

# 環境にやさしい 自家発電型懐中電灯 の試作

～ 磁気電灯・MagneticLight の製作 ～

2001年度

国立小山工業高等専門学校  
電子制御工学科 金野研究室  
中田 裕章

## 目次

- 1 はじめに
- 2 研究内容
  - 2.1 懐中電灯の概要
  - 2.2 発電部の原理
  - 2.3 電気二重層キャパシタについて
  - 2.4 発光部について
  - 2.5 コイルの試作
  - 2.6 コイルの測定
    - 2.6.1 測定方法
    - 2.6.2 巻き線径を変えたときの測定
    - 2.6.3 磁石の連結数を変えたときの測定
  - 2.7 試作した懐中電灯（磁気電灯：MagneticLight）の製作
    - 2.7.1 回路図
    - 2.7.2 設計図
    - 2.7.3 外観
    - 2.7.4 各部の構成
      - a. 発電部の構成
      - b. 蓄電部の構成・発光部の構成
    - 2.7.5 MagneticLight の特徴
    - 2.7.6 MagneticLight の特性測定
- 3 おわりに
- 4 参考文献
- 5 謝辞
- 6 添付資料

1 .「 」2000 年第 12 号

2 . Innovative Technologies 社のホ - ムページ

# 1 . はじめに

私達は、停電したときや暗いところを照らすときに懐中電灯を使う。そのため、災害が起きたときの必需品となっている。市販されている多くの懐中電灯はエネルギー源として電池、光を放つものとして電球が使われている。電池や電球は消耗品であり、いつかは新しいものとの交換が必要になり、使用済みのものはゴミとなる。電池の場合は有害物質を含んでいるため、ゴミ処理が問題となり環境に良くない。また、いつ交換すればいいのか判断しにくく、「いざというときに使用できない」という可能性がある。

本研究では

**電池や電球といった消耗品を使用しない。**

**使用部品を少なくして簡単な構造にする。**

**環境にやさしい。**

**半永久的に使用できる。**

**いざというときにすぐに使える。**

以上の条件を満たす懐中電灯の試作を行った。

試作を行う上で、「[自家発電型懐中電灯の試作](#)」2000 年第 12 号（添付資料 1 参照）の海外科学技術情報欄に「使用する前に振る」という題名で掲載された記事の日本語訳である。

電池も電球も無い懐中電灯がアメリカに現れた。この懐中電灯を点灯させるには、懐中電灯を数回振ればよい。こうすると、胴体内部に入っている磁石がコイルの中を「疾走」し、コイルに電流が発生する。この電気エネルギーは小さいが容量の大きいコンデンサに蓄えられる。このエネルギーで白色 LED を点灯する。使用期間は約 10 万時間である。25 秒間振ることで、懐中電灯は 5 分間点灯する。その際、距離 10[m]先の直径 2[m]の照射面が得られる。使用可能な環境温度範囲は -90[℃] ~ +85[℃] である。電池を使用しない故である。この懐中電灯内は交換する必要がないので、分解できないようになっており、かつ密閉されているので、水中でも使用可能である。

上記の記事をもとに、Innovative Technologies 社の NightStar FlashLight を参考に試作した。  
（添付資料 2 参照）

## 2．研究内容

### 2.1 懐中電灯の概要

ふつうの懐中電灯は、図 1 に示すように、箱の中に「電池」と「電球」が納められ、それぞれ「発光部」、「エネルギー源」となっている。

これに対して今回試作した懐中電灯は、図 2 に示すように「エネルギー源」を「発電部」、「蓄電部」が担当した 3 つの部分から構成されている。

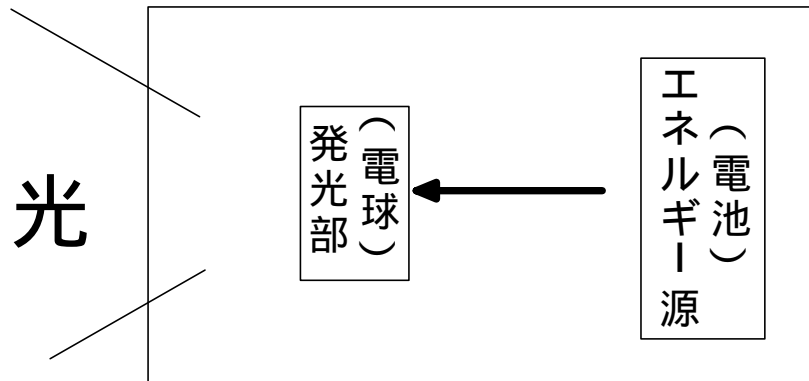


図 1 現在多く市販されている懐中電灯の概略

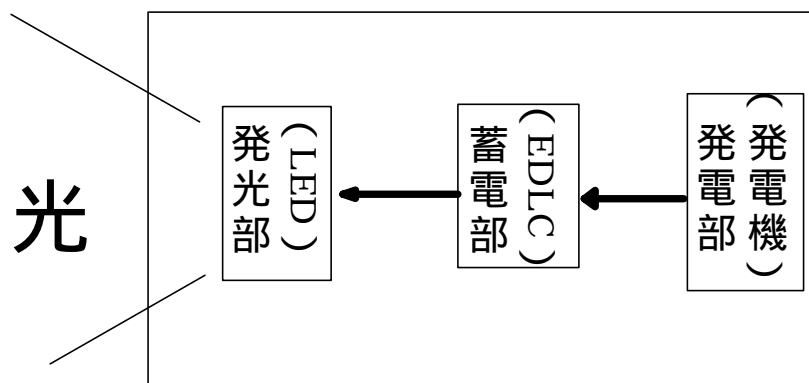


図 2 今回試作した懐中電灯の概略

試作した懐中電灯は、発光部に高輝度白色 LED、蓄電部に大容量の電気二重層キャパシタ (EDLC) を使用し、今回は、発電部の構造について試作を行った。

人力で簡単に発電できる方法として、手回しの発電機がすぐに思いつく。しかし、この方法だとモータやギアを使用するため、発電部を構成する部品が多くなり、故障しやすくなる。よって、この発電方法を採用しなかった。

発電方法を考えた結果、NightStar FlashLight で用いている発電方法が最適と考え、磁石、コイル、アクリル (パイプと板) を利用して発電部を製作した。

## 2.2 発電部の原理

電流を導線に流すと導線と垂直をなす平面に反時計回りの磁力線（磁束）が生じる。これを右ねじの法則という。（図3参照）

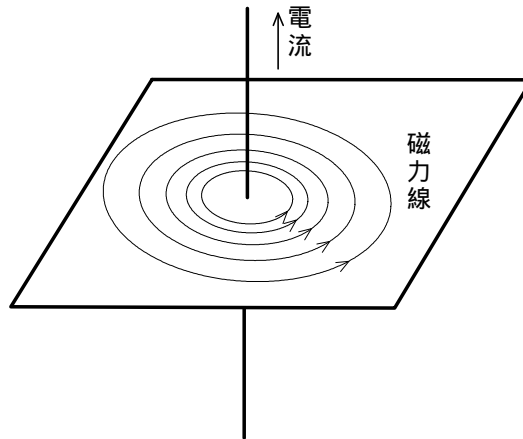


図3 右ねじの法則

コイルの中を磁石が通過すると、コイルの両端に電圧（誘導起電力）が生じる。これを電磁誘導といい、磁石を強くする、磁石を通過させる時間を短くする、コイルの巻き数を多くすることによって発生する電圧が大きくなる。

磁石は磁束が N から S へ出ており、磁石を下へ移動させることによって、図4のコイルの中を下向きの磁束が鎖交し、発生する誘導起電力の正方向を時計回りとする。

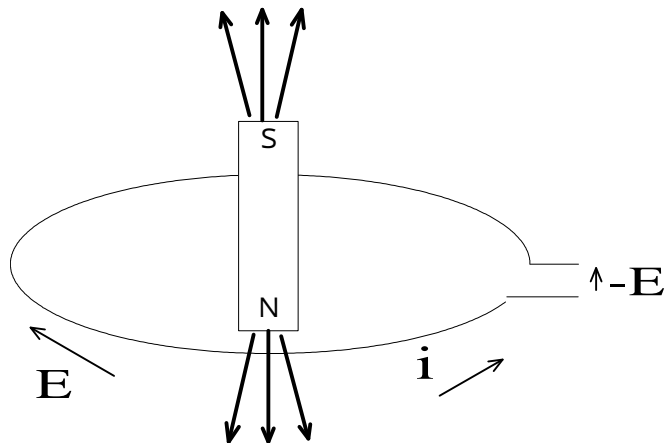


図4 電磁誘導

このとき磁束が変化するのを妨げる方向（上向き）に磁束を発生させようと、右ねじの法則により、コイルに反時計回りに電流（誘導電流） $i$ 、誘導起電力  $-E$  が生じる。そのため、発生する誘導起電力は負の電圧になる。

数式で表すと式（1）になる。

$$E = -n \frac{d}{dt} \dots (1)$$

式（1）はファラデーの法則と呼ばれ、 $\frac{d}{dt}$  が磁束鎖交数[wb]、 $\frac{d}{dt}$  が磁束鎖交数の時間的な変化の割合[wb/s]、 $n$  が巻き数[回]を表し、誘導起電力[V]：  $-E$  は巻き数、磁束鎖交数の時間的な変化に比例する。（磁束の単位について9ページ参照）

## 2.3 電気二重層キャパシタについて

電解液に導体を浸すと、導体に接する界面に、導体によって押しつけられた分子による内層と、電解液側に充電電荷によって引き寄せられている外層の2層が生じ、これを電気二重層と呼ぶ。

電気分解を行うとき、電気分解が始まる電圧よりも低いときに電気二重層は自然に生じる。層を分ける界面は、ほぼ絶縁状態であるので、電圧を印加すると両側にキャリアやイオンが引き寄せられる。これをコンデンサとして利用したものが電気二重層キャパシタ（Electric Double Layer Capacitor : EDLC）である。

図5は電気二重層キャパシタの原理である。

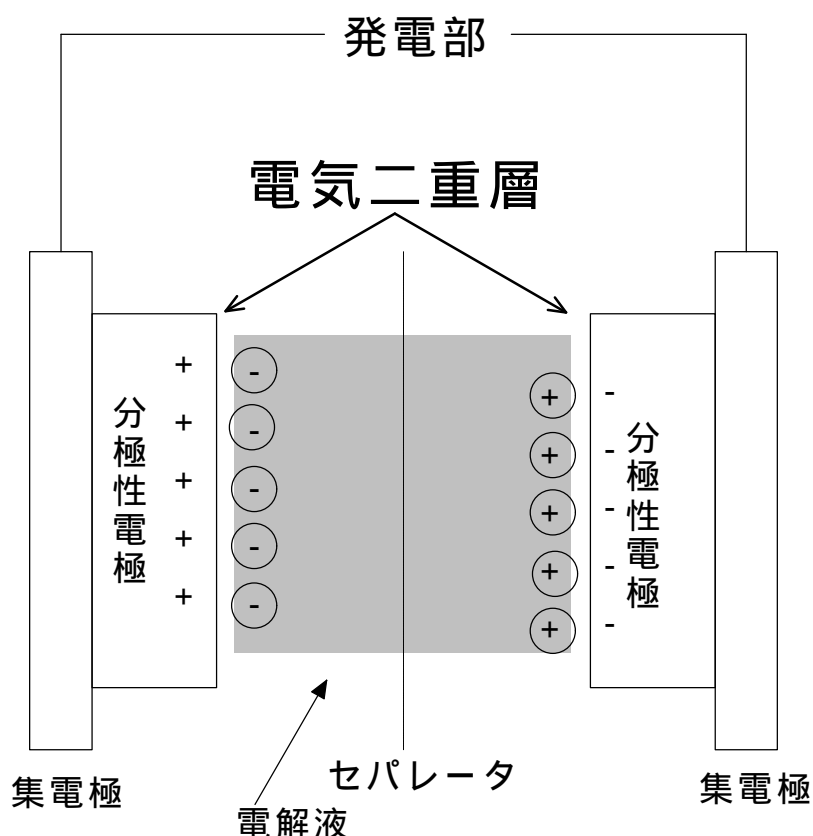


図5 電気二重層キャパシタの原理

図5からわかるように、電気二重層が2カ所に生じているため、2つのコンデンサが直列につながったものと見ることができる。

分極性電極と電解液との間に電気二重層が生じるため、分極性電極として活性炭粒子を練り合わせたものが多く用いられる。

分極性電極と端子を結ぶものとして集電極が用いられ、電気二重層キャパシタの内部抵抗に大きく影響するため、白金やアルミニウムが用いられている。

図5中央に電解液を二分させているセパレータがある。これは正負両極がオーミックな接触をさせないようにして、イオンの移動だけ自由にさせるという働きがある。

電気二重層の部分を拡大して表したものが図 6 である。厚さが 1 分子と薄い界面を挟んで平行平板コンデンサのような構造をしている。界面の厚さが薄く、表面積が巨大になり、ピンホールがほとんど無いため、大容量のコンデンサが実現できる。

