



## 電磁現象可視装置の試作

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森重, 勝, 黒田, 芳郎, 中村, 義孝, 四辻, 憲司, 村嶋, 知美, 江村, 稔 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00007877">https://doi.org/10.24729/00007877</a>

## 電磁現象可視装置の試作

森 重 勝\* 黒田 芳 郎\* 中 村 義 孝\*  
四 辻 憲 司\* 村 嶋 知 美\* 江 村 稔\*

Visualization Devices of Magnetic Field Built as a Trial

Masaru MORISHIGE \* Yoshiro KURODA \* Yoshitaka NAKAMURA \*  
Kenji YOTUTUJI\* Tomomi MURASHIMA\* Minoru EMURA\*

### ABSTRACT

According to Japanese Proverb, "Seeing is Believing", the electro-magnetic-phenomena can be easily understand by seeing the phenomena. This paper is a report on the visible devices of the electro-magnetic phenomena built as a trial.

In general, the electro-magnetic-phenomena is difficult to find with the visual phenomena different from the mechanical one. Fortunately, we can draw the image in mental from the learning and their experiences for long-long time. However, it is very very difficult to be made to understand it to young or lower grade pupil without the knowledge of the differential and integral calculus. Then, we have built the above visible device in order to help their comprehension.

Key Words: Visualization Devices, Magnetic Field, Teaching Material, Magnet

### 1. まえがき

電気工学は機械工学等の他の分野と違って目に見えない部分が多い。そのために我々は数学や電算機の力を借りてこれを頭の中で可視化している。

しかし三角関数や微積分も知らないで入学してくる学生に、上記我々の頭の中の可視化像を伝えることは極めて難しい。

そして5年後には現在のハイテクノロジーに対処できる電気技術者に育てあげねばならない。そこで低学年で如何に電磁現象を彼らの頭の中に可視化させるかということがポイントになる。

我々は現在市販されている教材用の装置を参考にして、高専の電気工学科に適した可視化装置を試作した。本論文はその報告である。

### 2. 磁気パターンの可視化装置

磁気テープの磁化パターンを学生に見せるため、鉄粉

を振りかける実験テーマを組んだことがある。しかし鉄粉が散って汚れることや手間がかかること等のため現在この実験は行っていない。

最近定期券やプリペイドカード等の磁気パターンを可視化する装置が輸入され市販されているが、かなり高価なものである。

これは鉄粉を液体の中に入れたもので、外部磁界によって鉄粉が移動して磁気パターンを示すものである。そこでこれを参考にして以下に述べる装置を試作した。

#### 2.1 鉄粉の粉碎

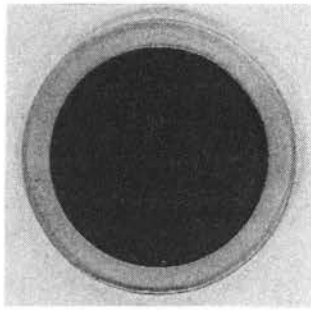
まず必要なのは微細な鉄粉である。そこでオーディオ用やビデオ用の磁気テープを溶剤で溶かしたり剥離してこれを乳鉢で細かくしたが、所期のものは得られなかった。鉄粉の粒子は小さい程よいのであるが、入手できる最小のものは325メッシュ(平均粒径約 $44.6\mu\text{m}$ )である。そこでまずこれを粉碎する装置を試作した。図1にその外観と回路を示す。

図2は上記325メッシュの鉄粉を粉碎した時の顕微鏡写真(本校・篠谷教授提供)と粒度分布測定装置(島津製作所)で測定した粒子の分布(オンキョー・三木氏提供)を示す。平均粒径 $44.6\mu\text{m}$ の粒子が240時間粉碎後に $19.2\mu\text{m}$ の粒子になったことを示している。

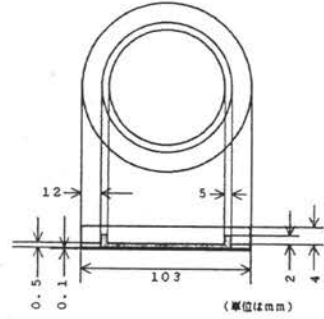
1990年4月9日受理

\*電気工学科(Department of Electrical Engineering)



