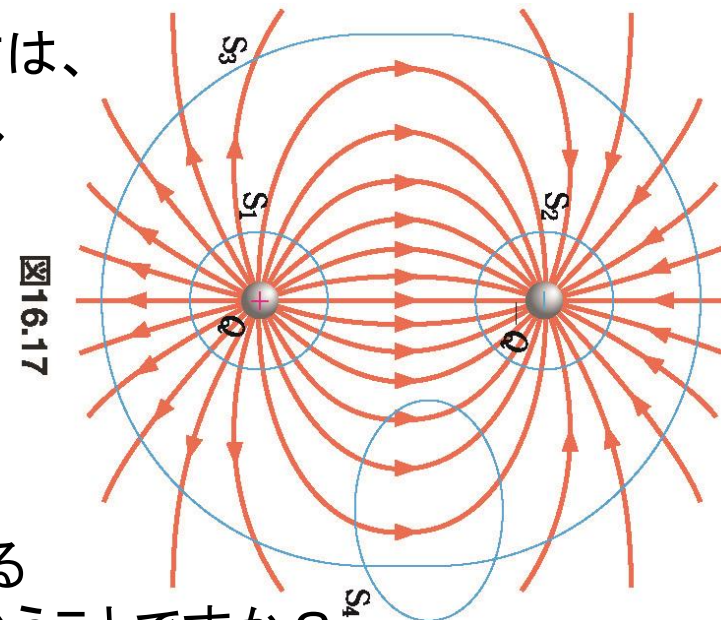


Q: 磁石を割って無限に小さくしていくとS極、N極はどうなりますか？

A: 原子も小さな磁石ですので、原子1個にしても小さな磁石ですが、マクロな大きさでないと、S極、N極の向きは、コロコロ変わってしまい固定できません。

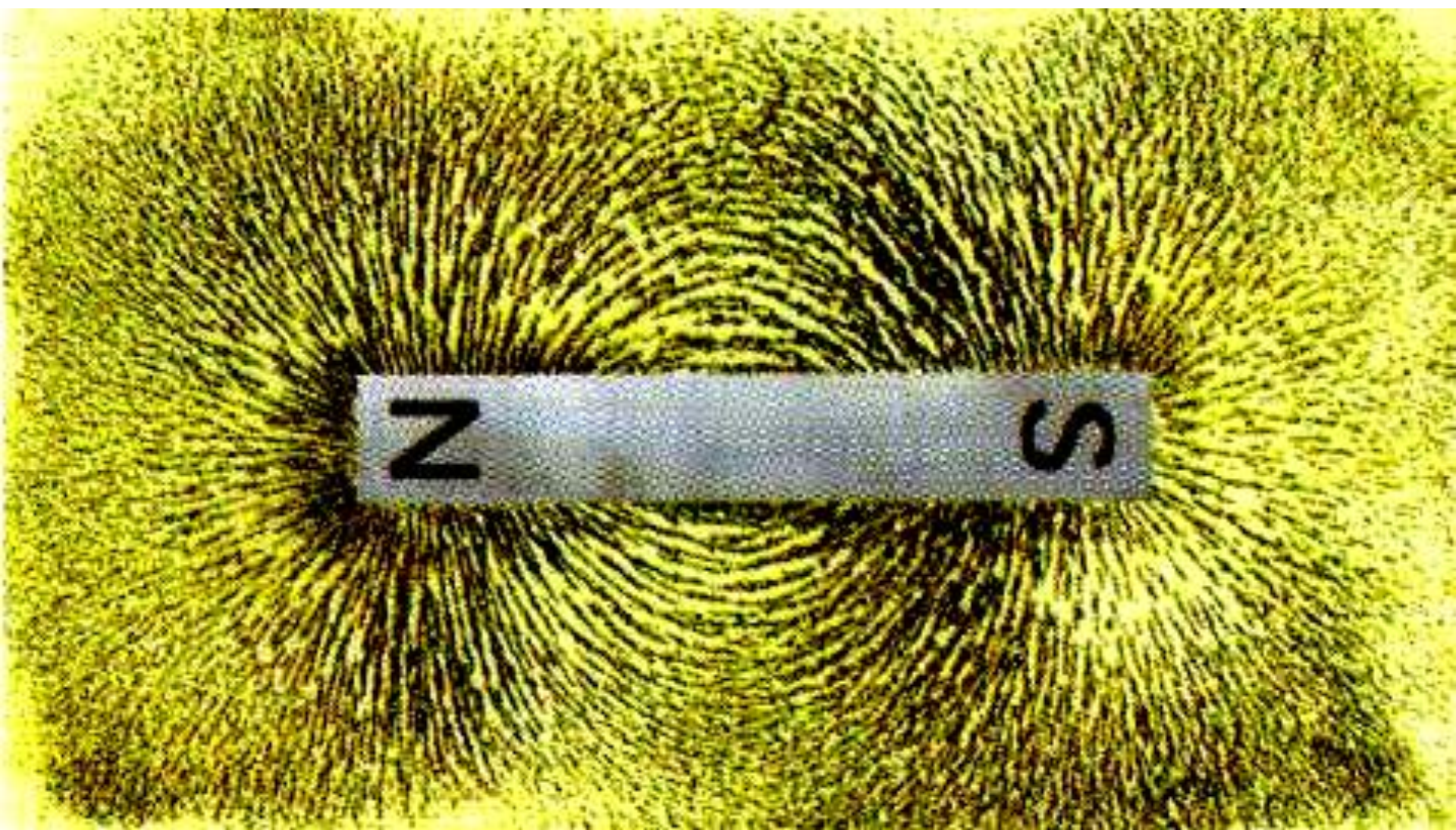
Q: 過去のQ&Aで、電気力線の書き方は ∞ 本存在すると言っておりましたが、磁力線の書き方も ∞ 本存在するのですか？(前半)

A: はい。 ∞ 本というか、電気力線や磁力線の書き方は、無限にあります。右の例の場合、すべて電気力線を、右の電気力線のちょうど真ん中に書いてもよいです。ただ、対称的な見栄えのよい書き方はこの2通りですが、右の電気力線のちょうど真ん中ではなく、少しだけずらしたような電気力線を書いても間違いではありません。磁力線に関しても同様です。



Q: (後半) ∞ 本存在するとしたら、砂鉄を使って見える磁力線は、そのうち何本かが砂鉄により表されるということですか？

A: 電気力線や磁力線の本数は、電場 E の場合、単位面積あたり E 本、磁場 B の場合、単位面積あたり B 本書くという決まりがあります。砂鉄で表される模様は、磁力線の方法や密度をほぼ正確に表していますが、本数の絶対値は合っていません。そういう意味では、そのうちの何本かを表していると言っても間違いではないです。



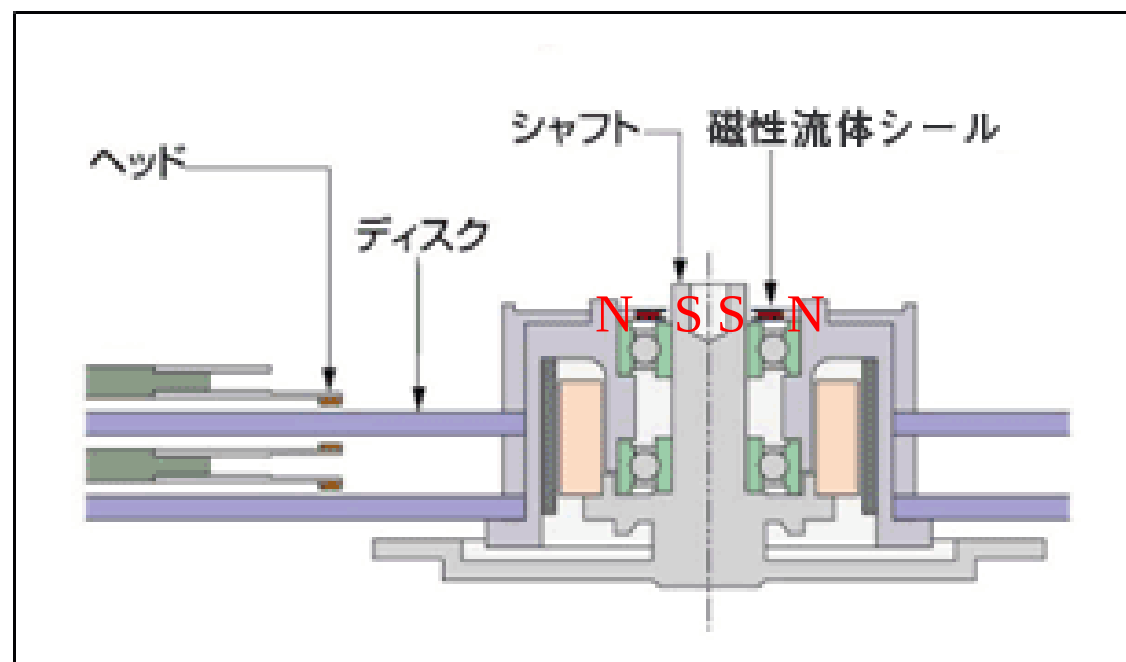
Q & A

Q: 磁性流体は、身の回りではどんなところに使われていますか？

A: 身の回りでは、ハードディスク内の磁性流体シール等に使われています。ハードディスクを分解したことがありますか？私は物が壊れると捨てる前に分解します。以前分解したものがあったので持ってきました。ハードディスクの内部には、回転するディスク(円盤)があり、この円盤にデータを書き込んだり、読み出したりします。ですので、このディスクに塵などが付くと故障の原因になります。中心部分のモータや可動部分は、塵の発生源ですが、その塵が漏れ出さないように蓋をしているのが磁性流体シールです。液体なので、シールの外側が回転し、内側が固定されているような部分でも蓋ができます。



ハードディスクへの応用例



WARNING!!
DO NOT COVER
BREATHING HOLE



Quantum®



COVERED UNDER U.S. PATENTS: 4,538,193; 4,669,004;
4,675,652; 4,730,321; 4,772,974; 4,783,705; 4,819,153;
4,882,671; 5,005,089; 5,119,254; 5,170,299; 5,231,545;
5,241,546; 5,255,136; 5,317,713; 5,319,511; 5,325,247;
5,362,993; 5,384,671; 5,420,730; 5,422,895; 5,444,583;
5,465,343; 5,475,540; 5,521,945; 5,530,326; 5,606,466;
5,661,760; 5,757,284; 5,825,318 OTHER PATENTS PENDING
POWER REQ: 5/12V --- 600/900mA



