

サークライン型蛍光灯の高周波点灯

森田久美子*、矢羽田優**、山田章世***、牛見雄一郎、葛城源平、山本幸男

High Frequency Lighting of a Doughnut-type Fluorescent Lamp

Kumiko MORITA*, Yuu YAHATA**, Akiyo YAMADA***, Yuichiro USHIMI,
Motohira KATSURAGI and Yukio YAMAMOTO

Abstract

Measurements are carried out on a comparison between high frequency lighting and normal lighting of a doughnut-type fluorescent lamp. A toroidal coil is installed around the lighting tube. High frequency power (13.65MHz, 30W) is supplied to the toroidal coil through an automatic matching circuit.

Compared with normal lighting, almost same luminous intensity is obtained in the high frequency lighting, when the coil input impedance matches with the oscillator output impedance through the matching circuit.

平成15年10月27日 原稿受理
大阪産業大学 工学部 電気電子工学科

* 現在：関西精電

** 現在：株式会社アプロ

*** 現在：株式会社メーテック

1 まえがき

近年、地球規模の環境破壊が大きな問題になっているが、その根源は大量生産・大量消費の社会から生み出される大量の廃棄物である。一般廃棄物は、全国で一日に13万8465tである。ゴミ問題は様々な地球環境問題を発生させ、今や人類の生存そのものを脅かすまでに至っている[1]。そうした中で、身近にある蛍光灯の長寿命化を図ることは、廃棄物を少なくするのに役立つ。

現在、我々が日常用いている蛍光灯の寿命は約12000時間である。その寿命を左右する要因として、蛍光灯の電極の消耗が挙げられる。電極内のフィラメントが熱によって焼き切れたり、熱電子が出なくなったりするためである[2]。このような主な寿命の原因である電極を無くせば、蛍光灯の寿命は飛躍的に上昇すると考えられる。

高周波を用いると、電極は電界を印加するだけで電流の出入口ではなくなるので、電極の代わりにコイルを用いることが出来る。よって蛍光灯の電極を取り去り、無電極で長寿命の蛍光灯を実現することが出来る。無電極放電ランプはいくつかすでに実用化されている[3]。しかし一般には普及していない。

我々は無電極蛍光灯の一般への普及を目指し、汎用蛍光灯との照度の比較をするため、まず無電極トーラス型放電灯を試作した。しかし、商品になっているサークライン型蛍光灯と比較すると、自作のトーラス型放電灯が照らす面の照度は低く、条件が異なりすぎて、高周波放電方式の評価を行うには困難があった。そのため、まず従来のサークライン型蛍光灯を高周波で点灯させることを試みた。これは、従来の蛍光灯のように交流電源を用いて電極から直接放電を起こす代わりに、電極を用いずに間接的に蛍光管内部を放電させるものである。具体的には、高周波電源と自動整合器を用いて、蛍光灯に巻いた導線に13.56(MHz)の高周波電力を印加して点灯する。導線の巻き数や直径を変え、照度がコイルのインダクタンス等とどのような関係性を持っているのか調べた。良い結果が得られれば、将来的にはガラス管に巻いた導線は透明電極に置き換えることも可能である。

2 原理

2-1 蛍光灯の点灯原理と劣化の原因

蛍光灯の内側には蛍光物質が塗ってあり蛍光灯の管の中には減圧された水銀蒸気が入っている。最初に蛍光灯内にある電極に電流を流してフィラメントを熱するとフィラメントから熱電子が飛び出す。この電子が水銀蒸気などの原子と衝突すると、水銀蒸気が励起され、それが安定に戻るときに紫外線を発生する。この紫外線は蛍光灯の管の内側に塗布された蛍光物質に当たり可視光に変換される。

点灯の際に、フィラメントが十分に加熱されない状態で熱電子の放出を開始するため、高い放電電圧が必要となる。さらにフィラメント全体が加熱されていないため、高い電圧で放電を開始した一箇所に電流の集中が発生し、フィラメントの一箇所が過熱されフィラメントの劣化につながる[2]。

その他の劣化原因として、水銀ガスが電極素材と化合し、ガラス管に付着することがある。その結果、水銀ガスが失われてプラズマが発生しなくなる。この時、消える前に点滅を繰り返すとか、電極周辺のガラス管が黒くなるなどの症状があらわれる。

2-2 高周波放電式蛍光灯の点灯原理

高周波放電式蛍光灯は電磁誘導の原理と放電による発光の原理に基づいている。周波数が高くなるとプラズマ内の電子が電極間を移動できない内に電界の向きが逆転し、電極は電界を印加するだけで、電流の出入り口ではなくなることが出来る。この場合には電極の代わりに、コイルを用いることが出来る[4]。このことから、電極部分を取り去り、消耗部分の少ない、長寿命の蛍光灯を実現できる。

高周波電源で発生された高周波電流は、自動整合器を通して蛍光灯の管壁に巻いたコイルへ供給される。高周波電流が蛍光灯に巻かれた導線に流れると導線の周囲に交流磁場が発生する。この交流磁場により、ガラス管内に電界が生じる。この電界によって、蛍光灯内の水銀原子と電子の衝突が起こり、その衝撃によってプラズマが発生し、紫外線が放出される。この紫外線は蛍光灯内壁に塗られた蛍光物質によって、可視光に変換され、人間の目に光として感じるができるようになる[3]。

