

蛍光灯におけるカタホレシス現象の解析

一番ヶ瀬 剛*

Cataphoresis Phenomenon of Fluorescent Lamps

Tsuyoshi ICHIBAKASE

Abstract

Cataphoresis Phenomenon of Fluorescent Lamps arises from deviation of mercury ions, and this phenomenon appear as the deviation of brightness on fluorescent lamps. This phenomenon is caused by means of low temperature or electric filed. In this paper, we tried the electric filed method, and we analyzed the Cataphoresis Phenomenon of Fluorescent Lamps.

Key words: Fluorescent lamp, Mercury lamp, Cataphoresis

1. はじめに

21世紀に入り省エネルギーに対する意識はより一層高まり、先進国のみならず世界的な問題として挙げられている。照明機器を取り上げると、家庭用白熱電球の生産・販売を2012年までに中止すると経済産業大臣が表明した⁽¹⁾。現在、照明機器として最も普及している蛍光灯においては、従来のグロースタータ式から屋内や屋外のみならず、液晶テレビやパソコンのバックライトとしても利用されている高周波点灯式（以下HF式）蛍光灯が多く普及してきている。HF式蛍光灯とは一般に電子安定器（以下インバータ）を用いて蛍光灯を点灯させる方法のことをいう。インバータで蛍光灯を点灯する一番の理由は、かつて一般家庭用として最も普及した磁気回路式安定器を含むグロースタータ式などの発光方法に比べて発光効率が高いからである⁽²⁾。HF式蛍光灯が多く普及し、蛍光灯の主流となってきているが、主に冬場においてHF式蛍光灯を使用中、蛍光灯管端部が薄い赤色に光るカタホレシス現象が発生する事例が確認された⁽³⁾。蛍光灯管端部が薄い赤色に光り蛍光灯の陰極側と陽極側での明るさが異なるカ

タホレシス現象が、HF式蛍光灯使用中に発生すると不便を生じる可能性がある。例えば、ディスプレイにカタホレシス現象が起こった場合、ディスプレイの表示品位を著しく損なうことになる。

本研究では、HF式蛍光灯において各条件でどのようにカタホレシス現象が起こるのかを調査し、確認をすることを目的としている。本実験では、カタホレシス現象の発生に及ぼす直流電圧の影響、直流電圧一定での周囲温度の影響を調査し、カタホレシス現象の発生状況の考察を行った。

HF式蛍光灯を使用中に発生事例のあるカタホレシス現象だが、HF式蛍光灯で実験を行う前にグロースタータ式蛍光灯を使用して実験を試みた。しかし、グロースタータ式蛍光灯では直流電圧を印加してもカタホレシス現象の発生は確認できなかった。そのため、発生事例の挙げられているHF式蛍光灯で実験を行うことにした。

2. インバータとカタホレシス現象

2.1 インバータの基本原理解

インバータの基本原理解を図2-1に示す⁽⁴⁾。インバータは商業用の交流電源（AC 100V）を、整流回路

を通して直流に変換する。その後、平滑回路（コンデンサ）を通じることでより直流に近い形にする。高周波インバータ（高周波発生回路）は、直流を高周波に変換する回路である。50kHz 前後の高周波に変換し、合わせて供給電力安定器の機能も有する。したがって、高周波インバータは出力を所定の消費電力に維持する機能を持っている。50kHz 前後の高周波で点灯するため目視ではちらつきを感じられないという利点もある⁽⁵⁾。

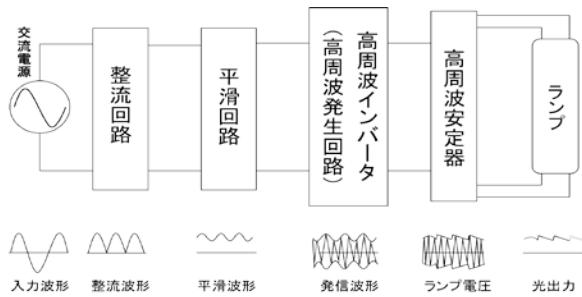


図 2-1 インバータの基本原理

2. 2 カタホレス現象

カタホレス現象の発生メカニズムについて説明する。

カタホレス現象とは、蛍光ランプを直流点灯もしくは直流電圧が印加されることにより、蛍光ランプ内にある正電荷を帯びて放電している水銀イオンが、陰極側に引き寄せられ移動する。その結果、陰極側に水銀イオンが偏り、水銀濃度が低くなった陽極側の輝度が低下することをいう⁽⁶⁾。

