電験どうでしょう管理人

KWG presents

短期集中講座

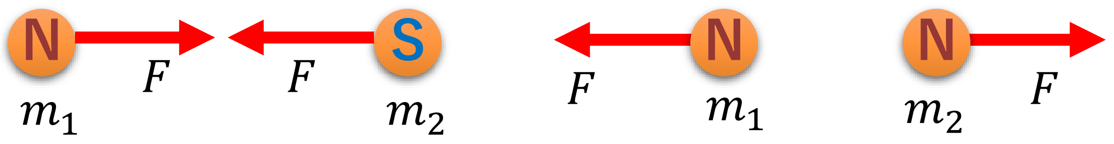
電磁気学（磁気、電荷の運動）

2022.12.3 Sat

磁気力とクーロン力

磁荷間で働く力　$F = \dfrac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$

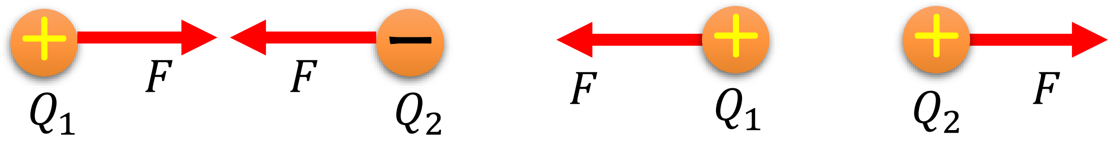
引力　　**斥力**



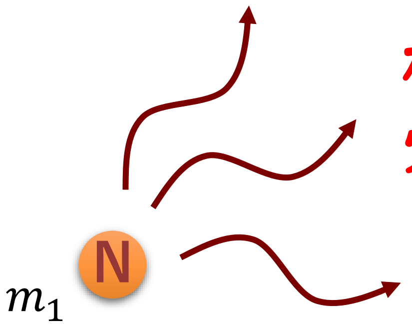
磁荷m_1, m_2 [Wb]（ウェーバー）

電荷間で働く力　$F = \dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r^2}$

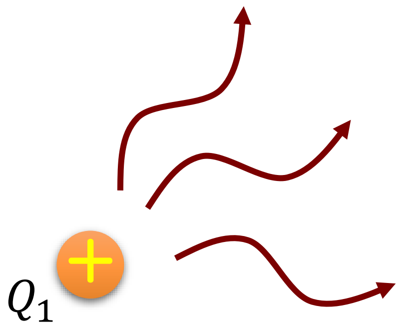
引力　　**斥力**



電荷Q_1, Q_2 [C]（クーロン）



相互作用：磁気力
雰囲気：磁界、磁束



相互作用：クーロン力
雰囲気：電界、電束

磁界　$H = \dfrac{m_1}{4\pi\mu r^2}$　[A/m]

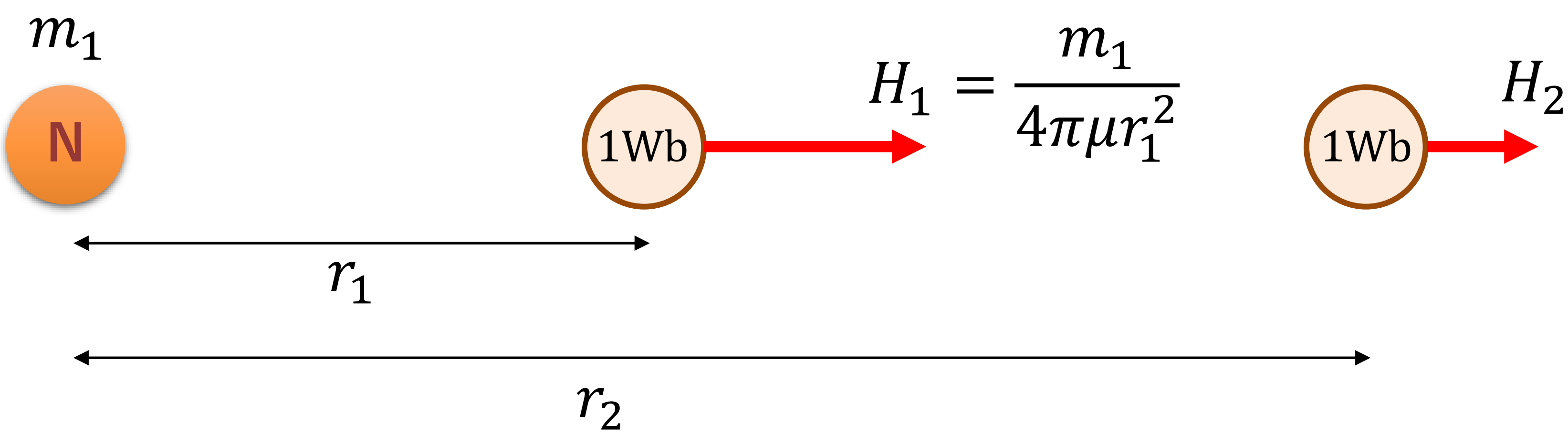
磁束密度　$B = \mu H$　[Wb/m^2]

電界　$E = \dfrac{Q_1}{4\pi\varepsilon r^2}$ [V/m]

電束密度　$D = \varepsilon E$　[C/m^2]

磁荷と磁界

磁界とは磁荷m_1が1Wbの磁荷に与える力　$F=\dfrac{m_1 \times 1}{4\pi\mu r^2} \rightarrow H=\dfrac{m_1}{4\pi\mu r^2}$



$$H_1=\frac{m_1}{4\pi\mu r_1^2}$$

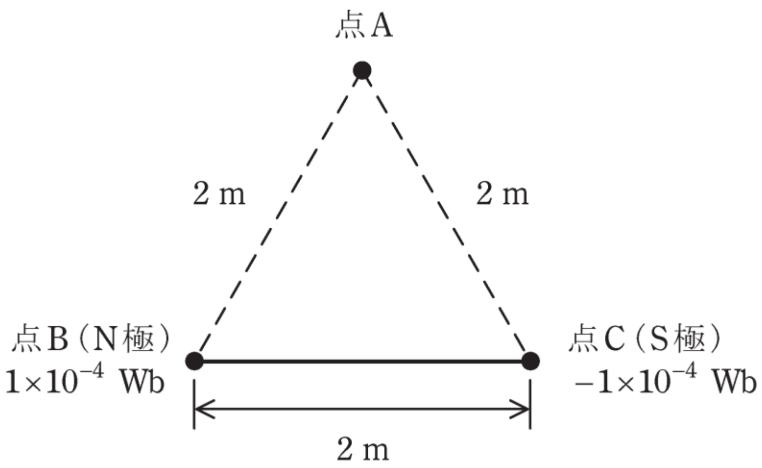
$$H_2=\frac{m_1}{4\pi\mu r_2^2}$$

磁荷によって生じる磁界は、
電荷によって生じる電界と同じように考えてよい。

H30 問3

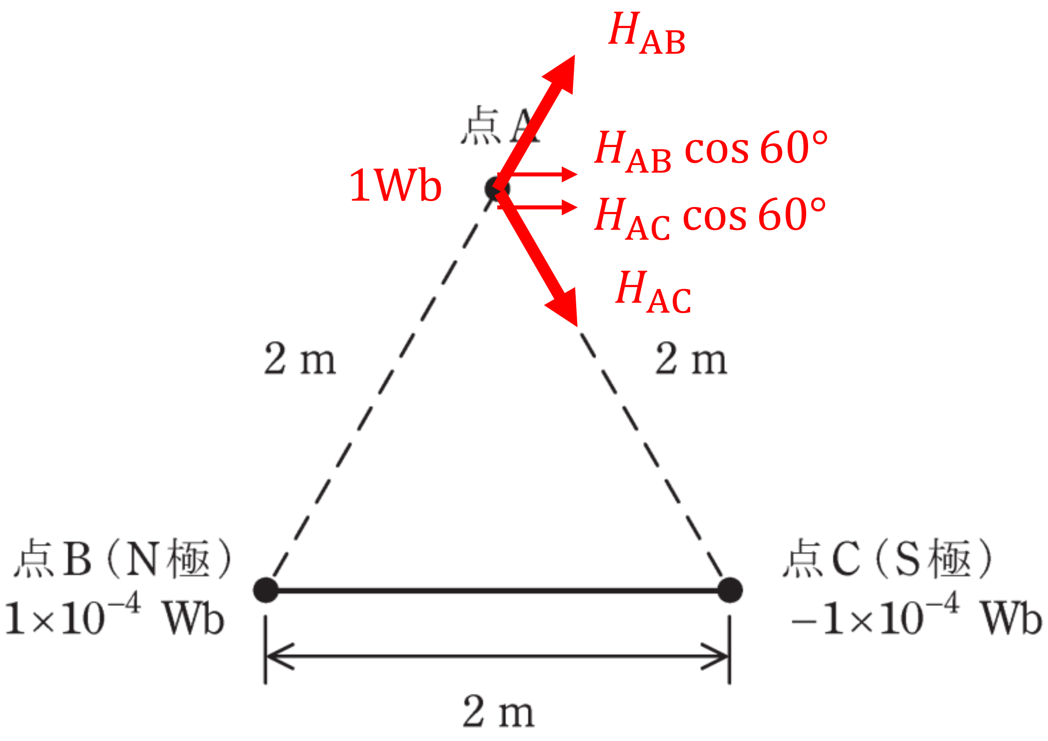
問３　長さ２m の直線状の棒磁石があり，その両端の磁極は点磁荷とみなすことができ，その強さは，N 極が 1×10^{-4} Wb，S 極が-1×10^{-4} Wb である。図のように，この棒磁石を点 BC 間に置いた。このとき，点 A の磁界の大きさの値[A/m]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，点 A，B，C は，一辺を２m とする正三角形の各頂点に位置し，真空中にあるものとする。真空の透磁率は $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ H/m とする。また，N 極，S 極の各点磁荷以外の部分から点 A への影響はないものとする。



（1） 0　（2） 0.79　（3） 1.05　（4） 1.58　（5） 3.16

導出のポイント



＜磁界を図と数式で表すために＞

（１）点Aに1Wbを置いたと仮定して、磁気力を考える

$$H_{AB}=\frac{m_B}{4\pi\mu_0 r^2},\ H_{AC}=\frac{m_C}{4\pi\mu_0 r^2}$$

（２）H_{AB}とH_{BC}のベクトルの合成を考える

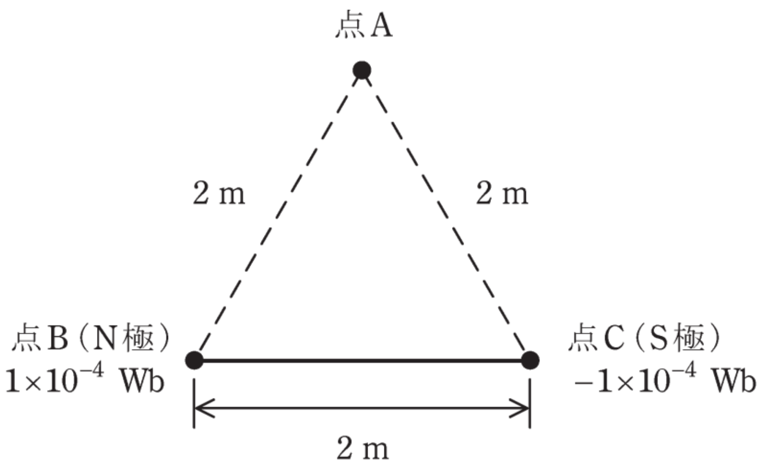
$$H=H_{AB}\cos 60°+H_{AC}\cos 60°$$
$$=\frac{10^{-4}}{4\pi\mu_0 2^2}\times\frac{1}{2}+\frac{10^{-4}}{4\pi\mu_0 2^2}\times\frac{1}{2}=\frac{10^{-4}}{4\pi\times4\pi\times10^{-7}\times2^2}$$
$$=1.58\ \mathrm{A/m}$$

（1）0　（2）0.79　（3）1.05　（4）1.58　（5）3.16

H30 問3

問３　長さ２m の直線状の棒磁石があり，その両端の磁極は点磁荷とみなすことができ，その強さは，N 極が 1×10^{-4} Wb，S 極が-1×10^{-4} Wb である。図のように，この棒磁石を点 BC 間に置いた。このとき，点 A の磁界の大きさの値[A/m]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

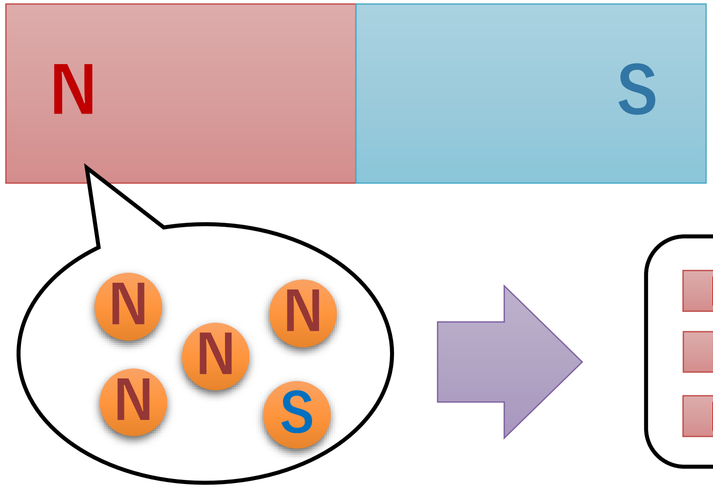
ただし，点 A，B，C は，一辺を２m とする正三角形の各頂点に位置し，真空中にあるものとする。真空の透磁率は $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ H/m とする。また，N 極，S 極の各点磁荷以外の部分から点 A への影響はないものとする。

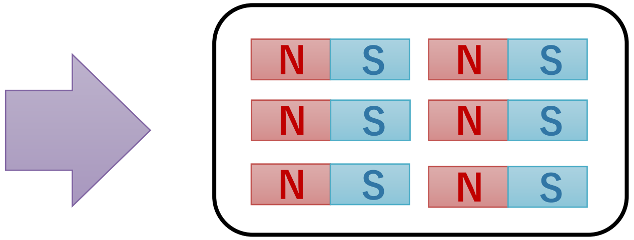


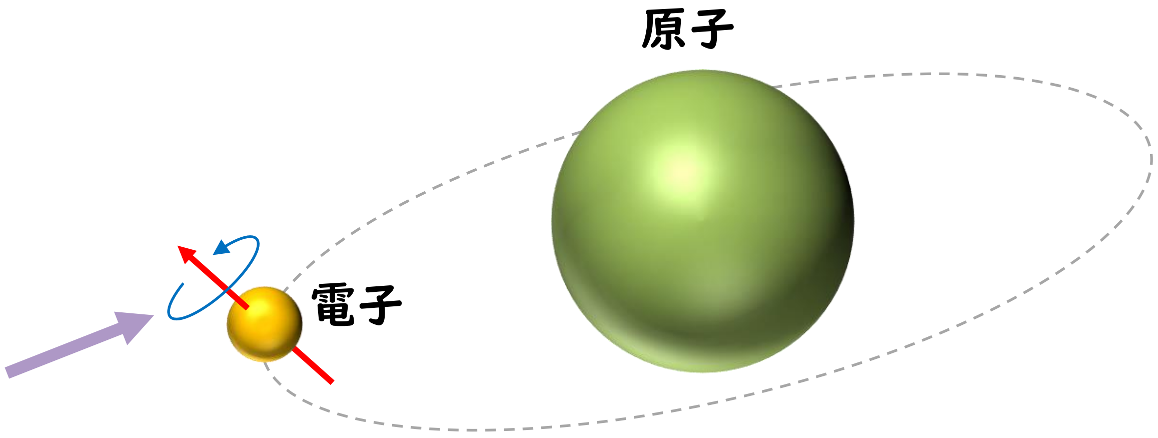
(1)　0　　(2)　0.79　　(3)　1.05　　(4)　1.58　　(5)　3.16

磁荷って何？

磁石を分解すると、







磁荷という粒が存在するのではなく、、、

小さな磁石が並んでいる

原子の周りの電子が自転（スピン）している

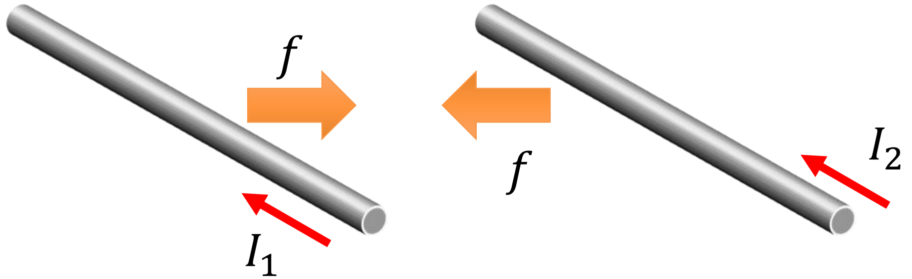
→スピンが作る小さな電流ループが“磁荷の正体”

<u>**電流と磁気は密接に関係している**</u>

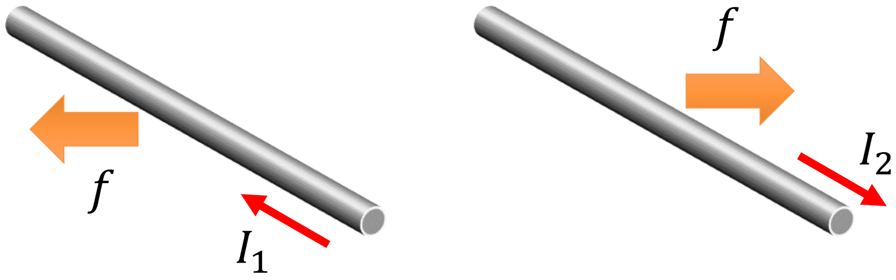
電流と磁界

磁気力：磁荷間で働く力　$F = \dfrac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$　　磁界　$H = \dfrac{m_1}{4\pi\mu r^2}$ [A/m]

→ 磁気力と磁界を電流をもとに再構築する



それぞれの電流が同じの向き→引力



それぞれの電流が反対の向き→斥力

電流間に働く力（アンペール力）
2つの導線を平行に並べたとき、
1メートルあたりに発生する力fは

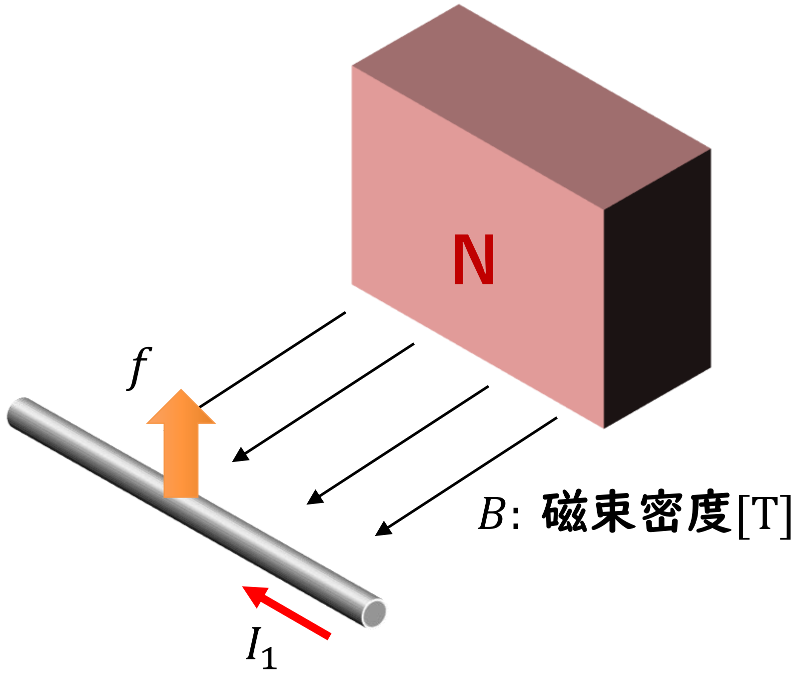
$$f = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_1 I_2 \text{ [N/m]}$$