Made in Japan

10.0GB FBKXA 655T0026 *MF003044XHRGA*

Including: AutoTransfer™, AutoRead™
AutoWrite™, AIRLOCK™, DisCache®,
DiskWare™, Defect-Free Interface®
and WriteCache®

Fireball Plus™ KX

3.5 SERIES

F/W A1S3700

P/N 655-0810

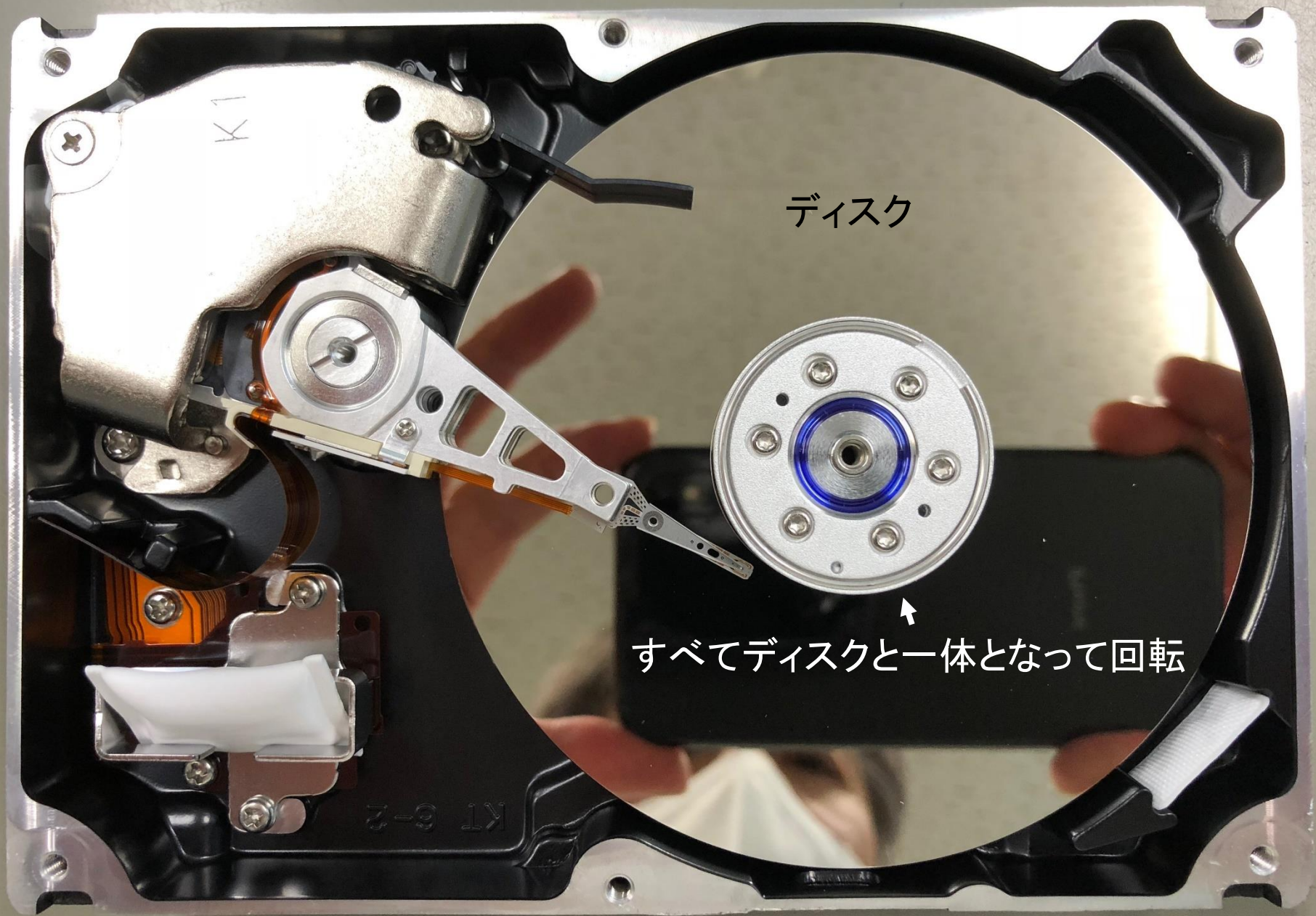
WARNING: REMOVAL OF LABEL, COVER, OR TOP SCREWS VOIDS WARRANTY

10.2AT KX10A02G REV 01 - B A1S37



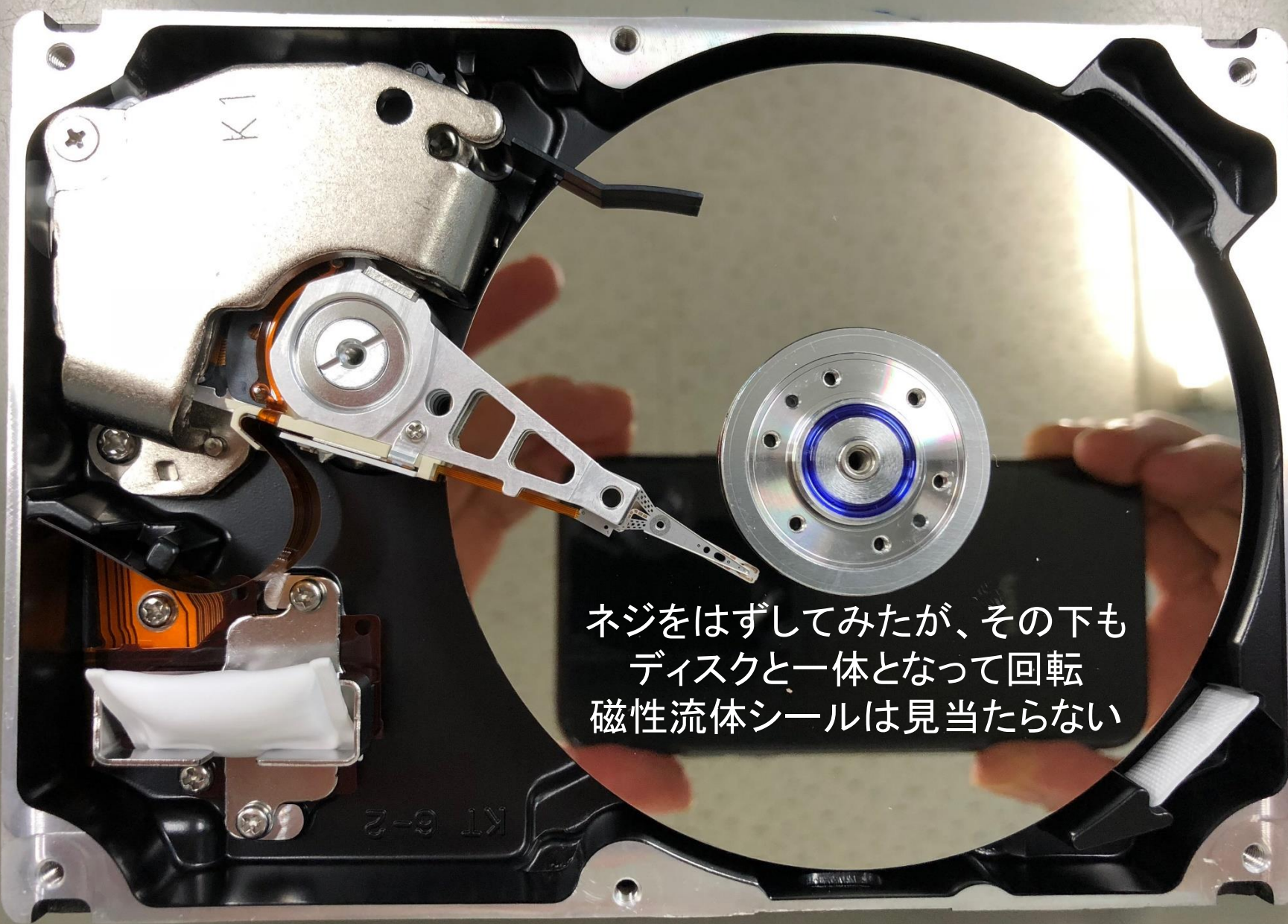
13.6AT P/N KX13A011 Rev 01-B





ディスク

すべてディスクと一体となって回転



ネジをはずしてみたが、その下も
ディスクと一体となって回転
磁性流体シールは見当たらない

Q & A

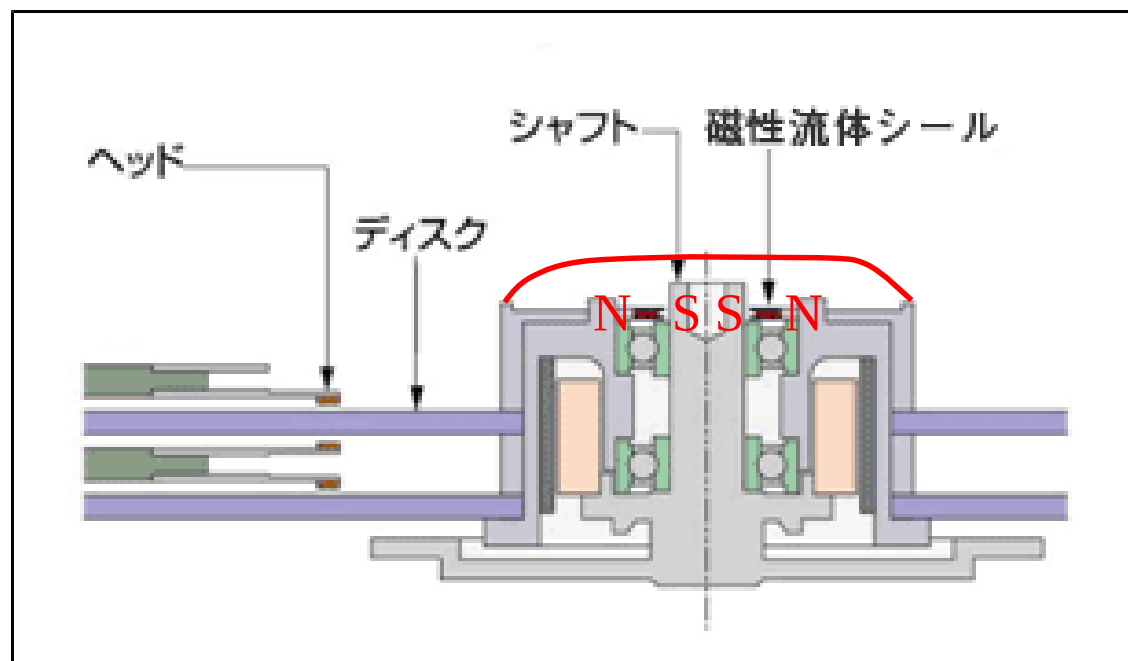
Q: 磁性流体は、身の回りではどんなところに使われていますか？

A: 身の回りでは、ハードディスク内の磁性流体シール等に使われています。ハードディスクを分解したことがありますか？私は物は壊れると捨てる前に分解します。以前分解したものがあったので持ってきました。ハードディスクの内部には、回転するディスク(円盤)があり、この円盤にデータを書き込んだり、読み出したりします。ですので、このディスクに塵などが付くと故障の原因になります。中心部分のモータや可動部分は、塵の発生源ですが、その塵が漏れ出さないように蓋をしているのが磁性流体シールです。液体なので、シールの外側が回転し、内側が固定されているような部分でも蓋ができます。

