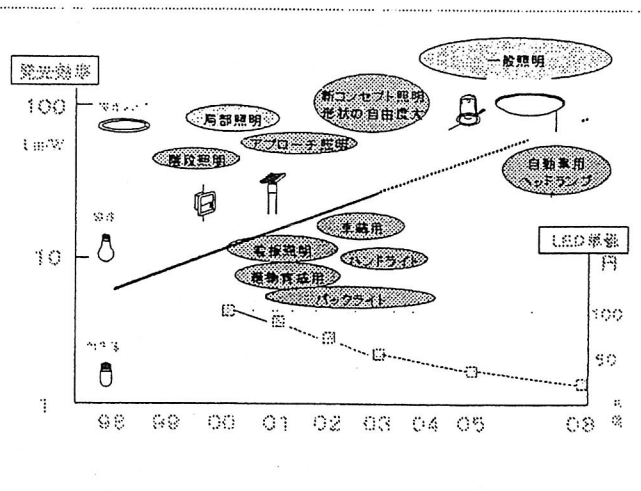


図 5.6.2 白色 LED の効率と用

### 5.6.2 形状の多様化と大出力化

白色 LED は形状から分類すると

砲弾形（リードフレーム形）と表面実装形（SMD形： Surface Mount Device）が代表である。また、最近ではパワー形 LED が商品化され、さらにチップオンボード形 LED も発表されている。砲弾形 LED と表面実装形 LED は従来からある形状であり、また、使い易いこともあって現在主流になっている。砲弾形は透明樹脂部分がレンズの役割をもち光を集光できるものが多い。表面実装形は一般にレンズがないものも多く光も拡散光となる。しかし、照明用に使用するには多数の LED が必要であり、この解決策として1つの LED から大光束を得ることを目的にパワー形 LED が開発された。パワー形 LED は LED チップそのものの面積を大きくしたもので  $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$  サイズのものが多い。砲弾形や表面実装形の LED チップサイズは  $0.35\text{ mm} \times 0.35\text{ mm}$  が代表であることを考えると 10 倍近い面積である。面積が増えたことにより LED に大電流を流すことが可能となり光束も飛躍的に向上している。砲弾形 LED や表面実装形 LED の 1 個当たりの光出力は、 $20\text{ mA}$  の順方向電流を流したとき約  $1.5\text{ lm}$  であるが、パワー形 LED では  $18\sim 120\text{ lm}$  の大出力のものが商品化されている。さらに、基板の上に数十個の LED チップを直接ボンディングすることにより小型で大光束の LED モジュールも発表されている。図 5.6.3 にその形状と構造を示す。

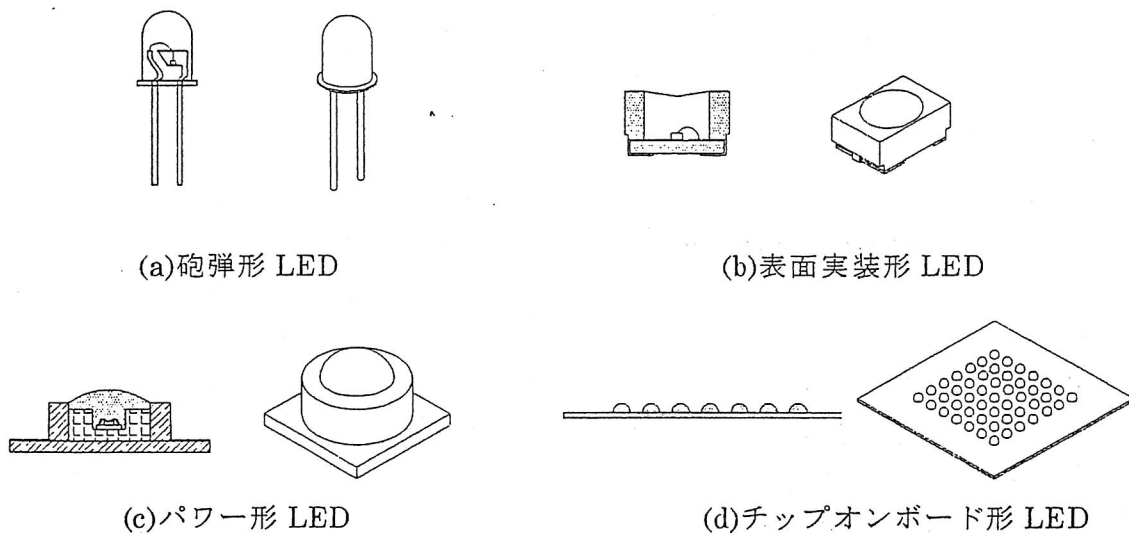


図 5.6.3 白色 LED の形状

### 5.6.3 白色 LED の発光方式

- (a) 3 色の個別 LED チップを 1 つのパッケージに組み込んだマルチチップタイプ
- (b) GaN 系青色 LED と蛍光体を組み合わせたタイプ。蛍光体は黄色発光
- (c) GaN 系近紫外 LED と蛍光体を組み合わせたタイプ。蛍光体は赤色、緑色、青色発光 3 色混合蛍光体
- (d) ZnSe 系白色 LED：活性層からの青色光と基板の SA 発光による黄色光の混合

#### 5.6.4 用途

LED はどのような製品に使われているか述べる。現在の主な用途は携帯電話であり、照明用としては次の (a) ~ (g) の特徴を生かせることと光束量をそれほど必要としない用途に使われている。

- (a) 小型，軽量である。
- (b) フィラメントがないため衝撃に強い。
- (c) 砲弾形は透明樹脂をレンズとして使用しているため，ビーム状の狭い配光から広い配光まで製作ができる。
- (d) 低温で使用できる。
- (e) 調光が容易。パルス点灯も可能である。
- (f) LED の点灯には直流電源が必要であるが，入力電圧を AC 100 V としたときその回路構成は比較的簡易であり部品点数も少なくてすむ。(蛍光ランプとの比較)
- (g) 水銀を含まないため環境にやさしい。

#### 5.6.5 LED の今後の方向性と動向

LED はさらなる発光効率の向上，高出力化が進むと考えられる。特に白色 LED についてはその発光効率が 2005 年には 50 lm/W，2010 年には 100 lm/W に近づくと予想される。高出力化についてはパワー形 LED の光束が数年先には，数百ルーメンに達する。このように高出力化が進むと，その発熱量も問題になり，前述のチップオンボード形 LED の集積光源がその解決策の一つになると考えられる。

LED 照明用器具は現在のニッチ商品からぬけだし，より実用性のある商品が開発される。パワー形 LED やチップオンボード形 LED を複数個使用して光束を白熱電球なみの数百ルーメンにしたダウンライト，スポットライト，スタンドなど多くの種類が開発される。

自動車用は内装用光源と外装用光源に分かれるがこの項では外装用光源について述べる。外装用光源としての LED 化のメリットは点灯するまでの時間が白熱電球などの通常光源より短いこと，エネルギーの消費量が少ないこと，そして寿命が長いことである。ハイマウントストップランプの LED 化は普及期にはいり，また，ターンシグナルランプ，サイドターンランプ，ストップランプに関しても市場が拡大する。ヘッドランプについては他の外装用光源に比べ大光束が必要であるなど難易度が高く，LED が採用される時期は遅れるが，2006 年ごろには最初の採用車が登場する可能性がある<sup>[2]</sup>。

信号機への LED の導入はシンガポール，米国，中国，欧州に比べ遅れている。信号機は車両用と歩行者用があり合計で約 380 万基あり，そのうち，現在，約 1% が LED 化されている。省エネルギーおよび視認性向上の観点から今後急速に LED 化が進むと考えられる<sup>[3]</sup>。

#### 5.6.6 有機 EL

薄型ディスプレイでにわかに注目を集めているのが有機ELで、現在主流のバックライトを必要とする液晶表示装置（LCD）に対し自発光型であるため高画質，高効率，フィルムのような薄い画面などの特長があり，将来的には反射型以外の透過型液晶は全てこの有機ELに置き換わる可能性もある。ただし，上記のように白色LEDの性能改善が急速に進んでいることから，バックライトで主流の冷陰極蛍光ランプを白色LEDに代えた透過型液晶の動向も合わせてウォッチする必要がある。

有機ELは現時点では携帯電話などの小形パネルにしか応用されておらず，幅広い実用化には一層の長寿命化と高効率化，および大型化が課題であるが，最近では寿命に影響する材料の改良が進むとともに発光効率が従来の蛍光材料の約四倍のりん光材料も実用化されつつあり，また，大型化に向けた量産技術開発に各社が凌ぎを削っており，3～4年後には有機ELテレビが商品化されると見る向きが多い。テレビのような動画表示に優れるアクティブ型基板には，低温ポリシリコンTFT（薄膜トランジスタ）を用いるのが主流だが，技術的な難易度が高く量産歩留まりが低いため，液晶パネルで量産技術が確立されているアモルファスシリコンTFTを基板に使用することが検討され始めており，テレビ用の大型パネルを低コストで生産できる可能性もある。

将来的に，現在のCRT，LCD，PDP方式のテレビの大半が有機ELに置き換われれば，家庭の全消費電力量の9.4%を占めるテレビの消費電力量を数分の一に出来るかもしれない。

一方，照明分野への有機EL応用については，まずは冷陰極蛍光ランプと導光板で構成される高輝度誘導灯を上げることができ，有機ELパネルの薄さと両面発光の特徴を有効に生かすことが出来る可能性があるが，固定パターン発光の条件で6万時間以上の寿命が要求される。また，一般蛍光灯器具への応用については，今後飛躍的な効率改善の他に白色を出す開発も必要となるが，スタンド等斬新なデザインが期待できる。

#### 参考文献

- [1] 渡辺 智 : 高効率LED開発と照明への展望，照学誌，86-1，p20-23 (2002)
- [2] 国際的な省エネルギーを目的としたLED照明の普及戦略策調査 新エネルギー・産業技術総合開発機構 p16 H14年度調査報告
- [3] 国際的な省エネルギーを目的としたLED照明の普及戦略策調査 新エネルギー・産業技術総合開発機構 p4 H14年度調査報告

## 5. 7 電子安定器実用化の経緯と最近の動向

図 5.7.1 に示したように、今から 50 年ほど前の 1948 年に米国のキャンベル氏によって蛍光灯の高周波点灯特性に関する論文が北米照明学会誌の論文に掲載された。論文には図 5.7.2 のように 20kHz までの高周波点灯による特性が記載され 20W, 40W, 110W の蛍光灯について発光効率がそれぞれ 19%, 11%, 8% ほど向上することが述べられている<sup>1)</sup>。当時はゲルマニウムトランジスタが発明されたばかりで、今日のようにインバータによる蛍光灯電子安定器が世界的に普及し始めることを予想したかどうか定かではない。しかし、少なくともその可能性を見越しての研究だったと思われる。当時はまだこの実験に使用できる半導体によるインバータが無く、モータによる高周波発電機や真空管増幅器を使用している研究データであったと考えられる。今日でもその古さを失うことなく利用できる信頼性のあるデータである。それ以来、蛍光灯の半導体インバータによる高周波点灯の実用化研究が行われ、10 年後の 1958 年、直流電源電圧が 12V の車両照明には格好の用途であ

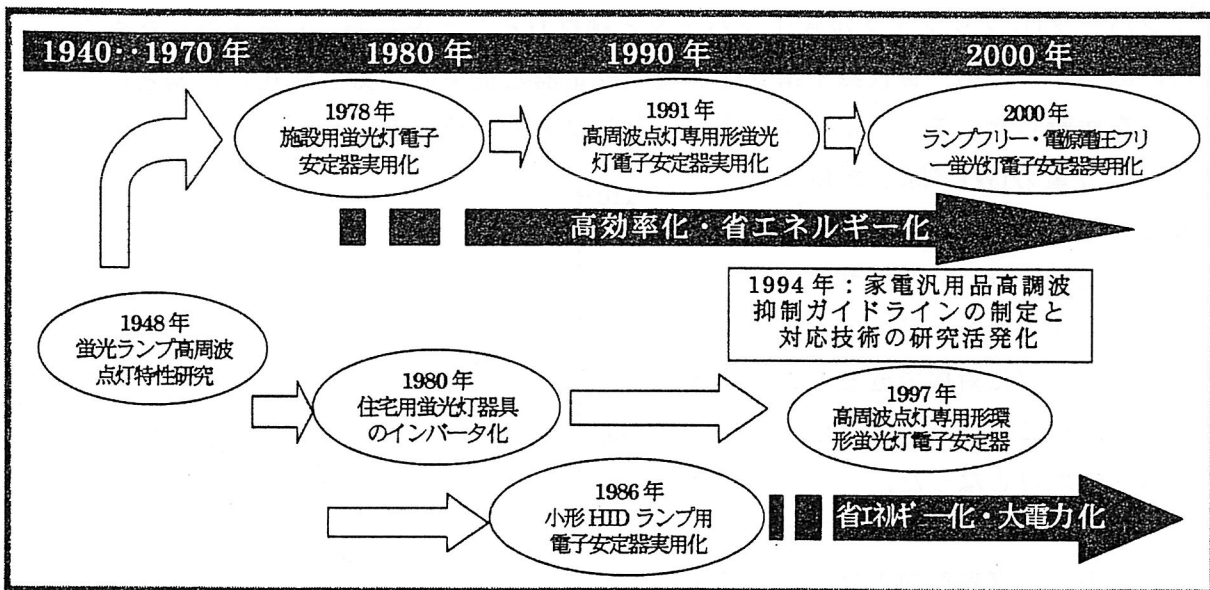


図 5. 7. 1 放電灯安定器の主な電子化技術の研究と実用化研究の経過

ったゲルマニウムパワートランジスタを使用した蛍光灯用インバータが開発され、米国や英国で実用化されている。日本国内でもほぼ時を同じくして車両照明用インバータや航空機内照明用インバータが実用化されている。また、1970 年代には Ni-Cd 二次電池を電源とした、非常灯誘導灯用蛍光灯インバータユニットとして大量に使用され、今日に至っている。

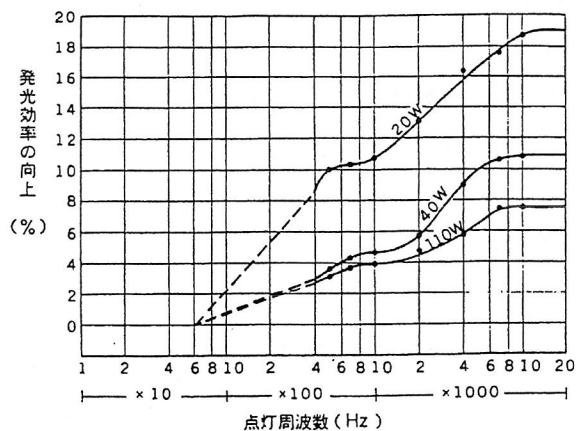


図 5.7.2 蛍光灯の高周波点灯特性

### 5.7.1 施設照明器具用蛍光灯電子安定器

1970年代になって二度にわたる石油危機により電力コストが高騰し、世界的に省エネルギーの機運が高まった。なかでも資源のない日本で石油危機は深刻な事態をもたらした。このような背景の中で1978年に図5.7.3に示すような一般照明施設用としてトランジスタインバータによる40Wの蛍光灯電子安定器が日本で始めて実用化された<sup>12)</sup>。これは、電源力率を高力率にするため、電源を全波整流後無平滑のまま、電源

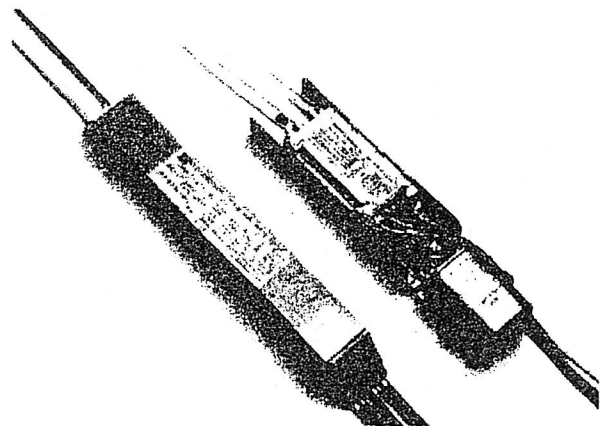


図 5.7.3 最初の蛍光灯電子安定器(下側)

電圧の瞬時値の低い時でもきわめて安定に動作し、電力損失の少ない定電流プッシュプル式インバータ(Lプッシュプル式インバータと呼ばれることもある。)を使用したものであった。図5.7.4で第一世代無平滑タイプ電子安定器と従来の磁気回路式安定器との代表的な特性を比較した。この図に示すように、ランプの人の視感度で補正したランプの全光束(lm)を入力電力(W)で除した値である総合効率lm/Wが8パーセント向上した結果、約8パーセントの省電力が図られた。基本回路があらゆるランプに対応できるものであったためこの方式が広く応用されるきっかけとなった。

1980年には第一世代の無平滑タイプでのランプ効率向上分が不十分であった点を改良した第二世代部分平滑タイプの電子安定器が実用化された。入力力率を高力率に保ったまま図5.7.4のように総合効率が17%程度改良されたことにより15%程の省電力を達成している。

1982年ごろにはヨーロッパから管径が25mmの高周波点灯専用形蛍光ランプがIEC規格などで提案され、専用の電子安定器と組み合わせて90lm/Wの総合効率を達成している。

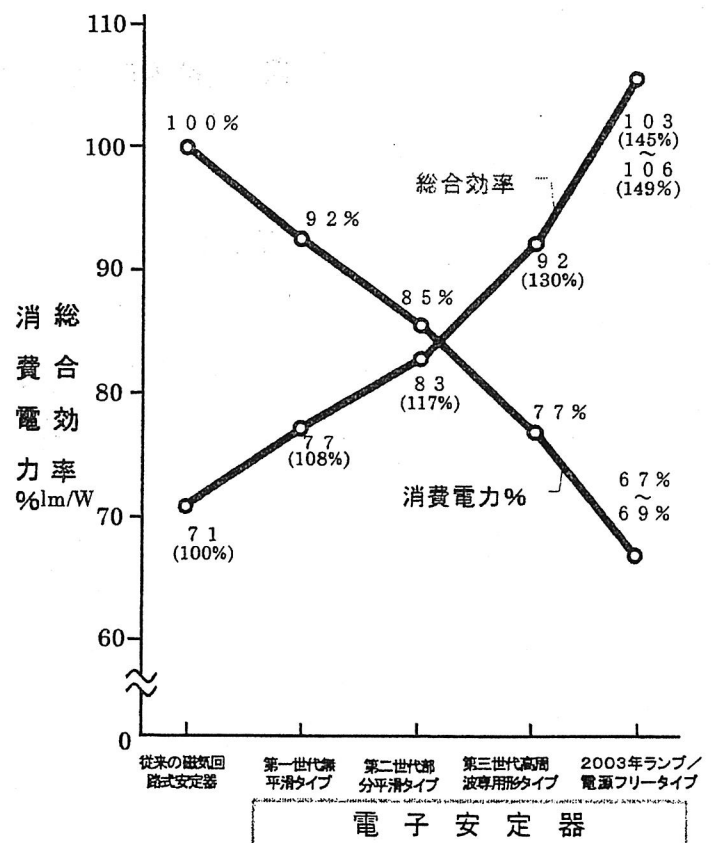


図 5.7.4 40Wサイズ蛍光灯電子安定器による総合効率の向上と消費電力の変遷

日本では,IEC 規格で提案された 40W サイズ管径 25mm の高周波専用形蛍光ランプと互換性のあるランプ及び電子安定器は 1991 年に実用化された<sup>[3]</sup>。日本で実用化されているランプは IEC 規格で定められた定格ランプ電力 32W と互換性を持ちながら,ランプの光束をより多く得るためにランプ電力 45W を入力できるように 2 重定格になるように設計されている。基本特性は図 5.7.4 の第三世代高周波専用形タイプに示したように総合効率が 30% 改善されることにより消費電力は 23% 低減している。図 5.7.5 のようにランプの管径にあわせて器具が薄型化するように電子安定器も薄型化されている。このころからインバータの回路方式が定電流プッシュプルインバータに代わりパワー半導体スイッチング素子の耐圧が約三分の一ですむハーフブリッジインバータが施設用,住宅用の両者の安定器として使用されるようになった。

半導体回路を組み込んだ家電機器の普及拡大ならびにインバータを組み込んだ蛍光灯器具が普及するにつれて,電源電流の高調波成分が増え始め,電源電圧波形の高調波歪みに起因して,力率改善コンデンサやリアクトルの故障など不具合が目立つようになった。

IEC の場でも先行して種々家電機器の高調波低減のための規格が

1990 年代初めから審議されていた。日本では IEC 規格とほぼ同じ規定を IEC 規格の制定より一年先行して「通産省による家電汎用品の高調波抑制のガイドライン」の形で 1994 年に制定された。照明器具の規格は 35W を超えるものは最も厳しいクラス C の規格が適用され,その対応のための技術開発がガイドラインの制定に前後して活発に行われた。最も重点が置かれたことはコストアップを避けることと,回路損失増大を抑えることであった。具体的には新たに前段に PFC コンバータを単純に付加することではなく,インバータ自身が高調波低減の役割機能を持つ複合形(またはシングルステージ形と呼ぶこともある)回路が盛んに研究され施設用及び住宅用器具に実用化された。

地球温暖化防止,地球環境保全を目的として 1997 年京都で気候変動枠組条約第 3 回締約国会議(COP3)が開催され二酸化炭素などの温室効果ガスの排出削減目標が決まった。日本としてこの目標を達成するためトップランナー方式を採用した「蛍光灯器具」エネルギー消費効率判断基準が 1999 年に公布された。トップランナー方式は現在商品化されている製品のうちエネルギー消費効率が最も高い製品以上の効率の値を目標値と定める方式である。これは 2005 年度までに施設用照明器具で 75%,住宅用照明器具で 92.5%インバータ化することを目標とするものであり,これにより照明器具のインバータ化が良好に加速している状況にある。これらの目標は新しく製造される照明器具に適用されるものである。