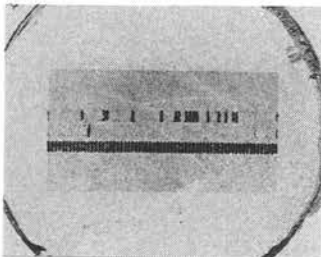


(a) 外観

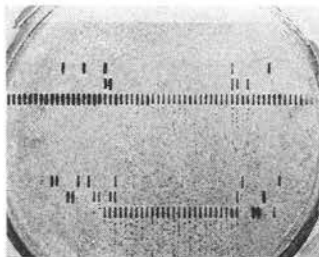


(b) 構造

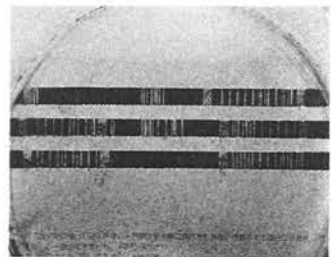
図 3 磁気パターン直視装置



(a) 切符



(b) 定期券



(c) プリペイドカード

図 4 磁気パターン

### 3. 磁界の立体可視装置

厚さ 4 mm のアクリル樹脂を用いて、三種類の磁界の立体像観察装置を試作した。

各装置の内部には、流動パラフィンに家庭用スチールウールたわしの裁片を混ぜたものを使用している。粘性の低い液体ではスチールウール裁片の落下が速く磁界の可視化が難しい。そのために適度な粘性の流動パラフィンを用いた。

これらの装置はスチールウール裁片が磁界に引っ張られて移動するので、磁界の方向とその作用を立体的に観

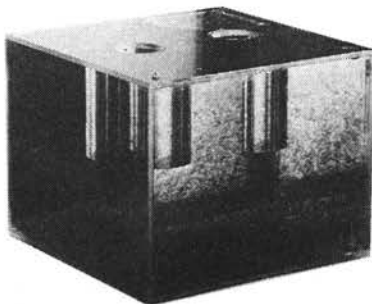
察することができる。

このように可視化することにより磁力線、磁束密度などの基本的に重要な概念を理解させるのに効果がある。

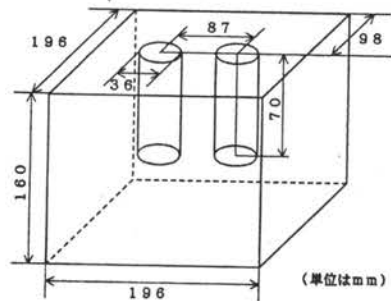
#### 3.1 磁石による磁界の観測

図 5 にその外観と構造を示す。馬蹄型磁石には吸着力 135 kg の強力なものを用い、可視化を容易にした。

図 6 (a) は上記磁石の磁界分布の観察結果である。磁石による磁界分布の様子があらゆる角度からよく観察できる。同図 (b) はガウスメーターを用いて磁束密度を測定した結果を立体的に示したものである。

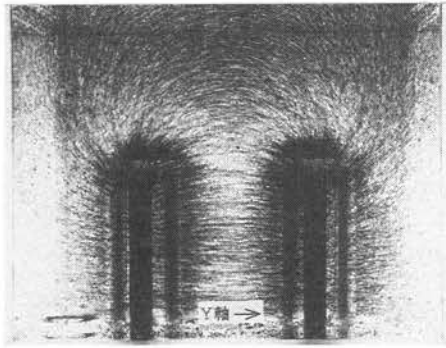


(a) 外観

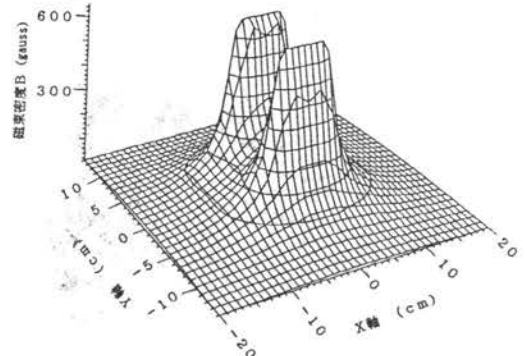


(b) 構造

図 5 立体磁界分布観察装置



(a) 磁界の観察



(b) 測定結果

図6 馬蹄型磁石の磁界分布

### 3.2 電流による磁界の観測

#### (イ) 直線電流による磁界の発生

平行直線電流の回りにできる磁界は非常に微弱なので大電流を流して強力な磁界を発生する必要がある。

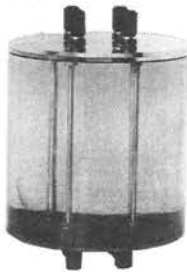
図7にその外観と構造を示す。図8(a)は同方向に流れる2本の60 Aの平行直線電流による磁界分布の観察結果である。導線間は理論どおり磁界が打ち消しあい、スチールウール裁片が集まらない様子が観察できる。同図(b)はガウスメータを用いて磁束密度を測定した結果を立体的に示したものである。