このように蓋をすれば磁性流体シールは要らない？



ハードディスクへの応用例

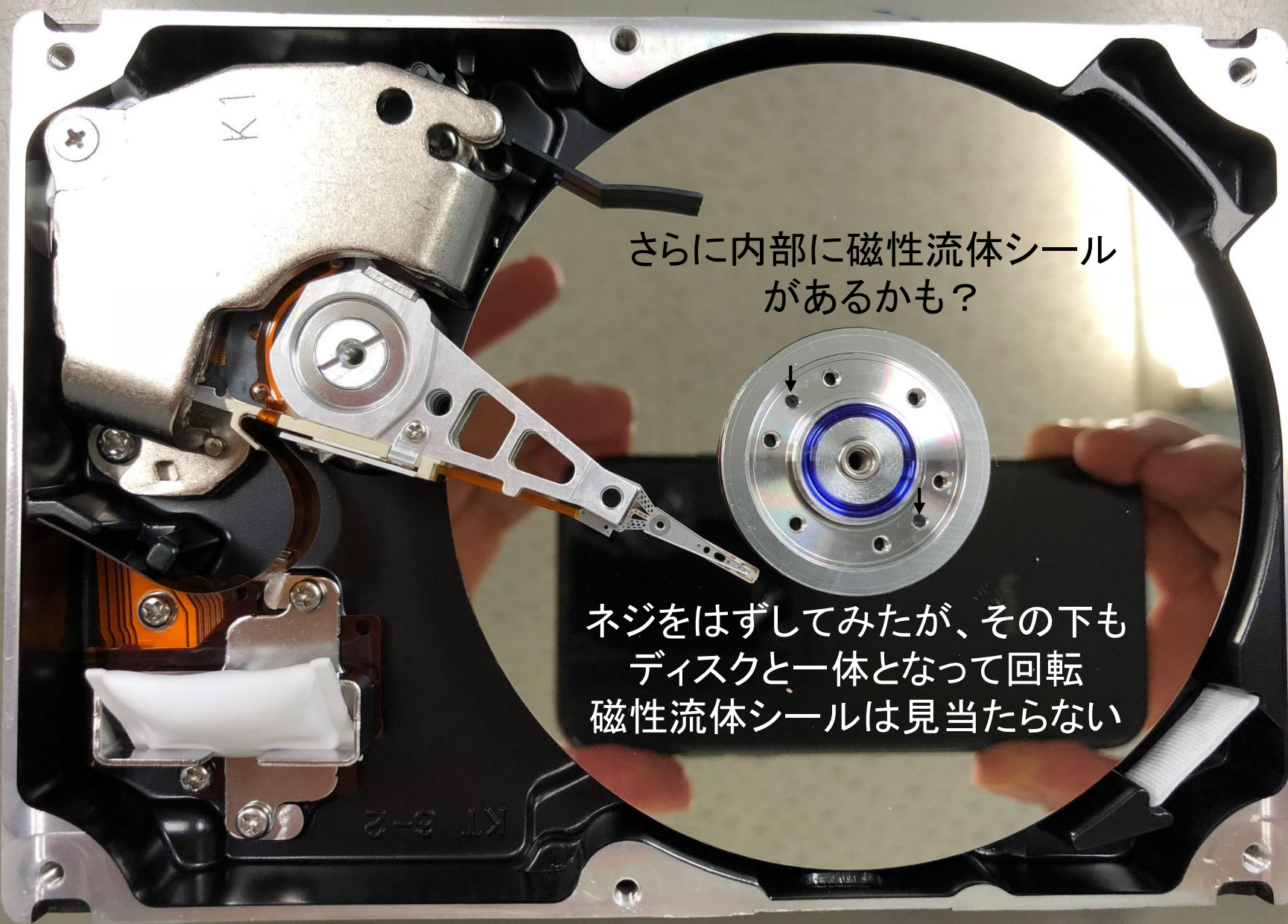


ディスク

穴が開いている。
完全に蓋をしてはいけない？

すべてディスクと一体となって回転





さらに内部に磁性流体シール
があるかも？

ネジをはずしてみたが、その下も
ディスクと一体となって回転
磁性流体シールは見当たらない

Q: 磁場の乱れは自然で起きるものなのですか？

A: 地球の磁極(S極)は、日本から見ると、北極点よりやや東にあるので、本来は方位磁石も少し東を向くはずですが、実際には方位磁石は真北(北極点)より数度西を向きます。これはバイカル湖の北あたり(日本から見ると西)に、あたかも磁極があるかのような地磁気の異常分布があるためです。地磁気に関しては、未解明な部分が多いです。人工的なものではないという意味では自然で起きるものです。

Q: レポートの提出期限はいつですか？

A: 年明けの最初の授業というのでどうでしょうか？何か意見があったら出席表に書いて下さい。

Q: 中間試験はどのような問題が出題されますか。具体例を教えてください。

A: 公開している昨年の期末試験を参考にしてほしいのですが、例ということでしたら、スライド①のような正負の絶対値の等しい電荷があるとき、電気力線の様子を書け。本数は指定しないが、複数本書くように。

Q: 小学生の時、電流を通すものを見つける実験で電極を持っていた手に水ぶくれができました。これは低温やけどですか？

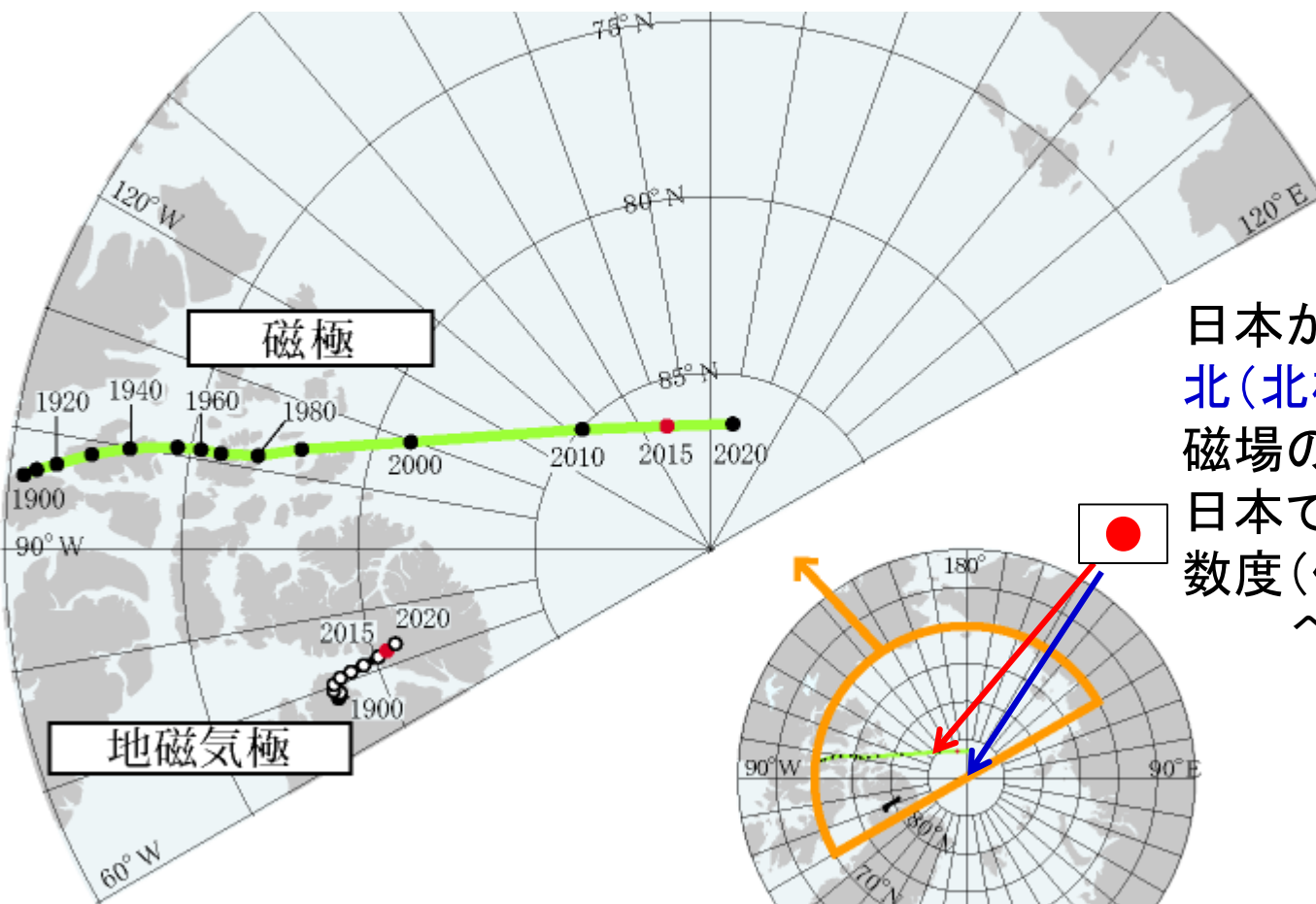
A: どのような電源だったのか等、状況がよくわからないので何とも言えませんが、強力な電源の場合、ジュール熱で熱くなった電極でやけどした可能性はあると思います。