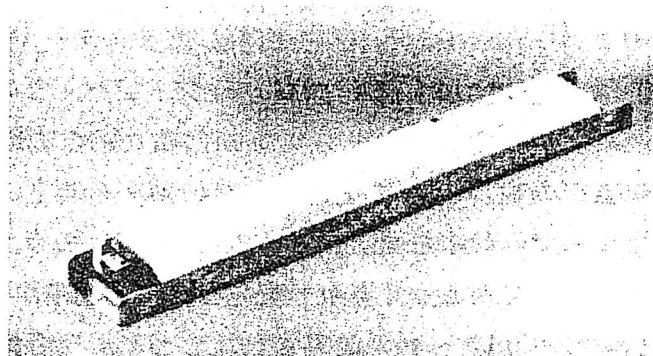


図 5.7.5 最初の高周波点灯専用形蛍光灯電子安定器

このため磁気回路式安定器を使用した既設の耐用寿命に近い施設用照明器具についても電子安定器を組み込んだ器具に交換することが積極的に行われるようになった。

既設の施設用照明器具では 40W サイズが圧倒的に多く使用されている。ところが 40W サイズの蛍光灯にはグロースタート形(FL),ラピッドスタート形(FLR),高周波点灯専用形(Hf)の 3 種類があり,最終ユーザや工事を担当する者にとって紛らわしい状況である。これに加えて,電源電圧が 100V,200V,242V,254V と 4 種類ありこれら全てを 1 つの機種で対応できる照明器具の出現が望まれていた。2000 年にこれらの要請に対応する直管 40W 形オールランプフリーかつ電源 100V/200V 共用蛍光灯電子安定器が実用化され,既設器具の交換促進に寄与し省電力化に貢献した<sup>14)</sup>。2003 年には直管 40W 形オールランプフリーでかつオール電源フリー(100V~254V)蛍光灯電子安定器の実用化されるようになった。これらの電子安定器は標準的な構成で前段に PFC コンバータを使用しインバータとしてハーフブリッジインバータを使用した 2 ステージ構成である。PFC コンバータ部の変換効率向上の工夫に加え,ハーフブリッジインバータのランプ電流を一定化する閉ループの自動制御によって,インバータの共振回路に加える矩形波電圧をランプ電圧とほぼ同じ(2 灯直列点灯の場合)にしてインバータの効率を向上し,全体として高調波抑制複合形電子安定器よりも変換効率を向上している。図 5.7.4 のランプ/電源電圧フリーの項にその基本特性を示した。高周波点灯専用形蛍光灯の効率が 110lm/W まで改善されたこともあって,総合効率が 45%~49%改善されたことにより消費電力が 31%~33%低減している。

2000 年のオールランプフリー,電源電圧 100V/200V 共用の電子安定器が実用化されて以来,高調波抑制方式として,複合形高調波抑制電子安定器は一部の機種に使用されるにとどまり,PFC コンバータを使用した 2 ステージ方式が主流となり今日に至っている。

### 5.7.2 住宅照明器具用の電子安定器化

住宅用照明器具のインバータ化は施設用蛍光灯電子安定器実用化 2 年後の 1980 年に図 5.7.6 のような環形蛍光灯ペンダントおよびシャンデリア器具として実用化されている<sup>15)</sup>。住宅用は高力率である必要が無かったため,整流回路はコンデンサインプットの完全平滑したタイプのものであった。1984 年にはインバータを組み込んだ蛍光灯スタンドが実用化された。蛍光灯スタンドは磁気回路式安定器に比べ 20~30%明るいことや管端

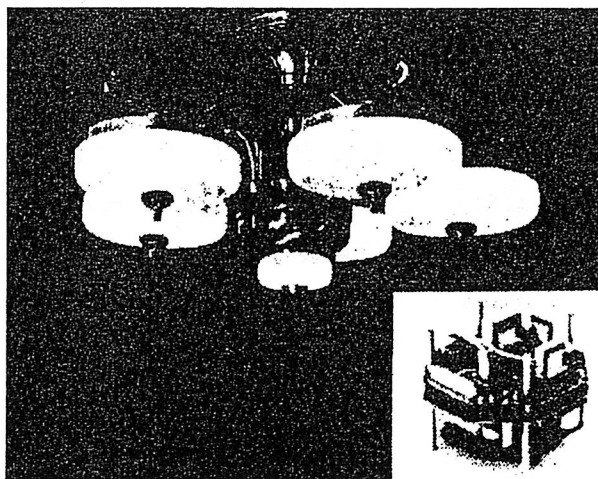


図 5.7.6 最初のインバータシャンデリア

のチラツキを解消したことから注目され,以降蛍光灯スタンドには 100%インバータが搭載されるようになった。一方この間,住宅用照明器具のインバータ化は低迷していた

が、1987年に磁気回路式安定器と消費電力が同じながら20～30%明るさを増したインバータ組み込み器具が実用化されるに至って、急激に普及するようになった。

既述のように電源電流の高調波抑制対策に関しては、住宅照明器具用電子安定器でも施設照明器具と同様のことが行われインバータ自身が高調波低減の役割機能を持つ複合形回路が盛んに研究され実用化された。しかし、最近では施設用と同様に前段にPFCコンバータを設ける2ステージ方式が主流となってきている。住宅用にインバータを組み込んだ新たな付加価値としてリモコンによる電源のオン・オフ、調光機能、壁スイッチのオン・オフ毎に全光、調光、常夜灯、電源オフなどが行われる機能が付けられ利便性が良くなった。

1997年には住宅用としては始めて高周波点灯専用環形蛍光ランプT5(管径16mm)、2重環形蛍光ランプT6(管径20mm)及び電子安定器が実用化された。管径が細くなった分、器具が薄型化され圧迫感の無い明るい直付け省電力天井器具として好評を得ている。新しく商品化される器具にはほとんどこの新しいランプが使用されるようになっている。

### 5.7.3 HIDランプ用電子安定器

高周波点灯では水銀ランプ、高圧ナトリウムランプとも2kHz前後で内部高圧ガスによる音響的共鳴現象を起こし放電アークが不安定となる。しかし、1986年にはこの課題を解決した図5.7.7に示した75Wダブルエンドの小形メタルハライドランプ用の電子安定器が実用化された<sup>16)7)</sup>。実用化された方式は数百ヘルツの矩形波で点灯するものと120kHzに3倍の高調波を重畳してほぼ高周波の矩形波で点灯する二つの方式がある。今日では、どのようなランプにも適用可能な数百ヘルツの矩

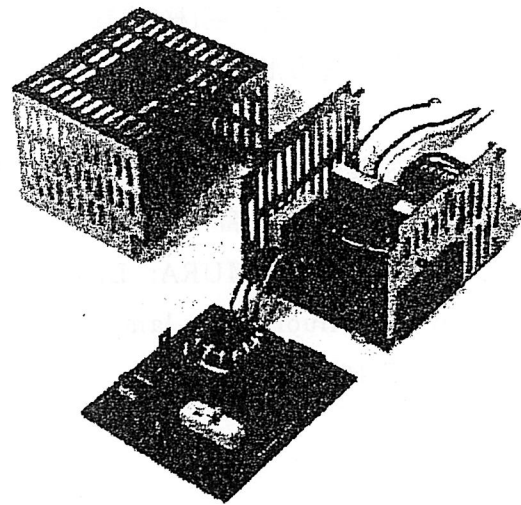


図 5.7.7 最初の HID ランプ電子安定器

形波点灯で点灯する方式が使用されている。HIDランプ用電子安定器の特長として負荷電流制御が容易であることを活かしてランプ点灯初期の大電流を大幅に低減することによりしてランプ寿命と光束維持率が改善される。また磁気回路式安定器に比べて15%以下まで大幅に軽量化できる特長から照明器具に一体化して使用する用途に使用されている。最近では250Wクラスの昇降装置一体型メタルハライドランプ器具に内蔵した電子安定器が実用化されている。蛍光ランプの場合と同様にオール電源電圧フリータイプの小形メタルハライドランプ用の電子安定器も実用化されている。HIDランプ用電子安定器は蛍光灯電子安定器ほど大きな省電力効果は得られないが更なる高効率化が今後の課題である。一方、容易に調光可能であり演色性の変化が許容される用途では大幅に省電力に寄与する。

#### 5.7.4 今後の動向

蛍光灯電子安定器,HID ランプ電子安定器ともその基本回路構成は定まりつつあり,特に蛍光灯電子安定器の製造形態は既に組み立て産業方式から装置産業方式に移行している。この観点からも一部または全体をモジュール化することが要請される。今後は半導体を含めた小形,軽量化,省電力化,省資材化のため実装方法の開発研究が重要な課題になると思われる。

#### 参考文献

- [1]J.H.CAMPBELL: High Frequency Operation of Fluorescent Lamps, ILLUMINATING ENGINEERING, Vol.XLIII, No.2 p.125 (1948)
- [2]小林,乾,今城,矢島:省電力形電子安定器スーパーバラストと照明器具,東芝レビュー 34 巻 7号, pp.585-588 昭和 53 年(1978)
- [3]高橋,三田,清水,:高周波点灯専用形蛍光ランプ用電子安定器の開発,平成 4 年度照明学会全国大会論文集 講演番号 16
- [4]西暦 2000 年度三菱電機照明(株)施設用照明器具総合カタログ。ほか各社カタログ
- [5]伊藤,井手,青池:省電力形全電子化蛍光灯シャンデリア,昭和 56 年度照明学会全国大会論文集 p.16
- [6]清水,乾,青池,佐藤:小形メタルハライドランプ用電子安定器の開発,昭和 62 年度照明学会全国大会論文集 講演番号 40
- [7]K.TANIGAWA,H.NISHIMURA: Electronic lighting system for HID lamps and lighting unit for fluorescent lamp, 平成 3 年度照明学会全国大会国際シンポジウム論文集 pp.14-17(1991)

## 5. 8 電子安定器の回路技術

電子安定器の実用化経緯と動向については5.7節に、関連する半導体技術については5.9節に記されている。この節では、電子安定器の回路技術を中心に、高調波抑制技術や回路変換効率の方向性などについて述べる。

### 5.8.1 インバータ回路方式

蛍光灯用電子安定器において、高周波電力を発生させるインバータ回路として用いられる回路方式を図5.8.1に示す。(a)1石電圧共振形回路、(b)電流形プッシュプル回路は、L-C回路の電圧共振を利用してスイッチ素子に加わる電圧波形を正弦半波状にすることでスイッチング損失を低減するとともに、雑音の発生を抑えることができるので、電子安定器の回路として優れた特性を有している。スイッチング素子として、ターンオフ特性の比較的遅いバイポーラトランジスタを利用した場合でも十分な変換効率を得ることができるので、比較的初期の電子安定器に採用された。しかしながら、巻線部品の数やそれらの容量が大きく、小型化やコスト低減の動向に対して十分に対応できなくなった。対照的に、(c)ハーフブリッジ回路は、巻線部品がバラストコイル1個で済み比較的容量も小さいことから現状では主流の方式となっている。基本回路のままでは、スイッチング素子に加わる電圧波形が方形波状になるハードスイッチングであるが、スイッチング素子と並列にキャパシタを接続することで、 $dv/dt$  を抑制してスイッチング損失の発生を抑えている。

種類	(a)1石電圧共振形回路	(b)電流形プッシュプル回路	(c)ハーフブリッジ回路
基本回路構成			
ランプ電流波形	ほぼ正弦波	正弦波	ほぼ正弦波
スイッチング波形			

図 5.8.1 インバータ回路方式

### 5.8.2 高調波抑制技術

高調波対応を考える場合、多数の照明器具が同時に使用されることから、照明機器に関しては厳しい高調波許容限度が定められている。国内においては、1997年からガイドラインに基づく業界の自主規制が開始されているが、これに前後して高調波抑制技術に関する

研究が盛んに行われた。高調波低減のための回路技術（PFC 回路技術）としては、(a) パッシブフィルタ (b) 独立したアクティブフィルタ (c) インバータ機能と複合化したアクティブフィルタなどの各方式がある。高調波抑制対応の当初は、独立したアクティブフィルタ方式はコストの点で普及拡大が難しいと考えられ、(c) のインバータ機能と高調波抑制機能を複合化複合化した回路方式が主流であった。具体的内容は参考資料に示す報告書に詳しく述べられている<sup>[1]</sup>。近年では、アクティブフィルタとして昇圧チョッパ回路を採用し、出力側の直流電圧を 400V 程度と高い値に設計することで、交流電源電圧 100V~200V(242V) に対応でき、品種統合などのメリットがあることから、(b) の独立したアクティブフィルタ方式が主流となりつつある。インバータ部を含めた全体の回路を図 5.8.2 に示す。

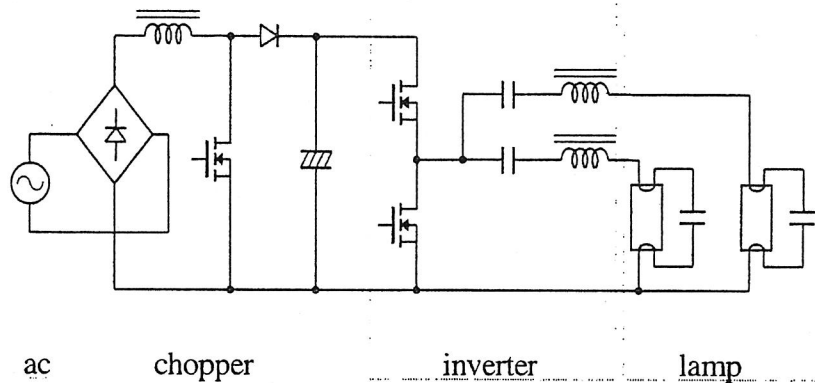


図 5.8.2 高調波対応した電子安定器の回路

### 5.8.3 効率向上の動向

前項に示すように、高調波抑制を含めた電子安定器の回路方式は、各社ともに基本的に同一回路方式に集約してきている。これらの電氣的な変換効率を調査すると、およそ 88% から 91% 程度に分布している。さらに、回路部品毎に損失を分析した例を、図 5.8.3 に示す。結果を概括すると、インバータ部の損失より PFC 部の損失が大きく、100V 動作時は 200V 動作時に比べ整流器 (bridge D) や入力フィルタ等 (rest LOSS に含む) の損失が大きい。

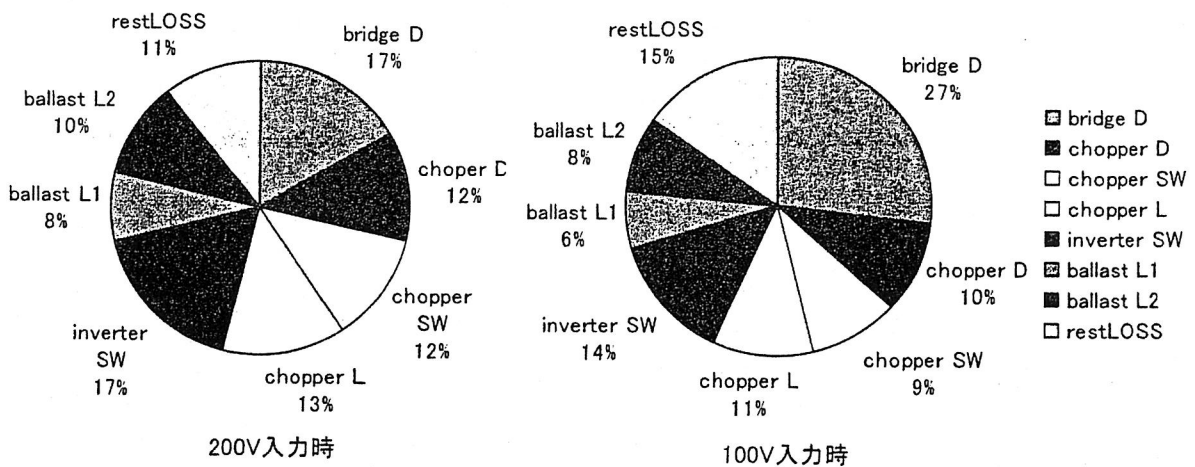


図 5.8.3 電子安定器の損失分析例

また、スイッチ素子と巻線における損失が全損失の 50~60%を占める。順方向電圧降下に基づく整流器の損失低減が困難であることを考慮すると、損失低減のポイントは、スイッチング素子と巻線部品の損失低減に集約することができる。

スイッチング素子の特性向上の例として、図 5.8.4 にパワー MOSFET のチップ単位面積あたりのオン抵抗の変遷を示す。同様に、

巻線部品の磁心として使用されるフェライトコアの損失率も年を追って低下してきている。実用化初期の電子安定器における変換効率がおよそ 90%程度であったことを考慮すると、回路素子の特性向上は直接に電子安定器の効率向上に振り向けられていないことがわかる。これは、(a) 高調波抑制など新たな機能の付与 (b) 小形化 (c) 価格の低減 (より電気定格の小さな素子への代替) などに振り向けられたとみるべきであろう。市場経済の原理に基づき、価格低減が普及促進に及ぼす効果として、省資源・省エネルギーの観点から最も重要なポイントと考えられる。

一方で、ランプ電流制御機能をランプ電流のフィードバック制御によって PFC 回路部に持たせることで、バラスト巻線の容量 (VA) を最小化するとともにスイッチング損失も小さく抑え電気的変換効率 95%を達成した研究例も報告されている<sup>[2] [3]</sup>。

これまでに述べた経緯を考慮すると、現状技術の延長線上に回路効率の飛躍的な改善を期待することは難しいようにもみえる。しかしながら、蛍光ランプの補助加熱電力の削減や、光束維持特性に対応した調光制御などランプに関わるインターフェース部分や、照明が利用される状況に応じた調光制御など人間系に関わるインターフェース部分などにおいて、きめ細やかな制御によってシステムの効率的な効率向上に寄与することが当面の課題と考えられる。構造面では、モジュール化等の技術により、照明器具とくみあわせた際により使い勝手が向上することが求められる。

さらに、SiC や GaN などを素材とする半導体素子は、高温動作・高速・高耐圧など Si 半導体を凌駕する特性が期待されている。現状の電子安定器においては、動作周波数が比較的強く抑えられていること、半導体の高周波特性が電気特性として現れにくい回路方式が採用されていることなどの理由により、単なる高速素子への代替はコストパフォーマンスの「海瀬円」に結びつきにくいと考えられる。半導体の特徴を活かすことのできる照明システム・回路技術と組み合わせられることで、次世代の照明システムの姿が見えてくることを期待している。

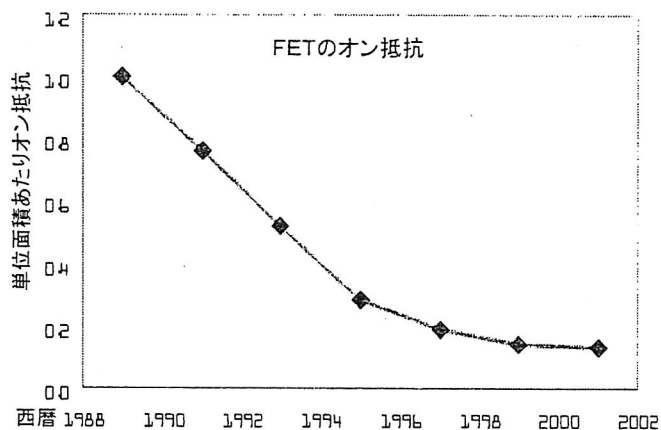


図 5.8.4 FET のオン抵抗の変遷例 (V<sub>DS</sub>=200V)

参考文献

- [1] 照明用電子安定器における入力電流高調波問題の研究, 照明学会 照明用電子安定器における入力電流高調波問題研究調査委員会編, JIER-063, (1999)
- [2] Y. Takahashi, M. Kamata and K. Shimizu: Efficiency Improvement of Electronic Ballast, IEEE IAS Annual Meeting, (1997)
- [3] 高橋雄治, 清水恵一: 電子安定器の高効率化に関する設計要件, 照学誌 Vol. 87 No. 8A, pp. 557-565, (2003)

## 5.9 電子安定器の半導体技術

前項図 5.8.1 のインバータ回路方式の電子安定器に用いられるスイッチング素子は、(a) 1 石電圧共振形回路、および (b) 電流型プッシュプル回路には高耐圧が要求されるため、バイポーラトランジスタが用いられる。(c) ハーフブリッジ回路には、スイッチング素子へ印加される電圧が電源電圧と同じであるため、素子の耐圧を低く抑えることができスイッチング素子としては MOSFET が用いられる。

電子安定器に用いられる半導体素子としては、上記のバイポーラトランジスタと、MOSFET のほかに、ダイオードと制御機能を 1 チップ化した蛍光灯安定器用 IC とがある。MOSFET とダイオードについては、スイッチング電源に使用される素子を使用できるため、ここでは、照明用に特化したバイポーラトランジスタと高調波規制に対応した制御回路を内蔵した蛍光灯安定器用 IC について概要を紹介する。