蛍光ランプを直流点灯した場合でのカタホレス現象を図 2-2(a)、2-2(b)、2-2(c)で各段階を追って説明する。

図 2-2(a)は放電開始直後の状態である。この状態では水銀イオンは蛍光ランプ内にほぼ均等に分布されており、輝度も陰極側、陽極側に偏りは無い。

図 2-2(b)は水銀イオン移動時の状態である。この状態では直流電圧が印加されたことにより、水銀イオンが蛍光ランプ陽極側から陰極側へ移動を始め、陽極側の輝度低下が徐々に始まる。

図 2-2(c)はカタホレス現象発生時の状態である。この状態では外部から印加された直流電圧により、蛍光ランプ内の大部分の水銀イオンが陰極側に移動することで、陽極側の水銀イオン濃度が低下し陽極側では希ガス（蛍光ランプに水銀と共に封入されたアルゴンガス）発光になり輝度が低下する。

以上がカタホレス現象の発生メカニズムである。

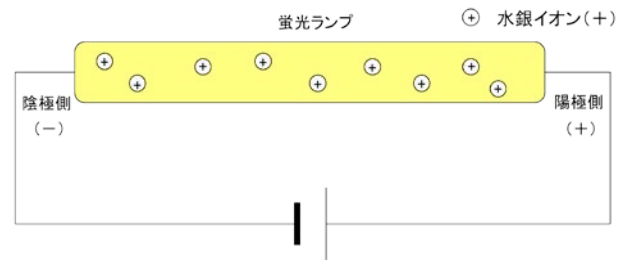


図 2-2(a) 放電開始直後

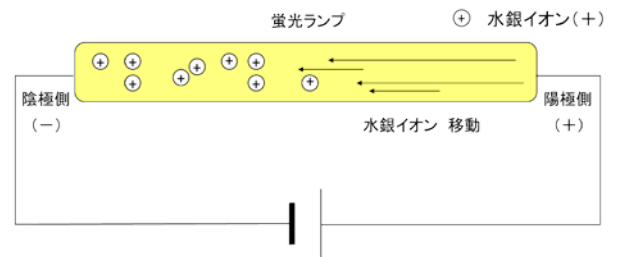


図 2-2(b) 水銀イオン移動時

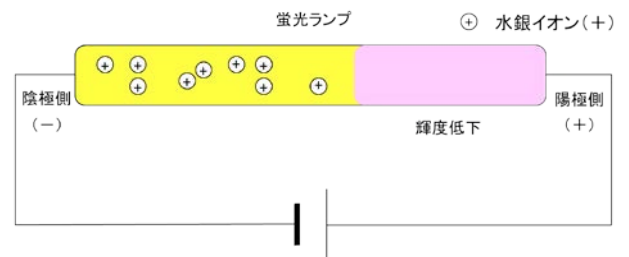


図 2-2(c) カタホレス現象発生時

3. 実験内容

3. 1 実験装置

本研究に使用した実験装置の外観を図 3-1 に示す。本実験に用いた機器は、蛍光ランプ：NOATEK 社製 NBL-20（長さ 540mm、直径 20mm）、直流電源装置：ISOTECH 社製 IPS601A（電圧範囲 0~60V）、電圧・電流計：MASTECH 社製 MS8218（測定範囲 DC 電圧：1 μ V~1000V、DC 電流：0.01 μ A~10A）、紫外線強度計：佐藤商事社製 UVA-365（測定波長域 320~390nm）を使用した。さらに、実験室の室温を測定するために温度計を使用している。



図 3-1 実験装置の外観

図 3-2 は実験装置の構成図を示す。本実験では HF 式蛍光灯を高周波点灯させるインバータは市販されている NOATEK 社製のインバータを使用した。そのため、図 3-2 の構成図では高周波電源として示すことにする。役割は基本的に図 2-1 のインバータの基本原理と同じ働きをする。そして、蛍光灯を高周波点灯するための電力を供給する。また本実験では、点灯中の蛍光灯に直流電圧を印加しカタホレス現象を発生させたため、図 3-2 のように直流電源が必要になる。ここで高周波電流が直流電源側に流れ込むと蛍光灯の点灯に必要な電力が減少する。これを防ぐためにチョークコイルを使用している。チョークコイルは高周波電流を遮断すると同時に、直流電流を通過させる働きを持っている。電圧、電流の測定には、前述の MASTECH 社製 MS8218 を使用した。