参考：地磁気（地球の磁気，磁場）

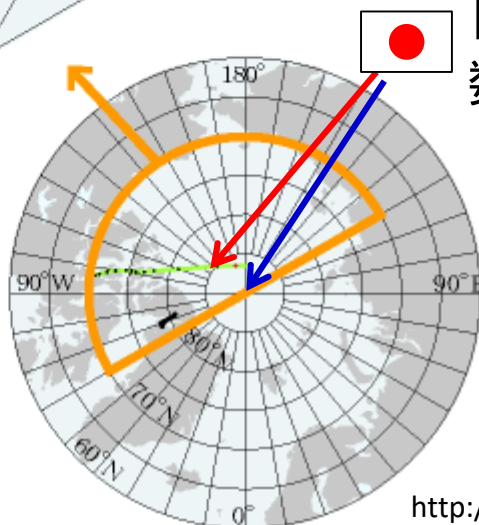
北極点：北緯90度の地点，自転軸と地球表面が交差する点

磁北極（磁極）：N極が真下を向く点（局所的な磁場の乱れの影響を受ける）

地磁気北極（地磁気極）：地磁気を地球中心にある双極子による磁場（双極子磁場）で近似したときのその双極子の軸と地表との交点



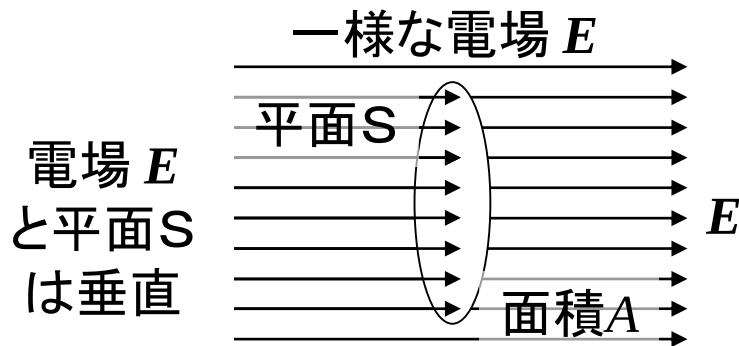
日本から見ると**磁北極**は
北（北極）よりも少し東よりだが
 磁場の局所的な乱れのため
 日本では、磁針は北より
 数度（偏角）ほど西を指す。
 へんかく 富山では約7度



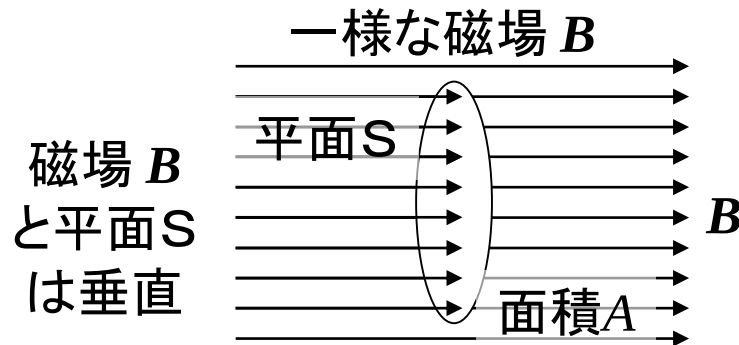
北半球

中間試験の範囲の19章までです。
今、勉強している20章は磁場の話だが、
磁場と電場は対応関係があり、
19章までの内容とリンクさせて
十分に中間試験対策となるような内容に
しますので真面目に聞いて下さい。

(磁束 Φ_B と磁場 B の関係は、電気力線束 Φ_E と電場 E の関係と同じ)



平面Sを貫く電気力線束 $\Phi_E = EA$ ^{ファイ}
 単位面積あたりの電気力線の本数を E とすると、
 電気力線束 Φ_E は平面Sを貫く電気力線の数
 (電気力線は 1m^2 あたり E 本)

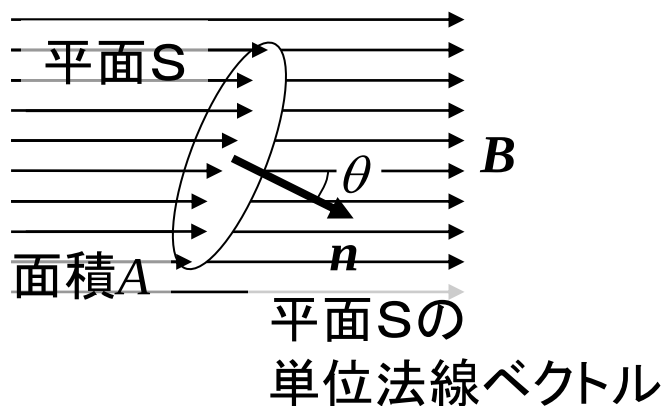


平面Sを貫く磁束 $\Phi_B = BA$ ^{ファイ}
 単位面積あたりの磁力線の本数を B とすると、
 磁束 Φ_B は平面Sを貫く磁力線の数
 (磁力線は 1m^2 あたり B 本)

磁束 Φ_B の単位: $\text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}$ (ウェーバー)

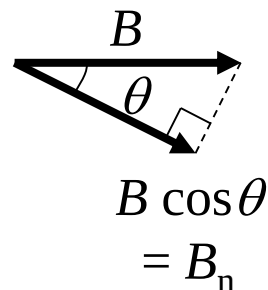
$$\Phi_B = BA$$

磁場 B と平面 S が垂直でない場合



平面Sを貫く磁束 $\Phi_B = BA \cos \theta = B_n A$
 (B_n は磁場 B の平面Sの法線方向成分)

$$B_n = B \cos \theta$$



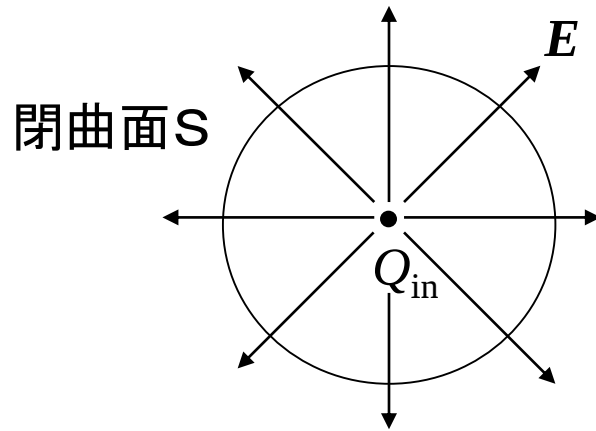
(対応) $\Phi_E = EA \cos \theta = E_n A$, $E_n = E \cos \theta$

曲面Sを貫く磁束は面積分を使って表すと

$$\Phi_B = \iint_S B_n dA$$

$$\Phi_E = \iint_S E_n dA$$

電場 E のガウスの法則

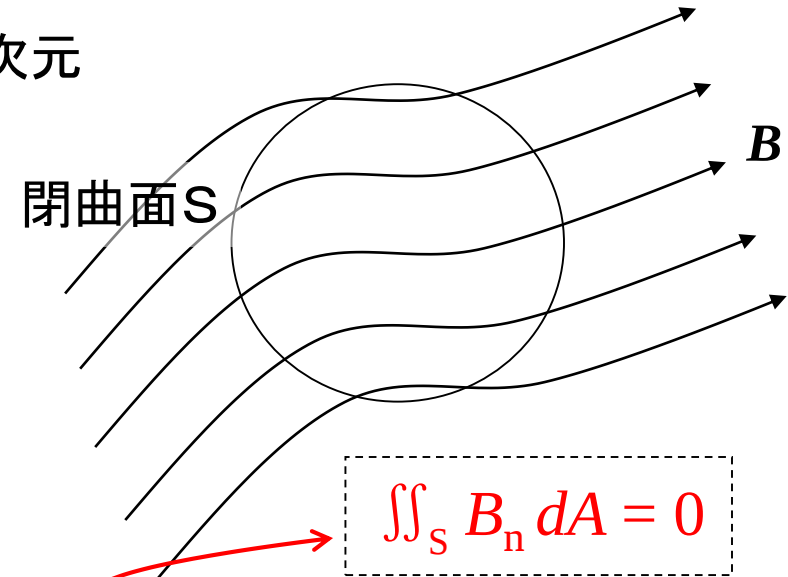


$$\iint_S E_n dA = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$$

E_n は電場 E の閉曲面 S に対する
法線方向成分

磁場 B のガウスの法則

実際は3次元



$$\iint_S B_n dA = 0$$

磁力線は、始点も終点もなく
途中で途切れない閉曲線
(閉曲面に入った磁力線は必ず出ていく)
磁気単極子(分離した磁極)は存在しない
(モノポール)

