

J I E R - 0 1 5 (1 9 8 9)

研究調査報告書

電子点灯回路に適合する光源の動向とその課題

平成元年5月

社団法人 照 明 学 会

電子化適合光源技術研究調査委員会

目次

1. まえがき	1
2. 放電ランプの特性とその動向	4
2. 1 光源の分類	4
2. 2 ランプの対象範囲	5
2. 3 ランプの最近の動向	5
2. 4 放電ランプの特性	6
2. 4. 1 カタホレシス	6
2. 4. 2 音響的共鳴現象	7
2. 4. 3 発光色の周波数特性	9
2. 4. 4 調光	10
2. 4. 5 ランプの寿命	11
2. 4. 6 ノイズ	11
2. 4. 7 蛍光灯の電子点灯における始動特性	11
2. 4. 8 HIDランプの再始動特性	13
2. 5 参考文献	14
3. 電子点灯回路の特性と動向	15
3. 1 定義と分類	15
3. 2 電子化の効果	15
3. 3 電子点灯回路の特性	16
3. 3. 1 高周波点灯方式	16
3. 3. 1. 1 インバータの分類	17
3. 3. 1. 2 各インバータの特徴	17
3. 3. 1. 3 実用化されているインバータの新技术	18
3. 3. 2 低周波方形波点灯回路	20
3. 3. 3 直流点灯回路	21
3. 3. 4 パルス点灯	21
3. 3. 5 マイクロ波無電極放電	22
3. 4 今後の動向	23
3. 5 参考文献	24
4. 光源から点灯回路への要望事項	26
4. 1 蛍光ランプ	26
4. 1. 1 蛍光ランプの動向	26
4. 1. 2 電子安定器の特徴	27
4. 1. 3 蛍光ランプ点灯の問題点	28

4. 1. 4	電子安定器に対する要求	28
4. 2	H I D ランプ	29
4. 2. 1	H I D ランプの動向	29
4. 2. 2	電子安定器の特徴	30
4. 2. 3	H I D ランプ点灯の問題点	31
4. 2. 4	電子安定器に対する要求	32
4. 3	参考文献	33
5.	点灯回路から光源への要望事項	35
5. 1	点灯回路からみた蛍光ランプ	35
5. 1. 1	高周波点灯回路の場合	35
5. 1. 2	その他の点灯回路の場合	38
5. 1. 3	点灯回路から蛍光ランプへの要望事項	38
5. 2	点灯回路からみたH I D ランプ	39
5. 2. 1	H I D ランプの最近の動向	39
5. 2. 2	電子点灯回路の必要性	39
5. 2. 3	電子点灯によるH I D ランプの問題点	40
5. 2. 4	H I D ランプに対する要望事項	41
5. 3	参考文献	42
6.	電子点灯回路に適したランプの開発	43
6. 1	低圧放電ランプ	43
6. 1. 1	始動特性	44
6. 1. 2	点灯特性	45
6. 1. 3	電子点灯回路用ランプ	49
6. 2	H I D ランプ	51
6. 2. 1	高周波点灯による音響的共鳴現象	52
6. 2. 2	高周波点灯による再点弧電圧の低下	53
6. 2. 3	直流点灯時のカタホレシス現象	54
6. 2. 4	パルス点灯による色温度上昇	54
6. 2. 5	瞬時再点灯、瞬時安定	55
6. 3	点灯回路の電子化と放電ランプの将来方向	57
6. 4	参考文献	58
7.	あとがき	60
	関連文献	61

放電灯安定器の電子化は、日本では昭和30年代の初めに車両用として初めて開発・実用化されたが、一般民生用としては昭和48年の石油ショックを契機として研究開発が加速され、その結果、現在では多数の電子安定器が製造され、広く用いられている。その電子安定器の点灯回路（以下、電子点灯回路と呼ぶ）の開発の歴史を概略眺めてみると、磁気回路式安定器との協調の下に開発された放電ランプに対して、小形・軽量で高効率・高機能化などの性能を引き出すための方策が電子点灯回路サイドで検討されてきた。言い換えるならば放電ランプの多様化を避け、従来のランプ技術の延長線上でシンプルで経済的な点灯システムを追求してきたと言えよう。その詳細な経過は電気学会技術報告「最近の放電灯安定器とその動向」（昭和59年8月）、照明学会「電子点灯回路の実用化研究調査報告書」（昭和62年7月）に示されている。

しかしながら、点灯システムの電子化は、点灯周波数をインバータにより高周波にしてシステムの小形・軽量、高効率等のすぐれた特徴を与えるのみならず、同時に、放電ランプの周波数制御や波形制御など多様な点灯方式への展開を可能にするものと考えられる。また、最近急速に普及している白熱電球代替用小型放電ランプの点灯回路としても必須のものである。

そこで、このような電子点灯回路による点灯方式が放電ランプの点灯特性に如何なる影響を与えるかを調査・研究しておくことは、電子点灯回路と放電ランプの光源システム全体のより高度なバランスある技術展開と、実用化の促進のために是非とも必要であろう。また、放電ランプに電子点灯回路を近付けるのみでなく、逆に、放電ランプを電子点灯回路に近付けることにより、より小形・軽量で高効率・高機能の点灯システムが可能になることも考えられる。

以上のような観点から昭和62年5月に本委員会が設置され、平成元年5月までに11回の委員会、4回の幹事会を開き、また研究会を開催するなど、電子化適合光源技術についての調査研究を進め、審議を行ってきた。本報告書はその成果を取り纏めたもので、電子点灯回路と放電ランプの現状を把握し、両者が抱えている問題点を明らかにすると共に、電子点灯回路に適合する放電ランプについての検討結果を述べたものである。各章の内容は以下の通りである。

- 第2章 放電ランプの特性とその動向
- 第3章 電子点灯回路の特性とその動向
- 第4章 光源から点灯回路への要望事項
- 第5章 点灯回路から光源への要望事項
- 第6章 電子点灯回路に適したランプの開発

なお、委員会の構成と審議経過は以下の通りである。

「電子化適合光源技術研究調査報告書委員会」委員構成

委員長	中西宣一郎	岡山大学
幹事	小澤正孝	松下電器産業（株）
	平尾洋佐	東芝ライテック（株）
委員	板谷良平	京都大学
	伊藤一也	日電ホームエレクトロニクス（株）
	稲垣襄二	小糸工業（株）
	乾 健一	東芝ライテック（株）
	浦山 隆	立命館大学
	奥野郁弘	松下電子工業（株）
	数永健二	ウシオ電機（株）
	釘持芳生	アイ・ライティング・システム（株）
	斉藤 誠	岩崎電気（株）
	高須啓次	日本電池（株）
	高橋 誠	鳥取大学
	鳥居一郎（途中、小川壮一郎に交代）	（株）日立製作所
	前田孝義	松下電工（株）
	水野銛章	名古屋工業大学
	山崎広義	三菱電機（株）
	電子雅俊	明石工業高等専門学校
	渡辺良男	日立照明（株）

委員会経過報告

第1回委員会（昭和62年9月8日）

委員会設置の趣意説明、委員会の進め方の審議、研究調査項目の審議を行った。

第1回幹事会（昭和62年10月23日）

研究調査報告書の目次の審議、公開研究会の計画、委員会の進め方の審議を行った。

第2回委員会（昭和62年11月10日）

研究調査項目の審議、公開研究会のテーマと講演担当についての審議、報告書目次案の検討を行った。

第3回委員会（昭和63年1月19日）

公開研究会のテーマの審議、研究調査項目の審議を行った。

第2回幹事会（昭和63年3月4日）

公開研究会の詳細計画、調査項目の分担について審議を行った。

第4回委員会（昭和63年3月22日）

公開研究会の最終調整並びに確認、報告書の目次・内容と担当について審議、調査対象とする電子安定器とランプの定義と範囲の審議、ランプ形状、ガス圧と点灯特性につき審議を行った。

第5回委員会（昭和63年5月18日）

公開研究会のスケジュール等の確認、研究調査項目の審議を行った。

第3回幹事会（昭和63年7月8日）

本委員会、公開研究会のスケジュール、報告書の執筆要項、報告書内容について審議を行った。

第6回委員会（昭和63年7月15日）

報告書の執筆要項、印刷等につき審議した。また、光源の分類案、電子安定器の定義、調査内容について審議を行った。

第7回委員会（昭和63年10月5日）

研究報告書各章ごとのレジメの審議を行った。

第8回委員会（昭和63年11月24日）

報告書原稿案の審議を行った。

第9回委員会（平成元年2月1日）

報告書原稿案の審議を行った。

第10回委員会（平成元年3月30日）

放電ランプの将来課題と報告書原稿案について審議を行った。

第4回幹事会（平成元年4月26日）

幹事と各章の取りまとめ担当者が出席し報告書の体裁を申し合わせるとともに、執筆原稿全体について審議を行った。

第11回委員会（平成元年5月11日）

最終原稿のチェックと確認を行い、報告書を提出して委員会を終了した。

第 2 章 放電ランプの特性とその動向

2.1 光源の分類

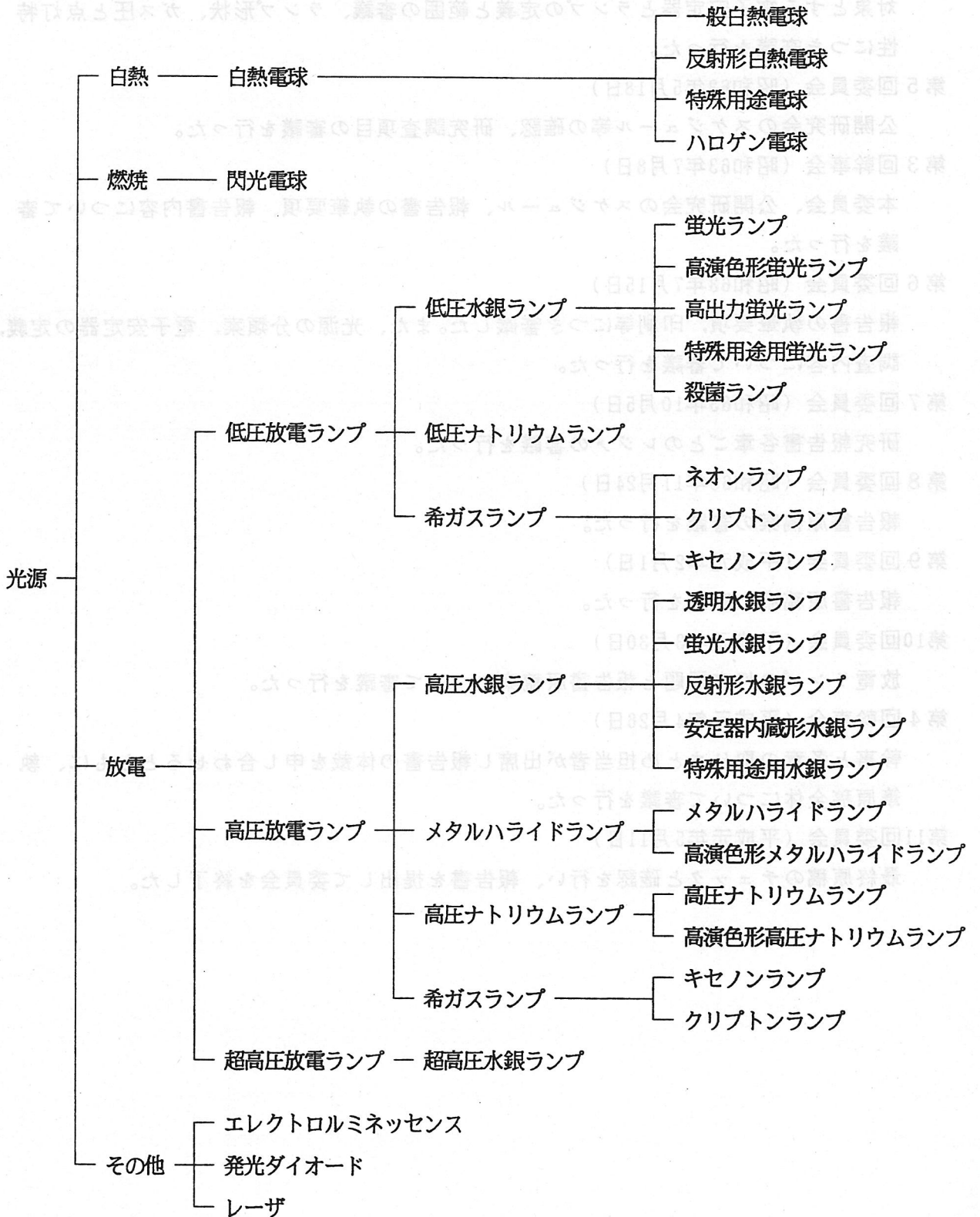


表 2.1 光源の分類

2. 2 ランプの対象範囲

表2.1の光源の分類表中の「放電ランプ」を対象とするが、特に蛍光ランプとHIDランプを主たる対象とする。ここでHIDランプというのは、High Intensity Discharge Lamp（高輝度放電ランプ）のことで、一般的には高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプの総称である。

2. 3 ランプの最近の動向

白熱電球では、赤外反射膜を塗布して赤外線的外部放射を減らし、少ない電力でフィラメントの温度を維持することで発光効率を向上させることが行われはじめている。

HIDランプにおいては、普及しはじめている高周波点灯における音響共鳴への対策として幾何学的構造に工夫を試みたものが報告されている。そのほか、小電力かつ小形の方に向かう傾向が窺われる。例えば、高演色小形メタルハライドランプで、既に70Wのものが市場に現れている。ただし35Wのものは、発表はされたものの実用化が若干遅れているようである。

蛍光ランプで代表される“拡がりのある光源”に対して、小形メタルハライドランプのような“点光源”で狭い範囲を遮光することによりグレアを回避して、高演色で経済性のよい光源を導入しようとする試みは注目されるべきであろう。

蛍光ランプにおいては、今までの普及度の異なる欧州、米国および我が国でそれぞれ異なった傾向が見られる。

蛍光ランプの“普及度の低い”あるいは“拒絶反応の最も強い”欧州において、いちはやく高周波点灯用の1.2メートル級の蛍光ランプが提供され、米国においても28W～40Wの高周波点灯用のランプが発売されている。

これに対して、磁気回路式点灯装置の広く普及している我が国においては、高周波専用ランプの提供は全然行われず高周波点灯技術自体はかなり普及しはじめているにも拘らず、例えば1.2メートル級のランプの高周波点灯においては、これまでかなり多種類提供されてきたFLRあるいはFLの36W～40W型が使用されている現状である。

一方米国においては建物のエレベーターが充分大きいこともあって施設照明は依然インスタントスタート型の2.4メートル級が主力であるようである。

欧州において初めて提供されたランプとして、いわゆるコンパクトランプがある。これは一度折り返した小型のもの（5, 7, 9, 11および13W）と大型のもの（18, 24および36W）そして二度折曲げたもの（9～10, 13, 18および26W）があり、一度折り返しの大型のもの以外はグロースタータを内蔵した予熱形の管球であり、明かに磁気回路方式の点灯で個人生活に進出することを狙っている。

発光色は暖かい電球色で、シングルエンド型であることも欧州における根強い白熱電球指向と経済性の妥協を図った意図は理解できることであろう。

米国においても欧州メーカーよりのOEMで提供されているが、我が国では事情が異なっている。一応欧州メーカーより全品種販売されてはいるものの、国内メーカーにより欧州と同じ規格の品種が提供されることはなく、国産のものの規格は概ね大電力の方向に偏っている。

例えば国産のものでは、一度折り返しの小型のもの（5～13W）に相当するものとしては4～13Wで、二度折り返しのものは9Wから出されているが小電力のものは数量的は少ないようである。また、国産の折り返しランプは、脚部の構造が異なることやグロースタータを内蔵していないことなどのため、欧州製品とは互換性を持たない。

大型のものは、欧州製品が36Wまでであるのに対し我が国においては96Wまで出されており、我が国のメーカーが施設用に進出意図を持っていることを示している。我が国のものは同じ電力の欧州製のものに比べて管径が明かに大きいことが特色である。

また、水銀源としてアマルガムが使用されはじめたことも注目されることである。一方、逆に水銀の蒸気圧（周囲温度）の光束への影響を排除するために、水銀を用いない希ガス蛍光ランプが提供された。これは、直径6mm、長さ300mm程の放電管に100[Torr]程度のXeを封入し、蛍光体を励起するものである。効率の関係で一般照明用ではないが、複写機やファクシミリなどの業務用として製造されている。

蛍光ランプの最近の流れとして、管径がどんどん細くなって行く傾向がある。例えば直管形では、38mmφから32mmφ、そして最近は28mmφが主力となっている。これは、効率が良いということも幾分はあるようだが、むしろ（1）ガラスや蛍光体等の材料費が少なくて済む（2）点灯器具も小さくなる（3）運送費が安くなる等の経済的要因が大きいと思われる。その他（4）スリムでデザイン的に好ましいといったメリットもある。

いずれにせよ、管壁負荷は大きくなるので、これに耐え得る蛍光体の改良があつて可能となった。

その他の放電ランプとしては液晶バックライト用のものなどメーカーがいろいろ工夫をしているものようであるが、他章に譲りたい。

変わり種として、消毒用の紫外線源の負グロー放電管がある。1.5センチメートル径、6センチメートル長でねじ込み口金（エジソンベース）を使用している¹⁾。

2. 4 放電ランプの特性

放電ランプの電子点灯に関連した一般的な特性のうち、電圧-電流特性、周波数特性、始動特性の一部等については、前委員会報告書²⁾に詳しく報告されており、その後特に新しい報告がないものについてはここでは省略し、以下の項目について現状を報告する。

2. 4. 1 カタホレシス

放電ランプの多くは希ガスと金属蒸気が封入されており、そのため直流点灯時に陰極側

に金属蒸気が多く集まり発光色や輝度のむらが生じる現象、いわゆるカタホレス現象が発生し、ランプ特性上問題となる場合がある。

この防止には、陰極側への金属蒸気密度の偏りをなくす必要がある。その方法として、金属蒸気の陽極側への拡散を強めるために、管径を太く、管長を短くするなどのランプ形状の工夫や、金属蒸気に陽極側への重力がかかるような垂直点灯³⁾、金属蒸気源の陽極側設置^{4) 5)} などがある。

2. 4. 2 音響的共鳴現象

H I Dランプを電子点灯する場合に最も大きな障害となっているのがこの音響的共鳴現象である。これを防止（回避）するために種々の工夫がなされているが、その殆どが点灯周波数、波形等点灯回路によって対応したもので、ランプによる防止法には次のものがある⁶⁾。
















音響的共鳴現象は、周期的な電気エネルギー入力によって発光管内に圧力変動が生じ、この変動が発光管内の固有振動数に近くなると発光管内に定在波が立つことによって発生する現象である。

そこで、発光管の形状や温度分布の音圧分布への影響を先に数値解析し、

- (1) 発光管の管径の太い部分の音圧が高くなる。
- (2) 発光管の低温部分の音圧が高くなる。
- (3) 管端部の形状の僅かな変化に対しても音圧分布は大きく変化する。

などの結果を得、これに基づき各種形状の発光管に対する音響的共鳴現象発生の有無を調べた結果は表 2. 2 のようになる。

表 2. 2 試作した高圧水銀ランプの概略形状と周波数変調形
正弦波高周波点灯時の音響的共鳴現象の発生の有無

発光管形状	音響的共鳴現象	発光管形状	音響的共鳴現象	発光管形状	音響的共鳴現象
	○		×		×
	×		○		×
	○		○		×
	○		○		×
	×		○		×

しかし、発光管の形状は音響的共鳴現象の抑制に効果はあるものの、これだけで完全に防止するのは困難であり、周波数変調との併用によりほぼ完全に防止することが可能となる。

これら発光管形状と周波数変調方式の組合せによる効果については図2.1のようになる。図において横軸は中心周波数、縦軸は周波数変調幅であり、×印は音響的共鳴現象が発生し、放電が不安定となったことを示している。これらの実験の結果、

- (1) 周波数を変調するだけでは音響的共鳴現象は防止できない。
- (2) 発光管端部の形状については、図2.2の(c),(b),(a)の順に現象が起こりにくい。などが明かとなっている。

また、(a)水銀の蒸気密度 および (b)電界強度 が小さいほど不安定領域が減少するが、ランプ定格電力が大きくなるほど (a),(b)共に小さくなり、従って音響的共鳴現象は防止

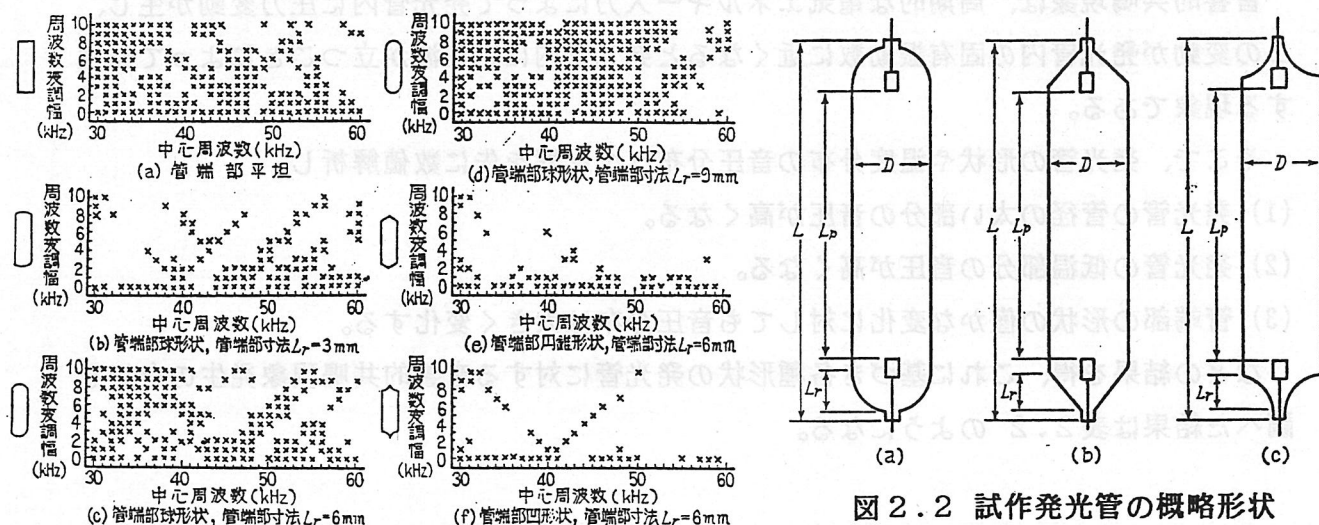


図2.1 高圧水銀ランプでの実験結果

(回避)しやすいことになる。

この発光管形状と周波数変調を併用する方法は高圧水銀ランプのみならず、メタルハライドランプに対しても有効で、発光管下端部の一部に凹形状を設けるだけで現象を殆ど回避できる。

放電管サイドから音響的共鳴現象を回避しようとする場合、このように発光管形状や蒸気圧等と共鳴現象との関係を解析して点灯回路との関連を考えていくのは優れた方法で、今後進むべき方向の参考となる。

しかし、この方法では、電子点灯化への要求がより強いと考えられる低ワットランプほど音響的共鳴現象が回避し難いというのは残念なことで、更に別のアプローチも必要である。

2. 4. 3 発光色の周波数特性

蛍光灯を高周波点灯した場合、商用周波数による安定器点灯の場合と発光色が多少異なる場合がある。この最も大きな理由としては、まず次の(1)が考えられる。

(1) 蛍光ランプの発光スペクトルは、蛍光体の発光スペクトルに水銀の可視部の発光スペクトルが加わったものであり、点灯条件による発光色の変化はこれら両者のスペクトルの比が変化する場合に生じる。

点灯条件の周波数、波形、duty 等が変化すると陽光柱電子のエネルギーは変化し、それによって励起レベルの異なる可視スペクトルと 253.7nmHgI の強度比が変化し、発光色が変わる。特に 436nm の強度変化は共鳴線 (185nm, 254nm) の強度変化と異なるので、ランプ発光色変化への影響が大きい⁷⁾。点灯周波数に対するランプ発光色の变化は、60Hz から 25kHz に上昇すると、図 2.3 に示すように x, y 値で 1% 程度増加する^{7) 8)}。しかし、XYZ 表色系では殆ど変化しないと報告されている⁹⁾。

その他次の(2)のような理由も考えられる。

(2) 点灯方法により損失、延いては管壁温度が異なるとすれば、蛍光体の温度特性のために混合蛍光体の発光強度比が変化し、発光色が変動する。また、

(3) 一般的には、1つの蛍光体において、照射紫外線の変動周波数によって、分光エネルギー分布が変わることはないと考えられている。

高圧放電ランプの場合には、各金属の蒸気圧 (分圧) の影響が大きい。蒸気圧は最冷部温度によって決まるので、ランプ入力の変化によって最冷部温度が変わると発光色は変動する。高気圧では発光機構が概ね熱励起と考えられるから、点灯周波数が変わっても温度が変わらなければ発光色は変化しないと考えられる。

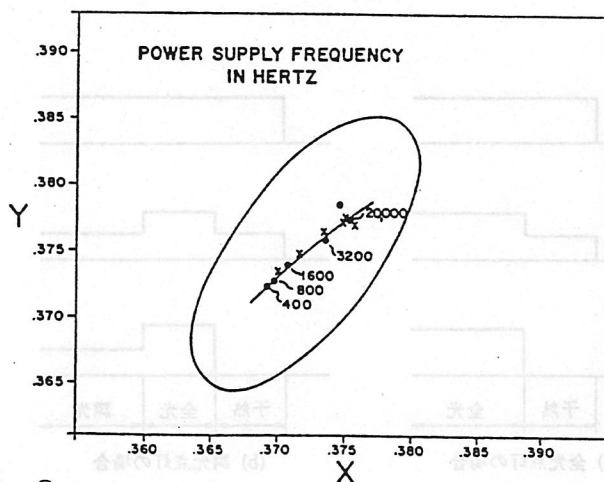


図 2.3 Chromaticity diagram illustrating effect of power supply frequency over 400 to 20,000 Hz range. Four step ellipse shown.