と表せる。

電流と磁界

磁気力：磁荷間で働く力　$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$　　磁界　$H = \frac{m_1}{4\pi\mu r^2}$ [A/m]

→ 磁気力と磁界を電流をもとに再構築する



磁石と電流の間で働く力（電磁力/ローレンツ力）
導線1メートルあたりに発生する力fは

$$f = I_1 \times B \text{ [N/m]}$$

と表せる。

$$cf.\ F = I \times Bl \text{ [N]}$$

アンペール力と関連づけると、

$$f = I_1 \cdot \boxed{\mu_0 \frac{I_2}{2\pi r}} \text{ [N/m]}$$

$$H = \frac{I_2}{2\pi r}$$

$$B = \mu_0 H$$

電流と磁界

磁気力：磁荷間で働く力　$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$　　磁界　$H = \frac{m_1}{4\pi\mu r^2}$ [A/m]

→ 磁気力と磁界を電流をもとに再構築する

電磁力：電流と磁束による力　$F = I \times Bl$　　磁界　$H = \frac{I}{2\pi r}$ [A/m]

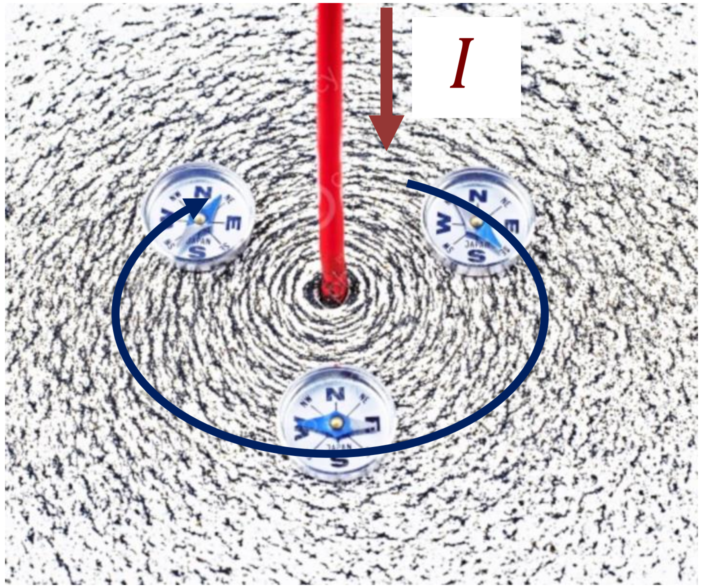
磁界ってなんだろう？

$$F \propto B \overset{B=\mu H}{\rightarrow} F \propto H \rightarrow F \propto \frac{I}{2\pi r}$$

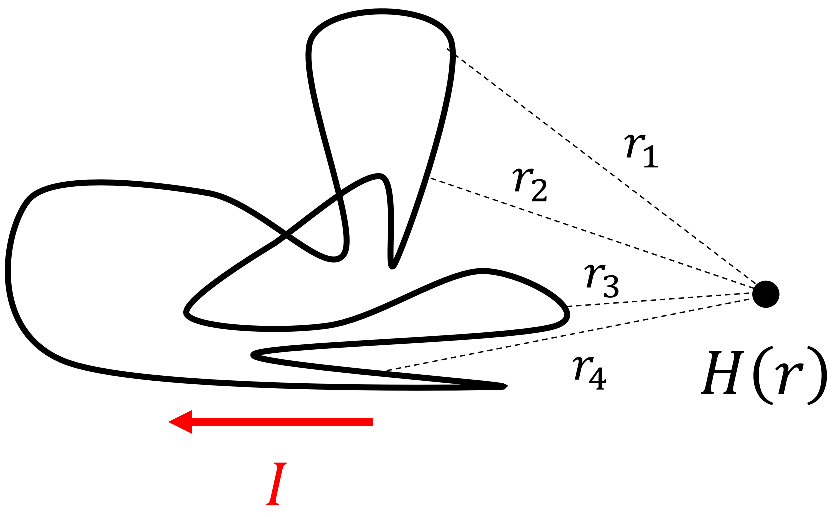
砂鉄の量 $\propto F \cdot 2\pi r \rightarrow$ 砂鉄の量 $\propto I$

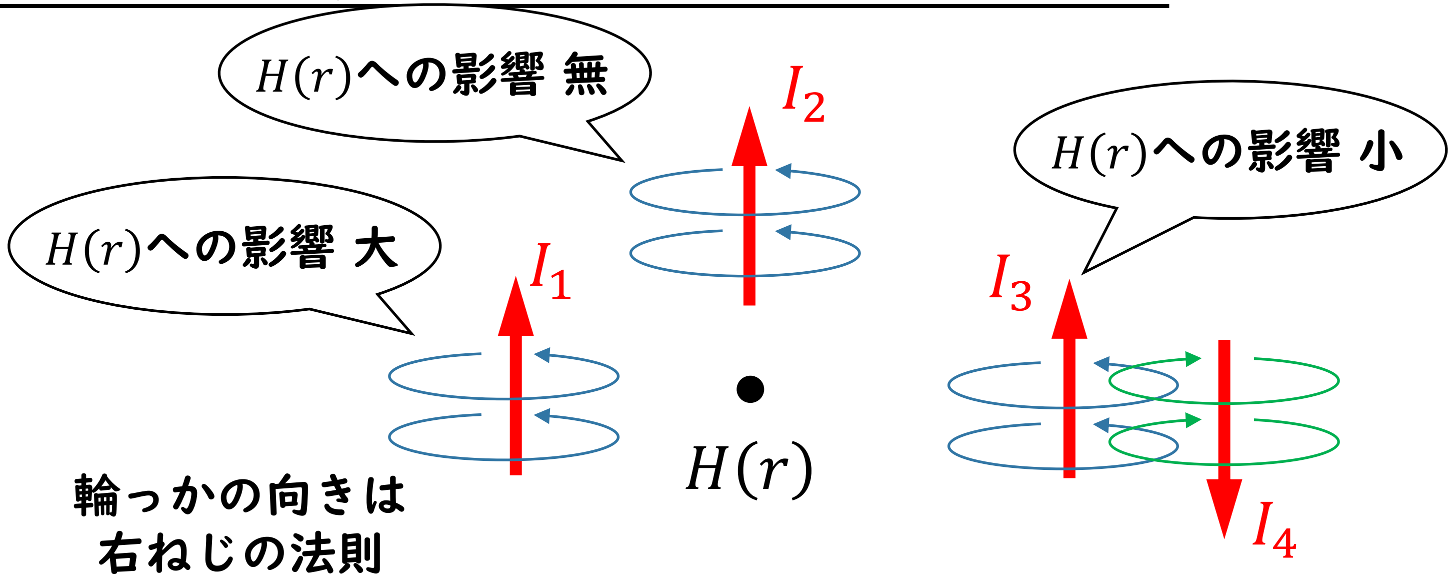
砂鉄は透磁率μを有する磁性体

→電流（磁界）が磁性体に作用する



ビオ・サバールの法則





（ルール１）
位置rに生じる磁界$H(r)$は、
周辺の電流とその経路で決まる

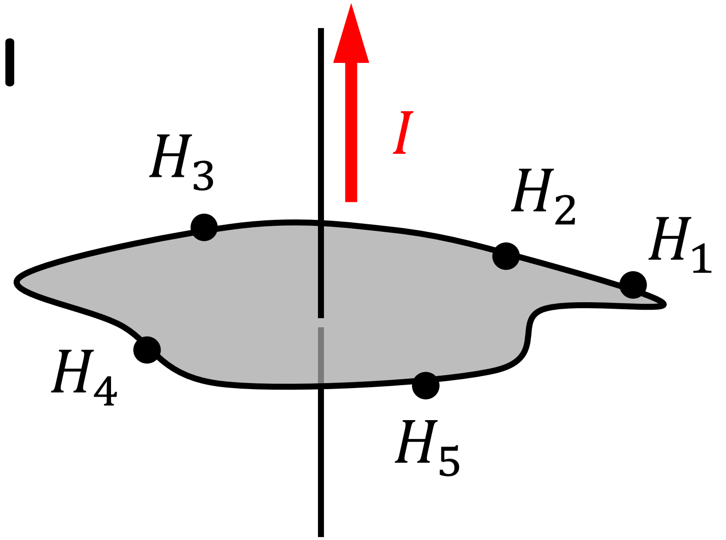
$$H(r) = \frac{\text{周囲の電流}}{\text{位置}r\text{から見える電流の経路}}$$

（ルール２）
電流の磁界への$H(r)$影響は、
電流が作る輪っかがどれだけ位置rに
伝わるかで決まる

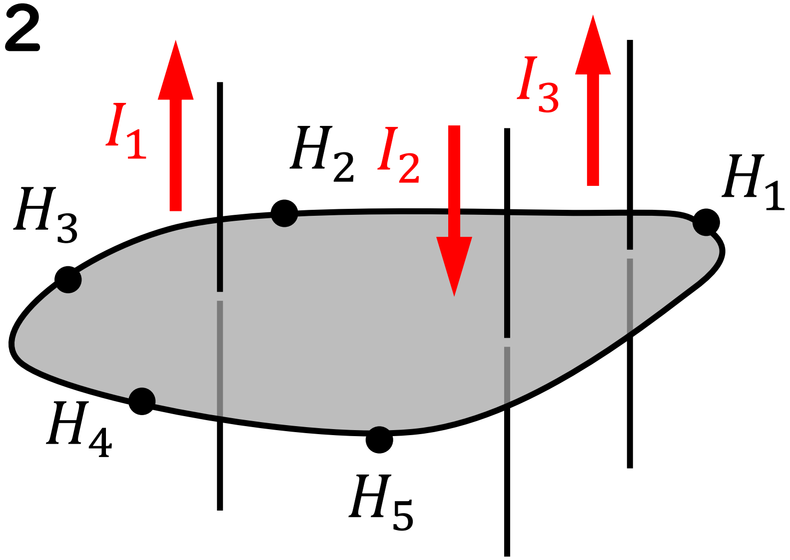
ビオ・サバールの法則
→ある点の磁界を求めるのに有効

アンペールの法則

例１



例２



ある経路の磁界を全て足し合わせると、
その経路内部を貫く電流と一致する

例１の場合

$$I = H_1 + H_2 + H_3 + \cdots$$

例２の場合

$$I_1 - I_2 + I_3 = H_1 + H_2 + H_3 + \cdots$$

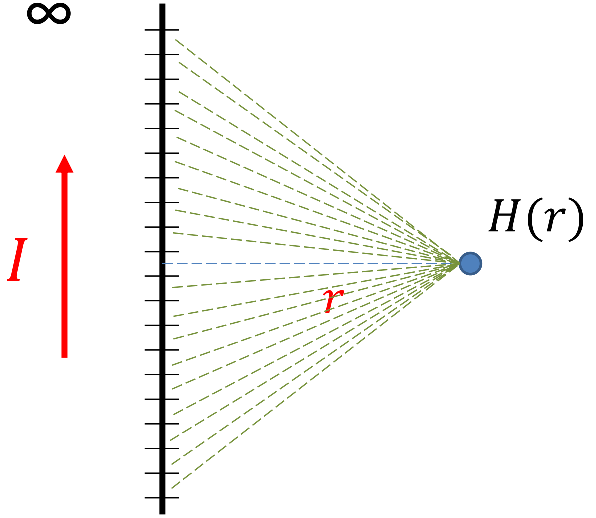
電流の総和 ＝ ある経路の磁界の総和

アンペールの法則
→電流と磁界の関係を求めるのに有効

磁界の導出の一例

ビオ・サバールの法則

導体長さ ∞

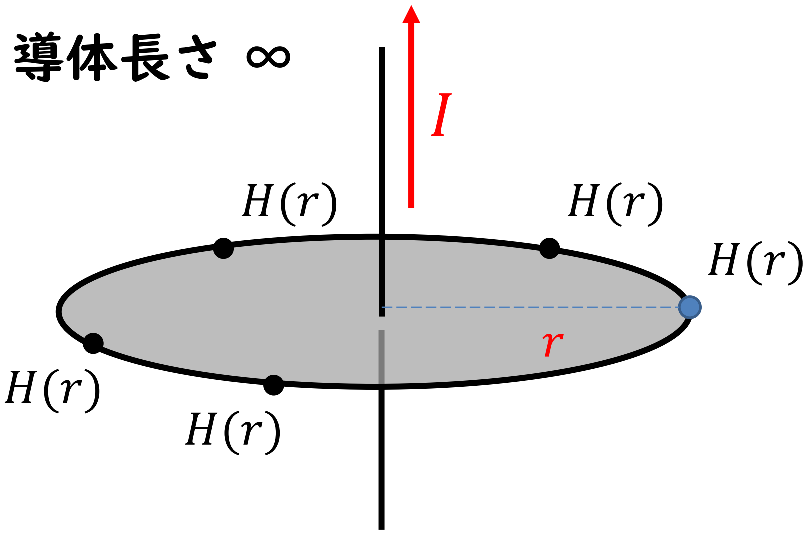


電流の経路を刻んで、
各点と位置rとの距離を用いる

$$H(r)=\frac{\text{周囲の電流}}{\text{位置}r\text{から見える電流の経路}}$$

アンペールの法則

導体長さ ∞



電流から半径r離れた点の磁界は
どの点も等しく$H(r)$となるので

$$I=2\pi r\ H(r)$$

$$H(r)=\frac{I}{2\pi r}$$

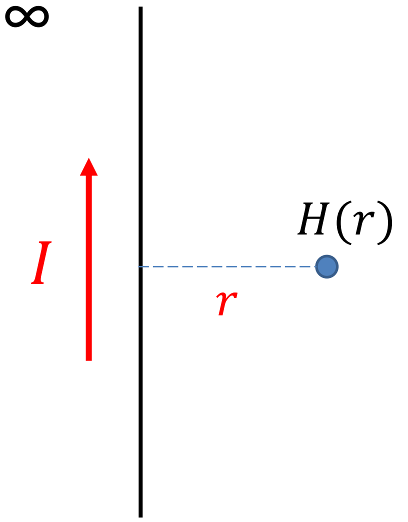
電流と磁界

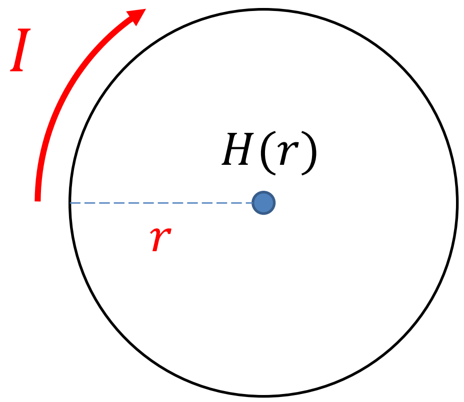
磁界　$H = \dfrac{I}{2\pi r}$　[A/m]　⇨　$I = \left[\text{導体からの位置}r\text{までの距離} \times \text{位置}r\text{の磁界}H(r)\right]$の総和
(総和とは電流が流れている経路全体が対象)

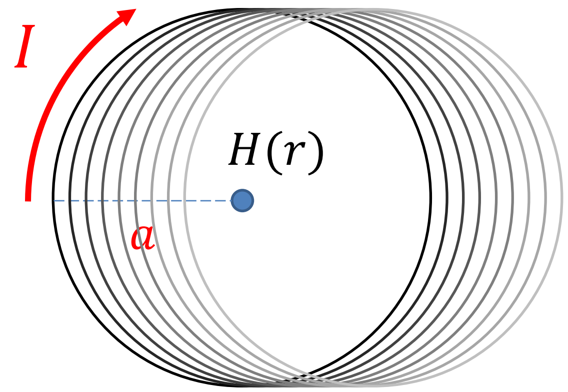
アンペールの法則/ビオサバールの法則

電流の経路と磁界の関係（計算による導出は不要。暗記するべし）

導体長さ ∞



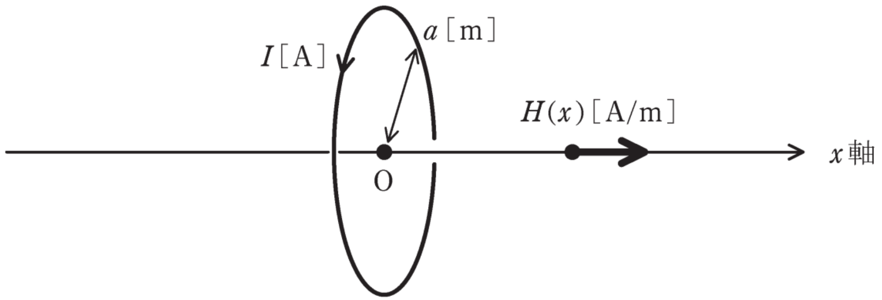




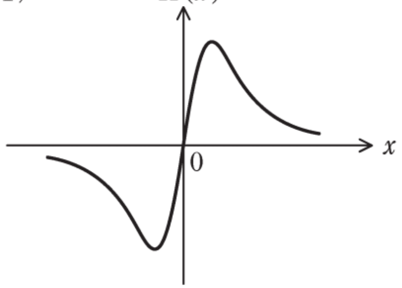
$H = \dfrac{I}{2\pi r}$ $\xrightarrow{\times \pi}$ $H = \dfrac{I}{2r}$ $\xrightarrow{\times N}$ $H = \dfrac{NI}{2r}$

H30 問4

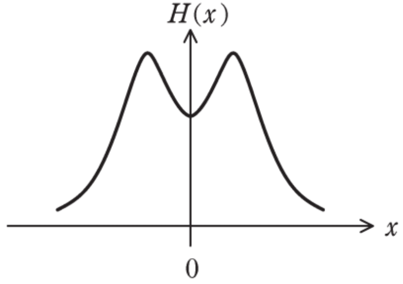
問４　図のように，原点Oを中心としx軸を中心軸とする半径a [m]の円形導体ループに直流電流I[A]を図の向きに流したとき，x軸上の点，つまり，$(x,\ y,\ z)=(x,\ 0,\ 0)$に生じる磁界のx方向成分$H(x)$ [A/m]を表すグラフとして，最も適切なものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



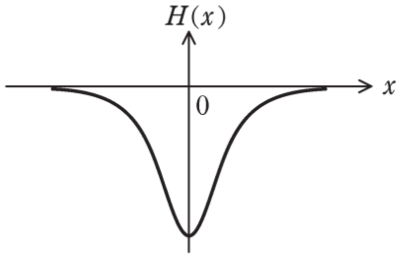
(1)



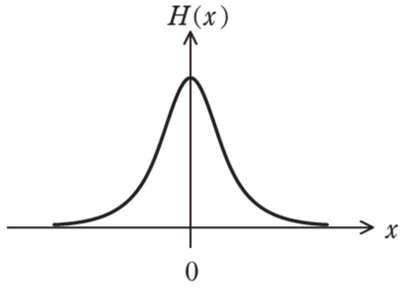
(2)