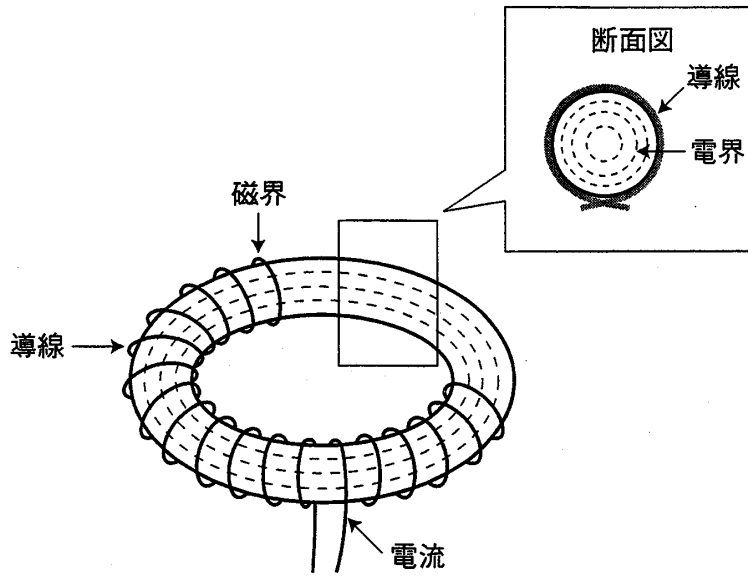


図1 蛍光灯内部の磁界と電界

2-3 トロイダルコイルのインダクタンス

製作した高周波放電式蛍光灯の照度を比較する一つの指標として、トロイダルコイルのインダクタンスによる比較を行う。トロイダルコイルのインダクタンスの理論値は次の式で計算できる[5]。

$$L=10^{-7} \times 4\pi N^2 (R - \sqrt{R^2 - r^2}) \quad (1)$$

ここで図2に示すように、Rは主半径、rは副半径、Nは

巻数である。

これを代表的な巻数の場合について計算した結果を表1に示す。

トロイダルコイルのインダクタンスの理論値と測定値を正確に一致させるためには、コイルの巻線を全周にわたり均一に分布するように巻くことが必要である[6]。

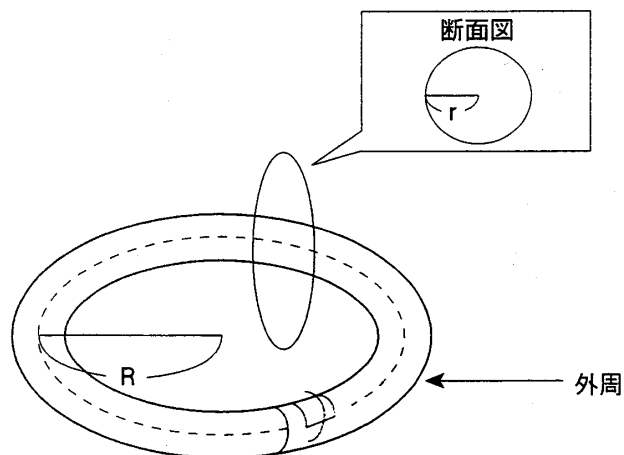


図2 蛍光灯の主半径と副半径、外周

表1 コイル巻き数インダクタンスの計算値の関係

巻数 (N)	30	45	60	90	100	120	180
理論値 (μH)	1.2	2.6	4.7	10.5	13.0	18.7	42.0

2-4 巻き線による遮光の補正

今回は導線を蛍光灯管壁に巻きつけたので、その巻き線によって、蛍光灯からの光が遮られてしまう。実用化に際しては、巻き線は透明電極材料で行う予定である。したがって、巻き線による蛍光灯の照度を補正する必要がある。巻き線によりさげられる照度の割合をA%とすると、次のようになる。

$$A = \frac{an}{2\pi R} \times 100 \quad (2)$$

ここに、aは導線の太さ(直径)である。

これをもとに、測定した照度から透明電極を使用した場合の照度を計算して、補正した照度とした。

$$P_0 = \frac{P}{(100-A) \times \frac{1}{100}} \quad (3)$$

3 実験方法

実験を行うにあたり、導線巻き蛍光灯を製作し、以下の実験器具を用いてインダクタンスの測定、照度の測定を行った。

高周波電源(13.56MHz)(ダイヘンDRFS-5SA)、
自動整合器(ダイヘンDAUMA-10SA)、
照度計(SEKONIC model 246)、
LCRメーター(国洋電機 KC-530C型)、
サーライン型蛍光灯(National パルック蛍光灯30形 FCL30ECW/28)
主半径(R)=105.15(mm)、副半径(r)=14.7(mm)、

ソケット部分長=45.5(mm)、

外周(ソケット部を除くトーラス中心線の長さ)=582.5(mm)

3-1 インダクタンスの測定

導線の巻き数や太さを変えて、蛍光灯管壁に導線を巻き各種の励振用コイルを作成した。導線の太さ(直径)は0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 mmである。巻き数は30, 45, 60, 90, 100, 120, 180 回である。LCRメーターでそれぞれのコイルのインダクタンスを測定した。