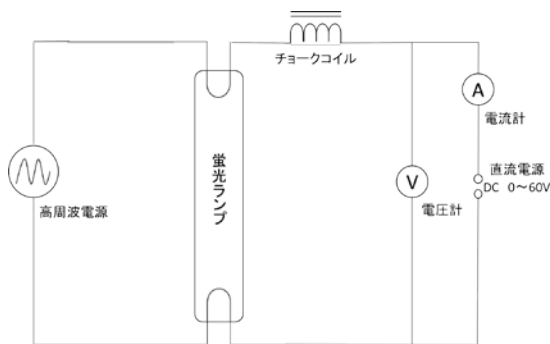


図 3-2 実験装置の構成図

3. 2 実験方法

本実験では、図 3-1 の実験装置を用いて HF 式蛍光灯に直流電圧を印加することでカタホレス現象を発生させ、カタホレス現象の発生に及ぼす直流電圧の影響、直流電圧一定での周囲温度の影響について調査を行った。蛍光灯の発する紫外線は水銀イオンから出る。従って、紫外線強度は蛍光灯内の水銀イオンの濃度を直に反映している。カタホレス現象は水銀イオンの移動現象によって発生するため、紫外線強度を測定することでその位置での水銀イオンの濃度を推定することができる。本実験を行う際は、以下の手順で行った。

- ・実験を行う際は日中を通して温度変化の少ない、また外部からの光を遮断できる場所で実験を行った。
- ・HF 式蛍光灯を点灯させると共に、直流電源のスイッチを入れ 5V の直流電圧を印加する。その後、1 日間(24 時間)直流電圧の印加を続ける。
- ・24 時間後、HF 式蛍光灯(長さ 540mm)の陰極位置を 0mm とし、陰極側から 40mm ごと

の位置での紫外線強度の測定を行った。

- ・測定したデータを Microsoft 社 エクセルに入力しグラフを作成、考察を行う。なお、グラフ上の紫外線強度と後述する紫外線強度 1/2max 位置は陰極位置を 0mm としている。
- ・測定後は蛍光灯の電源を 24 時間切り、24 時間後に直流電圧を 10V に上げ再度実験を行った。以上の手順で直流電圧を 5~60V の 5V 間隔で印加し、紫外線強度の測定を繰り返した。

4. 実験結果

4. 1. 1 周囲温度一定(16°C)状態での印加直流電圧とカタホレス現象の関係

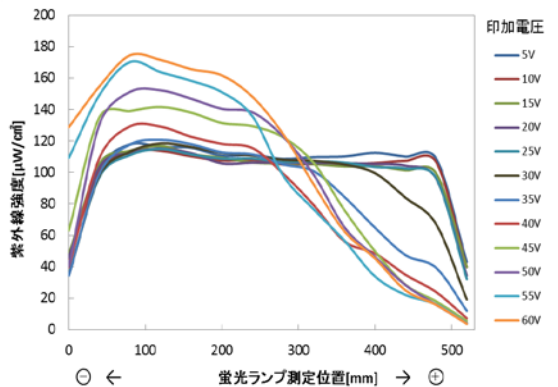
図 4-1 に周囲温度一定(16°C)での各印加直流電圧(5~60V)でのカタホレス現象の発生状況を示し、図 4-2 に各印加直流電圧(5~60V)での蛍光灯上の紫外線測定位置と紫外線強度の関係を示す。