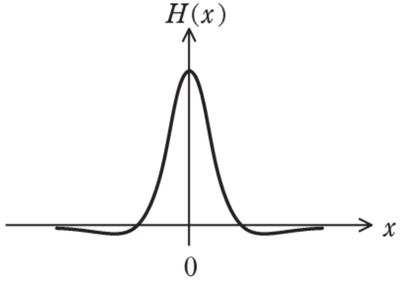
(3)



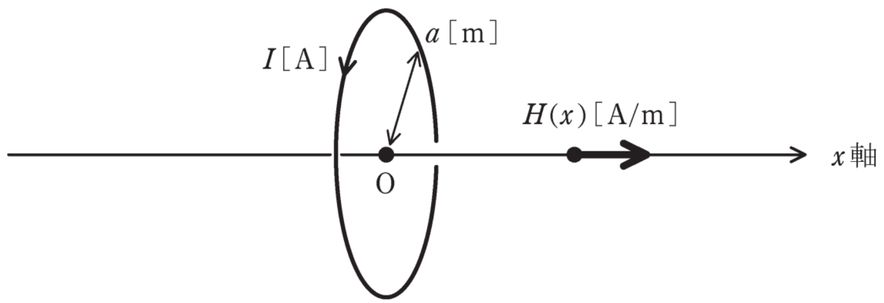
(4)

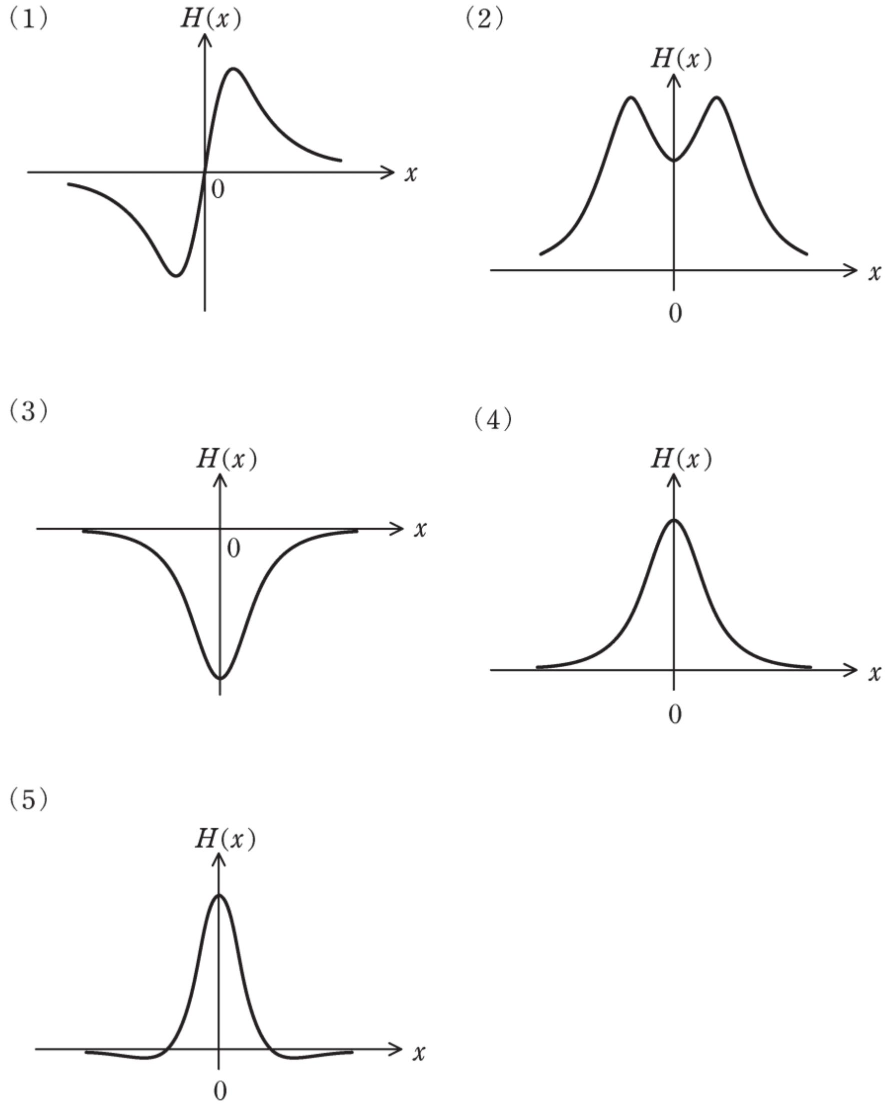


(5)



導出のポイント





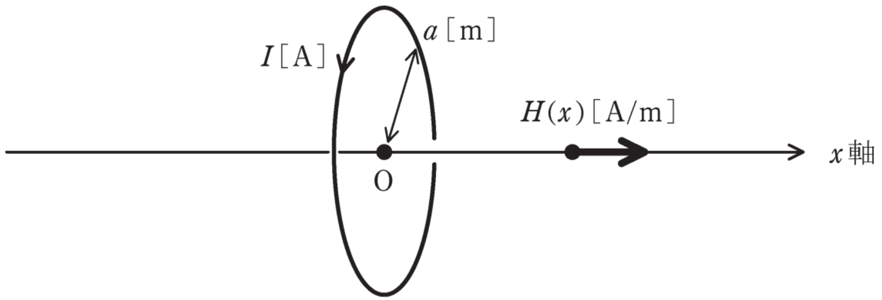
(１) $H(x)$は正か負か？
磁界の向き→右ねじの法則

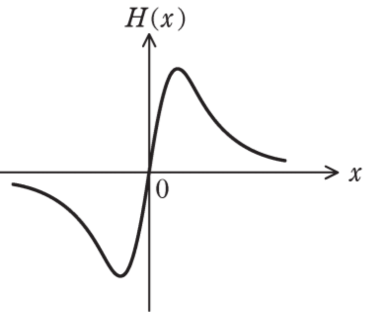
(２) 電流から離れると磁界は、
強くなる？弱くなる？

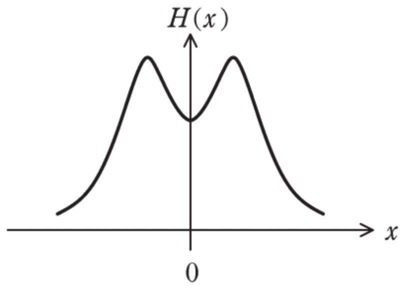
$I=$ [導体からの位置xまでの距離×位置xの磁界$H(x)$]の総和
(総和とは電流が流れている経路全体が対象)

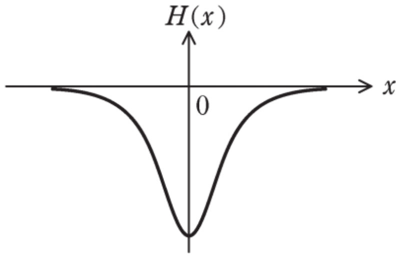
H30 問4

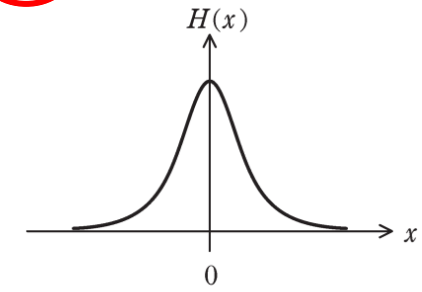
問４　図のように, 原点Oを中心としx軸を中心軸とする半径a [m]の円形導体ループに直流電流I[A]を図の向きに流したとき，x軸上の点，つまり，$(x, y, z)=(x, 0, 0)$に生じる磁界のx方向成分$H(x)$ [A/m]を表すグラフとして，最も適切なものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

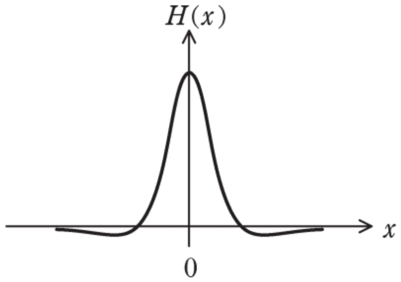


(1)


(2)


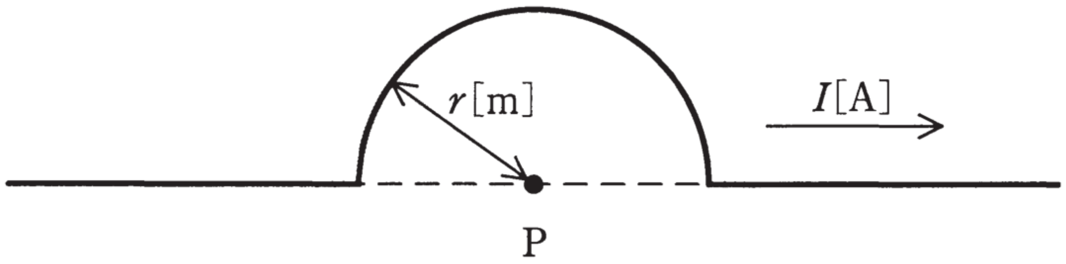
(3)


(4)


(5)


H28 問3

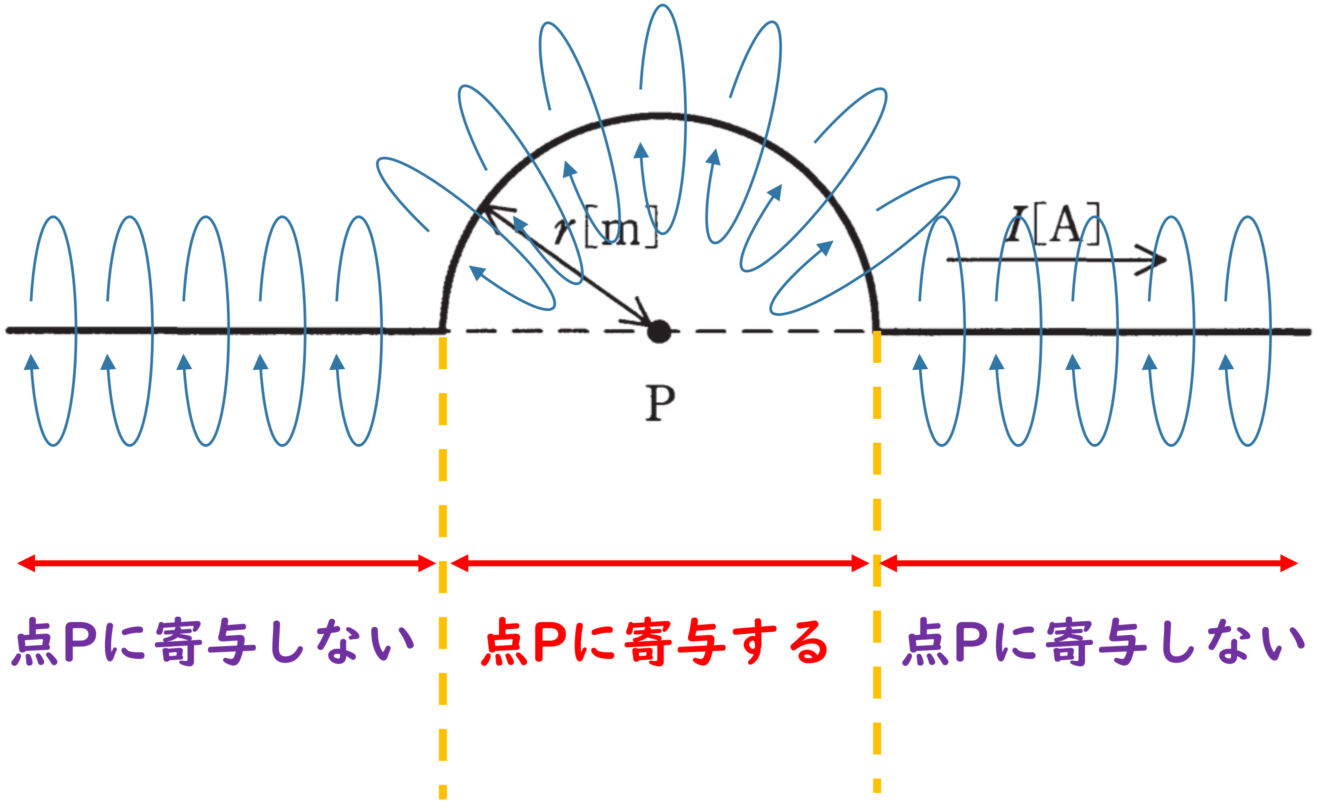
問３　図のように，長い線状導体の一部が点Pを中心とする半径r[m]の半円形になっている。この導体に電流I[A]を流すとき，点Pに生じる磁界の大きさH[A/m]はビオ・サバールの法則より求めることができる。Hを表す式として正しいものを，次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

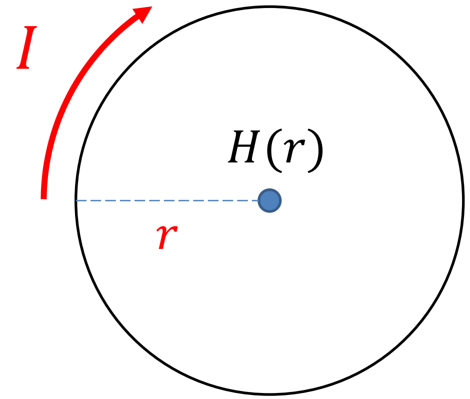


(1) $\dfrac{I}{2\pi r}$　(2) $\dfrac{I}{4r}$　(3) $\dfrac{I}{\pi r}$　(4) $\dfrac{I}{2r}$　(5) $\dfrac{I}{r}$

導出のポイント

→ 各点の電流が作る磁界



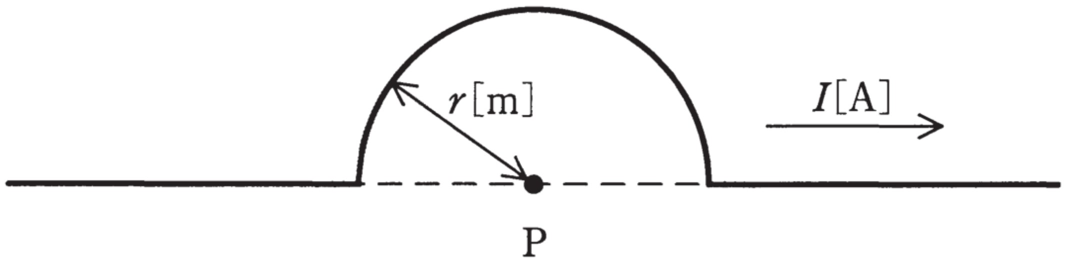


$$H = \frac{I}{2r}$$

(1) $\frac{I}{2\pi r}$　(2) $\frac{I}{4r}$　(3) $\frac{I}{\pi r}$　(4) $\frac{I}{2r}$　(5) $\frac{I}{r}$

H28 問3

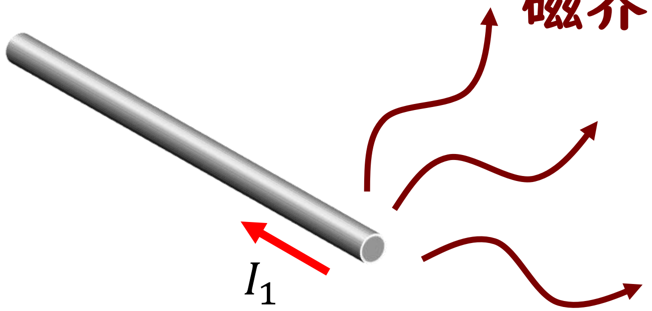
問３　図のように，長い線状導体の一部が点Pを中心とする半径r[m]の半円形になっている。この導体に電流I[A]を流すとき，点Pに生じる磁界の大きさH[A/m]はビオ・サバールの法則より求めることができる。Hを表す式として正しいものを，次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



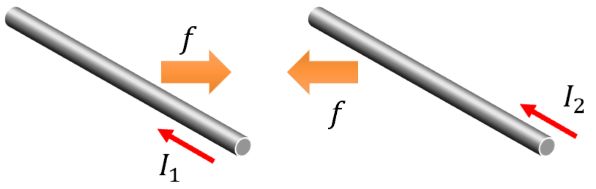
(1) $\dfrac{I}{2\pi r}$　(2) $\dfrac{I}{4r}$　(3) $\dfrac{I}{\pi r}$　(4) $\dfrac{I}{2r}$　(5) $\dfrac{I}{r}$

電流と磁界

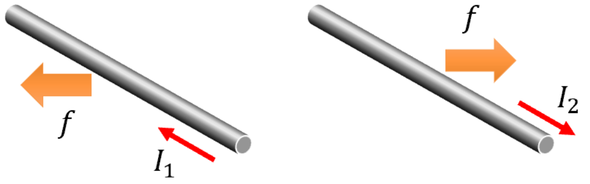
電流が電気の世界と
磁気の世界の橋渡しをする



磁界　$H = \dfrac{I}{2\pi r}$ [A/m]