2. 4. 4 調光

蛍光ランプを電子点灯回路で点灯する場合の一つの利点として、高機能化特に明るさを自由に調整する所謂調光機能を容易に実現できることにある。

これまでの明るさ調整は、例えば2灯用照明器具の場合に代表されるようにどちらか一本を消す間引き点灯であったが、電子点灯では2灯共に段調光もしくは連続調光することが比較的簡単にできるようになった。

図2.4は蛍光ランプ32Wと40Wを2灯点灯できる自励準E級1石式インバータの回路構成を示したものであるが、制御回路により、トランジスタQ1のオン時間を短くすることで調光を行うことができる。

更に、図2.5のタイムチャートに示すようにランプ始動時の電極の劣化を抑えるために、電源投入後1秒間はインバータの出力電圧を低く抑え、ランプの電極を予熱してその後始動電圧を印加する方式とする機能を全光時及び調光時に付加されている¹⁰⁾。

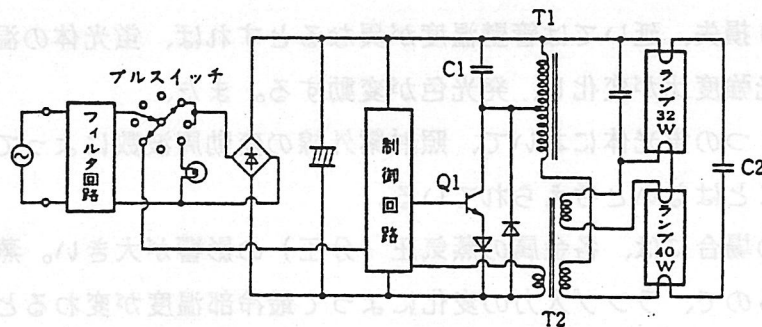


図2.4 自励準E級1石式インバータの回路構成 今回開発した住宅照明器具の点灯回路、自励準E級1石式インバータによりランプを高周波で点灯する。
Circuit diagram of self-oscillating inverter using subclass-E switching mode

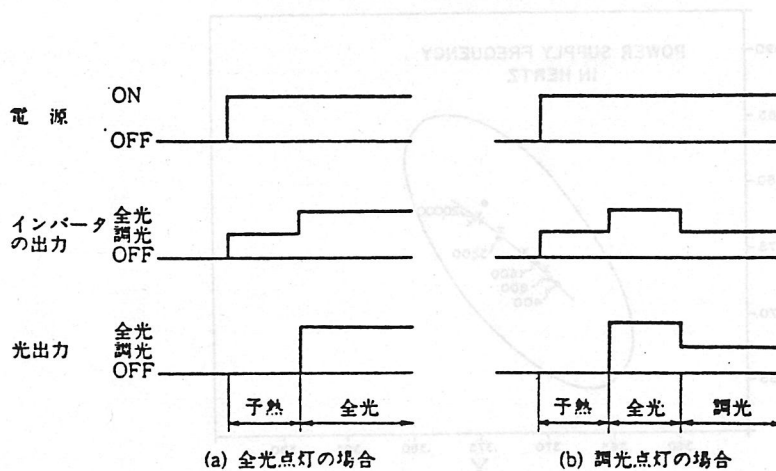


図2.5 ランプ始動時のインバータ動作のタイムチャート 調光状態からの始動時にも一度全光で点灯することにより、ランプの始動を確実なものにする。
Time chart of inverter operation at lamp starting

2. 4. 5 ランプの寿命

電子点灯を行った場合のランプ寿命への影響について論ぜられた報告は、これまであまりなされていない。

しかし、電子点灯回路の場合、ソフトスタートにするので、冷陰極始動が避けられて黒化が少ない。また、低周波点灯の場合より毎サイクル点弧電圧が低い。などの理由により、一般的には寿命は長くなると考えられている。

ソフトスタート方式を利用して、これまでのC & C方式の弱点である点滅頻度の厳しい条件で使われた場合の改善報告として、TTLレベルの制御信号により蛍光ランプの点滅を制御し、コンピュータに記憶されたパターンや音楽のリズム、レベルに合わせて蛍光ランプ群を点滅させる装置（オノファ）の報告¹¹⁾ や更には、蛍光ランプを高周波高出力点灯してもダブルスポットを電極に形成させることにより、ランプ寿命を損なわずに実現できる という報告¹²⁾ などがある。

2. 4. 6 ノイズ

高周波点灯におけるノイズの原因は、基本波の周波数が高いことに主な原因があり、対策も回路側が殆どであるが、ランプによっては放電管側に起因する場合もある。これは以前にラジオへノイズを与えていたいわゆる蛍光灯雑音とは異質なものと考えられる。

例えば、携帯用液晶カラーテレビのバックライトのように管径の細いランプでは、再点弧電圧と放電維持電圧の差が大きく、電圧および電流波形に急峻なスパイクが現れ、ノイズを発生する。電子点灯では基本周波数が高いので、100MHzといった高周波まで結構高レベルとなっている。これを防止する方法としては、陰極の電子放出能力を向上させることが有効である。電極の熱容量を小さくして陰極輝点の温度を上昇させる、エミッタ組成を改良する等により電子放出を容易にした結果、受信に影響がなくなる程度までノイズを低減できたという報告がある¹³⁾。

2. 4. 7 蛍光灯の電子点灯における始動特性

始動はランプが放電破壊を経て点灯状態（グロー放電もしくはアーク放電）に至る現象である。放電破壊に必要な電圧すなわち放電開始電圧は、ランプに印加する電圧の最大値や周波数の影響を受けるが、グロー放電からアーク放電に転移するのに必要な電圧はほぼ実効値で決定される。

また、放電開始電圧は電極近傍の電界強度に影響を与える管壁電位分布（抵抗分布）にも影響を受ける。一方、印加電圧の周波数が高くなると、管壁の分布容量が無視できなくなり、管壁電位分布が変化するために放電開始電圧も変化する。

始動補助体を備えたラピッドスタート型蛍光ランプでは、図2.6 に示すように放電開始電圧（始動補助体に対する高圧側電極の電位）は周波数が高くなると低下する傾向を示

す¹⁴⁾。グローからアークへの転移電圧（電極間の電圧）は始動補助の方式でその効果が異なる。近接導体方式では、図2.7に示すように周波数が高くなると低下するが、内面導電性被膜方式ではむしろ上昇する¹⁵⁾。

電源周波数が非常に高くなると（～100kHz以上）、イオンや電子の放電空間への捕捉現象が顕著になり放電開始電圧はさらに低下する¹⁶⁾。

また、クリプトンを封入した省電力タイプの蛍光灯の場合に始動電圧が上昇する現象があるが、これは特に電子点灯に限らず一般的な特性と考えられるので省略する。

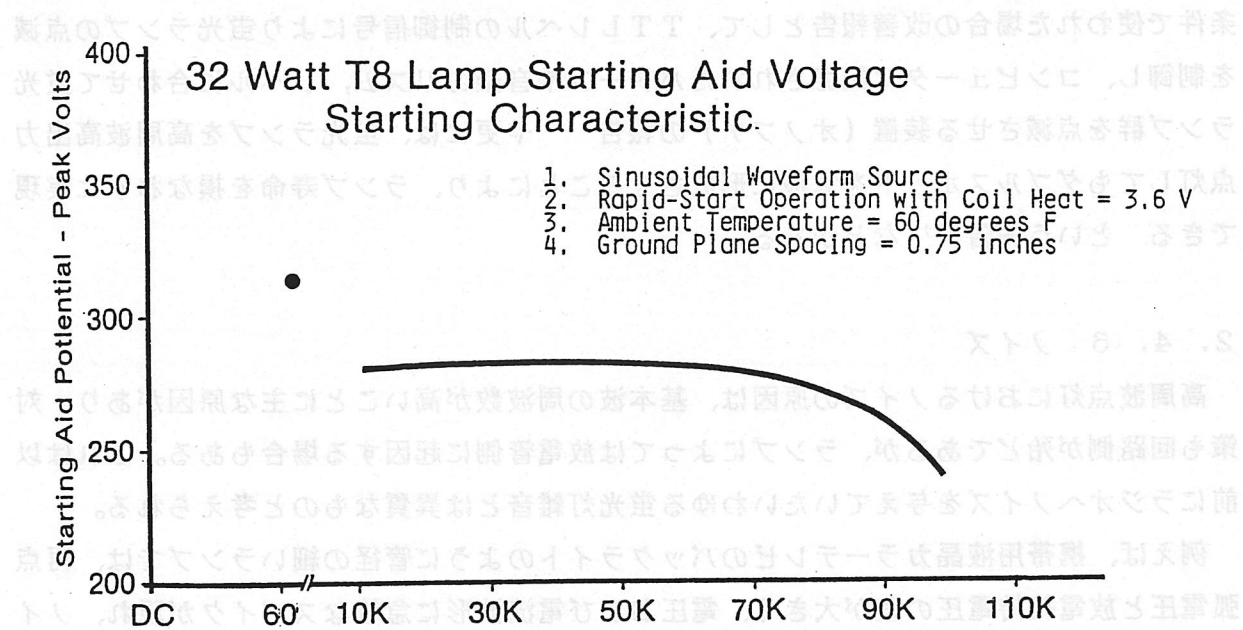


図 2.6 Frequency - Hertz

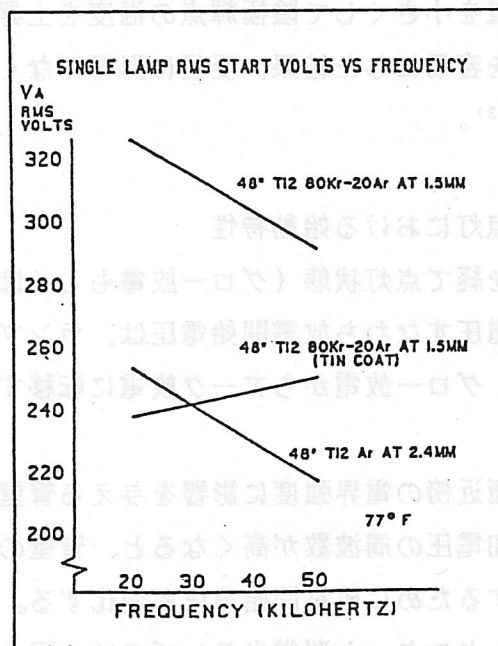


図 2.7

2. 4. 8 HIDランプの再始動特性

HIDランプにおいては、音響的共鳴現象等問題が多く、高い必要性にも拘らず、電子点灯は一般的となっていないが、いずれにしても再始動特性は大きな問題である。

ランプ消灯後の放電開始電圧は、高圧水銀ランプでは消灯直後から数十秒～1分後まで上昇し、その後下降していく²⁾。他のHIDランプでも基本的には同様の傾向にある。

消灯後、開始電圧は消イオンのため数十msの間に急上昇する。その後の緩やかな上昇は電極温度の低下によるもので、やがて放電管全体の温度低下による蒸気圧低下の影響とクロスオーバーして下降に向かう。(図2.8)¹⁷⁾しかし、この機構は複雑で、ランプの種類によって異なる。

高圧パルス等により、放電が開始したとしても、電源による主放電に移行するためにはある程度電流を流して放電電圧を電源電圧以下に下げなければならない。電流による放電電圧の低下が消灯後の時間と共に変化していく様子を示したのが図2.9である。

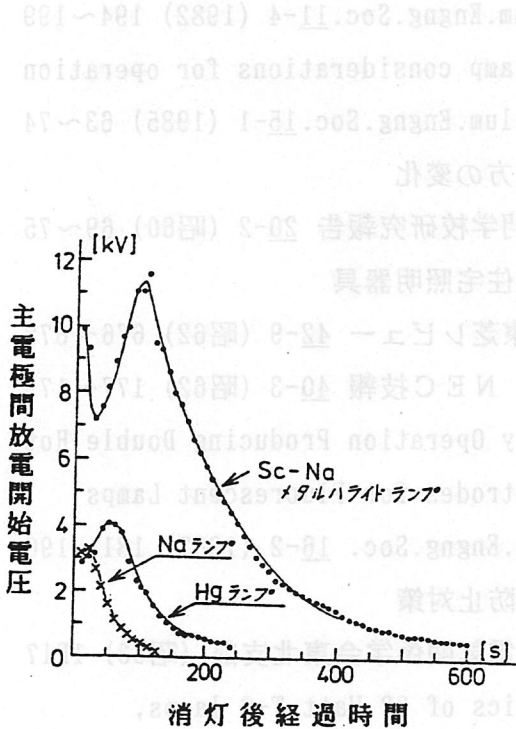


図2.8 ホットランプの放電開始特性

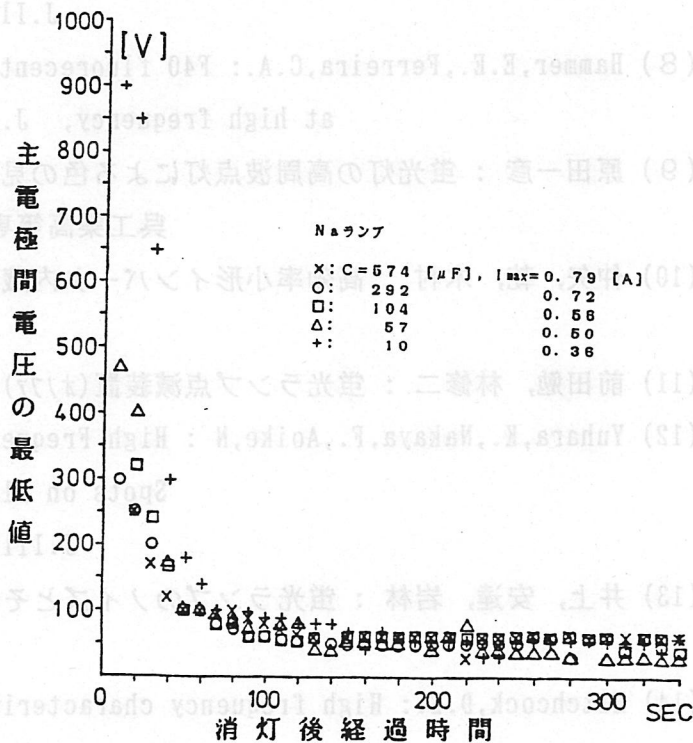


図2.9 ホットランプの主電極間放電特性 (Naランプ)

2. 5 参考文献

- (1) 松野博光, 村山精一 : 蛍光灯における負グローの発光効率 照学全大 (昭63) 7
- (2) 電子点灯回路の実用化研究調査報告書
照明学会電子点灯回路の実用化研究調査委員会 (昭62)
- (3) 水野, 矢橋, 石川 : 降圧チョッパによる蛍光ランプ用定電力型安定器
照学誌 68-6 (昭59) 239~242
- (4) 井上, 伊藤, 今村 : 蛍光ランプのアマルガムによるカタホリシスの防止
照学全大 (昭60) 6
- (5) 山崎治夫, 坏秀三 : 電球形蛍光ランプの直流点灯 照学全大 (昭61) 16
- (6) 岡田, 森井, 和田 : 音響的共鳴現象を防止したH I Dランプの研究
照学誌 71-6 (昭62) 339~343
- (7) Young, G.R.: Factors influencing fluorescent lamp color,
J.Illum.Engng.Soc. 11-4 (1982) 194~199
- (8) Hammer, E.E., Ferreira, C.A.: F40 fluorecent lamp considerations for operation
at high frequency, J.Illum.Engng.Soc. 15-1 (1985) 63~74
- (9) 原田一彦 : 蛍光灯の高周波点灯による色の見え方の変化
呉工業高等専門学校研究報告 20-2 (昭60) 69~75
- (10) 仲矢, 乾, 木村 : 高効率小形インバータ内蔵の住宅照明器具
東芝レビュー 42-9 (昭62) 676~678
- (11) 前田勉, 林修二 : 蛍光ランプ点滅装置(オノフ) NEC技報 40-3 (昭62) 177~179
- (12) Yuhara, K., Nakaya, F., Aoike, N : High Frequency Operation Producing Double Hot
Spots on Electrodes for Fluorescent Lamps
J.Illum.Engng.Soc. 16-2 (1987) 181~190
- (13) 井上, 安達, 岩林 : 蛍光ランプのノイズとその防止対策
電気関係学会東北支部 (昭63) 1E17
- (14) Hitchcock, D.E.: High frequency characteristics of 32 Watt T-8 lamps,
J.Illum.Engng.Soc. 13-1 (1983) 26~35
- (15) Hammer, E.E.: Fluorecent lamp starting voltage relationships at 60 Hz
and high frequency, J.Illum.Engng.Soc. 13-1 (1983) 36~46
- (16) 本田侃士 : 気体放電現象 東京電機大学出版局 (昭39) 106~107
- (17) 藤野, 竜子, 渡部, 板谷 : H I Dランプの消灯・再点灯特性
照学 光の発生・関連システム研究会 LS-88-7 (昭63)
- (18) Hammer, E.E. : High frequency characteristics of fluorescent lamps to 500kHz
J.Illum.Engng.Soc. 16-1 (1987) 52~61

3.1 定義と分類

ここでは電子点灯回路を《放電ランプの始動と点灯維持の機能を半導体素子などを含む電子回路で構成させた点灯回路》と定義する。なお、JISでは電子（回路式）安定器を《放電ランプを始動、点灯するための安定素子を含む半導体素子を用いた交流-交流（一般には商用周波-高周波）変換器から成る安定器》と定義しているが、JISにおける安定器は実用化された製品を対象とするのに対し、電子点灯回路は研究開発中のものを含み安定器より広範囲であると考えられる。

電子点灯回路は、ランプ点灯周波数または波形から次のように分類できる。なお、現在製品化されているものは高周波点灯が多い。

(1) 直流点灯

スイッチングレギュレータなどによりランプ電流（直流）を制御するものである。商用周波数点灯より発光効率が高く、高周波ノイズを発生しない、HIDランプでは音響共鳴現象を生じないという特長がある。しかしカタホレスにより長時間点灯すると光束減少を生じ、HIDランプでは発光色が変わることが実用化への障害となっている。

(2) 低周波方形波点灯

低周波の方形波電流をランプに流すもので、ランプ電流はスイッチングトランジスタのON-OFF時間比により制御される。

商用周波数点灯より発光効率が高い。また、ランプ電流中の高周波成分が少ないので高周波ノイズが小さい。

HIDランプでは音響共鳴現象を避けられる。

(3) 高周波点灯

インバータにより可聴周波数以上の交流で点灯するものである。蛍光ランプでは発光効率が大幅に向上する。HIDランプでは音響共鳴現象が実用化を妨げている。高周波ノイズの発生は大きい。

回路方式としては発振方式により自励式と他励式に、大電力用スイッチング素子の数により1石式、2石式、4石式などに分類される。

(4) パルス点灯

急峻な立ち上がりまたは立ち下がりを持つ波形などにより点灯するものである。発光効率は低くなるが、波形により色を変化させることが出来る。

(5) マイクロ波無電極放電

マイクロ波帯の周波数で高圧ランプを無電極放電させるものが、実用化されている。無電極のため点滅回数が多くても長寿命である。

3.2 電子化の効果

(1) 重量と形状

電子部品から構成されるため軽量になる。形状の自由度が高く、例えば

卓上スタンドの支柱の中に組み込むこともできる。また小形化も可能である。

(2) 高効率、省電力

低圧放電ランプでは 直流または方形波で点灯すると放電休止期間が無い
ため商用交流点灯より高効率となる。高周波点灯すると電極降下の減少と
陽光柱の効率向上により更に高効率となる。高圧放電ランプでは高周波点
灯による効率向上は低圧放電ランプに比べて小さい。

(3) 高機能

電子回路の使用により瞬時点灯が可能であり、ランプ電力の制御や調光も
容易である。また、ランプが始動しない時や半波点灯する時には、これを
検知して安定器を保護するランプ寿命末期保護回路がある。

なお、商用交流を全波整流すると光束のちらつきを感じない。

(4) ランプ寿命

蛍光ランプの始動時に、初めはフィラメント予熱のみを行い熱電子放出が
始まってから二次電圧を印加すると、管端の黒化を防止でき寿命も長くで
きる。

(5) 高力率

商用交流を整流平滑すると、平滑コンデンサーにパルス状の電流が流れる
ので力率が低下する。電子回路によりコンデンサの充電電流波形を改善す
ると力率を高くできる。

(6) 50, 60 Hz 共用

商用交流を整流するので、商用周波数の違いには関係しない。

(7) 100, 200 V 共用

ランプ電流を一定に保つように出力を制御する回路を付加すると、電源
電圧の大幅の変化に対応でき、100, 200V 共用が可能である。

(8) 安全性向上

異常温度と過大電流を検出する回路を付加することにより火災などの事
故を防止できる。

3. 3 電子点灯回路の特性

ここでは 前述の点灯方式の中で最も実用化の進んでいる高周波点灯から
順次 各々の方式の回路と特性について述べる。

3. 3. 1 高周波点灯方式

蛍光ランプを高周波点灯すると、ランプ発光効率が向上することは1940年
代から知られていた。高周波点灯の基本原理は、インバータと呼ばれる高周
波変換回路で直流または商用電源を 20~50 kHz の高周波に変換し、これを
電源としてランプを点灯するものである。しかし当時は、高性能の半導体素
子がなく実用に供するものはなかった。

最初に実用化されたのは、車両用の点灯装置で直流12Vを電源とするも

のであり、一般照明用としては昭和53年に初めて国内で実用化され、その後種々の改良がなされている¹⁾。蛍光ランプを高周波点灯すると、既述のとうりランプ効率が向上するだけではなく、インバータ回路の効率を向上させることにより損失が減り、この結果省電力が図られる。

3. 3. 1. 1 インバータの分類

インバータ回路は、主としてトランジスタなどのスイッチング素子とインダクタLやコンデンサCなどで構成し、スイッチング素子を20~50kHzでスイッチングさせ、必要に応じてLC共振回路を介して所望の出力を得る。そこで、(1)スイッチング素子の数による分類、(2)共振の利用による分類、(3)発振方式による分類が考えられる。

表3. 1 インバータの分類

スイッチング素子の数による分類	共振の利用による分類	発振方式による分類
(1) 1石式 (2) 2石式 (3) 4石式	(ア) 電圧共振 (イ) 電流共振 (ウ) 非共振	(A) 自励発振 (B) 他励発振

理論的には、全ての組合せが可能であるが、実際にはコストや効率などを考慮して選ばれており、実用化されているものは次のようである。

3. 3. 1. 2 各インバータの特徴

(1)-(ア)-(A) 1石電圧共振自励インバータ²⁾³⁾

図3. 1に基本回路を示す。以前は、24V以下の電池で動作する車両用として用いられていたが、最近では半導体素子の進歩と共に駆動回路の工夫によって高効率化が図られ一般照明用に用いられるようになってきた。回路構成が簡単であるという特徴があるが、スイッチング素子にかかる電圧が電源電圧の3~4倍になるため、スイッチング素子に高耐圧のものを選定する必要がある。

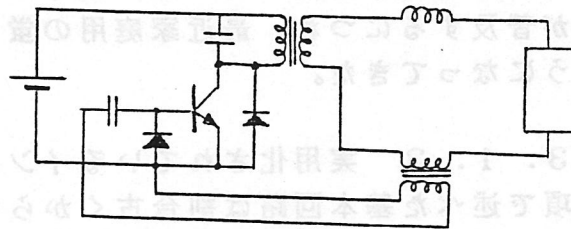


図3. 1 1石電圧共振自励形

(1)-(7)-(B) 1石電圧共振他励インバータ⁴⁾
 自励インバータと主回路構成は同じであるが、スイッチング素子の駆動を別の発振回路によっている。

(2)-(7)-(A) 2石電圧共振自励インバータ⁵⁾

図3.2に基本回路を示す。
 定電流プッシュプルインバータと呼ばれ、多くの機種に用いられてきた。比較的電流容量の小さいスイッチング素子を使うことができ、効率も高いが、巻線部品が多いという欠点がある。

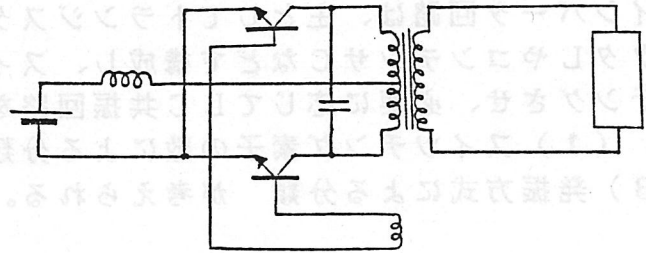


図3.2 2石電圧共振自励形

(2)-(1)-(A) 2石電流共振自励インバータ⁶⁾

図3.3に基本回路を示す。この方式は、スイッチング素子が直列になっていることから、シリーズインバータとも呼ばれている。スイッチング素子に印加される電圧は電源電圧と同程度であるが、ピーク電流は大きい。

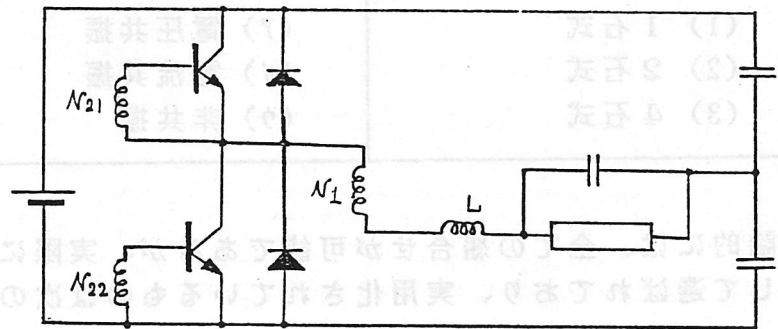


図3.3 2石電流共振自励形

(2)-(1)-(B) 2石電流共振他励インバータ⁷⁾

基本回路は自励方式と同じである。駆動用にスイッチング電源などに使われている制御用ICを用いて周波数制御を行なうことにより、調光やソフトスタートの機能を持たせている。スイッチング素子としてのパワーMOSFETが普及するにつれ、最近家庭用の蛍光灯器具を中心によく用いられるようになってきた。

3.3.1.3 実用化されているインバータの新技術

前項で述べた基本回路は割合古くから考えられていたものであるが、蛍光灯ランプやHIDランプ用の電子安定器として最近新しい工夫がなされている。

図4に示すものは、定電流プッシュプルインバータの入力チョークを利用した高力率部分平滑回路である⁸⁾。オフィスや工場で用いられる安定器は多

灯用いられるため省電力は勿論配線容量が小さい高効率の要求がある。

図3.5に示すものは、HIDランプ用に開発されたものである。2組の共振回路 L_1C_1 と L_2C_2 は基本波と第3高調波に当たる周波数に共振点を持ち、点灯中のランプ電流波形が第3高調波を含んだ疑似方形波となり、HIDランプの高周波点灯における問題点である音響的共鳴現象を回避することが出来た⁹⁾。

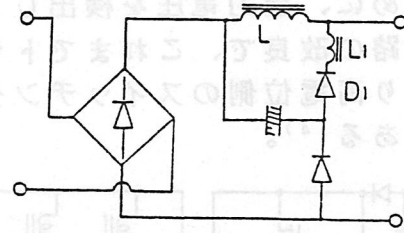


図3.4 高効率平滑回路

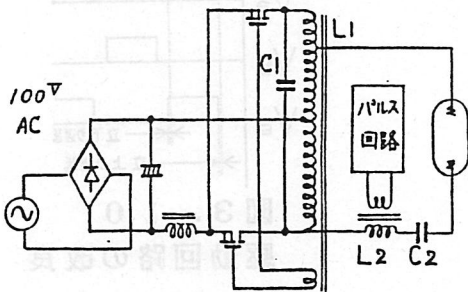


図3.5 疑似方形波点灯回路

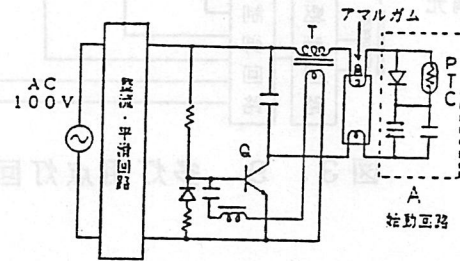


図3.6 電球形蛍光ランプ用

図3.6に示すものは、電球形蛍光ランプ用の直流重畳形インバータである¹⁰⁾。電圧共振回路の中に蛍光ランプを接続し小形、軽量化を図ると共に、アマルガムランプとの組合せで直流重畳形の問題点であるカタホレシスを解決している。