この授業の最終目標である4つのマクスウェル方程式のうちの2つ

磁力線は、N極で始まりS極で終わるのではなかったのか？

答：磁石の外部はそうだが、内部は以下のようにっており、
磁力線は閉曲線である。詳しくは 20.6 節

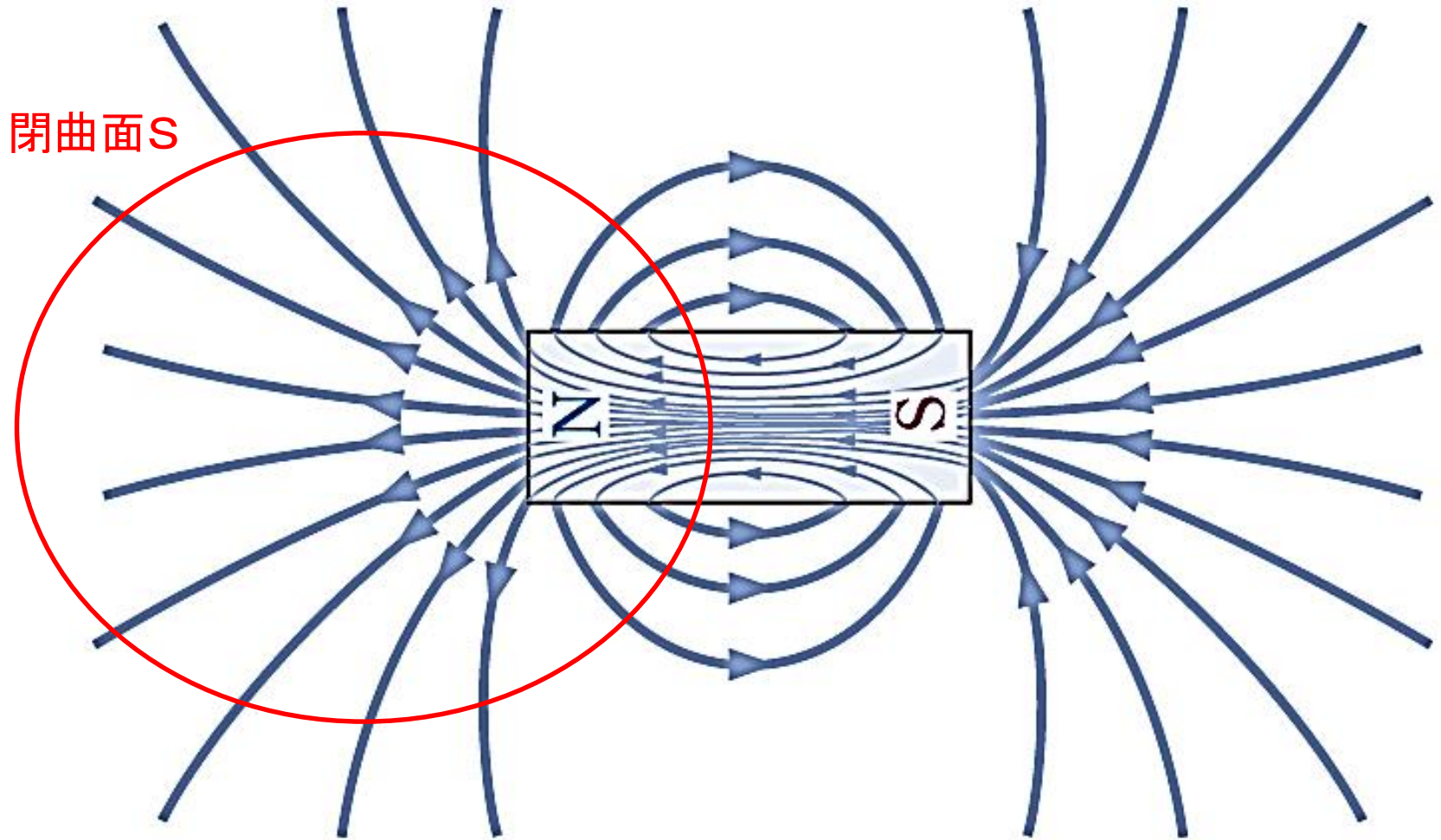


図 20.4

20.2 長い直線電流の作る磁場



対応関係は？
磁流(磁荷の流れ)
がないので、
対応するもない。

無限に長い
直線電流 I の作る磁場 B

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad [\text{T}]$$

公式として導入するが
後で別の法則から導く

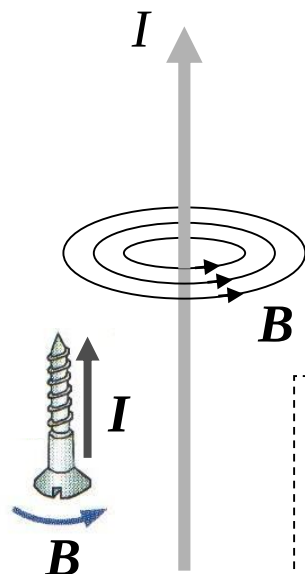
d : 電流からの距離

μ_0 :

**磁気定数
(真空の透磁率)**

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad [\text{T}\cdot\text{m/A}]$$

磁力線は電線を中心とする円
始点も終点もない閉曲線



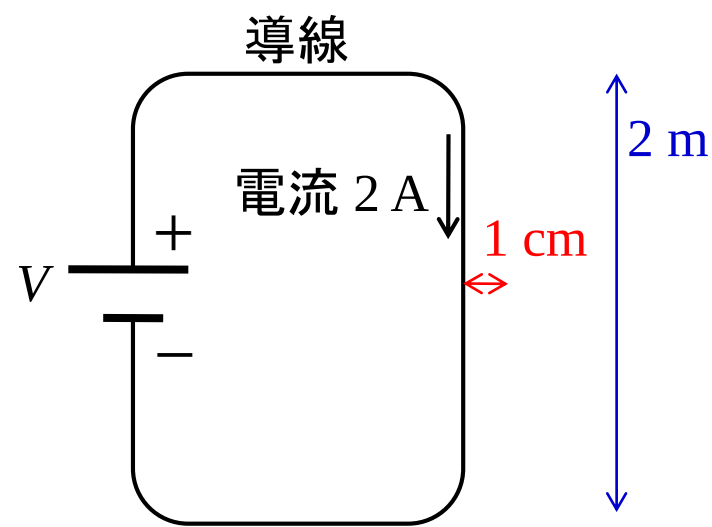
右ねじの規則

磁場の向き: 右ねじの回る向き
電流の向き: 右ねじの進む向き

右ねじ(一般的なねじ)
(時計回りに回すと閉まる)

磁場 B の強さは、電流 I に比例し
電流からの距離 d に反比例する

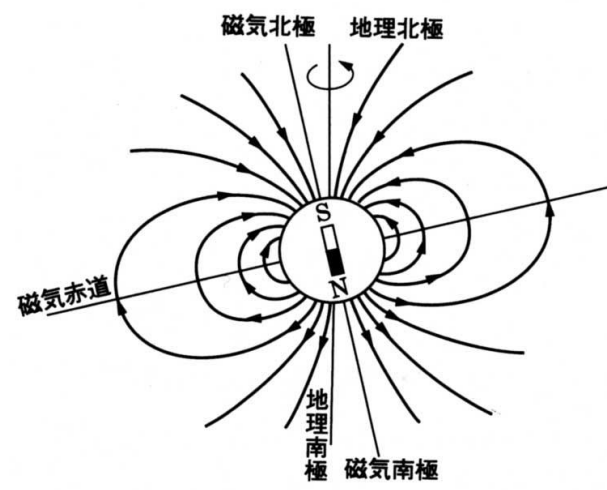
問題：下の図のように電池の両極を導線でショートさせたら、2 Aの電流が流れた。②
導線から 1 cm 離れた場所の磁場 B の強さはいくらか？



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 0.01} = 4 \times 10^{-5} \text{ [T]}$$

導線の長さに対して
導線からの距離が
十分に小さければ、
長い直線電流の式が
近似的に使える。

参考： 富山の地磁気
磁場の強さ： $4.8 \times 10^{-5} \text{ T}$
伏角（水平となす角）： 51°
ふっかく

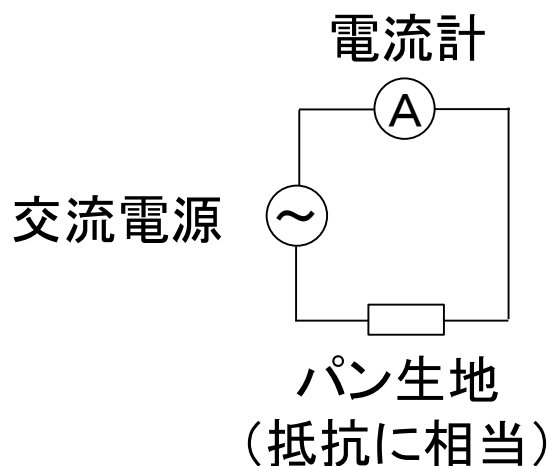


電気パンの実験

ジュール熱でパン(ホットケーキ)をつくる

ステンレスの電極を
コンセント(100 V)に接続

回路図



交流は21章
今は直流と
考えて下さい。



牛乳パックの下の部分

スタート時刻: _____ 電流: _____ 電力: _____

終了時刻: _____ 電流: _____ 電力: _____

問題: 消費した電力量:

磁場の重ね合わせの原理

E_1 : 電荷 Q_1 の作る電場

E_2 : 電荷 Q_2 の作る電場

B_1 : 電流 I_1 の作る磁場

B_2 : 電流 I_2 の作る磁場

E : 電荷 Q_1 と電荷 Q_2 が作る電場

B : 電流 I_1 と電流 I_2 が作る磁場

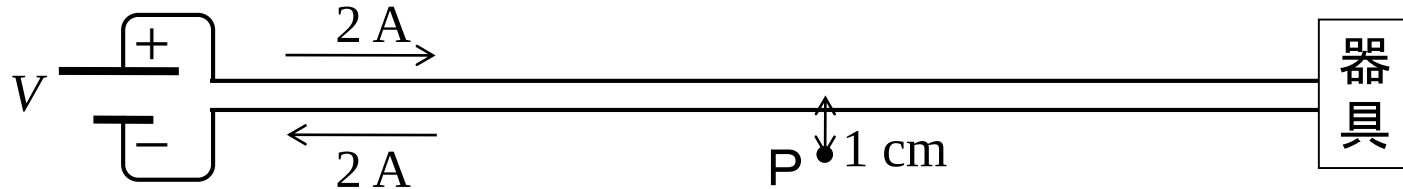
$$E = E_1 + E_2$$

$$B = B_1 + B_2$$

②②

例: ②の問題で地磁気が存在する場合は
電流の作る磁場と地磁気の(ベクトルの)足し算になる。

問題：下の図のように電気器具の電源コードは2つの導線（往復）が接近している⑤（間隔 1 mm）。②②の問題と同じく電流が 2 A 流れているときコードの中心から 1 cm 離れた点Pの磁場 B の強さと向きを求めよ。



実際は交流が多いが
この問題では直流と考える。
ノートPC等はアダプタ
から先は直流

＋側の導線との距離：10.5 mm
－側の導線との距離：9.5 mm

$d = 0.95 \text{ cm} : B = 4.21 \times 10^{-5} \text{ T}$ (紙面の奥から手前) ⊙

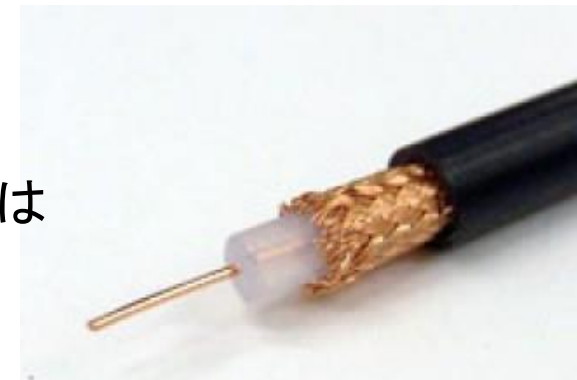
$d = 1.05 \text{ cm} : B = 3.81 \times 10^{-5} \text{ T}$ (紙面の手前から奥) ⊗