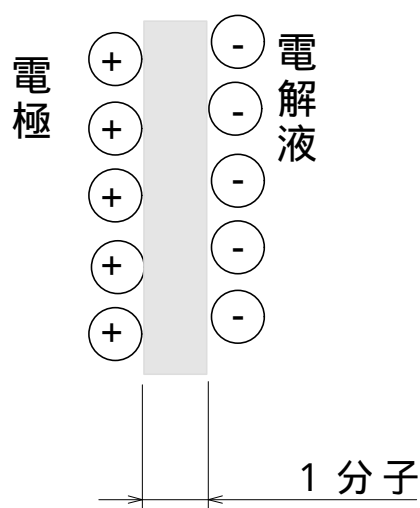


図 6 電気二重層

電気二重層キャパシタと化学電池の特性を表 1 に示した。

	化学電池		コンデンサ
	NiCd 電池	Li-Ion 二次電池	電気二重層キャパシタ
エネルギー密度[Wh/kg]	40 ~ 60	100	0.2 ~ 10
使用温度範囲[ ]	-20 ~ 60	-20 ~ 50	-25 ~ 70
寿命 (サイクル)	400 ~ 900	500 ~ 1000	無限 (注 1)
危険性	液漏れ、破裂	液漏れ、破裂、発火	特になし (注 2)

表 1 キャパシタと化学電池の比較

(注 1) 実際には有限であるが、電圧や温度の使用範囲内であれば、寿命を気にすることなく使用できる。

(注 2) キャパシタの定格電圧以上の電圧を印可した場合は、爆発するおそれがある。

表 1 より、電気二重層キャパシタは化学電池よりもエネルギー密度が小さい。しかし、化学電池はエネルギーを化学反応として貯めているが、電気二重層キャパシタはイオンとして蓄電したいいため、寿命や安全性は優れていることが分かる。

寿命を最優先に考えたため、エネルギー源を発電部、蓄電部に分け、また、電気二重層キャパシタを採用した。

## 2.4 発光部について

### 白熱電球の発光原理

電球の中にあるタングステンでできているフィラメントは、抵抗値が高いため電流を流すとジュールの法則（9 ページ参照）によって 2000 近く発熱する。熱せられたフィラメントは白熱化し発光する。フィラメントが発熱して燃えないように、中には不活性ガスが充填されている。

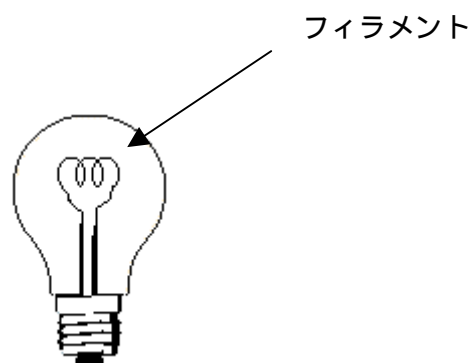


図 7 白熱電球

### LED(Light Emitting Diode：発光ダイオード)の発光原理

LED チップに電圧をかけると発光する。LED チップは、ふつうのダイオードと同じ PN 接合の半導体を用いている。順方向に電圧を加えると、半導体内部で電子と正孔が結合する。このとき結合で放出されるエネルギーが光として発光する。LED チップを守るためにまわりが樹脂で覆われている。(図 8 参照)

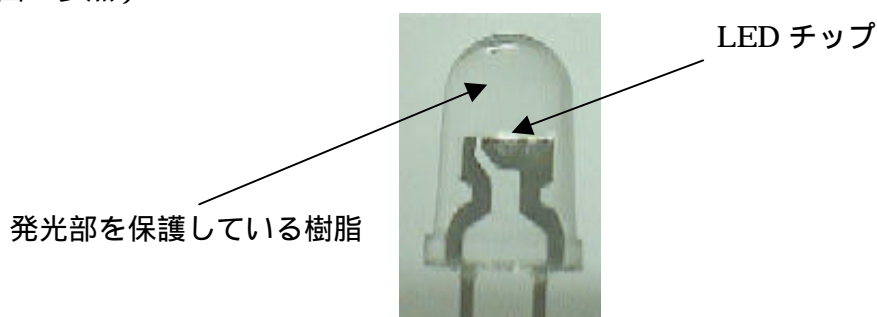


図 8 LED

表 2 は LED と白熱電球の特徴を比較したものである。白熱電球は、光エネルギーを取り出すのに一度、熱エネルギーに変換される。発熱するだけに消費電力の大部分が消費されるため、エネルギー効率は悪いが、自身が発熱するため耐熱性は良い。

LED は、電気エネルギーを直接光エネルギーに変換されるため、エネルギー効率は良く発熱をほとんどしない。また、半導体を使用しているので耐熱性が白熱電球に比べ悪い。

表 2 より、LED は耐熱性以外で優れているため、試作する懐中電灯の発光部として採用した。



	白熱電球	LED
技術	単純	複雑
寿命（定格で使用の場合）	数年	数十年
耐熱性	強い	弱い
発光するときの発熱量	大きい	小さい
振動に対して	弱い	強い
エネルギー - 効率	悪い(注3)	良い(注3)

表2 LED と白熱電球の比較

(注3) LED は白熱電球に比べ 10 倍以上エネルギー効率がよい。

### ジュールの法則

図9の回路で電圧  $E$  を加えたとき、電流  $i$  が流れた。このとき抵抗  $R$  では、電力  $P$  が熱エネルギー（ジュール熱）として消費される。この関係ジュールの法則といい、数式で表すと式(2)になる。

$$P = I^2 R \dots (2) \quad P \text{ の単位は } [W] : \text{ “ワット” である。}$$

式(2)より、流れる電流の2乗、抵抗値に比例しており、これに電流を流した時間  $t$  を掛けたものが発熱量  $W$  といい、式(3)で表される。

$$W = Pt \dots (3) \quad W \text{ の単位は } [J] : \text{ “ジュール” である。}$$

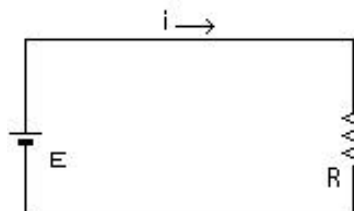


図9 ジュールの法則

### 磁束・磁束密度の単位について

ファラデーの法則で磁束鎖交数の単位が  $[Wb]$  と表してあった。磁束の単位  $[Wb]$  は、“ウェーバ”と呼ばれ、定義は以下の通りである。

「ウェーバは、1回巻きの閉回路を貫く磁束を一応に減少させ底って1秒間で零にすると、1[V]の起電力をそこに発生させる磁束」

磁石の強さを表す1つの指標として磁束密度というものがある。単位は  $[T]$  : “テスラ”であり、以下のように定義されている。

「磁束の方向に垂直な面の1平方メートルにつき1[Wb]の磁束密度を1[T]とする。」

磁束密度を表す単位として“ガウス”  $[G]$  が有名であり、ガウスとテスラの関係は以下の通りである。

$$1[T] = 10^4[G]$$

## 2.5 コイルの試作

図 10 は、試作した発電部の設計図である。巻き線が 0.1[mm]、0.2[mm]、0.32[mm]、0.55[mm] の 4 種類の発電部を試作した。

コイルを巻いたときの直径を 40[mm]、巻く幅を 30[mm]と固定したため、表 1 に示すように巻き数に差が生じてしまった。

表 3 より、巻く回数が多くなると開放端電圧が、また、巻き線径が細くなるとコイルの抵抗値が、大きくなるのが分かる。

また、図 11 は、線径が 0.32[mm]のマグネットワイヤーで試作したコイルである。

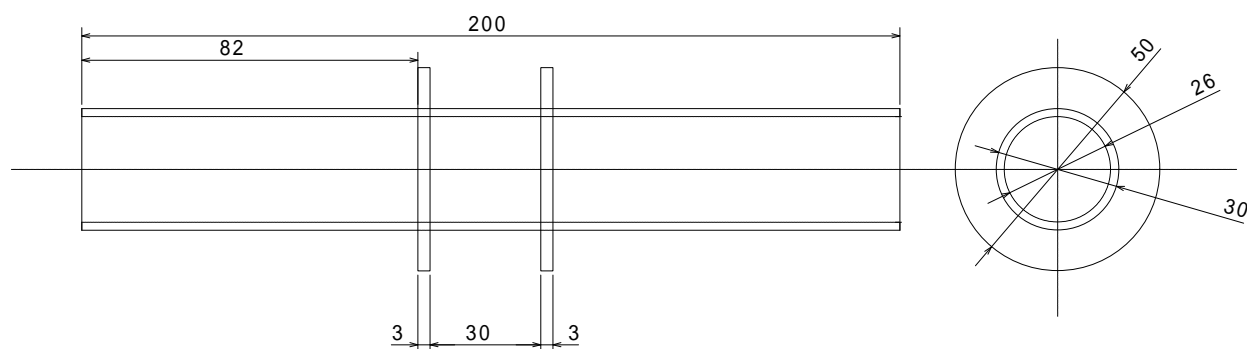


図 10 試作した発電部の設計図

線径[mm]	巻き数[回]	開放端電圧[V]	コイルの抵抗値[Ω]
0.1	10000	75	2360
0.2	3000	40	182
0.32	1500	30	37
0.55	1000	10	3.4

表 3 使用したマグネットワイヤー（巻き線）の特性

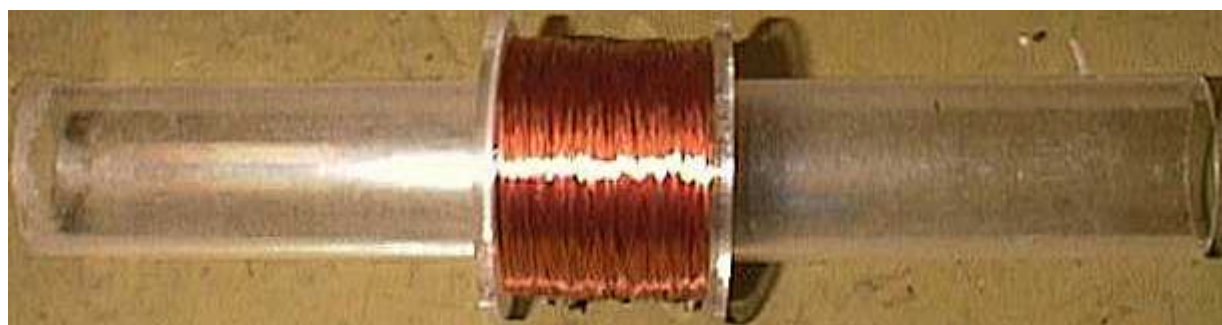


図 11 線径が 0.32[mm]のマグネットワイヤーを巻いた発電部

## 2.6 コイルの測定

### 2.6.1 測定方法

図 10 の設計図をもとに試作した 4 種類の発電部の両端に磁石付きのふたをつけ、発電部のアクリルパイプ中を移動する磁石を 2 個から 4 個まで変えて発電量の測定を行った。