### 5.9.1 バイポーラトランジスタ

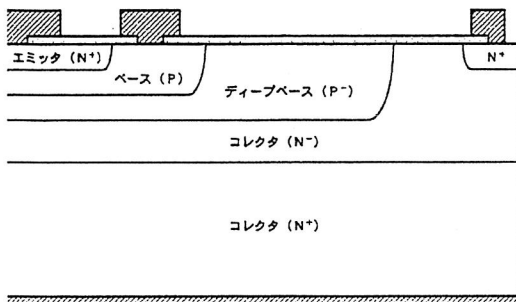


図 5.9.1 リサーフ構造

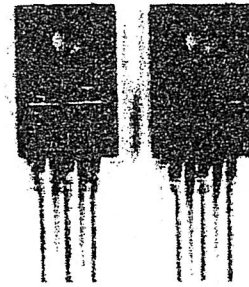
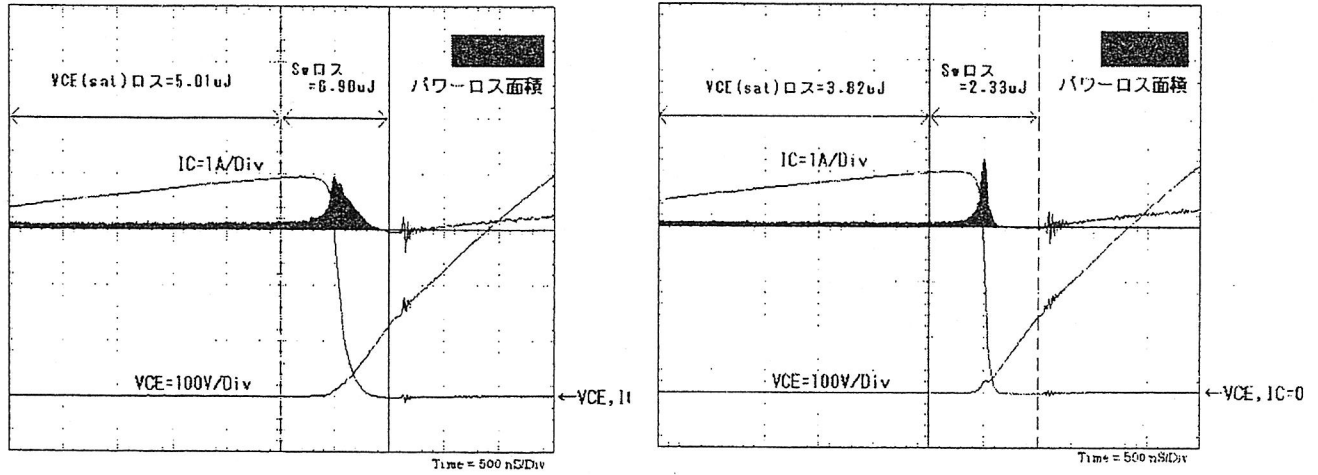


図 5.9.2 高耐圧バイポーラトランジスタの外観

照明用に使用されるバイポーラトランジスタは、①高  $BV_{CBO}$ 、②低  $V_{CE(sat)}$ 、③高速スイッチング特性が要求され、 $BV_{CBO}$  については、入力電圧 AC100V の場合でも、750~1000V の高耐圧が必要とされる。 $V_{CE(sat)}$  とスイッチング特性については、実働作時のパワー損失に大きく影響するため、これらの特性を改善することにより、電子安定器の電力変換効率を改善することができる。

高耐圧素子での  $BV_{CBO}$  と  $V_{CE(sat)}$  及びスイッチング特性は、トレードオフの関係にある。このトレードオフの関係を改善するため、図 5.9.1 に示すようなリサーフ構造を持つ高耐圧バイポーラトランジスタが製品化されている。図 5.9.2 は、リサーフ構造を採用した高耐圧バイポーラトランジスタの外観写真を示し、従来製品とのスイッチング特性の比較を図 5.9.3 に示す。リサーフ構造を採用したことによりスイッチング特性が改善し損失が低減していることが分かる。表 5.9.1 に、リサーフ構造の高耐圧バイポーラトランジスタの電気的特性を示す。



a)従来製品

b)リサーチ構造製品

図 5.9.3 高耐圧バイポーラトランジスタのスイッチング特性

表 5.9.1 高耐圧バイポーラトランジスタの絶対最大定格 (周囲温度 25℃)

項目	記号	定格	単位
コレクタ・ベース電圧	$V_{CBO}$	1000	V
コレクタ・エミッタ電圧	$V_{CEO}$	450	V
エミッタ・ベース電圧	$V_{EBO}$	10	V
コレクタ電流 (直流)	$I_C (DC)$	8	A
コレクタ電流 (パルス)	$I_C (Pulse)$	16 *	A
ベース電流	$I_B$	4	A
許容損失	$P_C$	35 ( $T_c=25^\circ C$ )	W
接合部温度	$T_j$	150	$^\circ C$
保存温度	$T_{stg}$	-55~+150	$^\circ C$

●  $P_w \leq 300 \mu sec, duty \leq 10\%$

### 5.9.2 蛍光灯電子安定器用 IC

入力電力 35W 以上の照明器具には、高調波規制が適用されるため使用される電子安定器は、昇圧 PFC + インバータの構成が一般的である。この種の安定器は、蛍光灯を安定に点灯させるため点灯時に、予熱等の始動シーケンスが必要とされる。また、ランプ寿命時の動作等に対する安全上の保護回路も必要であり、複雑な回路構成となる。最近、PFC とインバータ部の制

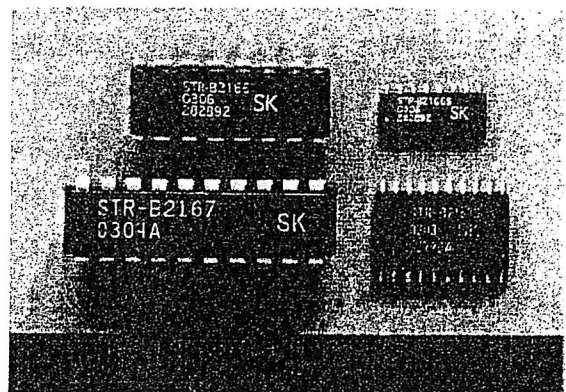


図 5.9.4 蛍光灯安定器用 IC の外観

御回路に加え、始動シーケンス回路と各種保護回路を内蔵している蛍光灯安定器用 IC が製品化されている。図 5.9.4 は、蛍光灯安定器用 IC の外観写真である。この IC は、昇圧 PFC とハーフブリッジインバータの制御回路に加え、ハイサイドドライバー、始動シーケンス、各種保護回路を内蔵している。表 5.9.2 は、電気的特性を示し、625V の耐圧を有するドライバーを搭載している。

表 5.9.2 蛍光灯安定器用 IC 絶対最大定格 ( $T_a=25^\circ\text{C}$ ) の例

項目	記号	min	Max	単位
ハイサイドフローティング電源電圧	$V_B$	-0.3	625	V
ハイサイドフローティング電源オフセット電圧	$V_S$	$V_B - 25$	$V_B + 0.3$	V
最大出力電流 (HO, LO, PFC)	$I_{O(max)}$	-500	500	mA
ジャンクション温度	$T_j$	-55	150	$^\circ\text{C}$
保存温度	$T_{stg}$	-55	150	$^\circ\text{C}$

図 5.9.5 は応用回路の例であり、PFC 用 FET 1 個、インバータ用 FET 2 個およびフィルタ用リアクトル等により、簡単に電子安定器を構成することができる。表 5.9.3 は、この IC は、シリーズ (A~D) の機能を示し、要求される機能により、最適な IC を選択可能となっている。

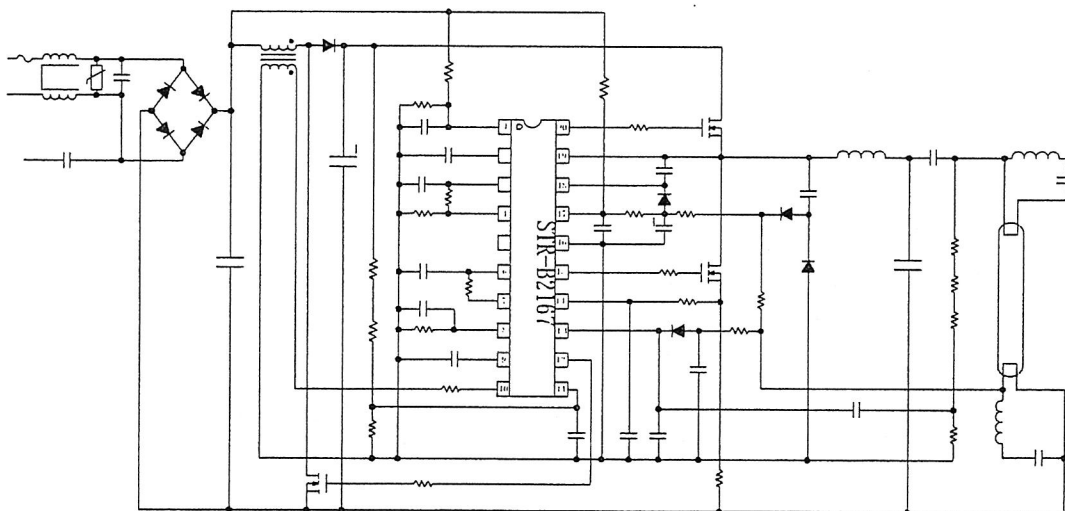


図 5.9.5 蛍光灯安定器用 IC 応用回路例

表 5.9.3 蛍光灯安定器用 IC 機能一覧

機 能	蛍光灯安定器用 IC			
	A	B	C	D
予熱周波数/点灯周波数の外部調整	◎	◎	◎	◎
始動シーケンス外部調整	○	○	◎	◎
デッドタイム外部調整	○	○	◎	◎
バラスト回路過電流保護	○	○	◎	◎
FAULT COUNTER	○	○	○	○
進相電流保護	×	×	○	○
ランプ過電圧保護	○	○	○	○
ランプ低電圧保護	○	○	○	○
オートリスタート (ランプ脱着検出)	○	○	○	○
過熱保護	×	×	○	○
PFC 過電圧保護	○	○	○	○
パッケージ	DIP-16	SOIC-16	DIP-20	SOIC-20

◎：特に充実機能内蔵 ○：機能内蔵 ×：機能非内蔵

参考文献

- [1] 川波雄司, 斎藤保幸 High-Voltage Bipolar Transistor for Lighting Application  
サンケン技報, vol.34, no.1 (2002)
- [2] 蛍光灯インバータバラスト制御用 IC (STR-B2160 シリーズ) P62 サンケン技報,  
vol.35, no.1 (2003)

## 5. 10 照明器具

### 5.10.1 照明器具の種類

照明器具は快適な照明環境を得るために、ランプから出る光を効率良く制御・調整する機能と、光源を保持あるいは保護する役割を担っている。照明器具の種類は非常に多岐にわたり、分類が難しいため、本項ではランプ、形状、施工形態に分類して紹介する。

#### (1) ランプの分類

使用されるランプの種類により分類すると、白熱電球、蛍光灯、H I Dランプ（高輝度放電ランプ）などを使用した器具がある。

白熱電球器具は他の光源に比べ、演色性に優れているため、主に一般家庭用や店舗照明に用いられてきた。ただし、同じ明るさの蛍光灯に比べると、消費電力が約4倍であり、エネルギー消費効率は最も低い。

一方、蛍光灯器具は、演色性では白熱電球には劣るものの、効率が良く、オフィス、学校、工場などで最も広く使用されている。特に、省エネルギー性については、高周波点灯専用のH f 蛍光灯とインバータを組み合わせたH f 蛍光灯器具では消費効率が100～110lm/Wと飛躍的に向上し、従来の標準的な蛍光灯であったFLRランプと磁気安定器を組み合わせた従来器具と比較すると、効率は約30%改善されている。

H I Dランプ器具は、高効率で寿命が長いのが良いのが特徴である。一般的に光量の大きいものは、天井の高い工場や体育館、屋外のスポーツ施設などに多く利用されている。比較的小ワットのものは、高効率・長寿命の利点を生かし、ハロゲン電球の代替光源として店舗照明や自動車用として利用されている。

#### (2) 器具形状

器具の形状により分類すると、代表的なものとしては、シーリングライト、ペンダント、シャンデリア、ブラケット、スタンド、ダウンライト、スポットライトなどがある。

シーリングライトは一般的に住宅用に使用され、チェーンやパイプなどを使用せず、直接天井にじか付けする器具をいう。天井と一体化するように薄く、圧迫感の少ないのが特徴で、天井面から空間全体を照らすので、全

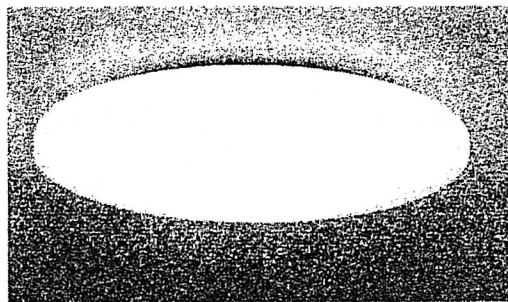


図 5.10.1 シーリングライト

体照明に向いている。

ペンダントは、コードやチェーン、ワイヤなどで、天井からつり下げて使用する器具をいう。シーリングライトと同様に全体照明に使用するものと、部分照明に使用するものがあり、セードやカ

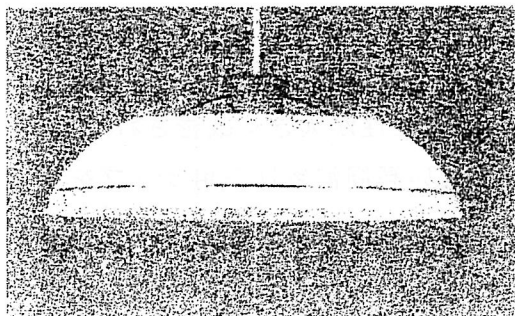


図 5.10.2 ペンダント

バーはプラスチック、木、ガラス、金属、籐、布など様々なものが使われ、デザインも豊富である。シャンデリアは装飾を施した器具で、豪華なものからシンプルなものまで、多様なデザインがそろっている。

ブラケット、スタンド、ダウンライト、スポットライトは部分的な照明に使用されることが多く、ブラケットはポーチライトや街路灯、スタンドは手元や枕元などの明かり取り用途に使用されることが多い。ダウンライトは天井に埋め込んで下方を照らす器具で、埋め込み構造であるため、天井と一体感のある照明とすることができる。スポットライトは店舗や美術館などのディスプレイ用途で多く用いられるため、演色性の高いことが要求され、一般的な白熱電球より効率が良いハロゲン電球が使用されることが多い。<sup>[1]</sup>

### (3) 施工形態

器具が取り付けられる状態から、じか付け形、埋め込み形、つり下げ形、壁付け形、床置き形などがある。

じか付け形器具は天井に直接取付ける器具である。代表的なものとしては、富士形（逆富士形、V字形）器具とトラフ形（ホルダ形）器具が広く使用されている。近年では、施工性を考慮して、

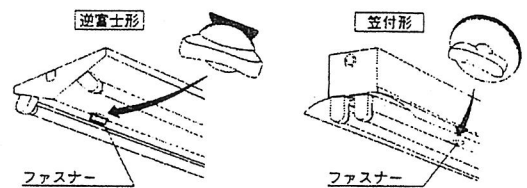
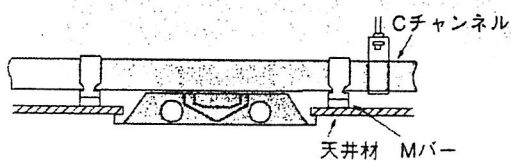


図 5.10.3 簡易取り付け構造

反射板に設けたツマミを捻るだけで、容易に反射板の取り付けができる器具がある（図 5.10.3）。また、高周波点灯専用ランプの特徴である細い管径を生かした薄型断面の器具が普及しており、じか付け器具であっても、天井面からの出っ張りが少なく圧迫感のないデザインが多くなってきている。

埋め込み器具は天井面に取付け穴を設け、器具の一部あるいは全部を天井裏に納める器具で、天井面に出っ張りが少なくなるので、事務所、病院、学校、公共施設などの主照明として利用される。事務所などにおいては、遮へい板を使用することにより、ランプの光が直接視野に入らないように配慮した「グレアレス器具」やOA機器のディスプレイへの映り込みを抑えたVDT作業対応器具などがある。



埋込高さ：26mm

図 5.10.4 Cチャンネル回避形器具

埋め込み形器具においては、高周波点灯専用ランプを採用することで、埋め込み高さが低く抑えられ、従来では照明器具据付時に切断・補強工事が必要であったCチャンネル天井についても、図 5.10.4 に示すCチャンネル回避形器具を使用することで、施工性が大きく改善された。

さらに、管径の細い高周波点灯専用ランプを使用するメリットとして、器具のコンパクト化が可能となり、器具を構成する材料の低減・軽量化が実現でき、省資源・施工性向上に大きく寄与している。

また、器具の梱包方法についても、植物性分解プラスチックの採用や、梱包材を少なく

した簡易（シースルー）包装とし、施工時の開梱作業と排出される廃材を大幅に低減するなど、環境保全に配慮した形態がとられている。

（４）建築設備

近年のオフィスビルでは天井設備に640mm×640mmあるいは600mm×600mmを基本寸法としたモジュール構造を用いる工法が多く取り入れられている。天井モジュール方式は照明器具と天井板を自由に組合せて設置できるため、照明器具のレイアウト変更・移設や追加が容易で、設備変更コストの低減が可能である。これは、事務室用途の変更やテナント工事などの際に低コスト・低資源で天井を変更できるだけでなく、工期を大幅に短縮することができる。天井レイアウトは、図5.10.5に示すような配列パターンの組合せにより様々な照明パターンが演出できる。

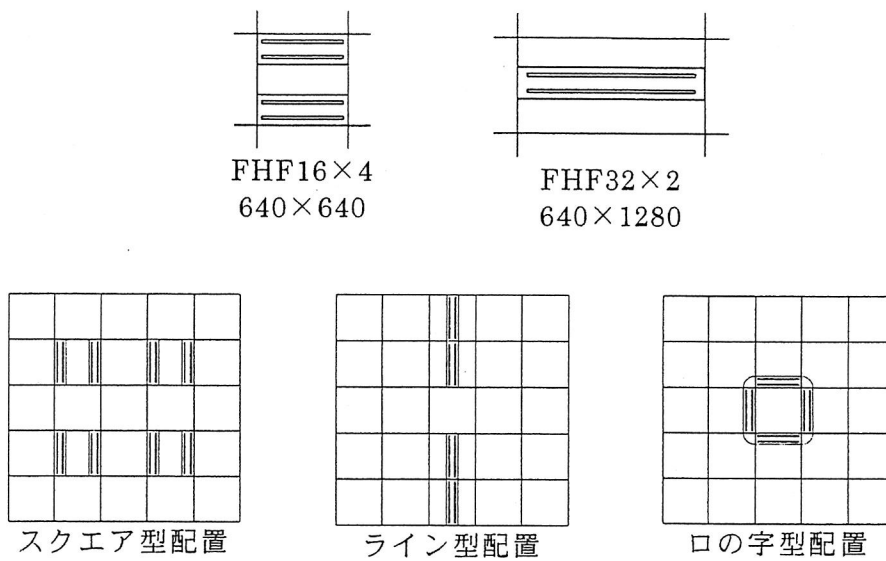


図 5.10.5 天井モジュールと器具の配列パターン例

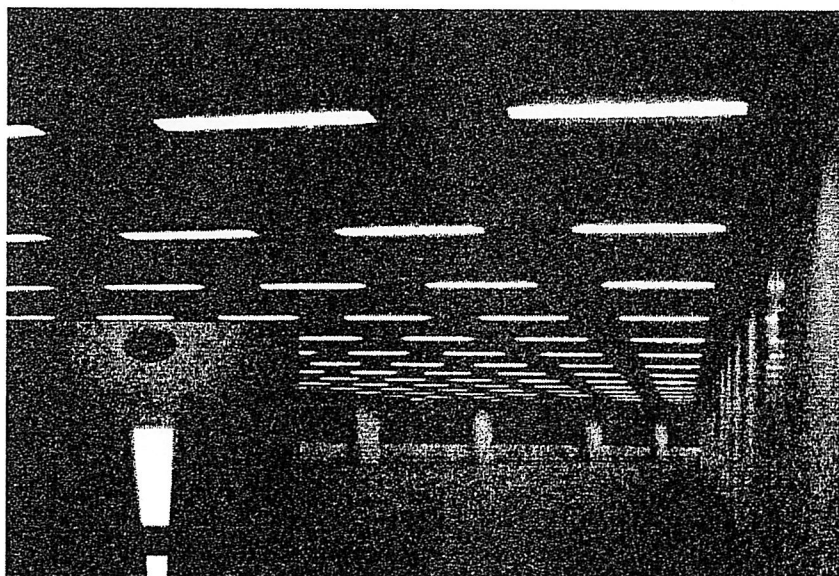


図 5.10.6 天井モジュールと器具の施行例（資料提供：(株)竹中工務店）

### 5.10.2 器具効率

器具効率は反射板の光学設計と反射率で決定される。オフィスや公共施設、工場などで使用される照明器具のほとんどは白色塗装を施しており、省エネルギー化に対応した反射板の材質としては、反射率が90%を超える高反射白色塗装が使用されてきている。塗料の種類としては、メラミン樹脂系の焼き付け塗料が一般的である。

従来の溶剤系の塗料では塗装工程でキシレン、トルエン等の有害物質が発生するため、これを無害化する物処理施設が必要であった。これに対し、環境に配慮した塗装方法として注目されているのが、白色粉体塗装である。粉体塗装のメリットは、塗装皮膜が厚く重ね塗りが不要なこと、粉体塗装は塗料が粉状であり、塗装工程において反射板材料に定着しなかった塗料を回収して再利用できるため、廃材が少なく、環境負荷を低減できることがあげられる。さらに、塗装皮膜が厚いので、さびの発生を抑えられるというメリットがある。

他の反射板の材料としてはアルミ表面に数層の薄膜をコーティングした増反射アルミ材、ダイクロイックリフレクタなどが有効である<sup>[1]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 照明学会編：照明ハンドブック第2版，オーム社

## 5. 1 1 照明システム

照明器具のライフサイクルにおけるエネルギー消費量では、使用時が 98~99%をしめることを 4.1 で示した。また、従来の銅鉄形安定器と比べ、高周波点灯専用ランプ照明器具は大幅な省エネを図ることが可能であり、今後は電子安定器（インバータ）の一層の普及、高効率化とともに、高周波点灯専用ランプ+電子安定器の照明器具を用い、照明システムなどで使用時の省エネを積極的に図りながら、快適性と両立を図ることが重要であることを示した<sup>[1-4]</sup>。