足すと： $B = 4.0 \times 10^{-6} \text{ T}$ (紙面の奥から手前) ⊙

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [T} \cdot \text{m/A]}$$

上の図のように、向きの異なる電流が接近していると、磁場は打ち消し合い外部に生じる磁場は小さくなる。
右の同軸ケーブルは外部に生じる磁場はほぼゼロになる。



(任意の形の電流のつくる磁場)

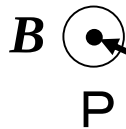
定常電流 I が流れている導線の微小部分 Δs が、
そこから距離 r (相対位置ベクトル $\mathbf{r}$) の点 P に作る磁場 $\Delta \mathbf{B}$

ビオ-サバールの法則

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s \sin \theta}{4 \pi r^2}$$

方向: $\Delta \mathbf{s}$, $\mathbf{r}$ に垂直
向き: 右ネジの規則

θ は電流の向き $\Delta \mathbf{s}$ と $\mathbf{r}$ のなす角



$\mathbf{r}$

θ

$$\Delta \mathbf{B} = \frac{\mu_0 I \Delta \mathbf{s} \times \mathbf{r}}{4 \pi r^3}$$

(ベクトル表示)

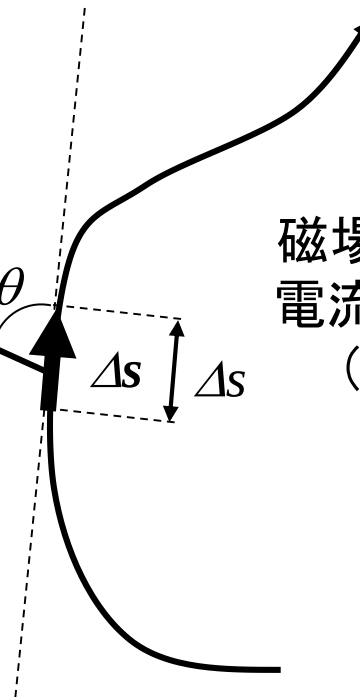
$$|\Delta \mathbf{s} \times \mathbf{r}| = |\Delta \mathbf{s}| |\mathbf{r}| \sin \theta$$

$$|\Delta \mathbf{s} \times \mathbf{r}| = \Delta s r \sin \theta$$

電流 I

右ねじの規則

磁場の向き: 右ねじの回る向き
電流の向き: 右ねじの進む向き
(直線電流の場合と同じ)

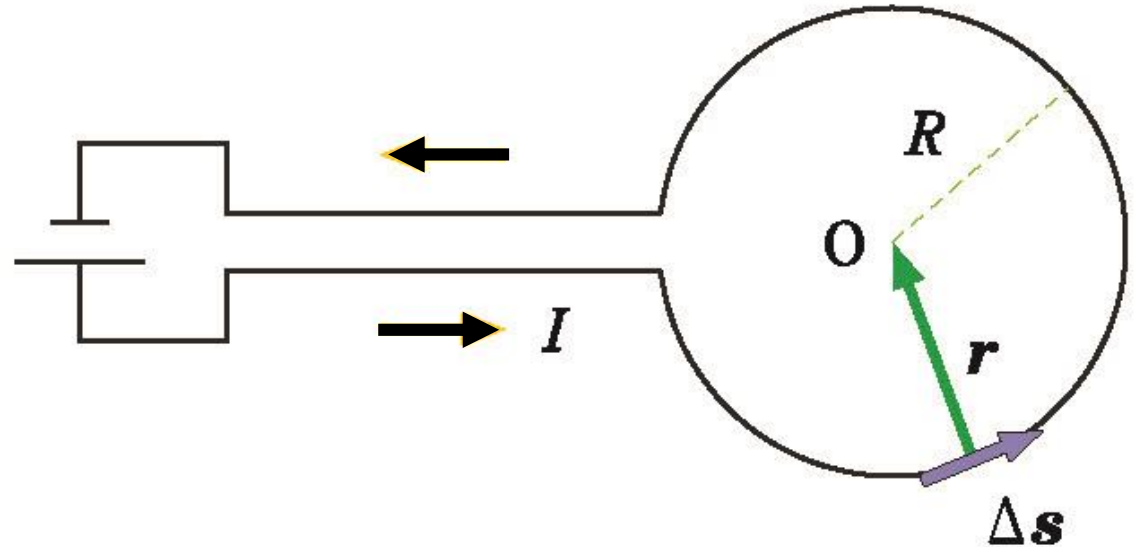


半径 R の円電流 I が円の中心に作る磁場

⑦

ビオ-サバルの法則

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s \sin \theta}{4\pi r^2}$$



導線の微小部分 Δs が円の中心につくる磁場

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s}{4\pi r^2} \quad (\sin \theta = 1) \quad \theta \text{ は } \Delta s \text{ と } r \text{ のなす角}$$

$$B = \Sigma \Delta B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \Sigma \Delta s, \quad \Sigma \Delta s = 2\pi R \text{ (円周の長さ) なので}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

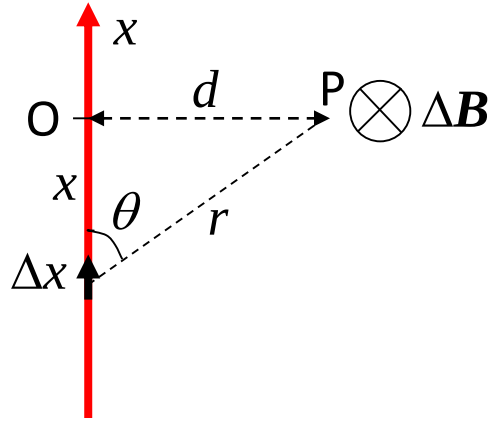
図の場合向きは？

紙面の奥から手前

磁場 B は電流 I に比例し半径 R に反比例

問題: ビオ-サバルの法則を用いて、直線電流の作る磁場の式 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ を導け。⑧

電流 I x 軸は、電流 I 上にとる。



ヒント: $\int \frac{dx}{(x^2+a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2(x^2+a^2)^{1/2}} + C$

$$B = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{(x^2+d^2)^{3/2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \left[\frac{x}{d^2(x^2+d^2)^{1/2}} \right]_{-\infty}^{+\infty}$$

$$B = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \left(\frac{1}{d^2} - \frac{-1}{d^2} \right)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

微小部分 Δx に流れている
電流 I が点 P に作る磁場 ΔB は

$$\sin \theta = \frac{d}{r} = \frac{d}{(x^2+d^2)^{1/2}}$$



$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s \sin \theta}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I d \Delta x}{4\pi (x^2+d^2)^{3/2}}$$

(x²+d²)

円電流 I (半径 R) の中心軸上の点の磁場①

⑨

(ソレノイドの磁場を計算する下準備)

問題: 右の図のような円電流 I の微小部分 Δs が図の点 P につくる磁場 ΔB の大きさを求めよ。図中の記号を用いてよい。

ビオ-サバールの法則

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s \sin \theta}{4\pi r^2}$$

$$\sin \theta = 1, r = (R^2 + x^2)^{1/2}$$

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s}{4\pi (R^2 + x^2)}$$

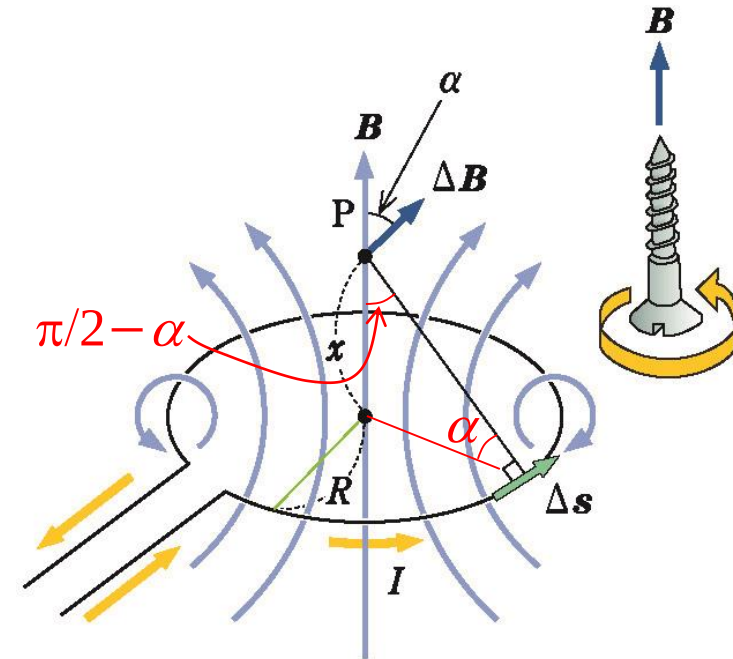


図20.25

円電流 I (半径 R) の中心軸上の点の磁場②

⑩

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta s}{4\pi (R^2 + x^2)}$$

ΔB の中心軸に垂直な成分は打ち消し合うので、
中心軸方向成分だけ考える。

問題：中心軸方向成分： $\Delta B \cos \alpha$ を求めよ。
図中の記号を用いてよい。

$$\cos \alpha = \frac{R}{(R^2 + x^2)^{1/2}}$$

$$\Delta B \cos \alpha = \frac{\mu_0 I R \Delta s}{4\pi (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