図 12 にふたの設計図、図 13 に磁石の外観をそれぞれ示す。

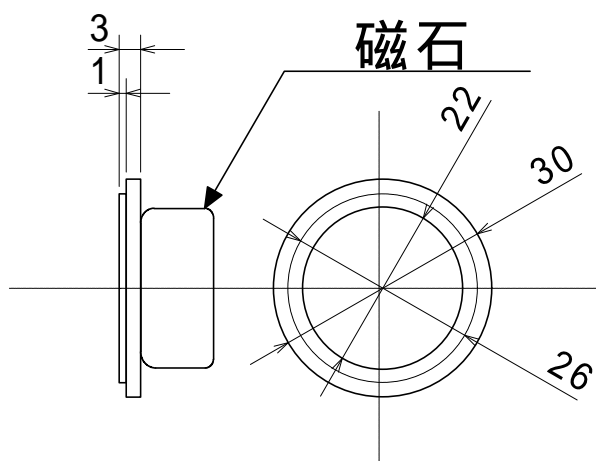


図 12 ふたの設計図



図 13 磁石の外観

今回は、直径 22[mm]、厚さ 10[mm]、磁束密度 0.45[T]のネオジム磁石を使用した。

測定には図 14 の測定回路を用いた。測定回路は発電部分、蓄電部の電気二重層キャパシタ、発光部の高輝度白色 LED がある「発光部」と、フォトランジスタ、電圧計のある「受光部」に別れている。(磁束密度の単位について 9 ページ参照)

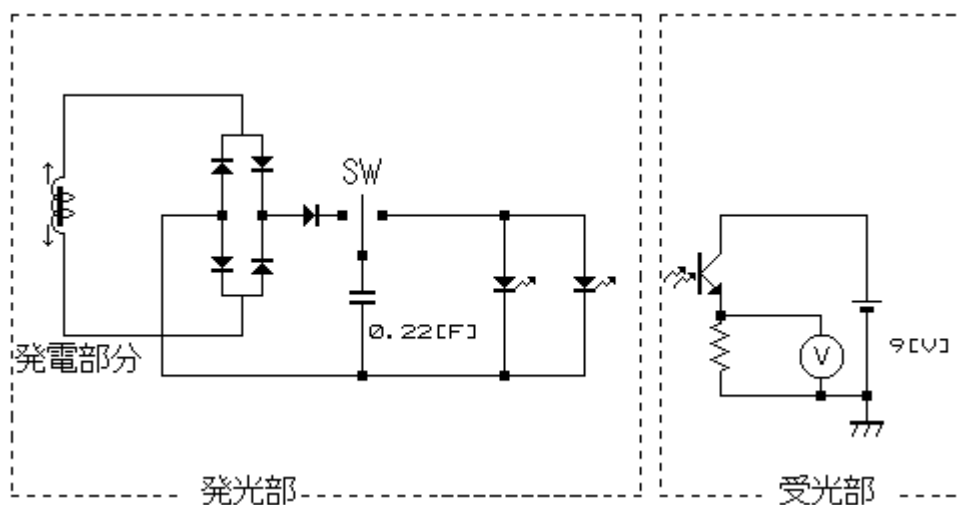


図 14 測定回路

SW を発電側にして、発電部を振ることによって発電し、発電した電流が全波整流回路を通し、静電容量 0.22[F]の電気二重層キャパシタに蓄電される。SW を発光部側にするによって、蓄電部に蓄えられている電荷が発光部の LED へ流れ発光する。

LED の発光を受光部のフォトトランジスタで検知し、発光強度に応じた電圧が出力される。出力された電圧を電圧計で測定し、この値を「相対発光強度」と名付けた。

図 15 に実際の測定の風景である。発光部の LED と受光部のフォトトランジスタとの距離を 30[cm]、発電部を 2 分間振って測定した。



図 15 測定風景

#### ネオジム磁石について

ネオジム磁石は、磁性材料としてネオジム (Nd) を使用しているため希土類磁石とも呼ばれる。

原子番号 21 番のスカンジウム (Sc)、39 番のイットリウム (Y) と原子番号 57 番ランタンから 71 番のルテチウムまでのランタノイドの計 17 元素をまとめて希土類元素 (表 4 参照) と呼ばれている。もともとは、まれにしか産出されない鉱物中に含まれていたためこのような名が付けられたが、必ずしも地球上で希少な元素ではない。ネオジム磁石の他にサマリウム磁石 (Sm) も希土類磁石として有名である。

	原子番号	元素記号	元素名		原子番号	元素記号	元素名
ラン タ ン ノ イ ド	21	Sc	スカンジウム	ラン タ ン ノ イ ド	64	Gd	ガドリウム
	39	Y	イットリウム		65	Tb	テルビウム
	57	La	ランタン		66	Dy	ジスプロシウム
	58	Ce	セリウム		67	Ho	ホルミウム
	59	Pr	プラセオジム		68	Er	エルビウム
	60	Nd	ネオジム		69	Tm	ツリウム
	61	Pm	プロメチウム		70	Yb	イッテルビウム
	62	Sm	サマリウム		71	Lu	ルテチウム
	63	Eu	ユウロビウム				

表 4 希土類元素

ネオジム磁石の特徴としてキュリー温度が低いことが挙げられる。キュリー温度とは、これ以上の温度まで磁石を加熱すると磁性を失い磁石として働かなくなる。また、一度この温度を超えた後冷やしても同じである。

フェライト磁石と希土類磁石のネオジム磁石、サマリウム磁石のキュリー温度を表にしたものが表5である。同じ希土類磁石でもネオジム磁石のキュリー温度は、サマリウム磁石の半分以下、日常生活の中でよく見かけるフェライト磁石よりも100 近く低いことがわかる。そのため、ネオジム磁石は、高温の場所や発熱するような場所での使用に不適である。

温度特性と錆やすさを除けば、磁気特性は希土類磁石の中でも最高のものなので希土類磁性材料としてネオジム磁石は用いられている。

市販されているネオジム磁石は、ネオジムの他に鉄 (Fe) ホウ素 (B) 主成分として焼き固めたものを錆びるのを防ぐために表面をメッキ処理されている。

実際にネオジム磁石を使ってみるとフェライト磁石より磁束密度は10 倍以上大きく、吸着力が強いので、近くに鉄などが置いてあると勢い良く吸着する。また、磁石が一度くっつくとなかなか引き離すことができず、引き離したと思って気を緩めると、またくっついてしまう。

ネオジム磁石は堅くてもろいので、慎重に磁石をくっつけたり、離したりしないと割れてしまうので、取り扱いや保管には注意が必要である。

磁石の種類	キュリー温度[ °C ]
フェライト磁石	450
ネオジム磁石	320 ~ 340
サマリウム磁石	700 ~ 800

表5 キュリー温度

### 2.3.2 巻き線径を変えたときの測定

図16 は、アクリルパイプ中を移動する磁石の数を4 個としたときの巻き線径の違いによる発光時間と相対発光強度の関係である。

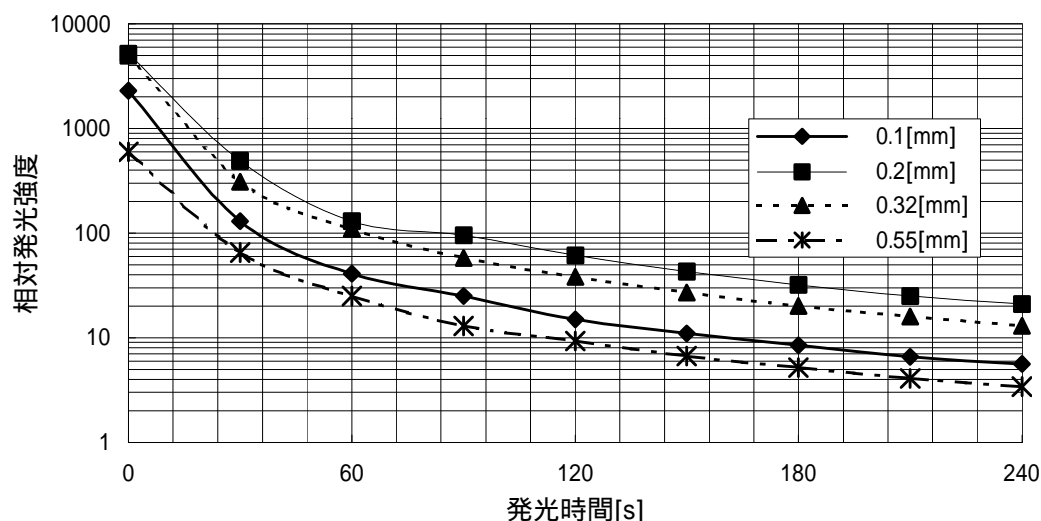


図16 コイルの線径を変えたときの発光量の測定

### 2.6.3 磁石の連結数を変えたときの測定

図 16 の結果より、線径が 0.2[mm]と 0.32[mm]のマグネットワイヤーは、0.1[mm]、0.55[mm]のものに比べ、2 倍以上発光強度が強いことが分かる。

発光量の多かった線径が 0.2[mm]、0.32[mm]のコイルを用いて、発電部分の亚克力パイプ中を通過する磁石の連結数を変えたときの発光時間と相対発光強度との関係を示したものが図 17 である。

磁石を連結したときの連結数、磁束密度、全長を表 6 に示す。

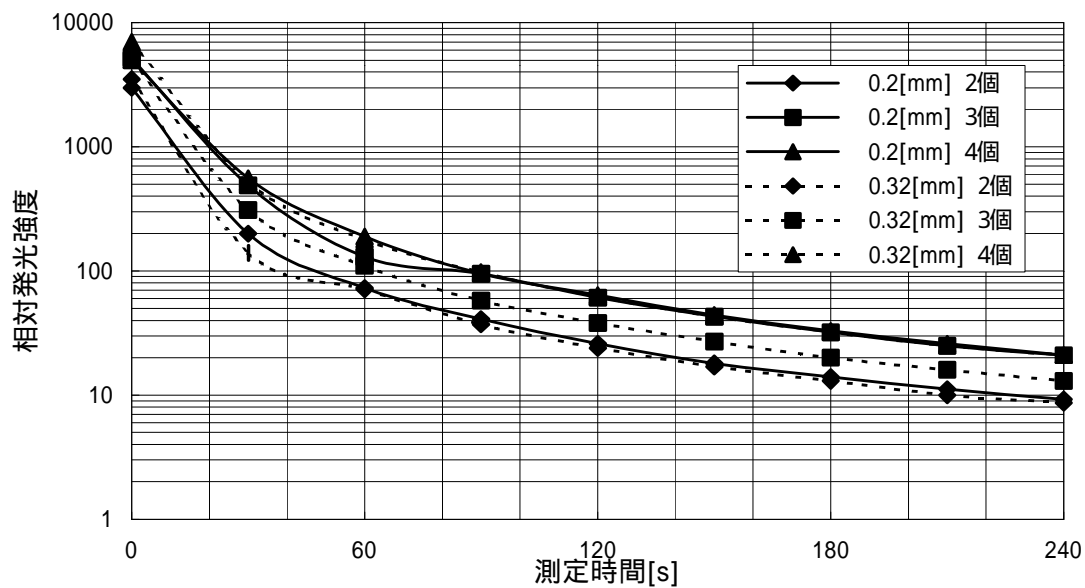


図17 磁石の数を変えたときの発光量の測定

磁石の連結数	磁束密度[T]	全長[mm]
1	0.45	10
2	0.53	20
3	0.57	30
4	0.60	40

表 6 連結数と磁束密度、全長の関係

図 17 の結果より、磁石の連結数を 3 個から 4 個へ増やしたときに比べ、2 個から 3 個へ増やしたときの方が発光量の増加が約 2 倍大きい。また、表 6 より、磁石の連結数が増加するに従って、磁束密度の増加量は減少し、全長が長くなる。そのため、磁石を 4 個連結したときは、発電部を振っても磁石は、完全にコイルを通過することができなかった。