直線電流Iから距離rの点の磁束密度Bは、理論的に次式で与えられる。

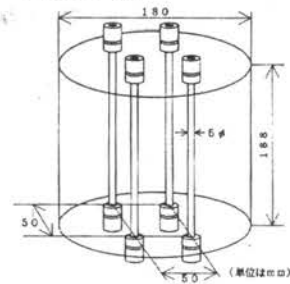
$$B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi r} \quad (1)$$

ここで $\mu$ は真空の透磁率で、粒動パラフィンの透磁率もほぼこの値に等しいとして計算した。

そして2本の平行直線電流の場合の磁束密度Bは上式のベクトル和で与えられる。図8(b)の測定結果は式(1)の理論式とよく一致している。

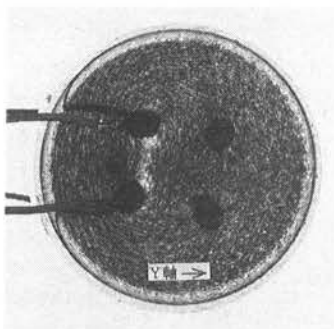


(a) 外観

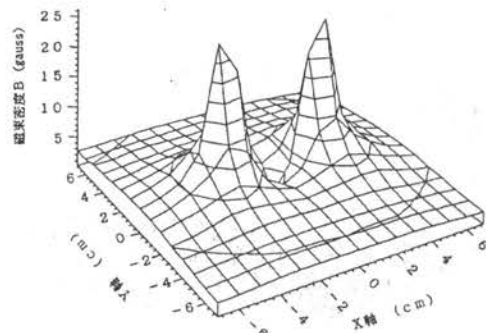


(b) 構造

図7 電流と磁界の関係の可視装置



(a) 磁界の観察



(b) 測定結果

図8 電流 (I = 60 A) による磁界分布

(ロ) コイルによる磁界の発生

コイルが磁石と同じように磁界を発生することを観察させるための装置を試作した。図 9 に外観と構造を示す。

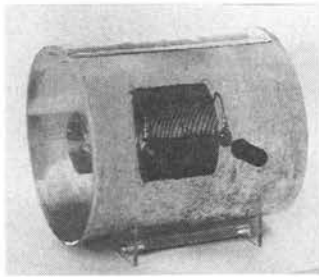
図 10 (a) はコイルに 10A の電流を流した時の磁界分布である。同図 (b) はガウスメータを用いて磁束密度を測定した結果を立体的に示したものである。

半径  $a$ 、長さ  $l$ 、単位長さ当りの巻数  $n$  のコイルに電流  $I$  を流した時の中心軸上の磁束密度  $B$  は、理論的に次

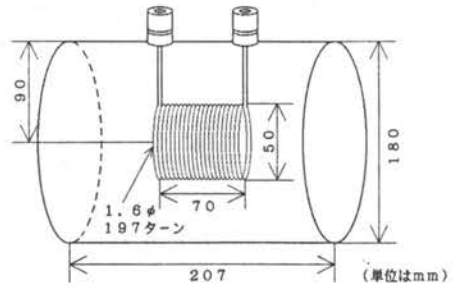
式で与えられる。

$$B = \mu H = \frac{\mu n I}{2} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2)$$

ここで  $\alpha$ 、 $\beta$  は上記  $a$ 、 $l$  の機械的寸法によって決まる値である。図 10 (b) の測定結果は式 (2) の理論式とよく一致している。