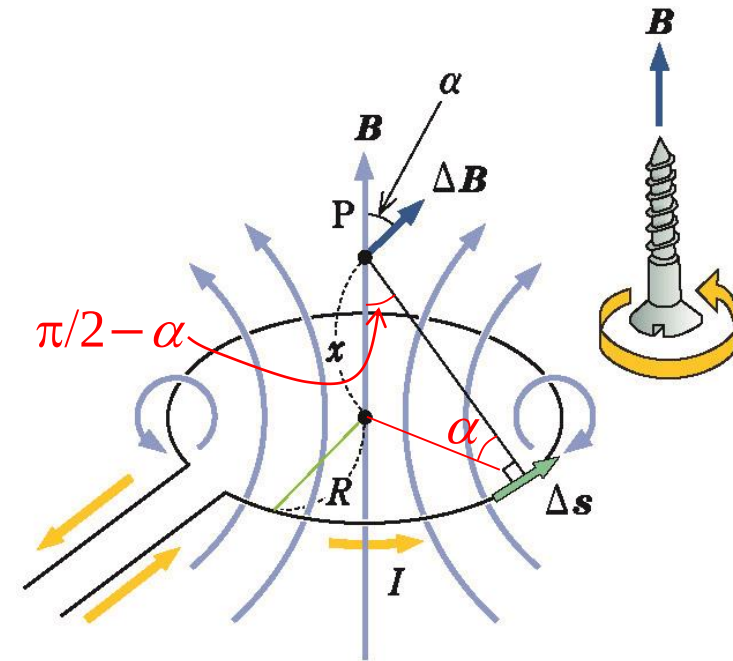


図20.25

円電流 I (半径 R) の中心軸上の点の磁場③

⑪

$$\text{中心軸方向成分: } \Delta B \cos \alpha = \frac{\mu_0 I R \Delta s}{4\pi (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

問題: 円電流 I が点 P につくる磁場 B の大きさを求めよ。

$$B = \Sigma(\Delta B \cos \alpha) = \frac{\mu_0 I R}{4\pi (R^2 + x^2)^{3/2}} \Sigma \Delta s,$$

$$\Sigma \Delta s = 2\pi R$$

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

問題: $x = 0$ のときの B を求めよ。

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

= 円電流のつくる磁場⑦

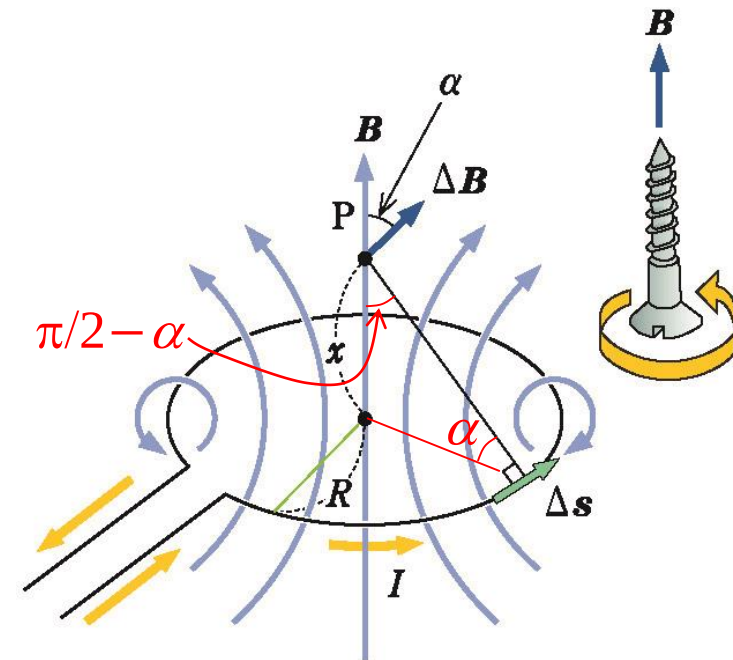


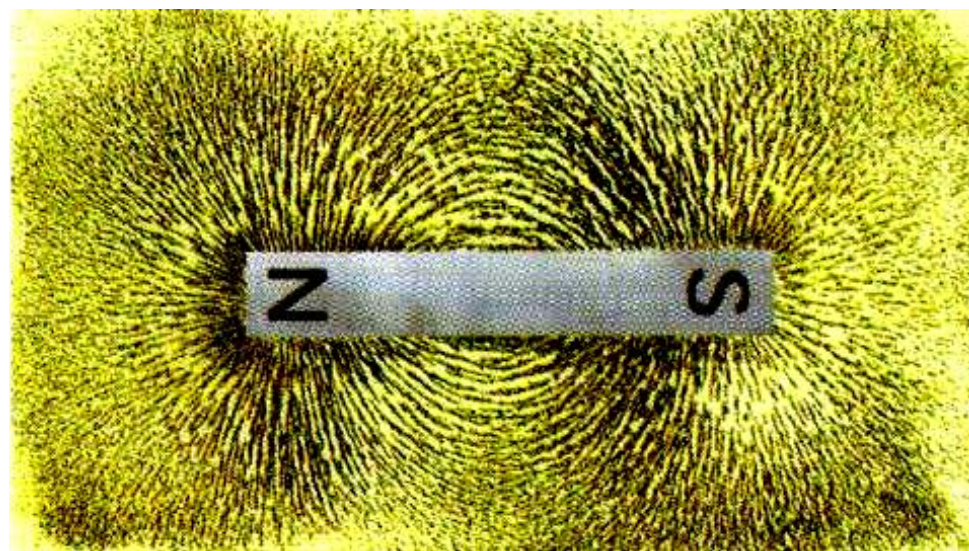
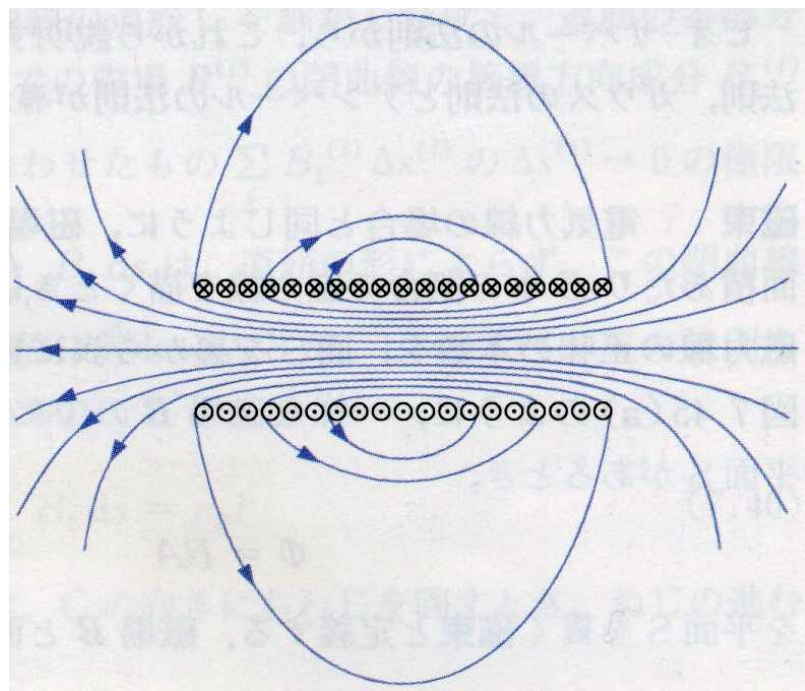
図20.25

長いソレノイドを流れる電流が作る磁場

ソレノイド
ソレノイドコイル

: 絶縁した導線を密に円筒状に巻いたもの

ソレノイドに電流を流したときに生じる磁場 = 多数の円電流の重ね合わせ



ソレノイドの外部に生じる磁場は、棒磁石の外部の磁場に似ている。
(理由は後で説明する)。

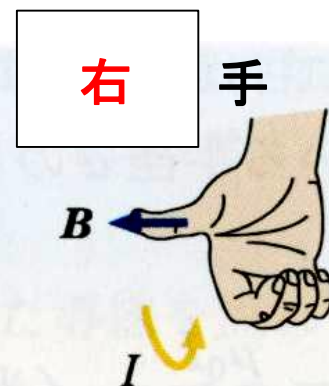
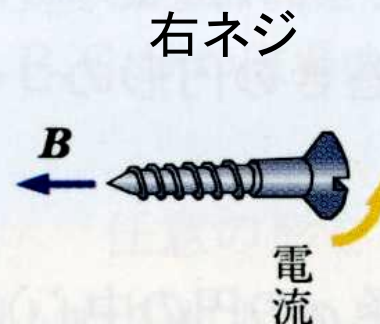
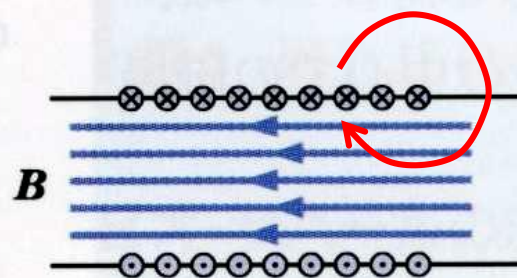
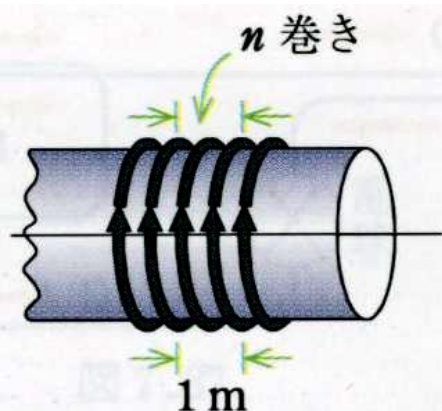
十分に長い(無限に長い)ソレノイドの中央付近の磁場

十分に長い

中央付近なら

- ① ソレノイドの内部の磁場は、どこでもソレノイドの軸に平行で $B = \mu_0 n I$
- ② ソレノイドの外部の磁場は、どこでも 0

n : 1 m あたりの巻き数、 後でアンペールの法則を用いて補足



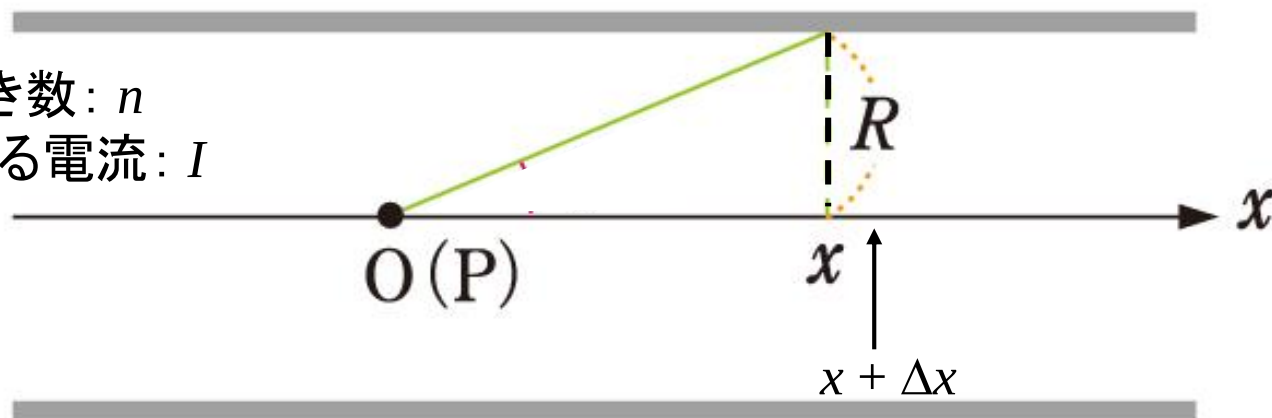
例5: 長さ 30 cm, 全巻き数 300 の中空のソレノイドに 2.0 A の電流が流れている。コイルの内部に生じる磁場の強さを求めよ。ただし、コイルの半径は 30 cm に比べて十分に小さく、問題にしている磁場はコイルの端でなく中央付近の磁場とする。

$$n = \frac{300}{0.3} = 1000$$

$$B = \mu_0 n I = 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 2 \div 2.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