これが、磁石の連結数を 3 個から 4 個へ増やしても、2 個から 3 個のときのように発光量が増加しなかった原因だと考えられる。

## 2.7 試作した懐中電灯（磁気電灯：MagneticLight）の製作

今回試作する懐中電灯は、懐中電灯本体を振って、磁石を移動させることにより発電しているため、

この懐中電灯を

**「磁気電灯：MagneticLight」**

と命名した。

### 2.7.1 回路図

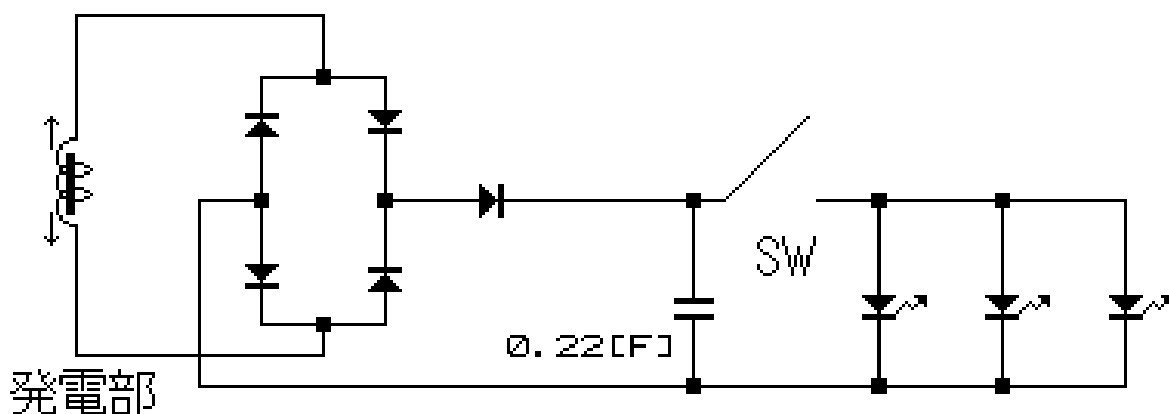


図 18 MagneticLight の回路図

スイッチを ON にしたまま振ると、蓄電、発光が同時に行われる。そのため、スイッチを ON にしておけば振っているときも発光するため、蓄電部に電荷が全然貯まっていなくても、すぐに懐中電灯として使える。

回路を製作するにあたって

内径 46[mm]の亚克力パイプ内に回路を収納させるため、ブリッジ回路・LED と電気二重層キャパシタの 2 枚の基板に分けた。そして、MagneticLight の全長との兼ね合いで、図 19 に示すように反発磁石にくっついた状態で収納し、その上をブリッジ回路と発光部のある「発光部基板」とし、「発光部基板」と「蓄電部基板」の間に「スイッチ」を設けた。そのため、「発光部基板」、「蓄電部基板」、「スイッチ」で囲まれた空間は、配線が縦横無尽に走っており、見栄えがあまりよいものではない。

