

# 省電力・長寿命電球形蛍光灯「パルックボールプレミア<sup>TM</sup>」

Power-Saving, Long-Life Compact Fluorescent Lamp “Pa-look Ball Premier”

恒 藤 祐 二  
Yuji Tsuneto

安 藤 保  
Tamotsu Ando

岩 崎 誠  
Makoto Iwasaki

高 橋 暁 良  
Akira Takahashi

岩 瀬 友 輔  
Yusuke Iwase

イ ス テ イ コ マ  
Istikomah

## 要 旨

60 W形白熱電球と同じ全長110 mm, 同じ明るさ810 lmであり, 消費電力が10 Wである電球形蛍光灯を開発した(現行品比17%低減)。発光管長を伸ばし水銀蒸気圧を最適化した発光管と, その発光管を安定に点灯させることのできる高出力かつ小形点灯回路の開発によりそれを実現した。かつ, 発光管に封着するフィラメントコイルは新たに4重巻きとし, エミッタ保持力を向上させ, 寿命10000時間を実現した(現行品比67%増)。また, 他励式発振制御回路によるフィラメント予熱により, 頻繁に点灯・消灯をした際の短寿命を抑制した。これらにより電球形蛍光灯のいっそうの普及が期待できる。

## Abstract

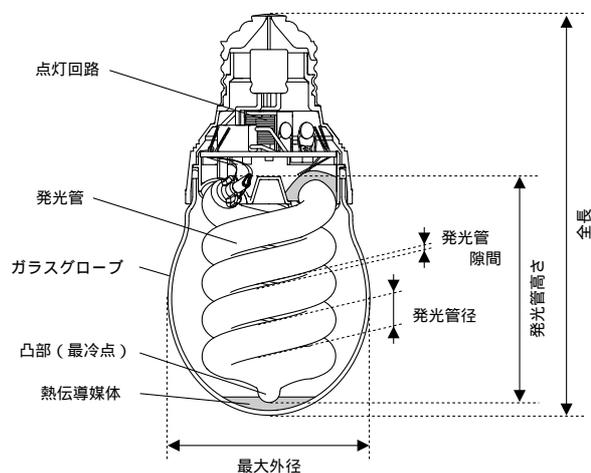
We developed a compact fluorescent lamp that is the same lamp length (110 mm) and provides the same lumen output (810 lm) as a 60 watt incandescent filament lamp but whose electric power consumption is only 10 watts. This is 17% lower compared to the current model. We achieved stable lighting by employing a long arc tube, optimizing the mercury pressure of the lamp, and utilizing a small circuit ballast which can produce high voltage output. Furthermore, a rated life of 10000 hours was achieved through the development of a fourfold filament coil that can hold more emitter. This is more than 67% over that of current model. Pre-heating of filament coil with separately-excited oscillating circuit prevented short lamp life from frequent switching on and off. As a results, we can expect further spread of the use of compact fluorescent lamps.

## 1. はじめに

電球形蛍光灯は, 白熱電球に比べて省電力・長寿命な光源であり, 既設の白熱電球用照明器具に取り付けるだけで使用できる<sup>(注)</sup>ため, 白熱電球代替の省エネルギー光源として非常に期待されている。

電球形蛍光灯は, 主として発光管とそれを点灯させる点灯回路から構成され(第1図), 国内市場では, 発光管を白熱電球に模したガラスグローブへ収納した形状に対する要望が大きい。限られた領域に収納するため, 中空円柱のガラス管を複数回折り曲げたり, もしくは折り曲げたガラス管同士をつなぎ合わせる「ブリッジ接合」発光管形状が主流であった。しかし, ガラスは元来, 鋭角に曲げるほど歪(ひずみ)が生じやすく, またブリッジ接合部はガラス管より細くなるため, 発光管が細い場合強度不足が懸念される。一方, 二重螺旋(らせん)形状(以下, スパイラルという)に形成された発光管は, ガラスが鋭角に曲がり局部に歪が集中することなく, またブリッジ接合部も無いため, ガラス強度を保った小形化に適しているといえる。

(注) 調光機能付き器具, 断熱材施工器具, 誘導灯器具など, 一部使用できない器具もある。



第1図 電球形蛍光灯構造(現行品)

Fig. 1 Structure of compact fluorescent lamp (current model).