3-2 照度測定

電源を入れてから照度が安定していく様子を時間的に調べた。

手順は次の通りである。

- ①導線巻き蛍光灯を黒く塗装した台に動かない様に固定する。
- ②高周波電源と自動整合器を接続して、その出力線を蛍光灯に巻きつけた導線に半田で接続する。(図3)
- ③図4のように蛍光灯トーラスの中心軸上で、30(cm)離して軸に垂直に照度計の受光面を置いた。
- ④蛍光灯と照度計は他の光の影響を受けないように暗幕の中に入れた。
- ⑤自動整合器と高周波電源の電源を入れた。
- ⑥高周波電源の出力を30(w)まで上げ、測定を開始する。
30(w)出力後、この電力は一定まま、3分までは20秒毎、3分以降は1分毎に20分間、照度を測定した。

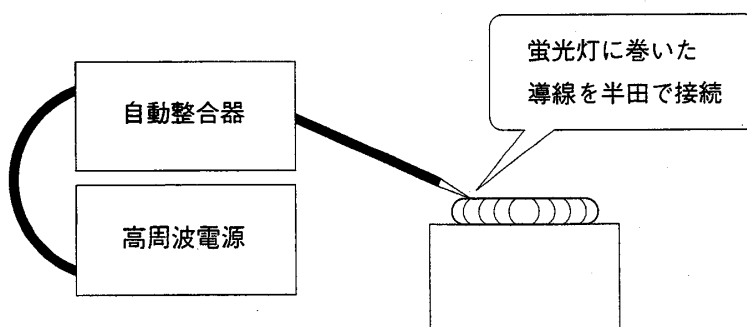


図3 接続方法

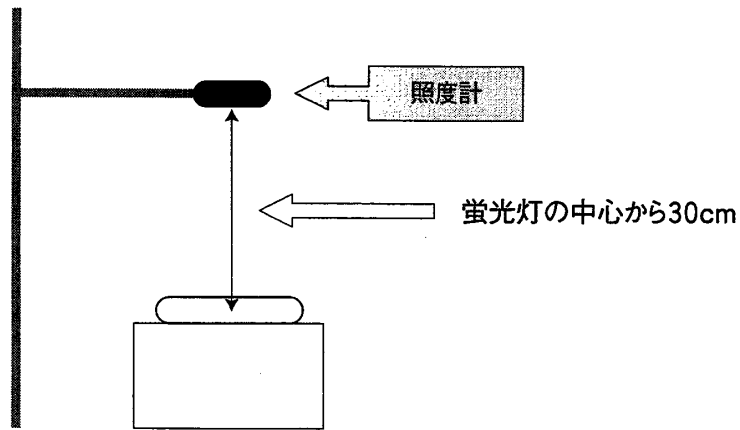


図4 照度計設置法

高周波電源と導線巻き蛍光灯とは、マッチング回路(自動整合器)を通して結合されている。マッチング回路により、高周波の反射が0となるように整合を取ると良いように考えられるが、このときプラズマは大変不安定となることが多い。反射0の条件は高周波電源にとって反射電力による干渉がなく、よいことではあるが、安定なプラズマを得るための条件ではない。反射電力は20%~30%程度あったほうが放電は安定する[7]。本研究の照度測定の際、反射電力は、低いものは2(W)で、高いものは5(W)程度であり、安定な放電条件を満たしていた。

4 実験結果

4-1 コイルのインダクタンス

蛍光灯の管壁に巻いたコイルのインダクタンス測定値と巻き数の関係を表2に示す。

インダクタンス測定結果より導線の巻き数が多くなるほど大きくなっているが、式(1)に示されるように、巻き数の2乗には比例しなかった。導線が細くなるとインダクタンスがわずかに大きくなる傾向がある。製作した導線巻き蛍光灯は、巻き数の少ない領域で、表1の計算値とのずれが大きい。導線の巻き方が正確に均一ではないためであることの他に、蛍光灯の口金部分が残っており、短絡された2次巻き線として作用していると考えられる。なお、蛍光灯点灯時と消灯時のインダクタンスの値には測定できるほどの差はなかった。

表2 コイルの線の太さ、巻き数と測定したインダクタンス

太さ(cm) \ 巻き数(N)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
30 T					3.0		
45 T					5.3	5.1	5.0
60 T					8.1		
90 T	22.0	17.1	16.7	16.1	15.2	15.3	15.5
100 T	25.0	20.6	19.7	19.2	18.6	17.3	18.8
120 T	33.0	28.1	26.7	26.7	26.6	26.2	26.0
180 T						53.8	54.6