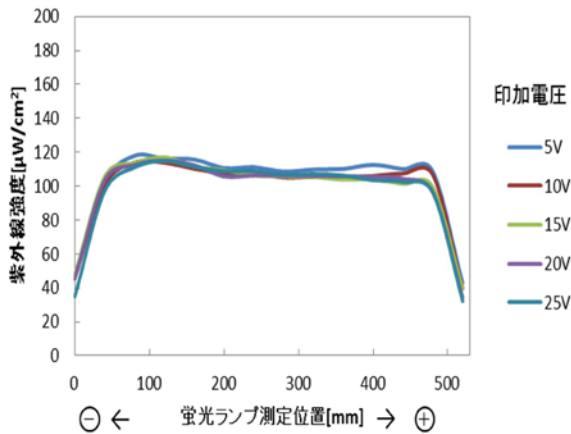
図 4-1 各印加直流電圧でのカタホレス現象の発生状況

図 4-2(b)のグラフより印加直流電圧 5~25V までは陰極側、陽極側共に大きな紫外線強度の変化は見られない。これは周囲温度 16°Cにおいて、印加直流電圧がカタホレス現象を発生させる電圧に達してい

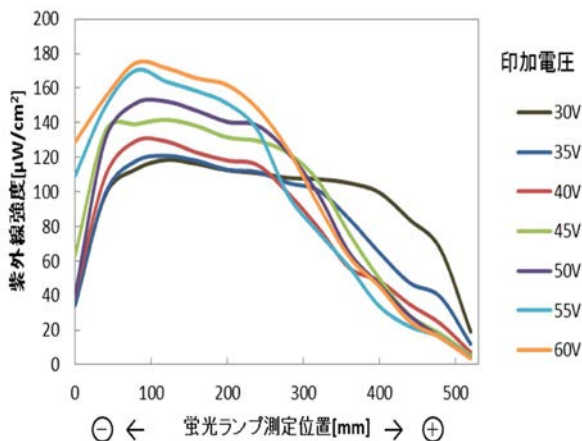
ないと考えられる。印加直流電圧 5~25V では、いずれの条件でも目視によるカタホレシス現象を確認することはできなかった。



(a) 印加直流電圧 5~60V



(b) 印加直流電圧 5~25V



(c) 印加直流電圧 30~60V

図 4-2 蛍光ランプ上の測定位置と紫外線強度の関係

図 4-2(c)から、印加直流電圧 30V、35V において陰極側のみに注目すると、印加直流電圧 5~25V と同じく大きな変化は見られない。しかし、印加直流電圧 30V では蛍光ランプ測定位置 400mm 以上、35V では 300mm 以上の位置において紫外線強度の低下

が確認できた。従って、周囲温度 16°Cにおいて印加直流電圧 30V を超えたあたりから紫外線強度が低下しカタホレシス現象が発生することが確認できた。この辺りから若干ではあるが、図 4-1(f)より目視でカタホレシス現象が確認することができた。

印加直流電圧が 40V になると、陰極側の紫外線強度が上昇し、また、陽極側の紫外線強度が低下していることがわかる。従って、周囲温度 16°Cにおいては印加直流電圧 40V より顕著にカタホレシス現象が確認できた。印加直流電圧 45~60V では 40V とほぼ同じ紫外線強度分布を示しているが、印加する直流電圧を増加するに従い、陰極側の紫外線強度が上昇し、陽極側の紫外線強度の低下が進んでいることがわかった。

上記の結果から、印加直流電圧が大きくなると水銀イオンの移動現象が促進されることが確認できた。従って、外部から高い直流電圧が印加されれば、陰極側に近い位置での紫外線強度は上昇し、陽極側の紫外線強度の低い範囲が拡大していくと考えられる。また、印加直流電圧 5~25V で顕著に現れているように陰極側、陽極側の両極位置では直流電圧に関係なく紫外線強度が低い。これは、電極付近は電子や水銀イオンが電極に衝突して消滅するため、イオン密度が低くなっていると考えられる。そのため、紫外線強度が低くなっていると考えられる。

4. 1. 2 印加直流電圧とカタホレシス現象の関係

図 4-3 に示すのは、図 4-2 での紫外線強度の最大値の 1/2 の強度となる値を紫外線強度 1/2max と定義し、印加直流電圧と蛍光ランプ上の紫外線強度 1/2max 位置の関係を示している（陰極位置を 0mm とする）。カタホレシス現象は水銀イオンが陰極側に引き寄せられ移動することで、陰極側に水銀イオンが偏り、水銀濃度が低くなった陽極側の輝度が低下することをいう⁽⁴⁾。このことから紫外線強度 1/2max の位置を測定することで水銀の偏り状態を把握することができる。印加直流電圧 5~25V の条件での紫外線強度 1/2max 位置は約 500mm でほぼ一定になっている。印加直流電圧 30V になると紫外線強度 1/2max 位置が若干ではあるが小さくなり、印加直流電圧 40V になると 345mm になった。しかし、印加直流電圧 45V では再び紫外線強度 1/2max 位置が大きくなり 370mm を示した。さらに印加直流電圧を上げていくと印加直流電圧 55V で紫外線強度 1/2max 位置が最も小さくなり 305mm を示したが、印加直流電圧 60V では、再び紫外線強度 1/2max 位