図3.7は1石電圧共振形インバータの調光回路¹¹⁾、図3.8は2石電流共振インバータの調光回路¹²⁾である。これまでのインバータの調光方式は、電源の位相制御かバラスト要素の切り替えによるものであったが、これらでは、スイッチング素子の導通時間の制御により出力制御を行なっている。

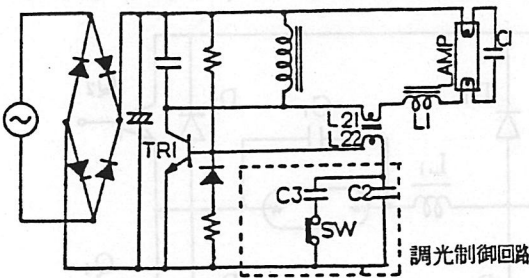


図3.7 調光回路(1石形)

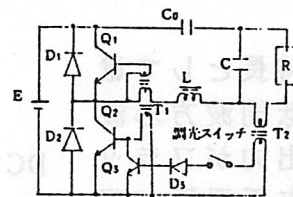


図3.8 調光回路(2石形)

最近 回路的によく工夫されているのが2石電流共振インバータである。図3.9では多灯用の展開が図られている¹³⁾。負荷回路のバラツキを吸収す

るために、出力電圧を検出しフィードバックをかけている。図3.10は駆動回路の改良で、これまでトランスによっていたものをカレントミラー回路により高電位側のスイッチング素子を制御回路から直接駆動しようとするものである¹⁴⁾。

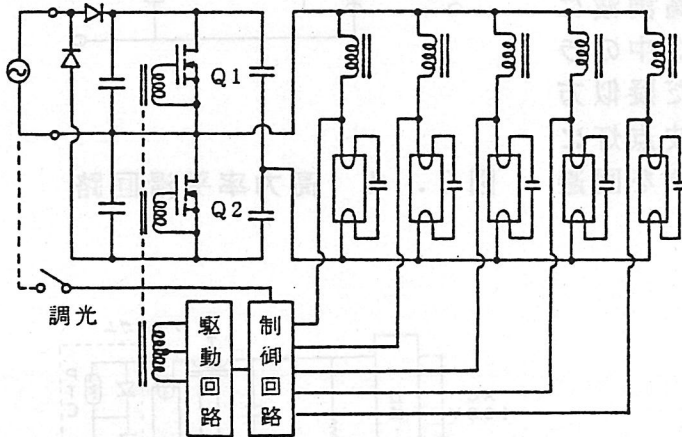


図3.9 多灯用点灯回路

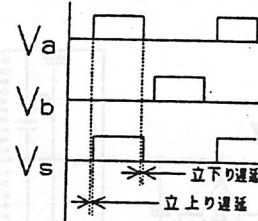
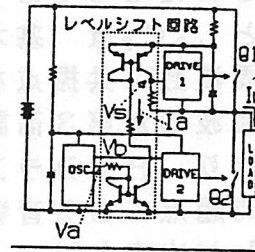


図3.10 駆動回路の改良

3.3.2 低周波方形波点灯回路

ランプに低周波の方形波電流を流すもので、低周波スイッチング素子によりランプ電流の極性反転を行い、高周波スイッチング素子によりランプ電流の振幅を制限する。

図3.11の基本回路では Q3とQ4が低周波で交互に ON-OFFする間に Q1とQ2は次のように動作する。

Q3 OFF, Q4 ON の時には、Q2 OFF, Q1 高周波スイッチング
 Q4 OFF, Q3 ON の時には、Q1 OFF, Q2 高周波スイッチング
 低周波スイッチング周波数120 Hz、高周波スイッチング周波数42kHz にてメタルハライドランプ70Wを安定に点灯できる¹⁵⁾。

この回路では 方形波に高周波のリップルが重畳するが C₁によりランプ電流中の高周波成分を小さくできる。

この方式の特長としてはランプ電流が低周波方形波であるため光出力がフラットである、再点弧電圧が現われないので立消えに対して強い、高圧ランプでは音響共鳴現象を生じない 等があげられる。

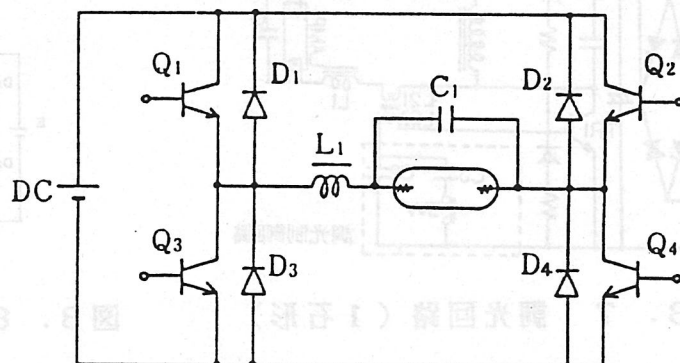


図3.11 低周波方形波点灯回路

3. 3. 3 直流点灯回路

スイッチングレギュレータは直流入力をスイッチングして直流電力の変換を行なうもので低損失のため小形軽量化が可能である。基本回路は入力電圧と出力電圧との比から、降圧形、昇圧形及び昇降圧形コンバータに分類される¹⁶⁾。

降圧コンバータを使用する回路の例を図3. 12に示す¹⁷⁾。ここで Q は高周波でスイッチング動作をするパワートランジスタであり、入力直流電圧を V_S 、ランプ電圧を V_L 、デューティ比 (ON-OFFの時間比) を D とすると $V_L/V_S = D$ である。

放電ランプの負性抵抗特性のため、デューティ比固定では暴走または立消えするので、ランプ電流を検出し出力電流が一定になるようにデューティ比を制御して安定点灯を行なう。

スイッチングレギュレータ方式では出力電流の設定値を変化させると調光が出来る。また出力電流を一定に保つように動作するため電源電圧の大きい変化にも対応でき、100V - 200V 両用も可能である。

直流点灯を行なうと、カタホレススにより蛍光ランプでは陽極側の光束低下を生じ、H I D ランプでは色分離を生ずるので、実用化されていない。しかし電球形蛍光ランプではカタホレススを防止する方法が提案されている。^{18) 19)} また高圧 Na ランプではナトリウム蒸気圧 P_{Na} (kPa)、ランプ電流 I_l (A)、アーク長 L (mm)、管内径 d (mm) の間に $P_{Na} > 5.6 \cdot I_l \cdot L / d^2 + 0.5$ の関係があるときには、カタホレススを生じない²⁰⁾。このような場合には直流点灯が可能である。

3. 3. 4 バルス点灯

これまでのランプ印加電圧波形は、連続波で休止期間のないものであったが、これに対しデューティ比の小さな、いわゆるパルス状の電圧をランプに印加し、連続波の休止期間のない電圧を印加した場合と異なるランプ特性を得るようにしたものがある。

(1) 高圧ナトリウムランプのバルス点灯

高圧ナトリウムランプは、色温度が低いいため種々の改善がなされてきた。例えば従来の高効率タイプに比べて、Na 蒸気圧を高めたり、発光管の形状の変更等を行うことにより、効率を大きく損なわない範囲で演色性の改善が

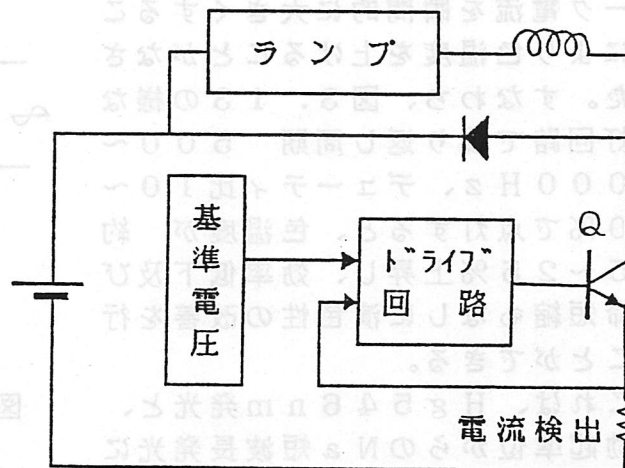


図 3. 12 降圧形コンバータによる点灯回路

できる。

一方、ランプにパルス印加し、アーク電流を瞬間的に大きくすることにより色温度を上げることがなされた。すなわち、図3.13の様な点灯回路で繰り返し周期500~2000Hz、デューティ比10~30%で点灯すると、色温度が約15~25%上昇し、効率低下及び寿命短縮もなしに演色性の改善を行うことができる。

これは、Hg 546nm発光と、高励起準位からのNa短波長発光によるものである²¹⁾²²⁾。

(2) 放電発光色の制御

放電ランプに印加するパルス条件を変化させることにより、その発光色の変化が可能である。これは、NeとHgを混合封入したランプに三角波パルス印加し、その立ち上がり時間を変えることにより発光色を制御するものである。

図3.14に基本回路図を示す。スイッチング素子のベースに、立ち上がりの急峻なものやピークが後ろにある立ち上がりの緩やかな三角波を印加すると、立ち上がり急峻であればNeの赤色を発光し、緩やかになるに従い青色となり、赤と青の間を連続的に変化する。

可変色放電管としてはNe+~

数+ Torrで、パルス幅は

150 μ s~1msであれば良いが、300 μ s程度であればほとんどの場合適合できる。又、繰り返し周期は、実用的には $f = 210 / (\text{内径 cm})$ Hzで可変色制御が可能になる²³⁾。

3.3.5 マイクロ波無電極放電²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾

無電極ランプをマイクロ波帯内に配置すると、ランプ封入物が励起され、発光する。一般に電極を有する放電ランプの光出力劣化は、電極の蒸発、飛散によるランプ管壁の黒化が主たる原因だが、無電極ランプは電極を有しない為、ランプ管壁材料である石英ガラスの一部が結晶化することによる白濁の光出力劣化のみで、黒化による劣化に比べその程度は極めて少ない。

現在、高ワットのものについて商品化が行われており、基本構成図を図3.15に示す。マイクロ波の発生には、電子レンジなどで使われているマグネ

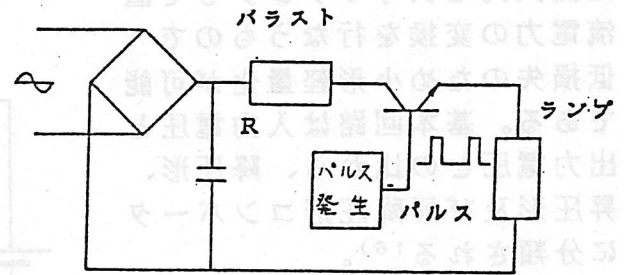


図3.13 パルス点灯回路

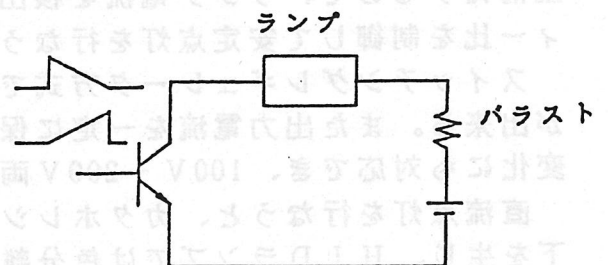


図3.14 パルス点灯回路

トロンが使われ、発振周波数は2450MHzである。負荷との整合をとりやすくするため、空胴共振器との間に矩形導波管が設けられている。空胴共振器は半球共振器を変形したものでその面が光反射鏡をかねている部材と上面が開口率90%である金属メッシュで構成されている。

マグネトロンで発生したマイクロ波が導波管を伝搬し、給電口から空胴共振器に放射する。このマイクロ波によって、ランプ中の希ガスを放電させランプ中にマイクロ波エネルギーを吸収させる。この希ガス放電によりランプ管壁が熱せられる。ランプ中には放電によって励起、発光する金属をハロゲン化物の形で水銀と共に封入してある。水銀やハロゲン化物の蒸発につれて放電は、希ガス主体の放電から水銀を主体とする金属蒸気の放電に移行し、封入金属に応じたスペクトルで発光する。

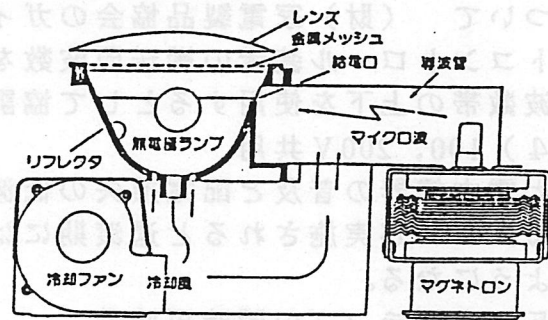


図3. 15 マイクロ波点灯回路

ランプから放射された光は、空胴共振器反射鏡により、金属メッシュを通し外部に放射される。この無電極放電ランプ点灯装置の特徴は

- (1) 立ち上がり時間が早い。
安定光出力の90%に到達するまで約3秒である。
 - (2) ランプ再点灯時間が短い。
一度消灯した後、ランプの再点灯可能時間は約20～30秒である。
 - (3) ランプ寿命が長い。
無電極であるため、有電極ランプのような電極の蒸発、飛散によるランプ管壁の黒化に起因する光出力低下、及び電極劣化による不点はない。
 - (4) ランプ封入物の選択が自由。
ランプに封入される添加物と電極との反応を考慮する必要がないので、添加物の選択範囲を広くとれる。
 - (5) ランプからの熱線放射量が少ない。
- 等である。

3. 4 今後の動向

(1) 商用電源高調波電流

整流回路を有する電気機器の入力電流波形が歪んでいるため、高調波電流が電力系統や他機器に流入する。IEC TC77においては高調波含有率の規制値が定められている。我国でも通産省で規制を検討している。

(2) 高周波ノイズ

放電ランプの高周波点灯に用いられる周波数は20kHz～200kHzであり、他の家電製品、通信機器や医療機器などの電子機器に妨害を与える可能性があ

る。高周波ノイズについては電気用品取締法で規制されている。

(3) 赤外ノイズ

高周波点灯のランプから高周波で変調された赤外線が放射されているので家電製品の赤外線式のリモートコントロール装置に妨害を与える。この問題について (財)家電製品協会のガイドライン(昭和60年3月)ではリモートコントロール装置の搬送周波数を33kHz~40kHzとし、照明器具はこの周波数帯の上下を使用するとして協調をはかっている。

(4) 100, 200V 共用

大電力機器の普及と配電損失の低減のために、配電電圧200V化の動きがある。これが実施されると過渡期には100, 200V共用の照明器具が要求されるようになる。

(5) 高圧ランプの瞬時再始動

メタルハライドランプや高圧ナトリウムランプでは、消灯直後は蒸気圧が高いため再点灯が困難であるが、この再点灯時間についての研究がなされている²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾。

3.5 参考文献

- (1)青池南城：点灯回路の小形軽化技術，
電気情報関連学会連大(昭60)分冊2 142~145
- (2)仲矢文則，青池南城：自励一石式トランジスタインバータによる連続
調光用蛍光灯安定器，照学全大(昭60)24
- (3)吉川，能見，今井：電子安定器を使用した高光束(1000lm)電球形蛍光灯
照学全大(昭60)19
- (4)中川，熊田，赤塚，小山：小形蛍光ランプ用電子安定器の開発
照学全大(昭59)25
- (5)湯原，乾，青池：定電流プッシュプルインバータによる蛍光ランプ用
電子安定器，照学誌 68-10(昭59)501~508
- (6)藤井浩史，伊藤俊樹：コンパクト形蛍光ランプ用インバータの開発
照学全大(昭62)23
- (7)赤塚，小松，小山：ハーフブリッジ式ICインバータの開発
照学全大(昭61)23
- (8)加藤義人，大武寛和：電子安定器用高力率部分平滑回路の一方法
照学全大(昭63)42
- (9)清水，乾，青池：小形メタルハライドランプ用電子安定器の開発，
照学全大(昭62)40
- (10)今井，吉川，能見：直流重畳形電子安定器を使用した電球形蛍光灯，
照学全大(昭61)17
- (11)次田和彦，小林敏彦：蛍光灯スタンド用電子安定器の調光方式，
照学全大(昭63)40

- (12)平松, 岡本, 山田: ハーフブリッジインバータにおける出力制御方式,
照学全大 (昭62) 16
- (13)仲矢, 高橋, 青池: FL20多灯用インバータの開発,
照学全大 (昭63) 38
- (14)大西, 西野, 松川: 他励式直列インバータにおける駆動回路の研究,
照学全大 (昭63) 34
- (15)永瀬, 西村, 内橋, 塩見: 高压放電灯用電子式点灯回路の研究,
照学誌 72-2 (昭63) 85~90
- (16)電気学会編: 電気工学ハンドブック (昭63) 450
- (17)水野, 矢橋, 石川: 降圧チョツバーによる蛍光ランプ用定電力形安定器,
照学誌 68-6 (昭59) 239~242
- (18)井上, 伊藤, 今村: 蛍光ランプのアマルガムによるカタホリシス防止,
照学全大 (昭60) 6
- (19)山崎治夫, 坏秀三: 電球形蛍光ランプの直流点灯,
照学全大 (昭61) 16
- (20)小沢, 伊藤, 小山: 高压ナトリウムランプの直流点灯時における放電
現象の検討, 照学全大 (昭61) 32
- (21)腰原, 越智, 杉浦: パルス点灯による高压ナトリウムランプ発光特性,
照学全大 (昭53) 20
- (22)ミッチェル・モンロー・オスティーン: 高压ナトリウムランプの光色
改善法と装置, 特開 昭52-98370
- (23)竜子, 藤野, 佐藤, 久保, 板谷: パルス立ち上がり時間による放電発光
色の制御, 照学誌 65-10 (昭56) 513~519
- (24)児玉, 吉沢, 正田, 大貫, 伴: マイクロ波放電光源装置とその応用,
三菱電気技報 57-2 (昭58) 151~154
- (25)吉沢, 児玉, 小林: マイクロ波放電光源装置 (1),
照学全大 (昭58) 51
- (26)児玉, 吉沢, 正田, 大貫, 伴, 田中: マイクロ波放電光源装置 (2),
照学全大 (昭58) 52
- (27)永瀬, 西村, 内橋, 塩見: HIDランプの矩形波点灯における始動特性,
照学全大 (昭63) 25
- (28)中西, 中川, 川越, 姫井: HIDランプの始動時間短縮に関する一考察,
照学全大 (昭63) 26
- (29)岡村, 伊藤, 立原, 白土: 高压ナトリウムランプにおける始動性の検討,
照学全大 (昭63) 27

本章においては、蛍光ランプ、HIDランプと大きく2つに分類し、今後の動向、現状の問題点より、光源から点灯回路に対する要望事項について述べる。

4.1 蛍光ランプ

4.1.1 蛍光ランプの動向

蛍光ランプの大きな流れとして省電力を目的とした電球代替用ランプの開発と、また主に施設照明用として普及しつつあるコンパクトランプの開発があげられる。

このような流れから推測される今後の動向はランプのさらなる小形化と高効率化であるが種々の問題点があり次のような要求がある。

- (1) 高効率化
- (2) 高光束化
- (3) 長寿命 (a) 絶対寿命
(b) 光束寿命

(4) 始動特性

(5) 管端黒化

(6) 放電路内径の縮小

(7) 放電路長の短縮

(8) 放熱対策

(9) 調光

上記の要求とは別に電球代替用ランプとして

(10) 瞬時点灯

(11) ちらつき防止

(12) 軽量化

(13) 外寸法の小形化

があげられる。

これらの要求をみてもかなりの部分が電子安定器を使用することで満たすことができる。

高効率化は高周波で点灯することによって実現でき¹⁾、高光束は効率を上げ、かつ十分な電流を流す事により可能であるが、単に電流を多くするだけでは電極の損傷が激しく寿命に影響する。この事に関してはダブルスポットを形成し、電極の損傷を少なくする方法²⁾も報告されている。

また近年、一般家庭用器具、施設照明用器具に電子安定器を使用したものが広く普及しつつある。この点から考えると蛍光ランプの今後の開発方向として電子安定器専用のランプが必要となると推測される。

一般家庭用ではないが、複写機、ファクシミリなどのOA機器に使用されている蛍光ランプや液晶テレビなどのバックライト用ランプはほとんど電子安定器による高周波点灯で

あり、これらは機器の小形化が進むことにより管径の細管化が進み現在 $\phi 4 \sim \phi 8$ mmのものが主流となっている。

ランプの種類も熱陰極ランプ、冷陰極ランプ、水銀を用いない希ガス放電ランプがありそれぞれのランプで高輝度化、小形化の努力がなされている³⁾⁴⁾⁵⁾。

4. 1. 2 電子安定器の特徴

蛍光ランプの電子安定器には高周波点灯方式、直流点灯方式などがあるが、現在よく使用されている高周波点灯方式についてみると次のような長所がある。

- (1) 小形、軽量
- (2) 効率の向上
- (3) ちらつきが無くなる
- (4) 瞬時点灯
- (5) 調光が容易
- (6) 低騒音
- (7) 50/60 Hz 共用

高周波点灯による蛍光ランプの効率向上という点からはこれまで多くの報告がなされているが、最近の報告では現在使用されている周波数からさらに高い周波数までの効率の変化についてT5～T12までの3種の管径について論じたものがある⁶⁾。

図4. 1に点灯周波数とルーメンゲインの比較が3種の管径のランプについてなされているがこのように管径と周波数でも大きく変化するようにランプ点灯回路の最適設計に残されている余地はかなりあると思われる。

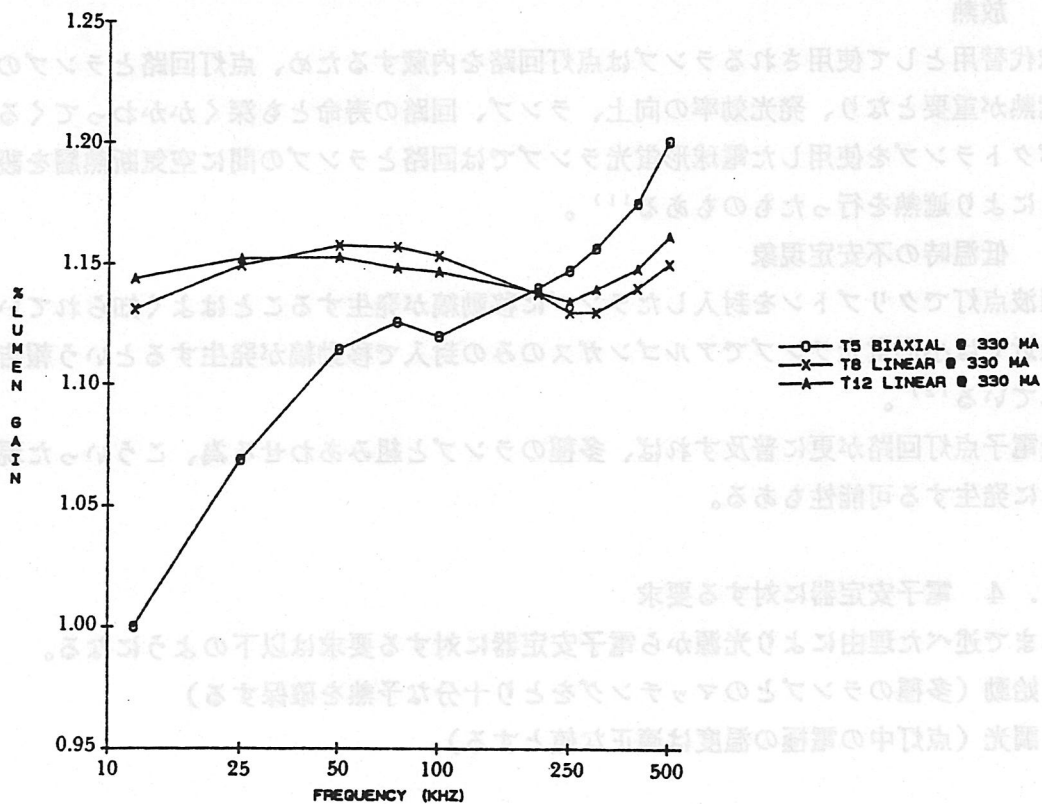


図4. 1 点灯周波数による明るさの変化

4. 1. 3 蛍光ランプ点灯の問題点

蛍光ランプには多くの種類があり、管径、封入ガス圧、電極、始動補助方法などすべて異なったものが存在する。そのため始動時及び点灯時のランプと回路のマッチングが重要である。

(1) 始動時の問題点

始動時の電極の損傷は蛍光ランプの寿命に大きく影響し、特にコールドスタートになると寿命はかなり短くなるなど十分な予熱は不可欠である。

また点灯周波数が高くなると放電開始電圧は低下するが⁷⁾、最近普及しつつあるコンパクトランプについては各社各様で、ランプ構造、始動特性にも差があるように見える。電子安定器の設計時には、使用される可能性のある多種のランプについて十分な検討が必要である。

(2) 調光時の問題点

蛍光ランプは点灯中の電極の温度が高すぎても低すぎても短寿命となるため、調光時の電極の温度の適性化⁸⁾が必要である。

また調光状態からの始動はランプ、回路ともに負担が大きくなるため、始動は必ず全光状態でおこなうなどの工夫がなされている⁹⁾。

(3) カタホレスシ

直流点灯、直流重畳点灯ではカタホレスシ現象が発生するため陽極側にアマルガムを設置したり、水銀原子の密度差で拡散を図る電球形蛍光ランプ¹⁰⁾の例などが報告されているが、これらの解決案は、ランプ側に工夫をしたもので一般の直管、丸管では直流点灯時のカタホレスシ現象の解決にはなっていない。

(4) 放熱

電球代替用として使用されるランプは点灯回路を内蔵するため、点灯回路とランプの放熱、遮熱が重要となり、発光効率の向上、ランプ、回路の寿命とも深くかかわってくる。コンパクトランプを使用した電球形蛍光ランプでは回路とランプの間に空気断熱層を設けることにより遮熱を行ったものもある¹¹⁾。

(5) 低温時の不安定現象

高周波点灯でクリプトンを封入したランプに移動縞が発生することはよく知られているが、最近では小形蛍光ランプでアルゴンガスのみの封入で移動縞が発生するという報告もなされている¹²⁾。

今後電子点灯回路が更に普及すれば、多種のランプと組みあわせる為、こういった現象もさらに発生する可能性もある。

4. 1. 4 電子安定器に対する要求

これまで述べた理由により光源から電子安定器に対する要求は以下になる。

- (1) 始動 (多種のランプとのマッチングをとり十分な予熱を確保する)
- (2) 調光 (点灯中の電極の温度は適正な値とする)