4-2 照度の時間的変化

13.65MHz, 30Wの高周波電力印加後の照度の時間的変化を図5から図11に示す。パラメータは巻き線の太さ、巻き数N (Tと表示) である。

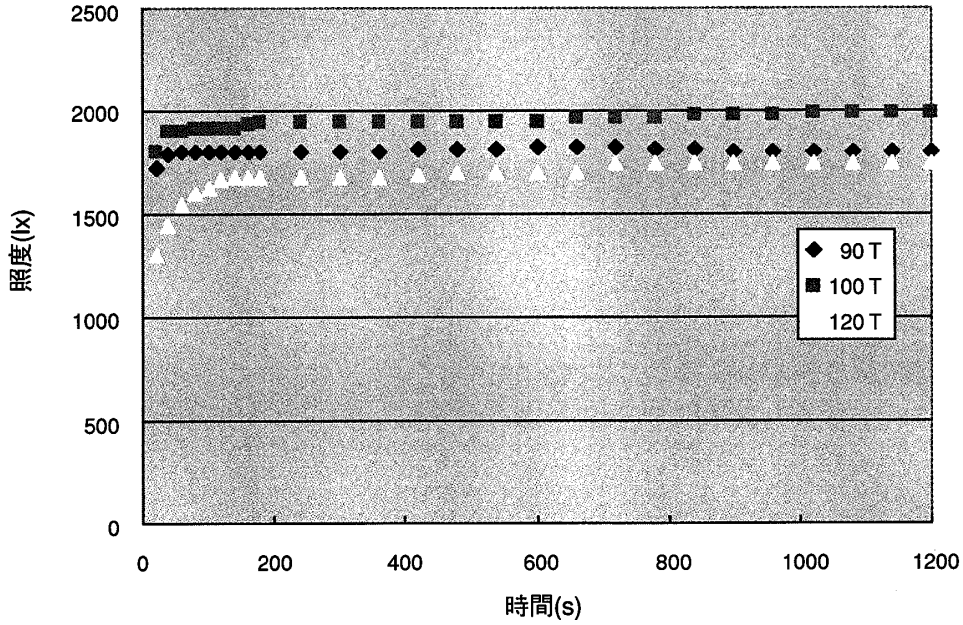


図5 照度の時間的変化 (巻き線の太さ0.2mm)

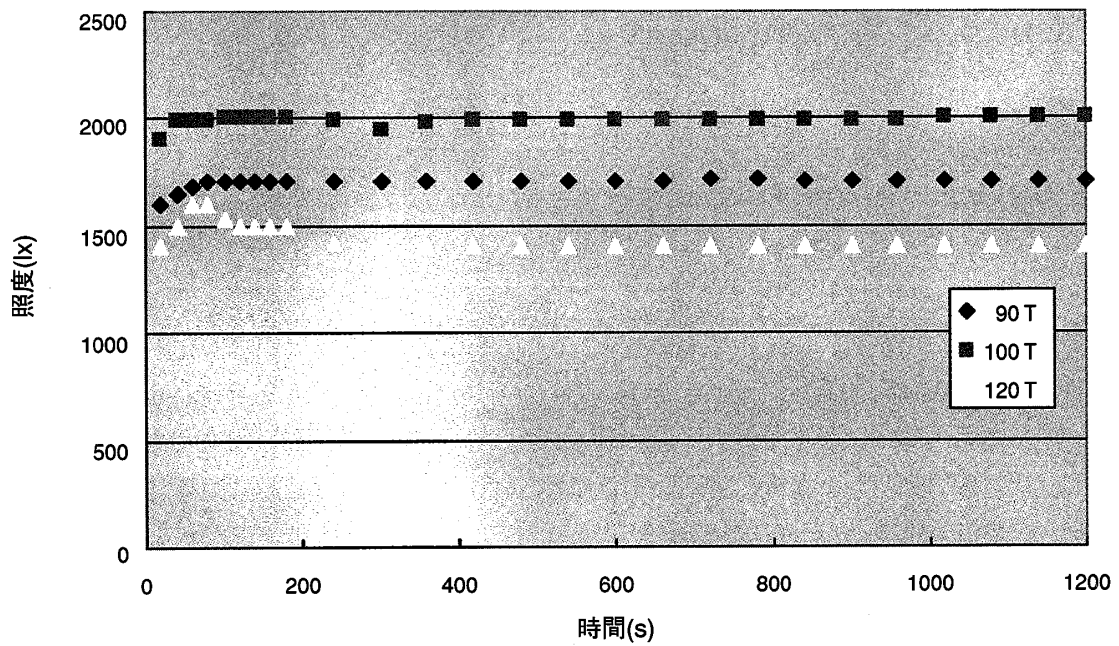


図6 照度の時間的変化 (巻き線の太さ0.4mm)