照明システムによる省エネは、1998 年頃までは、中・大規模照明制御装置による昼光利用制御、タイムスケジュール制御が大半で、点灯制御方法は段調光方式、パターン制御による間引き点灯が主であった。近年は高効率照明器具（Hf 蛍光ランプ、高効率インバータ）の活用や、各種センサ（人感、明るさ）、マイクロプロセッサ等を応用し、照明器具単独、小規模な照明単位でも省エネを行う装置が普及してきた。ネットワークの活用等、更なる省エネ性、利便性、快適性を追求するシステムが多く提案されている。照明制御システムの制御手法には、初期照度補正制御、外光（昼光）利用制御、在/不在制御、プログラムタイマ制御、ネットワーク制御などがある。これらの組合せも含めた制御手法と効果を順次具体例を交えて示す<sup>[5-7]</sup>。

### 5.11.1 初期照度補正制御

照明の初期の照度や清掃後の明るすぎる照度を適正な照度になるように光出力を制御するものである。照明器具の台数や配置設計は、ランプ寿命末期の光束を前提として行われるので、ランプが新しい場合は必要な設計照度よりも明るい。このような余分な明るさを調光によって抑えて省エネを図る。

(図 5.11.1、5.11.2 参照)

### 5.11.2 外光（昼光）利用制御

明るさセンサを用い、窓などから入射する昼光量を検知し照明を制御する。外光を利用し、外光にあわせて平均照度を一定に保って

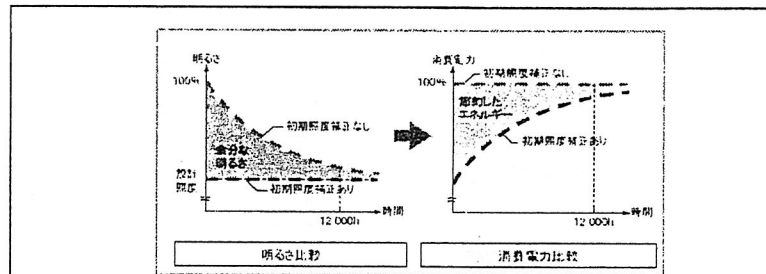
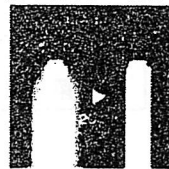


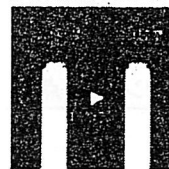
図 5.11.1 初期照度補正  
省エネ率 約41%

従来器具の場合



光束減退

初期照度補正あり



明るさ一定

年間電気代 392,720円/タウン  
本照明システム器具：  
88W × 108台 × 3000時間 × 0.85 × 23円  
÷ 1000  
従来器具：  
85W × 162台 × 3000時間 × 23円 ÷ 1000  
床面積 21m × 21m 年間点灯3000時間  
電気代23円/kWh床面平均照度 900lx  
初期照度補正による省エネ15%

図 5.11.2 Hf器具+初期照度補正

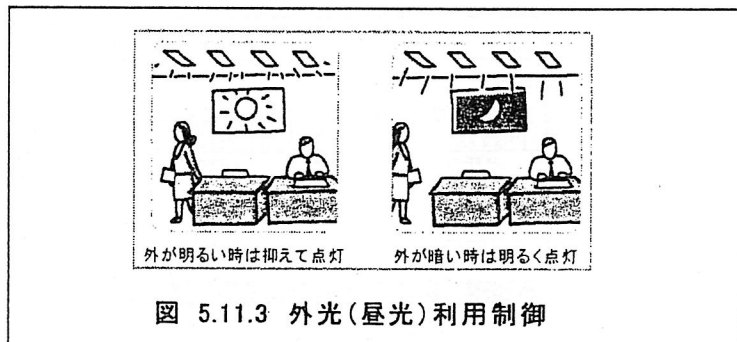


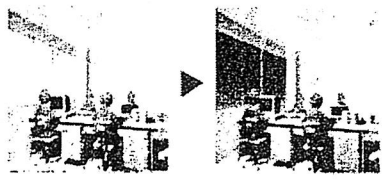
図 5.11.3 外光(昼光)利用制御

調光し省エネを図る。  
センサ直下の照度を求め、  
設計照度と昼光照度との差  
から調光比を求め、そのとき  
の照明器具の消費電力総和  
を得、昼光利用時電力が  
得られる。

(図 5.11.3、5.11.4 参照)

### 5.11.3 在/不在制御

人感センサの信号により、点滅又はあらかじめ設定した光出力に制御する。人感センサの信号により、不在場所を消灯或いは調光して省エネを図る。(図 5.11.5、5.11.6、5.11.7 参照)



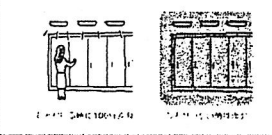
**省エネ率 約39%**

年間電気代 331,490円/タウン  
 本照明システム器具:  
 $90W \times 108台 \times 3000時間 \times (0.9 \times 0.85) \times 23円 \div 1000$   
 従来器具:  
 $85W \times 114台 \times 3000時間 \times 23円 \div 1000$   
 床面積 38.4m<sup>2</sup> × 12.8m 年間点灯3000時間  
 電気代23円/kWh 床面平均照度 800lx  
 初期照度補正による省エネ15%  
 外光利用による省エネ10%

**図 5.11.4 Hf器具+明るさセンサ+初期照度補正  
+シーン設定**

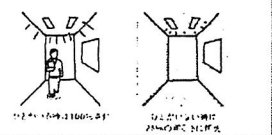
**自動点滅タイプ**

ひとがいる時は100%点灯。ひとがいない時は自動的に消灯して省エネします。



**自動調光タイプ**

ひとがいる時は100%点灯。ひとがいない時は25%に調光。必要な明るさだけを提供して省エネします。



**図 5.11.5 在/不在制御**

**省エネ率 約60%**

年間電気代 12,559円/タウン  
 本照明システム器具:  
 $84W \times 8台 \times 3000時間 \times 0.6 \times 23円 \div 1000$   
 従来器具:  
 $85W \times 12台 \times 3000時間 \times 23円 \div 1000$   
 床面積 9.6m<sup>2</sup> × 6.4m  
 消灯率10% 年間点灯3000時間  
 電気代23円/kWh  
 床面平均照度 400lx

人がいる時は100%点灯

人がいない時は消灯

**図 5.11.6 Hf器具+人感センサ+点滅**

**省エネ率 約54%**

年間電気代 28,412円/タウン  
 本照明システム器具:  
 $90W \times 6台 \times 3000時間 \times 0.1 \times 23円 \div 1000$   
 $+ 38W \times 6台 \times 3000時間 \times 0.6 \times 23円 \div 1000$   
 従来器具:  
 $85W \times 9台 \times 3000時間 \times 23円 \div 1000$   
 床面積 11.4m<sup>2</sup> × 2.1m  
 日の60%から25%調光点灯  
 人感センサ検知時間10%  
 床面平均照度 380lx

人がいる時は100%点灯

人がいない時は抑えて点灯

**図 5.11.7 Hf器具+人感センサ+調光**

### 5.11.4 プログラムタイマ制御

図 5.11.8 に示すように、時間帯に応じてあらかじめ設定された光出力に制御して省エネを図る。

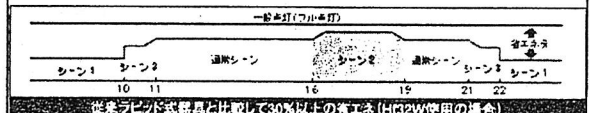
通常シーン  
(900lx程度)

シーン1  
(300lx程度)

シーン2  
(1000lx程度)

シーン3  
(700lx程度)

一般点灯(ワット点灯)



従来ラビッド式器具と比較して30%以上の省エネ(Hf32W使用の場合)

**図 5.11.8 プログラムタイマ制御**

時間帯に応じて、あらかじめ設定された光出力に制御して省エネ

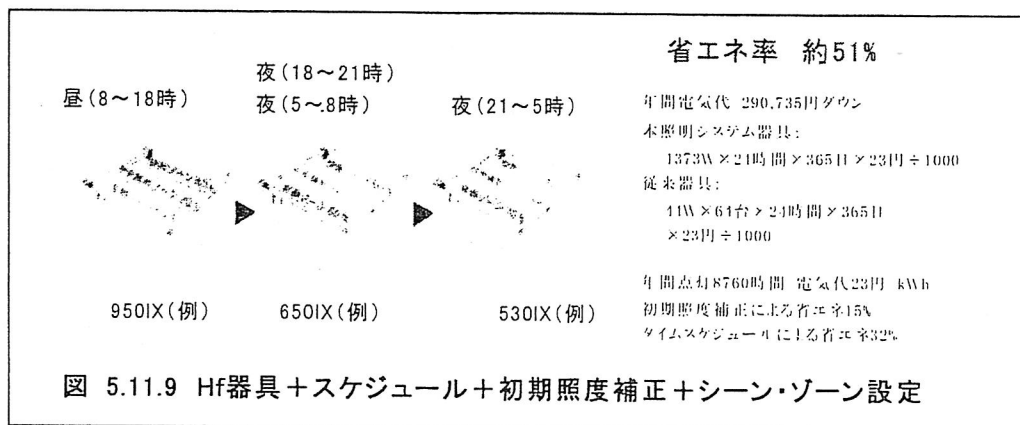
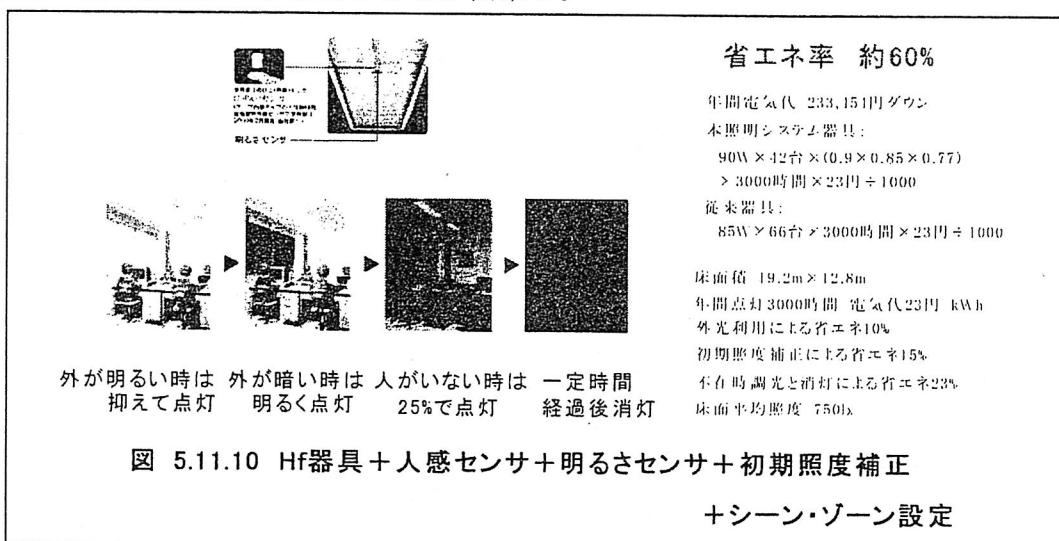


図 5.11.9 に初期照度補正まで含めた例を示すように、Hf 器具 + スケジュール + 初期照度補正 + シーン設定+ゾーン設定により、あらかじめ区切ったエリアにて有効な制御が可能となる。

ここで、Hf 器具 + 人感センサ + 明るさセンサ + 初期照度補正 + シーン設定+ゾーン設定という組み合わせでは、図 5.11.10 に示すように、様々な場面に合わせて快適性を保ちながら、約 60%と大幅な省エネを図ることが出来る。



以上のように、上記を単独或いは組み合わせて省エネを図ることが重要である。(総合省エネルギー率を向上する)

#### 5.11.5 その他 (ネットワーク制御等) :

利便性の向上、さらなる省エネ性、快適性を向上するために、ネットワークシステムと接続し、集中して制御する取り組みも活発に行われている。

欧州においても同様に、人感センサ、明るさセンサなどのセンサ制御ブロックを活用し ON/OFF 制御や一定照度制御を行うものがあり、規模として 10 台程度の制御を行うもの、群として 100 台超の照明器具を制御する照明システムが実用化されている。また、DALI の普及が進んでおり、このようなデジタル方式の調光信号に対応したシステムや制御コンポ、器具が普及しつつある。

以上のように、照明制御システムは、高効率照明器具やセンサ等の活用により 30～60%と大幅な省エネの実現が可能である。センサを駆使した、きめこまかな制御システムやネットワークシステム等によって、省エネ性と快適性をより高く両立でき、さらに利便性の高い照明制御システムの開発普及が望まれる。メーカー側のシステムの普及努力に加え、エネ革税制などの行政の後押し等、一層の普及を図って省エネに貢献していく仕組みの強化も重要である。

#### 参考文献

- [1] 基礎素材のエネルギー解析調査報告書，化学経済研究所 (1994)
- [2] LCA 日本フォーラム報告書，日本フォーラム (1997)
- [3] LCA 製品のライフサイクルアセスメント，(翻訳) 戦略 LCA 研究フォーラム
- [4] 脇 ほか，松下電工技報，No.54, 39-43 (1998)
- [5] 加藤,入江：センサ応用照明システムの現状と課題,照学誌 80-6,pp.413-416 (1996)
- [6] 谷腰：光センサとその使い方,日刊工業新聞社,pp32-174 (1992)
- [7] 松下電工（株） セルコンシリーズカタログ：平成 12 年 5 月発行

## 6. 関連技術の動向

### 6. 1 半導体関連技術の動向

#### 6. 1. 1 パワーMOSFETの特性改善動向

インバータ照明の電子バラスト回路などには、主に  $V_{DSS}=250V$  以上のパワーMOSFETが

使用される。装置の省エネ・高効率化のためにこれら高耐圧パワーMOSFETに要求される特性は、表 6.1.1 に示す様に使用される用途(条件)によって違いがある。低周波で動作させるような回路では、導通損失の低減の

目的から低オン抵抗(低  $R_{on}$ )特性が必要であり、一方高周波で動作させるような回路では、導通損失に加えスイッチング損失の低減が重要であり、低  $R_{on}$  と低  $Q_{gd}$  (ゲート・ドレイン間チャージ)特性の両立が必要となる。

これらパワーMOSFETに要求される特性を MOSFET の性能指数で表せば、それぞれ  $R_{on} \cdot A$  の逆数と  $R_{on} \cdot Q_{gd}$  の逆数として表現する事ができる。

高耐圧パワーMOSFETの性能指数は、図 6.1.1、図 6.1.2 に示す様な改善動向を示している。これら高耐圧 MOSFET の性能指数は、10年近くほとんど改善されなかったものが、1990年代後半以降大幅に改善されている。

表 6.1.1 パワーMOSFETに要求される特性

アプリケーション	損失	支配要因	性能指数
低周波数用途	導通損失	$R_{on}$ (オン抵抗)	$R_{on} \cdot A$ の逆数
高周波数用途	導通損失	$R_{on}$ (オン抵抗)	$R_{on} \cdot Q_{gd}$ の逆数
	スイッチング損失	$Q_{gd}$ (ゲート・ドレイン間チャージ)	

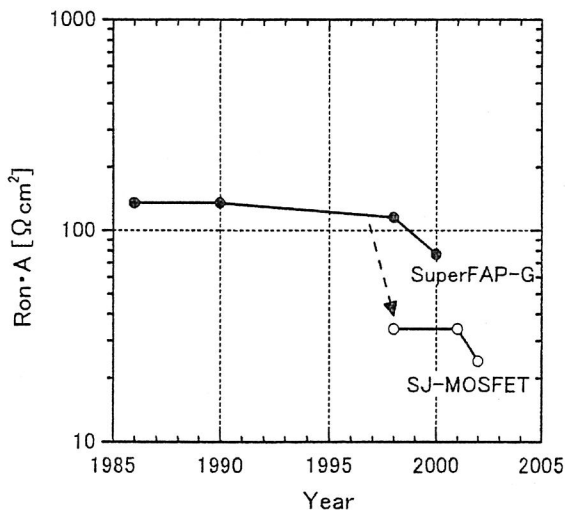


図 6. 1. 1 高耐圧 MOSFET (600V) の  $R_{on} \cdot A$  の推移

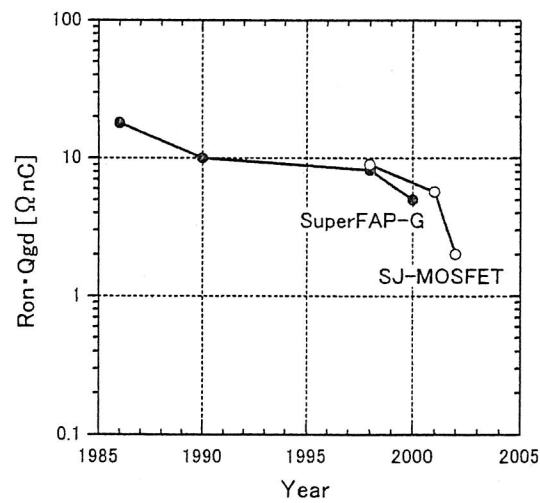


図 6. 1. 2 高耐圧 MOSFET (600V) の  $R_{on} \cdot Q_{GD}$  の推移

これには主に二つの技術革新に依る。一つは、シリコンの理論限界の10%以内に迫る  $R_{on} \cdot A$  を実現した高性能プレーナ MOSFET(SuperFAP-G)技術<sup>[1]</sup>であり、同時に  $R_{on} \cdot Q_{gd}$  も大幅な改善を実現した。従来のパワーMOSFETは図 6.1.3 に示すようにセルのデザインに三次元的な凹凸を多く含む事による電界集中により、シリコンの理論限界(=平面接合の耐圧)に対して75~80%程度の耐圧しか得られなかったのに対し、

SuperFAP-G 技術は、図 6.1.4 に示す様に P-well の形状制御と高密度配置により平面に極めて近い接合(擬平面接合)を実現し、シリコンの理論限界の 97%の耐圧を達成する事で理論限界に近い低抵抗率の n 型シリコンを使用可能となった。

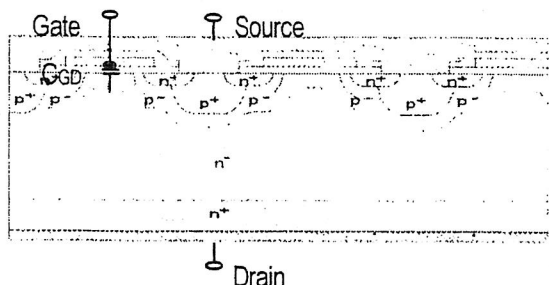


図 6.1.3 従来の MOSFET チップ断面構造

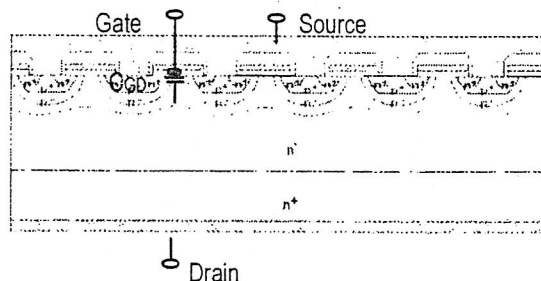


図 6.1.4 SuperFAP-G 技術を適用した MOSFET チップ断面構造

もう一つは Superjunction 技術<sup>[2]</sup>であり、1998年に CoolMOS<sup>[3]</sup>としてシリコン理論限界の 1/2 の低  $R_{on} \cdot A$  を実現し、2002年にはシリコン理論限界の 1/3 と大幅に低減した  $R_{on} \cdot A$  の達成が報告されている<sup>[4]</sup>。

Superjunction は図 6.1.5 に示すように、従来のパワー MOSFET の n ドリフト層を高不純物濃度の p 型領域と n 型領域とを交互に繰り返して配置した並列 pn 層(SJ 領域)で置き換えた構造である。SJ 領域がデバイスのオフ時に耐圧を保持するためには、SJ 領域が完全に空乏化することが求められる。このためには、SJ 領域の各層の厚さ  $d$  と不純物濃度  $N$  の積が  $2e12cm^{-2}$  以下となる条件を満たすだけでよく、耐圧は空乏層厚さ(SJ 領域厚さ)と電界の積で保持されることになる。一方、オン時における SJ 領域のオン抵抗は、多数キャリアデバイスの場合、平均キャリア濃度  $N/2$  に概ね反比例する。従って、層厚  $d$  を小さくすれば、平均キャリア濃度  $N/2$  を飛躍的に高めることが可能であり、高耐圧を確保しながらもオン抵抗を劇的に低減することができるのである。図 6.1.6 にシリコン理論限界に対する  $R_{on} \cdot A$  データを示す。Superjunction MOSFET により大幅な性能改善が達成され、今後の高耐圧パワー MOSFET の主要技術としてますますの性能改善と製品系列化が進むと思われる。

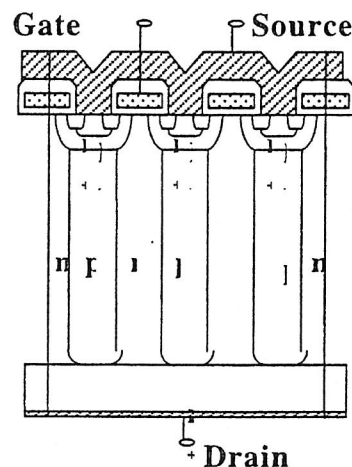


図 6.1.5 Superjunction MOSFET のチップ断面

一方装置の省エネ化のために、使用するパワー MOSFET の損失の低減はもちろんだが、LCAを

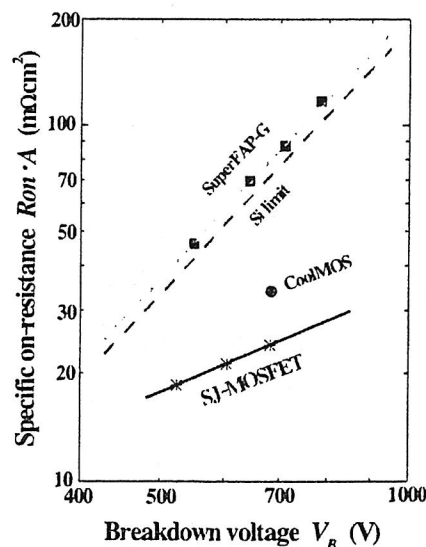


図 6.1.6 各種 MOSFET の  $R_{on} \cdot A$  比較

考えた場合パワーMOSFETの製造に関わるエネルギーの削減まで含めて考える必要がある。パワーMOSFETに使用する材料及びパワーMOSFET製造に関わるエネルギーを概算で試算した場合、TO220パッケージの600V/1Ω程度のMOSFETで1ヶ当たり約150whが使用されている。このエネルギーを低減するには、MOSFETの性能改善によるデバイスの小型化が有効であり、今後ともパワーMOSFETの性能改善に注力して行く必要がある。

表6.1.2. MOSFET製造に関わる消費エネルギーの試算例

	エネルギー
構成材料	53wh
チップ	50wh
パッケージ	47wh
合計	150wh

参考文献

[1] T. Kobayashi, H. Abe, Y. Niimura, T. Yamada, A. Kurosaki, T. Hosen, and T. Fujihira, "High-Voltage Power MOSFET Reached Almost to the Silicon Limit," Proc. ISPSD'01, pp. 435-438 (2001).  
 [2] T. Fujihira, "Theory of Semiconductor Superjunction Devices," JJAP, Vol. 36, pp. 6254-6262 (1997).  
 [3] G. Deboy, M. März, J.-P. Stengl, H. Strack, J. Tihanyi, and H. Weber, "A New Generation of High-Voltage Power MOSFETs Breaks the Limit of Silicon," Tech. Dig. IEDM'98, pp. 683-685 (1998).  
 [4] Y. Onishi, S. Iwamoto, T. Sato, T. Nagaoka, K. Ueno, and T. Fujihira, "24mΩcm<sup>2</sup> 680V Silicon Superjunction MOSFET," to be published in ISPSD'02, Santa Fe, June (2002).