それぞれの電流が同じの向き→引力



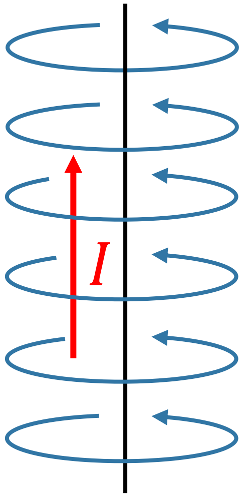
それぞれの電流が反対の向き→斥力

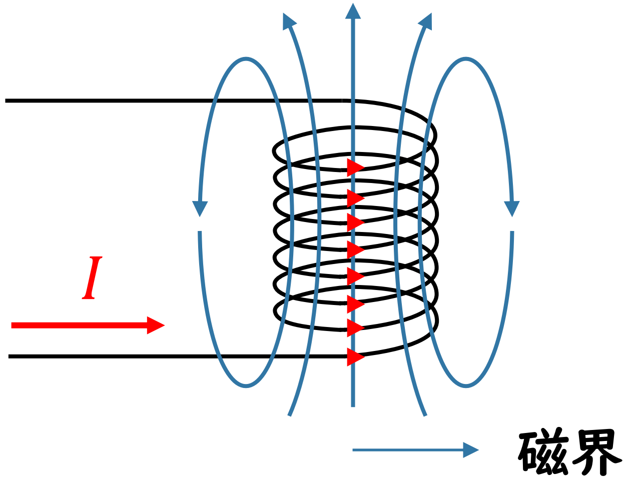
電流間に働く力
（アンペール力）

1mあたりに発生する力f

$$f = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_1 I_2 \text{ [N/m]}$$

磁界は電流のまわりにループを
作るように発生する



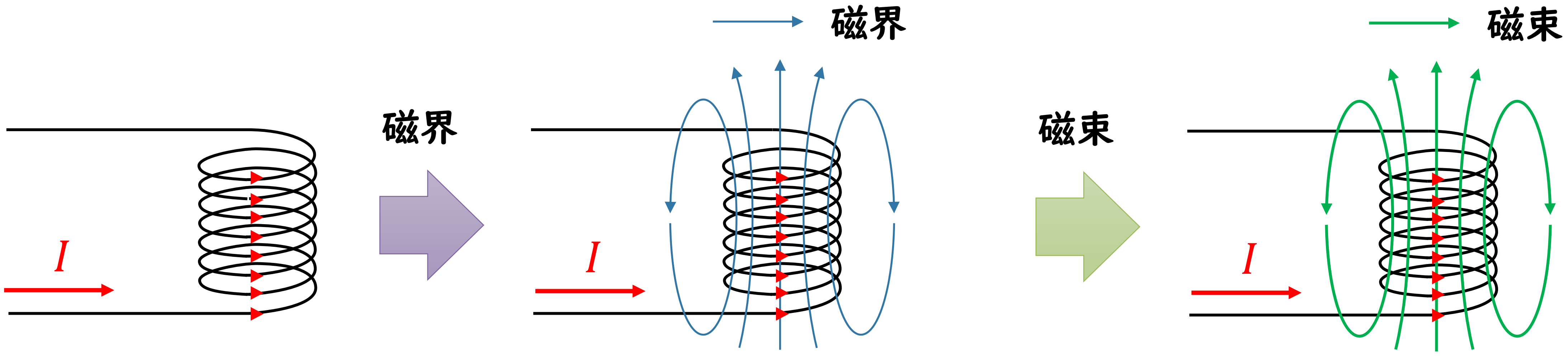


電流によって磁界が生じる

電気世界	⇔	磁気世界
電流	⇔	磁界

磁界から電流を作ることはできるのか？

磁界と磁束密度



磁束は磁界と同じように発生する

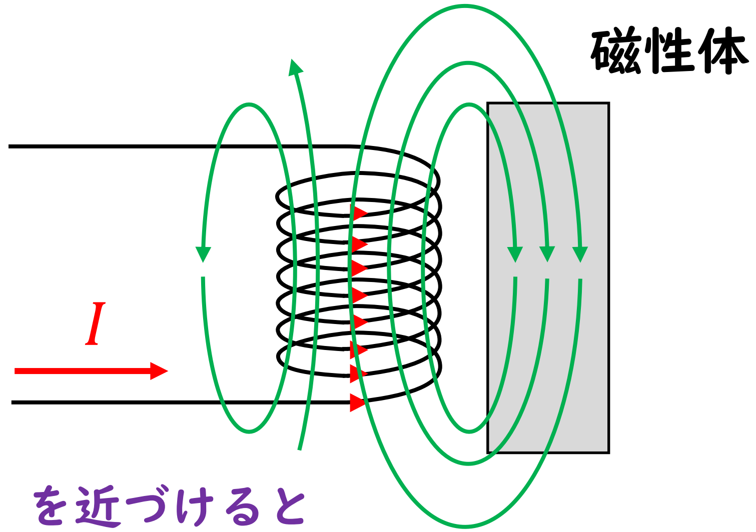
磁束Φ [Wb] ウェーバー

単位面積中の磁束：磁束密度$B = \Phi / S$[T] テスラ

磁界と磁束密度の関係

$$B = \mu H$$

μ：透磁率 [H/m]



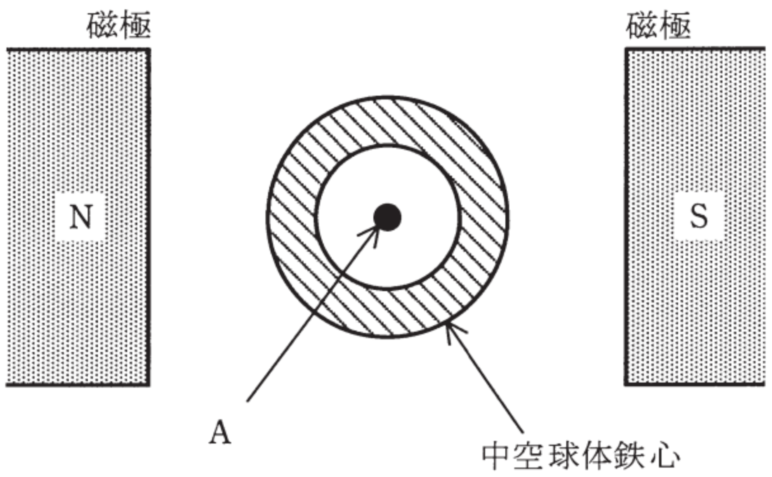
磁性体（透磁率μ）を近づけると
磁束は磁性体に引き寄せられる

H28 問4

問４　図のように，磁極Ｎ，Ｓの間に中空球体鉄心を置くと，ＮからＳに向かう磁束は，
　(ア)　ようになる。このとき，球体鉄心の中空部分(内部の空間)の点Ａでは，磁束密度は極めて　(イ)　なる。これを　(ウ)　という。

ただし，磁極Ｎ，Ｓの間を通る磁束は，中空球体鉄心を置く前と置いた後とで変化しないものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)及び(ウ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)
(1)	鉄心を避けて通る	低　く	磁気誘導
(2)	鉄心中を通る	低　く	磁気遮へい
(3)	鉄心を避けて通る	高　く	磁気遮へい
(4)	鉄心中を通る	低　く	磁気誘導
(5)	鉄心中を通る	高　く	磁気誘導

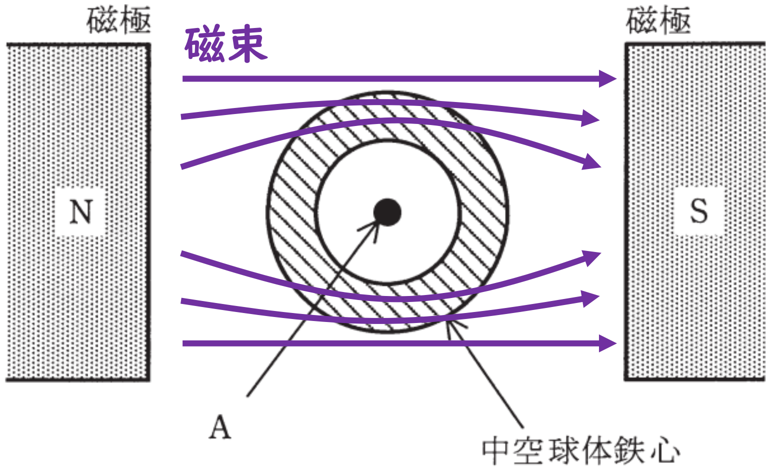
導出のポイント

問４　図のように，磁極Ｎ，Ｓの間に中空球体鉄心を置くと，ＮからＳに向かう磁束は，（ア）ようになる。このとき，球体鉄心の中空部分（内部の空間）の点Ａでは，磁束密度は極めて（イ）なる。これを（ウ）という。

鉄心中を通る　低く　磁気遮へい

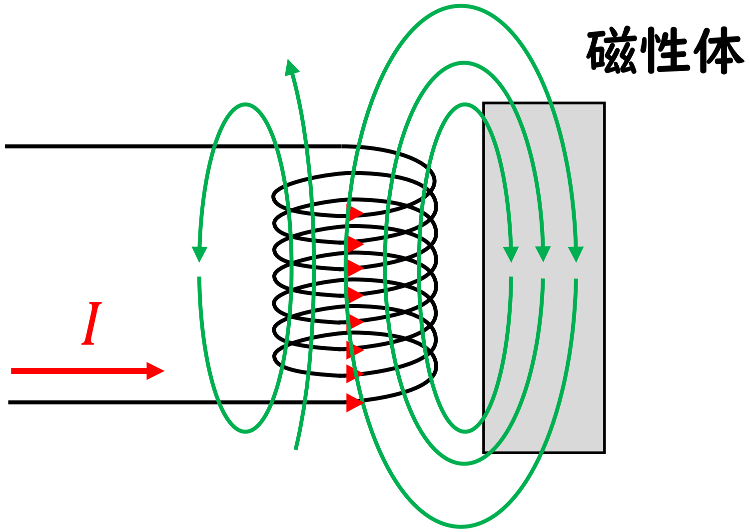
ただし，磁極Ｎ，Ｓの間を通る磁束は，中空球体鉄心を置く前と置いた後とで変化しないものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)及び(ウ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



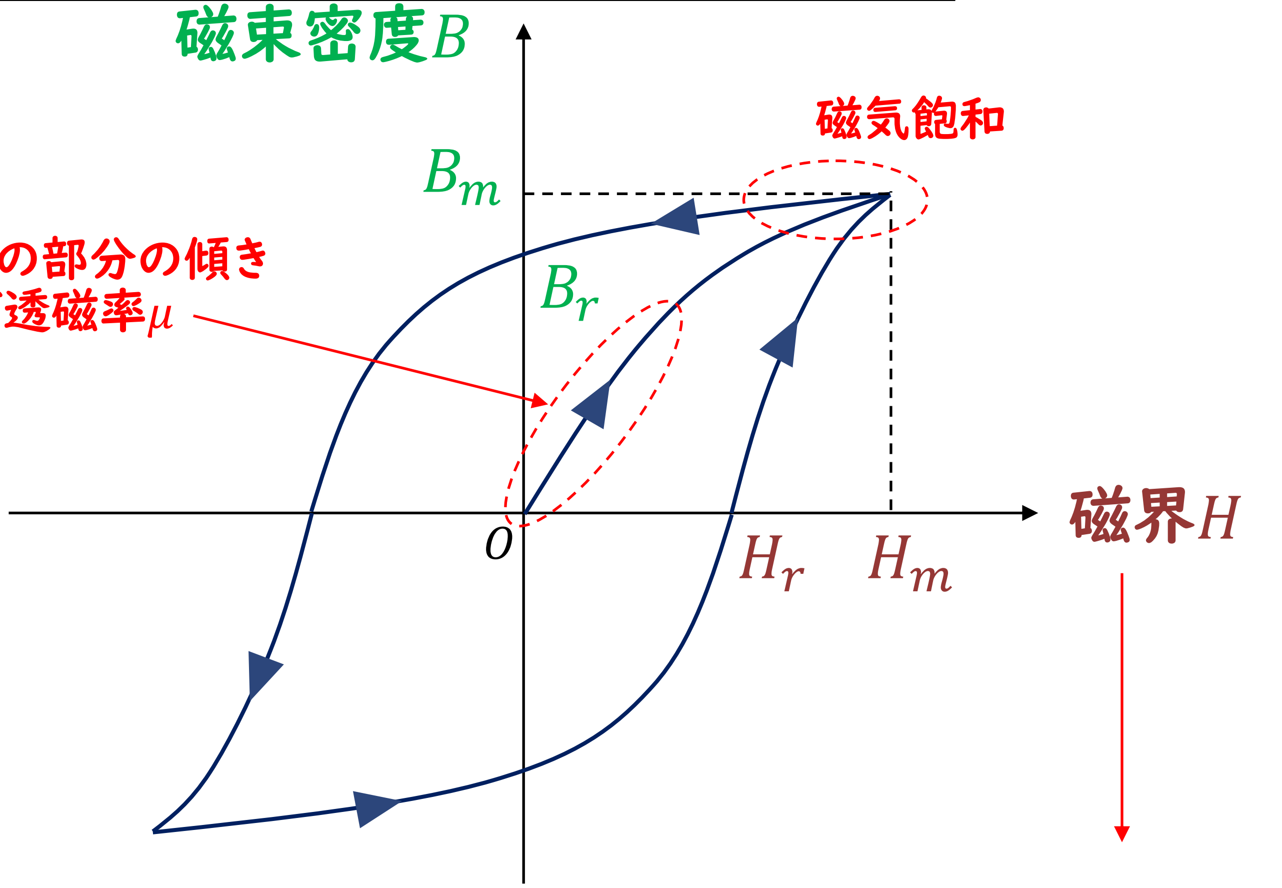
	(ア)	(イ)	(ウ)
(1)	鉄心を避けて通る	低　く	磁気誘導
(2)	鉄心中を通る	低　く	磁気遮へい
(3)	鉄心を避けて通る	高　く	磁気遮へい
(4)	鉄心中を通る	低　く	磁気誘導
(5)	鉄心中を通る	高　く	磁気誘導