## 2.7.2 設計図

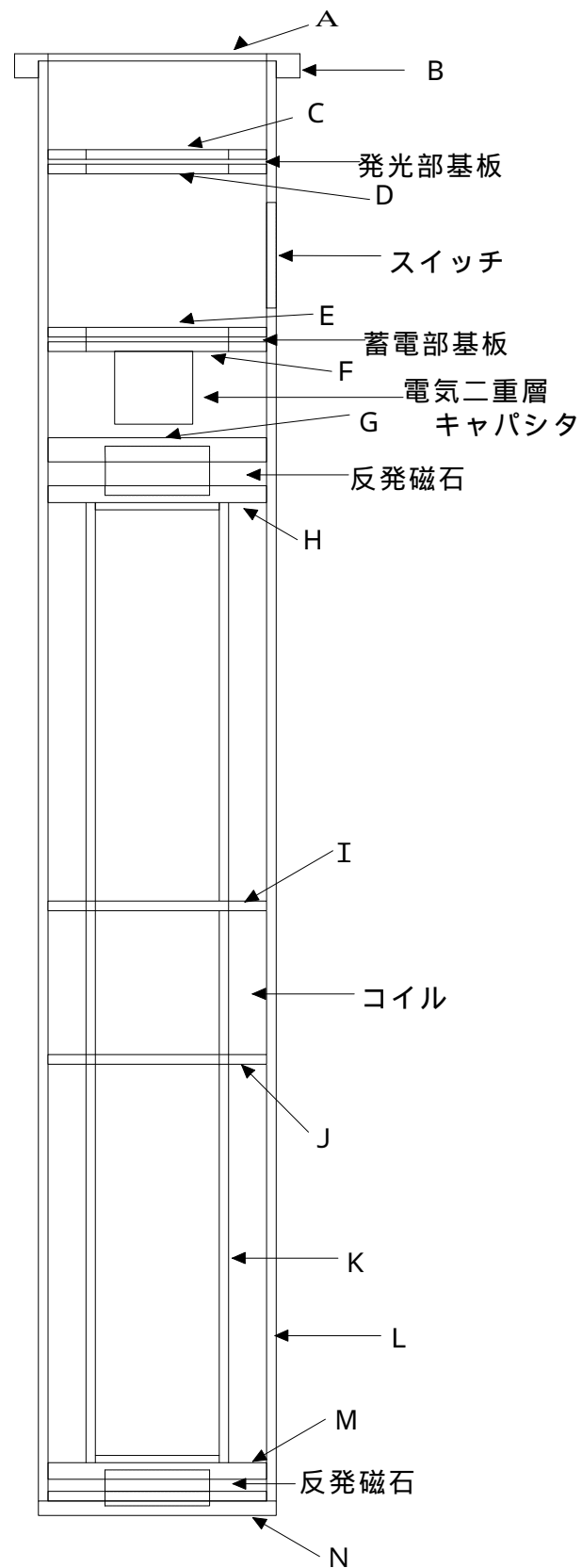


図 19 MagneticLight の断面図



図 19 中の A ~ N の設計図を図 20 ~ 図 27 に示す。

## レンズ部

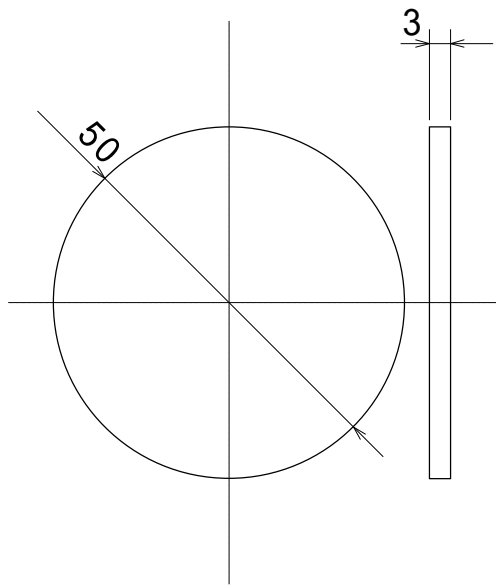


図 20 A の設計図

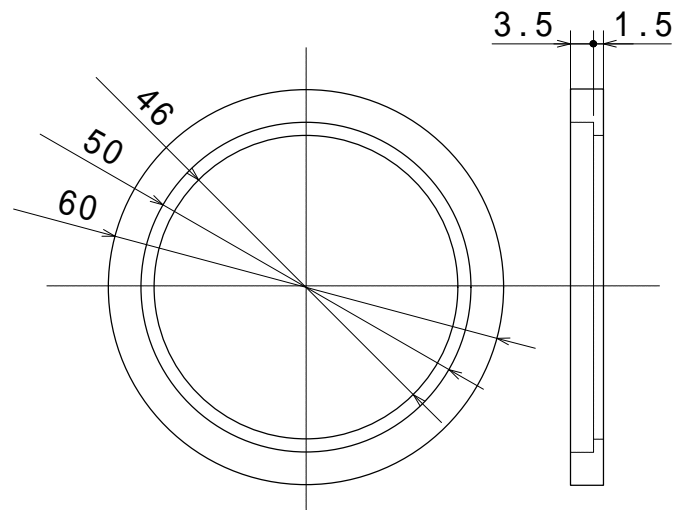


図 21 B の設計図

## 発光部・蓄電部

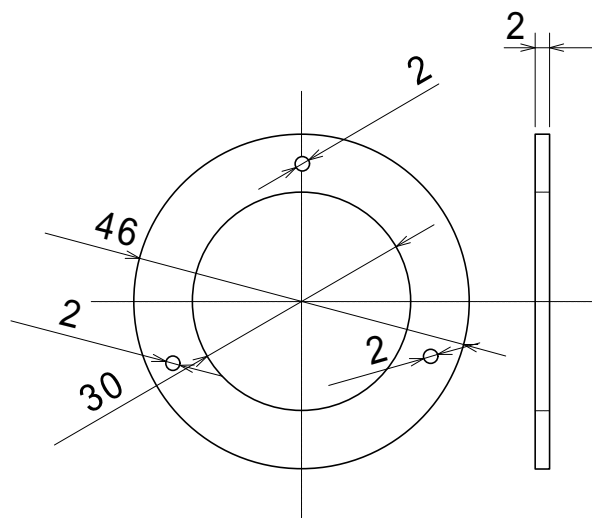


図 22 C , D , E , F の設計図

発電部・外装

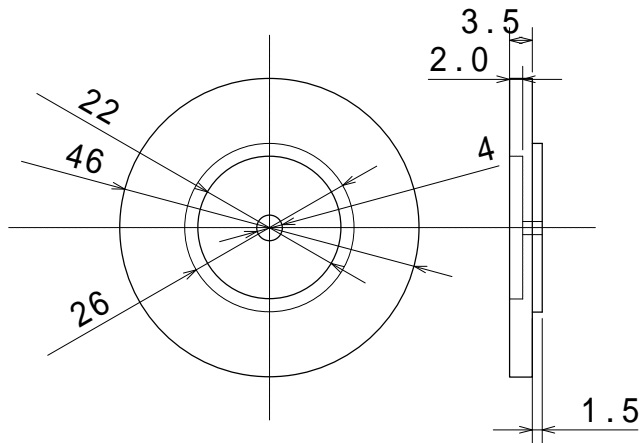


図 23 H、Mの設計図

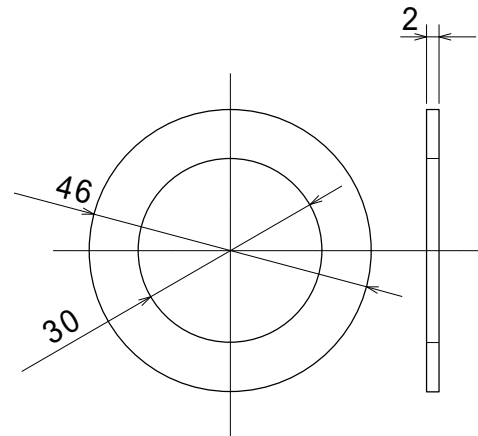


図 24 I , J の設計図

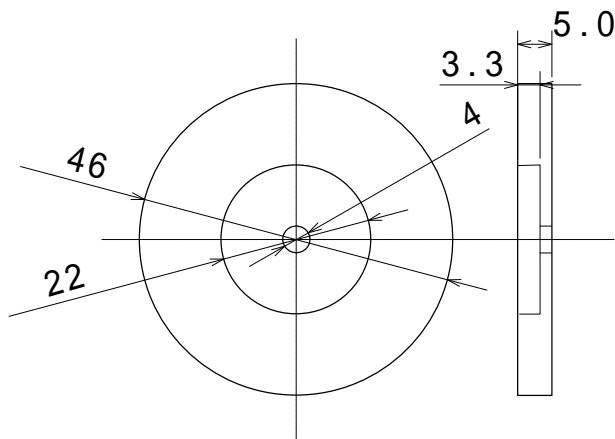


図 25 Gの設計図

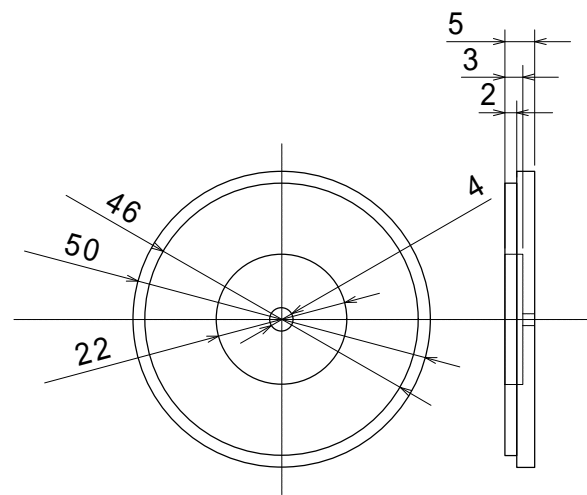


図 26 Nの設計図

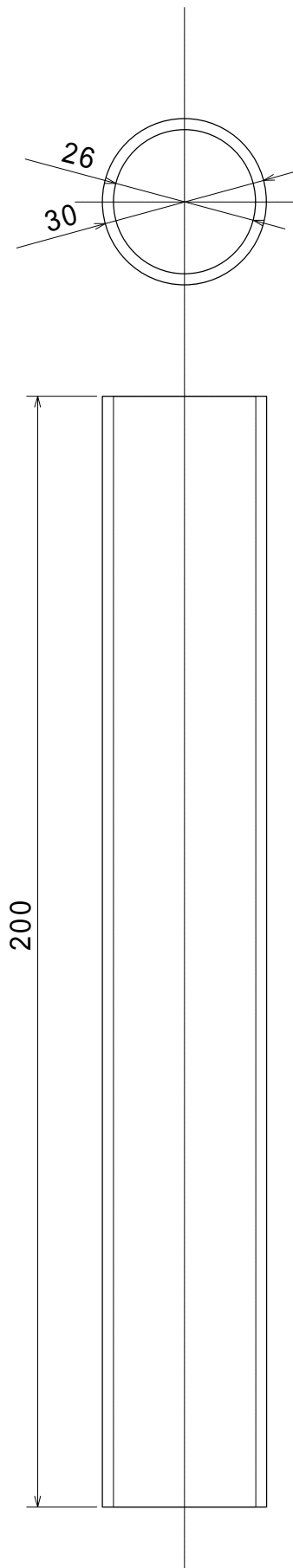


図 27 K の設計図

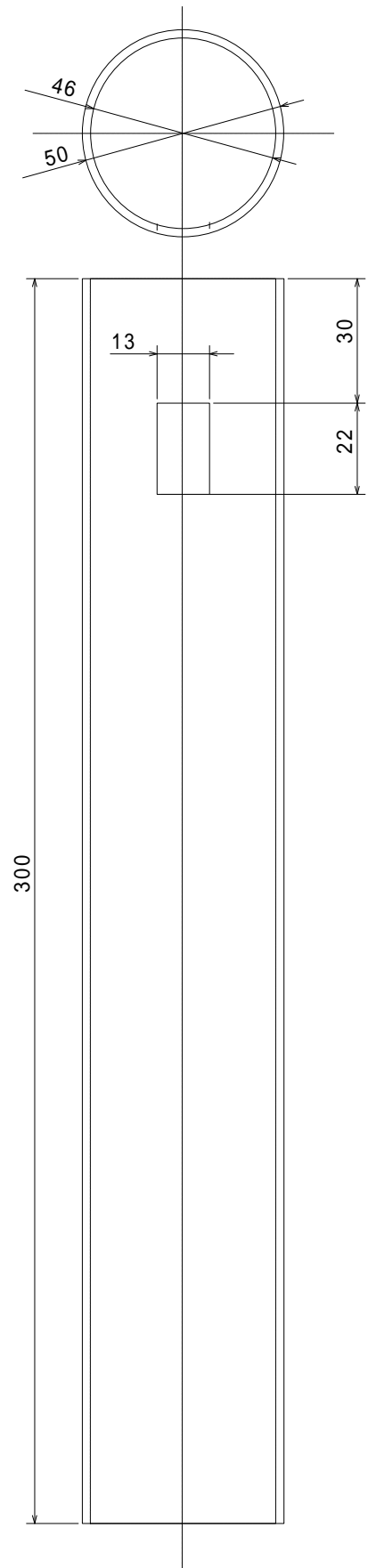


図 28 L の設計図

MagneticLight を製作するにあたって

加工しやすい、入手しやすい材料としてアクリルを選び加工を行った。A、K、L 以外は、旋盤で加工するため、はじめにアクリル板上に加工する寸法をけがき、寸法から余裕を見て切り出した。（例えば、N の場合は外径が 50[mm] なので、60[mm] × 60[mm] の長方形で切り出した。）K、L は、アクリルパイプをのこぎりで 200[mm]、300[mm] に切断し、断面をヤスリで仕上げた。

旋盤で加工しやすいように、切り出した長方形の頂点を丸めた。旋盤で回転させるため中心に直径 4[mm] の穴をあけ、ボルトを通してナットで固定しチャックに噛ませて削った。

図 29 は、実際に旋盤で加工した様子である。アクリル板に寸法をけがいて、ナットを二重止めしているのがわかる。

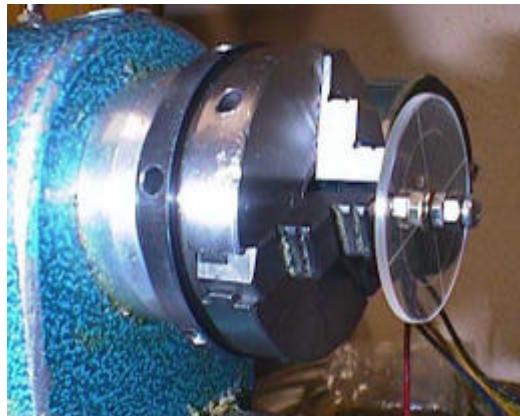


図 29 旋盤での加工

C と D、E と F、G と H と M、I と J は、それぞれ同じ外径にしないと組み立てたときに歪んでしまうため、8 枚重ねにして旋盤で加工した。C、D と E、F はそれぞれ発光部、蓄電部の基板を固定するために、中心から 38[mm] のところに直径 2[mm] の穴を 3 カ所あけ、基板を挟みボルトとナットで固定した。

G、H、M、N は、発電部の反発磁石を固定するために磁石の直径である 22[mm] で深さ数ミリの穴をあけた。そのため、この 4 枚は、厚さ 5[mm] のアクリル板を使用した。

H と M は、発電部のアクリルパイプを固定するために直径 26[mm] で幅 1.5[mm] 飛び出ており、（図 23 参照）以下の手順で加工した。

- 1．外径を 46[mm] に削る。
- 2．幅 1.5[mm]、直径 26[mm] の円柱を浮き上がらせる。
- 3．裏返しして、幅 3.5[mm] の部分に、深さ 2[mm]、直径 22[mm] の穴をあける。

底面の N は、旋盤で加工したため中心に直径 4[mm] の穴があいている。このままにしておくと反発磁石が破損するおそれがあるため、ホットメルトを注入して、底面を紙ヤスリで仕上げたので、底面はくもりガラスのようにになっている。

本学科にある旋盤で円に加工しようとすると、どうしても中心に穴をあけなくてはならない。しかし、MagneticLight のレンズ部分は、LED や内部の回路を保護するために中心に穴のない円形のアクリル板が必要である。このような理由から、レンズ部分を A、B の 2 つに分けて製作した。

Bは以下の手順で加工した。

- 1．外径を 60[mm]に削る。
- 2．内径を 46[mm]に削る。
- 3．直径 50[mm]、深さ 3.5[mm]の穴をあけ、Aが入るかを確認する。

Aは、ボール盤に図 30 を取り付けて加工した。バイトが取り付けられており、中心に穴をあけることなく、簡単にAの部品が製作できた。

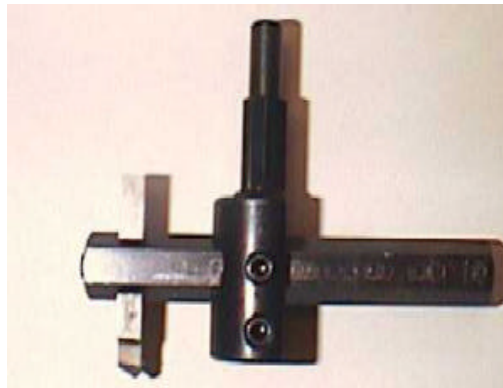


図 30 Aの加工

最後の作業として部品Lにスイッチ用の穴をあけた。寸法は図 28 に示す通りである。加工は以下の手順で行った。

- 1．13[mm]×22[mm]に切り取った紙に両面テープを貼り、部品Lのスイッチ用の穴をあけるところに貼る。
- 2．ハンドドリルで張り付けた部分の外周に穴をあける。  
(このとき、あけた穴が貼った紙の部分からはみ出さないようにする。)
- 3．2.であけた穴をヤスリで仕上げる。