## 6. 1. 2 高速ダイオードの特性改善動向

### (1) 超高速ファーストリカバリーダイオード (FRD)

近年パワーMOSFET や IGBT などのスイッチングデバイスの高性能化が進むに従い、高速ダイオードの性能向上に対する要求も強くなっている。従来、高速ダイオードは、PiN構造に金や白金のような重金属拡散、電子線照射によるライフタイム制御、イオン照射による局所ライフタイム制御等により性能改善が進められてきた。さらに、図 6.1.7 に示すようなキャリア注入効率を制御する Merged P-i-N Schottky (MPS), Static Shielding Diode(SSD), Self Adapting P-Emitter Efficiency Diode(SPEED)、Soft and Fast recovery Diode(SFD)等の種々のアノード構造も提案され、順方向電圧降下  $V_F$  と逆回復特性の改善が行われてきた。特に最近では、逆回復時のソフトリカバリー化が精力的に行われ、アノード注入効率を下げたアノード構造 (図 6.1.8) に He イオン照射を適用した 600V/200A の Ultra Small  $Q_{rr}$  Diode (USQ-Diode) が報告されている<sup>[1]</sup>。表 6.1.3

に示すように、従来 pn 構造に対して  $V_F$  の低減と逆回復時間、逆回復電荷、ソフトリカバリー性等の逆回復特性の改善が図られている。

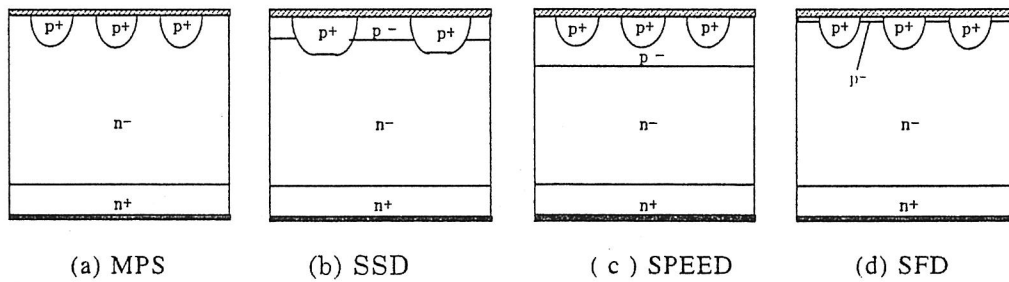


図 6.1.7 キャリア注入制御型高速ダイオード構造の代表例

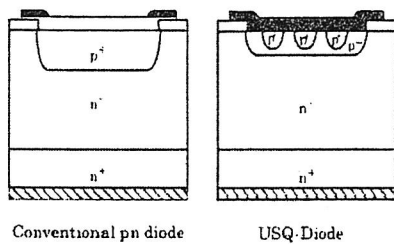


表 6.1.3 600V/200A 従来型と USQ-Di の特性比

	$t_{rr}$ (ns)	$I_{rr}$ (A)	$dI_{rr}/dt$ (A/ $\mu$ s)	$Q_{rr}$ ( $\mu$ C)	$V_F$ (V)
Conventional pn diode	215	40	308	4.3	2.3
USQ-Diode	131	14	200	0.9	2.1

図 6.1.8 従来ダイオードと USQ  
ダイオードの断面構造

### (2) ショットキーバリアダイオード (SBD)

シリコン SBD は主に 100V 以下の低電圧アプリケーションで使用されているが、ショットキーバリア金属、エピタキシャル構造の最適化により耐圧 200V までの製品化が行われている。従来構造のまま高耐圧化を進める場合、リーク電流が大幅に増加するとい

う問題があり、これをいかに抑えるかが課題となる。これを改善するため、図 6.1.7 に示すPN接合とショットキー接合を組み合わせたMPS構造が提案され、耐圧4 kVまでの報告が行われている。最近では、トレンチ技術の適用によりリーク電流を抑える試みが行われている。一方、MPS構造は、順方向電圧が高くなるとPN接合部からの少数キャリアの注入が起こり逆回復損失が生じてしまう。これを改善するため、ライフタイム制御、ショットキー接合面積の最適化等により逆回復特性の改善が行われている。図 6.1.9 にトレンチ技術を利用した1200V/50A品の構造図を示す。TOPS (Trench Oxide PiN Schottky) ダイオードと名づけられ、アスペクト比の高いトレンチ構造によりリーク電流を抑えつつ、ショットキー面積比率を高めることにより  $V_F$  と逆回復特性のトレードオフを改善している (図 6.1.10) [2]。

SBDは本来ユニポーラデバイスであるため、MOSFET同様、高耐圧になるに従い順方向電圧降下が増加するという課題がある。この課題解決の試みとして、スーパージャクション(SJ)構造[3]や、P型フローティング埋め込み層(FBL)構造[4]が報告されている。SJ構造として1000VMPSダイオード(SJ-MPS)のシミュレーション結果についての報告があり、低  $V_F$  化と高速性の可能性を示している[3]。また耐圧120V

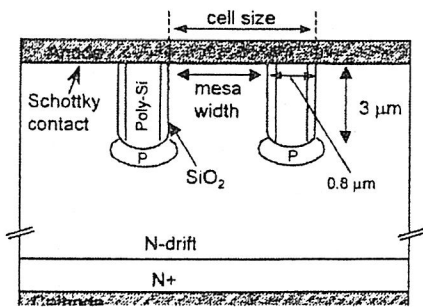


図 6.1.9 TOPS ダイオードの断面図

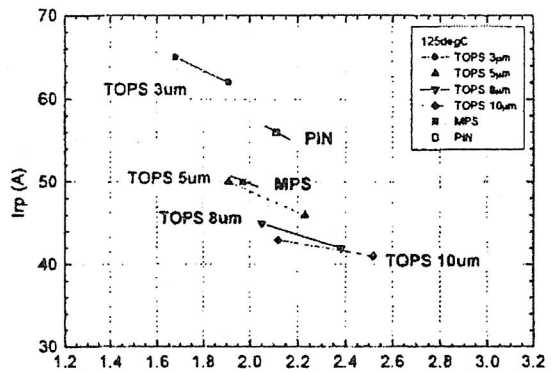


図 6.1.10 IGBTターンオン測定におけるTOPSダイオードの  $V_F - I_{rp}$  トレードオフ

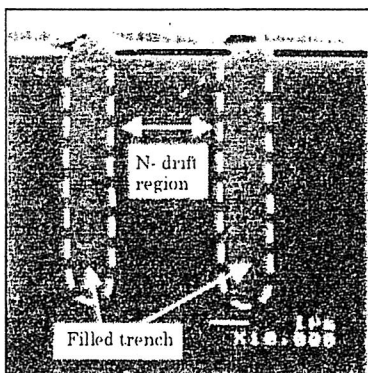


図 6.1.11 MR-JBSの断面写真

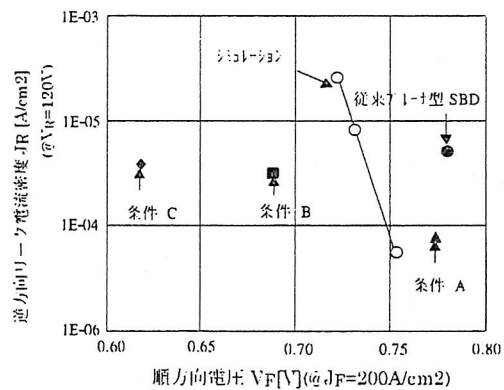


図 6.1.12 MR-JBSの  $V_F - J_R$  トレードオフ

クラスへのS J構造適用例として、マルチリサーチ型JBS (MR-JBS)の報告がある<sup>[5]</sup>。トレンチをP型シリコンで埋め込んだアスペクト比の高いPN接合を形成し(図6.1.11)、S J構造とすることにより、ドリフト領域の抵抗を下げ、従来構造SBDに対して順方向電圧降下を0.15V程度低減している(図6.1.12)。

以上、高速ダイオードはPN接合をベースとした種々の構造、ショットキー接合とPN接合を組み合わせた構造等が提案され、種々の構造とライフタイム制御により性能改善が図られてきた。特に、最近では、S J構造やFBL構造のような新しい構造も提案されている。今後、これら新構造の適用により、各アプリケーションに適したデバイスの性能改善がさらに進むものと考えられる。

#### 参考文献

- [1] K.Nishiwaki, T.Kushida, and A.Kawahashi, "A Fast & Soft Recovery Diode with Ultra Small Qrr (USQ-Diode) Using Local Lifetime Control by He Ion Irradiation", Proc.ISPSD'01, p.235, (2001)
- [2] M.Nemoto, M.Otsuki, M.Kirisawa, Y.Seki, T.Naito, R.N.Gupta, C.R.Winterhalter, and H.R.Chang, "Great Improvement in IGBT Turn-on Characteristics with Trench Oxide PiN Schottky (TOPS) Diode", Proc.ISPSD'01, p.307, (2001)
- [3] E.Napoli, A.G.M.Strollo, "Design consideration of 1000V merged PiN Schottky diode using superjunction sustaining layer", Proc.ISPSD'01, p.339, (2001)
- [4] W.Saitoh, I.Omura, K.Takano, T.Ogura, and H.Ohashi, "Ultra Low On-resistance SBD with P-Buried Floating Layer", Proc.ISPSD'02, p.33, (2002)
- [5] S.kunori, M.Kitada, T.Shimizu, K.Oshima, and A.Sugai, "120V Multi RESURF Junction Barrier Schottky Rectifier (MR-JBS)", Proc.ISPSD'02, p.97, (2002)

### 6. 1. 3 ワイドバンドギャップ半導体素子

ワイドバンドギャップ半導体の電力用半導体素子は、シリコン電力用半導体素子の理論限

表 6.1.4 ワイドギャップ半導体材料の物性値

結晶構造	Diamond	SiC (6H)	SiC (4H)	GaAs	GaN	Si
禁制帯幅 (eV)	5.47	3.0	3.3	1.43	3.5	1.11
電子移動度 $\mu$ (cm <sup>2</sup> /Vs)	1800	450	700	8500	900	1500
絶縁破壊電圧 $E_c$ (MV/cm)	4	3	3.5	0.4	3	0.3
熱伝導度 (W/cmK)	21	4.9	4.9	0.5	1.3	1.5
BFOM ( $\epsilon \mu E_c^3$ )	4000	100	150	15	700	1

$E_c$  : Breakdown Field     $\mu$  : Mobility

BFOM : バリガー係数    Power Switching での性能係数

界を大幅に越える素子として研究され、開発が進んでいる。表 6.1.4 は、ワイドバンドギャップ半導体の物性値であり、Diamond、SiC、GaN は一般的な半導体である Si に比べて禁制帯幅、電子移動度、絶縁破壊電圧が大きく高耐圧で低オン抵抗の電力用半導体素子ができる可能性がある。バリガー係数は、これらの物性値より、電力用半導体の性能係数を算出した値であり、この数値が

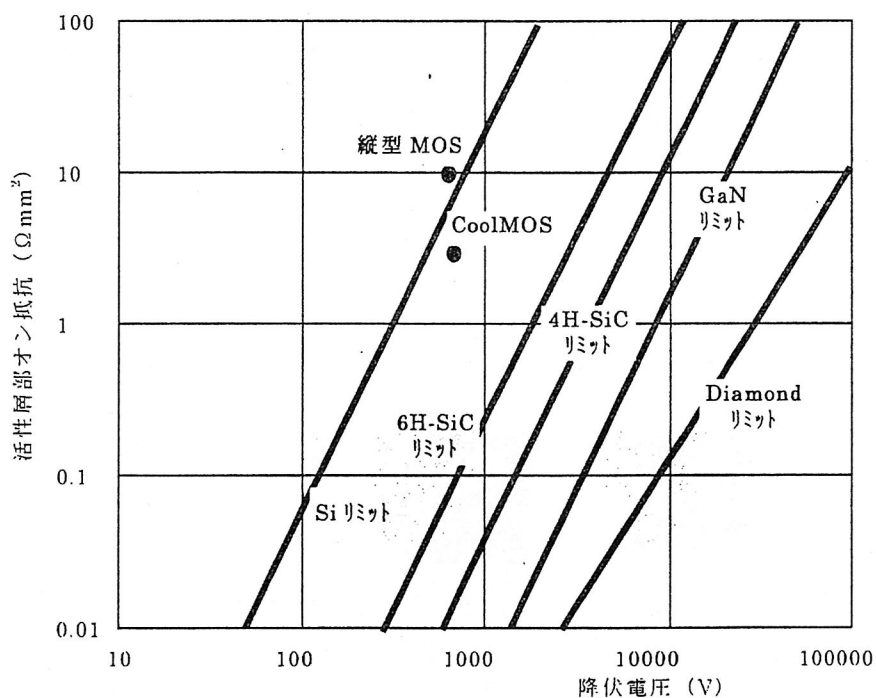


図 6.1.13 電力用半導体素子のオン抵抗の耐圧依存性

大きいほど高性能な電力用半導体素子ができる可能性を示す。図 6.1.13 は、ワイドギャップ半導体の理論限界を示し、Si に比べて、大幅な性能向上が期待できることが分かる。

SiC を用いた電力用半導体としては、600V クラスのショットキーダイオードや 1800V クラスの FET も商品化されている。GaN 材料による電力用半導体も研究が開始されている。

(1) SiC ショットキーバリアードダイオード (SiC SBD)

シリコンを使用したショットキーバリアードダイオード (Si SBD) は、高速で順方向電圧が低く損失の少ないダイオードである。逆耐圧 150V~200V が商品化されているが、200V を越える用途には、通常ファーストリカバリーダイオード (FRD) が使用される。しかし、FRD は、逆回復時間 ( $T_{rr}$ ) が長く高周波での使用に対して問題があった。

SiC SBD は、高圧化が可能であり、200V を越える耐電圧の素子も実現可能である。現在、300V と 600V の耐電圧を持つ、SiC SBD が商品化されている。

図 6.1.3.2 は、600V の耐電圧を有する

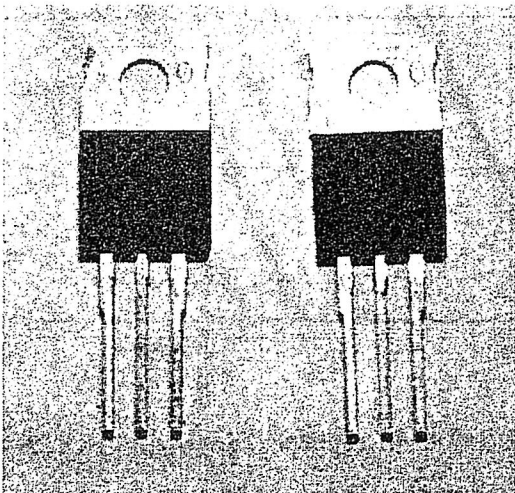


図 6.1.15 SiC SBD の外観

FRD と SiC SBD の特性を比較した例で

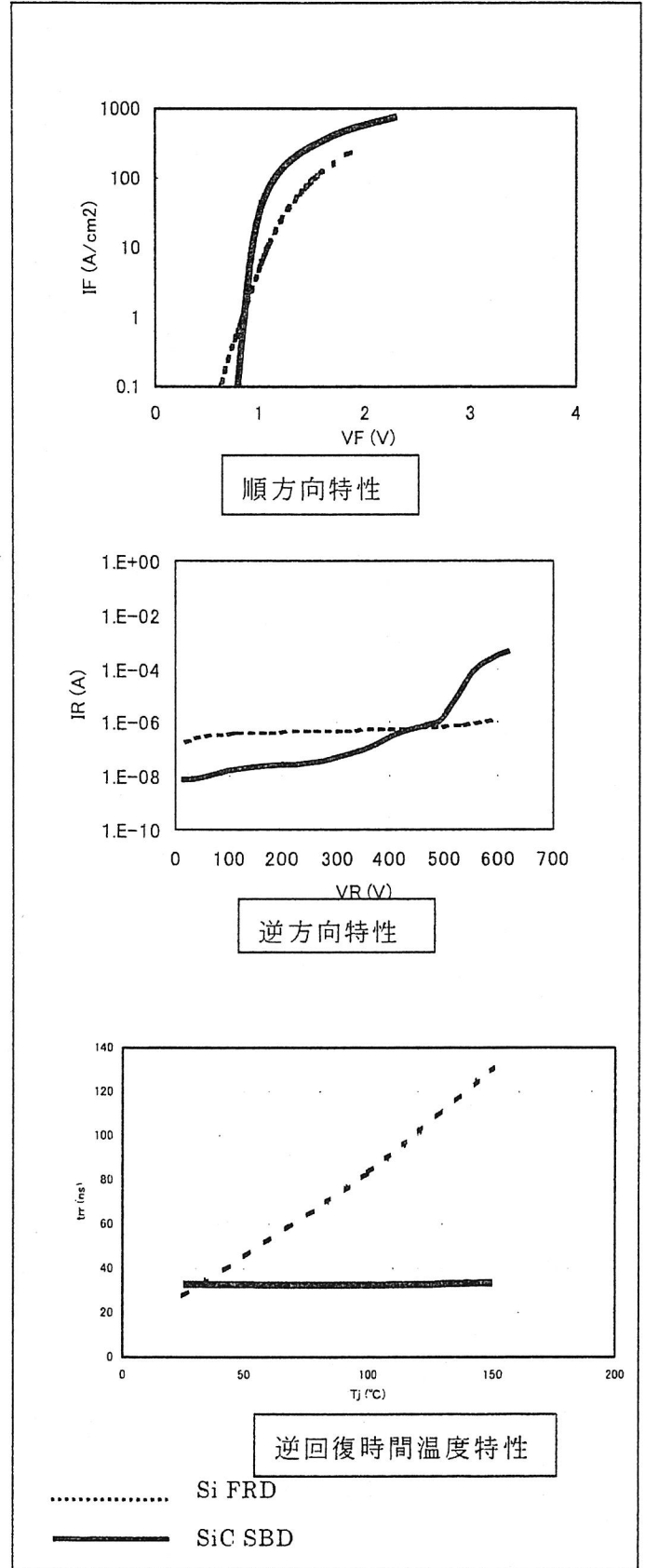


図 6.1.14 600V SiC SBD の特性

ある。順方向特性は、それほど差は無いが、逆回復時間 ( $T_{rr}$ ) は、高温でも短く安定している。

この素子の応用分野としては、力率改善回路 (PFC) が有力であり、回路の高周波化による小型化、高効率化にメリットがある。図 6.1.15 に、この素子の外観を示し、表 6.1.5 に電気特性の概要を示す。SiC SBD は、更なる高耐圧化と高温での使用も可能である。

表 6.1.5 SiC SBD の電気特性

項目	記号	定格
ピーク繰返し逆電圧	$V_{rm}$	600V
平均順電流	$I_{F(AV)}$	6A
サージ順電流	$I_{FSM}$ (50Hz 正弦波半波単発)	21.5A
接合部温度	$T_j$	-55~175°C

## (2) SiC FET

1000V以上の耐圧が必要な分野では、シリコンを使用した FET は、オン抵抗が著しく高くなり、損失が増大するため、バイポーラ素子であるバイポーラトランジスタや IGBT が使用されている。しかし、FET 等のユニポーラ素子に比較して、スイッチング速度が遅いため、高周波化にたいして問題がある。

SiC を用いた FET は、1000V以上の耐圧領域でも低いオン抵抗の素子が実現可能であり、現在 1200V から 1800V の素子が、商品化されている。

商品化されている素子は、ノーマリーオン型であるが、図 6.1.16 のように低圧の Si FET とカスケード接続し、ノーマリーオフ型としている。

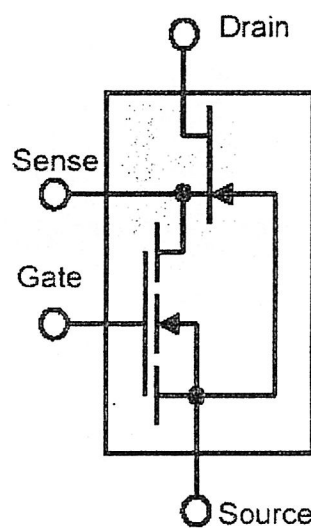


図 6.1.16 カスケード SiC FET の例

表 6.1.6 SiC FET の電気特性

項目	記号	定格
ドレイン・ソース電圧	$V_{DSS}$	1200/1800V
ゲート・ソース電圧	$V_{GSS}$	20V
ドレイン電流 (直流)	$I_D$	2.5A
ドレイン電流 ( $10\mu S$ $T_c=25^\circ C$ )	$I_{D(pulse)}$	4A
オン抵抗	$R_{DS(ON)}$	0.65~0.9Ω
チャンネル部温度	$T_{ch}$	150°C

表 6.1.6 に、SiC FET の電気特性を示す。ドレイン・ソース耐圧は、1200V から 1800V であり、オン抵抗は、1200V 品で約  $0.65\Omega$ 、1800V 品で約  $0.9\Omega$  となっている。図 6.1.3.5 は、SiC FET の電気特性を示しノーマリーオン特性である。

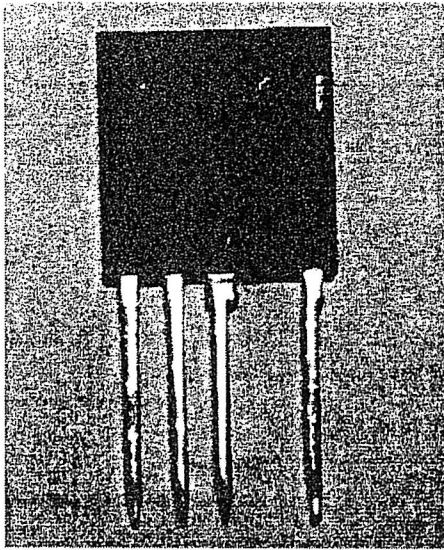


図 6.1.18 カスケード接続された SiC FET の外観

図 6.1.3.6 は、Si FET とカスケード接続された SiC FET の外観であり、図 6.1.3.7 は、1200V 素子の電気特性である。1200V の耐圧に対して、 $0.67\Omega$  の低いオン抵抗を示している。

SiC や GaN 等のワイドギャップ半導体素子は、高耐圧、高速で高温度で使用できる特徴があり、この素子を使用することにより、電子安定器は、さらに、高効率化と小型化が期待できる。

参考文献

[1] B.J.Baliga : IEEE Elect. Dev. Lett. ,10,455 (1989).