具体的にスパイラル発光管を採用して, 60 W形白熱電球と同じ全長と同じ明るさで, 消費電力が12 W, 寿命が6000時間である電球形蛍光灯(以下, 現行品という)を実用化し, 普及が拡大してきた。

筆者らは, さらなる省電力・長寿命化により経済性を向上させるとともに, 頻繁に点灯・消灯を繰り返す場所に不向きといった使用制約事項を改善することによって,

いっそうの普及が期待できると考えた。

本稿では、現行品に比していっそう省電力・長寿命であり、点滅性能を向上させた電球形蛍光灯「バルックボールプレミア」について述べる。

## 2. 製品仕様

開発に先立ち、以下の仕様を目標に設定した。

- (1) 器具適合率の観点より、全長/最大外径を現行同一110 mm / 55 mmとする。
- (2) 経済性向上のため、消費電力を10 Wとする。
- (3) 同じく経済性の向上と廃棄物削減の観点から、寿命を10000時間とする。
- (4) 頻繁に点灯・消灯を繰り返す場合の短寿命を抑制し、センサ器具へ対応可能とする。

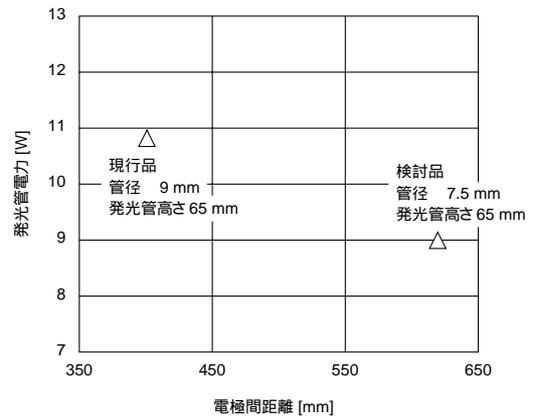
## 3. 省電力化

### 3.1 管長化・管細化

電球形蛍光灯の発光効率は、発光管長すなわち電極間距離が長いほど高くなる。これは電極間距離が長くなると、発光管入力に占める電極損失割合が減少し、発光に寄与する割合が増大するからである<sup>1)</sup>。したがって、筆者らは現行品と同じくスパイラル発光管を用い発光管長をいっそう長くすることを試みた。しかし、発光管径を変えず発光管を伸ばすと形状が大きくなる。現行品は既に60 W形白熱電球と同全長110 mmを実現しており、全長を大きくすることは市場要望に反する。したがって、ガラスグローブに収納された発光管部分を略円柱と見なし、その体積をほぼ一定に保ち、発光管径を細くしつつ発光管長を伸ばす検討を行った。

発光効率の発光管径依存性はさほど大きくない<sup>2)</sup>が、発光管径を細くする場合、発光管両端に封着する電極の小形化が必要である。並行して行った4章で述べる電極検討の結果、発光管径を現行品 9.0 mmから 7.5 mmまで小径化することを可能とした。

発光管径を 7.5 mmとし発光管高さを現行品と同一にすると、電極間距離は現行品400 mmの約1.5倍まで延長できる。発光管隙間(すきま)は可能な限り小さく0.5 mmとした。ここで、この発光管(第2図, 検討品)は現行品と同じ明るさを、約17%電力を低減して出力可能であることを確認した。



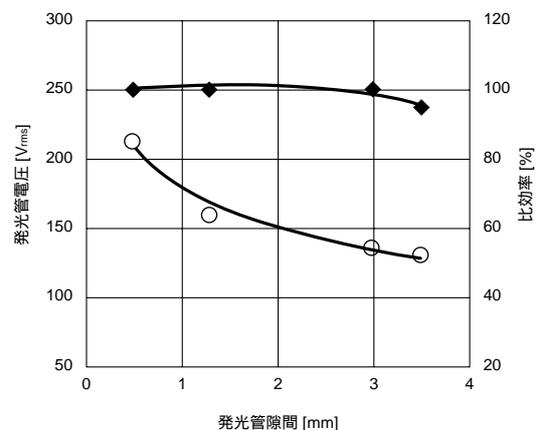
第2図 光束810 lm出力時の電極間距離 - 発光管電力

Fig. 2 Interelectrode distance - lamp wattage at 810 lm output.