(3) ランプ電流 (定電流特性を電子安定器にもたせ温度依存性の高い蛍光ランプの出力特性を一定に近づける)

(4) 標準回路 (予熱電流、始動時に印加される電圧、点灯周波数、ランプ電流、この4つが定められたものが必要)

(5) 耐熱性

このように蛍光ランプの寿命に関する配慮と電子安定器の規格の統一とが望まれている。規格の統一は、今後電子安定器用ランプを開発する上でも重要である。

4. 2 H I D ランプ

4. 2. 1 H I D ランプの動向

H I D ランプの動向は、主として低電力化、小形化にあると推測されている。Dobrusskinによれば¹³⁾ H I D ランプに対する主な要求は次のような傾向にある。

(1) 経済性

(a) 高効率

(b) 長寿命

(c) 製造コスト

(d) システムコスト

(b-1) 寿命時間

(b-2) 色の安定性

(d-1) 安定器と始動器

(d-2) 据え付け

(2) デザイン

(a) 150, 70, 35, 20W等の低電力

(b) コンパクト形状と高光出力

(c) 色温度3000~4000K

(d) 高演色性 R75以上

(e) 点灯方向自在

(f) 小形軽量の安定器と始動器

(g) 急速立ち上がりと高温再始動

(h) 安全性

また、H I D ランプの開発方向は次のように示されている。

(1) 低電力 150, 70, 35, 20W等

(2) 色温度3000~4300K 各種

(3) R75 以上

(4) 発光効率とランプ寿命の増大

(a) 複合封入物質

(b) アークチューブ材料 (セラミックス等)

(c) ランプ管壁にIR反射または吸収層形成による熱損失の低減

(d) 電子安定器

(e) 無電極

電子安定器は以上のようなH I D ランプの動向に対応することができるので、研

究、開発が活発に行なわれており、一部、実用化されている。

H I Dランプの電子安定器による高周波点灯時の発光効率、磁気回路式安定器による商用周波数点灯時の発光効率よりも高く、通常、周波数 1~2kHzで最大となり、それ以上で飽和する^{14) 15) 16) 17) 18)}。図4. 2は商用周波数で標準化した発光効率の周波数特性例^{17) 18)}である。カーブがディップしている範囲は音響的共鳴現象による不安定領域である。矩形波点灯のポイントも示されており¹⁷⁾ 発光効率は商用周波数点灯より高いが高周波点灯より低くなっている。また、Staticによると¹⁸⁾ 高周波点灯では商用周波数点灯と比較して、35、70、および150Wランプの発光効率に 3~10%の向上があり、特に低電力タイプでの増加が著しかったとされている。システム効率は10~15%向上し、重量は磁気回路式安定器の約30%、体積は同じく約50%で、小形・軽量であったとされている。

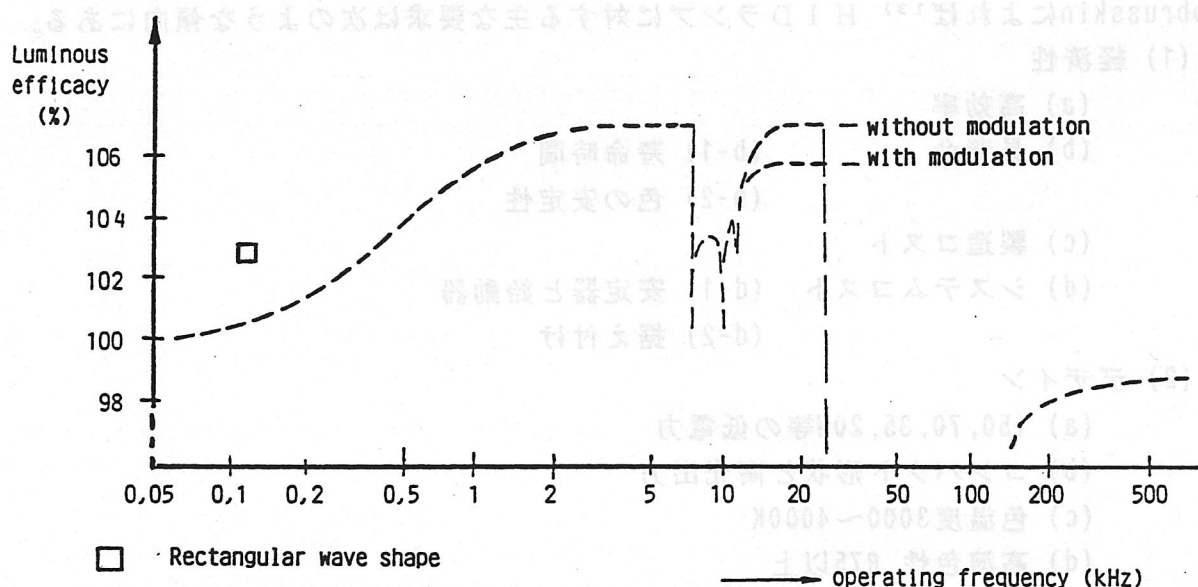


図4. 2 点灯周波数による効率の変化

4. 2. 2 電子安定器の特徴

H I Dランプの電子安定器には種々方式があるが、そのうち実用的な高周波点灯に着目すると、次のような長所と短所¹³⁾がある。

長所: (1) 小形、軽量

(2) システムの効率が高い

(3) 始動デバイスが一体化されている

(4) エネルギー消費が一定で、電源電圧と管電圧によらない

(5) それにより色のぼらつきが少ない

(6) フリッカが少なく、アークの曲がりが多い

短所: (1) 音響的共鳴現象による不安定

また、次のような特性を持たせることにより、新しい可能性も示唆¹⁸⁾されている。

- (1) 電源電圧変動に対して一定ランプ電力、一定光束
- (2) ランプ寿命中、一定ランプ電力
- (3) 異なるランプ電圧に対して一定ランプ電力

4. 2. 3 H I Dランプ点灯の問題点

Faehnrich 等は、回路の開放電圧により始動させるのが便利であって、70W ランプにおいて始動に必要な開放電圧は図4. 3¹⁷⁾¹⁸⁾に示されるように、周波数と共に高くなるが、この電圧は回路により容易に得られる¹⁷⁾としている。しかしこのデータによると22kHzにおいて2500Vpp必要であり高耐電圧の回路部品が要求される。一般に始動電圧が高いことはH I Dランプの問題点であるとされている。

H I Dランプにおいては図4. 3¹⁷⁾¹⁸⁾に示すように再始動の時間間隔が短いと高温再始動電圧が高い。また光束立ち上がり時間に時間を要する。

始動電圧と再始動電圧を低下させるため不純ガス混入の除去をはかった製造プロセスの開発が試みられている¹⁹⁾²⁰⁾。また熱電子電極の効果が検討されている²¹⁾。光束の急速立ち上がりを得るためセラミックヒータによるアークチューブの加熱が用いられた例²²⁾がある。

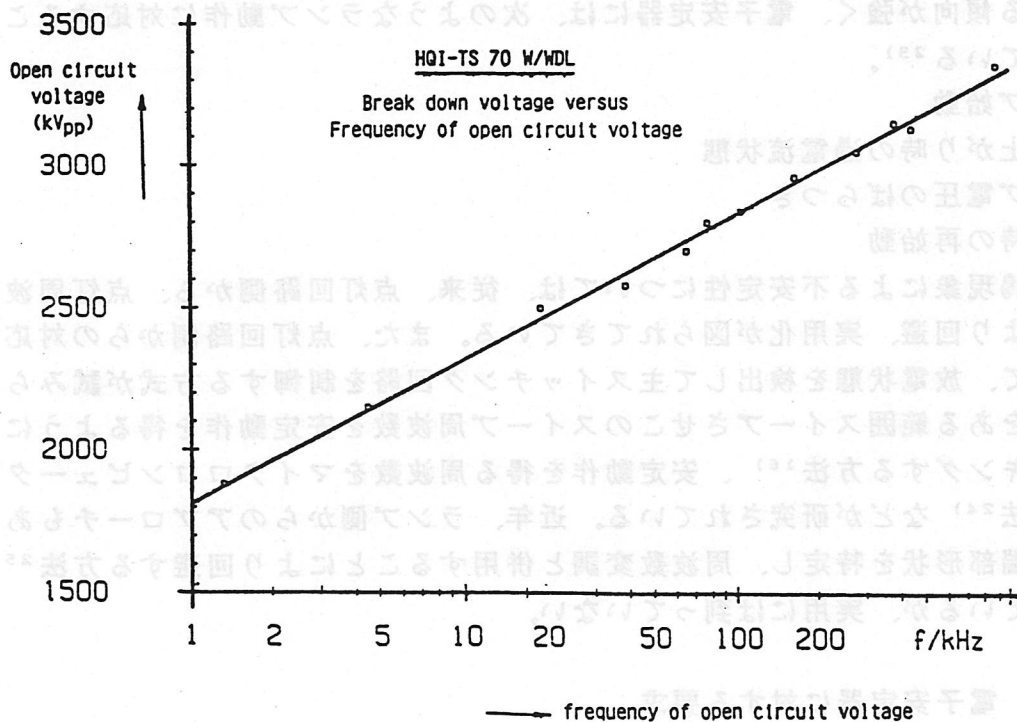


図4. 3 点灯周波数と始動電圧（回路の開放電圧）

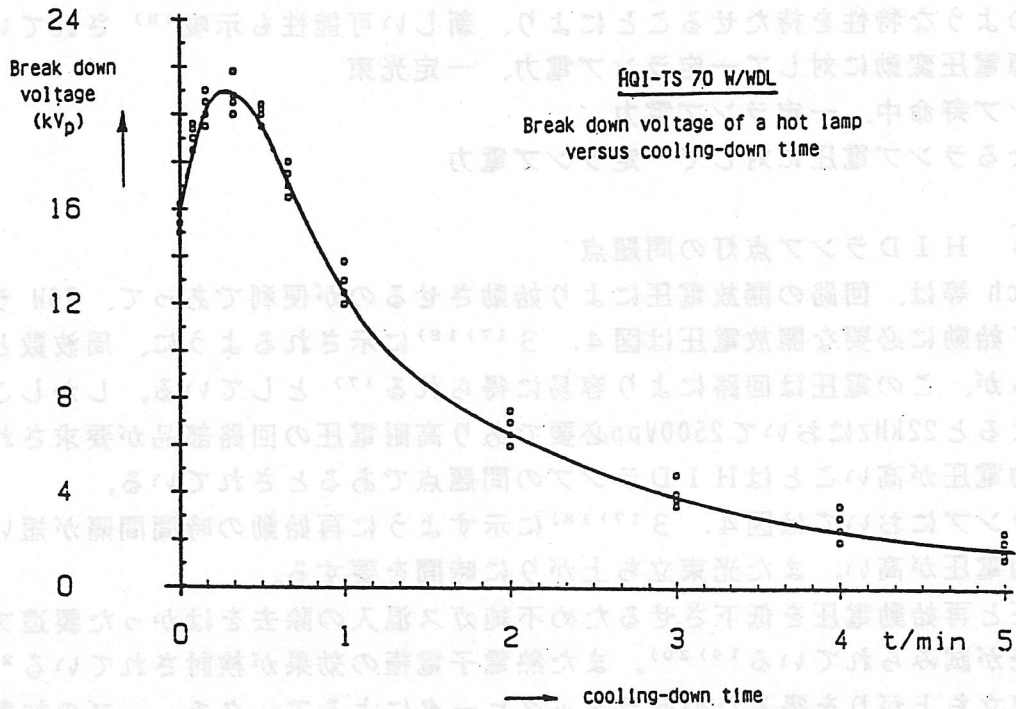


図4. 4 冷却時間と高温再始動電圧

しかしH I Dランプにおける問題点はランプ動作の本質に関わるものであるので、現在の技術レベルではランプ側からの効果的な対策が難しく、解決策が電子安定器に負わされる傾向が強く、電子安定器には、次のようなランプ動作に対応することが要求されている²³⁾。

- (1) ランプ始動
- (2) 立ち上がり時の過電流状態
- (3) ランプ電圧のばらつき
- (4) 高温時の再始動

音響的共鳴現象による不安定性については、従来、点灯回路側から、点灯周波数、波形などにより回避、実用化が図られてきている。また、点灯回路側からの対応をさらに進めて、放電状態を検出して主スイッチング回路を制御する方式が試みられ、点灯周波数をある範囲スイープさせこのスイープ周波数を安定動作を得るようにオートトラッキングする方法¹⁶⁾、安定動作を得る周波数をマイクロコンピュータで制御する方法²⁴⁾などが研究されている。近年、ランプ側からのアプローチもあり、発光管の管端部形状を特定し、周波数変調と併用することにより回避する方法²⁵⁾が報告されているが、実用には到っていない。

4. 2. 4 電子安定器に対する要求

以上をまとめると、現在、H I Dランプにおいて電子安定器に要求あるいは期待されている特性は次のようになる。

- (1) 始動

- (2) 高温再始動
- (3) 音響的共鳴現象による不安定性の回避
- (4) 光束立ち上がりの急速化
- (5) 高システム効率
- (6) 小形軽量
- (7) 必要に応じて諸条件に対する定電力特性

このように、音響的共鳴現象による不安定性を回避すると共に、適切なランプ動作の制御が期待されている。

4. 3 参考文献

- (1) 和辻浩一：蛍光ランプシミュレーションモデルの高周波点灯への適用，照学全大(昭62)14
- (2) 仲矢，湯原，青池：蛍光ランプの高周波ダブルスポット点灯の検討，照学全大(昭61)21
- (3) 稲本俊一，原美昭：液晶バックライト用点灯装置の開発，照学全大(昭62)28
- (4) 大草祥一，佐々木強：高輝度冷陰極蛍光ランプ，照学全大(昭63)19
- (5) 丹下，富田，渡辺，藤原：液晶用バックライトの開発，照学全大(昭63)20
- (6) Hammer, E. E.: High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamps up to 500 kHz, J. Illum. Engng. Soc. 16-1(1987)52~61
- (7) Hitchcock, D. E.: High Frequency Characteristics of 32Watt T-8 Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 13-1(1983)26~35
- (8) 寺本，松川，平松，岡本，三谷：30W+32W 蛍光灯用電子安定器の開発，照学全大(昭62)24
- (9) 仲矢，乾，湯原，青池：蛍光ランプ用準E級一石式インバータの開発，照学全大(昭62)21
- (10) 山崎治夫，坪秀三：電球形蛍光ランプの直流点灯，照学全大(昭61)16
- (11) 井上，梅岡，木村：小形，高照度蛍光ランプ ユーラインフラットと電子ネオボール100，東芝レビュー 42-9(昭62)658~661
- (12) 井上昭浩，土橋義富：小形蛍光ランプの不安定現象，照学全大(昭63)8
- (13) Dobrusskin, A.: Review of Metal Halide Lamps, 4th International Symposium of Light Sources(1986)Invited Paper A
- (14) Campbell, J. H.: Initial Characteristics of High Intensity Discharge Lamps on High-Frequency Power, Illum. Engng. 64-12(1969)713~722
- (15) 越村，青池，小林，野村：H I Dランプの高周波点灯における放電安定化方法，照学誌 67-2(昭58)55~61
- (16) Bernitz, F.: An Autotracking System for Stable H. F. Operation of HID Lamps, 4th International symposium of Light Sources(1986)71
- (17) Faehnrich, H. J. and Rash, E.: Electric Ballasts for Metal Halide Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 17-2(1988)131~140
- (18) Statnic, E.: High Frequency Operation of Metal-Halide High Pressure

Lamps, 4th International Symposium of Light Sources(1986)9

(19) Mochimaru, S., Sasaki, H. and Inukai, S.: Reducing Impurity Gases in Miniature Metal Halide Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 14-1(1984)264~273

(20) Hansler, R. L. and Davenport, J. M.: A New Low Wattage Metal Halide Lamp Process, J. Illum. Engng. Soc. 15-1(1985)109~122

(21) Suzuki, R., Saito, M. and Watanabe, K.: The Effect of a Heater on the Initiation of Discharges in High Pressure Gases, J. Illum. Engng. Soc. 14-1(1984)240~255

(22) Inoue, A. and Honda, K.: Instant Start Miniature Metal Halide Lamp, 4th International Symposium of Light Sources(1986)10

(23) Fähnrich, H. J.: Realization of Electronic Ballasts for HID Lamps, 4th International Symposium of Light Sources(1986)72

(24) 水野 銆章, 石川 太郎: メタルハライドランプの高周波点灯のマイクロコンピュータ制御, 照学誌 71-10(昭62)622~625

(25) Wada, S., Okada, A. and Morii, S.: Study of HID Lamps with Reduced Acoustic Resonances, J. Illum. Engng. Soc. 16-1(1987)162~175

第5章 点灯回路から光源への要望事項

本章では、点灯回路からみた、負荷の蛍光ランプ、H I Dランプ及びその他のランプにたいする要望事項について述べる。

5.1 点灯回路からみた蛍光ランプ

5.1.1 高周波点灯回路の場合

高周波点灯回路においては、ランプの電極損傷の少ない始動回路、ランプ寿命末期の保護、安定な調光点灯回路などが研究開発されている。

(1) 始動回路

始動に先立って、電極を予熱する始動回路の例を図5.1に示す。

この回路は、制御回路により、電源投入直後の一定時間は、ランプ放電開始電圧以下の出力電圧を発生するような発振周波数 f_1 で動作させて電極を予熱する。

その後、時間経過とともに周波数を f_1 から f_2 まで変化させる。

これにより、回路の共振周波数を通過するので、高電圧を発生して、ランプを始動させる¹⁾。

(2) ランプ寿命末期の保護

電源電圧の低下時、あるいは周囲温度の低下時などもランプを確実に始動させようとするため、逆にランプが、寿命末期等の劣化状態でも放電を維持してしまい易くなることがある。

図5.2は、シリーズインバータで、この様な現象が起きた場合の検出方法の例である。

図に於いて、コンデンサ C_1 の非電源側端子と、直流電源 E の低電位側との間の電圧を調べ、この電圧値によりランプが正常であるか否かを判別する。

他の構成のインバータを使用した例では、電流を検出する方法もある^{2) 3)}。

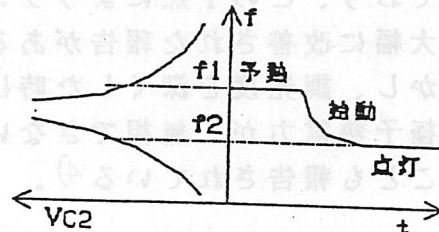
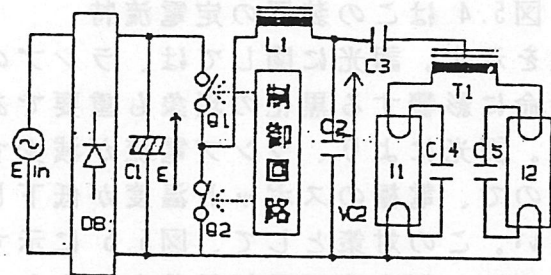


図5.1 回路構成

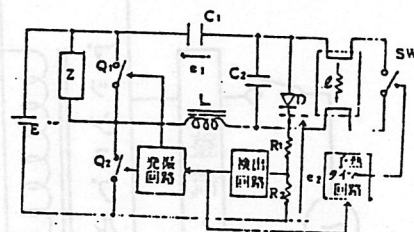


表1. 各状態における e_2 の電圧

状 態	e_2
ランプが挿入されている場合	約 $\frac{1}{2}E$
無負荷の場合	0
ランプ寿命末期Aの場合	0
ランプ寿命末期Bの場合	E

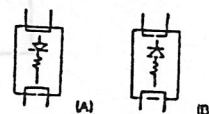


図5.2 基本回路

(3) 調光回路

図5.3は、シリーズインバータを使用して、その周波数を変化させることによる調光である。この調光方法は、調光信号線の信号により行うものである。

低温時等で、調光度を深くした時のランプ電圧上昇による立消えを防止するため、インバータは、負荷の電圧、電流を検出してフィードバックし、制御している。

図5.4はこの装置の定電流特性を示す。調光に関しては、ランプの寿命に影響する黒化の現象も重要である。調光により、ランプ電流が減少するので、電極のスポット温度が低下し易い。この対策として、図5.5に示すものは、調光時に電極予熱を行うようにしており、この予熱によりランプ寿命が大幅に改善された報告がある。

しかし、調光度を深くした時は、この電極予熱電力が、無視できない値となることも報告されている⁴⁾。

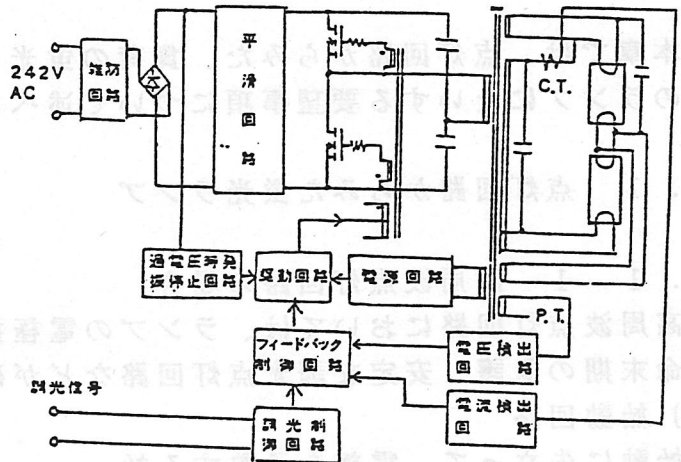


図5.3 回路構成

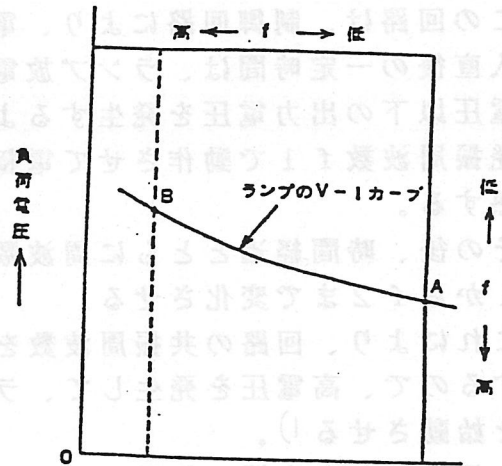


図5.4 4線式調光用電子安定器の
負荷特性

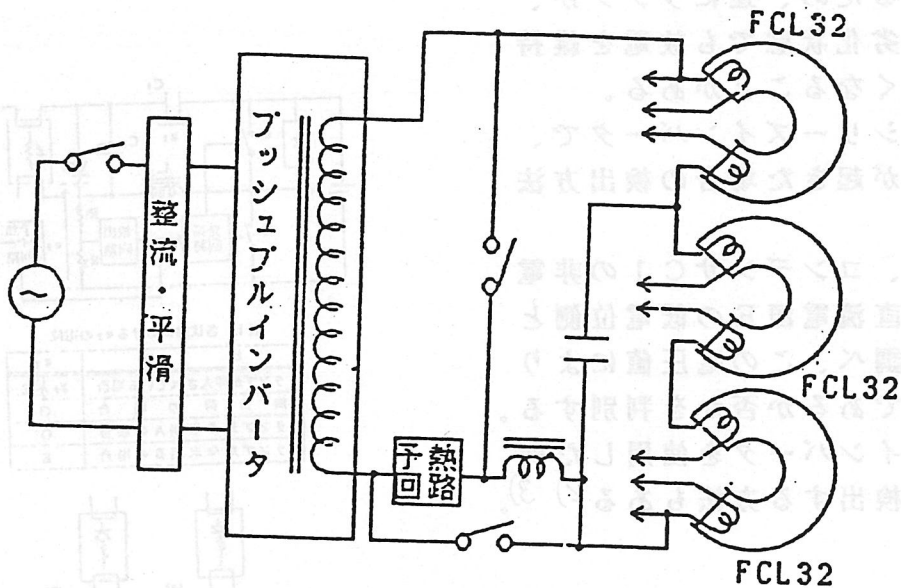


図5.5 調光時常時予熱方式

(4) 移動縞現象

高周波点灯で、ランプ電流を減少（調光）した場合にランプが縞状の発光を呈することがある。

この現象は特に周囲温度が低い時に起り易く、荷電粒子あるいは、励起原子密度のゆらぎによって生ずると考えられている。図5.6は、正弦波電流で点灯した場合のある瞬間の縞状発光の様子を示す⁵⁾。

この発光は、ランプ内で移動あるいは停止しており、この現象を少なくする方法として、ランプ印加電圧を非対称にすることが、報告されている。

図5.7は、この報告の回路構成である⁶⁾。

(5) 温度上昇

光源の小形化は照明器具のデザインの自由度をますこと、配光制御の容易さなどの点から要望されており、これに対して蛍光ランプも小形なコンパクト形蛍光ランプの開発が進められている。

この様な小形化された光源を使用した照明器具は従来と異なる用途や形状のものが可能になりつつある。

しかし、光源からの熱放射の総量が従来のもと同ーであるならば、新たな熱対策を講じなければ器具の小形化が困難となる。

光源の小形化を生かす高周波点灯回路の開発とともに、光源自体での効率向上が、照明器具としての小形化に必要であろう^{7) 8)}。

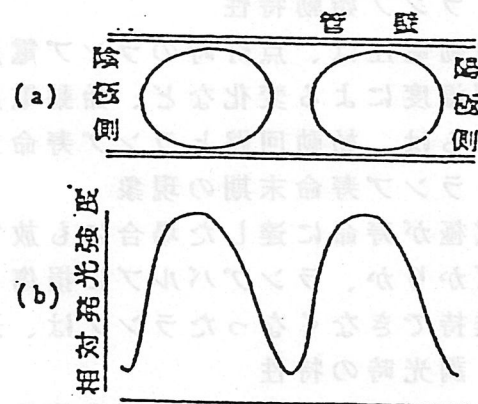


図5.6 縞状発光の状態

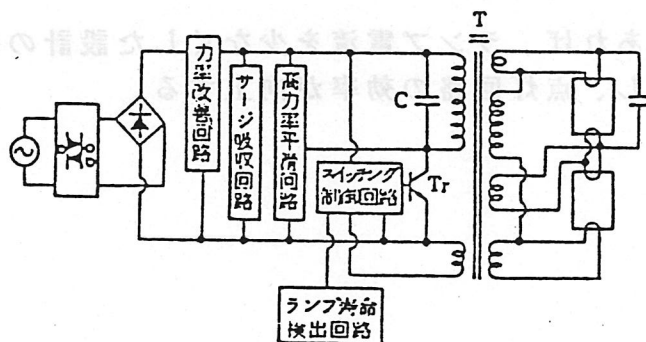


図5.7 基本回路構成

5. 1. 2 その他の点灯回路の場合

高周波点灯回路以外の点灯回路として、矩形波点灯回路、直流点灯回路、パルス点灯回路について文献調査を試みた。しかし、公開された文献では、高周波点灯回路に関するものが圧倒的に多く、他の点灯回路に関する文献は少ない。それ故、高周波点灯回路以外の点灯回路の場合については点灯回路から光源への要望事項を文献をもとにまとめることは困難な状態である。