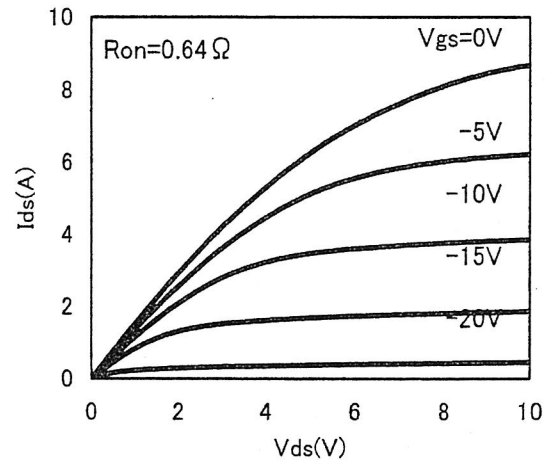


図 6.1.17 SiC FET の特性 (SiC FET 部)

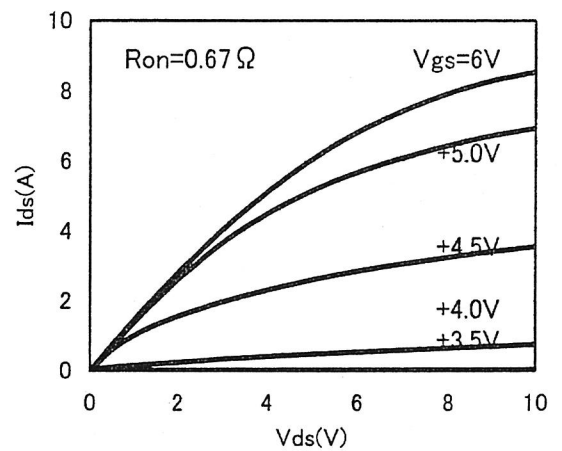


図 6.1.19 カスケード SiC FET の電気特性

## 6. 2 電源技術等回路技術関連

民生機器や情報通信機器などに使用される電源は、照明機器用安定器と同様に、入力電流の高調波電流低減や力率改善、および省エネルギーのための待機時電力低減などが強く要望されている。一方、電源は照明と異なり、特に近年、高速演算と大量の情報処理を行なう CPU や、情報機器系のサーバやルータ用電源として、低電圧大電流で高速負荷急変に対応する高速応答で小型高効率な電源の要求などがある。この節では、照明との関連から、電源における力率改善、高調波電流低減技術、共振形コンバータによる低ノイズ、低損失化技術、および待機電力低減技術について述べる。

### 6. 2. 1 電源における力率改善、高調波電流低減技術

商用電源を入力とするスイッチング電源には高調波電流が少ない高力率の電源が要求されている。力率改善用のコンバータを新たに追加する手法もあるが、出力容量が小さい場合は経済に厳しいので一つのコンバータで出力の安定化と力率改善を同時に行う方法が有利である。

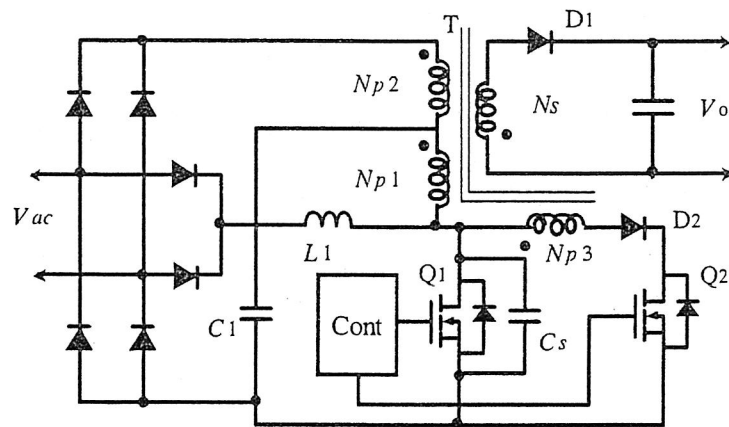


図 6.2.1 力率改善 ZVT コンバータ

図 6.2.1 に示すコンバータ<sup>[1]-[3])</sup>は主スイッチと補助スイッチの二

個の MOS-FET を使用し、主スイッチのスナバ電力を補助スイッチで平滑コンデンサに回生し、さらに Zero Voltage Transition (ZVT)動作を行って力率改善と低損失化を図るものである。本コンバータは周波数一定のカレントモード制御フライバックタイプであり、平滑コンデンサ  $C_1$ 、スナバコンデンサ  $C_s$ 、力率改善コイル  $L_1$  とトランス T で構成され、T は一次の主巻線  $N_{p1}$ 、昇圧巻線  $N_{p2}$ 、回生巻線  $N_{p3}$  と二次巻線  $N_s$  から成っている。また、主スイッチ  $Q_1$  と補助スイッチ  $Q_2$  の MOS-FET と制御 IC(Cont)は一個のパッケージに内蔵されたマルチチップになっている。主スイッチ  $Q_1$  がオフで整流ダイオード  $D_1$  の電流が流れ終わった状態から本コンバータの回路動作を概説する。

最初に補助スイッチ  $Q_2$  がオンとなる。このとき、 $Q_1$  の  $C_s$  に発生していた電圧は T の巻線  $N_{p3}$  に印加される。この電圧は巻線  $N_{p1}$  へ移行し  $Q_1$  の寄生ダイオードを介して平滑コンデンサ  $C_1$  を充電する。つまりスナバコンデンサ  $C_s$  のエネルギーは  $C_1$  へ回生される。その後  $Q_1$  がオンとなる。その際  $C_s$  の電荷は完全に放電しゼロになっているので  $Q_1$  には電圧印加がなく、このため ZVT 動作となる。 $Q_1$  がオンすると、巻線  $N_{p3}$  に発生した電圧によって  $Q_2$  に流れる電流は減少する。この電流がゼロになった後で  $Q_2$  がオフとなるので、 $Q_2$  も ZVT 動作となる。その後  $Q_1$  がオフとなる。そのとき、整流ダイオード  $D_1$  がオンと

なり T に蓄えられた励磁エネルギーは出力へ供給される。つぎの期間に  $Q_2$  がオンとなり以下前述と同様な動作を繰り返す。

T の巻線  $N_{p2}$  には、入力電圧  $V_{ac}$  を整流した電圧とこの巻線に発生する電圧の合計が平滑コンデンサ  $C_1$  の電圧より高い場合に電流が流れる。したがってこの昇圧巻線  $N_{p2}$  があるため、入力側に流れる電流の流入期間が長くなるので、力率が改善される。さらに、コイル  $L_1$  にはスイッチング周期の全般にわたって電流が流れるので力率が向上する。出力電圧の安定化は従来と同様に  $Q_1$  のパルス幅制御によって行われる。

### 6. 2. 2 共振形コンバータによる低ノイズ、低損失化技術

近年のスイッチング電源には小形軽量化のみならず省エネや高効率化が要求されている。スイッチング電源の各種電力変換方式の中で、電流共振形は低損失化、低ノイズに優れているという特徴があるが、軽負荷時に効率が低下し、また待機運転時には補助電源が必要となり、小形化の妨げになっている。

この課題解決のため、パルス幅制御と自励発振制御とを組み合わせた複合発振型電流共振コンバータ<sup>[4-6]</sup>が開発されている。

図 6.2.2 に本コンバータの回路構成を示す。 $Q_1$  はパルス幅制御 IC(Cont)で駆動される他励発振型の MOS-FET、 $Q_2$  は電力変換トランス T の巻線  $N_d$  で駆動される自励発振型の MOS-FET であり、トランス T のリーケージインダクタ  $L_r$  とコンデンサ  $C_r$  との直列共振回路により電流共振動作を行う。二つの MOS-FET( $Q_1, Q_2$ )と制御 IC(Cont)は一つのパッケージに内蔵されたマルチチップになっている。この方式は、High-side スイッチである  $Q_2$  の駆動を Low-side スイッチ  $Q_1$  側の同一チップの IC(Cont)から駆動する方法ではなく、トランスの巻線電圧を用いる方法なので非常に経済的である。

まず、 $Q_1$  がオンすると入力電圧  $V_{dc}$ 、共振コンデンサ  $C_r$ 、共振インダクタ  $L_r$ 、トランス T の巻線  $N_p$ 、 $Q_1$  に共振電流が流れる。二次巻線  $N_{s1}$  では、ダイオード  $D_1$  がオンとなり出力へ電力を供給する。つぎに  $Q_1$  がオフになると  $Q_2$  は巻線  $N_d$  に発生する電圧で駆動されオンとなる。このとき  $C_r$  に蓄えられたエネルギーは二次巻線  $N_{s2}$  からダイオード  $D_2$  を介して出力へ供給される。 $Q_2$  を駆動する巻線  $N_d$  はトランス T の一次巻線  $N_p$  との結合が密になるようにしているので、 $N_d$  に発生する電圧は、リーケージインダクタ  $L_r$  のために矩形波ではなく、立下りが緩やかな波形になる。このため、その電圧が  $Q_2$  のス

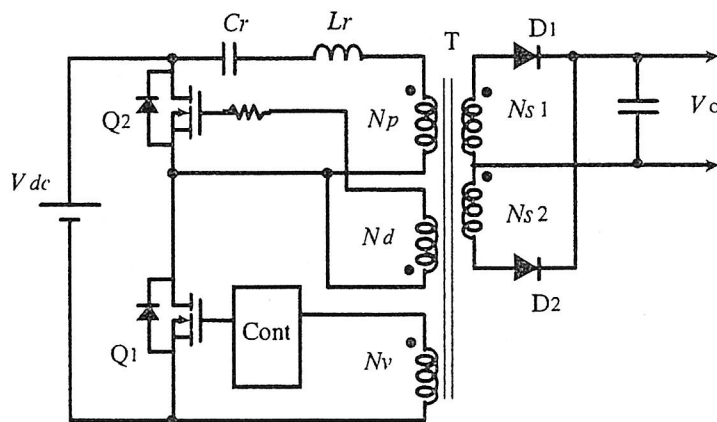


図 6.2.2 複合発振型電流共振コンバータ

レシヨールド電圧を下回ると  $Q_2$  は自動的にオフとなる。このように他励と自励を組み合わせた本複合発振型では軽負荷時にスイッチング周波数の上昇が少なく、効率が低下することはない。また、 $Q_1$  を駆動する IC(Cont)ではトランス T の巻線  $N_V$  に発生する電圧を監視し、 $Q_2$  がオンしている期間は  $Q_1$  がオンにならないよう強制オフ回路を備えている。このため  $Q_1$  と  $Q_2$  の両スイッチが同時にオンすることはない。さらに本コンバータではトランス音がしないバースト発振(間欠発振)動作を行っているので、低電力での待機運転が可能である。

このように複合発振型電流共振コンバータでは低損失、低ノイズに優れているという特徴を活かしながらコンバータの小形化を図ることができる。

### 6. 2. 3 電源における待機電力低減技術

#### (1) 間欠発振方式

リモコンを利用した家電製品は、一日の使用時間に対して、スタンバイ状態の時間割合が非常に大きいものも多く、スタンバイ状態での瞬時消費電力は小さくても、年間の総消費電力に対する待機電力の占める割合は非常に大きくなる。そのため、経済産業省資源エネルギー庁からの省エネガイドラインにより、家電製品のスタンバイ時省費電力削減が大きなテーマとなっている。

スイッチング電源のスタンバイ時の電力損失は、導通損失の割合が少なく、スイッチング損失が支配的となっている。特に RCC 方式では出力電力が小さくなるほど発振周波数が高くなるので、スイッチング損失の

占める割合は、より一層高くなる。そこで、消費電力低減の為に有効な手段としてバーストモード動作がある。バーストモードは、スタンバイ時に間欠動作を行うことで単位時間あたりのスイッチング回数を減らし、スイッチング損失を軽減して低消費電力化を行っている。図 6.2.3 は、部分共振ベースで、バーストモードを有する電源回路例であり、図 6.2.4 は、バースト動

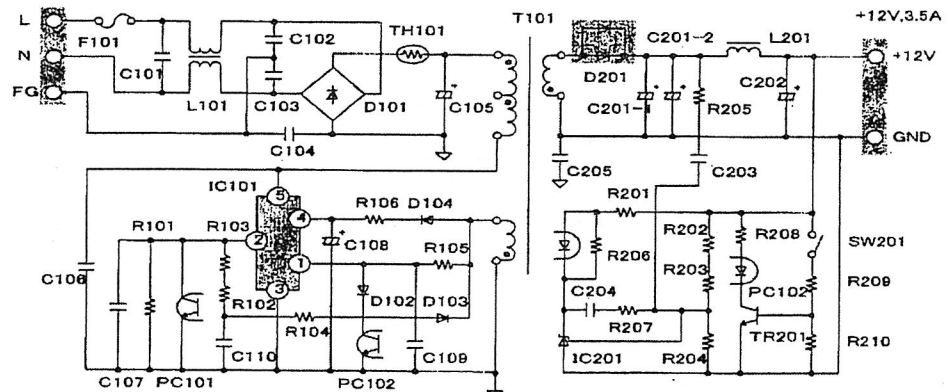


図 6.2.3 間欠発振方式による待機電力低減回路

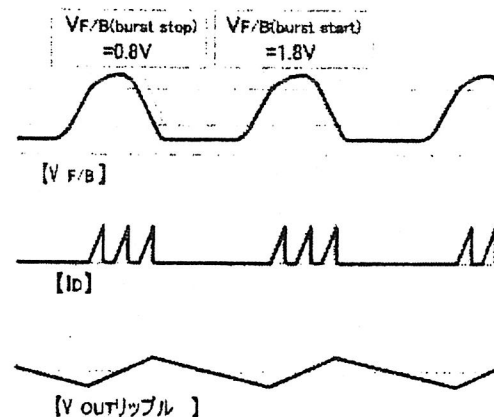


図 6.2.4 バースト動作シーケンス

作シーケンスを示している<sup>17)</sup>。通常は部分共振動作（電流臨界動作）を行い、スタンバイ動作時にマイコンのスタンバイ信号により IC の①端子電圧を 2.9V 以下にクランプすることで、IC がバーストモードに切り替わる。バーストモードに入ると、ドレイン電流を 425mA に制限し、オン幅を F/B 端子（②端子）電圧に対してリニアな制御から  $V_{F/B} > 1.8V$  で発振、 $V_{F/B} < 0.8V$  で停止というヒステリシス動作によって確実に間欠動作を行いながら、出力リップルを最小限としている。また、IC 内部に起動回路を内蔵しており、電源動作後、起動回路を切り離すため、無駄な電力が削減され、スタンバイ時の効率改善に寄与している。さらに、バースト発振停止期間に不必要な回路動作を停止し、無駄な回路電流を削減して、IC の制御電流を、通常動作時のおよそ半分にしている。

## (2) 直列コンデンサ挿入方式

スイッチング電源は AC100V または AC200V を整流して DC140V または DC280V をつくり、この直流電圧を入力電圧として DC/DC コンバータを構成している。そのため、待機時のような小負荷電力動作時でも、この直流電圧によるトランスの損失や主スイッチ FET のスイッチング損失がかなり大きく発生している。そこで、待機時消費電力を低減するために、図 6.2.5 に示すような、交流入力ラインに直列コンデンサを挿入する直列コンデンサ挿入方式が提案されている<sup>18)</sup>。この方式は、待機時に切り替え信号を受けて待機運

転モード切り替えスイッチをオフし、直列コンデンサを通して電力を供給する。ここで、待機モードの直列コンデンサ回路は、無損失で AC 電圧を降下させることのできる電圧変換回路となる。その結果、低圧直

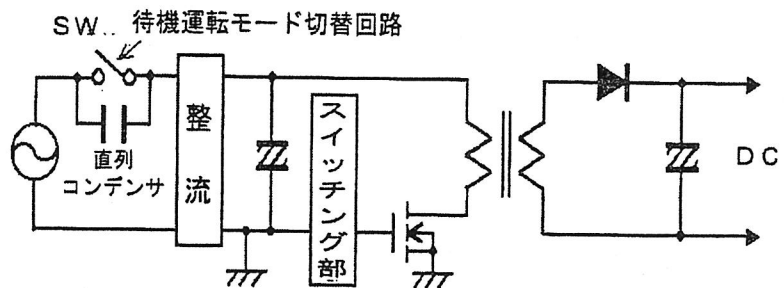


図 6.2.5 直列コンデンサ挿入方式の基本ブロック図

流入力電圧をつくること  
ができ、トランスの損失やスイッチング損失を低減し、待機時の消費電力を小さくすることができる。図 6.2.6 は、直列コンデンサ挿入方式を用いた待機運転モードと、通常運転モ

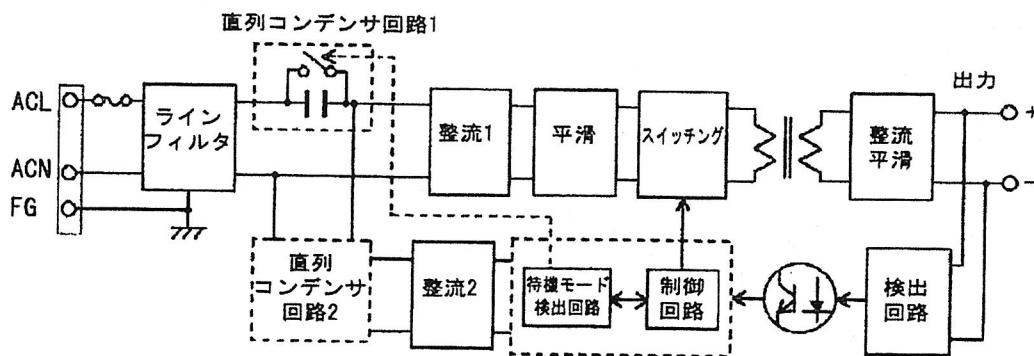


図 6.2.6 電源ブロック図

ードと、軽負荷時の発振周波数切り替えモードを有し、さらにドライブ損失を削減する回路を加えて試作した入力電圧 AC100V 出力 8V(5W)電源のブロック図であり、待機時消費電力 63mW 以下を実現している。また、この方式は連続発振方式のため、前記の間欠発振方式のような特別のノイズ／リップル対策が不用である。

さらに、この方式の改良を進め、直列コンデンサ回路は制御回路のみに用い、無負荷時の待機時消費電力は40mW以下を実現している。

#### 参考文献

- [1] 五十嵐征輝：“補助スイッチ付き新部分共振コンバータ”，2002 スイッチング電源シンポジウム，B1-2-1～B1-2-9
- [2] 太田裕之，松尾博文，宇藤靖浩，黒川不二雄：“4巻線方式ソフトスイッチング AC-DC コンバータの入力フィルタの影響を考慮した等価回路モデル”，信学論(B)，Vol.J-86-B，No.8，pp.1647-1651 (2003)
- [3] Hiroyuki Ota and Hirofumi Matsuo：“Soft-Switching AC-DC Converter with Four-Winding-Reactor”，IEEE INTELEC Record，pp.211-215 (2003)
- [4] 西川幸廣，野澤武史，五十嵐征輝，桑原今朝信，寺沢徳保：“複合発振型電流共振コンバータ”，平成 14 年電気学会全国大会講演論文集，Vol.4，pp.157-158 (2002)
- [5] 西川幸廣，野澤武史，五十嵐征輝，桑原今朝信，寺沢徳保，太田裕之：“複合発振型電流共振コンバータの軽負荷時損失を低減する方法”，平成 14 年電気学会産業応用部門大会講演論文集，Vol.1，pp.631-632 (2002)
- [6] 西川幸廣：“自励と他励を用いた複合共振コンバータ”，2003 スイッチング電源シンポジウム，E5-1-1～E5-1-12
- [7] 林 正明：「スタンバイ対応部分共振電源用 IC」電子技術 2003 年 4 月
- [8] 山崎幸夫：「待機時消費電力削減の為の電源技術開発」PASSWORD Vol.03-18.2003 年 12 月