磁界と磁束密度



磁性体（透磁率μ）にどれだけ磁束が引き寄せられるかを表した指標

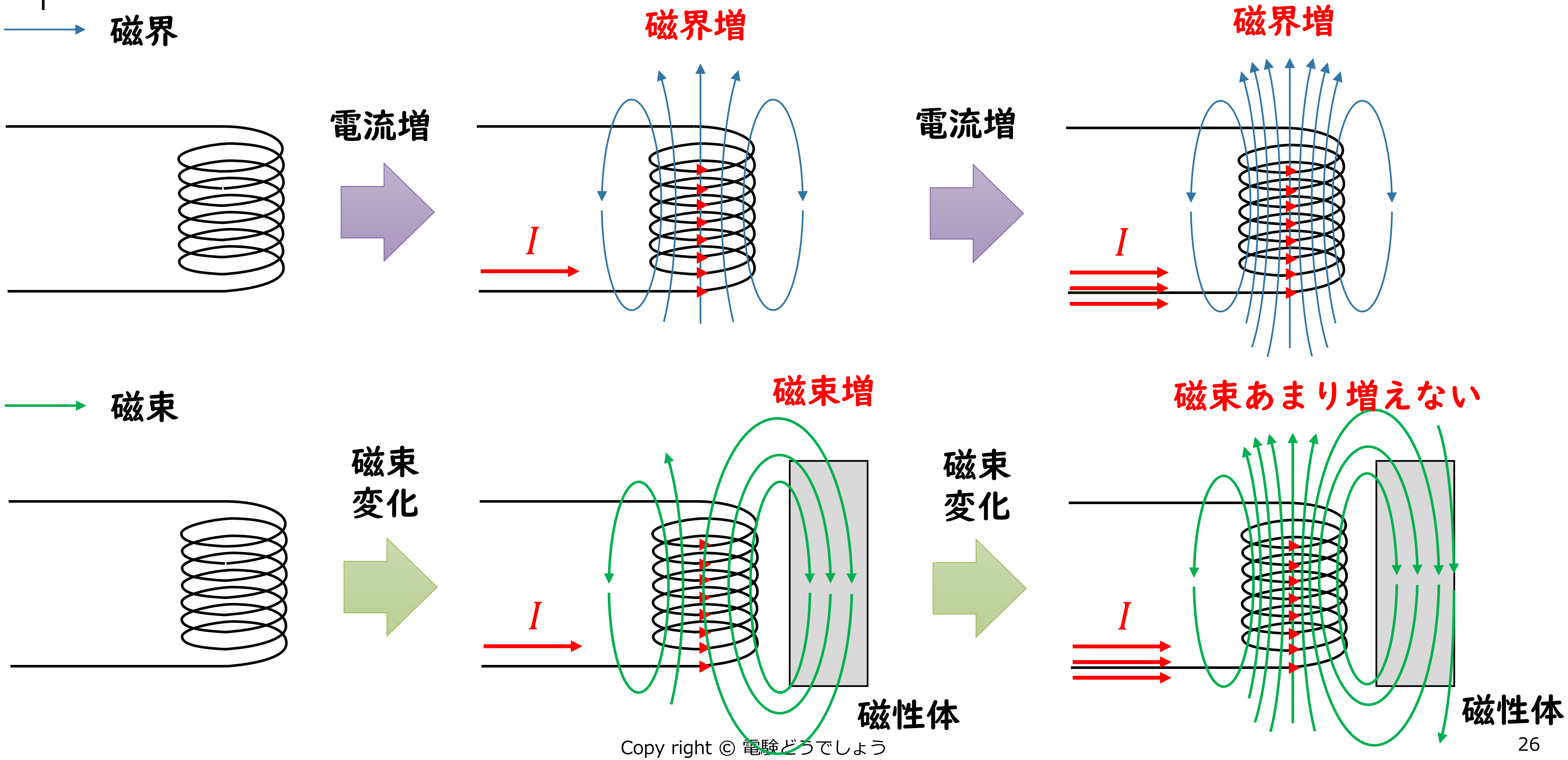
→B-H曲線
（磁気ヒステリシス曲線）



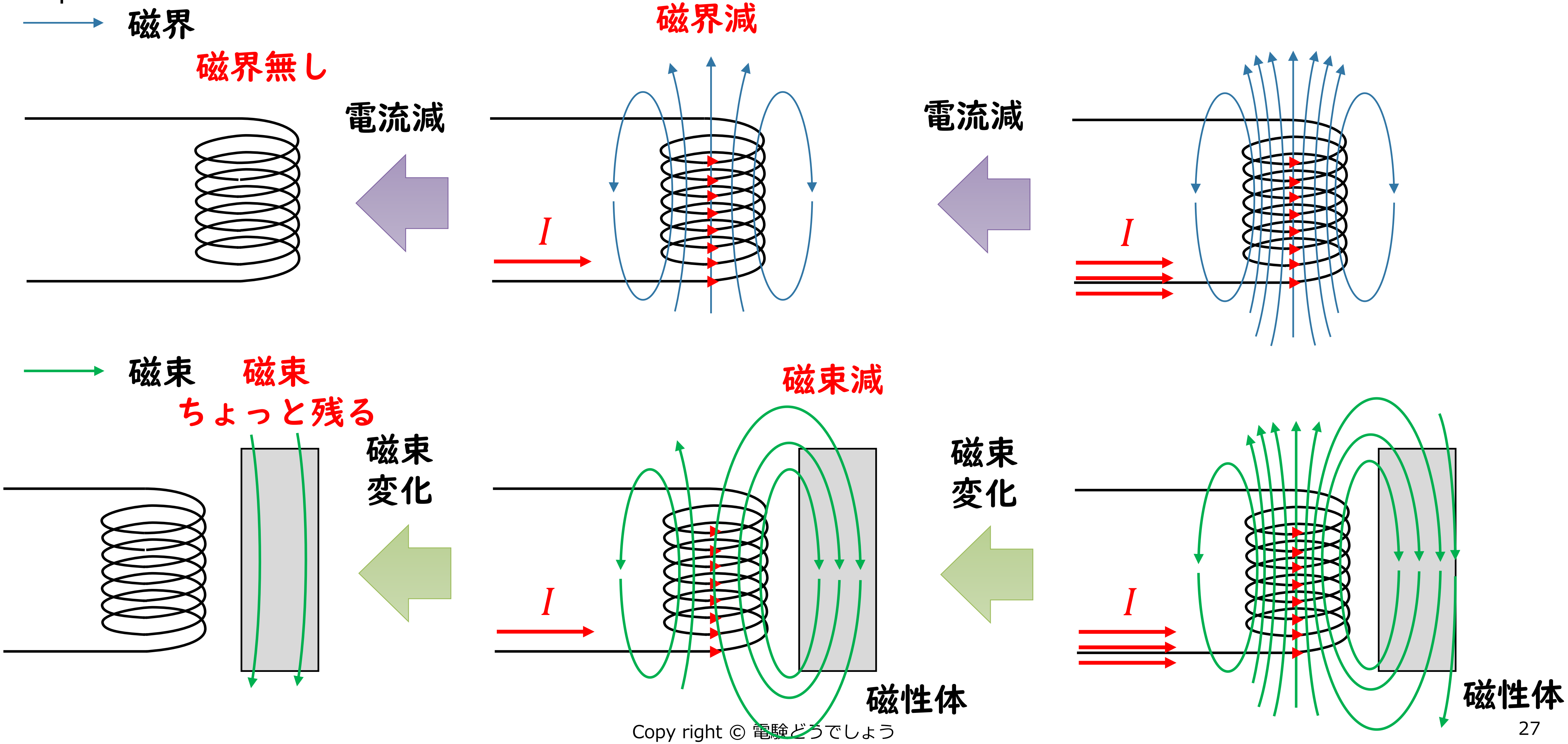
B_m：最大磁束密度　H_m：最大磁化力

B_r：残留磁化　H_r：保磁力

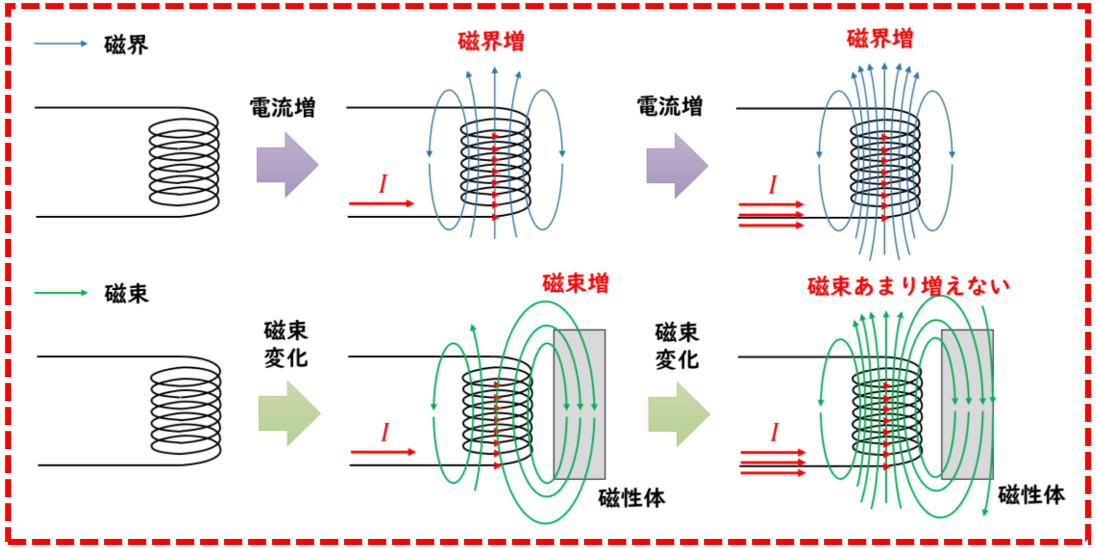
磁界と磁束密度

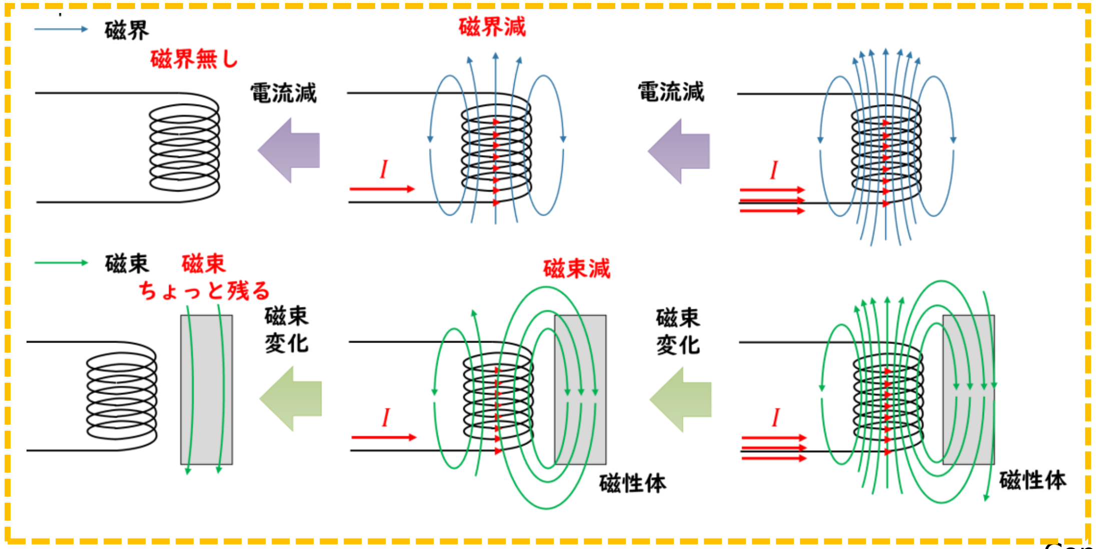


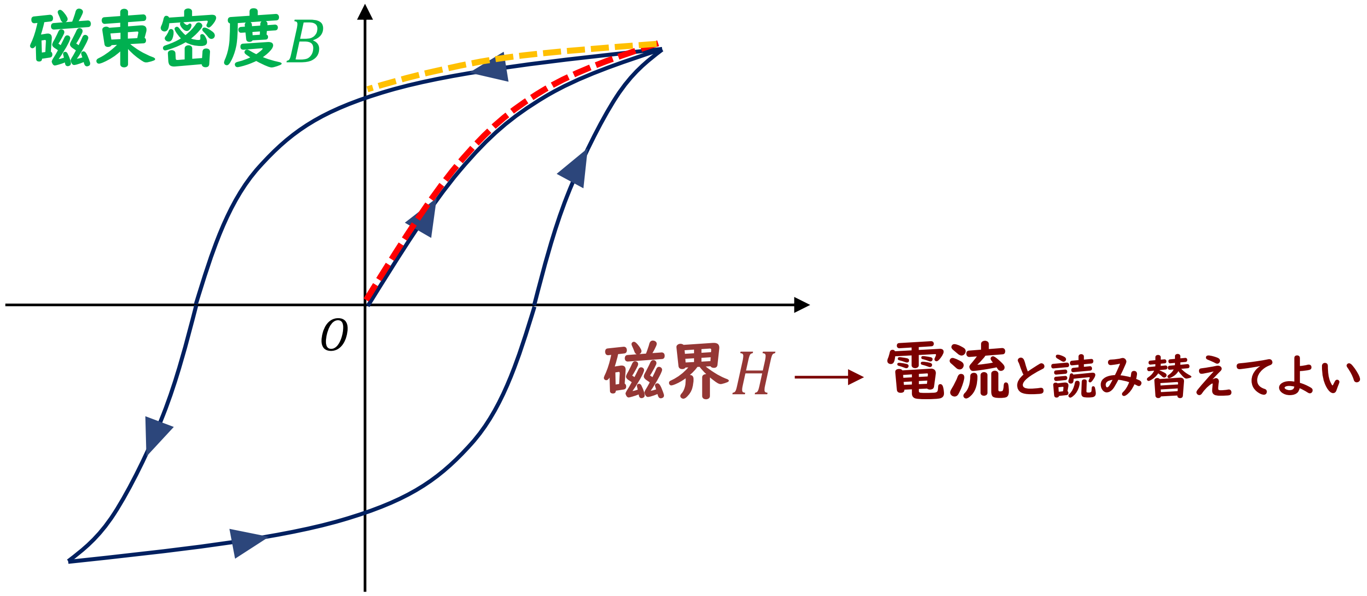
磁界と磁束密度



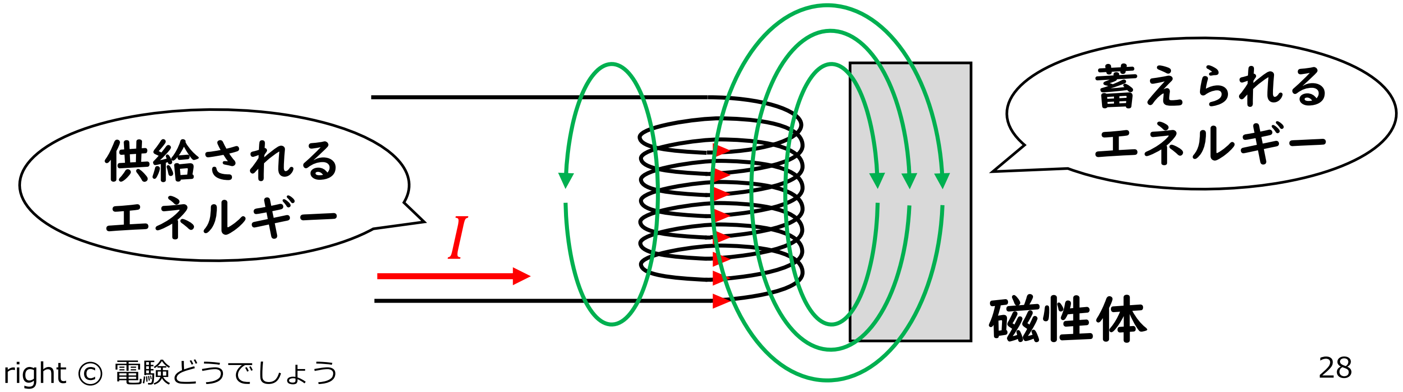
磁気ヒステリシス曲線



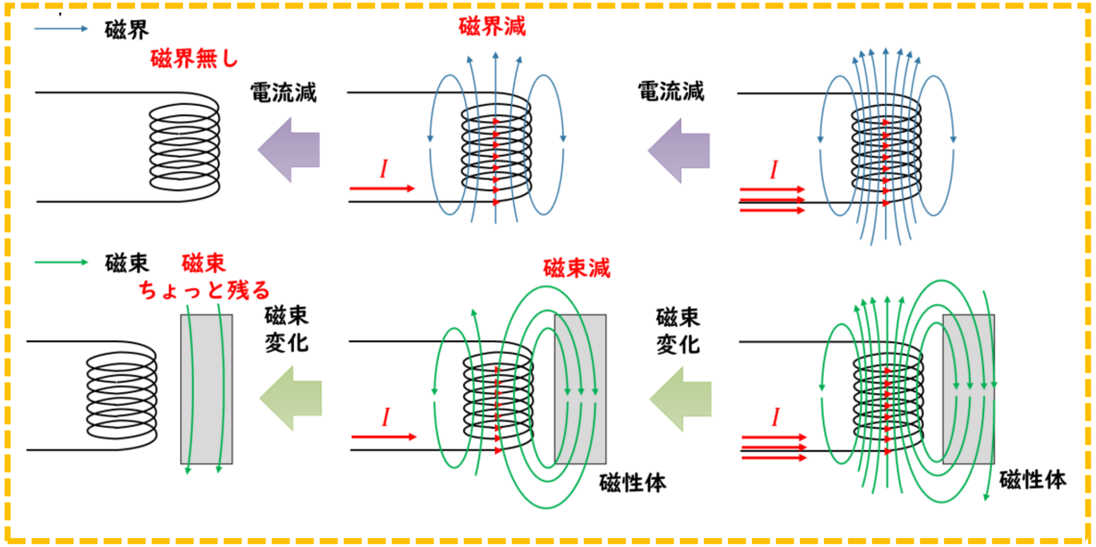


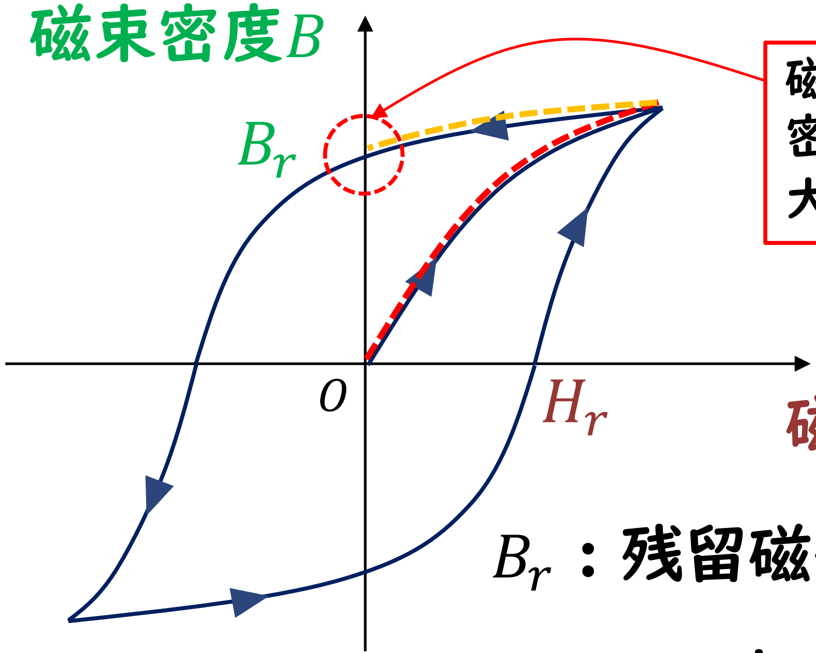


電流、磁界：巻線から供給されるエネルギー
磁束密度： 磁性体で蓄えられるエネルギー



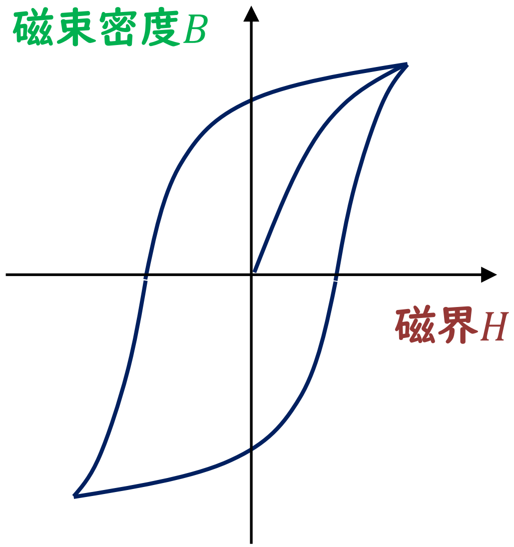
磁石とは





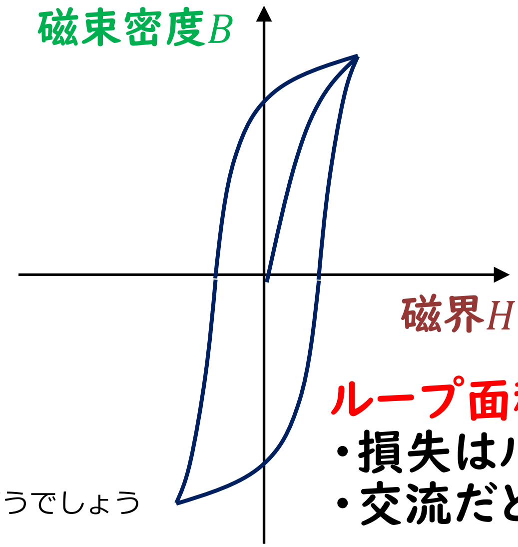
磁界を0にしたときに磁束密度が残る（残留磁化）が大きい磁性体　→磁石

B_r：残留磁化　H_r：保磁力



永久磁石

- 残留磁化は大きいほうがよい
  →磁石としての磁束密度が大きい
- 保磁力は大きいほうがよい
  →外乱（外部の電流や磁界）によって磁石の磁性が変化しにくいため
  →ループの面積が大きくなる



変圧器の鉄心

- 透磁率（変化の割合）が大きい
- 保磁力は小さいほうがいい
  →ループの面積が小さくなるので

ループ面積：ヒステリシス損

- 損失はループの面積に比例
- 交流だと周波数に比例した損失になる

H29 問4

問４　図は，磁性体の磁化曲線(*BH* 曲線)を示す。次の文章は，これに関する記述である。

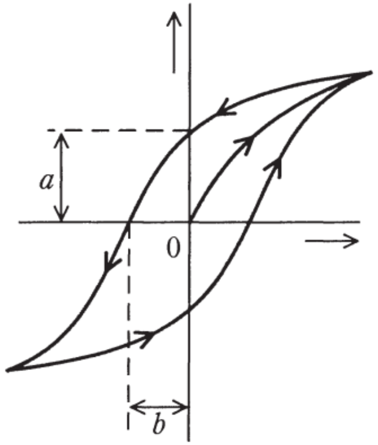
1　直交座標の横軸は，$\boxed{\quad(ア)\quad}$ である。

2　*a* は，$\boxed{\quad(イ)\quad}$ の大きさを表す。

3　鉄心入りコイルに交流電流を流すと，ヒステリシス曲線内の面積に $\boxed{\quad(ウ)\quad}$ した電気エネルギーが鉄心の中で熱として失われる。

4　永久磁石材料としては，ヒステリシス曲線の *a* と *b* がともに $\boxed{\quad(エ)\quad}$ 磁性体が適している。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	磁界の強さ[A/m]	保磁力	反比例	大きい
(2)	磁束密度[T]	保磁力	反比例	小さい
(3)	磁界の強さ[A/m]	残留磁気	反比例	小さい
(4)	磁束密度[T]	保磁力	比例	大きい
(5)	磁界の強さ[A/m]	残留磁気	比例	大きい

導出のポイント

問４　図は，磁性体の磁化曲線（BH 曲線）を示す。次の文章は，これに関する記述である。

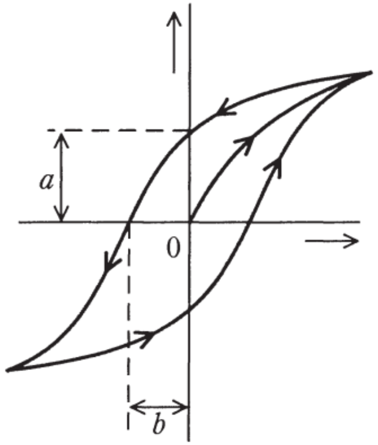
1　直交座標の横軸は，[(ア) 磁界の強さ] である。

2　a は，[(イ) 残留磁気] の大きさを表す。

3　鉄心入りコイルに交流電流を流すと，ヒステリシス曲線内の面積に [(ウ) 比例] した電気エネルギーが鉄心の中で熱として失われる。

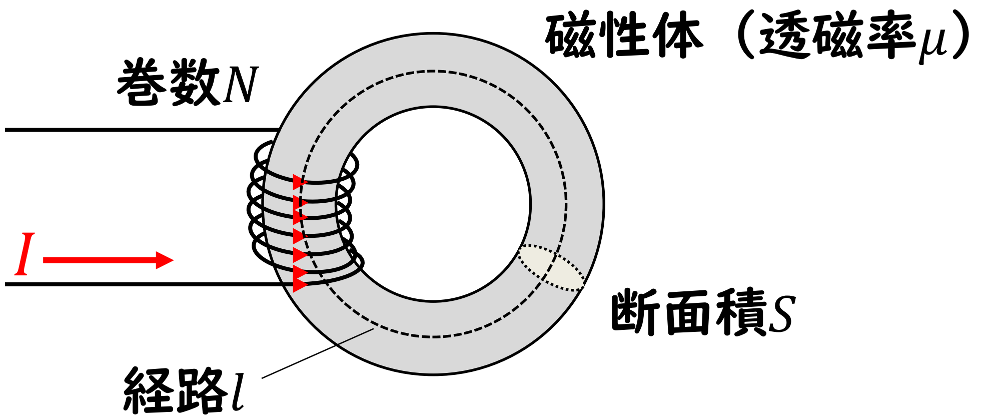
4　永久磁石材料としては，ヒステリシス曲線の a と b がともに [(エ) 大きい] 磁性体が適している。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



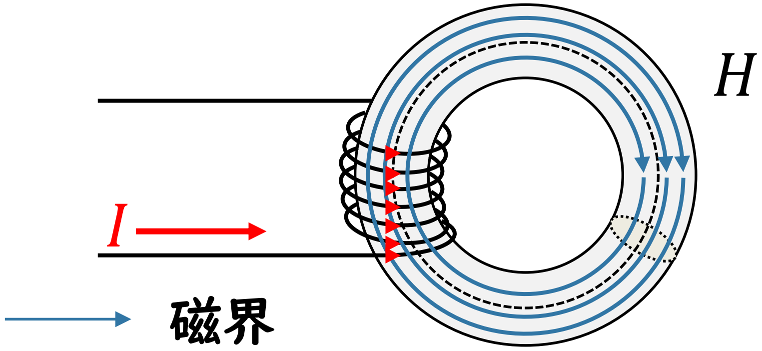
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	磁界の強さ[A/m]	保磁力	反比例	大きい
(2)	磁束密度[T]	保磁力	反比例	小さい
(3)	磁界の強さ[A/m]	残留磁気	反比例	小さい
(4)	磁束密度[T]	保磁力	比例	大きい
(5)	磁界の強さ[A/m]	残留磁気	比例	大きい