5. 1. 3 点灯回路から蛍光ランプへの要望事項

前項で述べた理由により、ここでは、高周波点灯回路からの光源への要望事項としてまとめる。

(1) ランプ始動特性

始動電圧は、点灯時のランプ電圧に近いこと即ち、始動電圧が低いこと。周囲温度による変化など、始動電圧の変化の少ないこと。

これらは、始動回路とランプ寿命末期の保護回路にとって重要である。

(2) ランプ寿命末期の現象

電極が寿命に達した場合にも放電が持続すると点灯回路にストレスを与えるばかりか、ランプバルブに損傷を与える恐れもある。従って、正常な放電を維持できなくなったランプは、速やかに放電を停止することが望ましい。

(3) 調光時の特性

ランプ電圧-電流特性が直線的であると調光時の立消えを防止でき、かつ調光度をより深くすることが容易になる。

調光時の電極予熱電力が少ないこと。

温度等によるランプの特性（光束、移動縞、電圧など）変化が少ないこと

(4) 電極予熱

点灯中の電極予熱電力が少ないこと。

(5) 光源のランプ効率

ランプ効率が高まることにより、点灯回路が小形になり照明器具の小形化に結びつく。

(6) ランプ電流

同一のランプ電力であれば、ランプ電流を少なくした設計のほうが、点灯回路の扱う電流が減少し、点灯回路の効率が向上する。



図 7. 点灯回路の構成

5.2 点灯回路からみたH I Dランプ

5.2.1 H I Dランプの最近の動向

近年、主に屋外照明として普及して来たH I Dランプは、高輝度、高光束、高効率及び長寿命などの利点を生かし、ハロゲンランプに代わるものとして、最近では店舗、ホテルロビー、コミュニティエリア、銀行等の屋内のダウンライト、スポットライトに応用されつつある。

これらの内、特にスポットライトは図5-8のごとくライティングレールに取付けたり、又デザインの面からも器具の小形軽量化が必要とされ、内蔵される安定器は図5.12のような電子化の方向に向かっている。

更に、ランプ自身も図5.9のごとく高圧ナトリウムランプのE26の口金によるT管や、図5.10のようにショートアークメタルハライドランプの2ピン片口金によるコンパクト化も進みつつある。高圧ナトリウムランプは、高演色タイプとして50Wが出ているが、メタルハライドランプについては、70W,150Wの片口金タイプが商品化され、35Wも発表されている¹²⁾。

又、特殊用途として、映写機用、舞台、テレビスタジオ用、OHP用やビデオプロジェクタに使用される図5.11のようなショートアークメタルハライドランプもあるが、これらも安定器の電子化による軽量化が図られている¹³⁾。

5.2.2 電子点灯回路の必要性

安定器は、もともと磁気回路式が基本であり、ランプの仕様についても磁気回路式(リファレンスバラスト)安定器について、測定した値を基準としている。

しかしながら、前節に述べたようにH I Dランプも屋内に使用されるにつれ、安定器も器具内蔵の必要性から小形、軽量が主な課題となってきた。

又、低ワットが多い為、照射面と光源が比較的近づいている為、ランプのチラツキが目立っている¹⁴⁾。

この対策として、点灯周波数を高周波化するこ

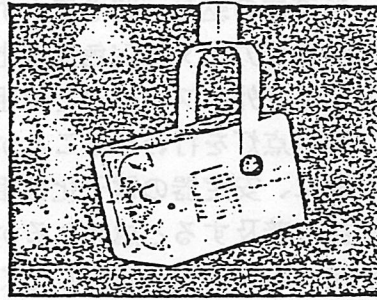


図5.8 HQI70W電子安定器内蔵
スポットライト

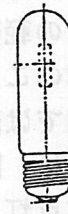


図5.9 高演色50W高圧
ナトリウムランプ

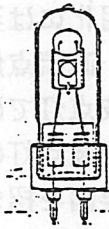


図5.10 高演色35Wメタル
ハライドランプ



図5.11 575Wショートアーク
メタルハライドランプ

とによって、小形軽量化するが同時にチラツキの対策にもなっている。

更に、半導体の駆動回路を工夫することによって、調光や定電力化又は定色温度化が可能になり、場合によっては外部スタータとの組合せで、より効果的な瞬時点灯を行わせることができる。

以上の様に、安定器の電子化は相応の利点があり、今後益々普及すると思われるが、電子化するにあたり幾つかの問題点が生じてくる。

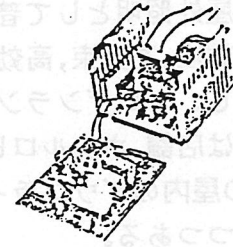


図5.12 70Wメタルハライドランプ器具内蔵電子安定器

5.2.3 電子点灯によるHIDランプの問題点

(1) 音響的共鳴現象

電子点灯回路は、主として高周波点灯が行われるが、ある周波数の範囲において音響的共鳴現象が生じるのは周知のことである。これらの対策として、点灯回路側では直流点灯又はメタルハライドランプに関しては、図5.13のように100KHz以上の高周波点灯とするか¹⁵⁾、図5.14のごとく高周波チョップを組み合わせて、低周波矩形波点灯を組合せた方法等があり、それぞれについて実用化されている¹⁶⁾。

又、ランプ側ではランプの形状を変えることによって、音響的共鳴現象を防止する方法を検討されているが、実用化には至っていない。

いずれにしても、直流点灯ではカタホレススの問題があり、高周波点灯では半導体のスイッチングロスの増大や矩形波点灯の駆動回路の複雑性からコストアップの要因を招き、電子点灯回路の普及の妨げになっている。

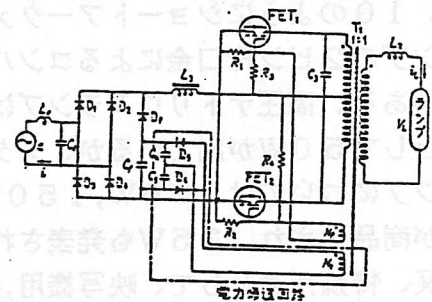


図5.13 120KHz定電流プッシュプルインバータ

(2) ランプ始動性能と電子点灯回路の関係

コンパクト化をねらったランプのほとんどは補助極がなく、ランプ始動時に高いパルス電圧(2000~5000V)を印加しなければならない。

磁気回路式安定器では、チョーク部の巻線回数が多くパルス発生時の層間電圧を低く押さえることができるが、高周波回路のチョークはもともと巻線回数が少なく、必然的に層間電圧が高くなる。この為、層間耐圧を上げる為に特殊な巻線を使用したり、層間紙を挿入する等の処置が必要となる。

又、プリント基板上でも出力側のパターン間隔

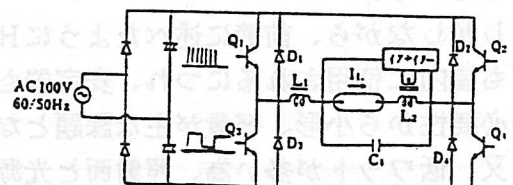


図5.14 高周波チョップ形矩形波インバータ

も広くとる配慮が必要となり、電子安定器の小形化が出来にくい要因にもなっている。

更に、器具側においても、ソケット、リード線の高耐圧化が必要となってくる。

(3) ランプ定格について

一般的にランプ定格については、先に述べたように磁気回路式リファレンスバラストによって商用周波数で測定し決定されている為、ランプ電圧とランプ電流の乗算されたものが単純にランプ電力とはなっていない。即ち、図5.15のようにランプ電圧の波形歪みの為、ランプ力率が抵抗負荷に対して10%前後低くなっている。

高周波もしくは矩形波点灯を行った場合、図5.16及び図5.17のごとくランプ電圧の波形歪みはほとんどなく、ほぼ100%のランプ力率になる¹⁷⁾。

従って、ランプ電流の値は、定格値よりも約10%少なくランプの定格値を決定する場合混乱を招く恐れがある。

5.2.4 HIDランプに対する要望事項

これまで述べて来たように、小形軽量の電子点灯回路に関する種々の問題点を解決する為には、ランプサイドの改良によってより効果的に行える場合があり、これらを箇条書きに表すと下記のようになる。

- (1) 直流点灯を行っても、カタホレシスの発生しないランプの開発。
- (2) 音響的共鳴現象の起きにくいランプの開発。
- (3) 始動電圧の低いランプの開発。
- (4) 電子安定器の設計を容易にする為、磁気回路式とは別に高周波リファレンスバラストの設定を行い、その定格値を従来の値と併記すること。
- (5) 調光しても発光効率、色温度の変化しないランプの開発。

以上のように、ランプ側から見た場合かなり難しい面もあると思われるが、安定器、器具、ランプの協調を取りながら、今後、より経済的な照明システムを構築する必要がある。

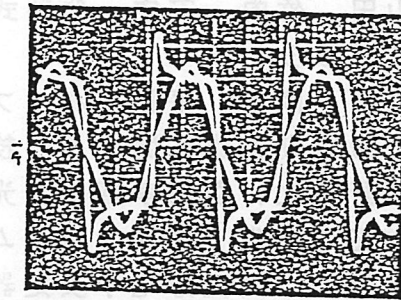


図5.15 50Hz磁気回路式安定器によるランプ電圧、電流波形

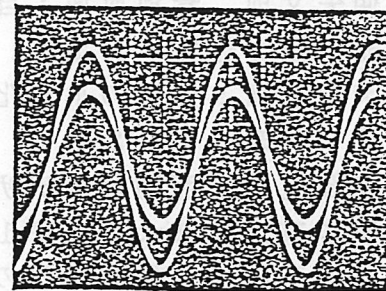


図5.16 200kHz高周波インバータによるランプ電圧、電流波形

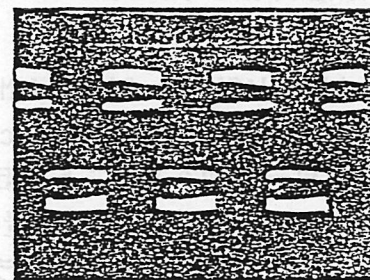


図5.17 200Hz矩形波インバータランプ電圧、電流波形

(表5.1) (50Hz)

特性 項目	点灯方式	
	正弦波点灯	矩形波点灯
ランプ電圧(V)	124	125
ランプ電流(A)	★1.35	★1.20
ランプ電力(W)	150	150
ランプ力率(%)	89.6	100.0

5.3 参考文献

- (1) 山田, 竹内, 安宅: 他励式インバータにおける並列点灯回路, 照学全大 (昭63) 34
- (2) 山田, 岡本, 平松: ハーフブリッジインバータにおける無負荷・ランプ寿命末期検出に関する一検討, 照学全大 (昭62) 15
- (3) 西野博之, 齋田孝義: 蛍光ランプの高周波点灯における現象と特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-10 (昭63) 38
- (4) 乾健一: 調光形電子安定器と蛍光ランプとのインターフェイス, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-11 (昭63) 49
- (5) 湯浅, 寺島, 湯原: 蛍光ランプの高周波点灯時における精状発光について, 照学全大 (昭57) 7
- (6) 仲矢文則, 青池南城: 自励一石式トランジスタインバータによる連続調光用蛍光灯電子安定器, 照学全大 (昭60) 24
- (7) 大塚忠弘: 光源の小形化と器具展開上の問題, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) S61
- (8) 遠藤充彦: 照明器具デザイナーからのコンパクト蛍光ランプへの要望, 照学東京支部大 (平1) 50
- (9) 三谷正孝: 高周波照明の特徴・役割及び将来展開, 照学東京支部大 (平1) 51
- (10) 赤塚美津雄, 小山敦夫: 住宅用照明器具におけるインバータの役割と技術動向, 照学東京支部大 (平1) 52
- (11) 青池南城, 矢島賢一: 施設用照明器具におけるインバータの役割と技術動向, 照学東京支部大 (平1) 53
- (12) Heider, J.: Single Pinched Metal-Halide Lamps Operated At Wall Loadings Above 40W/cm, J. Illum. Engng. Soc. 17-2(1988) 94~98
- (13) 清水恵一, 仲谷文則: 575Wショートアークメタルハライドランプ (SMI575) 用点灯装置の開発, 照学東京支部大会 (昭58) 10
- (14) 杉浦稔, 熊沢敏弘: HIDランプのチラツキについて, 照学全大 (昭63) 30
- (15) 中西, 井上, 小松原, 姫井: 100KHz以上の高周波によるHIDランプの点灯, 照学誌 70-2 (昭61) 14~18
- (16) 永瀬, 西村, 内橋, 塩見: 高圧放電灯用電子式点灯回路の研究, 照学誌 72-2 (昭63) 19~89
- (17) 斎藤, 皆川, 高井, 渡辺, 森本, 土橋: メタルハライドランプの矩形波点灯, 照学全大 (昭55) 19

1955	1956	1957
1958	1959	1960
1961	1962	1963
1964	1965	1966
1967	1968	1969
1970	1971	1972

第6章 電子点灯回路に適したランプの開発

6.1 低圧放電ランプ

電子点灯回路（ここでは高周波インバータのみを考える）の基本機能は磁気回路式安定器と全く同じであり放電電流の限流と始動用高電圧の発生である。違いはスイッチング技術を用い商用周波数から高周波に変換する変換器を付加した点であり、これにより限流インピーダンス等を構成しているインダクター、コンデンサー類の小形化・軽量化を図っている。従って放電ランプ側から見れば磁気回路式安定器との違いは動作周波数が高周波になっている点であり、そのさい電流波形がある程度制御できること、ならびに周波数可変にして限流素子のインピーダンスをかえることで放電ランプ出力を可変にできる点である。

低圧放電ランプを高周波で点灯した場合と商用周波数で点灯した場合の特性変化は大きく分けて以下の3点である。

- (1) 陽極降下電圧の消滅による電極加熱特性の変化。
- (2) イオンの拡散損失ならびに衝突電離が電流の変化に追従出来なくなるために生ずる電子温度の変調、電流電圧動特性の正特性化、再点弧現象の消滅。
- (3) 管壁電位を決める始動補助体との間のインピーダンスの変化による始動電圧の変化。

これらの変化が低圧放電ランプの特性ならびに設計に影響を及ぼすのは電極に関する要素、電離および再点弧に関連する封入ガスおよび放電ランプの形状、始動に関連する要素である。表6.1に低圧放電ランプの特性と設計諸元の関連を示す。表中○印は関連する項目、◎印は高周波点灯の場合に特に考慮すべき項目である。

表6.1 照明用低圧放電ランプの設計諸元と特性の関係

設計諸元 特性	管径	放電長	バルブ構造	始動補助体	電極ミタ	エミッタ	蛍光体	ガス種	ガス圧	封入金属	最冷部温度	放電電流	電極加熱電流
始動特性	○			◎	○			○		○	○		○
寿命 電極 光束維持	○			○	◎	○		○		○	○	○	◎
再点弧電圧					○			◎		○	○	○	○
放電電圧 陽光柱 電極降下	○				◎			○		○	○	◎	◎
効率		◎		○	◎	○		○		○	○	○	○
光色							◎			○	○	○	
放電安定性		◎	○					○		○	○	◎	○
電磁波放射		◎	○		◎			○			○	◎	○

○ 一般的に関係する項目

◎ 電子点灯回路の場合に特に考慮すべき項目

現在のところ低圧放電ランプの設計諸元と高周波特性との関係を論じた報告例は少なく必ずしも明確になっていない。本節では高周波放電による放電特性の変化機構と検討すべき低圧放電ランプの課題について概説する。

6.1.1 始動特性

蛍光ランプの始動は、放電開始からアーク放電へいたる過程である。始動は電極を予熱してのち電極間に電圧を印加する。

放電開始電圧は管壁表面の状態の影響を強く受ける。管壁表面状態は分布定数回路で近似でき高周波電圧印加では電極付近の電界が増大するため、周波数の増加とともに放電開始電圧が低下する²⁾。さらに積極的に近接導体を利用することで高周波電圧印加時の始動電圧を下げる工夫がされている。放電ランプ内部に始動補助導体を用いる場合、および近接導体の条件によっては高周波印加時、放電開始電圧が上昇する場合がある。放電ランプ内部電界の解析により始動電圧の低い始動補助体方式の開発が期待される。

放電開始からアーク放電へ移るにはアーク輝点形成のための転移エネルギー（加熱エネルギー）が必要である。転移エネルギーは電極の予熱温度が高ければ少なくともよく十分な予熱により始動電圧を下げるができる。予熱電流と始動電圧の関係を図6.1に示す²⁾。JEL規格では高周波点灯での電極予熱電流の下限値を各ランプ毎に表6.2に示す値に推奨している。

表6.2 電極予熱電流JEL規格

ランプの区分	電極予熱電流
4 W	0.15 A
6	0.15
8	0.20
10	0.27
15	0.37
20	0.45
30	0.75
32	0.53
40	0.55

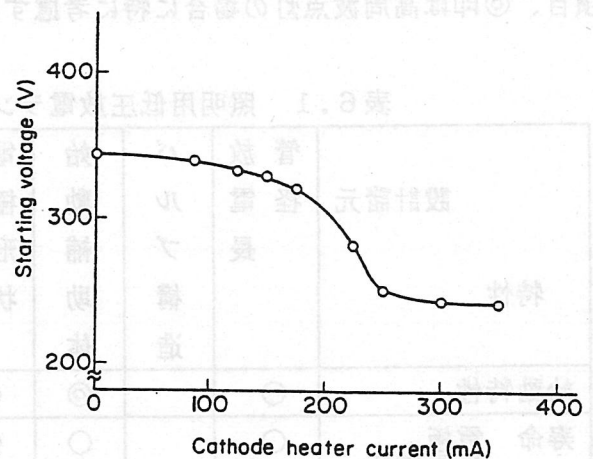


図6.1 予熱電流と始動電圧

また電極予熱電流が時間とともに低減する予熱方式の場合、次式より算出した値が表の規定値以上であればよいとしている³⁾。

$$I_f = (I_0 + I_{0.4}) / 2\sqrt{2} \quad (6.1)$$

ここで I_f は電極予熱電流が時間とともに低減する予熱方式の電極予熱電流、 I_0 は初期予熱電流ピーク値、 $I_{0.4}$ は0.4秒後の予熱電流ピーク値である。速時始動でかつ電極の寿命を損なわないためには上記の予熱条件を満足させることが必要である。電極の温度が低い状態で高電圧印加で始動するとグロースパッタを起し寿命が極端に悪くなる。電極の設計

においては、熱容量や、抵抗値を高周波での予熱に適するようにすることが必要である。

6.1.2 点灯特性

(a) 電極特性

低圧放電ランプを高周波で点灯するとランプ効率が10%前後向上することが知られている。この主因は陽極降下損失の消滅とされている。すなわち電極間のイオンは電界により陽極から陰極へと移動する。電極はイオンを放出しないため陽極表面ではイオンが欠乏し電子による空間電荷層が生じ高電界領域が形成される。これが陽極降下電圧である。陽極降下は陽極表面のバッファガスが電離し始めイオン供給が可能になる値まで成長する。すなわち陽極降下領域は陽光柱からの電子を集める作用と同時にイオンを供給する働きをする。一方陰極近傍はイオンが集まってくるため正の空間電荷層が形成され陰極降下電圧が形成される。放電の周波数が低いときには電極は陽極サイクル、陰極サイクル毎に負ならびに正の空間電荷層を交互に形成する。周波数が十分増加すると陰極サイクルで形成されたイオンの電荷層は続く短い陽極サイクル間中イオン供給源として作用しイオン欠乏に至る前に再び陰極サイクルになる。この結果負の電荷層が形成されず陽極降下電圧は生じなくなり陽極損失が消滅する。

このような電極での現象が電極特性に及ぼす影響を考える。電極の最も重要な働きは電子放出であり照明用放電ランプでは主として熱電子放出を利用している。従って陰極サイクルでの電極（陰極点）温度が重要である。電極の加熱は点灯回路からの加熱電流によるものと放電電流による自己加熱によるものから成り、後者が主要な役割を果たす。放電電流による自己加熱は陽極サイクルと電子放出を行う陰極サイクルから構成される。

「陽極サイクルでの放電電流による加熱」

陽極端での電流はすべて電子電流 I_e である。よって陽極降下電圧を V_a 、電極の仕事関数を ϕ (バリウムの場合 $\phi \doteq 1.7 \text{ eV}$) とすれば放電電流 I_c による陽極サイクルでの電極加熱電力 W_a は次式で与えられる。

$$W_a \doteq I_e \cdot V_a + I_e \cdot \phi = I_c (V_a + \phi) \quad (6.2)$$

商用周波数点灯での V_a はバッファガスにアルゴンを用いている通常の蛍光ランプで約 $5 V_{rms}$ (陽極振動発生時) であるから W_a は約 $6.7 I_c$ 、高周波点灯では $V_a \doteq 0 \text{ V}$ であるから W_a は約 $1.7 I_c$ であり加熱電力は約 25% に減少する。

「陰極サイクルでの放電電流による加熱」

陰極サイクルでの放電電流による電極加熱は陰極点に流れ込むイオン電流 I_p により行われ、加熱電力 W_k は次式で与えられる⁴⁾。

$$W_k \doteq I_p (\gamma V_k + V_i - \phi) - I_e \phi \quad (6.3)$$

ここで γ は accommodation coefficient、 V_k は陰極降下電圧、 V_i は流入イオンの電離電圧である。蛍光ランプでは形成イオンは水銀と考えてよいから $\gamma \doteq 1$ 、 $V_i = 10.4 \text{ eV}$ 、またイオン電流は全電流の約 10% とされ⁵⁾ 陰極降下電圧は約 12V であるから $W_k \doteq 0.54 I_c$ と見積もられる。すなわち商用周波数放電の陽極サイクル時に比べ一桁以上小さな加熱電力である。陽極サイクルでは電極のほぼ全面に電流が流れ込むのに対し陰極サイクルでは

陰極点に集中するため陰極点での電力密度は逆転するであろうが陽極サイクルでの電極加熱が無視出来ないことがわかる。すなわち高周波点灯では陽極降下損失が消滅するため電極温度が低周波放電時より低下する。60 Hzと25 kHzとで電極温度が1100°Cから630°Cに変化すると報告されている⁶⁾。

陰極からの電子放出は熱電子放出特性だけでなく陰極降下電圧により増幅される。一般に電極温度が低下して熱電子電流が減少すると放電電流を維持するために陰極降下電圧が増加する。高周波点灯時の陰極降下についての報告は少ない⁷⁾。基本的には商用周波数点灯時と変わらないと考えられるが、高周波点灯でははっきりした陰極輝点を示さなくなる。このことから高周波では陰極降下電圧はかえって低下している可能性がある。低温でかつ低い陰極降下電圧で放電電流を得るには電極からの電子電流が広い面積から（低い電流密度で）放出する機構が存在することが必要である。このためには陰極サイクルでの陰極前面での空間電荷の分布を知る必要がある。

以上のように電極の動作条件は商用周波数と高周波とでは動作条件がかなり異なることが予想される。これらの解明と高周波動作に適した電極の開発が望まれる。

(b) 陽光柱電子温度

陽光柱の放電電流はほとんど電子電流であり次式で与えられる。

$$i_e = Neq\mu_e E \quad (6.4)$$

ここで i_e は電子電流密度、 Ne は電子密度、 q は電荷量、 μ_e は電子移動度、 E は陽光柱電界である。一方陽光柱内の粒子保存則は累積電離を無視して概略次式で与えられる。

$$\partial Ne / \partial t = NeNg\nu(E) - NeDa / \Lambda^2 \quad (6.5)$$

Ng は電離元素の密度、 $\nu(E)$ は電離周波数で電子温度によって電界の関数、 Da は両極性拡散係数、 Λ は拡散長である。直流放電では左辺の時間変化項が零になるため $\nu(E)$ について解けば、

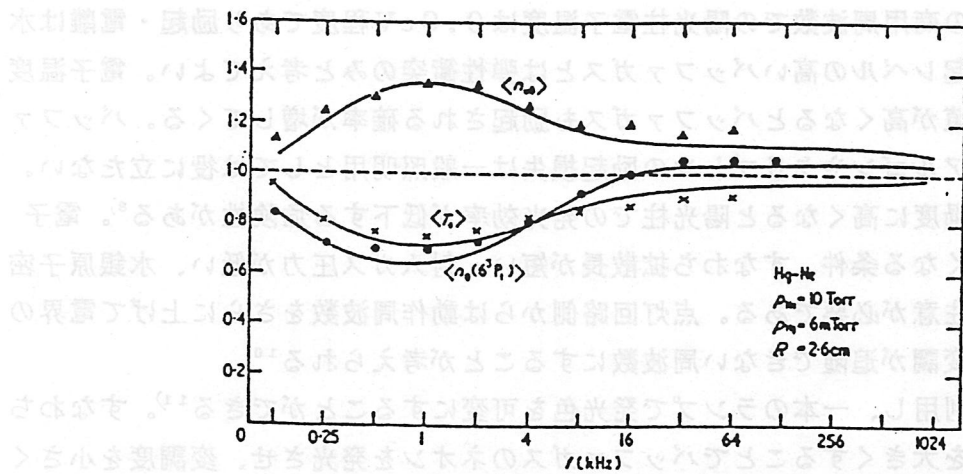
$$\nu(E) = Da / (Ng\Lambda^2) \quad (6.6)$$

よって放電ランプの形状、ガス圧が一定であれば $\nu(E)$ は電子密度によらず一定値になる。したがって電界 E は一定になる。すなわち定電圧特性を示す。(6.4)式より放電電流の変化は電子密度の変化により与えられる。

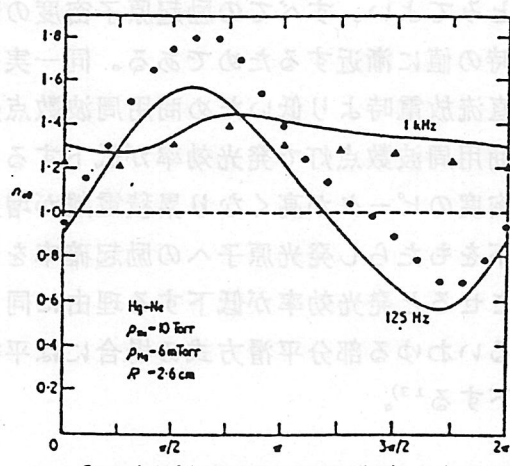
動作周波数が高くなると放電電流の変化にまず拡散損失が追従できなくなり、ついで電離も追従できなくなる。このため高周波では電子密度の増減は追従できなくなり一定値に近づく。直流放電に高周波電流を重畳したときの電子密度の1サイクル中の時間変化と平均値の周波数依存性を求めた例を図6.2に示す^{8) 9)}。図で変調周波数1 kHz付近で電子密度平均値が極大値をとっている。この領域では電流の減少位相では電子の拡散損失は追従できないが電流の増加位相ではまだ電離が追従できるためである。

高周波では電子密度は変化しないため(6.4)式から電流の変化は電界の変化を伴うようになる。よって電圧電流特性は正抵抗特性を示すようになる。(この正特性はあくまで高周波成分に対してのみ生ずる。平均電界は(6.5)式で Ne の時間変化項が零になるから直流放電時の値に漸近し定電圧特性を示す)。

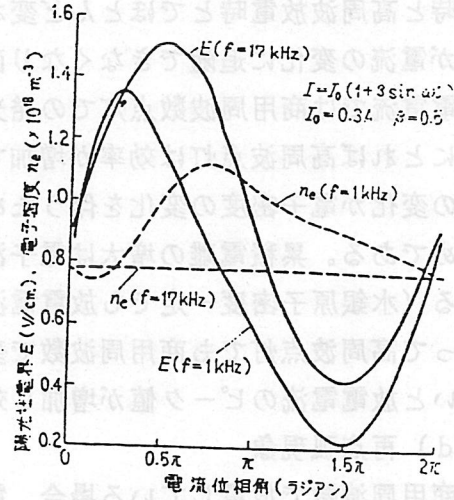
電界が変調される結果、電子温度も変調され電子温度のピーク値は平均値より高くなる。



Normalized average electron temperature $\langle T_e \rangle$, electron density $\langle n_e \rangle$ and excited atom density $\langle n_0(6^3P_1) \rangle$ at the axis against modulation frequency. The full curves have been calculated; the points indicate the experimental data. $\beta = 0.5$, $\langle I \rangle = 0.4 \text{ A}$.