図 31 は、実際に MagneticLight で用いているスイッチである。両方の端子はショートするのを防ぐためにホットメルトで固められている。



ホットメルト

図 31 スイッチ

### 2.7.3 MagneticLight の外観

図 32、33 に製作した MagneticLight の外観を示す。

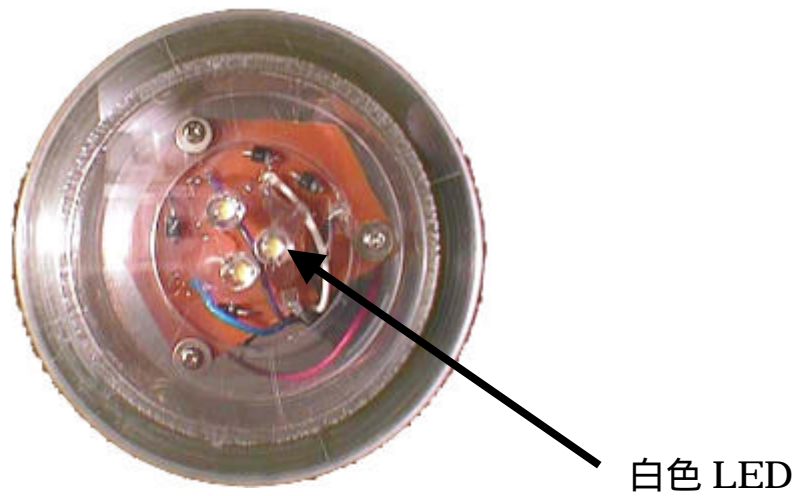


図 32 MagneticLight の外観（上面図）

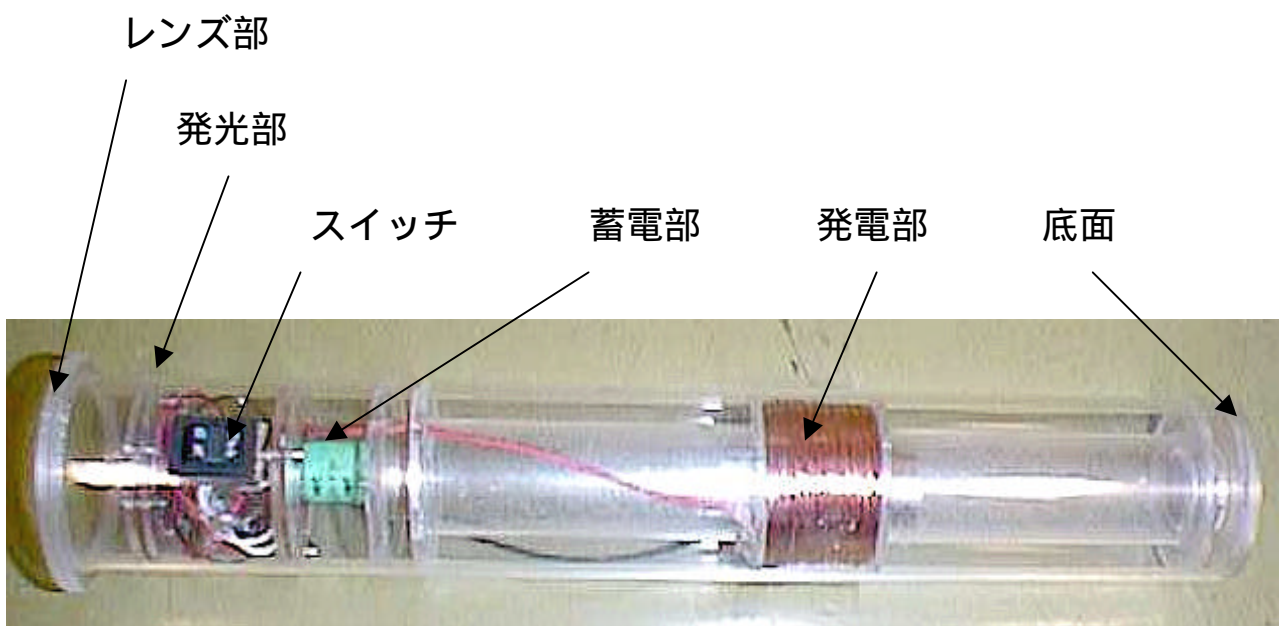


図 33 MagneticLight の外観（側面図）

今回製作した MagneticLight の制作費は約 40000 円、制作費の 8 割以上を磁石の購入費が占める。1 個 6750 円のネオジム磁石を 5 個使用したためであり、磁石の値段を落とせば制作費も落ちると考えられる。

## 2.7.4 各部の構成

### a. 発電部の構成

2.6 での結果よりコイルに用いるマグネットワイヤーの線径を 0.32[mm]、アクリルパイプ中を移動する磁石（移動磁石）の連結個数を 3 個（磁束密度 0.57[T]、全長 30[mm]）として発電部を製作した。図 34 は、発電部分の外観である。

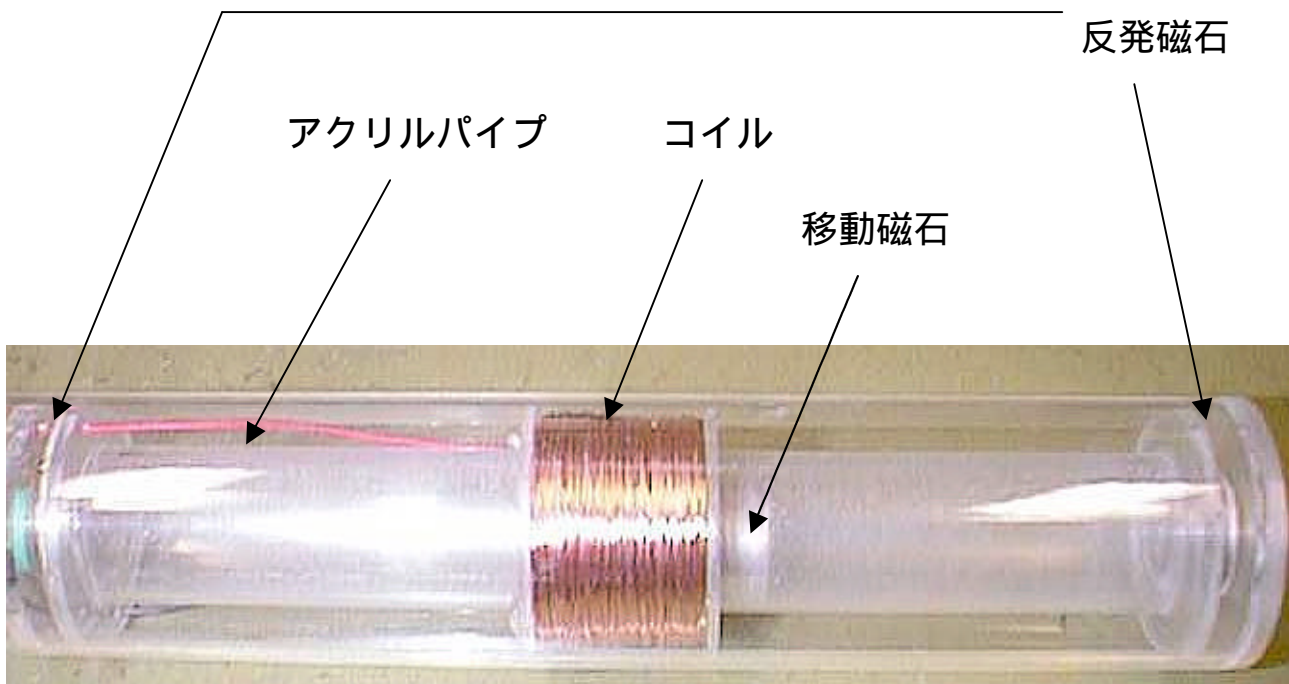


図 34 発電部の外観

### b. 蓄電部・発光部の構成

蓄電部には静電容量が 0.22[F]の電気二重層キャパシタを使用した。図 35 は MagneticLight に搭載したものと同型（図 35 は 0.10[F]である。）の電気二重層キャパシタの外観である。

発光部には高輝度白色 LED を使用した。図 36 は用いた LED の外観。

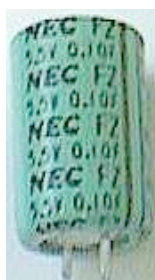


図 35 電気二重層キャパシタ



図 36 高輝度白色 LED

### 2.4.3 MagneticLight の特徴

発電部の両端に、移動磁石とは反対の極の反発磁石がある。磁石を置かないとアクリル板でできた壁に衝突し、そこでエネルギーが消費される。また、アクリル板に衝突することによって磁石自体、アクリル板の双方にダメージを与え、いずれは破壊してしまうおそれがある。反発磁石を置くことで磁石の反発力を利用することで、アクリル板に衝突するのを防ぎ、反発磁石が無いときよりも軽く振ることができる。

発電部の磁石によって、MagneticLight のレンズ部分で  $1.4[\text{mT}]$ 、移動する磁石 ( $0.57[\text{T}]$ ) のある外表面で  $52[\text{mT}]$ 、底面で  $0.26[\text{T}]$ 、底面から  $5[\text{cm}]$  のところで  $2[\text{mT}]$ 、 $10[\text{cm}]$  のところで  $0.5[\text{mT}]$  あるため (図 37 参照) テレビの画面やディスプレイに近づけると磁気による影響を及ぼすため、取り扱う上では注意が必要である。実際にパソコンのディスプレイに MagneticLight の底面を約  $10[\text{cm}]$  のところまで近づけたら磁気による影響が生じた。

MagneticLight を 1 分間振ると 1 分程度辺りを照らすことができ、2 分程度は手元を照らすことができる。また、少し暗くなったら、スイッチを ON にしたままで数回振れば明るくなる。

1 分間程度 MagneticLight を振ってそのまま放置しておき、3 日経過して、スイッチを ON にしても、振ってすぐに ON にしたときとほとんど変化がない。

スイッチを ON のままにしておき、蓄電部に電荷がほとんど貯まっていないときも、スイッチを OFF にして、30 回程度振った後、ON にすれば明るいので、いざというときにすぐに使えるようになっている。

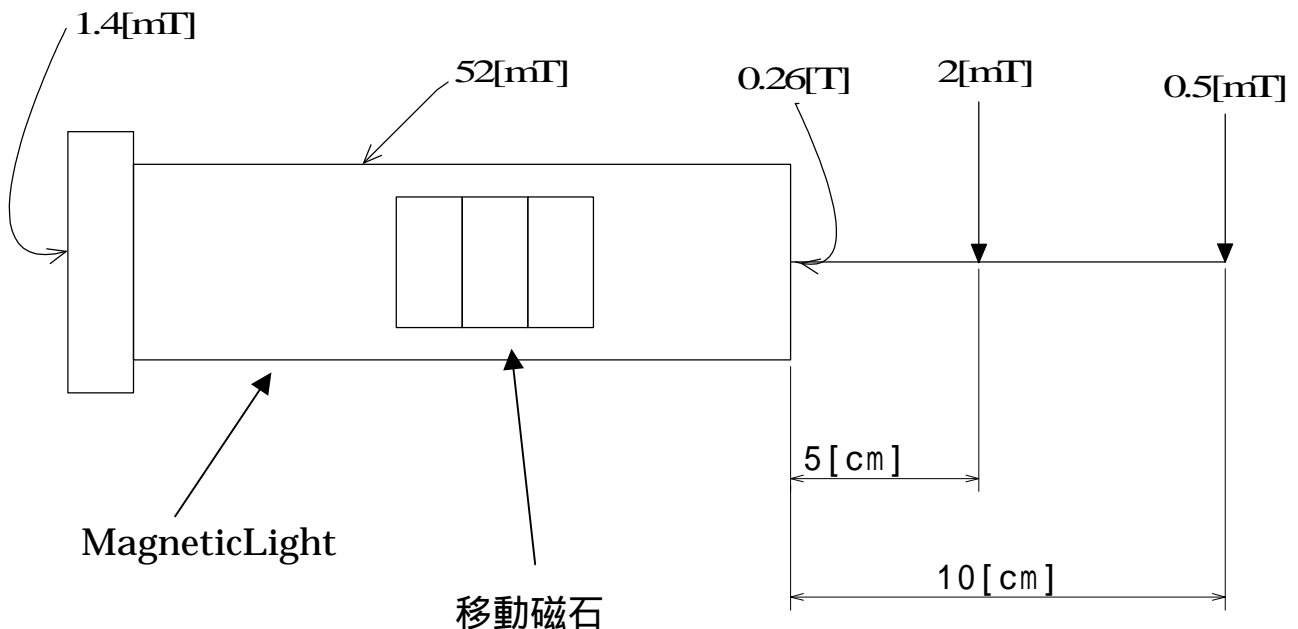


図 37 MagneticLight の磁界の分布



## 2.7.6 MagneticLight の特性測定

図 38 は、図 14 測定回路の受光部と MagneticLight のレンズ部との距離を 30[cm]として、MagneticLight のスイッチを OFF にして、1 分間振ったときの測定結果である。

