

# 安価な素材を用いた磁場測定器の製作

2年3組 上杉 悠真    2年3組 谷平 智紀  
2年3組 中平 大道    2年3組 松下 颯汰  
2年3組 松本 康希  
指導者 田中 善久

## 1 課題設定の理由

日頃、実験等で使用される磁石には、その古さから磁力が弱くなっているものがある。磁石といっても、ネオジム磁石やアルニコ磁石、100円ショップ等で安く入手できる磁石と何種類もの磁石が存在する。そして、それらが作る磁場の強さも様々である。磁場の強さを定量的に測定する機器を製作したいと考えて、本研究に取り組んだ。その一方で、理科備品のカタログ等で調べてみると、磁場測定器は非常に高価である。私たちが製作する磁場測定器には、身近にある安価な素材で製作することとした。

## 2 仮説

ホール効果の原理を適用して、磁場測定器を製作することができる。

## 3 実験の方法

### (1) 実験方法 (図1)

- ア アルニコ磁石のN極の表面にホッチキスの針を設置する。ホッチキスの芯とアルニコ磁石の間に電氣的な接触がないようにするために、磁石の表面をセロテープで覆う。
- イ 電源装置を用いて、ホッチキスの芯に電流を流し、安定的に電流(定常電流  $I$  [A])が流れるまでしばらく待ち、その電流の強さを測定する。
- ウ ホッチキスの芯の両側面に帯電する正電荷と負電荷によって生じる電圧(ホール電圧  $V_H$  [V])を測定する。
- エ 定常電流  $I$  [A] とホール電圧  $V_H$  [V] の関係をグラフに表し、磁場測定器を製作することが可能かどうかを考察する。

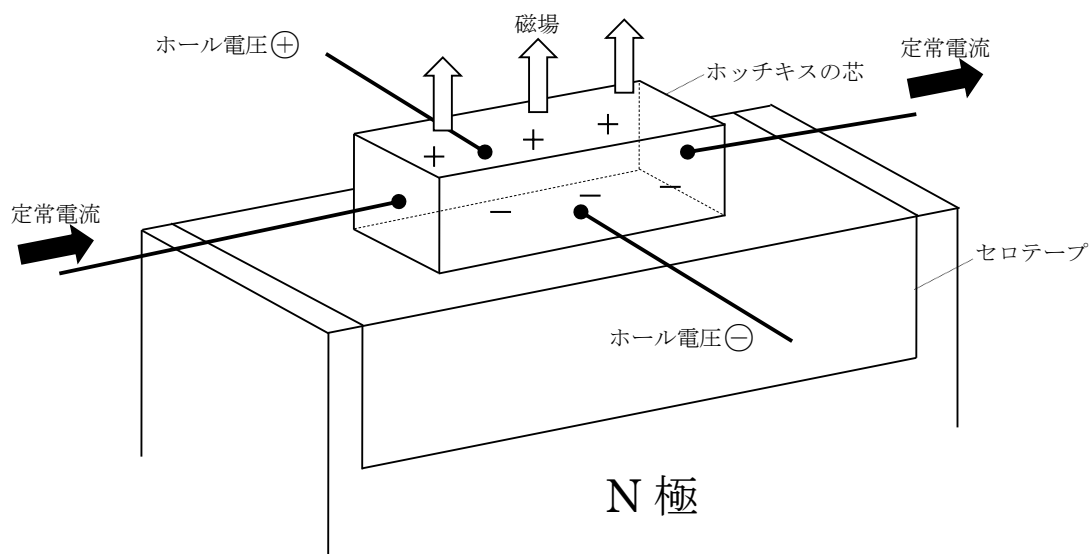


図1 ホール効果の装置

(2) ホール効果の原理

ア ホッチキスの芯は金属製であり、その内部のキャリアは電子であるとする。

イ 図2はホッチキスの芯に定常電流が流れているときの模式図である。その内部を直進している電子には、次の(ア)(イ)の2力がはたらいており、力のつりあいの関係が成立している。