磁気回路



環状ソレノイド
鉄心（磁性体）が円環状になっていて、
その鉄心にコイル（電流が流れる導線）
が巻き付けてあるもの

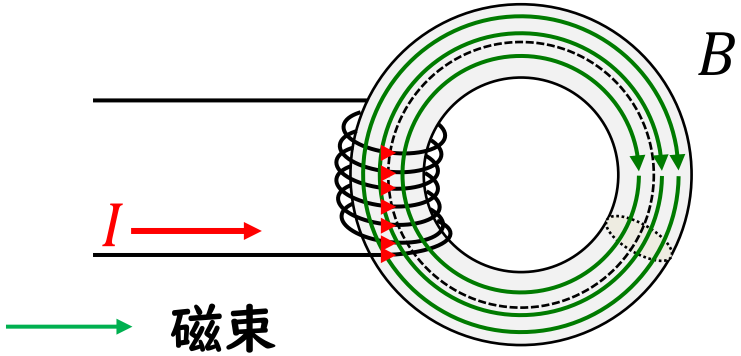
磁界　→　割と、鉄心の中を通る
磁束　→　ほとんど、鉄心の中を通る



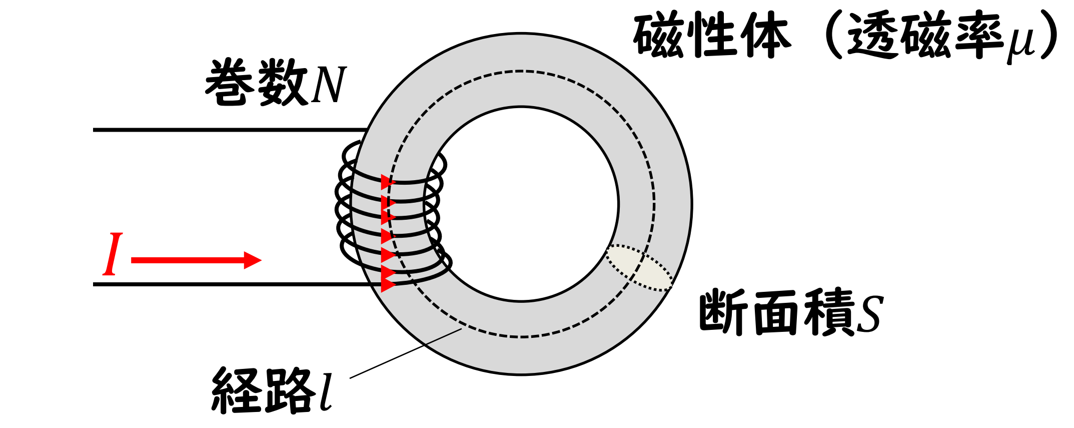
磁界Hを求める

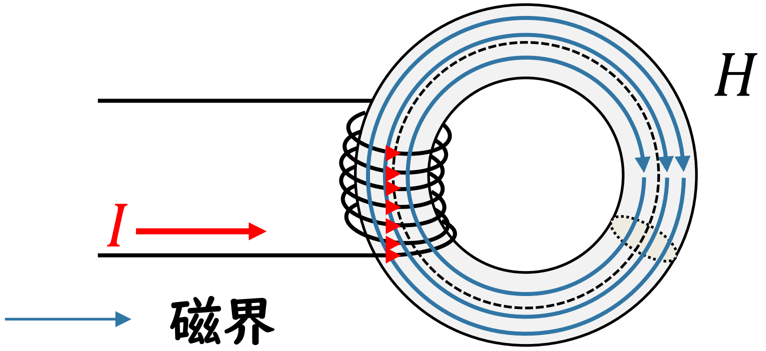
アンペールの法則
（ある経路を貫く電流）＝（ある経路の磁界の総和）

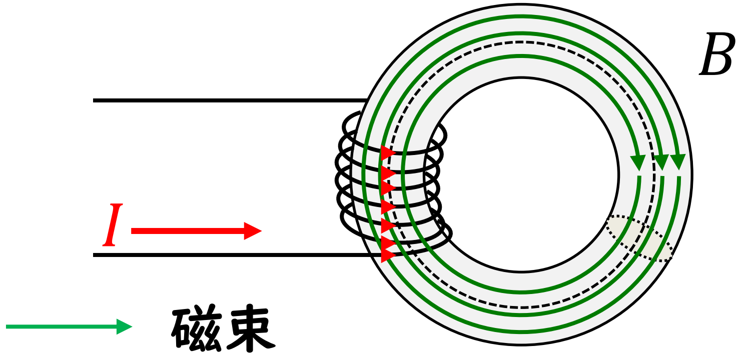
$$NI = Hl$$



磁気回路







磁界Hを求める　　$NI = Hl$

電流Iと磁束Φの関係を求める

磁束密度　$B = \mu H = \mu \dfrac{NI}{l}$

磁束　$\Phi = BS = \mu HS = \mu S \dfrac{NI}{l} = \dfrac{\mu S}{l} NI$

$\rightarrow NI = \dfrac{l}{\mu S}\Phi = R_m \Phi$

R_m：磁気抵抗

電気回路		磁気回路
起電力V	→	起磁力$\mathcal{F} = NI$
電流I	→	磁束Φ
抵抗R	→	磁気抵抗R_m

$NI = R_m \Phi$

$\updownarrow$

$V = RI$

$R = \dfrac{\rho l}{S} = \dfrac{l}{\sigma S}$

ρ：抵抗率

σ：導電率

H26 問3

問３　環状鉄心に絶縁電線を巻いて作った磁気回路に関する記述として，誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1) 磁気抵抗は，磁束の通りにくさを表している。毎ヘンリー［H^{-1}］は，磁気抵抗の単位である。

(2) 電気抵抗が導体断面積に反比例するように，磁気抵抗は，鉄心断面積に反比例する。

(3) 鉄心の透磁率が大きいほど，磁気抵抗は小さくなる。

(4) 起磁力が同じ場合，鉄心の磁気抵抗が大きいほど，鉄心を通る磁束は小さくなる。

(5) 磁気回路における起磁力と磁気抵抗は，電気回路におけるオームの法則の電流と電気抵抗にそれぞれ対応する。

導出のポイント

問３　環状鉄心に絶縁電線を巻いて作った磁気回路に関する記述として，誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1) 磁気抵抗は，磁束の通りにくさを表している。毎ヘンリー［H^{-1}］は，磁気抵抗の単位である。

(2) 電気抵抗が導体断面積に反比例するように，磁気抵抗は，鉄心断面積に反比例する。

(3) 鉄心の透磁率が大きいほど，磁気抵抗は小さくなる。

(4) 起磁力が同じ場合，鉄心の磁気抵抗が大きいほど，鉄心を通る磁束は小さくなる。

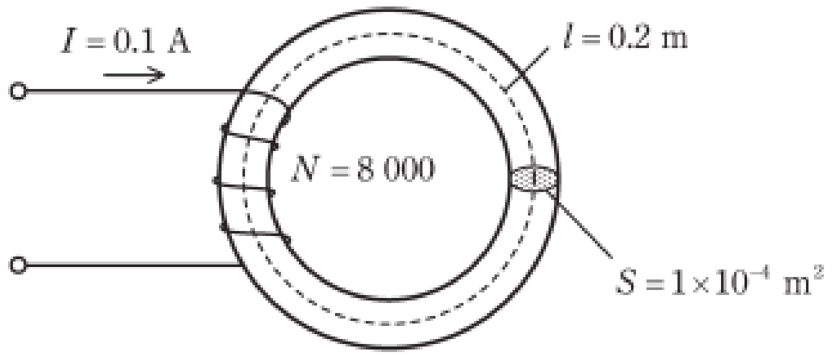
(5) 磁気回路における起磁力と磁気抵抗は，電気回路におけるオームの法則の電流と電気抵抗にそれぞれ対応する。

電圧（起電力）

R01　問4

問４　図のように，磁路の長さ $l=0.2$ m，断面積 $S=1\times10^{-4}$ m^2 の環状鉄心に巻数 $N=8\,000$ の銅線を巻いたコイルがある。このコイルに直流電流 $I=0.1$ A を流したとき，鉄心中の磁束密度は $B=1.28$ T であった。このときの鉄心の透磁率 μ の値[H/m]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，コイルによって作られる磁束は，鉄心中を一様に通り，鉄心の外部に漏れないものとする。

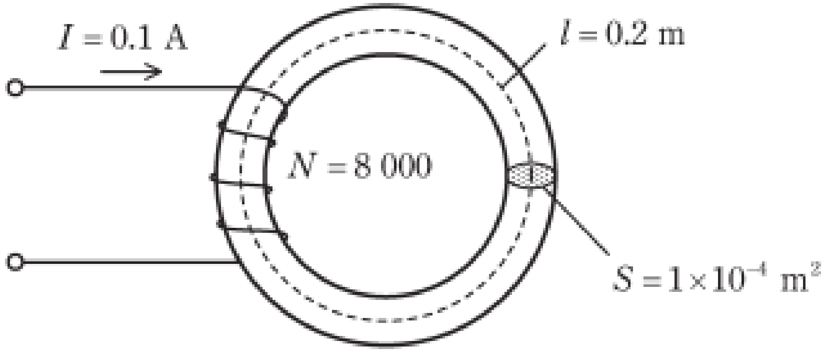


(1) 1.6×10^{-4}　(2) 2.0×10^{-4}　(3) 2.4×10^{-4}　(4) 2.8×10^{-4}　(5) 3.2×10^{-4}

導出のポイント

問４　図のように，磁路の長さ $l=0.2$ m，断面積 $S=1\times10^{-4}$ m^2 の環状鉄心に巻数 $N=8\,000$ の銅線を巻いたコイルがある。このコイルに直流電流 $I=0.1$ A を流したとき，鉄心中の磁束密度は $B=1.28$ T であった。このときの鉄心の透磁率 μ の値[H/m]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，コイルによって作られる磁束は，鉄心中を一様に通り，鉄心の外部に漏れないものとする。



$$NI=\frac{l}{\mu S}\Phi=R_m\Phi$$

$$\mu=\frac{l\Phi}{SNI}=\frac{lB}{NI}=\frac{0.2\times1.28}{8000\times0.1}=3.2\times10^{-4}\ \mathrm{H/m}$$

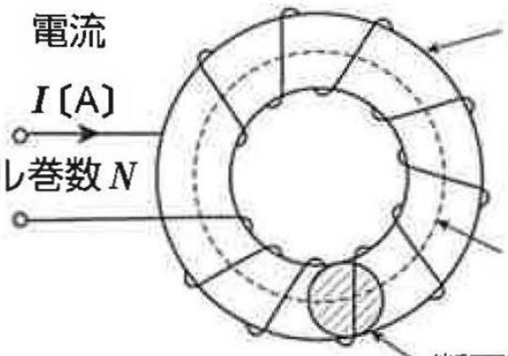
(1) 1.6×10^{-4}　(2) 2.0×10^{-4}　(3) 2.4×10^{-4}　(4) 2.8×10^{-4}　(5) 3.2×10^{-4}

H20 問3

図のように，磁路の平均の長さ l〔m〕，断面積 S〔m²〕で透磁率 μ〔H/m〕の環状鉄心に巻数 N のコイルが巻かれている．この場合，環状鉄心の磁気抵抗は $\dfrac{l}{\mu S}$〔A/Wb〕である．いま，コイルに流れている電流を I〔A〕としたとき，起磁力は ⒜ 〔A〕であり，したがって，磁束は ⒤ 〔Wb〕となる．

ただし，鉄心及びコイルの漏れ磁束はないものとする．

上記の記述中の空白箇所⒜及び⒤に当てはまる式として，正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか．



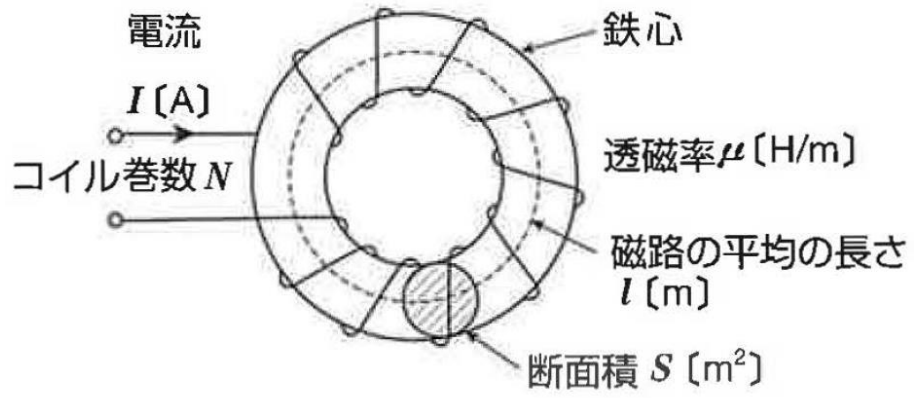
	⒜	⒤
(1)	I	$\dfrac{l}{\mu S}I$
(2)	I	$\dfrac{\mu S}{l}I$
(3)	NI	$\dfrac{lN}{\mu S}I$
(4)	NI	$\dfrac{\mu SN}{l}I$
(5)	N^2I	$\dfrac{\mu SN^2}{l}I$

H20 問3

図のように，磁路の平均の長さ l〔m〕，断面積 S〔m²〕で透磁率 μ〔H/m〕の環状鉄心に巻数 N のコイルが巻かれている．この場合，環状鉄心の磁気抵抗は $\dfrac{l}{\mu S}$〔A/Wb〕である．いま，コイルに流れている電流を I〔A〕としたとき，起磁力は $\boxed{（ア）}$〔A〕であり，したがって，磁束は $\boxed{（イ）}$〔Wb〕となる．

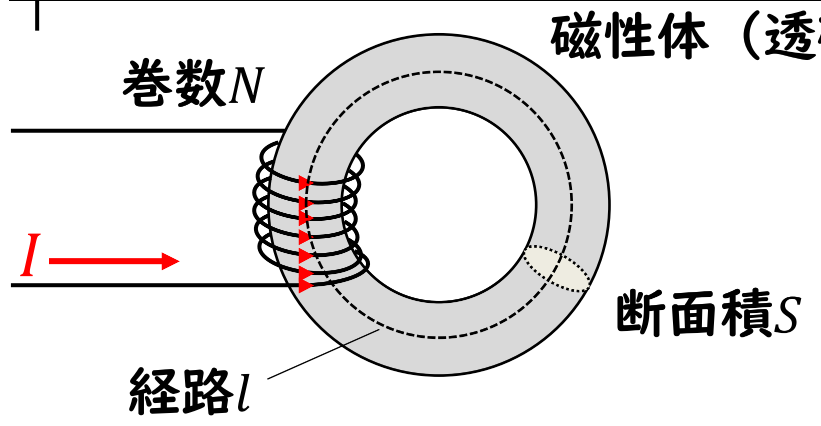
ただし，鉄心及びコイルの漏れ磁束はないものとする．

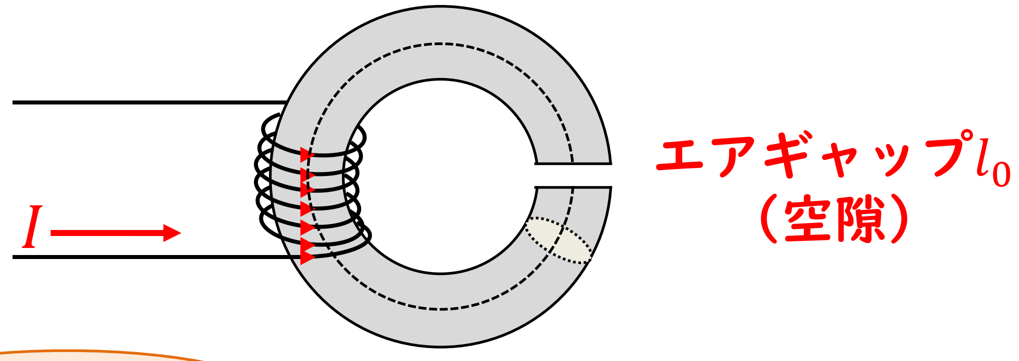
上記の記述中の空白箇所(ア)及び(イ)に当てはまる式として，正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか．

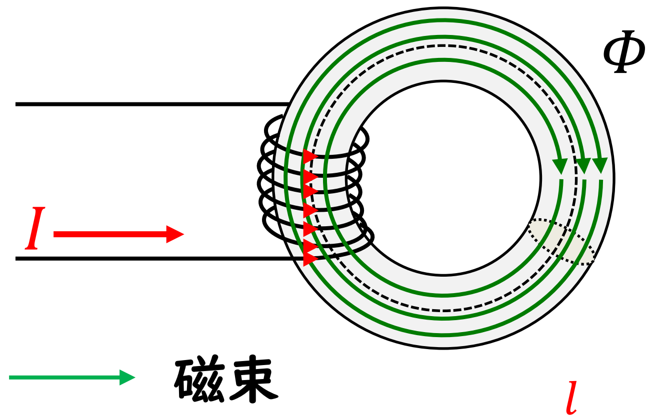


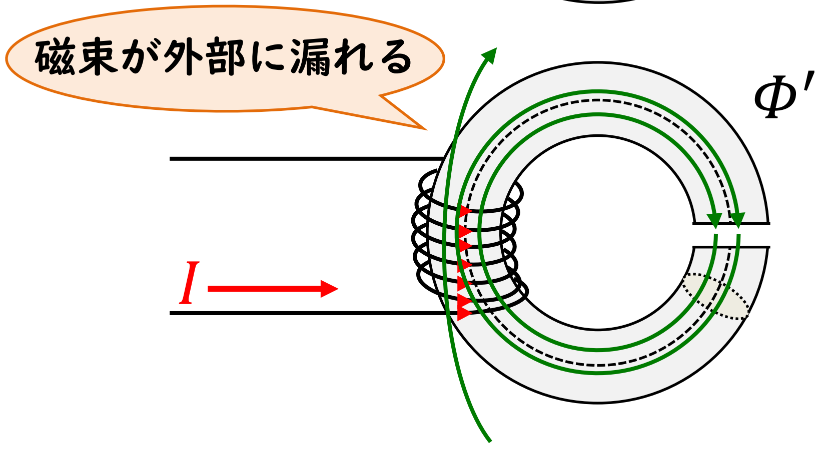
	(ア)	(イ)
(1)	I	$\dfrac{l}{\mu S}I$
(2)	I	$\dfrac{\mu S}{l}I$
(3)	NI	$\dfrac{lN}{\mu S}I$
(4)	NI	$\dfrac{\mu SN}{l}I$
(5)	N^2I	$\dfrac{\mu SN^2}{l}I$