置が大きくなり 330mm となった。いずれにしても図 4-2 でカタホレス現象の発生が確認できた印加直流電圧 30V 以上で紫外線強度 1/2max、すなわち紫外線強度が半分になる領域が現れ始めることがわかった。

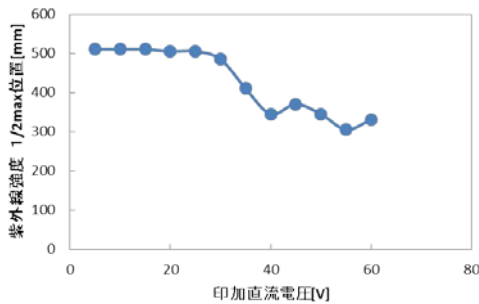


図 4-3 印加直流電圧と紫外線強度 1/2max 位置の関係

印加直流電圧 45V と 60V で現れた紫外線強度 1/2max 位置が大きくなった原因としては、次のことが考えられる。印加直流電圧 45V と 60V で紫外線強度 1/2max 位置が大きくなったのは温度が関係しているのではないかと考えている。すなわち後述する 4. 2 での周囲温度の比較実験より、カタホレス現象は印加直流電圧だけでなく温度も大きく影響していると考えられる。本実験では温度変化の少ない場所を確認し実験を行ったが、若干の温度変化が実験結果に影響したのではないかと考えている。

4. 2 周囲温度がカタホレス現象に与える影響

図 4-4 は直流電圧を 60V 印加した際の各周囲温度での蛍光ランプ測定位置と紫外線強度の関係を示す。また、図 4-5 では、直流電圧を 60V 印加した際の周囲温度と蛍光ランプ上の紫外線強度 1/2max 位置の関係を示している。

図 4-4 では陰極付近の紫外線強度は、14℃が最も高く、次に 16℃であり最後に 19℃になっている。また、陽極付近でも紫外線強度は 14℃が最も低く、16℃、19℃と続いている。図 4-5 でも 14℃で最も紫外線強度 1/2max 位置が小さく 305mm、次に 16℃で 330mm、最後に 19℃で 340mm と続いていることがわかる。以上の結果から、図 4-4、図 4-5 の関係より周囲温度がより低いほどカタホレス現象は促進され、周囲温度がより高いほどカタホレス現象が発生しにくくなると考えられる。カタホレス現象は印加された直流電圧によって水銀イオンが陰極側に引き寄せられて起こる。しかし、拡散現象によって水銀イオンは蛍光ランプ内を均一濃度になるように働く。温度が高い場合、拡散によって水銀イ