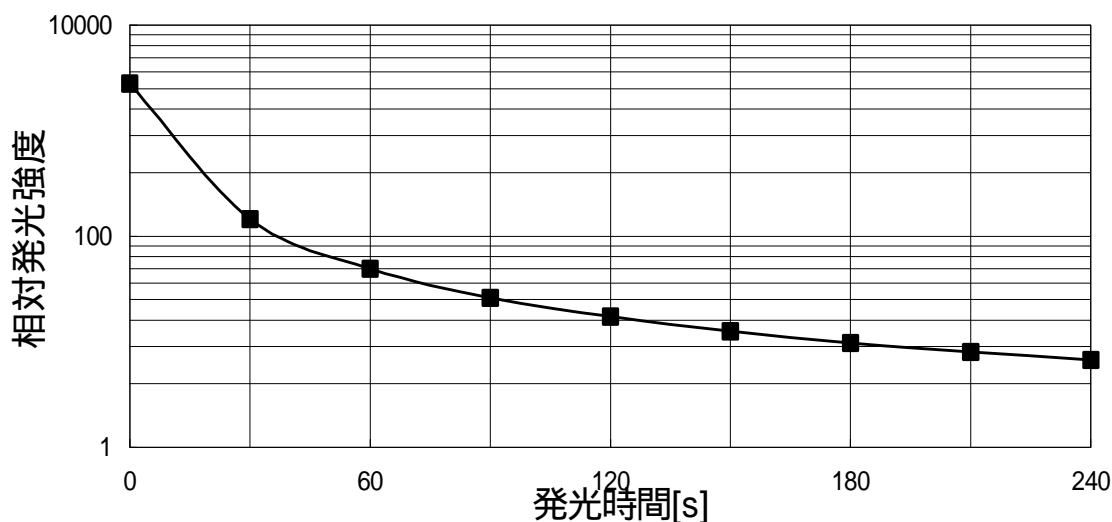


図38 MagneticLightを1分間振ったときの発光量の測定

本研究室にあった懐中電灯について図 38 と同様の測定を行ったら、相対発光強度は 82000 (フォトトランジスタの出力電圧[mV]) で一定であった。

実際に使用してみると懐中電灯は、反射板と用いて豆電球の光を集めており、MagneticLight よりも当たりを照らせる。しかし、白色で発光しているせいか直接発光部を見つめると懐中電灯よりもまぶしく感じた。

今回 LED を 3 個使用していたが、個数を増やせばもっと明るくなると考えられる。図 39 は、測定した懐中電灯である。

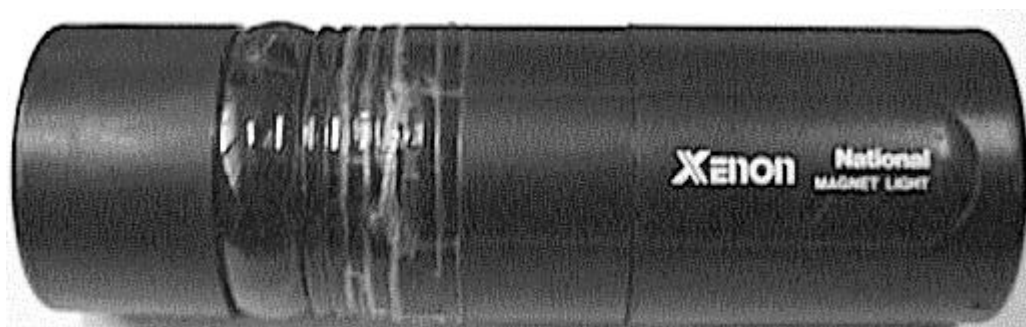


図 39 本研究室にあった懐中電灯

### 3 おわりに

今回は、発電部のコイルの巻き線径、コイルを鎖交する磁石の磁束密度を変化させたときの発電量を測定し、その結果をもとに試作品である「MagneticLight」を製作した。

使用した磁石の直径が 22[mm]であったので、発電部は外径 30[mm]、厚さ 2[mm]の亚克力パイプになった。また、懐中電灯を片手でもてるような大きさにして、内部に発電部を収納する必要があったので、外装の亚克力パイプの外径を 50[mm]とした。そのため、図 39 に示すような普通の懐中電灯よりも大きくなってしまった。磁石の小型化、移動磁石の移動距離の短縮により、この懐中電灯は小型化できると思われる。

今後、

- ・ 発電部において、巻き線を巻く幅や巻き方を変えて、効率の良い発電方法を探す。
- ・ 蓄電部において、効率よく長期間蓄電できるようにする。
- ・ 発光部において、できるだけ低電力で発光するようにする。

以上のことを行う必要がある。

### 4 参考文献

- 1 . 「 」 No12,2000. pp.53 (添付資料 1 参照)
- 2 . Innovative Technologies 社のホ - ムページ <http://www.nightstar1.com>  
( Features、Technical Details、Freq Asked Questions は添付資料 2 参照 )
- 3 . 岡村廸夫、電気二重層キャパシタと蓄電システム 第 2 版、日刊工業新聞社、( 2001 年 )
- 4 . 基礎電磁気学、電気学会、( 1997 年 )
- 5 . 「じしゃく忍法帳」 TDK ホームページ <http://www.tdk.co.jp/>

## 5 謝辞

卒業研究を行うにあたり、全般にわたりご指導、ご助言をいただきました金野茂男教官、何かとご迷惑をおかけしました金原昭臣教官、鹿野文久教官に深く感謝いたします。また、研究室を盛り上げていただいた金野研究室の皆さんに、心から感謝いたします。

そして、卒業研究に様々な面からご協力をいただいた木村優君に心から深く、厚く御礼を申し上げます。

## 6 添付資料

1.「

」2000年第12号“海外科学技術情報の欄”より



### ПЕРЕД УПОТРЕБЛЕНИЕМ ВСТРЯХИВАТЬ

Фонарик, выпуск которого начал в США, не имеет батареек и лампочки. Для того, чтобы он загорелся, его надо несколько раз встряхнуть. При этом магнит, содержащийся внутри корпуса фонарика, «бегает» внутри катушки, возбуждая в ней электрический ток, и его энергия накапливается в миниатюрном, но очень емком конденсаторе. От этой энергии загорается белый светодиод, срок службы которого — сто тысяч часов. После встряски на

протяжении 25 секунд фонарик светит пять минут, причем на расстоянии 10 метров создается освещенный круг диаметром два метра. Диапазон рабочих температур — от минус 90 до плюс 85 градусов — не выдержала бы никакая батарейка. Так как в фонарике ничего не приходится менять, он сделан неразъемным, герметичным и может работать под водой.

### ВЕРУЮЩИЕ ЖИВУТ ДОЛЬШЕ

К такому выводу пришла группа американских психологов, проанализировав результаты 42 независимых исследований, проведенных на эту тему с 1977 года. В них была учтена продолжительность жизни 125 826 человек (в основном североамериканцев) в сравнении с данными опроса об их отношении к религии. Оказалось, что продолжительность жизни верующих в среднем выше, чем атеистов.

Исследователи выдвигают три возможные причины этого. Во-первых, многие верующие не употребляют табака и алкоголя, не говоря уж о наркотиках. Во-вторых, у верующих обычно больше социальных контактов (они регулярно ходят в церковь и общаются с собратьями по вере), их семьи устойчивее, а давно доказано, что оба эти фактора способствуют долголетию. В-третьих, религия часто дает людям положительные эмоции и избавляет от депрессии.



### ЧАСЫ УПРАВЛЯЮТ ТЕЛЕВИЗОРОМ

Японская фирма «Касио» выпустила электронные часы со встроенным пультом дистанционного управления телевизором и видеомаягнитофоном. Поскольку электроника разных моделей подчиняется разным сигналам, наручный пульт управления способен самообучаться от «родных» пультов, прилагаемых к телевизорам и видеомаягнитофонам.

### СТАРЫЙ ТЕЛЕФОН: ПОСЛЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАГРЕТЬ


Ежегодно англичане выбрасывают на свалку тысячи сломанных, устаревших или ненужных мобильных телефонов. Но вскоре на общеевропейском уровне должен быть принят закон, требующий обязательного безотходного использования всяческой электроники: ненужные приборы должны разбираться на детали, которые можно так или иначе использовать повторно либо захоронить в безопасном месте.

Разбирать и сортировать на детали такие небольшие устройства, как карманный телефон, — это нелестный и кропотливый ручной труд. Поэтому сотрудники университета имени Брюнеля в Лондоне предложили изготавливать мобильные телефоны из металлов и пластиков с памятью формы. При нагреве до определенной температуры такой




## 2. 米国の Innovative Technologies 社の NightStar FlashLight のホームページ

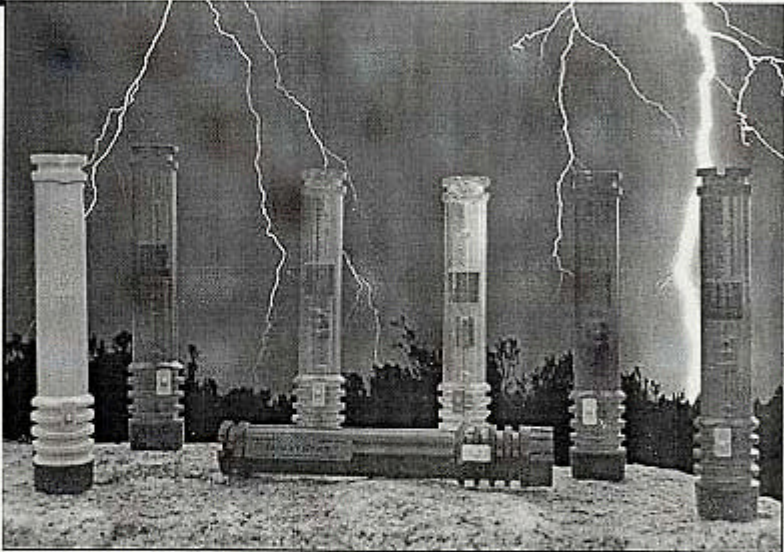
[NightStar Flashlight](#) [Company](#) [Online](#) [Buy](#)



Made in the U.S.A.  
by  
Applied Innovative  
Technologies, Inc.

Flashlights from Applied Innovative Technologies, Inc.





The NightStar Magnetic Force flashlight represents the latest innovation in flashlight technology. The NightStar flashlight generates its own energy utilizing a high strength magnet and stores the energy in a capacitor for powering an ultra-bright white light LED. Unlike other flashlights, NightStar has no reliance on batteries or complex spring-loaded components. Additional features NightStar possesses over other flashlights include: functional at extreme temperature conditions, waterproof, intrinsically safe and virtually indestructible. The NightStar Magnetic Force flashlight is designed for reliability, versatility, and durability. It is essential equipment for outdoor enthusiasts and the ultimate flashlight for emergency and disaster preparedness. The NightStar flashlight will work when needed in any environment and is backed with a lifetime warranty.

- Renewable light whenever needed - Guaranteed
- Completely Maintenance Free - No parts to burn out, break or replace, even when exposed to repeated impacts and extreme temperatures
- Quickly pays for itself by not having to replace batteries or bulbs
- Backed by a Lifetime Warranty
- Perfect in Emergencies and Natural Disasters
- Proven Reliability in Extreme Conditions around the World

[NightStar Flashlight](#) [Company](#) [Online](#) [Buy](#)

HOME



Made in the U.S.A.  
by  
Applied Innovative  
Technologies, Inc.