(a) 外観

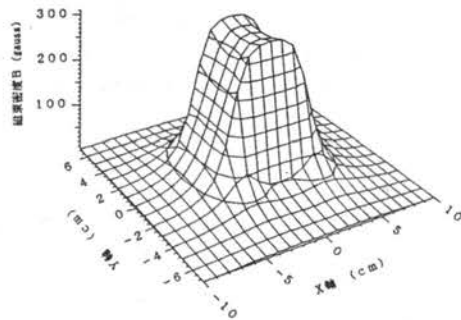


(b) 構造

図 9 コイルによる磁界の可視装置



(a) 磁界の観察



(b) 測定結果

図 10 電流 ( $I = 10 \text{ A}$ ) による磁界分布

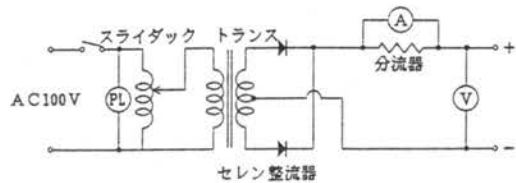
4.2 電流源

上述のスチールウール裁片を引きつけるには強い磁界が必要である。そのため導線に約 10~90 A の大電流を

流さなければならない。このような用途にあった電源は身近に無く、市販されている電源は高価である。そこで電流源を試作した。図 11 にその外観と回路を示す。



(a) 外観



(b) 回路

図 11 90 A の電流源

### 4.3 問題点

小さいものよりも大きいものの方がデモンストレーションの効果がある。それで予算の許す限り大きい装置を試作した。しかしここで次の機械的、物理的問題に遭遇した。

#### (イ) コイルの発熱による影響

コイルの直流抵抗は約  $0.25 \Omega$  で、一般には無視できる値である。しかしこれに  $10A$  の電流を流すので、その損失は  $25W$  になる。このエネルギー損失によって流動パラフィンの温度が上昇し、そのため体積が膨張する。以下、問題点を列記する。

#### 温度上昇

上記条件で計算すると次の結果となる。すなわち流動パラフィンの比熱は約  $2.2 J/gK$  で、体積が  $4.6 \ell$  の場合は一時間後に温度が約  $10^{\circ}C$  上昇する。

#### 体積の増大

上記  $10^{\circ}C$  の温度上昇は体積を約  $18cc$  増大させる。そこでこの体積の膨張を吸収する機構が必要になる。図10(a)の試作装置では円筒の左右の円盤のたわみと空気の体積の減少で上記増加分を吸収している。

#### 粘性の低下

スチール裁片は流動パラフィンの粘性で拡散状態を保っている。ところが温度上昇にともない粘性が小さくなる。この粘度の低下のためにスチールウール裁片の沈下が速くなる。十分観察するためには、温度により粘度があまり変化しないような液体を用いる必要がある。

#### (ロ) 装置の大型化によるかくはんの困難さ

一度沈殿したスチールウール裁片は繊維がからみあってかくはんが難しい。現在装置全体を手でゆさぶってか

くはんしているが、落下の危険がある。装置を更に大型化するにはこの点を考慮する必要がある。

## 5. むすび

世の中は急速にハイテクノロジー化している。ところが電気工学の初歩の教育は昔のままである。したがって従来の教育方法では5年後に現在のハイテクノロジーに対処できる電気技術者に育てあげることは困難である。そこで如何に効率よく合理的に教育するかということが重要になる。

その一つの手法としてコンピュータを用いた教育が現在研究され、実践されている。ここでもう一つ有力な手法が電磁現象の可視化による教育である。とくに三角関数も微積分も知らない低学年に電界、磁界の概念を理解させるには“百聞は一見にしかず”で見せるのが一番よい。

本論文はこの可視化を目的としたものである。従来の市販のものよりもかなり大きい装置を試作した。その効果は顕著であったがそれにとまって機械的、物理的な多くの問題に遭遇した。この経験を生かして今後更に教育効果のあがる可視化装置を試作する予定である。

## 謝 辞

御教示をいただいた大阪府立大学の米田教授、磁界可視装置の助言をいただいた島津製作所の荒井部長、鉄粉の製造とデータの作成に御協力いただいたオンキョー株式会社の本部長及び三木氏に謝意を表す。

また本校の電気工学科の皆様には本試作のために研究予算の配慮をしていただいた。そして機械、化学、土木工学科の方々の加工や材料に関する御協力や助言のおかげで実用に耐える教材が試作できた。紙面の都合で名前は割愛させていただくが、心からお礼を申し上げる。