磁気回路とエアギャップ



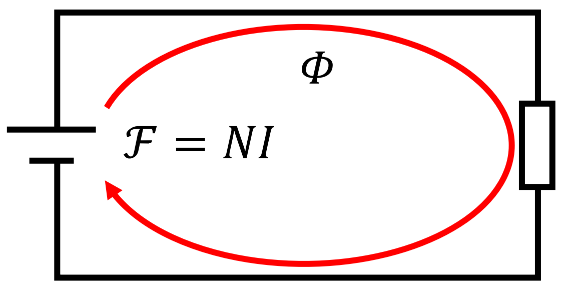






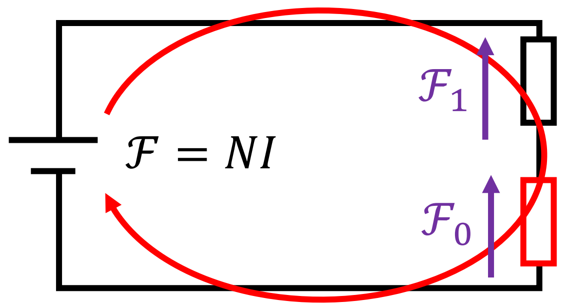
$$NI = \frac{l}{\mu S}\Phi = R_m\Phi$$

$$\begin{aligned} NI &= \mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_0 \\ &= R_{m1}\Phi' + R_{m0}\Phi' \\ &= \left(\frac{l-l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S}\right)\Phi' \end{aligned}$$



$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

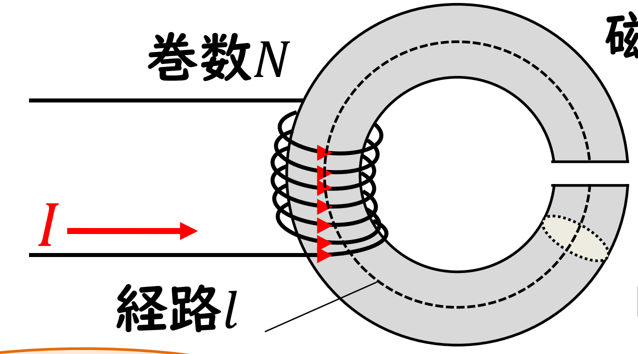
電気回路		磁気回路
電圧V	→	電流I
電流I	→	磁束Φ
抵抗R	→	磁気抵抗R_m

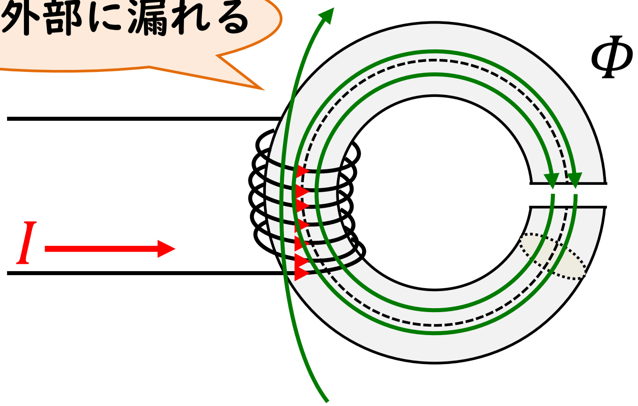


$$R_{m1} = \frac{l-l_0}{\mu S}$$

$$R_{m0} = \frac{l_0}{\mu_0 S}$$

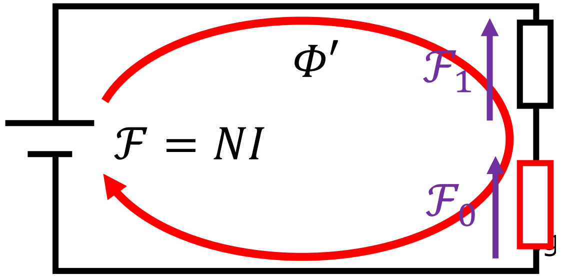
磁気回路とエアギャップ





$$NI = \mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_0$$
$$= (R_{m1} + R_{m0})\Phi'$$
$$= \left(\frac{l - l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S}\right)\Phi'$$

電気回路		磁気回路
電圧V	→	電流I
電流I	→	磁束Φ
抵抗R	→	磁気抵抗R_m



$$R_m = \frac{l - l_0}{\mu S}$$
$$R_{m0} = \frac{l_0}{\mu_0 S}$$

R_mとR_{m0}の大きさを比べてみる

エアギャップを経路の1/100としておく

$$l_0 = \frac{1}{100} l$$

磁性体が鉄の場合、透磁率μは真空の透磁率μ_0の5000～20000倍

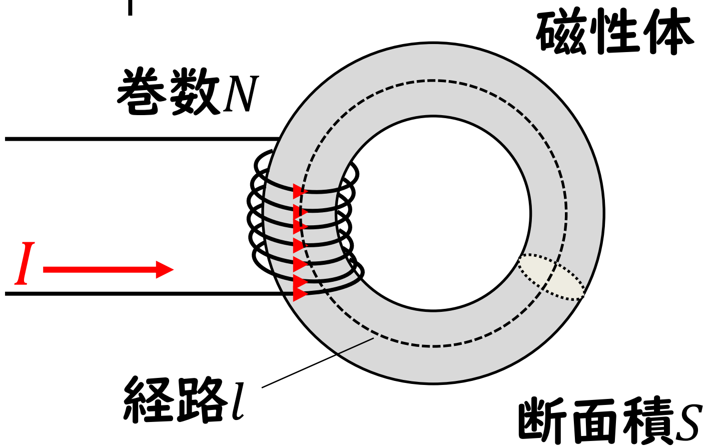
$$R_{m0} = \frac{\frac{1}{100} l}{\frac{1}{5000}\mu S} \sim 50 R_m$$

⇒ エアギャップは磁気抵抗が大きい

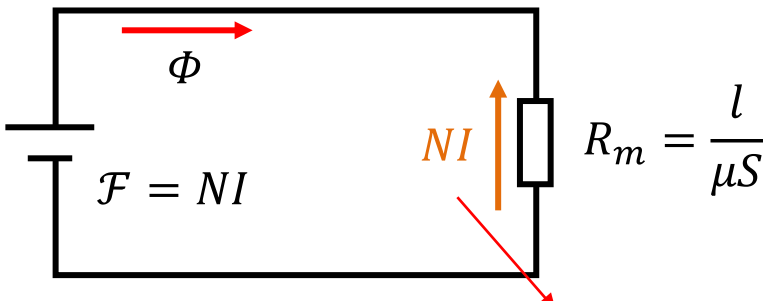
⇓

エアギャップの幅を調整することで鉄心内部の磁束を調整できる

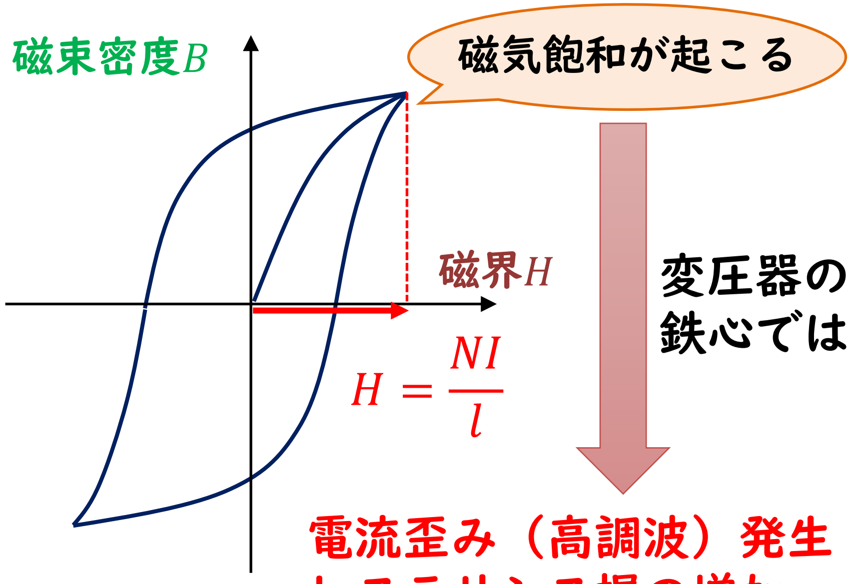
磁気回路とエアギャップ



$$NI = \frac{l}{\mu S}\Phi = R_m \Phi$$



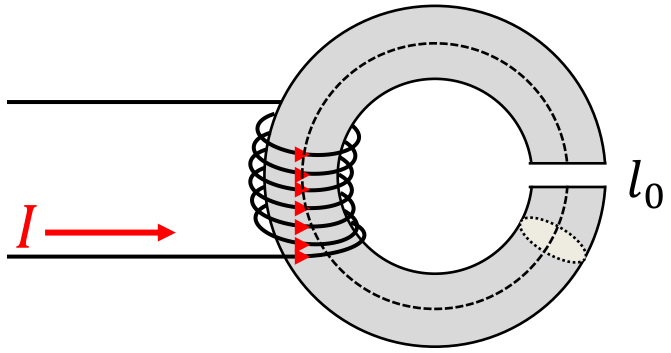
$$H = \frac{NI}{l}$$

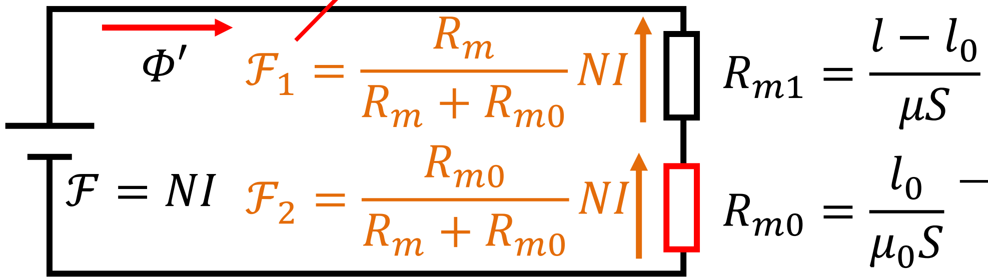


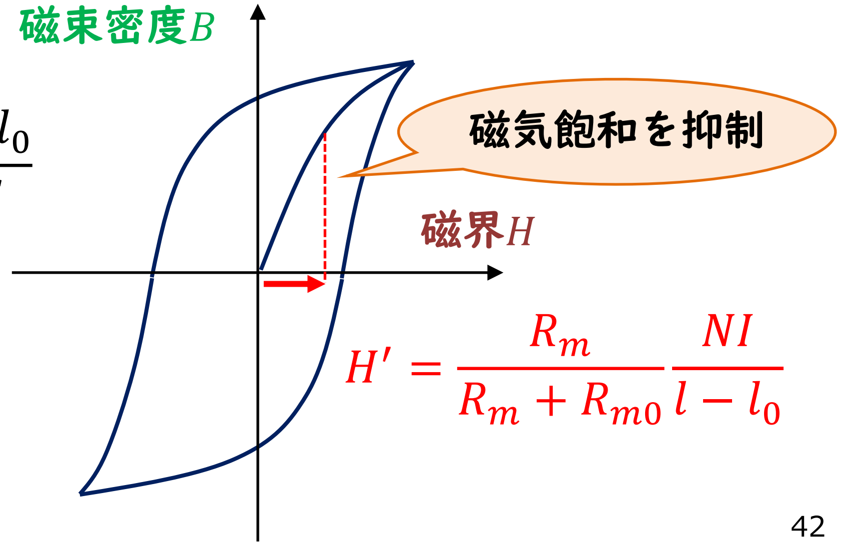
変圧器の鉄心では

電流歪み（高調波）発生
ヒステリシス損の増加

$$H' = \frac{R_m}{R_m + R_{m0}} \frac{NI}{l - l_0}$$







$$NI = \mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_0 = (R_{m1} + R_{m0})\Phi' = \left(\frac{l - l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S}\right)\Phi'$$

H29 問17

問 17　巻数Nのコイルを巻いた鉄心 1 と，空隙（エアギャップ）を隔てて置かれた鉄心 2 からなる図 1 のような磁気回路がある。この二つの鉄心の比透磁率はそれぞれ$\mu_{r1}=2\,000$，$\mu_{r2}=1\,000$であり，それらの磁路の平均の長さはそれぞれ$l_1=200$ mm，$l_2=98$ mm，空隙長は$\delta=1$ mm である。ただし，鉄心 1 及び鉄心 2 のいずれの断面も同じ形状とし，磁束は断面内で一様で，漏れ磁束や空隙における磁束の広がりはないものとする。このとき，次の (a) 及び (b) の問に答えよ。

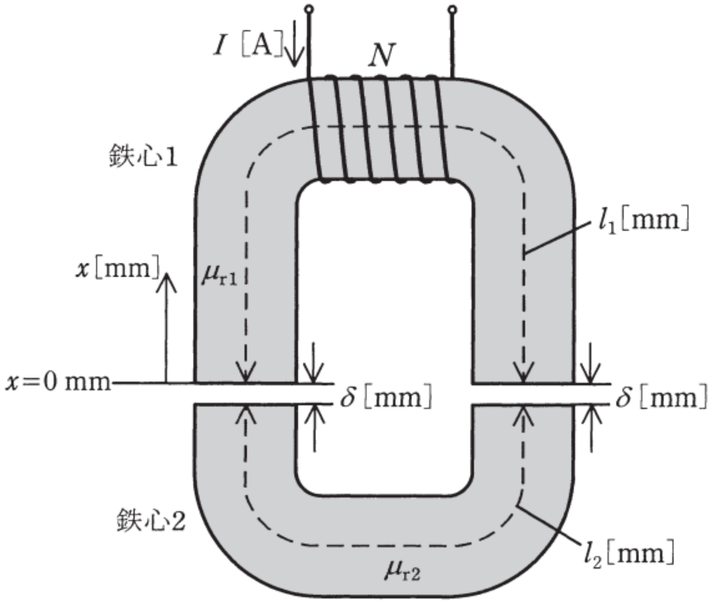
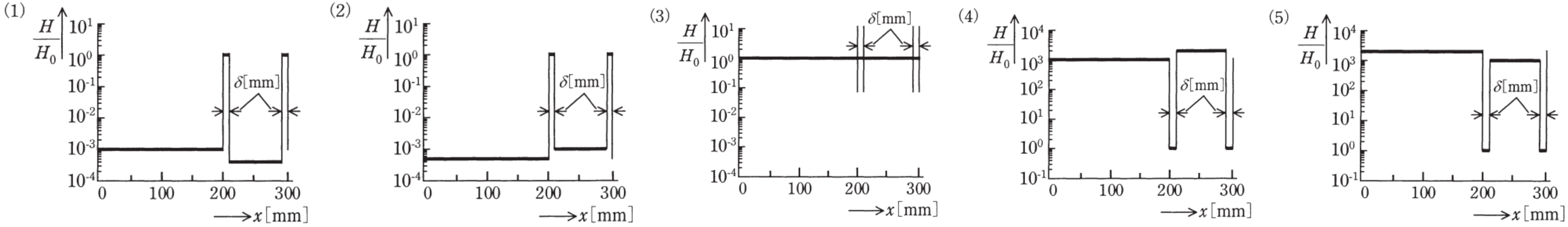
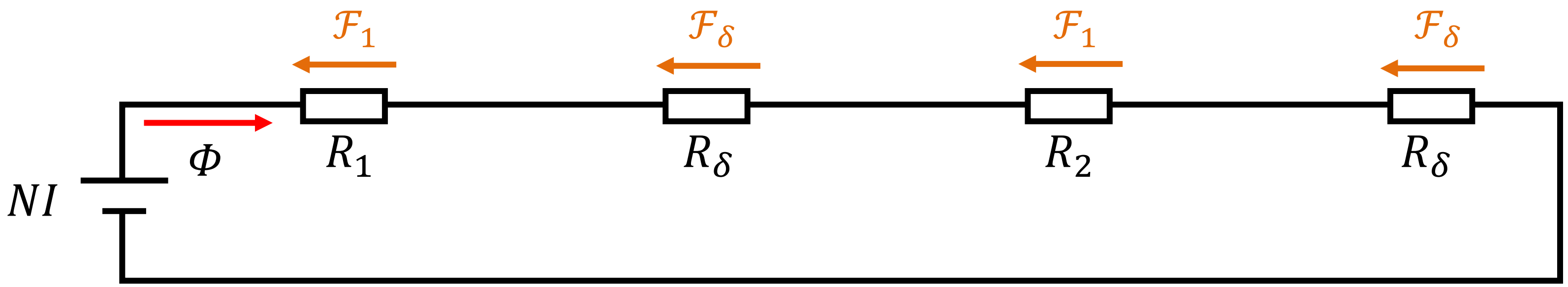


図1

(a)　空隙における磁界の強さH_0に対する磁路に沿った磁界の強さHの比$\dfrac{H}{H_0}$を表すおおよその図として，最も近いものを図2の (1)～(5) のうちから一つ選べ。ただし，図1に示す$x=0$ mmから時計回りに磁路を進む距離をx [mm]とする。また，図2は片対数グラフであり，空隙長δ [mm]は実際より大きく表示している。



導出のポイント



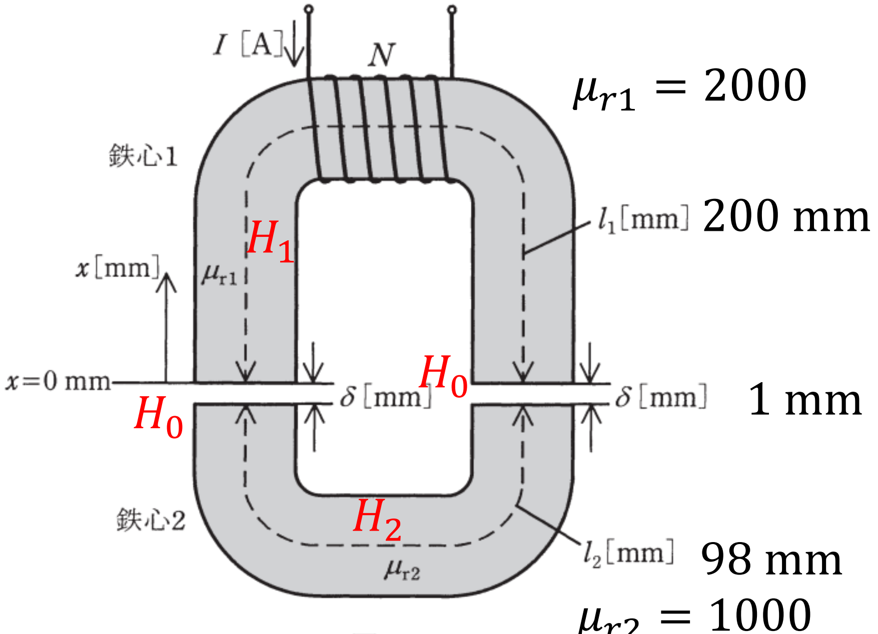


図1

$$\Phi = \frac{NI}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}$$

$$\mathcal{F}_1 = R_1\Phi = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}NI \longrightarrow H_1 = \frac{\mathcal{F}_1}{l_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{l_1}$$

$$\mathcal{F}_2 = R_2\Phi = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}NI \longrightarrow H_2 = \frac{\mathcal{F}_2}{l_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{l_2}$$

$$\mathcal{F}_\delta = R_\delta\Phi = \frac{R_\delta}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}NI \longrightarrow H_0 = \frac{\mathcal{F}_\delta}{\delta} = \frac{R_\delta}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{\delta}$$