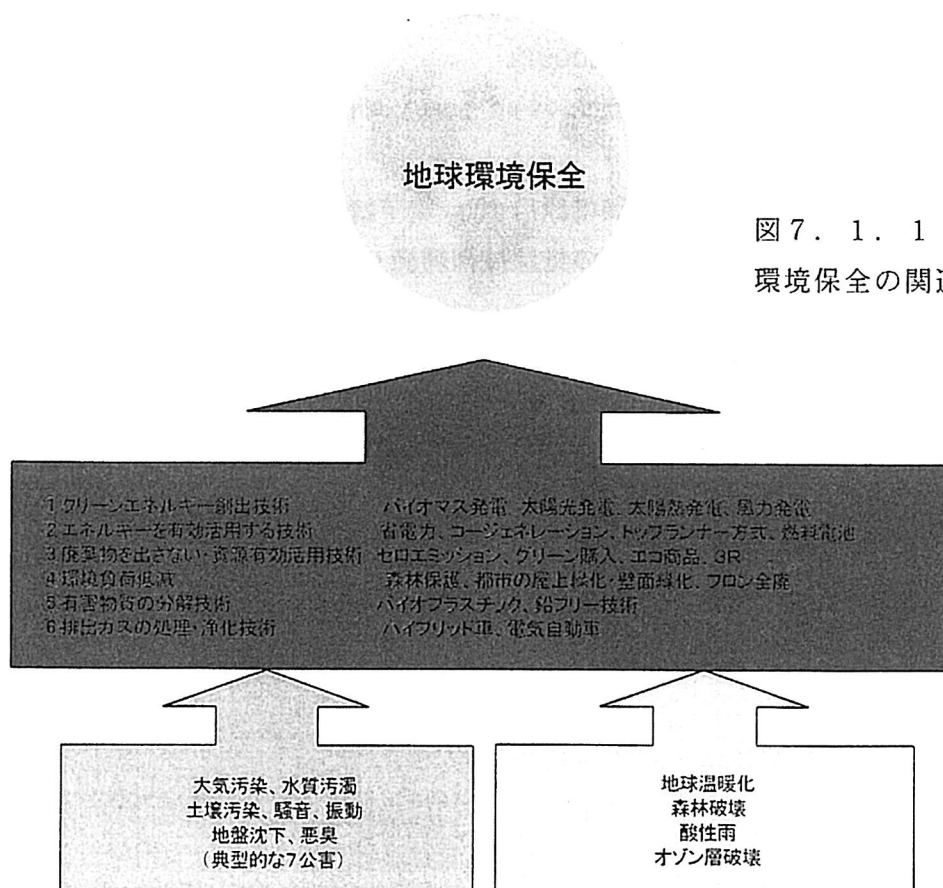
## 7. 省資源・環境保全対応技術などの現状と動向

### 7. 1 環境保全について

科学がいくら発展しようが、文明社会がいくら進歩しようが、動物、植物、人間も地球上の生態系の一部である限り、大地、水、空気、太陽光、森林の自然環境と無関係では生きられない。20世紀までは地球の自然を破壊、汚染しても、自然の回復力（浄化能力）により治療されてきていたし、問題となる自然の破壊、汚染も特定地域に限定されるものであった。

しかし、近年は資源やエネルギーの消費量が急激に増大することにより経済活動や日常生活は人間社会を豊かにしてきた反面、大気・水・土壌・森林等の自然環境が浄化能力を超える破壊となり、生態系へも影響を及ぼしてきた。

さらに限られた地域の環境だけでなく、CO<sub>2</sub>排出量増加による地球温暖化やフロンによるオゾン層破壊で人間の生存にも影響する地球環境まで拡大してしまった。この地球環境破壊は憂慮すべき深刻な問題であり、健全な環境への保全が求められている。このため現在、地球規模での省資源・環境保全が草の根レベルから展開されてきている。実際に各自治体や企業や市民で取り組まれている環境保全は公害防止、省エネ、ゼロエミッション、グリーン購入、エコ商品化、資源のリサイクルなどが身近で行われている。また、自治体においては地球温暖化対策を条例制定し、省資源・環境保全の推進を図っている。



## 7. 2 省資源・環境保全対応技術

地球の温暖化は特に大きな問題であり、温暖化により氷河が融け出し、海面が上昇することにより生態系への悪影響、食料不足、住環境の破壊など私たちがまず取り組まなければならない課題である。二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）は光を通すが熱を通さない性質があり、 $\text{CO}_2$ が増えることが温暖化の原因である。

この $\text{CO}_2$ は化石エネルギーといわれる石油、石炭、天然ガスを燃焼することにより放出され、発展途上国では木材を燃焼させることにより発生している。森林の燃焼による $\text{CO}_2$ の放出と森林伐採による破壊が進み、さらに酸性雨による森林破壊で森林減少となり本来もっている浄化作用を減少させ $\text{CO}_2$ 増加に拍車をかけている。

$\text{CO}_2$ を抑制するためには、化石エネルギーの消費の減少または新エネルギーの開発と切替、省エネルギー、森林保護・植林が大切である。

さらに、酸性雨による森林破壊の抑制も大切である。とりもなおさず森林保護による二酸化炭素・窒素酸化物の浄化作用の回復である。酸性雨は工場や自動車の排気ガスに含まれる硫黄酸化物、窒素酸化物が原因で水と化学反応して硫酸、硝酸となり森林を破壊する。この原因となる工場からの排気ガスは規制による抑制と排気ガス処理技術による抑制で、自動車の排気ガスは浄化技術の開発による低公害車、ガソリンや軽油代替えの電気自動車やハイブリッドカーの開発・普及と利用者のマナー（不要なアイドリング）アップ等により排気ガス削減を図っている。また一方では、炭酸同化作用の活発な熱帯林の保護・植林による環境保全は重要であり、各企業、団体にて独自に行われている。

最近では資源循環型商品の開発や環境負荷削減のバイオプラスチックや燃料電池、ポリカーボネート樹脂が開発されるなど、環境保全対応技術が幅広い分野に波及しつつある。新エネルギー（再生可能なエネルギー）としては太陽の光を得て、生長する植物、動物などを含めた生物資源によるバイオマス発電、環境負荷の少ない天然ガス発電、クリーンな太陽光発電、太陽熱発電、風力発電、地熱発電なども着実に進んできている。

私たちの身の周りや地域社会生活では照明がどういう分野で使用されているかを考えると、家庭内での照明、玄関や駐車場や倉庫の照明、会社・事業所内での照明、地域社会での街路灯、看板照明、道路灯、ビル照明、ライトアップ、店舗照明、自販機照明、車載用ヘッドライト等である。

照明という観点からの環境保全は、 $\text{CO}_2$ 削減で化石エネルギー消費を減少させる省エネルギー（光源の効率改善、インバータ搭載比率アップ化と効率アップ化、照明制御システム化、器具効率改善）と省資源（長寿命、小型化、軽量化）と適切な照明である。

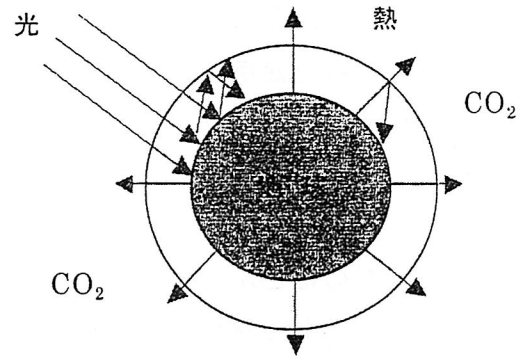


図7. 2. 1 地球温暖化の原因

### 7. 3 リサイクル

現行の廃棄物処理法では、使用済みランプはガラス、陶磁器屑に分類され、一般家庭から排出されるランプは一般廃棄物として各自治体が収集・処理を行い、事業所等から排出されるランプは産業廃棄物として産業廃棄物業者が収集・処理（処理費は排出者負担）を行うことが義務付けられている。

収集された使用済みランプの多くは、まだ埋め立て処理されているが、微量ながら水銀を含有することや、全般的な資源リサイクル化への意識の高まりから、使用済みランプのリサイクル量は年々増加してきている。

使用済みランプとしては、その大部分を蛍光ランプが占めるが、これらのランプを構成する素材のほとんどがガラスである。ただし、ガラスの原料は枯渇資源ではないため、ガラスカレットの材料価値が低くリサイクルコストが割高であることや再資源用途が少ない等の課題が多い。現状では再資源用途として、主に建築用のガラスウールや路盤材などに使用されている。

使用済み蛍光ランプのリサイクルにおけるもうひとつの課題は、構成素材に含まれる水銀の処理である。蛍光ランプに含まれる水銀は金属水銀（無機水銀）であり、少量では人体への影響はほとんどないと言われているが、大量に摂取した場合はこの限りではなく、消化器系の症状が見られるため、有害であることには変わりなく、適正な処理において回収されなければならない。以前は水銀を含む使用済みランプを処理できるのは野村興産（株）1社であったが、近年は、水銀の回収ができる処理施設を導入して使用済みランプの処理を行う中間処理業者が増えてきている。

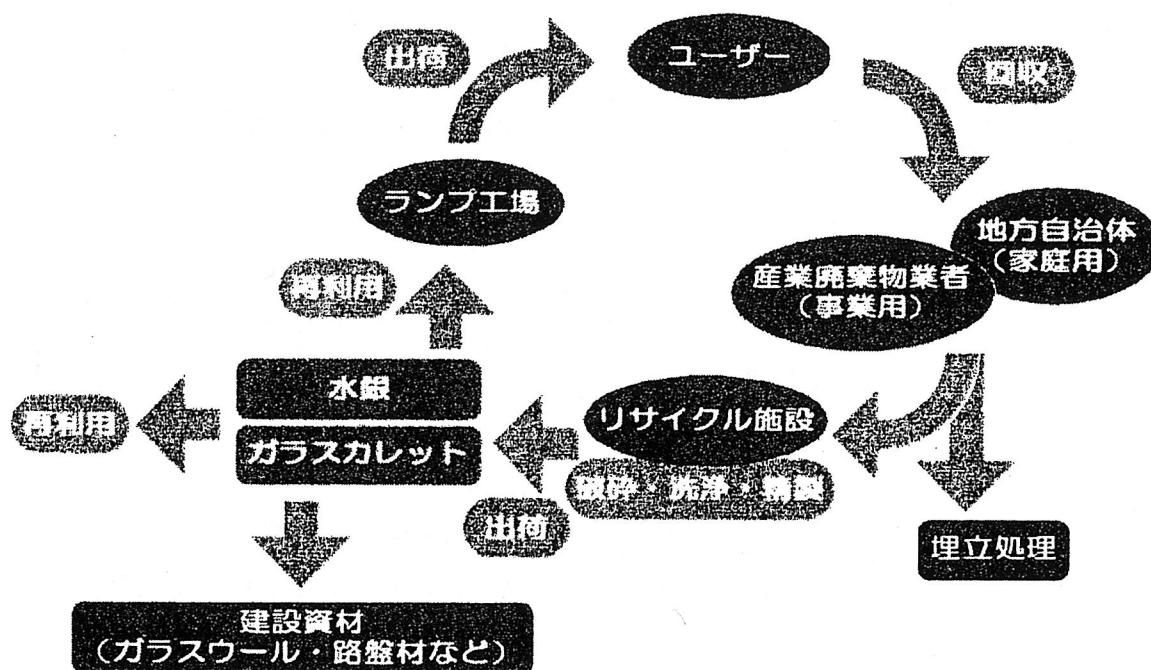


図 7. 3. 1 ランプのリサイクルフロー

また、使用済みランプの排出量を削減するためにはランプの減量化・長寿命化が不可欠である。2000年度のランプの総排出量は約6.2万トンであった。図7.3.2に示すとおり、1990年代から比較すると、国内生産数はほぼ同数にもかかわらず、排出量は約14%削減されている。これらは高周波点灯専用ランプの普及による、コンパクト化・長寿命化が寄与していると考えられる<sup>[1]</sup>。

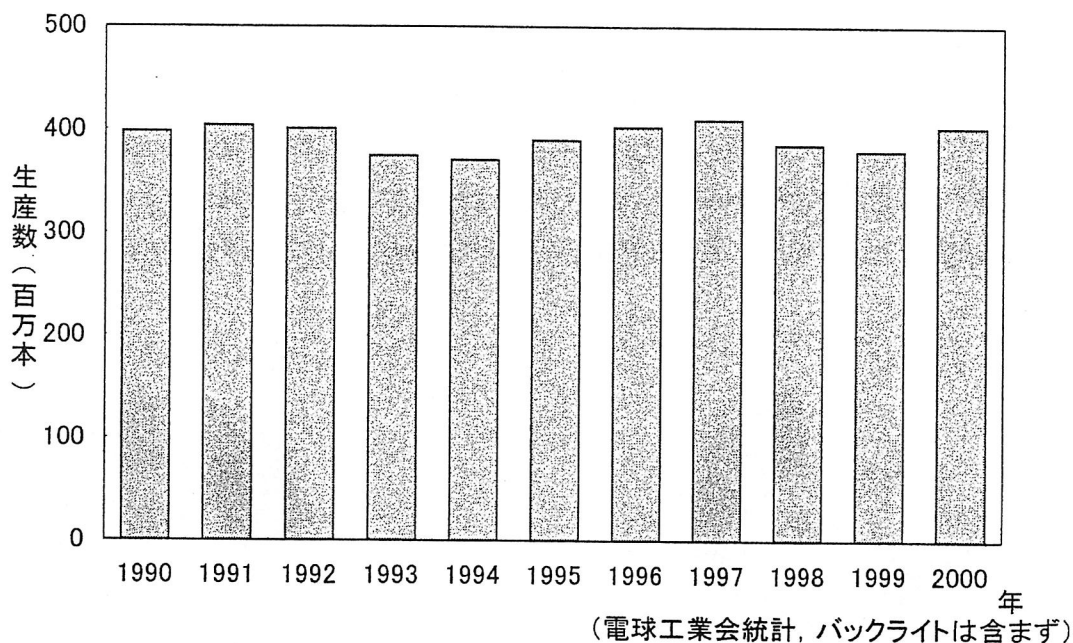


図7.3.2 蛍光ランプ生産数の推移

参考文献

- [1] 日本電球工業会：日本電球工業史（第4追補版1993～2002年）

#### 7. 4 インバータ化率向上，高効率化、調光器具の普及に関する環境保全効果試算

国内で最も設置台数が多く，1台あたりの消費電力が比較的大きい施設用 40W 以上に分類される蛍光灯器具のオールインバータ化とオール調光制御システム導入による省電力効果と今後の課題についてまとめる。

##### 7.4.1 施設用 40W 以上蛍光灯器具のインバータ化による省電力効果

国内の全電力消費量の約 15% を占める照明用電力における 2000 年度の用途別と光源別の電力量比率をそれぞれ図 7.4.1 と図 7.4.2 に示す。<sup>[1]</sup> これらの図より，家庭用を除くビルや工場用の割合が 67% を占め，蛍光灯が 78% を占めていることが分かり，両者から施設用 40W 以上蛍光灯器具の電力消費量が全体の約 50% を占めると推定される。このことから，40W 以上蛍光灯器具の省電力化が照明用電力全体の省電力化に寄与するところが大きいと言える。なお，日本照明器具工業会の統計資料を基にした試算では，この器具の年間出荷台数は約 18 百万台で，2002 年の普及台数は 260 百万台程度と推定される。

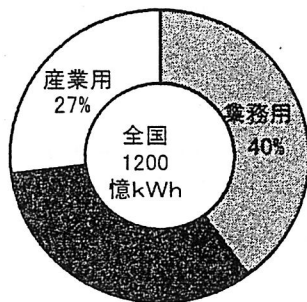


図7.4.1 2000年度用途別全国照明電力量

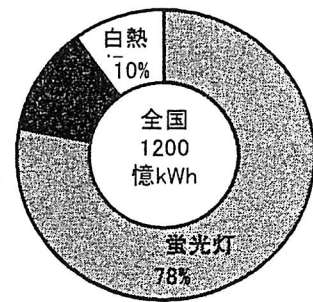


図7.4.2 2000年度光源別全国照明電力量

そこで，この施設用 40W 以上蛍光灯器具について，比較的省電力効果が大きいインバータ化と調光制御システム導入による省電力効果を試算する。

一つ目の試算は，上記国内に設置されている膨大な蛍光灯器具の全てがインバータ化された場合で，表 7.2.1 に示すように百万 kW の発電所が約 4 基不要となるとともに年間約 2000 億円の電気代が転用可能となる。二つ目の試算は，インバータ化された全ての器具に調光制御システムを導入した場合で，表 7.4.2 に示すように百万 kW の発電所が約 9 基不要となるとともに年間約 4400 億円の電気代が転用可能となる。従って，この試算に基づき優先的に火力発電所が廃止されれば CO<sub>2</sub> の大幅削減が期待できる。

表 7.4.1 施設用 40W 以上蛍光灯器具のインバータ化による省電力効果

器具分類	全国 器具普及台数 (百万台) (%)		2灯用器具 消費電力 (W/台)	2灯用器具 省電力 (W/台) (%)		1灯用考慮 補正省電力 (W/台)	全国 省電力 (百万kW)	全国 省電力量 (百万kWh/年)	全国 省電気代 (億円/年)		
	①	40 W	磁気式ラビット	156	60	86	19	22	15	2.34	6550
②	磁気式スターク		78	30	89	22	25	15	1.17	3280	590
③	インバータ		13	5	67	-	-	-	-	-	-
④	110 W	磁気式ラビット	13	5	225	35	16	25	0.33	920	166
⑤		インバータ	0	0	190	-	-	-	-	-	-
⑥		合計	260	100	-	-	-	-	3.84	10750	1935

(注 1) 1灯用考慮補正値：①80%、②70%、③70% (注 2) 年間使用時間：11h×255日≒2800h

(注 3) 電気料金：18円/kWh

表 7.4.2 施設用 40W 以上蛍光灯器具のインバータ化とオール調光制御システム導入による省電力効果

器具分類	全国 器具普及台数 (百万台) (%)		2灯用器具 消費電力 (W/台)	2灯用器具 省電力 (W/台) (%)		1灯用考慮 補正省電力 (W/台)	全国 省電力 (百万kW)	全国 省電力量 (百万kWh/年)	全国 省電気代 (億円/年)		
	⑦	40 W	磁気式ラビット	156	60	86	42	49	34	5.30	14850
⑧	磁気式スターク		78	30	89	45	51	32	2.50	7000	1260
⑨	インバータ		13	5	44	-	-	-	-	-	-
⑩	110 W	磁気式ラビット	13	5	225	101	45	71	0.92	2610	470
⑪		インバータ	0	0	124	-	-	-	-	-	-
⑫		合計	260	100	-	-	-	-	8.72	24460	4403

(注 4) 調光制御システム導入による省電力率：

平均 35%と仮定（初期照度調整 13%、昼光利用平均 12%、タイムスケジュール/ビーク電力カット平均 10%）

#### 7.4.2 施設用蛍光灯器具のインバータ化普及状況と今後の見通し

日本電球工業会の統計資料によると、2002年に生産された家庭用を含む全蛍光灯安定器のインバータ化率は36%に留まっているが、上記施設用40W以上蛍光灯器具のインバータ化率は、既にインバータ器具が磁気式安定器器具と同価格となり、更に電圧フリーやランプフリー等の性能向上やHf新光源も定着してきたことから03年度は50%を越えるものと推定され、この数年で加速されてきている。

この施設用40W以上蛍光灯器具を含む主要施設用蛍光灯器具の品種別インバータ化普及状況を表7.4.3にまとめる。この表から今後も更に新規、リニューアル物件共にインバータ化率が向上し、これにともない蛍光ランプも白色等と比べて発光効率が高い3波長形の普及率が高まると推定され、インバータやランプのコストダウンが更に進めば市場にある膨大な施設用蛍光灯器具の大半が最も効率が高い（インバータ+3波長形蛍光ランプ）に加速的に置き換わる可能性もある。

一方、点灯周波数が数十kHzのインバータ蛍光灯器具から放出されるノイズレベルは、点灯周波数が50/60Hzの磁気式と比較すると高く、インバータ器具採用に際し電子機器等への影響に対する不安もあったが、インバータ蛍光灯器具の普及にともない特殊な状況を除けば問題がないことが実証されてきている。今後、蛍光灯器具のノイズ規制がIEC整

合新規格へ移行することを機に、更なるノイズ低減にも期待したい。

表 7.4.3 主要施設用蛍光灯器具の品種別インバータ化普及状況

①40W 直管サイズの ピットスタート形器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>・32W出力：インバータ器具が磁気式器具と同価格→インバータ化加速</li> <li>・45W出力：器具設置台数減→新築に有効→インバータ化加速</li> <li>・ランプフリー仕様普及→安価なFLR、FL白色ランプも使用可能</li> <li>・電圧フリー仕様普及→電圧混在リニューアルに有効→インバータ化加速</li> <li>・Hfランプの効率向上→蛍光ランプの3波長形化加速</li> </ul>
②40W 直管サイズの グロースタ形器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気式器具がインバータ器具より低価格→インバータ化率小</li> </ul>
③110W 直管サイズ器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インバータ器具が磁気式器具と同価格、Hfランプ発売→大半がインバータ化</li> </ul>
④スクエア器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高周波点灯の必要性大、Hfコンパクトランプ発売→大半がインバータ化</li> <li>・安価なグリッド天井普及→Hfスクエア器具定番化→オールインバータ化</li> </ul>
⑤ダウンライト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高ワット用：Hf専用ランプのみ商品化→オールインバータ化</li> <li>・低ワット用：磁気式器具がインバータ器具より低価格→インバータ化率小</li> </ul>
⑥連続調光器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模ビルの大半に導入</li> <li>・大半がHfランプとの組合せ</li> </ul>