### 3.2 発光管隙間最適化

前述の通り、電極間距離が長いほど効率は向上するが、次第に飽和傾向を示す<sup>1)</sup>。また、発光管隙間を小さくすると、発光管の内側中空領域に放射された発光成分が外に出ず光の利用率が低下する。発光管隙間を大きくしていくと、発光管高さを同じにした場合よりも電極間距離は短くなるものの光の利用率を向上できる。発光管高さを同一に保ち、発光管隙間を0.5 mmから広げて3.0 mmとしてもほぼ同じ効率であることを確認した。効率は同じであっても発光管電圧は電極間距離に応じて差が生じる(第3図)。

したがって、開発品は点灯回路への負荷および材料重量を考慮し、隙間3 mmを採用した。この際の電極間距離は現行の約1.2倍(480 mm)である。



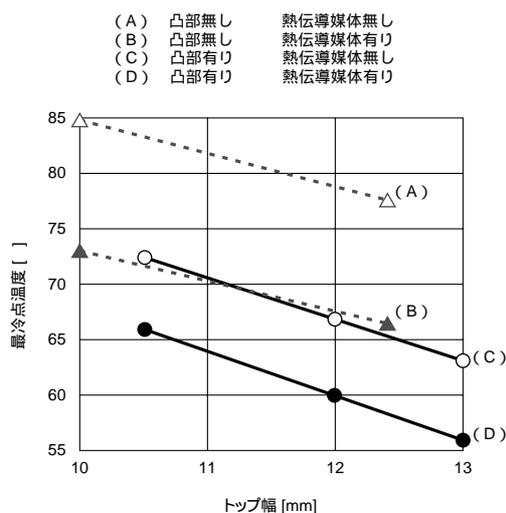
第3図 発光管隙間 - 発光管電圧 / 比効率

Fig. 3 Lamp gap - lamp voltage/relative efficiency.

### 3.3 水銀蒸気圧制御

発光管の発光効率は管内に封入した水銀の蒸気圧にも大きく影響される。アマルガムにより水銀蒸気圧を制御する場合を除き、水銀蒸気圧は発光管の中で最も温度の低い箇所（以下、最冷点という）の温度によって決定する。発光効率が最大となる最冷点温度を3.1, 3.2節にて検討した発光管の周囲温度特性にて確認すると、約60であった。

一方、最冷点温度は、発光管先端部に設けた凸部と、凸部とガラスグローブを結合する熱伝導媒体および凸部が設けられた部分の発光管径（以下、トップ幅という）によって制御する<sup>3)</sup>。ここで、トップ幅は発光管製造プロセスの条件により、主たる発光管径とは独立して決定することが可能であるが、発光管の物理的強度を満足し得る範囲内でなければならない。開発品は、凸部を設け熱伝導媒体にて結合しトップ幅を12 mmとすることで、発光効率が最大となる最冷点温度60 を実現した（第4図）。



第4図 最冷点温度

Fig. 4 Temperature of most cold point.

### 3.4 点灯回路の高出力化、小形化

発光管長化に伴い、安定点灯時の発光管電圧も現行品 90 V<sub>rms</sub>から開発品 135 V<sub>rms</sub>へと上昇するため、点灯回路の高出力化が必要となる。開発品の点灯回路は、電源回路の平滑用コンデンサに昇圧コンデンサを加えインバータ回路の入力を上昇させることで出力を増す、倍電圧方式を用いた。

しかし、昇圧用コンデンサには容量 耐電圧積の大きなコンデンサが必要で、形状の大きなアルミ電解コンデンサを使わざるを得ない。そこで、まず5章で述べる他励式発振制御回路による予熱方式を採用し、サーミスタを

除去することで小形化を図った。また、現行品の電源回路部分では、インバータ回路および負荷回路にて発生するラインノイズに対し、AC側に配した雑音防止用コンデンサと平滑用コンデンサおよび固定インダクタにてノイズ除去フィルタを構成している。開発品はフィルタ構成を崩さず雑音防止用コンデンサをDC側へ移した方式とし、小形な積層セラミックチップコンデンサを採用した。

以上の取り組みにより、従来同等以下の形状で、約1.5倍の電圧を出力可能な点灯回路を実現した。点灯回路の形状と無負荷時の出力電圧を、第1表に示す。

第1表 点灯回路形状および回路出力電圧

Table 1 Circuit ballast shape and output voltage.