(ア) ホッチキスの芯の内部を流れる電子には、磁場中を荷電粒子が横切ることによってローレンツ力  $f$  [N] がはたらく。

(イ) ホッチキスの芯の両側面に帯電する正電荷と負電荷によって電場が生じ、その電場によって静電気力  $f'$  [N] がはたらく。

ウ 図2を用いて、次の物理量を設定する。

(ア) ホッチキスの芯を紙面の裏から表向きに磁束密度  $B$  [T] (磁場の強さに比例する物理量) が貫いている。

(イ) 電気量  $-e$  [C] を持つ電子が一定の速さ  $v$  [m/s] で左向きに直進している。

(ウ) ホッチキスの芯の両側面に帯電する正電荷と負電荷によって、電場  $E$  [N/C] が下向きに生じている。

(エ) 断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のホッチキスの芯 (帯電している両側面の間の距離  $d$  [m]、高さ  $h$  [m]) において、単位体積当たりの電子数  $n$  [個/m<sup>3</sup>] とし、そこに定常電流  $I$  [A] が流れている。

エ 次の①～④の関係式を用いて、⑤の関係式 (定常電流  $I$  [A] とホール電圧  $V_H$  [V] の関係式) を導くことができる。

力のつりあい  $evB = eE$  ... ①

電流について  $I = envS$  ... ②

ホール電圧について  $V_H = Ed$  ... ③

断面積について  $S = hd$  ... ④

定常電流  $I$  [A] とホール電圧  $V_H$  [V] の関係式は、

$$V_H = \frac{B}{enh} \times I \quad \dots \quad \text{⑤}$$

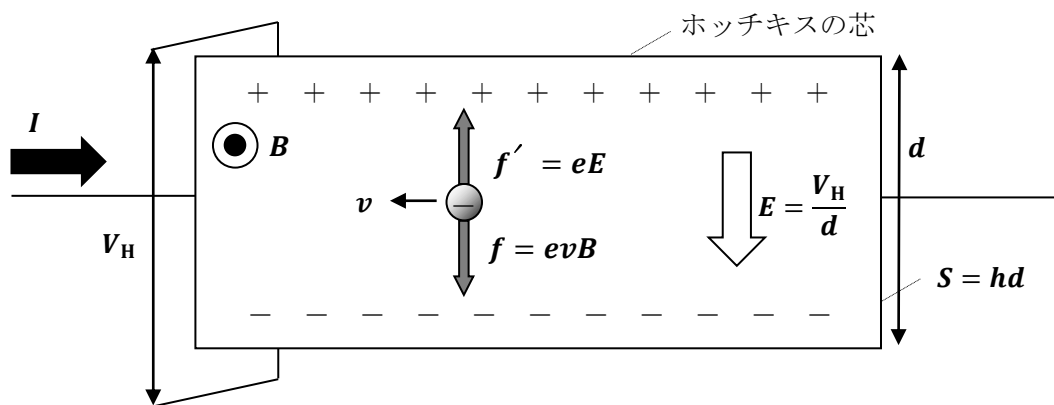


図2 ホール効果の原理 (図1を真上から見た図)

#### 4 結果と考察

- (1) 定常電流  $I$  [A] とホール電圧  $V_H$  [V] の関係  
測定結果を表 1、図 3 にまとめた。

図 3 より、直線の傾き  $1.70 \times 10^{-3}$  [V/A] は、 $\frac{B}{enh}$  [V/A] に相当するから、

$$\frac{B}{enh} = 1.70 \times 10^{-3} \quad \dots \quad \textcircled{6}$$

そこで、 $e = 1.60 \times 10^{-19}$  [C] である。

ホッチキスの芯の高さはノギスで測定して、 $h = 6.0 \times 10^{-4}$  [m] であった。

また、写真 2 のとおり、既存の磁場測定器を用いると、 $B = 407$  [G]  $= 4.07 \times 10^{-2}$  [T] であった。

⑥式に数値を代入すると、ホッチキスの芯の単位体積当たりの電子数  $n$  [個/m<sup>3</sup>] は、

$$\therefore n = \frac{4.07 \times 10^{-2}}{1.60 \times 10^{-19} \times 6.0 \times 10^{-4} \times 1.70 \times 10^{-3}} \approx 2.5 \times 10^{23} \text{ [個/m}^3\text{]} \quad \dots \quad \textcircled{7}$$

ほかの磁石においても、同様に磁場測定を行う際、⑤式及び⑦式を用いることができ、⑤式の分母の  $enh$  [C/m<sup>2</sup>] は、

$$enh = 1.60 \times 10^{-19} \times 2.5 \times 10^{23} \times 6.0 \times 10^{-4} = 24 \text{ [C/m}^2\text{]}$$