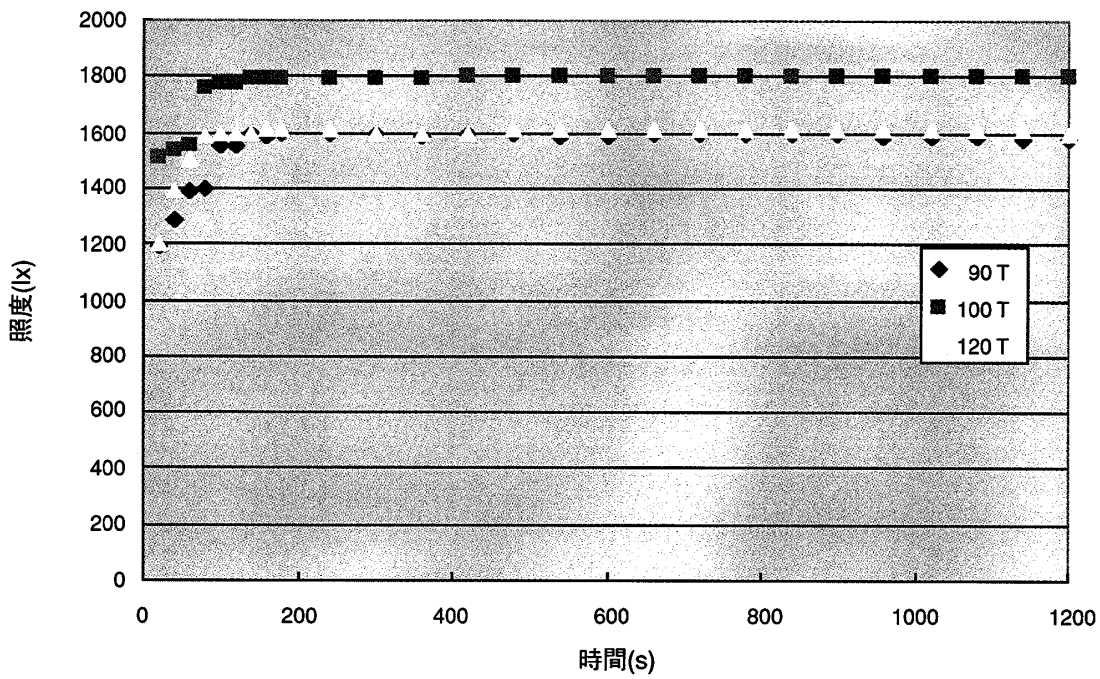


図7 照度の時間的变化(巻き線の太さ0.6mm)

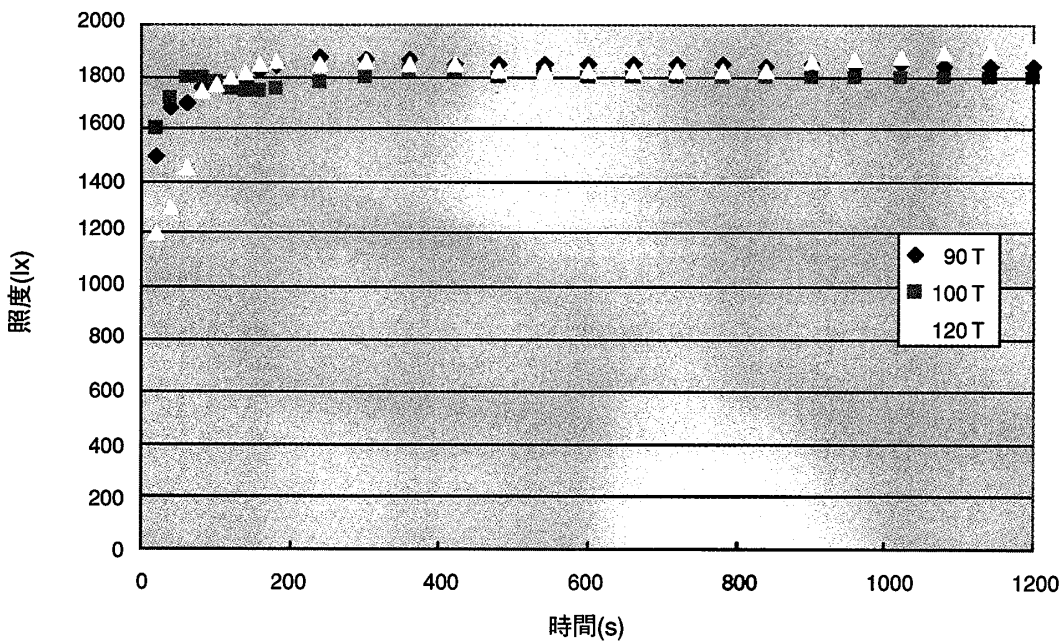


図8 照度の時間的变化(巻き線の太さ0.8mm)