	現行品	開発品
回路形状	<p>39 mm -高さ26 mm</p>	<p>36 mm -高さ24 mm</p>
出力電圧 (無負荷)	<p>1.6 kV [P-P]</p>	<p>2.4 kV [P-P]</p>

## 4. 長寿命化

電球形蛍光灯に内蔵されている発光管の放電は、電極として用いられるフィラメントコイルに生じる熱電子を引き金として開始する。したがって、フィラメントコイルには、熱電子発生補助としてバリウム、ストロンチウム、カリウムの酸化物を主成分とするアルカリ土類金属酸化物を電子放射性物質（以下、エミッタと記す）として塗布している。エミッタは放電中のイオン衝撃により徐々に飛散していき、無くなると点灯回路の規定電圧で点灯できなくなる。それが不点灯寿命である。したがって、フィラメントコイル温度を適切に保ち、エミッタ飛散を抑制した条件下では、電球形蛍光灯の不点灯寿命はエミッタ量に比例するといえる。

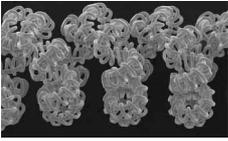
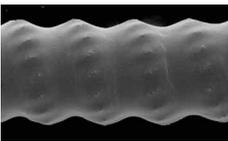
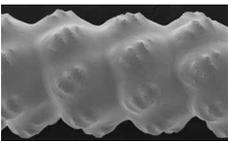
電球形蛍光灯の経済性を向上させるためには長寿命化も有効であると考え、エミッタ量の増量を検討した。フィラメントコイル自体を大きくすると、それに伴ってエミッタの塗布量も増し、長寿命化が可能である。しかし、先に述べた通り発光管の高効率化のためには管径を細くする必要があり、そこに封着するフィラメントコイルは

現行品よりむしろ小さいものが要望される。

そこで、現行品に採用している3重巻きフィラメントコイルに対し、加工負荷を軽減した細線加工技術を用いて、より細い線巻き付け、4重巻きフィラメントコイルを実現した（第2表）。これにより単位長当たりのエミッタ保持力を向上させ、その結果、従来比80%以下のフィラメントコイル形状に約1.5倍のエミッタ充填を可能とし、長寿命と小形化を両立した。

第2表 フィラメントコイル比較

Table 2 Filament coil comparison.

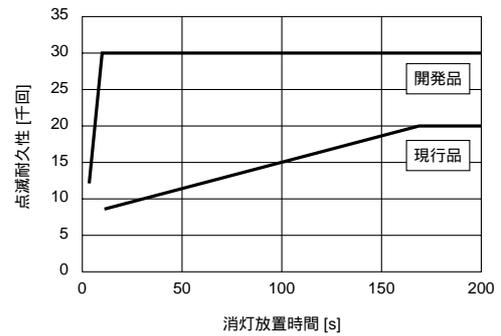
	3重巻き（現行品）	4重巻き（開発品）
エミッタ 塗布前		
エミッタ 塗布後		
エミッタ量	1.7 mg	2.5 mg
コイル長	5.4 mm	4.2 mm

## 5. 点滅性能の向上

点灯開始時にフィラメントコイルが適切な温度まで高まる前に放電が開始すると、熱電子の不足から放電開始電圧が上昇する。この電圧により加速されたイオン衝撃により、フィラメントコイルに充填されたエミッタの飛散が大きくなる。これが、蛍光灯が頻繁な点灯・消灯を繰り返す場所で短寿命となるゆえんである。したがって、近年、電球形蛍光灯の点灯回路では、サーミスタを共振コンデンサと並列に接続して、共振を鈍らせて予熱時間を確保する予熱方式が広く採用されている。

しかし、サーミスタの特性は温度に大きく依存し、現行品はサーミスタが十分機能を果たす温度まで下がるために10秒点灯後170秒の消灯放置時間を要するため、これ以前に再度電源を投入すると点滅耐久性が減少していく（第5図、現行品）。

そこで、消灯後の放置時間によらずフィラメントコイルが予熱される回路方式を検討した。電球形蛍光灯の点灯回路は、直流電源、インバータ回路および負荷回路から構成され、インバータ回路は2つの電圧制御形スイッチング素子と発振制御回路から構成され、発振制御回路は2つのスイッチング素子が交互にオンオフするようにその周波数を定めている。今回は、点灯開始時にスイッチン



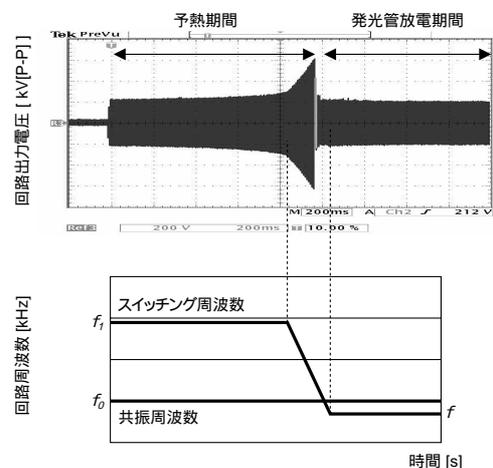
第5図 10秒点灯後の消灯放置時間 - 点滅耐久性

Fig. 5 Lamp off time after 10 second on - rapid cycle life.