である。

即ち、⑤式に数値代入や式変形を施すと、次の⑧式を得ることができる。

$$B = \frac{V_H}{I} \times enh = \frac{V_H}{I} \times 24 \text{ [T]} \quad \dots \quad \textcircled{8}$$

したがって、⑧式を用いることにより、ほかの磁石について、定常電流  $I$  [A] とホール電圧  $V_H$  [V] を測定することで磁場測定が可能である。

表 1  $I$  [mA] と  $V_H$  [mV] の関係

定常電流 $I$ [mA]	2.07	3.11	4.17	5.01
ホール電圧 $V_H$ [mV]	3.5	5.3	7.0	8.6

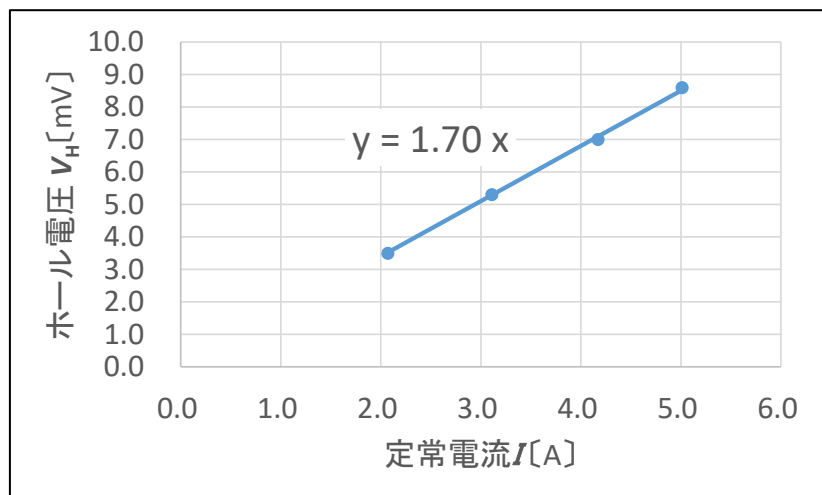


図 3  $V_H - I$  グラフ

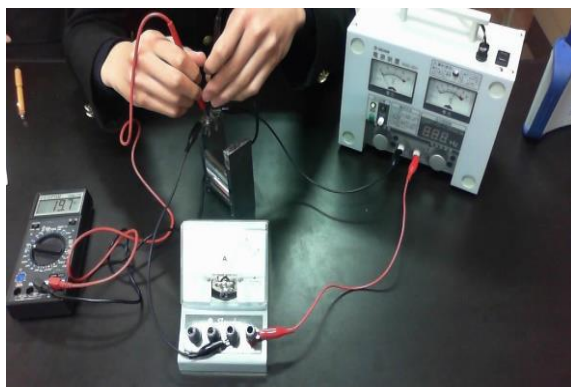


写真 1 実験の様子

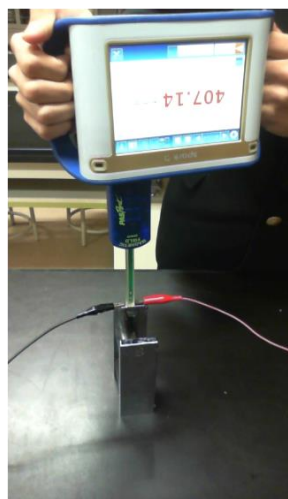


写真 2 既存の磁場測定器

## 5 まとめと今後の課題

ホッチキスの芯を用いて、ホール効果の原理で磁場の強さを測定することは可能である。

既存の磁場測定器を最初に一度だけ使い、ホッチキスの芯の単位体積当たりの電子数を実験的に求める必要があるが、それ以降は、異なる磁石についても磁場の強さを測定することが可能になった。

ただ、異なる磁石といっても、ネオジム磁石のように強い磁石に限ってそれが可能であり、ネオジム磁石やアルニコ磁石はかなり強い磁場を発生させることで、はっきりとしたホール電圧を測定することができるためにそれが可能になる。

100 円ショップ等で入手できる磁石では、発生させる磁場が弱く、定常電流とホール電圧との間の比例関係が確認できないほど、ホール電圧が小さいので、弱い磁石についての磁場の測定にはさらに工夫が求められる。

## 参考文献

- ・ 國友正和ほか 10 名(2015)『物理』 数研出版