# FEATURES



- Waterproof, lightweight and high impact strength housing
- NightStar, which never needs batteries or bulbs, is the latest development in renewable energy flashlight technology
- With only one moving part, NightStar transforms simple motion into light
- When gently shaken, a magnet passes through a wire coil, efficiently generating electrical energy
- A capacitor, which can be recharged continuously, stores the energy and delivers power to a high-brightness white-light LED
- Shaking end to end for 30 seconds provides more than 5 Minutes of light
- In total darkness NightStar illuminates a 6-foot diameter area from a distance of 35 feet under severe and dark conditions and is visible from over a mile
- Luminescent switch will glow for hours allowing for easy location and operation



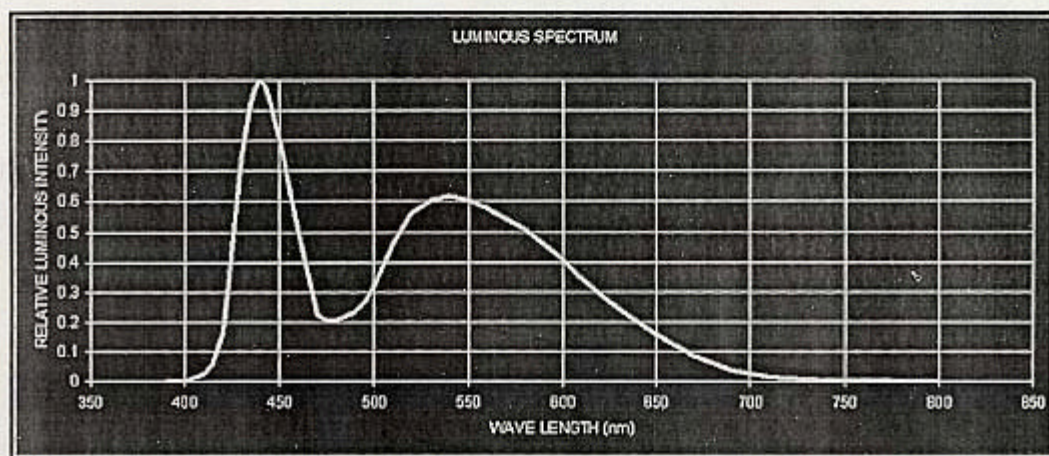
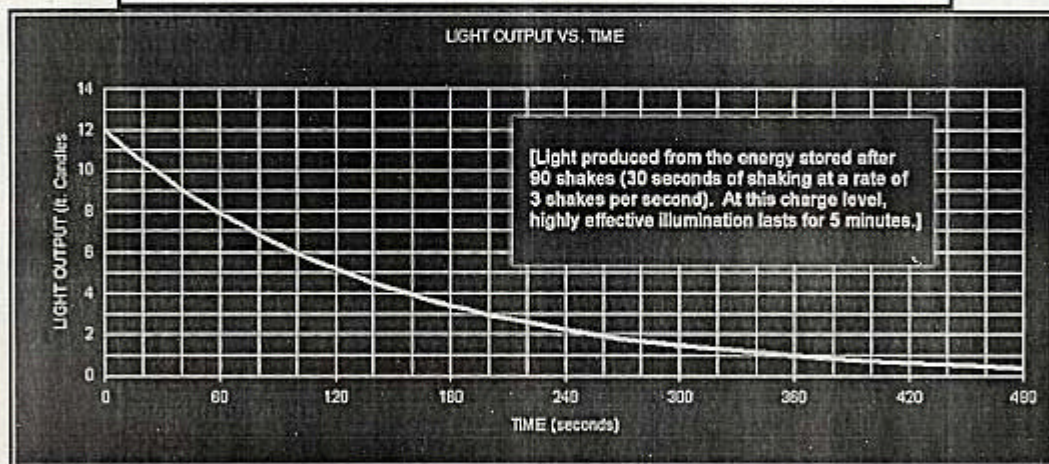
## TECHNICAL DETAILS



- Energy of motion is transformed into electrical energy by means of repeatedly passing a high power magnet through a coil of wire
- NightStar uses a mag-lev recoil system to smoothly reflect the charging magnet through the coil without loss of mechanical energy. Motion is efficiently transformed into light with no degradation to the system
- Electrical energy is stored in a capacitor. Superior to a battery, the capacitor will never corrode, can recharge several hundred thousand times and will power the LED even under extreme hot or cold temperatures
- The LED used in NightStar is practically unbreakable, has a rated lifetime over 100,000 hours, and will produce 12-foot candles (10 lumens) of light at peak brightness
- The full spectrum light from the LED is projected into a beam by a precision acrylic lens
- The magnetic on/off switch is reliable, watertight and intrinsically safe
- All of NightStar's state-of-the-art components are contained within a nearly indestructible, polycarbonate, waterproof housing, ensuring operation under severe and rugged conditions

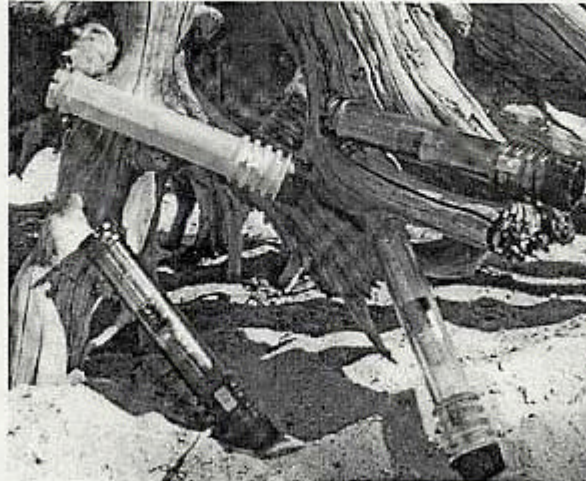


<b>Temperature:</b>	Storage: -50°F (-45°C) to +140°F (60°C) Operation: -40°F (-40°C) to +130°F (55°C)
<b>Pressure:</b>	Operational at an ocean depth of 180 ft. (55m) Performance unaffected after being driven over by 4 x 4 truck on concrete surface.
<b>Chemical Resistance:</b>	Unaffected by salt water, alcohol, and ammonia based cleaners. Dissolve resistant against medium strength acids.
<b>Shock:</b>	Fully functional after repeated random drops from a height of 6 ft (2m) onto a concrete surface.
<b>Weight / Mass:</b>	14 ounces / 390 grams
<b>Size:</b>	11" (28cm) long x 2" (5 cm) diameter (max)





## FREQUENTLY ASKED QUESTIONS



The NightStar flashlight is the most reliable hand-held light source ever made. Those unfamiliar with its design have asked several excellent questions.

**\* Can light output be made brighter by replacing the LED with an incandescent bulb?**

An incandescent bulb is highly inefficient and requires 10 times more energy than an LED. The capacitor in NightStar can only power a filament light bulb for a few seconds. By comparison, the energy stored in a battery is great enough to power inefficient devices for several hours. However, when a battery's energy is depleted, it either has to be discarded or recharged. Rechargeable batteries require external and often costly charging devices. Additionally, energy capacity diminishes with each charge and after 25 to 50 recharges the battery is rendered useless. Besides being inefficient, an incandescent bulb also has a lifetime of only 500 hours and is extremely fragile. Quite frequently, a bulb will break before it burns out. Therefore, for reasons of energy efficiency and reliability, an LED is the logical choice for the NightStar flashlight.

**\* Can adding more LEDs increase the light output?**

The ETS Cell within NightStar can power more than one LED and with each LED added the light output will increase. However, power consumption will also increase with each LED added to the system. Consequently, the duration of light output obtained from a fully charged capacitor will diminish, thereby requiring NightStar to be shaken more frequently.



**Why was the lens chosen for the output window?**

Placing a precision lens at the appropriate point effectively collects and collimates the light output from the LED. The lens in NightStar was chosen specifically to maximize light projection. The lens also serves as a window, and due to its design it is able to withstand tremendous pressure. Therefore, with a single component, optimum light output and the ability to survive severe pressure environments is obtained.

**\* Why use a capacitor instead of batteries?**

The capacitor used in NightStar has two significant advantages over batteries. First, it can be charged and drained of energy over 1 million times. Second, it can operate in extreme temperatures. NightStar has been proven operational at temperature extremes of minus 130 degrees F to 180 degrees F. The capacitor works well in this application because the LED is an extremely efficient device.

**\* Can batteries be included in the design to allow for a longer, brighter light output?**

A battery will power the LED in NightStar for several hours at its' maximum light output (the same light output obtained when the capacitor is fully charged and the light is first turned on). Additionally, the ETS Cell in NightStar can be used to charge a battery as well as a capacitor; however, the energy storage capability of a battery is many times greater than the capacitor used in NightStar. Consequently, it will require thousands of shakes to recharge a battery using an ETS Cell. Because the lifetime of a rechargeable battery is rather limited, it will ultimately need to be replaced. Batteries also fail to work effectively in cold environments; capacitors do not suffer this problem. Adding a battery to NightStar would therefore weaken its design and marketability. One of the most unique and significant features of NightStar is that it will never need replacement parts or maintenance. The components within NightStar and their integrated design yield a product that can be relied upon to light the way in the most extreme conditions.

**\* How is the charging magnet reflected at either end of the flashlight?**

Powerful magnets are mounted at both ends of the flashlight and are oriented to repel the charging magnet. The magnetic repulsion recoil system smoothly decelerates and accelerates the charging magnet back through the coil without loss in mechanical energy. Consequently, the loss of energy due to friction is extremely small and the kinetic energy is efficiently coupled into electrical energy with almost no degradation to the system. Lasting performance is obtained with this design.

**\* Why is the housing made from plastic?**

The plastic housing is a superior choice for several reasons. The most important reason is that any type of metallic housing will prevent the charging magnet from moving effectively through the coil. This is due to free electron eddy currents being set up in the metal housing when the charging magnet travels through the barrel. Consequently, magnetic fields generated by the eddy currents in the housing oppose the magnetic field of the charging magnet.



The faster the charging magnet tries to move, the stronger the opposing fields will be in the housing. Therefore, the charging magnet will never pass through the coil with enough speed to charge the energy storage capacitor. The material and manufacturing costs of plastic are far less expensive than a metal housing. Additionally, NightStar's plastic housing will never rust or oxidize and weighs less than a metal housing that would provide the same amount of crush resistance. The plastic used in NightStar is an alloy of polycarbonate and ABS (Clear NightStar is made of pure polycarbonate; polycarbonate/ABS is not available in clear). Polycarbonate/ABS was chosen for two reasons: it is difficult to break even at cold temperatures and it is unaffected by salt water, mild acids, alcohol, methanol, and ammonia based cleaners.

**\* How does the switch work?**

NightStar incorporates a magnetically operated switch. This design feature has several advantages over conventional mechanical switches used in other flashlights. The most significant advantage is reliability; the simple sliding plastic switch can not corrode or wear out and is rated at over 1 million on/off cycles. In comparison, mechanical push button or toggle switches have components that corrode and springs that fatigue after very few on/off cycles. Another key advantage to NightStar's switch design is that it does not require a watertight seal because the magnet on the outside is able to active the switch through the plastic housing. Finally, because the electrical circuit is not exposed to the outside world (as with a typical mechanical switch) there is no possibility of igniting combustible materials.

**\* Is a pacemaker sensitive to the magnetic field that surrounds NightStar?**

NightStar can affect a pacemaker's normal mode of operation. If the heart rate of a person with a pacemaker drops below a preset value (typically 85 beats per minute), an internal sensor monitoring the person's heart rate activates the pacemaker. A pacemaker will not send electrical signals to a person's heart unless their heart rate drops below the preset value. In order to test whether a pacemaker is operating properly, a reed switch is built into the unit so that an external magnet held up to the patient's chest would close the reed switch and deactivate the internal heart rate sensor. When this happens, the pacemaker turns on and begins sending electrical signals to the heart at the preset value. Pacemakers are typically tested once or twice per year in specially equipped hospitals. If a pacemaker begins sending signals to the heart at a rate of 85 beats per minute and the heart is already beating at a greater rate; an arrhythmia condition can be triggered. The possibility of this occurring is extremely rare; less than 1 percent of the people with pacemakers would be susceptible to this condition. A magnetic field with strength of 90 gauss brought within 15 inches (40 cm) of a pacemaker will close the reed switch. The magnet in NightStar has a surface field strength of over 5200 gauss. Consequently, a person with a pacemaker should avoid holding NightStar any closer than 2 inches (5 cm) from their chest. At this distance the field strength has dropped to approximately 30 gauss. A cautionary statement regarding the effect NightStar has on pacemakers is printed on the product packaging and instruction booklet. (This information was obtained from one of the largest manufacturers of pacemakers in the U.S.)