グ周波数を $f_1$ から $f$ に変化させることのできる発振制御回路を採用し、負荷回路を主として構成するチョークコイルと共振コンデンサによって決まる共振周波数 $f_0$ を、 $f_1$ と $f$ の間に設定した。周波数が $f_1$ から $f$ に下がる過程で $f_0$ を通過する際、共振コンデンサに発光管を放電させるのに十分な共振電圧が発生する。第6図に、共振およびスイッチング周波数と点灯回路出力のタイミングチャートを示す。 $f_1$ および $f$ の値や変化に要する時間は発振制御回路端子に接続されたコンデンサおよび抵抗の値によって決まるため、消灯後の放置時間をコンデンサの電荷が抜け初期状態に戻るために必要な10秒だけとれば点滅耐久性が維持される（第5図、開発品）。

また、前述の4重巻きフィラメントコイルの採用によりエミッタ量を増したことで、点滅耐久性も比例して向上し、現行20000回から開発品30000回となった。

点滅条件の制約緩和と点滅耐久性の向上により点滅性能が向上し、頻繁に点灯・消灯を繰り返す器具（人感セ



第6図 周波数 - 出力電圧タイミングチャート

Fig. 6 Frequency - output voltage timing chart.

ンサ器具など)への対応が可能となった。

参考文献

6. まとめ

管径 7.5 mm, 電極間距離480 mmのスパイラル発光管

従来比80%以下の形状で, かつエミッタ保持力を向上させた4重巻きフィラメントコイル

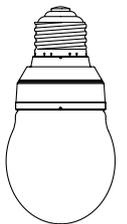
小形高出力で, 予熱を他励制御する点灯回路

以上の技術開発により, 現行品と比して形状を大形化することなく, 17%省電力・67%長寿命であり, かつ点滅性能を向上させた電球形蛍光灯「パルックボールプレミア」を開発した。第3表に, 主な仕様を示す。

地球温暖化に代表される環境意識の高まりから, 省エネルギー光源に対する期待は非常に大きいと認識している。いっそうの電球形蛍光灯の改良に取り組むだけでなく, ここで培った技術を, その他の蛍光灯にも展開していきたい。

第3表 現行品 - 開発品仕様比較

Table 2 Specifications comparison between current model and development model.

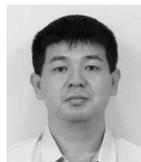
	現行品	開発品
姿図		
全長 [mm]	110	110
最大外径 [mm]	55	55
電力 [W]	12	10
寿命 [h]	6000	10000
点滅耐久性 [回]	20000	30000
放置時間 [s]	170	10

- 1) John F. Waymouth : Electric Discharge Lamps. p.21 (1971)
- 2) 渡辺良男 他: 管壁負荷一定での253.7 nm光発光効率の管径ならびに水銀蒸気圧, アルゴン封入依存性 照明学会誌 81, No.2, p.86(平成9年).
- 3) 高橋暁良 他: スパイラル形状発光管を用いた電球形蛍光灯の開発 照明学会全国大会講演論文集 p.51(平成17年).

著者紹介



恒藤祐二 Yuji Tsuneto  
照明社 照明システムR&Dセンター  
Lighting Systems R&D Center, Lighting Company



安藤 保 Tamotsu Ando  
照明社 照明システムR&Dセンター  
Lighting Systems R&D Center, Lighting Company



岩崎 誠 Makoto Iwasaki  
照明社 照明システムR&Dセンター  
Lighting Systems R&D Center, Lighting Company



高橋暁良 Akira Takahashi  
照明社 照明システムR&Dセンター  
Lighting Systems R&D Center, Lighting Company



岩瀬友輔 Yusuke Iwase  
照明社 照明システムR&Dセンター  
Lighting Systems R&D Center, Lighting Company



イスティコマ Istikomah  
パナソニック ライティング インドネシア  
Panasonic Lighting Indonesia