One period of the normalised electron density n_{e0} for $f = 125 \text{ Hz}$ and 1 kHz . The full curves have been calculated; the points indicate the experimental data. $\beta = 0.5$, $\langle I \rangle = 0.4 \text{ A}$.



高周波電流重畳時、陽光柱電界、電子密度時間変化

図6.2 直流放電に高周波を重畳したときの電子密度の1サイクル中の時間変化と平均値の周波数依存性

通常の蛍光ランプの商用周波数での陽光柱電子温度は 0.9 eV 程度であり励起・電離は水銀原子で生じ、励起レベルの高いバッファガスとは弾性衝突のみと考えてよい。電子温度が変調されピーク値が高くなるとバッファガスも励起される確率が増してくる。バッファガスに用いられるアルゴンやクリプトンの励起損失は一般照明用としては役に立たない。従って電子温度が過度に高くなると陽光柱での発光効率が低下する危険性がある⁹⁾。電子温度の平均値が高くなる条件、すなわち拡散長が短い、封入ガス圧力が低い、水銀原子密度が低い等のとき注意が必要である。点灯回路側からは動作周波数をさらに上げて電界の変調に電子温度の変調が追従できない周波数にすることが考えられる¹⁰⁾。

この現象を逆に利用し、一本のランプで発光色を可変にすることができる¹¹⁾。すなわち電子温度の変調度を大きくすることでバッファガスのネオンを発光させ、変調度を小さくすることで水銀の発光だけにする方法である。電子温度の変調を大きくするために電流をパルス状にしている。

(c) 陽光柱の発光効率

陽光柱の発光効率は発光原子の密度が同じでバッファガスの励起が生じなければ直流放電時と高周波放電時とでほとんど変わらないとみてよい。すべての励起原子密度の時間変化が電流の変化に追従できなくなり直流放電時の値に漸近するためである。同一実効値の放電電流では商用周波数点灯での発光効率は直流放電時より低いため商用周波数点灯を基準にとれば高周波点灯は効率が増加する¹²⁾。商用周波数点灯で発光効率が低下するのは電流の変化が電子密度の変化を伴うために電子密度のピークが高くなり累積電離が増大するためである。累積電離の増大は電子温度の低下をもたらす発光原子への励起確率を低下させる（水銀原子密度一定でも放電電流を増加させると発光効率が低下する理由に同じ）。従って高周波点灯でも商用周波数で変調されるいわゆる部分平滑方式の場合には平滑度が低いと放電電流のピーク値が増加し効率が低下する¹³⁾。

(d) 再点弧現象

商用周波数で放電している場合、電流が零クロスに近づくと電流の減少より拡散による電子の減少の方が遅いため電子密度が過剰になり放電電圧が低下し電離が停止する。この結果電子密度は急速に減少する。続いて電流が増加位相に入ると電子密度の急速な増加が必要になり電離を促進するために放電電圧が一時的に高い値をしめす。これが再点弧電圧である。放電ランプが要求する再点弧電圧を上回る電圧を回路が供給できないと再点弧が不安定になり放電が安定しない。チョークコイル式安定器で電源電圧実効値が放電電圧実効値の2倍以上必要とされるのはこの理由による。再点弧時の消費電力は電離に大きくさかれるため発光の面からは役に立たない。さらに再点弧電圧の増大はランプ力率の低下を招き同一放電電力を得るために放電電流の増加が必要になり、発光効率の低下をもたらす¹⁴⁾。再点弧電圧の増加は拡散長が短い、封入ガス圧が低い、および低温時に顕著になる。

高周波で点灯すると先に述べたように電流の増減に電子密度の変化が追従できなくなり電流一サイクルの間ほぼ一定になる。このため再点弧現象は消滅する。ただし高周波動作であっても前述の部分平滑方式で平滑度が低いと再点弧の問題が発生する。

6.1.3 電子点灯回路用ランプ

本節では高周波点灯化の利点を生かせるランプ仕様ならびに高周波化に伴う障害のランプ側での対策の可能性につき述べる。

(a) 高周波化に適するランプ

高周波化の利点は発光効率の向上ならびに再点弧現象の消滅による放電の安定化である。効率増加の主原因が陽極降下電圧の消滅によるから放電電圧中に占める陽極降下電圧の比が大きい放電ランプほど効果が大きくなる。一般には放電長の短いランプほど効果が大きい。また再点弧電圧が増加する放電ランプは拡散長の短い管径の細い放電ランプである。したがって高周波点灯に有効なランプはある程度管径が細く、放電長があまり長く出来ないランプと言える。この種のランプとしては最近普及しだしたコンパクト形蛍光ランプがあげられる。また高周波点灯専用ランプとして発表されている例を表6.3に示す。

表6.3 高周波点灯専用ランプとしての発表例

メーカー名	ランプ長(mm)	品番		ランプ特性										
				管径(mm)	ランプ電力 W _{1a} (W)	ランプ電圧 V _{1a} (V)	ランプ電流 I _{1a} (mA)	光束 (lm)	発光効率 (lm/W)	光色 Ra	Tc (K)	x	y	封入ガス
フィリップス	600	TLD16/HF		26 (T8)	16	63	250	1.300	81	3波長域発光形ランプ				Ar
	1.200	TLD32/HF			32	128	250	3.200	100	4000	0.380	0.377		
	1.500	TLD50/HF			50	142	350	5.100	102	85	&			
		TLD60/HF			60	135	450	6.300	105	3000	0.441	0.404		
GE	1.200	WATT-MISER Eタイプ	LW	38	28	82	350	2.700	96.4	49	4200	0.377	0.393	Kr 混合
			SP35					2.625	93.8	73	3500	0.413	0.401	
		MAXI-MISER Eタイプ	LW		40	97	415	3.700	92.5	49	4200	0.377	0.393	
			SP35					3.600	90.0	73	3500	0.413	0.401	
ハロリン放電光体														
GTE	900	OCTRON	F025	26 (T8)	21 (25)	101 (100)	210 (265)	2.150	102 (86)	ハロリン酸+希土類 蛍光体 2重コーティング				Ar
	1.200		F032		28 (32)	136 (135)		2.900	103.6 (91)	75	4100			
	1.500		F040		35 (40)	172 (172)		3.650	104 (91)	3100				

(b) 電波障害

高周波点灯で生ずる問題点の大きなものは電波障害である。雑音電波の発生は点灯回路からと放電ランプから発生するものにわけられる。前者はラインフィルターの使用や電磁シールドケースの使用により対策できるが放電ランプからの放射に対しては必ずしも有効な方法が無いのが現状である。回路側からの対策は動作周波数を放送周波数（規制）帯域より可能な限り低く設定してできる限り正弦波に近づける（高次高調波を減らす）ことである。ところが点灯回路側からはより一層の小形化をはかるために動作周波数をより高くしたい。このため放電ランプ側での対策も要望される。

放電ランプ側での可能性のある対策は放電電流経路の形状と放電ランプ管壁材料構成である。

「放電電流経路の形状」

電磁波を放射する高周波電流路が往復経路を構成している場合、往路と復路から発生している電磁波は大きさが等しく位相が逆転しているため往復路を近接配置すれば放射電磁波はキャンセルする。従って放電路を近接して折り曲げた放電ランプ構造が有利である。複数の放電ランプを一個の器具内で使用する場合、各放電ランプの配置を工夫することで同様な効果が得られる。

「放電ランプ管壁材料」

放電ランプからの電磁波放射を防止するには導電率の高い膜で放電ランプを覆う（電磁シールド）のが最も効果がある。最近可視光にたいしては透明で電磁波をシールドできる導電フィルムが発売されたが、導電率がまだ低いためシールドできる周波数下限域がMHz域と高い。他の方法は誘電率の異なる境界を設けて反射させる方法である。

いま入来電磁波を $\dot{E}_0 \times \dot{H}_0$ 、反射電磁波を $\dot{E}_1 \times \dot{H}_1$ 、透過電磁波を $\dot{E}_2 \times \dot{H}_2$ として入射空間の伝播インピーダンスを $\dot{\eta}_0$ 、透過空間の伝播インピーダンスを $\dot{\eta}_2$ とすれば、各々の間には次の関係が成立する。

$$\dot{E}_{x_0} = \dot{\eta}_0 \dot{H}_{y_0} \quad (6.7)$$

$$\dot{E}_{x_1} = -\dot{\eta}_0 \dot{H}_{y_1} \quad (6.8)$$

$$\dot{E}_{x_2} = \dot{\eta}_2 \dot{H}_{y_2} \quad (6.9)$$

$$\dot{E}_{x_0} + \dot{E}_{x_1} = \dot{E}_{x_2} \quad (6.10)$$

$$\dot{H}_{y_0} + \dot{H}_{y_1} = \dot{H}_{y_2} \quad (6.11)$$

$$\dot{\eta} = \sqrt{j\omega\mu / (\sigma + j\omega\varepsilon)} \quad (6.12)$$

ここで μ は透磁率、 σ は導電率、 ε は誘電率である。

上式から $\dot{E}_{x_1} / \dot{E}_{x_0}$ 、 $\dot{H}_{y_1} / \dot{H}_{y_0}$ について解けば、

$$\dot{E}_{x_1} / \dot{E}_{x_0} = (\dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_0) / (\dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_0) \quad (6.13)$$

$$\dot{H}_{y_1} / \dot{H}_{y_0} = (\dot{\eta}_0 - \dot{\eta}_2) / (\dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_0) \quad (6.14)$$

従って $\dot{\eta}_2 \gg \dot{\eta}_0$ または $\dot{\eta}_2 \ll \dot{\eta}_0$ とすれば電磁波は境界でほとんど反射される。放電ランプ内に電磁波吸収体を設け伝播インピーダンスが大きく異なる透明誘電体膜を管壁に設ける方法で放射電波を減少できよう。

6. 2 HIDランプ

HIDランプを電子点灯回路で点灯すると回路方式によっては商用周波で点灯する場合と比べ特異な現象が現れる。表6.4 はHIDランプの特性とランプ設計諸元の関連を示す。表中○印は関連する項目、◎印は高周波点灯の場合に特に考慮すべき項目である。ここではHIDランプの特性とランプ設計上留意すべきことについて述べる。

表6.4 照明用HIDランプの設計諸元と特性の関係

設計諸元 特性	発光管径	極間長	発光管形状	発光管材料	外球寸法・形状	外球内ガス圧	電極形状	電極エミッタ	始動補助体	蛍光体	封入金属種類・量	始動ガス種類・圧	最冷部温度	放電電流
始動時間	○	○	○		○	○	○					○	○	
始動電圧	○	○					○	○	○			○		
再始動時間	○	○			○	○		○	○			○	○	
再始動電圧		○						○	○		○	○		
寿命 (電極、光束維持)	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○
再点弧電圧			○	○			○	○			○	○		○
効率	○	○	○		○	○					○	○	○	○
光色 (色温度、演色性)										○	○			○
放電安定性 (音響的共鳴現象)	◎	◎	◎								◎	◎	◎	
電磁波放射	◎	◎					◎	◎						
整流現象							○	○			○			
調光可能化	○	○			○		○						○	○

○ 一般的に関係する項目

◎ 電子点灯回路の場合に特に考慮すべき項目

6.2.1 高周波点灯による音響的共鳴現象

先の章でも述べられているようにHIDランプを高周波で点灯すると音響的共鳴現象が発生する。これは周期的な電気エネルギーの入力により発光管に圧力変動が生じ、この変動が発光管の音響的共鳴周波数に近くなると定在波が生じアークの不安定現象となって現れる。

理想気体の周期振動は次の波動方程式で表される¹⁵⁾。

$$\nabla^2 P = \frac{1}{C_s} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (6.15)$$

ここに C_s = 音速、 P = ガス圧である。一方 C_s は、

$$C_s = \left(\gamma \frac{R_g T}{M_g} \right)^{1/2} \quad (6.16)$$

但し γ = 比熱比、 T = 温度、 R_g = ガス定数、 M_g = ガスのグラム分子である。円筒状の発光管を想定した場合、半径方向の温度を平均化して一定の実効温度とすると、 C_s は半径方向に対して一定の値となる。円筒座標を r 、 ϕ 、 z として(6.15)を解くと、

$$P \sim \cos(l\phi) \cos\left(\frac{\omega z}{C_s}\right) J_l\left(\frac{\omega r}{C_s} r\right) e^{-j\omega t} \quad (6.17)$$

円筒の半径を R 、長さを L とし、境界条件を入れて共鳴周波数 ν について解くと、

$$\nu^2_{lmn} = \left(\frac{\alpha_{lm} C_s}{2\pi R}\right)^2 + \left(\frac{n C_s}{2L}\right)^2 \quad (n=1, 2, 3 \dots) \quad (6.18)$$

α_{lm} は1次Bessel関数の一次偏微分 $\partial J_l / \partial r$ の m 次ゼロ点である。

同様に球状の発光管では、

$$\nu_{lm} = \frac{\alpha_{lm} C_s}{2\pi R} \quad (6.19) \quad \text{で求められる}^{16)}。$$

円筒状発光管について(6.18)式で軸方向の実効温度と半径方向の実効温度を異なる値と考え、音速を考慮すると共鳴周波数の計算値と実測値がよく一致したと報告されている¹⁵⁾。

また球状発光管を使用した低ワットメタルハライドランプで(6.19)の計算値がほぼ実測値と一致したことが報告されている¹⁶⁾。

一方共鳴周波数で点灯した時、共鳴波を充分進行するエネルギーを有していないと音響的共鳴現象は起こらない。この限界のエネルギーは直流に高周波を重畳して変調し、その

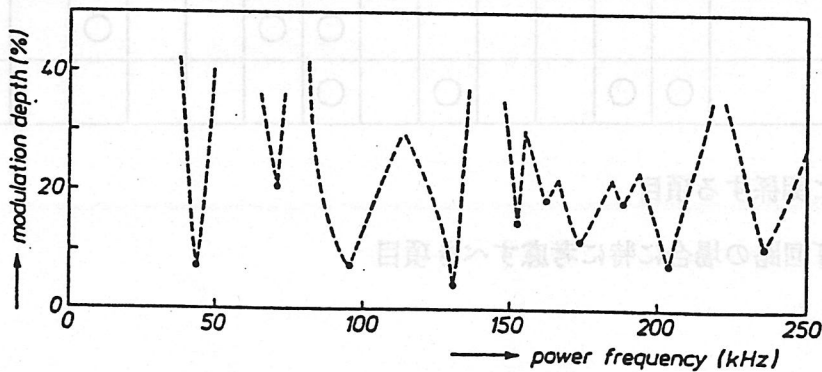


図6.3 不安定となる変調度

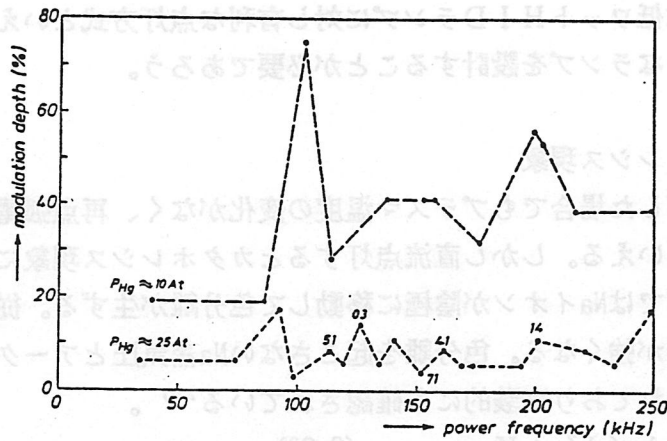


図6.4 ガス圧と安定度

変調度を変えることによって求めることができる。図6.3は25Wメタルハライドランプの不安定現象の生ずる変調度と周波数の関係を示したものである。変調度が大きい程その周波数での安定性が高く、共鳴現象を起こさせるのに大きなエネルギーがいることを示す。

封入水銀量が多いとガスの実効温度が低下し音速が下がって共鳴周波数の最低値が低くなる。さらにメタルハライドを添加するとこの傾向が強くなる。図6.4はガス圧を変えた時の不安定となる様子を示したものである。

他方共鳴を減衰させる要素としてガスの粘性を高めることが有効とされ、発光管の形状を変えて減衰を高めることが提案されている^{17) 18)}。

以上のように音響的共鳴現象はある程度定量的にも定性的にも解明されており、共鳴現象を回避できる発光管の最適設計が予測できつつあると思われる。さらに回路側からは高調波の変調度を適切にすることにより安定度を向上させることが必要と思われる。

6.2.2 高周波点灯による再点弧電圧の低下

商用周波でHIDランプを点灯すると各半サイクル毎に再点弧電圧が生ずる。これはランプ電流がゼロ付近でプラズマ温度が低下し、電子とイオンの密度が温度に対して指数関数的に減少することによりプラズマインバーダンスが急激に増加することによる。

特に発光管寸法が小さい低ワットHIDランプでは電極、封止部および発光管からの熱伝導による冷却が大きく、再点弧電圧が高くなる。この電圧が点灯回路の二次電圧を越えると立ち消えが発生する。

高周波で点灯すると電流がゼロとなる期間が短くなり上記のような現象が緩和されて再点弧電圧が低下する。図6.5は低ワットメタルハライドランプの点灯周波数と再点弧電圧の関係を示したもので200Hz以上で再点弧電圧は著しく低下している¹⁹⁾。

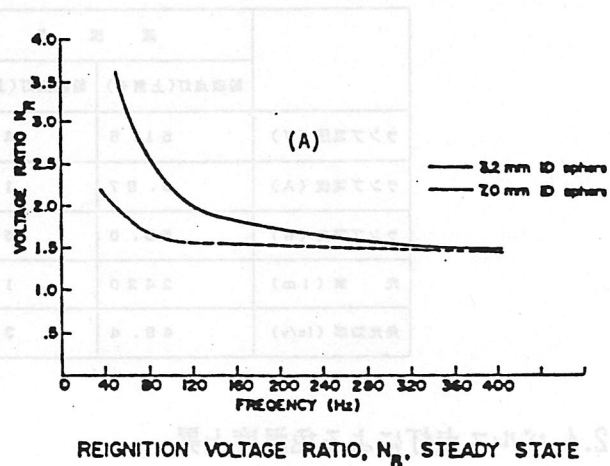


図6.5 周波数と再点弧電圧

このように高周波点灯は低ワットH I Dランプに対し有利な点灯方式といえるが、発光管温度を低下させないようなランプを設計することが必要であろう。

6.2.3 直流点灯時のカタホレシス現象

H I Dランプを直流点灯した場合でもプラズマ温度の変化がなく、再点弧電圧が現れないため好ましい点灯方式といえる。しかし直流点灯するとカタホレシス現象により、特にNaを封入したH I DランプではNaイオンが陰極に移動して色分離が生ずる。従って発光管長の長いランプ程この傾向が強くなる。色分離を起こさないNa蒸気圧とアーク長の関係は(6.20)式となること示されており実験的にも確認されている²⁰⁾。

$$P_{Na} = K_1 \cdot I_l \cdot l / d^2 + K_2 \quad (6.20)$$

ここに P_{Na} = ナトリウム蒸気圧、 I_l = ランプ電流、 l = アーク長、 d = 管内径
 K_1 、 K_2 = 定数 である。

図6.6 は種々の高圧ナトリウムランプを直流点灯した時のランプ設計諸元と色分離の関係を示したものである。

色分離はランプの点灯方向にも影響される。

表6.5 は50W 高圧ナトリウムランプを点灯した結果で点灯方向により特性が大きく異なっている²¹⁾。

Naを封入したメタルハライドランプでも同様の現象がみられが、一部32W ランプで点灯方向と極性を指定したものが実用化されている²²⁾。

このように直流点灯用のランプは直流に耐える電極の設計、点灯方向と極性の指定などが必要であろう。

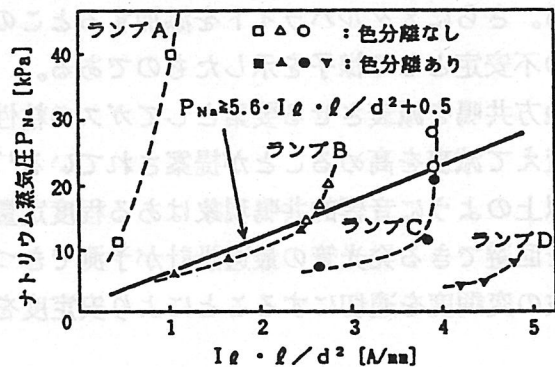


図6.6 直流点灯特性

表6.5 50wランプの点灯特性

	直 流 点 灯			交 換 点 灯 (50 H Z)
	鉛直点灯(上側+)	鉛直点灯(上側-)	水平点灯	
ランプ電圧 (V)	51.5	45.0	50.0	55.6
ランプ電流 (A)	0.97	1.11	1.00	1.13
ランプ電力 (W)	50.0	50.0	50.0	50.0
光 束 (lm)	2420	1720	2360	3070
発光効率 (lm/W)	48.4	34.4	47.2	61.4

6.2.4 パルス点灯による色温度上昇

高圧ナトリウムランプにパルス電流を流すことによって発光色の色温度を高くすることができる。これは(6.21)、(6.22)式からわかるように、高いピーク電流を流すことにより

プラズマ温度が高くなり、高励起準位からのNa発光により発光スペクトルが短波長側に広がることとHgの546nmの発光が加わるためである。

$$\frac{d^2 T}{d r^2} = - \frac{1}{2 \kappa} (\sigma E^2 - U) \quad (6.21)$$

$$I = 2 \pi E \int_0^R r \sigma(r) dr \quad (6.22)$$

但し T = プラズマ温度、 r = 半径方向座標、 κ = 熱伝導度、 σ = 電気伝導度、 E = 電場の強さ、 U = 全放射強度（放出強度と吸収強度の差）、 I = ランプ電流、 R = 発光管内径 である。

図6.7 は400W高圧ナトリウムランプでランプ電力を一定とした時のパルス電流波高値と色温度、演色評価数、ランプ効率の関係を示したものである。色温度の上昇とともに演色性は改善されるがランプ効率は低下する¹⁵⁾。

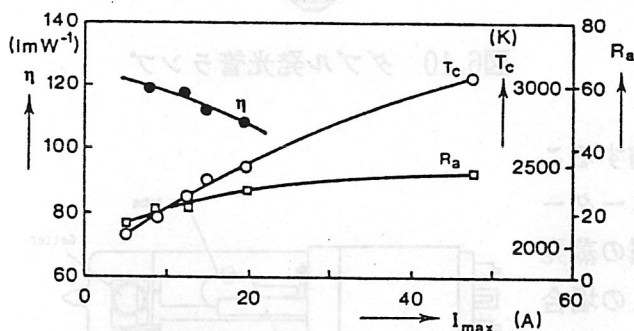


図6.7 パルス点灯特性

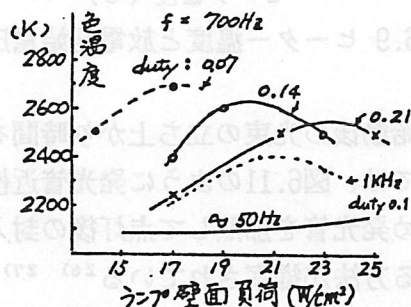


図6.8 管壁負荷と色温度

図6.8 は150Wランプの管壁負荷と色温度上昇の関係を示したもので管壁負荷が小さいとNaのD線の発光が強くなり、大きいとNa蒸気圧の増加、Naイオン密度の上昇および熱伝導率の増加によりプラズマ温度が低下するものと思われる²³⁾。

パルス点灯の場合も最適な発光管寸法や高パルス電流に耐える電極の設計が必要である。

6.2.5 瞬時再点灯、瞬時安定

どのような点灯方式を採用するにしてもH I Dランプを瞬時再点灯、瞬時安定できることが望まれる。消灯直後は発光管内のガス圧が高いこと、水銀と稀ガスとのペニング効果が消失することにより、瞬時再点灯するには高い電圧が必要である。この電圧を少しでも低くできれば回路側にとっても、器具の絶縁性能からも有利である。一つの対策として発光管内の主電極の一方にヒーターを設置し、ヒーターからの熱電子放出を利用して高気圧下での放電開始電圧を大幅に低下させる方法が提案されている²⁴⁾。図6.9 は水銀蒸気圧をパラメーターとしたヒーター温度と放電開始電圧の関係である。温度が $1700^{\circ}C$ を越えると放電開始電圧が急激に低下することが分かる。

このように何らかの手段により発光管内に電子を放出することが再始動電圧を低下させるのに有効で今後の課題となろう。また高い電圧を印加する点からはランプの形状としては両口金とすることが必要である。

図6.10は別の手段として発光管をダブルにした高圧ナトリウムランプの例で、最初一方の発光管で点灯し再点灯する時には他方を点灯するようにして瞬時再点灯を可能にしたものである²⁵⁾。

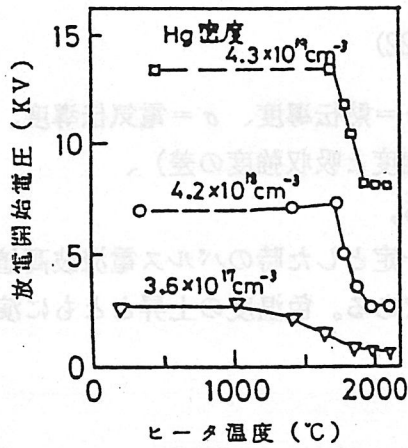


図6.9 ヒーター温度と放電開始電圧

ランプ始動後の光束の立ち上がり時間を短縮することに対しては、図6.11のように発光管近傍にヒーターを設け予め発光管を加熱して点灯後の封入金属の蒸発を促進する方法が提案されている^{26) 27)}。この場合発光管端部を小さくしたり、保温膜を塗布して熱損失を少なくすることが必要である。