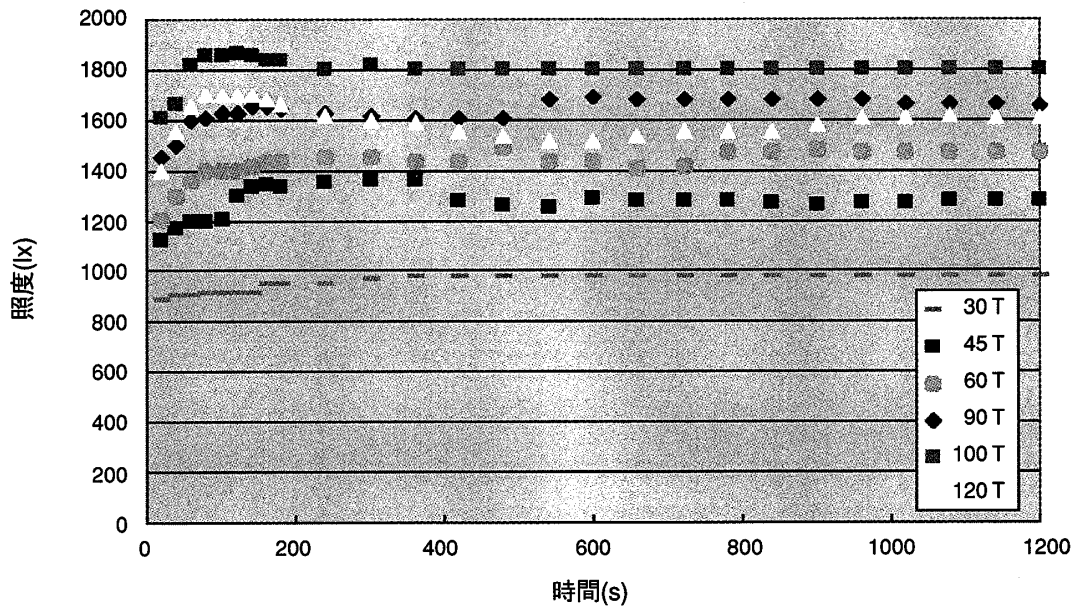


図9 照度と時間の関係 (巻き線の太さ0.1.0mm)

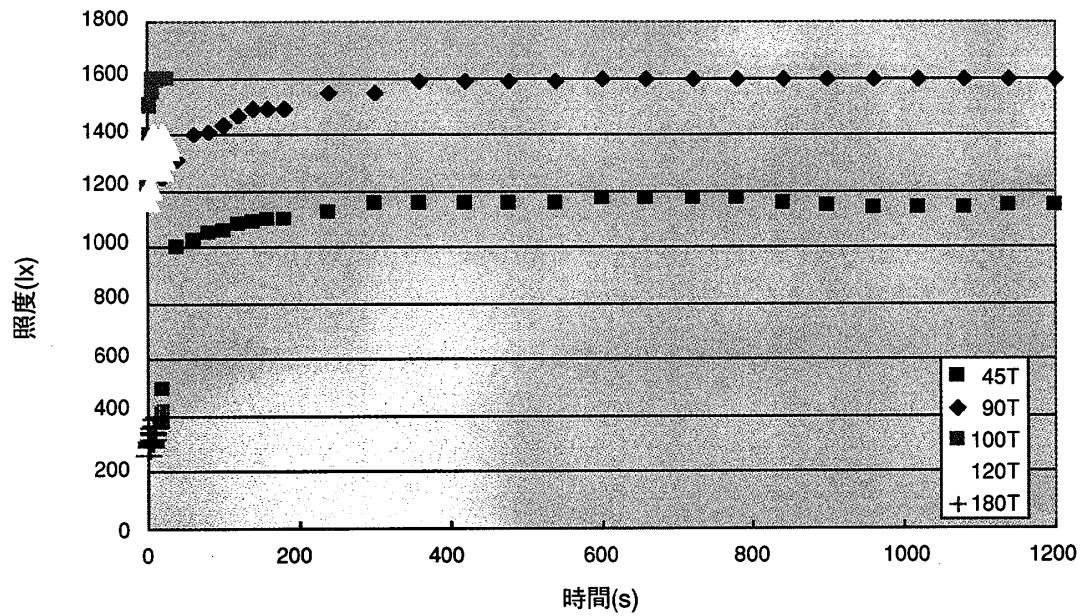


図10 照度と時間の関係 (巻き線の太さ1.2mm)

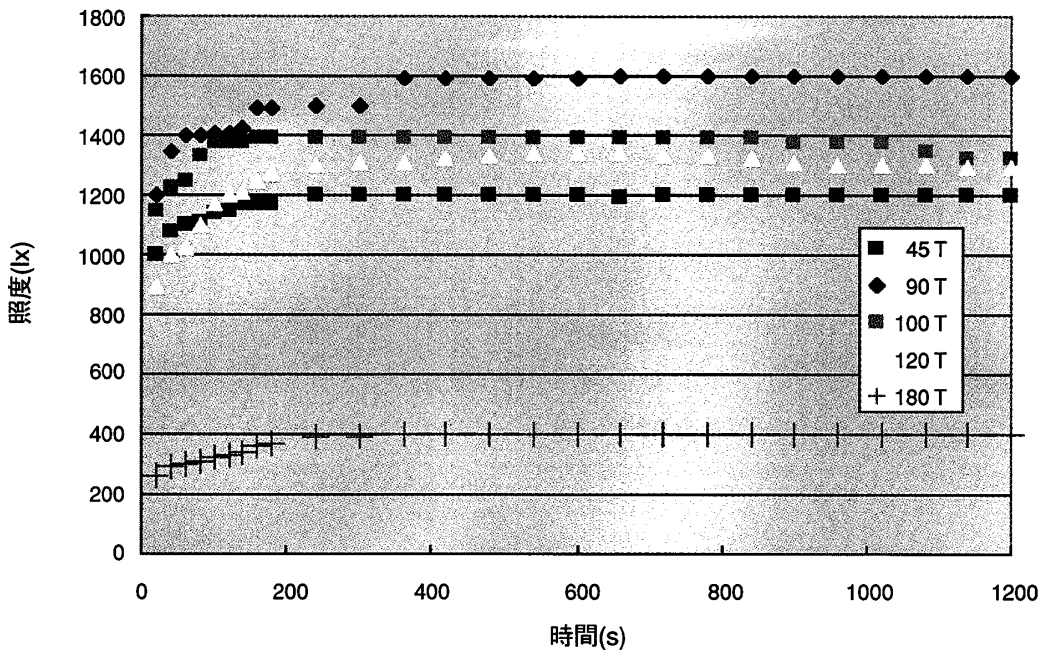


図11 照度と時間の関係(巻き線の太さ0.14mm)