オン濃度を均一化しようとする現象は、急激に大きくなる(7)。以上のことから、カタホレス現象には周囲温度の影響が大きいことが予想される。

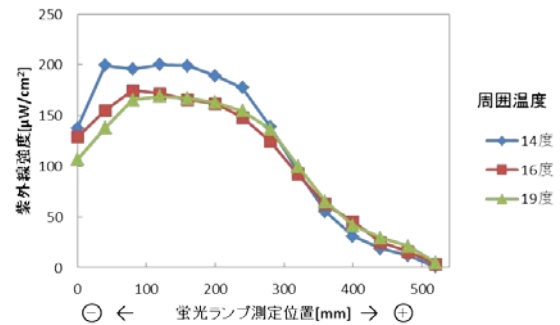


図 4-4 各周囲温度での蛍光ランプ測定位置と紫外線強度の関係

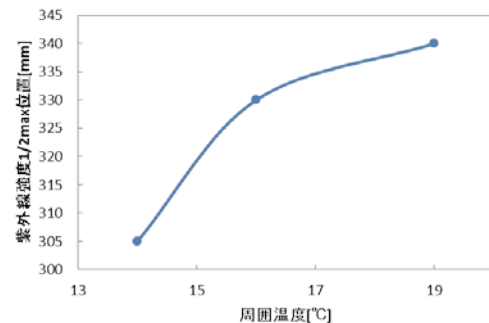


図 4-5 周囲温度と紫外線強度 1/2max 位置の関係

4. 3 印加直流電圧が与える消費電力と明るさの影響

本実験を行った際、直流電圧を印加することで蛍光ランプの明るさが増加したことが確認できた。これより、直流電圧を印加することで省エネルギー問題に寄与できるかもしれないと考え、直流電圧を印加した際に同時に流入する電流を測定し、外部から直流電圧を印加することでどれほど明るさが増加するのかを確認した。

明るさの測定には Mastec 社デジタル照度計 MS8209 を使用し、実験に使用した蛍光ランプの中央直下にて測定した。以下にその結果を示す。

図 4-6 は印加直流電圧に対する外部電源の消費電力の関係を示す。また、図 4-7 は外部電源の消費電力に対する明るさの変化の関係を示す。

図 4-6 で明らかなように直流電圧を印加することにより、最大で 13~14W 程消費電力が増加した。また、25V 付近までは、消費電力は直線的に緩やかに増加しているが、35V 付近から急激に消費電力が増加した。周囲温度を変えて測定も行ったが、消費電力にほとんど差が見られなかった。図 4-7 では明るさの変化は直線的であり、最大でも 20% 程しか増加

していない。これも周囲温度にはほとんど影響されない。

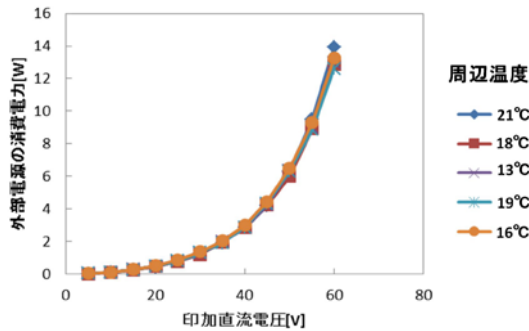


図 4-6 印加直流電圧と外部電源の消費電力の関係

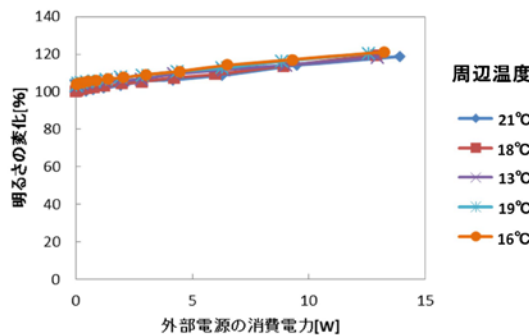


図 4-7 外部電源の消費電力と点灯明るさの変化の関係

以上の結果から、直流電圧を印加することで点灯電力は最大で 70%程増加している一方、明るさは最大で 20%程の増加でしかない。これより、電力増加分全てが明るさに寄与していないことがわかった。よって、外部からの直流電圧の印加によって明るさを増加させることでは省エネルギー問題に寄与できるほどの成果が確認することができなかった。

5. 考察

本研究では、HF 式蛍光ランプにおいて各条件でどのようにカタホレス現象が起こるのかを調査し、確認することを目的としている。本実験では、カタホレス現象の発生に及ぼす直流電圧の影響、直流電圧一定での周囲温度の影響を調査し、カタホレス現象の発生状況の考察を行った。

4. 1 で述べたように最初に行った周囲温度一定 (16°C) における印加直流電圧の影響の実験結果から、HF 式蛍光ランプで外部から直流電圧を印加することでカタホレス現象が発生することがわかった。また、周囲温度 16°C の条件の時、最も低い印加直流電圧でカタホレス現象が確認できたのは 30V であった。温度 16°C というのは冬場 (12 月～2 月辺り) の室温を想定した実験であった。16°C という温度は日本においてどの地域でも成り得る温度で