図6.10 ダブル発光管ランプ

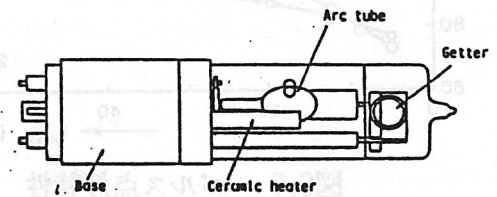


図6.11 ヒーター組込みランプ

6.3 点灯回路の電子化と放電ランプの将来方向

点灯回路の電子化を促進していく観点から、放電ランプの将来課題について本委員会で討議した結果の要約を記して本章の締めくくりとしたい。

(1) 調光特性

高周波点灯にすると発光効率が上がることを生かして放電ランプの光束をより上げる方向に進むであろう。全光束が大になると調光の要求が今以上に強くなるものと考えられる。高周波点灯では周波数可変により調光ができるため再点弧の問題が無く位相制御による従来方式より安定な調光が可能である。調光時の移動縞、放電電圧の上昇といった放電ランプの問題は高周波点灯特有の問題ではないが調光要求に答えるためにランプとして検討されたい点である。

(2) 管径と蛍光ランプ特性

陽光柱の発光効率は、バッファガスの非弾性衝突が顕著にならないかぎり電子温度が高いほど高くなる。電子温度の増加は管径を細くすることで得られるため、ある程度までは管径を細くしたほうが効率の面から有利である。従来のハロゲン酸カルシウム系蛍光体では管径を細くして管壁負荷を増加させると劣化が顕著になる問題があり細管化が難しかった。近年開発された希土類蛍光体は高負荷特性が優れているためこの障害が取り除かれコンパクト形蛍光ランプに代表されるように管径の細いランプが実用化された。管径の細いランプを商用電源周波数で点灯すると再点弧電圧の増加、ランプ力率の低下による放電電流、電流波高率の増加といった問題が有り細管化のメリットが必ずしも充分に得られない。高周波で点灯すれば上記の問題が生じないため細管化には高周波点灯が有利である。表6.3に示した高周波点灯専用ランプとして発表されている例もGE社を除き従来主流であった32mmから26mmと細い管径を採用している。細管化は使用材料の削減、光源の小形化といったメリットがあるため今後も進むと考えられる。その場合、始動電圧の増加、調光特性の悪化といった問題を含め管径と蛍光ランプ特性の関係につき研究が進むことを期待する。

(3) 点灯周波数

高周波点灯の周波数は20kHz前後より出発し、近年は50kHz前後が主流である。周波数を高くすると一般的に回路部品を小形化できるため電子部品の高周波特性が向上するにつれ高い周波数へ移行してきた。この傾向は今後とも続くと予想される。その場合の大きな問題点は電波障害である（障害電波対策のために点灯回路はさほど小形にならない可能性もある）。点灯回路と同時にランプからの障害電波放射対策が重要になる。

対策方法として数百kHzでの電波障害対策はかなり困難であることが予想されるため、高効率の発振器開発という課題があるが一挙にMHz領域に上げてしまうことが考えられる。MHz領域になると無電極放電が可能になり電極を要しないため比較的複雑な形状のランプが製作可能になり、形状の面から電波障害対策が行いやすくなること、また透明導電フィルムによる電磁シールドが可能になってくると考えられるためである。

無電極放電は電極を要しないことにより種々の特長が期待でき、またHIDランプでは音響的共鳴現象を生じないなどの利点があるため今後の研究が期待される。

(4) HIDランプの高温再始動

HIDランプの使用上の大きな問題として高温再始動が指摘されている。現在この要求に対しては回路側で高電圧パルサーにより対処しているが、必要電圧が数十kVにもなるため強化絶縁が必要でありほとんど普及していない。HIDランプ用電子点灯回路は軽量である特長を生かして屋内用が主になると予想され、その場合高温再始動はより切実な問題になる。高温再始動電圧が数kV以下になれば実用的な領域になるため研究の進展を期待したい。

6.4 参考文献

- (1) 中道松郎：けい光灯の起動に及ぼす電源周波数の影響について，照学誌 45-5 (昭35) 170-178
- (2) Waymouth, J.F.: Electric Discharge Lamps, MIT, Cambridge (1971) 59
- (3) JEL502 電子式蛍光灯安定器，日本電球工業会規格 (昭63)
- (4) 元木幹雄：放電応用装置，日刊工業新聞社 (昭41) 10
- (5) Waymouth, J.F.: Electric Discharge Lamps, MIT, Cambridge (1971) 72
- (6) Verderber, R.R., Morse, O. and Rubinstein, F.: Effect of Filament Power Removal on a Fluorescent Lamp System, Cont. Rec. IEEE IAS Annu. Meet. (Ind. Appl. Soc.) 20th (1985) 1689-1693
- (7) 御園，湯浅，安田：細管蛍光ランプの基本特性，第3回光源物性とその応用研究会資料，光放射の応用・関連計測研究会，AR-88-16, LS-88-20, PE-88-08 (1988) 56-64
- (8) Polman, J., Van der Werf, J.E. and Drop, P.C.: Non-linear Effects in the Positive Column of a Strongly Modulated Mercury Rare Gas Discharge, J.Phys.D: Appl. Phys. 5 (1972) 266-278
- (9) 山根幹也，渡辺良男：二条の放電路を有する放電管の分流機構，照学誌 63-9 (昭54) 549-557
- (10) Hammer, E.E.: High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamps up to 500 kHz, J.Illum.Eng.Soc. 16-1 (1987) 52-61
- (11) 竜子，藤野，河村，紀本，久保，板谷：可変色放電を用いた表示装置，電子ディスプレイ研究会資料，電子ディスプレイ研究会，EID87-71 (1988) 47-54
- (12) Groot, J.J., Jack, A.G. and Coenen, H.: High Frequency Operation of Low Sodium Lamps, J.Illum.Eng.Soc. 14-1 (1984) 188
- (13) Takahashi, M.: On the Luminosity vs Current Form of a Fluorescent Discharge Lamp., J.Light & Vis. Env. 5-1 (1981) 6-10
- (14) Watanabe, Y., Ono, T., Matuno, H. and Murayama, S.: Discharge Waveform for a Narrow-tube Lamp and its Improvement Using a Switching Circuit, J.Light & Vis. Env. 8-1 (1984) 21-26

- (15) Groot, J. and Vliet, J.: The High-Pressure Sodium Lamp, Philips Tech. Library (1986) 208~226
- (16) Dinneman, J.W.: Acoustic Resonance in High Frequency Operated Low Wattage Metal Halide Lamps, Philips J. Res. 38-4/5 (1983) 263 ~272
- (17) 岡田, 森井, 和田: 音響的共鳴現象を防止したHID ランプの研究, 照学誌 71-6 (昭62) 339 ~343
- (18) Davenport, J.M. and Petti, R.J.: Acoustic Resonance Phenomena in Low Wattage Metalide Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 14-2 (1982) 633 ~642
- (19) Lake, W.H. and Davenport, J.M.: Low Wattage Metal Halide Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 11-1 (1982) 66~72
- (20) 小沢, 伊藤, 小山: 高圧ナトリウムランプの直流点灯時における放電現象の検討, 照学全大 (昭61) 32
- (21) 腰原, 棚木, 小佐々: HIDランプ用安定器の電子化, 電気関係四学会関西支部連大 (昭60) S9-7
- (22) GE, Lamp Specification Bulletin
- (23) 腰原, 越智, 杉浦: パルス点灯による高圧ナトリウムランプ発光特性の変化, 照学全大 (昭53) 22
- (24) 鈴木, 渡部, 齊藤, 土橋: 高圧気体中の放電開始におけるヒーターの効果, 照学全大 (昭58) 50
- (25) Kane, R.M. and King, N.R.: A 400W Instant Restrike Double Arc Tube HPS Lamp, Light. Des. Appl. 16-2 (1986) 31 ~36
- (26) 中西, 中川, 川越, 姫井: HID ランプの始動時間短縮に関する一考察, 照学全大 (昭63) 26
- (27) Inoue, A. and Honda, K: A Rapid-Light Miniature Metal Halide Lamp, Light. Res. Technol. 18-4 (1986) 185~189

第7章 あとがき

以上、本報告書では、電子点灯回路と放電ランプの現状を把握し、両者が抱えている問題点を明らかにすると共に、電子点灯回路に適合する放電ランプのあり方について調査研究した結果について述べた。

何分にも本報告書は、各委員が多忙な本職の傍ら、短期間で取りまとめたため内容に十分意を尽くしていない点多々あるかと思われるが、本報告書が今後の放電ランプ点灯システム開発のためのマイルストーンと成れば委員一同望外の喜びである。

最後に、電子安定器に適した電圧・電流特性、電極、寿命、周波数特性などを持ち、かつ調光に適した放電ランプの開発が積極的に推進されるよう希望したい。それに付随して電氣的形状的規格、ノイズ抑制、ランプの多様化に伴う規格の統一などの問題も顕在化すると考えられるが、然るべき委員会等で引続き検討されることを期待する。

関連文献

原則として昭和61年9月～昭和63年12月に発表された文献よりリストアップした。昭和61年8月以前の文献リストは照明学会 電子点灯回路の実用化研究調査報告JIER-009および電気学会 技術報告 (II部) 第172号に記載されている。なお、昭和63年度照明学会東京支部大会は平成元年3月に開催されたが、これを含めることとした。文献リスト中で下線を引いた数字は巻を示す。

1. 一般(101)～(163)
 2. 電子回路式安定器(201)～(245)
 3. 放電灯モデルと点灯回路解析(301)～(326)
 4. 点灯・放電形式(401)～(477)
 5. 限流・再点弧以外の機能(501)～(513)
 6. 波形障害(601)～(607)
 7. 一括高周波点灯システムと放電灯点灯制御システム(701)～(716)
 8. 放電灯安定器の信頼性保証ならびに電子回路式安定器部品(801)～(805)
 9. 放電灯と安定器の協調および電子回路式安定器とその放電灯(901)～(916)
 10. 一般照明以外への照明応用(産業用など)(1001)～(1026)
-
- (101) Zieseniss C-H: Kostensparende Industriebeleuchtung mit Leuchtstofflampen, Ind. Anz. 108-24/25 (1986) 56～57
 - (102) 中野, 石井, 武田, 願念, 田中: コンパクトけい光灯BB及びBBダウンライト, 三菱電機技報 60-5 (昭61) 357～361
 - (103) Jack, A. G. and Vrehan, Q. H. F.: Progress in Fluorescent Lamps, Philips Tech. Rev. 42-10/12 (1986) 342～351
 - (104) Di Fraia, L.: Analisi Energetica Degli Impianti Di Illuminazione, Installatore Ital. 37-7 (1986) 1327～1331
 - (105) 池田貞太: 新世代を迎えたけい光ランプ, 住宅設備 8-1 (昭62) 55～61
 - (106) Smith, K. H.: Electronic Ballasts Produce Substantial Cost Savings, Build. Des. Constr. 27-11 (1986) 110～112
 - (107) Germer, J.: Bright Lights. The New Bulbus are Energy-efficient, Glamoras, and Ezpensive. Are They Worth the Money?, Prog. Build. 11-11 (1986) 21～24
 - (108) 梅岡則広, 木村友紀: 新開発のコンパクトけい光ランプと器具, 東芝レビュー 42-1 (昭62) 57～60
 - (109) Berman, S. M., Verderber, R. R., Clear, R. D., Hollister, D. D., Li, F., Levy, J., Mors, O. C., Rubinstein, F. M. and Siminovitch, M. J.: Lighting Systems Research, US DOE Rep. LBL-20203 (1986) 3-74～3-81
 - (110) Cahana, M. Z.: A Rich New Palette of Light Sources, Architecture 76-2 (1986) 86～89
 - (111) 奥野郁弘: 小形変形蛍光ランプ小特集 小形変形蛍光ランプの設計ポイント, 照学誌 71-1 (昭62) 7～10
 - (112) 田中紀彦: 小形変形蛍光ランプ小特集 4本チューブ構造コンパクトけい光ランプ, 照学誌 71-1 (昭62) 15～18

- (113) 鎌田敏男：小形変形蛍光ランプ小特集 照明設計および照明器具設計の立場から，照学誌 71-1 (昭62) 23～25
- (114) Rubinstein, F., Clark, T., Siminovitch, M. and Verderber, R.: The Effect of Lighting System Components on Lighting Quality, Energy Use, and Life-cycle cost, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 21st-2 (1986) 1685～1689
- (115) Zatyko, O. R.: Economic Advantages of Cathode Heat Cutoff in Fluorescent Lighting Systems, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 21st-2 (1986) 1690～1696
- (116) 井北昭浩, 乾健一：インバータ蛍光灯のメリットは，電気計算 55-7 (昭62) 89～92
- (117) Schade, P., Serger, K. and Samisch, H.: Werkstoffprobleme bei der Entwicklung Neuer Lichtquellen, Elektr. 41-1 (1987) 8～11
- (118) 坪秀三：光源の開発動向，National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 268～277
- (119) 三軒, 福田, 中村, 小原, 山口, 本望：片口金小形蛍光灯” ツイン蛍光灯” シリーズ，National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 286～293
- (120) 友清, 福田, 奥村：高演色性コンパクトメタルハライドランプ，National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 314～320
- (121) 富永, 堤, 斎藤, 北原, 池田：演色本位形高圧ナトリウムランプ” ハイカライト” の低ワット・コンパクト化，National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 321～327
- (122) Van Kemenade, J. T. C., Keijser, R. A. J. and Bolt, B. F.: New Possibilities for HPS Lamps in Indoor Lighting, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 150～161
- (123) 本田清和, 阿部良賢：自動車前照灯の現状と将来，照学誌 71-3 (昭62) 201～203
- (124) 佐土根範次, 西村政信：最近の照明用光源の種類と使い方，設備と管理 21-7 (昭62) 47～55
- (125) 本田, 阿部, 馬場：自動車用小形高輝度光源，東芝レビュー 42-9 (昭62) 662～665
- (126) Total Electronic Lighting system reduces operating costs., Electr. Constr. Maint. 86-12 (1987) 67～69
- (127) 横山光雄：注目されるインバータ式照明器具 その特長をさぐる，電気と工事 29-2 (昭63) 37～43
- (128) 下垣光太郎：一般照明用光源における実用性能上の問題点の改良，照学誌 71-10 (1987) 638～645
- (129) 電子点灯回路の実用化研究調査委員会報告，照学誌 71-12 (1987) 722～726
- (130) 竹内, 岸本, 日野谷：大型冷陰極形フラット蛍光ランプの開発，電子情報通信学会技術研究報告 87-364 (昭63) 1～6
- (131) 池田貞太：最近の光源とその特徴，住宅設備 9-6 (昭63) 39～44
- (132) 河本康太郎：蛍光ランプ実用化50年 ノイマンの実用化以降50年の蛍光ランプの発達，照学誌 72-5 (昭63) 237～245
- (133) 伊藤弘：蛍光ランプ実用化50年 蛍光ランプのコンパクト化と今後の動向，照学誌 72-5 (昭63) 264～267
- (134) 伊藤, 佐藤, 本間, 笠井, 袴田, 福原, 村岡, 岩井, 広瀬：21世紀への照明，建築と社会 69-7 (昭63) 61～95
- (135) Van Vliet, J. A. J. M.: From Light Source to Lighting Unit, NATO ASI Ser. E. 149 (1988) 353～366

- (136) 浦山隆：照明のためのパワーエレクトロニクス，照学誌 72-7 (昭63) 344~350
- (137) Pegg, J. C.: New and Effective Lighting Techniques, IEE Conf. Publ. 287 (1988) 100~103
- (138) 東忠利：最新の照明技術の応用II 光源と点灯回路，電気評論 73-8 (昭63) 836~842
- (139) Frier, J. P.: Taking Advantage of Low-Wattage HPS Luminaires, Plant Eng. 42-12 (1988) 66~69
- (140) 柳谷，白土，松下，小平：紫外線・赤外線遮断形H I Dスポットライトの開発，照学東京支部大 (昭61) 12
- (141) 山崎，北川，高津：透光性アルミナのメタルハライドランプへの応用，照学東京支部大 (昭61) 49
- (142) 野口透：光源小形化の基礎的問題，電気関係学会関西支部連大 (昭61) S56
- (143) 奥野有弘：蛍光ランプの小形化に伴う諸問題，電気関係学会関西支部連大 (昭61) S58
- (144) 東忠利：H I Dランプの小形化の諸問題，電気関係学会関西支部連大 (昭61) S59
- (145) 浦山隆：点灯装置の小形化に関する諸問題と今後の方向，電気関係学会関西支部連大 (昭61) S60
- (146) 大塚忠弘：光源の小形化と器具展開上の問題，電気関係学会関西支部連大 (昭61) S61
- (147) 浦山隆：点灯装置の小形化に関する諸問題と今後の方向，照学光の発生・関連システム研究会 LS-86-20 (昭61) 22
- (148) 磯野，曾禰，光井：陰極からの初期電子放出と気中破壊との関係，電気学会放電・高電圧合同研究会 ED-86-138 (昭61) 31
- (149) 西原，丹下，田房：表示用片端子型蛍光ランプ，照学全大 (昭63) 18
- (150) 大草祥一，佐々木強：高輝度冷陰極蛍光ランプ，照学全大 (昭63) 19
- (151) 山本康晴，椎名城治郎：高効率高圧ナトリウムランプ，照学全大 (昭63) 32
- (152) 小林駿介：液晶ディスプレイ用バックライト総論，電気関係学会関西支部連大 (昭63) S68
- (153) 宇佐見邦彦，山崎治夫：アマルガムの物性と蛍光灯への適用，照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-2 (昭63) 9
- (154) 浦滝，小玉，松野：小形片口金付紫外線ランプ，照学東京支部大 (平1) 7
- (155) 小玉，大野，泰楽：偏平断面形状を有する環形蛍光ランプの開発，照学東京支部大 (平1) 10
- (156) 加藤義人，横関一郎：演算増幅器によるコイルレス安定器について—第一報—，照学東京支部大 (平1) 13
- (157) 高津，伊藤，山崎：RGB発光を有するセラミックメタルハライドランプ，照学東京支部大 (平1) 14
- (158) 杉浦稔：店舗照明用小形H I Dランプ，照学東京支部大 (平1) 54
- (159) 三谷正孝：高周波の特徴・役割及び将来展開，照学東京支部大 (平1) 56
- (160) 赤塚美津雄，小山敦夫：住宅用照明器具におけるインバータの役割と技術動向，照学東京支部大 (平1) 57
- (161) 青池南城，矢島賢一：施設用照明器具におけるインバータの役割と技術動向，照学東京支部大 (平1) 58
- (162) 近田玲子：住宅照明の現状とこれから—H I D光源・蛍光灯の可能性をさぐる—，照学東京支部大 (平1) 67
- (201) 原田一彦：40Wけい光ランプ2灯用高周波電源，呉工業高等専門学校研究報告 22-1 (昭61) 67~70

- (202) 野口透：研究・技術の動向と展望 光源, 照学誌 70-11 (昭61) 574~578
- (203) 加藤義人：単巻き線インバータによる電子安定器, 電気設備学会誌 7-2 (昭62) 68~76
- (204) 小杉正くに：蛍光ランプ用電子安定器の開発, 都工技報 16 (昭62) 71~74
- (205) Heinrich, P. and Kroning, A.: Elektronische Vorschaltgerate, Licht 39-1 (1987) 148, 150~152, 154
- (206) Seki, K., Shida, J., Matsuki, H. and Murakami, K.: High Frequency Fluorescent Lamp Lighting Using Temperature-sensitive Magnetic Core, J. Light & Vis. Env. 10-1 (1986) 21~25
- (207) 西野博之, 大西雅人：蛍光灯デスクスタンド用インバータ装置, 松下電工技報 35 (昭62) 36~39
- (208) 清水恵一, 小平真二：電子安定器内蔵 小形メタルハライドランプを用いたスポットライト, 東芝レビュー 42-9 (昭62) 670~672
- (209) 仲矢文則, 乾健一, 木村友紀：高効率小形インバータ内蔵の住宅照明器具, 東芝レビュー 42-9 (昭62) 676~678
- (210) Yuhara, K., Nakaya, F. and Aoike, N.: High Frequency Operation Producing Double Hotspots on Electrodes for Fluorescent Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 16-2 (1987) 181~190
- (211) 山田, 岡本, 平松：ハーフブリッジインバータに於ける無負荷・ランプ寿命末期検出に関する一検討, 照学全大 (昭62) 15
- (212) 平松, 岡本, 山田：ハーフブリッジインバータに於ける出力制御方式の一検討, 照学全大 (昭62) 16
- (213) 金谷雅人, 水野銛章：昇圧形トランジスタインバータによる放電ランプ安定器, 照学全大 (昭62) 17
- (214) 水野銛章, 金谷雅人：放電ランプ用昇圧形トランジスタインバータの特性, 照学全大 (昭62) 18
- (215) 大西雅人, 西野博之：低ワット蛍光ランプ用電子安定器の開発, 照学全大 (昭62) 20
- (216) 仲矢, 乾, 湯原, 青池：蛍光ランプ用準E級一石式インバータの開発, 照学全大 (昭62) 21
- (217) 桑原, 赤塚, 小山：40W2灯用IC制御形インバータの開発, 照学全大 (昭62) 21
- (218) 藤井, 伊藤：コンパクト形蛍光ランプ用インバータの開発, 照学全大 (昭62) 23
- (219) 寺本, 松川, 平松：30W+32W蛍光灯用電子安定器の開発, 照学全大 (昭62) 24
- (220) 迫, 山田, 平松：自励式ハーフブリッジインバータによる蛍光灯用電子安定器の開発, 照学全大 (昭62) 25
- (221) 陰山素寛, 清積克行：電子式蛍光灯調光安定器, 照学全大 (昭62) 26
- (222) 清水, 乾, 青池：小形メタルハライドランプ用電子安定器の開発, 照学全大 (昭62) 40
- (223) 永瀬, 西村, 内橋：メタルハライドランプ70W用電子安定器の開発, 照学全大 (昭62) 41
- (224) 水野, 矢橋, 水谷：昇圧インバータによる蛍光ランプ用安定器, 名古屋工業大学学报 37 (1986) 159~162
- (225) Alling, W. R.: Important Design Parameters for Solid State Ballasts, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 22nd (1987) 1811~1816
- (226) 稲垣, 丸尾, 田口：NECソフトインバータ搭載蛍光灯照明器具, NEC技報 41-3 (昭63) 172~178
- (227) 前田孝義：照明器具の最近の動向II 蛍光灯用電子安定器 1 住宅照明器具用 電子安定器, 電

- 気設備学会誌 8-2 (昭63) 82~86
- (228) 伊藤俊樹：照明器具の最近の動向II 蛍光灯用電子安定器 2 施設照明器具用 電子安定器, 電気設備学会誌 8-2 (昭63) 87~92
- (229) 永瀬 西村, 内橋：高圧放電灯用電子式点灯回路の研究, 照学誌 72-2 (昭63) 85~90
- (230) 青池南城：蛍光ランプ実用化50年 蛍光ランプ用安定器・点灯回路50年の発達, 照学誌 72-5 (昭63) 255~265
- (231) 加藤義人, 大武寛和：電子安定器用高力率整流平滑回路の一方法, 照学誌 72-6 (昭63) 293~294
- (232) Nishimura, H., Nagase, H., Uchihashi, K., Shiomi, T. and Fukuhara, M.: A New Electronic Ballast for HID Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 17-2 (1988) 70~76
- (233) Faehnrich, H. J. and Rasch, E.: Electronic Ballasts for Metal Halide Lamps, J. Illum. Engng. Soc. 17-2 (1988) 131~140
- (234) 内橋, 西村, 永瀬 塩見：H I Dランプ用電子安定器の開発, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) G361
- (235) 岡本, 平松, 山田：ハーフブリッジインバータの自励・多制駆動による出力制御方法, 電気関係学会関西支部連大 (昭62) G373
- (236) 水野, 金谷, 岡田：昇圧形トランジスタ・インバータによる蛍光ランプ用安定器の改良(2), 電気関係学会東海支部連大 (昭62) 425
- (237) 岡田, 金谷, 水野：放電ランプ安定器用昇圧形トランジスタ・インバータの解析, 電気関係学会東海支部連大 (昭62) 430
- (238) 水野銛章, 石川太郎：放電ランプ用昇圧形トランジスタ・インバータの特性(II), 照学全大 (昭63) 33
- (239) 大西, 西野, 松川：他励式直列インバータにおける駆動回路の一考察, 照学全大 (昭63) 34
- (240) 山田, 竹内, 安宅：他励式直列インバータにおける並列点灯回路の一検討, 照学全大 (昭63) 35
- (241) 久保田論, 平伴喜光：蛍光灯用一石インバータの制御方式, 照学全大 (昭63) 36
- (242) 小松, 赤塚, 小山：蛍光灯3灯用ICインバータの開発, 照学全大 (昭63) 37
- (243) 仲矢, 高橋, 青池：FL20多灯用インバータの開発, 照学全大 (昭63) 38
- (244) 浜端, 曾我：蛍光灯高周波点灯における出力制御方式の一考察, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) G409
- (245) 松川, 安宅, 三谷：住宅用インバータバラスト制御回路部のIC化検討, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) G410
- (301) 水野, 矢橋, 石川：放電ランプ用トランジスタ・インバータの解析, 照学誌 70-10 (昭61) 531~536
- (302) Tola, M. and Bo, H.: Model Equation Characteristics of High-frequency Fluorescent Lamps, Light. Res. Technol. 18-2 (1986) 65~70
- (303) Mucklejohn, S. A. and O'brien, N. W.: Thermochemical Parameters for Use in Modelling Metal Halide Lamps, Light. Res. Technol. 18-2 (1986) 88~92
- (304) 沢田, 田頭, 酒井：H g / A r 混合ガス放電中の電子スオームパラメータのボルツマン方程式解析, 照学誌 71-2 (昭62) 138~144
- (305) 和辻浩一：蛍光ランプへの応用を目指した低圧水銀-アルゴン放電陽光柱のシミュレーションモデ