図5～図11を見ると、点灯直後には変動しながら照度が上昇し、次第に安定する。安定後では、100回巻き(T)が一番明るく、それに90回巻きが続いている。これについては、安定後の照度として、後で議論する。安定し始めるまでの時間を導線の太さと巻き数ごとに比較した。点灯直後の照度上昇期を除くと、照度の変動は±6%以内であることを考慮して、次のように定めた。高周波電力を印加15分後の照度を基準にして、その3%の範囲内に収まっている場合を安定していると定義した。全般に巻き線の太さが増えるに従い、照度の変動が大きくなっている。しかし、90回巻きと100回巻きでは全て5分以内に安定している。30回巻き、45回巻き、120回巻きなどはどれも不安定状態が5分より長く続いている。この原因は今のところ解明していない。

4-3 平均照度と補正照度

照度が安定したと考える15分以後の平均照度を求め、その平均照度をそれぞれの導線巻き蛍光灯の照度とした。

平均照度と巻数の関係を図12に実験値として示す。導線の太さ1.0(mm)、1.2(mm)、1.4(mm)の3種類は巻き線の太さの範囲を広げて測定した。導線が太いものより細い方が明るい傾向がある。一方、巻き数に対する依存性では、導線の太さに関係なく100回巻き前後が一番明るいという結果が図12より分かる。

巻き線による遮光の効果を考慮して、補正した照度を求めた結果を同じ図12に補正值として表した。

導線が太くなると、光を遮る面積が大きくなるので補正すると照度がかなり明るくなる。補正した照度は約2000(lx)前後で通常の蛍光灯を30(W)で本研究と同じ条件で測定した照度と同じ程度であることが分かった。明るいものは、通常蛍光灯の値(図12の赤線)より明るくなった。通常蛍光灯の値というのは、実験に使用しているサーラインを通常の蛍光灯点灯器具に装着して、60Hz、30Wで点灯し、照度測定は同条件で測定した値2000(lx)である。

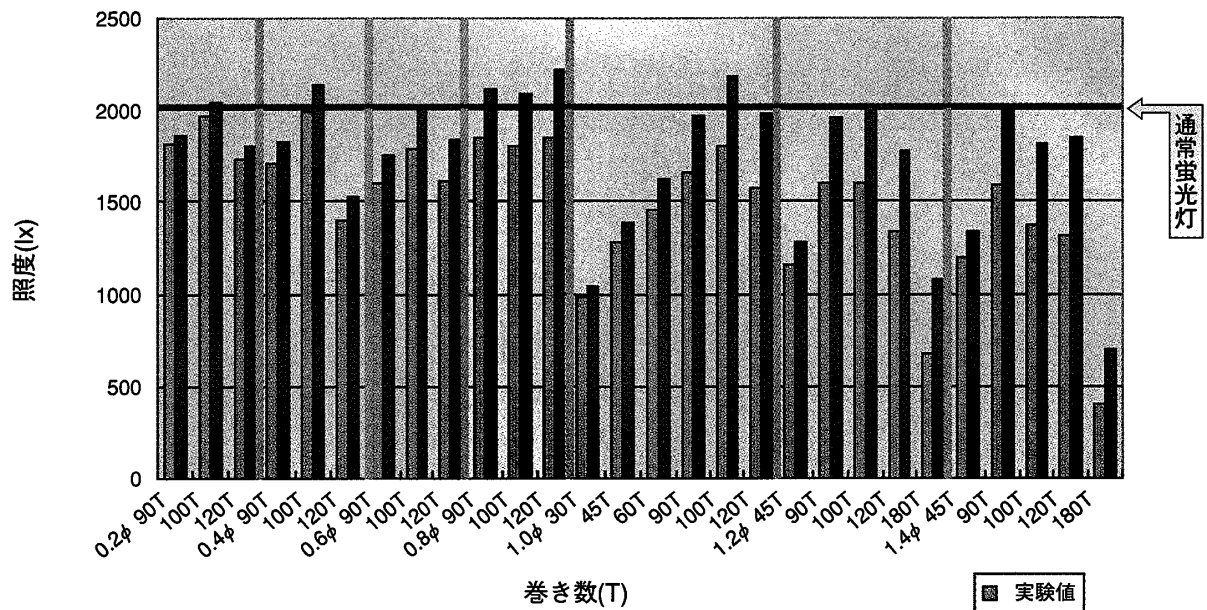


図12 実験値と補正值の比較

4-4 コイルインダクタンスと照度の関係

表2に示したように、導線の太さと巻き数によって、コイルのインダクタンスが変わる。これを用いると、線の太さと巻き数という2つのパラメータを1つにまとめることができる。このようにして得たコイルインダクタンスへの照度の依存性を図13に示す。インダクタンスが低すぎても、高すぎても照度が低くなることが分かる。15(μ H)から