#### 7.4.3 省エネ蛍光灯システム導入加速のための公的仕組み

上記インバータ、3波長形蛍光ランプ、調光制御を組み合わせた省エネ蛍光灯システムの普及加速方法として以下の公的仕組みを検討したい。

- ・新規物件のインシヤルコスト増分を2年以内の省電力効果で回収できる課税優遇措置拡大
- ・リニューアル物件のインシヤルコストを毎月の省電力効果で返済できる仕組み充実
- ・省エネ蛍光灯システム導入の義務付け強化

#### 7.4.4 インバータ蛍光灯器具の高効率化

上記インバータ化や調光制御システム導入以外の省電力方法として、インバータ蛍光灯器具の高効率化手段についてまとめる。

- ・インバータ損失低減(現行の回路効率86%~90%の更なる改善)
- ・ランプ発光効率向上(現行最大効率110lm/Wの水平展開と更なる改善)
- ・高温環境におけるランプ発光効率改善
- ・器具効率向上(高反射塗装の普及加速)
- ・器具内温度低減によるランプ発光効率向上(ランプ密閉器具)

#### 7.4.5 ランプ長寿命化による省資源

照明器具は器具自体が廃棄されるまでにランプが何度か交換され大量に廃棄される点で他の商品とは異なる。この交換ランプの削減にはインバータ点灯を前提としたランプの長寿命化が有望で、これを実現するための課題を以下に示す。

- ・蛍光体の光束劣化改善(価格アップしても商品価値大)
- ・フィラメントに塗布される電子放射物質消費時間改善
- ・フィラメント断線性能改善

一方、最近では蛍光ランプのリサイクルプラントが本格稼働しだしている情報もあり、今後の回収率が高い仕組み作りにも期待したい。

#### 7.4.6 商用電源の直流化

大半のインバータは商用交流電圧を一旦直流電圧に変換しており、この順変換回路の回路損失やコストが全体の半分以上を占めている。従って、数百ボルトの直流で電源が供給

されればインバータの電力損失，コスト，ノイズの大幅低減が期待できる。

#### 参考文献

[1]照明第8巻6号（通巻274号）

## 7. 5 関連業界との関わり等について（産業用照明，自販機，建築，光害等）

1997年12月京都で第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）が開催され、温室効果ガスを1990年比で2008年から5年間で日本として6%を削減することになった。このことにより国はもとより地方公共団体，業界団体，事業者，市民としての取組みが展開されている。

ここでは照明業界以外の明りに関わりのある産業用照明業界，自販機業界，建築業界での取組みと問題視されている光害について述べる。

### 7. 5. 1 産業用照明業界における地球温暖化対策

産業用照明事業は自動車，OA機器，情報機器への用途拡大により急速に成長している。自動車用光源，複写機やプリンター用光源，パソコン用バックライト，モニター用バックライトなどがあり，自動車ではHIDランプが，液晶バックライト用は光源としては冷陰極管（CCFL）が主力である。

最近ではCCFLは液晶TV用のバックライトとしても脚光を浴びてきている。

液晶ディスプレイ市場はIT技術の発展，IT関連機器の需要拡大によって，急伸しており，表7. 5. 1の分野別すべてにて堅調に推移している。

表7. 5. 1 液晶ディスプレイの分野別製品用途

分野別	製品用途
民生向け	デジタルスチルカメラ，ビデオカメラ，PDA，計算機
コンピュータ向け	ノートPC，液晶ディスプレイ，プリンター
通信向け	携帯電話，ファックス，電話

#### ①液晶（LCD）分野

日本の液晶用途市場規模としてはノートPC，携帯電話，デスクトップ液晶モニター，液晶モニター付きビデオカメラ，大型液晶TV，液晶プロジェクタ，パチンコ，カーナビの製品群で構成されている。

液晶市場としては大型液晶TVの高い伸び，携帯電話などの2桁成長が予測されている。さらに液晶プロジェクタ，液晶モニター付きデジタルカメラが伸長している。

#### ②PDP及び有機EL

バックライトが必要である液晶市場が伸長しているように，自発光のPDP，有機ELも市場規模を伸ばしてきている。

PDP出荷台数は2001年が約35万台，2002年は約80万台となり，本格的な成長期となりつつある。2002年には業務用TV向けを民生用TV向けが追い越した。

今後，さらに民生用TV向けが拡大するとともに普及していくであろう。

有機ELは携帯電話からPDAから車載端末・アミューズメントからTV・PCへと今後実用化のシナリオである。

地球温暖化対策としては情報・家電業界は省エネルギー対策に尽きる。よって製品毎の省電力化として半導体パーツ省電力化，スイッチング電源の高効率化，省エネ制御機能，待機電力低減の取組みを行っている。

バックライト業界としては導光板の透過効率アップ，冷陰極管は管径の細管化による省電力化，インバータは効率アップの取組みを進めている。

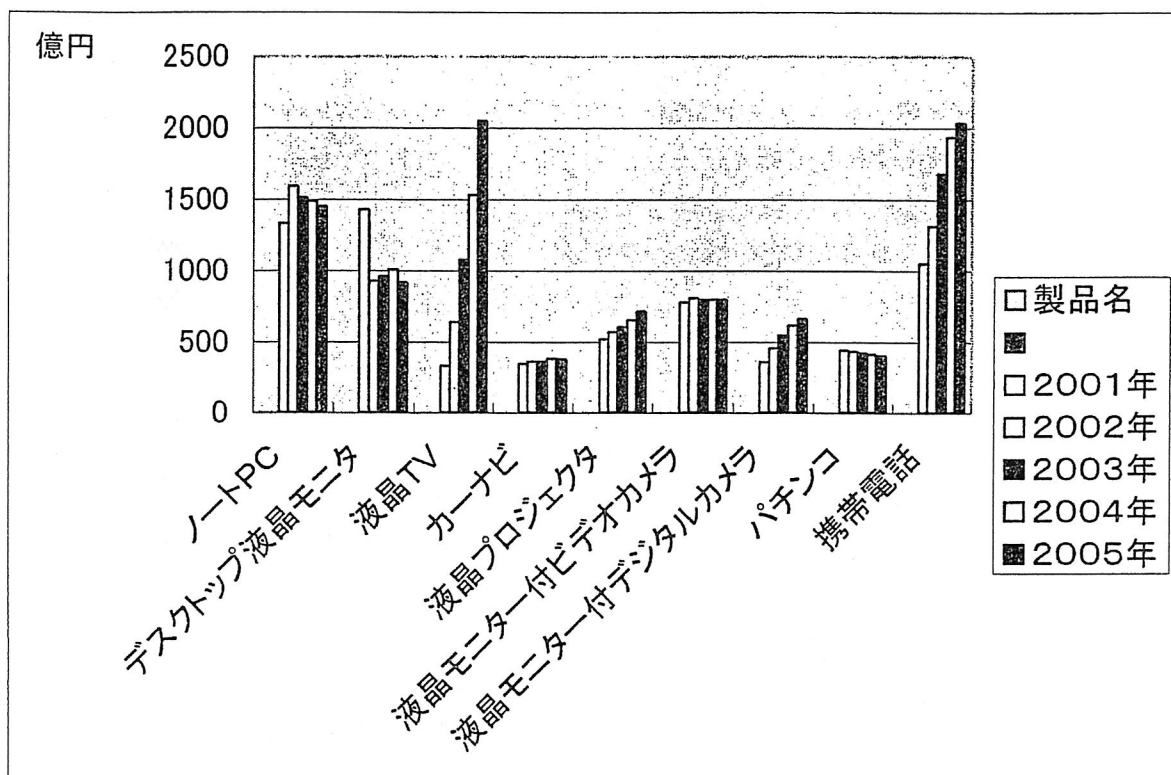


図7. 5. 1 日本の液晶用途別市場動向

### 7. 5. 2 自販機業界における地球温暖化防止策

自販機及び自動サービス機の普及台数は平成13年末で約550万台といわれている。機種別構成比では飲料自販機が47%，自動サービス機は22%，たばこ自販機は11%であるが自販機の年間消費電力の約90%が飲料自販機によるものである。飲料自販機としては照明と冷熱交換機をもっているため消費電力が大きくなっているといえる。自販機業界の地球温暖化防止対策は総じて飲料自販機の省エネルギー対策に尽きる。自販機の年間総消費電力量（2001年）は約74億kwhであり，国内年間総発電量（2001年1兆759億kwh）の0.7%である。

自販機メーカーとしては、2002年12月に缶飲料自販機が省エネ法による特定機器に追加指定され、トップランナー方式による目標値が設定された。その結果2005年には缶飲料自販機の消費電力量は2000年比30%低減する見込みとのことである。

日本自動販売機工業会と全国清涼飲料工業会では環境庁から要請を受けて1997年3月から太陽電池装着普及に向けたフィールドテストにも取り組まれている。

自販機業界としては具体的に次の項目の取組みを進めている。

① 照明の減光

夜間での照明の明るさを100%→50%に減光する。

② エコベンダーの普及

電力消費ピークになる7月1日から9月30日の平日午後1時から4時の冷却運転をストップし、消費電力を大幅に抑える。

さらに断熱材を強化し、午前10時から午後1時までは通常より3～5℃低温に冷やし込む仕組みである。

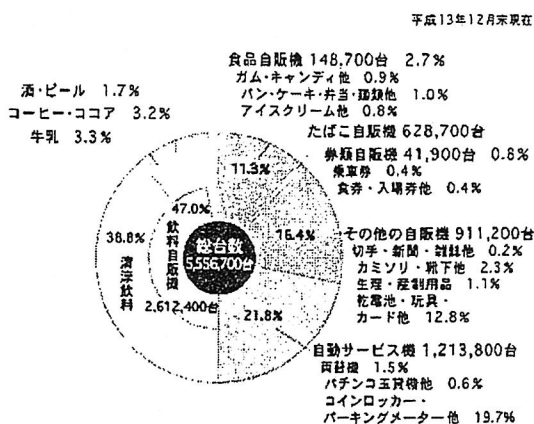


図7. 5. 2 自販機普及台数

7. 5. 3 建築業界における地球温暖化防止対策

建築業界は施工段階での二酸化炭素排出量の削減目標を掲げ、2010年度までに1990年度を基準として12%削減する取組みを行っている。

具体的な取組みは施工段階と計画・設計段階があり次のようである。

〔施工段階の二酸化炭素排出抑制〕

大きなウェイトを占めているのは「建築発生土の搬出量および搬出距離の削減」であり、その他として「アイドリングストップおよび省燃費運転の促進」「重機・車両の適正整備の励行」「化石燃料消費の少ない建設機械・車両の採用の推進」「高効率仮設電気機器等の使用の促進」「建築現場等での省エネルギー活動の推進」である。

〔計画・設計段階の二酸化炭素排出抑制〕

① 省エネルギー、省資源、長寿命設計の推進

② 技術開発の推進

③ 輸送方法の研究の推進

建築業界としては設置する照明については省エネルギー対応した器具、照明制御システム、光源の長寿命製品を計画段階で積極的に導入されている。さらに地球温暖化防止、ヒートアイランド現象、生態系保全に対して緑化の推進も図っている。

具体的に建物の壁面緑化、建物の屋上緑化（屋上の照り返し防止、断熱による省エネルギー効果）や動植物の生息空間を創出するビオトープ（生態系の保全）の取組みである。

#### 7. 5. 4 光（ひかり）害について

近年屋外照明の増加，照明の過剰な使用により無駄な光りが夜空に放出され，天体観測への障害となる「光（ひかり）害」が指摘されている。

また，照明の不適切な使用や過剰な使用により眩しさといった不快感，交通信号等の認知力低下，動物や植物や農作物への悪影響も伝えられている。

実際に屋外灯を見回すと不適切な照明（駐車場照明，街路灯，看板広告照明等）の多いことに驚かされます。さらに無駄な光りを放出していることは，エネルギーを無駄に使っていることにもなり，街路灯や景観照明の適正化や看板広告照明の適性化を図るべきである。又，光害抑制として行政，照明機器の供給者，照明設計者，照明使用者，地域住民が一体となって取り組むべきで，市民のライフスタイルまで踏み込み見直すべきである。

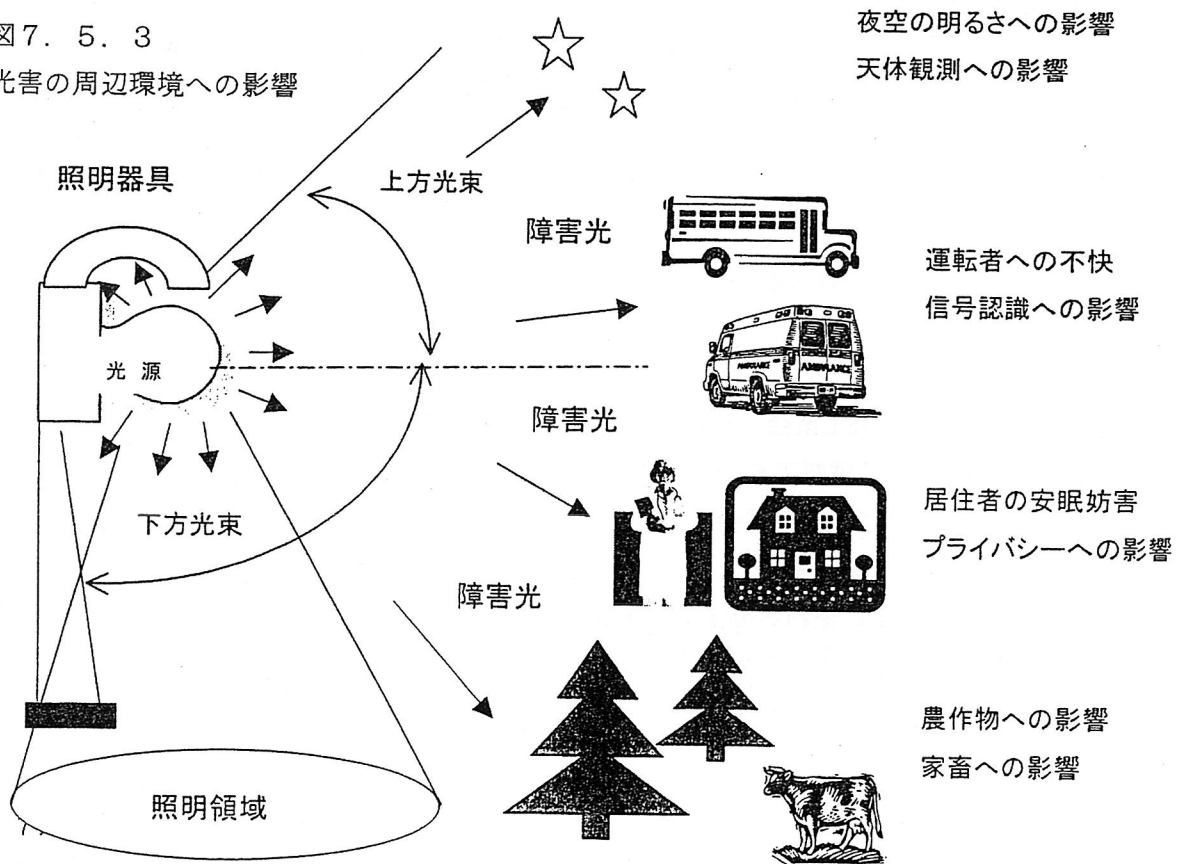
このことから環境庁大気保全室が良好な大気生活環境保全上から平成13年3月に「光害対策ガイドライン」を取りまとめられた。

その後，さらに普及を図るため同ガイドラインに基づき，地域における光害抑制のため「地域照明環境計画策定マニュアル」を平成12年6月に環境庁大気保全局大気生活環境室から，さらに平成13年9月に「光害防止制度に係るガイドブック」が策定された。

地方公共団体において，適切な施策を実施していくためのポイントを解説したガイドラインやマニュアルであり，有効に活用できるよう整備されてきている。

図7. 5. 3

光害の周辺環境への影響



## (1) 光害の定義

「光害対策ガイドライン」にて次のように定義されている。

良好な「照明環境」の形成が、漏れ光によって阻害されている状況又はそれによる悪影響を「光（ひかり）害」と定義する。

狭義には、障害光による悪影響をさす。

関連用語の定義としては次のとおりである。

### ① 良好な照明環境

周囲の状況（社会的状況及び自然環境）に基づいた適切な目的の設定と技術により、照明に関して、安全性及び効率性の確保並びに、景観及び周囲環境への配慮等が十分なされている状況

### ② 漏れ光

照明機器から照射される光で、その目的とする照明対象範囲外に照射される光

### ③ 障害光

漏れ光の内、光の量若しくは方向又はその両者によって、人の活動や生物等に悪影響を及ぼす光

## (2) 光害対策による二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出抑制効果の試算

環境庁が平成8年度に屋外照明の光害対策による二酸化炭素排出抑制効果の試算を行った。照明器具からの上方光束（上空への漏れ光）が抑制されることを対策目標として想定した場合は夜間屋外照明に使用される電力量の約1%、国内の年間電力消費量の約0.2%が削減されると試算された。

これは、年間約20万tの二酸化炭素（炭素換算）の排出が抑制されることを意味する。ガイドラインで示された各種の対策は、より総合的であるため、対策の進展によっては、この試算値以上の効果が得られると言える。

### [参考文献]

- [1] 日本自動販売機工業会（略称：JVMA自販機工）
- [2] （社）全国清涼飲料工業会（略称：全清飲）
- [3] （社）日本照明器具工業会
- [4] 光害対策ガイドライン
- [5] 光害防止制度に係わるガイドライン
- [6] 地域照明環境計画策定マニュアル
- [7] 2003LCDパネル・部材データブック（電子ジャーナル）

## 8. あとがき

本報告書では、環境を保全するための省エネルギー・省資源に着目した光源システムの現状の問題点と今後のあるべき方向性について、法規制、環境保全への要望を念頭に光源や点灯回路等の技術面からまとめた。各章ごとに概要をまとめると以下のようになる。

- (1) 第3章では、日本のエネルギー事情と関連の法規制を示し照明用エネルギーの位置づけと省エネの目標について述べた。
- (2) 第4章では、省資源、環境保全に関する現状を明確化し、商品環境アセスメント、LCAの重要性と、照明器具の消費エネルギーにおいて、使用時が98～99%をしめるため、使用時の省エネルギーが重要であること、及びリニューアルにおける諸問題について示し、Reduce(省資源)、Recycle(再資源化)、Reuse(再利用)に加えてRefuse(不要・不適材の削減、グリーン設計)の4Rの重要性を述べた。
- (3) 第5章では、白熱電球について、従来の技術とキセノンや赤外線反射膜の活用、マイクロキャビティ光源、選択放射等の今後の効率向上の方向性、方策について明らかにした。電球型蛍光灯においては、高効率化の現状を示し、小型化や光束立上りなど、無電極蛍光ランプについてはその技術的課題など、これらの現状と今後の動向について述べた。

蛍光ランプについては、その変遷を示し、現状と今後の展望として、効率の観点や水銀フリーについて述べた。HIDランプについては、その変遷を示し、セラミックメタルハライドランプを中心とした今後の方向性について述べた。LED、有機ELについては、活発化しているチップ開発の現状を示し、高効率化や高出力化についての今後の方向性や用途開発について述べた。

また、電子安定器については、蛍光ランプの効率向上や回路技術の変遷、今後の技術開発の着目点について述べ、電子安定器の回路技術については、特に効率向上についてのロス分析、効率向上のための方向性について述べた。

さらに、電子安定器用の半導体素子については、パワー素子のスイッチング特性の改善の現状と今後の動向、制御素子の現状を明らかにした。

一方、照明器具については、その種類と施工等の現状と、新しい天井レイアウトによる施工、器具効率向上について述べ、照明システムについては、制御手法の種類と具体的な省エネルギー効果、今後のシステムの方向性と普及が重要であることを述べた。

- (4) 第6章では、半導体関連技術動向として、パワーMOSFET、高速ダイオード、ワイドバンドギャップ半導体の特性改善について明らかにし、電源技術等の回路技術について、高調波電流低減技術、共振コンバータ、待機電力削減等についての技術動向を明らかにした。
- (5) 第7章では、環境保全対応技術としてのリサイクルについて、現状と今後を明らかにし、インバータ化率向上と高効率化、調光器具の普及による環境保全効果

について試算を行い、省エネルギー・省資源のための提言を行い、又関連業界との関わりとして、産業用照明、自販機、建築、光害について、現状と今後の課題について述べた。

快適性と省エネルギー・省資源の両立を図るために、法規制、省資源・省エネルギー、環境保全への要望、及びこれらに対応するための科学技術がより高いレベルでバランスしていくことが重要であり、広く社会的な対応が必要であると考えます。人類が光を利用して上手に地球と共存するためには光源システムに関する更なる研究開発が望まれる。

この3年の間、各委員は多忙な本職の傍ら、積極的に本委員会の活動に参加し、熱心に報告書の取りまとめに努力をいただいた。また、委員会でご講演をいただき、貴重な資料を提供していただいた富士日立パワーセミコンダクタ(株)宝泉徹氏、東芝ライテック(株)安田丈夫氏、三菱電機照明(株)石井健一氏、竹中工務店 小林隆夫、杉鉄也両氏、及び東京電力(株)三角二郎氏に深く感謝致します。

本報告書が今後の光源システムに関連した仕事に従事されている方々の一助になれば、委員一同望外の喜びである。

## 研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。