- ル, 照学誌 71-2 (昭62) 150~155
- (306) Takahashi, K.: Some Considerations Regarding the Performance of High Pressure Vapor Discharge Lamps, Jpn. J. Appl. Phys. Part1 25-12 (1986) 1908~1913
- (307) Sonnenburg, R. and Gundel, H.: Dynamische Modellierung von Leuchtstoff-lampen-plasmen, Elektrische 41-1 (1987) 15~16
- (308) 和辻浩一: 蛍光ランプ放電のシミュレーション技術の開発とその応用, National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 354~360
- (309) Tola, M., Nakamura, K. and Bo, H.: Model Equations of Fluorescent Lamps on the High Frequency Operation, J. Light & Vis. Env. 10-1 (1986) 1~7
- (310) 中西宣一郎, 姫井豊治: 状態変数方程式による高圧水銀ランプ点灯動作のシミュレーションモデル, 照学誌 71-6 (昭62) 327~332
- (311) 和辻浩一: 蛍光ランプシミュレーションモデルの高周波点灯への適用, 照学全大 (昭62) 14
- (312) 小林清作, 西内博: 蛍光灯安定器の磁場・振動解析, 照学全大 (昭62) 27
- (313) 石神敏彦: メタルハライドランプの発光管内ガス圧分布, 照学全大 (昭62) 31
- (314) Gluskin, E.: The Non-linear Theory of Fluorescent Lamp Circuits, Int. J. Electron 63-5 (1987) 687~705
- (315) Ozaki, S., Inoue, T. and Bo, H.: Calculation of the Instantaneous Luminous Flux for the High-Pressure Mercury Lamp Using Equivalent Conductance Modes, J. Light & Vis. Env. 10-2 (1986) 38~44
- (316) 沢田, 酒井, 田頭: Hg/Ar中の電離係数のボルツマン方程式解析—ベニング電離および累積電離を考慮—, 照学東京支部大 (昭61) 4
- (317) 板谷良平: 放電陰極特性の数値解析について, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) G357
- (318) 中西宣一郎, 姫井豊治: 高圧水銀ランプ点灯動作のシミュレーションモデル, 電気関係学会中国支部連大 (昭61) 88
- (319) 北守, 石塚, 下妻, 田頭: 電極を考慮したRF放電のモンテカルロシミュレーション, 電気学会放電・高電圧合同研究会 ED-86-119 (昭61) 69
- (320) 岡崎, 真壁, 山口: Arガス中RFグロー放電の時間特性のシミュレーション, 電気学会放電研究会 ED-87-43 (昭62) 39
- (321) 上林, 佐藤, 田頭: 窒素ガス中低気圧グロー放電のシミュレーション, 電気学会放電研究会 ED-87-44 (昭62) 49
- (322) 中西, 中川, 川越, 姫井: HIDランプの始動時間短縮に関する一考察, 照学全大 (昭63) 26
- (323) 岡村, 伊藤, 立原, 白土: 高圧ナトリウムランプにおける始動性の検討, 照学全大 (昭63) 27
- (324) 中西, 中川, 斎賀, 小松原: メタルハライドランプの動的数式モデルのための基礎方程式の検討, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) G407
- (325) 山本, 高倉, 吉岡, 谷河: 蛍光灯用サーマルスタータの始動性能, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) G408
- (326) 沢田, 酒井, 田頭: Xe/Ne混合ガス中の放電パラメータのボルツマン方程式解析, 照学東京支部大 (昭63) 1
- (401) Beachemin, D., Hubert, J. and Moisan, M.: Spectral and Characteristics of a Xenon

- Microwave-induced plasma lamp, Appl. Spectrosc. 40-3 (1986) 379~385
- (402) 原田一彦: メタルハライドランプの電圧による演色性の変化, 呉工業高等専門学校研究報告 22-2 (昭62) 69~71
- (403) 小宮, 梅岡, 尾岸: 小形変形蛍光ランプ小特集 アマルガム封入けい光ランプ, 照学誌 71-1 (昭62) 11~14
- (404) 伊藤秀徳, 井上昭浩: アマルガム封入蛍光ランプの立上り特性, 照学誌 71-1 (昭62) 145~149
- (405) Hammer, E. E.: Effects of Changing Line Voltage with Various Fluorescent Systems, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 21st-2 (1986) 1674 ~1679
- (406) Siminovitch, M. J., Rubinstein, F. M., Verderber, R. R. and Clark, T.A.: The Effects of Fixture Type and HVAC Integration on Fluorescent Lamp/ballast Performance, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 21st-2 (1986) 1680~1684
- (407) Reck, G.: Aussenleuchten mit Kompaktleuchtstofflampen, Licht 39-1 (1987) 30~32
- (408) Urayama, T. and Maeda, T.: Study on Characteristics for Lead-peak Type Ballasts for Discharge Lamps. Part II Characteristics of Lamp Current Waveforms under Lamp Operations, J. Light & Vis. Env. 10-1 (1986) 8~14
- (409) Hammer, E. E.: High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamp up to 500kHz, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 52~61
- (410) Hammer, E. E. and Purvis, G. M.: Variables Affecting F40 Type Fluorescent Luminaires, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 62~71
- (411) Moskowitz, P., Whitney, F. and Maya, J.: Efficacy Increases in Fluorescent Lamps under Axial and Transverse Magnetic Fields, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 105~116
- (412) Wada, S., Okada, A. and Morii, S.: Study of HID Lamps with Reduced Acoustic Resonances, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 162~175
- (413) Inouye, A. and Honda, K.: A Rapid-light Miniature Metal Halide Lamp, Light. Res. Technol. 18-4 (1986) 185~189
- (414) Kalachikov, V. A.: Reduction in the Weight and Overall Size of Lamp Power Supplies, Sov. J. Opt. Technol. 53-7 (1986) 420~423
- (415) Siminovitch, M. J., Rubinstein, F. M., Clark, T. A. and Verderber, R. R.: Maintaining Optimum Fluorescent Lamp Performance under Elevated Temperature Conditions, US DOE Rep [LBL-21004] (1986) 13
- (416) 岡田, 森井, 和田: 音響的共鳴現象を防止したH I Dランプの研究, 照学誌 71-6 (昭62) 339~343
- (417) 中西, 小松原, 姫井: 電子安定器による低圧ナトリウムランプの高周波点灯と制御, 照学誌 71-6 (昭62) 355~360
- (418) Allen, G. R., Lagushenko, R. and Maya, J.: Measurement of Sodium Ground-state Density Profile in a Metal-halide Lamp Using Laser Absorption Spectroscopy, J. Illum. Engng. Soc. 16-2 (1987) 13~20
- (419) Brates, N. W.: Pulsed Operation of a High Pressure Sodium Lamp, J. Illum. Engng. Soc. 16-2 (1987) 50~66
- (420) Siminovitch, M. J., Rubinstein, F. M., Clark, T. A. and Verderber, R. R.: Maintaining

- Optimum Fluorescent Lamp Performance under Elevated Temperature Conditions, Light. Des. Appl. 17-9 (1987) 35~41
- (421) Waymouth, J. F.: The Grow-to-thermionic-arc Transition, J. Illum. Engng. Soc. 16-2 (1987) 166~180
- (422) Zhou, T. M., Wang, L. Z., Hollister, D. D., Berman, S. M. and Richardson, R. W.: Magnetic Enhancement of Ultraviolet Radiation Efficiency of Low-pressure Hg-Ar Discharge, US DOE Rep. [LBL-22360] (1986) 15
- (423) 宇佐美邦彦, 山崎治夫: アマルガム封入蛍光ランプの光束ヒステリシス現象, 照学全大 (昭62) 11
- (424) 鈴木, 斉藤, 渡部: マイクロ波放電ランプの発光現象, 照学全大 (昭62) 37
- (425) 斉藤毅: 高圧ナトリウムランプの音響共鳴特性のシミュレーション, 照学全大 (昭62) 38
- (426) 近江, 水野, 石川: マイコン制御によるメタルハライドランプの高周波点灯の安定化, 照学全大 (昭62) 39
- (427) Donkin, A.: Electronics in Discharge Lighting, Image Technol. 69-11 (1987) 490~493
- (428) 水野銆章, 石川太郎: メタルハライドランプの高周波点灯のマイクロコンピュータ制御, 照学誌 71-10 (昭62) 622~625
- (429) 藤野, 竜子, 渡部: 蛍光ランプにおける紫外線放射特性 バッファーガスの影響, 明石高専研究紀要 29 (昭62) 39~45
- (430) 藤野達士, 竜子雅俊: 可変色放電灯の点灯特性, 明石高専研究紀要 30 (昭63) 27~33
- (431) 藤野, 竜子, 渡部: 蛍光ランプにおける紫外線高効率放射法 高周波パルス点灯, 明石高専研究紀要 28 (昭61) 39~48
- (432) Hammer, E. E.: Effects of Ambient Temperature on the Performance of Bent Tube Fluorescent Lamps, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 22nd (1987) 1775~1783
- (433) Kalinowsky, S. A.: Electrical and Illumination Characteristics of Energy Savings Fluorescent Lighting as a Function of Potential, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 22nd (1987) 1795~1802
- (434) 鈴木, 斉藤, 渡辺: マイクロ波放電ランプの発光現象, 三菱電機技報 62-3 (昭63) 267~270
- (435) 鈴木, 斉藤, 渡辺: マイクロ波放電ランプの発光現象, 照学誌 72-2 (昭63) 74~78
- (436) Volkovag, G. A. and Lyskov, V. G.: Brightness Stability of Capillary Flash Lamps, Instrum. Exp. Tech. 30 (1987) 226~227
- (437) Shyy, W. and Dakin, J. T.: Three-dimensional Natural Convection in a High-pressure Mercury Discharge Lamp, Int. Commun. Heat Mass. Transf. 15-1 (1988) 51~58
- (438) Keefe, W. M., Krasko, Z. K., Morris, J. C. and White, P. J.: Improved Low Wattage Metal Halide Lamp, J. Illum. Engng. Soc. 17-2 (1988) 39~43
- (439) Gilliard, R. P., Hillard, G. B., Ingold, J. H., Springer, R. H. and Dakin, J. T.: Metal Iodide Discharges in Horizontal Rotating Arc Tubes, J. Illum. Engng. Soc. 17-2 (1988) 77~93
- (440) 原田一彦, 山崎勉: 小形変形蛍光ランプの電源による分光分布の変化, 呉工業高等専門学校研究報告 24-1 (昭63) 37~65
- (441) Donkin, A.: Electronics in Discharge Lighting, SMPTE J. 97-8 (1988) 638~642

- (442) 伊藤秀徳, 湯原恒平: 多極放電蛍光ランプの特性, 照学東京支部大 (昭61) 2
- (443) 松島, 藪田, 能見, 田淵: アパーチュア蛍光ランプの開口角の検討, 照学東京支部大 (昭61) 3
- (444) 佐々木, 犬飼, 久野, 高西: 小型メタルハライドランプの特性改善, 照学東京支部大 (昭61) 8
- (445) 岡田稔之, 小佐々亮: 高演色高圧ナトリウムランプの効率改善の可能性, 照学東京支部大 (昭61) 9
- (446) 和迹浩一: 紫外放射の測定に基づく低圧水銀-希ガス放電の解析, 照学東京支部大 (昭61) 55
- (447) 田口, 久保, 板谷: 大電流冷陰極の重水素ランプへの応用, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) G356
- (448) 日野谷, 岸本, 寺田, 竹内: 冷陰極型フラット蛍光ランプの開発, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) G358
- (449) 日野谷, 寺田, 山本: 大形フラット蛍光ランプの開発, 電気関係学会関西支部連大 (昭62) G374
- (450) 久保, 田口, 坂谷: 大電流冷陰極の重水素ランプへの応用(II) 電気関係学会関西支部連大 (昭62) G375
- (451) 石倉, 石上, 石川: H I Dランプの高周波点灯, 電気関係学会東海支部連大 (昭62) 428
- (452) 高木, 秋山, 前田: 気流中におけるグロー放電の特性, 電気学会放電研究会 ED-87-142 (昭62) 1
- (453) 高橋, 金子, 安岡: グロー放電特性と等価回路, 電気学会放電研究会 ED-87-143 (昭62) 11
- (454) 青野, 黒河, 久保, 板谷: パルス放電における励起過程について, 照学全大 (昭63) 5
- (455) 松野博光, 村山精一: 蛍光灯における負グローの発光効率, 照学全大 (昭63) 7
- (456) 井上昭浩, 土橋義富: 小形蛍光ランプの不安定現象, 照学全大 (昭63) 8
- (457) 藤野, 竜子, 渡部, 板谷: H I Dホットランプの主電極間放電特性, 照学全大 (昭63) 23
- (458) 永瀬, 西村, 内橋, 塩見: H I Dランプの矩形波点灯における始動特性, 照学全大 (昭63) 25
- (459) 鈴木, 斎藤, 渡部: マイクロ波放電ランプのプラズマにおよぼすよう素の影響, 照学全大 (昭63) 28
- (460) 加藤義人, 大武寛和: 電子安定器用高力率部分平滑回路の一方, 照学全大 (昭63) 42
- (461) 前田, 郡山, 家村, 山口: ひずみ波の供給電圧の下における高圧水銀ランプ遅相形点灯回路の始動特性, 照学全大 (昭63) 44
- (462) 岸本, 小坂, 寺田: 冷陰極形フラット蛍光ランプ, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) S70
- (463) 豊田, 宍道, 桐畑, 田中: 分散型E Lの基礎特性(1), 電気関係学会関西支部連大 (昭63) S71
- (464) 田屋明, 畠山圭司: $E u_2$ +付活ハロリン酸塩蛍光体の残光特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-3 (昭63) 17
- (465) 石神敏彦: H I Dランプの発光特性・電気特性の理論的考察, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-6 (昭63) 1
- (466) 藤野, 竜子, 渡辺, 板谷: H I Dランプの消灯・再点灯特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-7 (昭63) 17
- (467) 和迹浩一: 蛍光ランプにおける陽光柱放射効率の周波数特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-8 (昭63) 21
- (468) 村山精一, 松野博光: 負グローを利用したランプの特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-9 (昭63) 31
- (469) 西野博之, 前田孝義: 蛍光ランプの高周波点灯における現象と特性, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-10 (昭63) 38

- (470) 横沢, 北守, 田頭: RFグロー放電のモンテカルロモデリング(1), 電気学会放電研究会 ED-88-42 (昭63) 1
- (471) 重野, 高橋, 齊藤, 西辻, 松浦, 坂口: Arグロー電気学会放電陽光柱の電子エネルギー分布の解析, 電気学会放電研究会 ED-88-45 (昭63) 31
- (472) 御園勝秀: 小電流熱陰極蛍光ランプのグロー・アーク転移, 照学東京支部大(平1) 2
- (473) 金田, 大曾根, 高橋, J. S. Chang: 極細管放電陽光柱の発光スペクトル特性, 照学東京支部大(平1) 3
- (474) 安田, 湯浅, 御園: 冷陰極蛍光ランプの陰極降下電圧の測定, 照学東京支部大(平1) 4
- (475) 中沢, 小松, 赤塚, 小山: 2灯並列式ICインバータにおけるランプ寿命時の検討, 照学東京支部大(平1) 12
- (476) 荒木, 岡村, 伊藤: 高圧ナトリウムランプのランプ電圧上昇に関する一考察, 照学東京支部大(平1) 15
- (477) 高津勝美, 山崎繁: セラミックメタルハライドランプの発光管内に発生する諸現象, 照学東京支部大(平1) 52
- (501) 吉田, 大原, 中川, 西倉: VDU電子クロスバー調光システム, 松下電工技報 33 (昭61) 28~33
- (502) 東川, 中井, 東方, 今村: 可変色蛍光ランプ, 及び点灯システム, 松下電工技報 34 (昭62) 21~26
- (503) Kane, R. M. and King, N. R.: A 400-W Instant Restrike Arc Tube HPS Lamp, Light. Des. Appl. 16-12 (1986) 31~35
- (504) 小沢正孝, 小山和孝: 高演色形高圧ナトリウムランプの定色温度化制御条件, National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 328~333
- (505) Lester, J. N., Proud, J. M. and Fallier, C. N.: Starting Hid Lamps with Spiral Line Pulse Generators, J. Illum. Engng. Soc. 16-1 (1987) 72~80
- (506) 福田, 友清, 奥村: 両口金形メタルハライドランプの始動特性, 照学全大 (昭62) 32
- (507) 村橋, 山崎, 高津: セラミックメタルハライドランプの封入ガスに関する考察, 照学全大 (昭62) 35
- (508) 須郷登輝男, 鈿持芳生: HID用調光器の開発, 照学全大 (昭62) 42
- (509) 小沢正孝, 小山和孝: 高演色形高圧ナトリウムランプの色温度予測式の導出(II), 電気関係学会関西支部連大 (昭61) G360
- (510) 大木, 小林, 山崎: 蛍光ランプの出力制御方式の検討, 照学全大 (昭63) 39
- (511) 次田和彦, 小林敏彦: 蛍光灯スタンド用電子式安定器の調光方式, 照学全大 (昭63) 40
- (512) 垣谷勉, 乾健一: ハーフブリッジインバータを用いた調光電子安定器, 照学全大 (昭63) 41
- (513) 伊藤, 小沢, 小山: 高演色形高圧ナトリウムランプの定色温度化制御方式, 照学全大 (昭63) 45
- (601) 長安克芳, 梅原孝司: けい光灯安定器の騒音・振動解析, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集 1986 (昭61) 13~16
- (602) 前田, 山口, 家村: 蛍光ランプ調光回路の高調波特性, 照学全大 (昭62) 19
- (603) 前田, 山口, 家村: 蛍光ランプ調光回路の高調波特性, 照学誌 71-10 (1987) 605~611
- (604) Liew, A. C. SR.: Excessive Neutral Currents in Three-Phase Fluorescent Lighting

- Circuits, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 22nd (1987) 1364~1371
- (605) Iemura, M., Maeda, S. and Yamaguchi, J.: The Harmonic Characteristics of 40W-Fluorescent Lamp Operating Circuit with a Leakage Transformer, J. Light & Vis. Env. 10-2 (1986) 45~56
- (606) 宮本昇三, 奥野郁弘: 蛍光ランプの不規則ちらつき評価法, 照学全大 (昭63) 22
- (607) 熊沢敏弘, 杉浦稔: HIDランプのチラツキについて, 照学全大 (昭63) 31
- (701) Verderber, R. R.: Review of Lighting Control Equipment and Applications. Minimizing Energy Consumption while Properly Lighting for Use of Space, Light. Des. Appl. 16-2 (1986) 45~49
- (702) Jones, N.: Lighter Costs with Lighting Control, Chartered Mech. Eng. 33-4 (1986) 35~36
- (703) 石井, 牧原, 小泉, 久代: オフィスビルの照明環境と照明制御システム, 三菱電機技報 60-5 (昭61) 309~313
- (704) Knisley, J. R.: Powerline Control Trims Lighting Energy Use, Electr. Constr. Maint. 86-6 (1986) 53~57
- (705) 浦山隆: 研究・技術の動向と展望 点灯制御回路, 照学誌 70-11 (昭61) 579~582
- (706) 松島公嗣: 照明演出と省エネルギーのための照明制御システム, 生産と電気 38-10 (昭61) 9~13
- (707) 三津田武久, 徳永重行: エネルギーを有効活用する照明制御システムの動向, 生産と電気 38-10 (昭61) 142~21
- (708) 佐藤勝夫: 電力搬送による照明設備制御, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集 23 (昭61) 579~582
- (709) Schade, B.: Technischer Komfort und Energiesparender Betrieb Durch Leitungslose Lichtschalter, Siemens Energ. Autom. 8-6 (1986) 381~383
- (710) 秋葉修, 黒田光信: フル2線式リモコンによる照明制御, 電気設備学会誌 7-3 (昭62) 188~191
- (711) 前田勉, 林修二: 蛍光ランプ点滅装置, NEC技報 40-3 (昭62) 177~179
- (712) Knisley, J. R.: Lighting Control Techniques Reduce Unnecessary Energy, Electr. Constr. Maint. 86-6 (1987) 81~85
- (713) 吉宮弘志: インテリジェントビルの照明をめぐるソフトウェアとハードウェア インテリジェントビルにおける照明の制御, 電気, 情報関連学会連大 (昭62) 2.144~2.147
- (714) Dulanski, G.: Dimming: Another side of light control, Light. Des. Appl. 17-12 (1987) 31~35
- (715) Peterson, D.: California Title 24 Lighting Controls Encourage Automated Control Technologies, Energy Eng. 85-1 (1988) 47~57
- (716) Verderber, R. R.: Review of Lighting Control Equipment and Applications, Energy Eng. 85-1 (1988) 19~28
- (801) Seeger, D.: Internationale und nationale Normung, Licht 38-7 (1986) 485~488
- (802) Carriere, L. A. and Rea, M. S.: Economics of Switching Fluorescent Lamps, Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. 21st-2 (1986) 1697~1709
- (803) 関, 志田, 村上: 感温インバータによる蛍光ランプの温度依存性改善法, 計測自動制御学会論文集

- 23-6 (昭62) 642~643
- (804) Yahraus, T. G.: HID Luminaire Output as a Function of Component Temperature Variance, Light. Des. Appl. 17-8 (1987) 38~45
- (805) 関, 千葉, 志田, 村上: 感温磁心の蛍光灯点灯回路への応用, 照学東京支部大 (昭61) 5
- (901) 松岡, 伊藤, 畑, 平松: 高効率電球形けい光ランプ・コスモボール<1とう星>, NEC技報 39-4 (昭61) 94~100
- (902) 細谷勝幸, 鈴木篤: 小形変形蛍光ランプ小特集 電球形蛍光ランプ (分離ダブルU形) について, 照学誌 71-1 (昭62) 19~22
- (903) 三軒, 福田, 松村, 山崎, 明星, 宇佐見: 新電球形蛍光灯”ライトカプセル”, National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 278 ~285
- (904) 能見, 吉川, 今井: 新”電子回路ライトカプセル” シリーズおよび”電子回路ツインカプセル” 27形, National Tech. Rep. 33-3 (昭62) 294~300
- (905) 井上, 梅岡, 木村: 小形高照度蛍光ランプ ユーラインフラットと電子ネオボール, 東芝レビュー 42-9 (昭62) 658~661
- (906) Rasch, E.: Properties and Performance of Compact Fluorescent Lamps with Integral HF Electronic Ballasts, Light. Des. Appl. 17-9 (1987) 28~34
- (907) 西勝, 山崎, 安西: 高光束電球形蛍光灯の検討, 照学全大 (昭62) 12
- (908) 吉川, 能見, 今井: 100W電球相当の光束をもつ電球形蛍光灯, 照学全大 (昭62) 13
- (909) Flickinger, J., Solenberger, J., Craig, M. and Frisch, D.: 3-D Molded Board Technology in Solid State Lighting Ballasts, Proc. Tech. Program Natl. Electron Packag. Prod. Conf. (1988) 193~195
- (910) Helle, Energiebremse.: Langzeitlampe Mit Elektronischem Vorschaltgerät, Elektr. Energ. Tech. 33-3 (1988) 52~54
- (911) 石塚, 佐々木, 伊藤, 本田: 電球形蛍光ランプの非定常熱解析手法の考察, 照学全大 (昭63) 9
- (912) 石塚, 佐々木, 本田, 伊藤: 電球形蛍光ランプの熱解析シミュレーション, 照学全大 (昭63) 10
- (913) 本田, 伊藤, 石塚, 佐々木: 電球形蛍光ランプの熱解析シミュレーションの応用, 照学全大 (昭63) 11
- (914) 上田, 御園, 田中, 尾岸, 吉川: 100W電球相当の高光束電球形蛍光ランプ, 照学全大 (昭63) 15
- (915) 乾健一: 調光形電子安定器と蛍光ランプとのインターフェイス, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-88-11 (昭63) 49
- (916) 吉田, 八木, 小宮: 鉄芯安定器内蔵新電球形蛍光ランプの開発, 照学東京支部大 (平1) 11
- (1001) 新井, 須永, 笠間: 照明コントロールシステム, 電気設備学会誌 6-2 (昭61) 16~21
- (1002) 河本康太郎: 研究・技術の動向と展望 光放射の応用, 照学誌 70-11 (昭61) 596~601
- (1003) Schwarz, A.: Holograhie. Die Neue Magie der Buhne, Maschinenmarkt 93-10 (1987) 95~102
- (1004) 竜子, 藤野, 紀本, 久保, 板谷: 可変色放電のネオンサインへの応用, テレビジョン学会技術報告 10-47 (昭62) 33~38
- (1005) Anzai, Y., Saikatsu, T., Yamazaki, H. and Watanabe, K.: Rare-gas Discharge Lamps Suitable for Industrial Use, Light. Des. Appl. 17-2 (1987) 33~38
- (1006) Blake, D. E. and Mckenzie, L. H.: A New Generation of UV Processors: Compact, Light,

- Weight, High Intensity, Tech. Pap. Soc. Manuf. Eng. [FC-86-853] (1986) 10
- (1007) 山崎, 安西, 山ノ下: 植物育成用パルス光発生方式の検討, 照学全大 (昭62) 51
- (1008) Jensen, G. A: Applications of Radioluminescent Lighting, Trans. Am. Nucl. Soc. 55 (1987) 243~244
- (1009) Baba, S. A. and Mogami, Y.: Device for Controlled Intensification of the Light Output of Xenon Flash Tubes, Rev. Sci. Instrum. 58-7 (1987) 1312~1313
- (1010) 安西良矩: 記録用光源としての蛍光ランプ, 電子写真学会誌 27-1 (昭63) 39~45
- (1011) 西山英夫: 白熱電球・高圧水銀ランプの情報記録機器への応用, 電子写真学会誌 27-1 (昭63) 46~50
- (1012) 中嶋八平: 記録用光源としてのフラッシュランプとその応用, 電子写真学会誌 27-1 (昭63) 51~56
- (1013) 牧野六彦: 殺菌用紫外線ランプの現状, 月刊食品流通技術 17-3 (昭63) 27~30
- (1014) 日野谷, 岸本, 寺田: LCDバックライト用冷陰極形フラット蛍光ランプ, テレビジョン学会技術報告 12-15 (昭63) 49~54
- (1015) English, G. J., Levin, R. E. and Rothwell, H. L. JR.: HID Light Sources in Navigational Aid Applications, J. Illum. Engng. Soc. 17-2 (1988) 51~60
- (1016) 森田政明, 洞口公俊: 植物生育用光源の開発状況, 電気学会光応用・視覚研究会 LAV88-9-12 (昭63) 25~34
- (1017) 東忠利: 太陽放射エネルギーの特性と交換・輸送技術の展望 ソーラシミュレータ用光源の特性と太陽熱集熱器性能評価用ソーラシミュレータ, 電気・情報関連学会連大 (昭63) 2.143~2.146
- (1018) 狩野雅夫, 倉橋浩一郎: 大形ディスプレイ用光源の諸問題と今後の方向, 電気関係学会関西支部連大 (昭61) S62
- (1019) 狩野雅夫: 大形ディスプレイ用光源の諸問題と今後の方向, 照学光の発生・関連システム研究会 LS-86-22 (昭61) 36
- (1020) 秋山順悦, 新羅久美: 写真製版明室作業用蛍光ランプの開発, 照学全大 (昭63) 17
- (1021) 丹下, 富田, 渡辺, 藤原: 液晶用バックライトの開発, 照学全大 (昭63) 20
- (1022) 重田照明, 大竹史郎: 反射板式液晶用バックライト, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) S73
- (1023) 村上, 大塚, 阪口: エッジライト方式液晶ディスプレイ用バックライトの設計, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) S74
- (1024) 小川壯一郎, 佐野寿彦: 車載パネル用バックライトについて, 電気関係学会関西支部連大 (昭63) S75
- (1025) 清水隆夫: 液晶バックライト用蛍光ランプの開発, 照学東京支部大 (平1) 5
- (1026) 犬飼伸治: 自動車前照灯小型HIDランプ, 照学東京支部大 (平1) 53