ソレノイドの内部の磁場 $B = \mu_0 n I$ の証明①

単位長さあたりの巻き数: n
ソレノイドに流れている電流: I



ソレノイドは、非常に多くの円電流の集まりとみなせる。
よって、先ほど⑨～⑪で求めた円電流の中心軸上の点の磁場の式が使える。

問題: 上の図のようにソレノイドの中心軸に x 軸をとる。
点Pから距離 x と $x+\Delta x$ の間の微小部分には何個の円電流が存在するか? $n\Delta x$ 個

その円電流が点 P につくる磁場の大きさを求めよ。

1巻き: $B = \frac{\mu_0 I R^2}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$

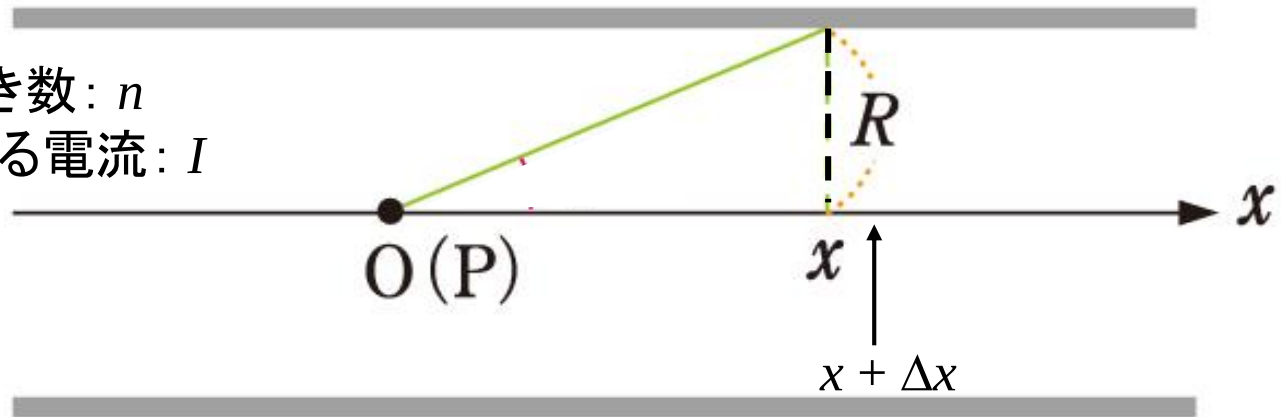
$n\Delta x$ 巻き: $\Delta B = \frac{\mu_0 I R^2 n \Delta x}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$

↑
 Δx は無視してよい

ソレノイドの内部の磁場 $B = \mu_0 n I$ の証明②

⑮

単位長さあたりの巻き数: n
ソレノイドに流れている電流: I



問題: 無限に長いソレノイドの場合、点 P の磁場 B の大きさを求めよ。

$$n\Delta x \text{ 巻き: } \Delta B = \frac{\mu_0 I R^2 n \Delta x}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$\text{ヒント: } \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2(x^2 + a^2)^{1/2}} + C$$

$$B = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mu_0 I R^2 n dx}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I R^2 n}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I R^2 n}{2} \frac{2}{R^2}$$

$$\left[\frac{x}{R^2(x^2 + R^2)^{1/2}} \right]_{-\infty}^{+\infty}$$

$$B = \mu_0 n I$$

$$\left(\frac{1}{R^2} - \frac{-1}{R^2} \right)$$

非常に長いソレノイドの端の断面(円)の中心の磁場の強さが $B = \frac{\mu_0 n I}{2}$ であることを示せ。 _____。

中央付近の磁場の半分は右側のコイルが、残りの半分以上を左側のコイルがつくる端は一方しかコイルが存在しないので、磁場の強さは中央の半分となる。

⑮の積分を $-\infty$ から $+\infty$ でなく、 $-\infty$ から0まで積分した場合に相当

または、 $0 \sim +\infty$

長いソレノイドの内部を物質で満たした場合

ソレノイドに電流を流すと電磁石になる。ソレノイドに鉄心を入れると鉄が磁化して電磁石の内外の磁場 B ははるかに強くなる。

長いソレノイド内部の磁場が空心の場合の μ_r 倍になる場合、

μ_r をその物質の

比透磁率

という

ソレノイドの内部の磁場:

$$B = \mu_r \mu_0 n I$$

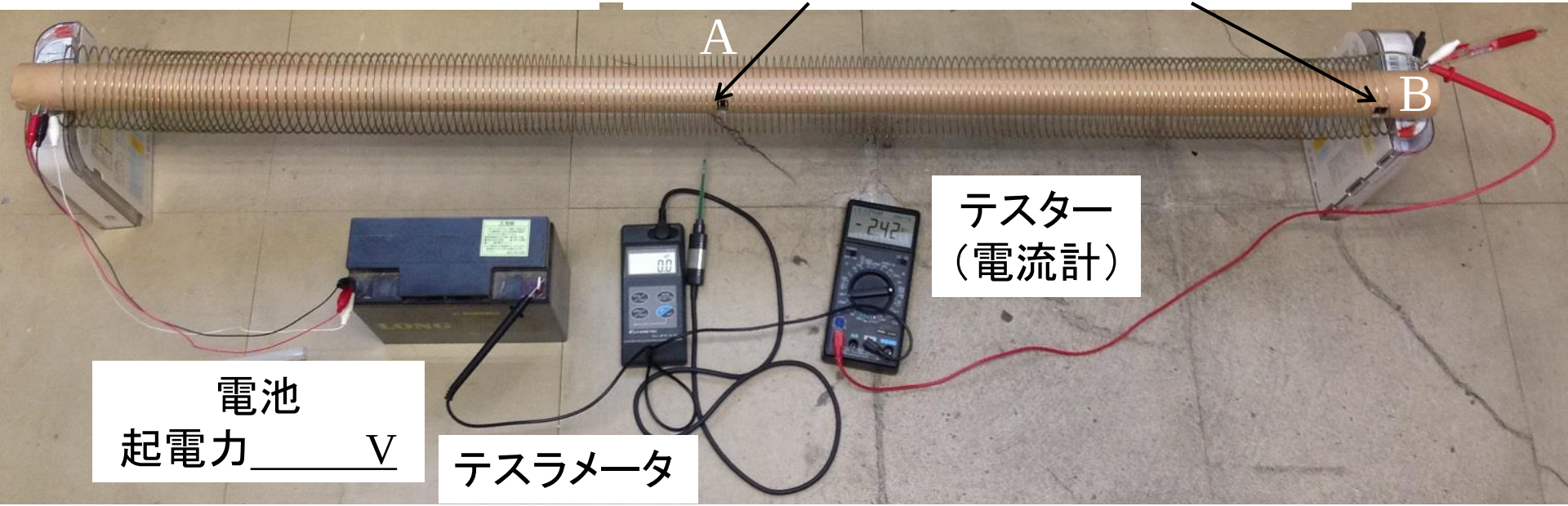
(μ_r : 物質の比透磁率)

実験:ソレノイドを流れる電流のつくる磁場の測定

(5.2 Ω)

ソレノイド(ばね)179巻, 1.15 m

テスラメータのセンサーを差し込む穴



1 m あたりの巻き数 n は 179/1.15 ÷ 156

ソレノイドの中心付近の内部の磁場 B の強さを計算せよ。ソレノイドは十分に長いとしてよい。

回路を流れる電流は 2.4 A

$$\mu_0 n I = 4\pi \times 10^{-7} \times 156 \times 2.4 = 4.33 \times 10^{-4} \text{ T}$$

回路の全抵抗を求めよ。
_____ Ω

テスラメーターをゼロ点補正し(地磁気等を差し引いて)A,Bの部分の磁場の強さを測定

電池の内部抵抗は

全部で _____ Ω、一本あたり _____ Ω

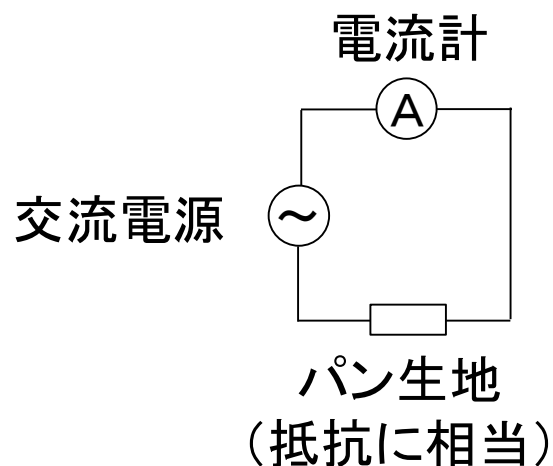
A: 4.7 × 10⁻⁴ T , B: 2.4 × 10⁻⁴ T

電気パンの実験

ジュール熱でパン(ホットケーキ)をつくる

ステンレスの電極を
コンセント(100 V)に接続

回路図



交流は21章
今は直流と
考えて下さい。



牛乳パックの下の部分

スタート時刻: _____ 電流: _____ 電力: _____

終了時刻: _____ 電流: _____ 電力: _____

問題: 消費した電力量:

今後の予定

2018年11月

日	月	火	水	木	金	土
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22 1限 ⑭	23	24
25	26	27	28	29 ⑮	30 休講	

2018年12月

日	月	火	水	木	金	土
						1
2	3	4	5	6 中間 試験	7 休講	8

13 ⑰ 14 休講