25(μ H)の間で、照度が高くなり、実験値では1700(lx)前後、補正值では2000(lx)前後になる。実験中もこのインダクタンスの領域からはずれると、自動整合が効かず、手動で整合を取る必要がしばしばあった。しかし、手動で整合を取るのは困難であった。この結果から、照度が下がる原因は整合が取りきれず、高周波電力が蛍光灯に十分入っていないためであると考えられる。

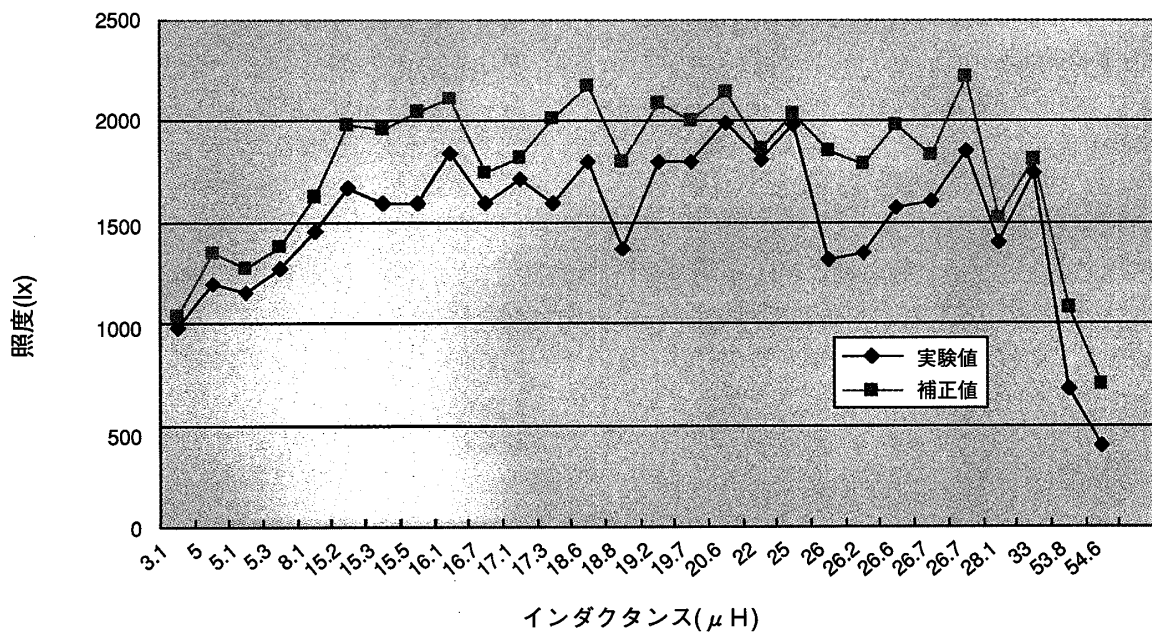


図13 インダクタンスと照度の関係

5 まとめ

長寿命かつ低電力でより明るい蛍光灯を開発するための準備として、高周波放電式蛍光灯の特性評価を行った。30W型サークライン蛍光灯の管壁に導線を巻いてトロイダルコイルを取り付け、そこに高周波電力(13.65MHz,30W)を印加した。導線の直径や巻き数を変え、最高の照度を得る条件を探した。その結果、トロイダルコイルのインダクタンスが15(μ H)から25(μ H)までの場合に明るく光った。この領域では、自動整合器が働いて高周波発振器とコイルの整合が取れており、この領域をはずれると不整合になるため、照度が低下することが分かった。特によく光ったのが20(μ H)から25(μ H)の間の場合であった。一番明るくなったのは、20.6(μ H)の1989.4(lx)であった。

巻き線が光を遮っている点を考慮し、透明導電膜で巻き線を構成した場合に得られるであろう照度を算出した。この値は同一電力にて通常の蛍光灯器具で点灯した照度を超えるものであった。このように通常の蛍光灯と同じくらいの明るさが得られることが明らかになったので、蛍光灯そのものとしては無電極での高周波放電使用に供することが出来ると分かった。今後、この結果を実用化につなげるには、高周波発振器の発振効率向上と漏洩高周波の抑制、透明導電膜でコイルを巻いた無電極サークラインの試作などが必要である。

参考文献

- (1) 関西唯物論研究会編 “環境問題を哲学する” 文理閣 (1995) pp.62-84
- (2) 原田常雄著 “蛍光灯取扱の実際” オーム社 (1963) pp.1-9
- (3) “QL lamp system 次世代型無電極放電ランプシステム使用書” 日本フィリップス株式会社・照明機器事業部
- (4) 谷本充司著 “プラズマ” 電気書院 (2000) pp.28-29
- (5) 新版“電気工学ハンドブック” 電気学会 (1988) pp.110-111
- (6) 山村英穂著 “トロイダル・コア活用百科” CQ出版社 (1983) pp.33-34
- (7) 明石和夫・服部秀三・松本修編 “光・プラズマプロセッシング” 日刊工業新聞社 (1986) p.107