ある。また蛍光ランプを一般的な使用方法で使った場合、30V という大きな直流電圧が蛍光ランプ内に印加されることは考えにくい。しかし、インバータ内に必ず使用されているトランジスタは直流電源を必要とする。これらの装置で何らかの原因により異常が起こり故障した場合、蛍光ランプ内に大きな直流電圧が印加されることは考えられる。

また 4. 2 で述べたように周囲温度がカタホレス現象に与える影響の実験結果から、周囲温度が低いとカタホレス現象が促進されることが確認できた。印加直流電圧 60V において各周囲温度の実験結果では、紫外線強度 1/2max 位置は 19～16°C (温度差 3°C) の間で 10mm、16～14°C (温度差 2°C) の間で 25mm となり拡散現象が大きく関係していると考察した。周囲温度をさらに低い温度まで下げた場合、紫外線強度 1/2max 位置は拡散現象でさらに小さくなり蛍光ランプの大部分に拡大すると考えられる。しかし、水銀が一樣となるように作用もあるため、ある一定の長さで紫外線強度 1/2max 位置は変化がなくなるのではないかと考えている。

また、カタホレス現象を簡単に防ぐことはできないかということについても検討した。4.2 の結果から、カタホレス現象の発生には周囲温度の影響が大きいことが予想できる。従って、蛍光ランプの周りに透明のカバーをつけることが有効ではないかと考えた。蛍光ランプは点灯中に熱を発生するため、カバーを付けることで蛍光ランプ自体の熱でカバー内の温度を上昇させ、蛍光ランプを温めることでカタホレス現象の抑制になるのではないかと考えている。

6. まとめ

本研究では、HF 式蛍光ランプにおいて各条件でどのようにカタホレス現象が起こるのかを調査し、確認することを目的としている。本実験では、カタホレス現象の発生に及ぼす直流電圧の影響、直流電圧一定での周囲温度の影響を調査し、カタホレス現象の発生状況の考察を行った。

本実験より以下の結果を確認することができた。

- ・周囲温度 16°C において各直流電圧を印加した場合、印加直流電圧 30V でカタホレス現象が確認できた。また本実験では印加する直流電圧を大きくしていくと、カタホレス現象が促進されることが確認できた。
- ・一定の直流電圧を印加している場合、周囲温度が低下するとカタホレス現象が促進されることが確認でき、カタホレス現象の発生には温

度が大きく影響することが考えられる。

- ・直流電圧を印加することで消費電力は最大で70%程増加したが、明るさは最大で20%程しか増加しなかった。従って、電力供給分全てが明るさに寄与していないことがわかった。また、この消費電力は周囲温度によって影響されないことが確認できた。

以上の結果が確認できた。

蛍光ランプの電力供給部に異常がない限り、大きな直流電圧が印加されることはないと考えられる。しかし、カタホレシス現象の発生には周囲温度の影響が大きいことが考えられ、低温下においては微小な直流電圧が印加された場合でもカタホレシス現象が発生する可能性がある。だが、もし微小な直流電圧が印加されても周囲温度を高くすることで簡単にカタホレシス現象を抑制できるのではと考えている。このことを考慮すると、蛍光ランプにカバーを付け、蛍光ランプの周囲温度を高くすることが有効であると考えられる。

参考文献

- (1) 森川直紀：照明器具および機器，照明学会誌，第93巻，第8B号，p570（2009）
- (2) 神谷文夫：インバータとは何か，照明学会誌，第87巻，第12号，p994（2003）
- (3) 永井英男，本田孝二，橋本望，佐藤啓介，三木伸和，山中幸男：高周波点灯蛍光ランプのカタホレシス現象，平成13年度照明学会第34回全国大会，p50（2001）
- (4) 社団法人日本電球工業会，蛍光ランプガイドブック，p4
www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_flu_02.pdf
- (5) 杉山謙二：高周波点灯専用蛍光ランプの構造，照明学会誌，第89巻，第4号，p201（2005）
- (6) 富岡裕美，東亨，岩間克昭：カタホレシス測定法を用いた蛍光ランプ内水銀量の同定，JGLOBAL：JSTPlus，蛍光体同学会講演予稿，p15（1996）
- (7) 上野貴史，沖雅博，野口英彦，井上昭浩：細管冷陰極蛍光ランプに於ける水銀拡散特性，照明学会誌，第86巻，第2号，p90（2002）