導出のポイント

$$H_1=\frac{\mathcal{F}_1}{l_1}=\frac{R_1}{R_1+R_2+2R_\delta}\frac{NI}{l_1}\qquad H_2=\frac{\mathcal{F}_2}{l_2}=\frac{R_2}{R_1+R_2+2R_\delta}\frac{NI}{l_2}\qquad H_0=\frac{\mathcal{F}_\delta}{\delta}=\frac{R_\delta}{R_1+R_2+2R_\delta}\frac{NI}{\delta}$$

$$\frac{H_1}{H_0}=\frac{\dfrac{R_1}{R_1+R_2+2R_\delta}\dfrac{NI}{l_1}}{\dfrac{R_\delta}{R_1+R_2+2R_\delta}\dfrac{NI}{\delta}}=\frac{\dfrac{R_1}{l_1}}{\dfrac{R_\delta}{\delta}}=\frac{R_1}{R_\delta}\frac{\delta}{l_1}=\frac{\dfrac{l_1}{\mu_1 S}}{\dfrac{\delta}{\mu_0 S}}\frac{\delta}{l_1}=\frac{\mu_0}{\mu_1}$$

$$\frac{H_1}{H_0}=\frac{\mu_0}{\mu_1}=\frac{\mu_0}{\mu_{r1}\mu_0}=\frac{1}{\mu_{r1}}=\frac{1}{2000}=5\times10^{-4}$$

$$\frac{H_2}{H_0}=\frac{\mu_0}{\mu_2}=\frac{\mu_0}{\mu_{r2}\mu_0}=\frac{1}{\mu_{r2}}=\frac{1}{1000}=1\times10^{-3}$$

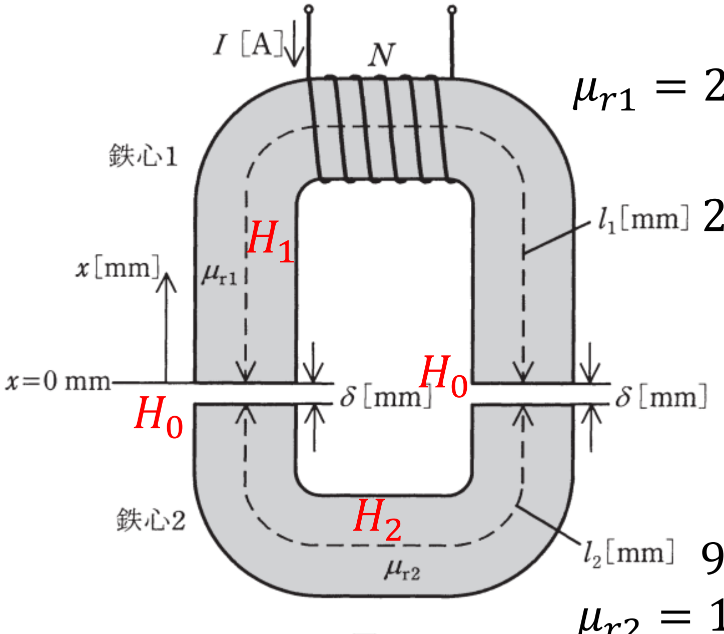


図1

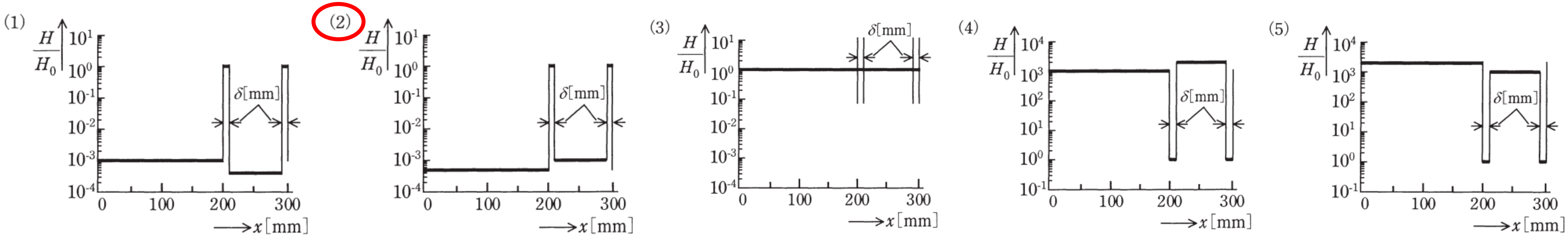
$\mu_{r1}=2000$

200 mm

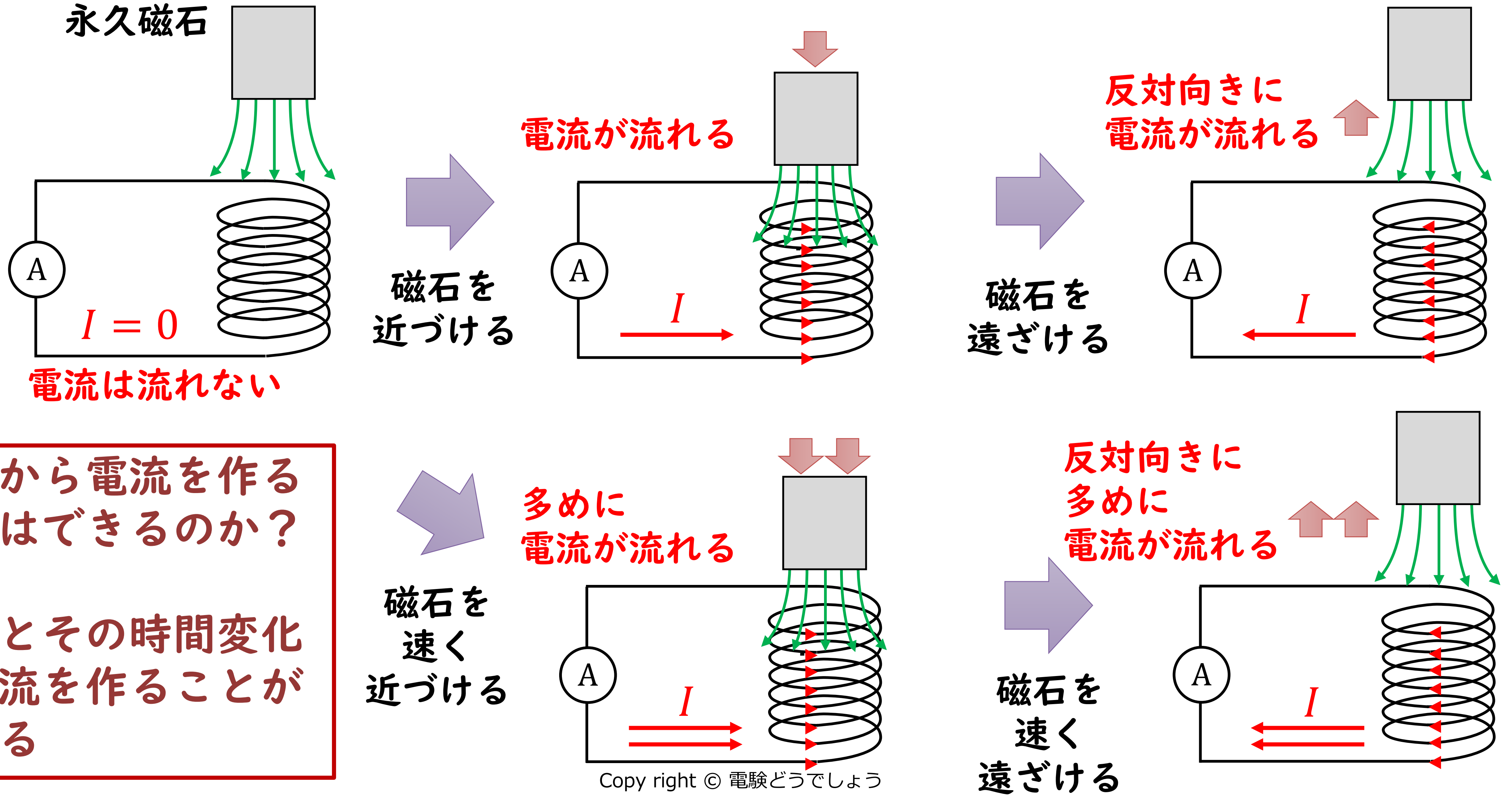
1 mm

98 mm

$\mu_{r2}=1000$



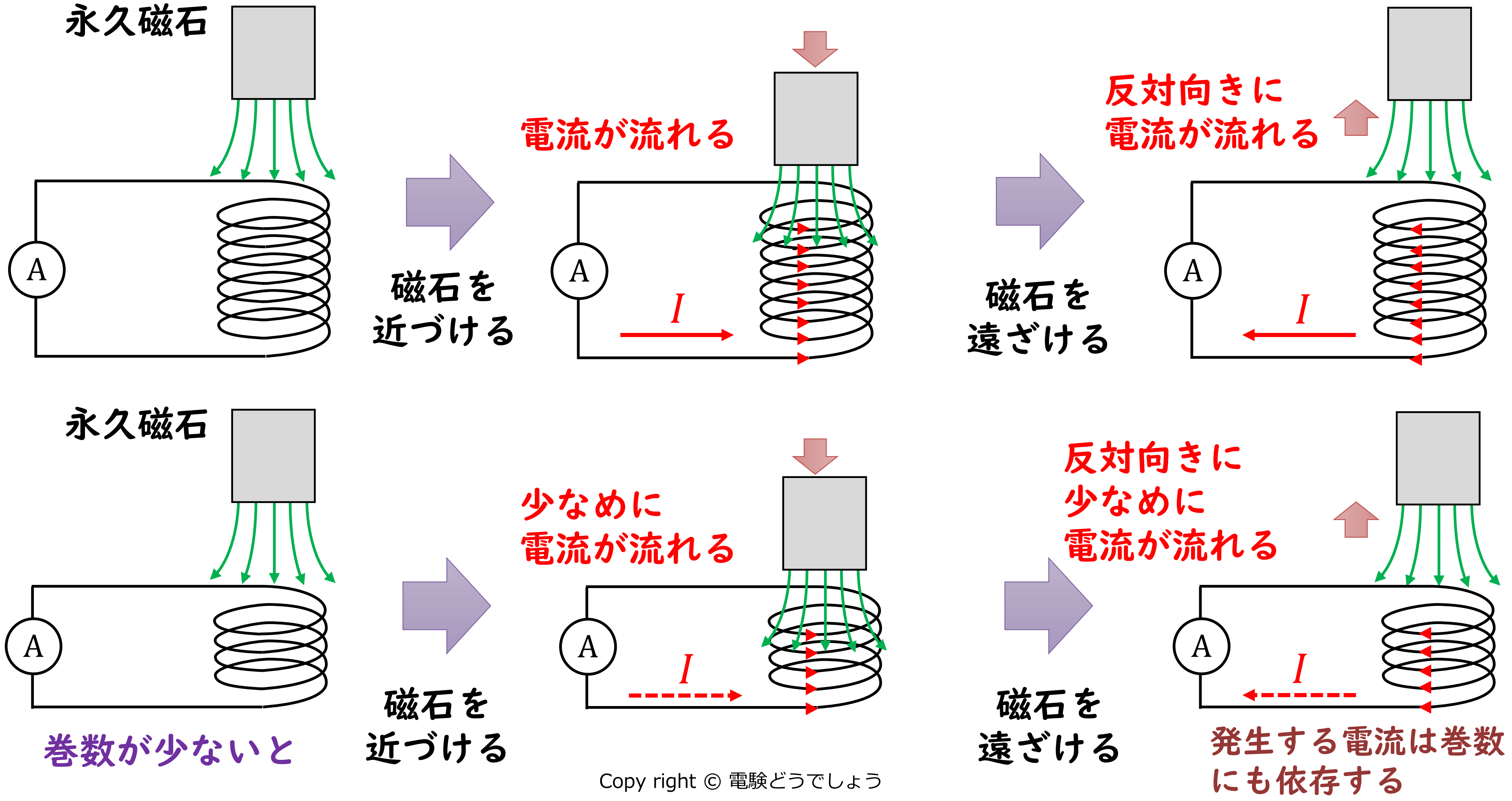
電磁誘導（ファラデーの法則）



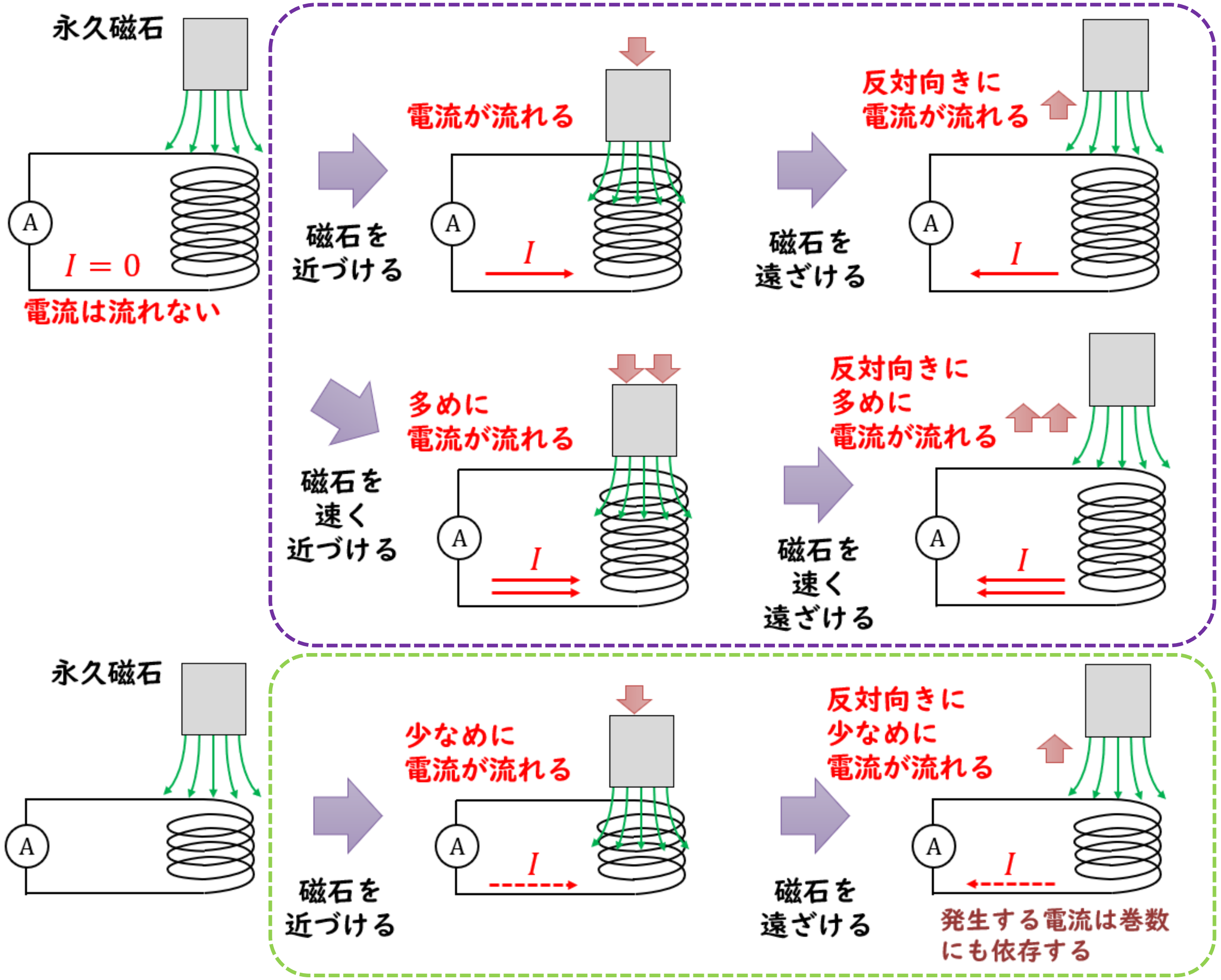
磁界から電流を作ることはできるのか？

磁束とその時間変化で電流を作ることができる

電磁誘導（ファラデーの法則）



電磁誘導（ファラデーの法則）



コイルに発生する電流は
（１）磁束の時間変化に依存する
（２）コイルの巻数に依存する

ファラデーの法則

回路に生じる**誘導起電力**の大きさはその回路を**貫く磁束**の変化の割合に比例する

$$V = -\overset{(2)}{N}\overset{(1)}{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}} = -\frac{\Delta\Psi}{\Delta t}$$

Ψ：鎖交磁束

※磁束の変化を妨げる向きに電圧が発生する
（レンツの法則）
磁石を近づけるとき：磁石の磁束と逆向き
磁石を遠ざけるとき：磁石の磁束と同じ向き

cf. 一般式で表すと $V = -N\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}$

R03 問4

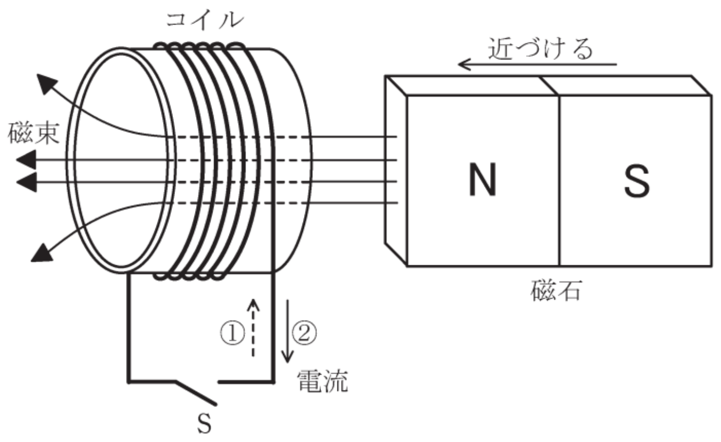
問４　次の文章は，電磁誘導に関する記述である。

図のように，コイルと磁石を配置し，磁石の磁束がコイルを貫いている。

1.　スイッチ S を閉じた状態で磁石をコイルに近づけると，コイルには (ア) の向きに電流が流れる。

2.　コイルの巻数が 200 であるとする。スイッチ S を開いた状態でコイルの断面を貫く磁束を 0.5 s の間に 10 mWb だけ直線的に増加させると，磁束鎖交数は (イ) Wb だけ変化する。また，この 0.5 s の間にコイルに発生する誘導起電力の大きさは (ウ) V となる。ただし，コイル断面の位置によらずコイルの磁束は一定とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(ウ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)
(1)	①	2	2
(2)	①	2	4
(3)	①	0.01	2
(4)	②	2	4
(5)	②	0.01	2

導出のポイント

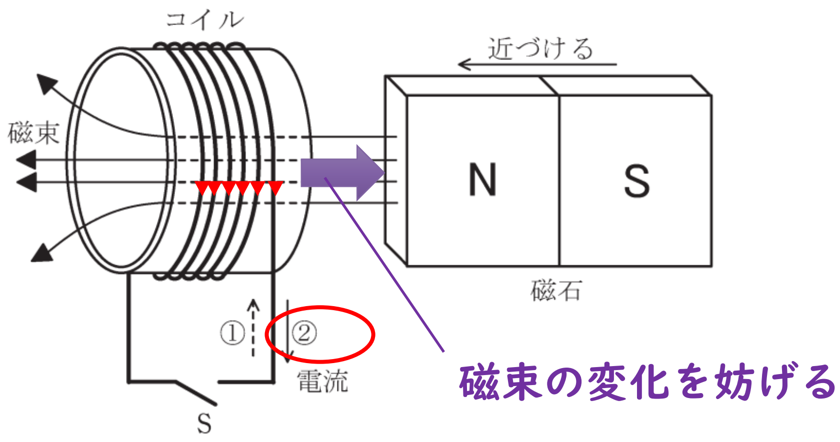
問４　次の文章は，電磁誘導に関する記述である。

図のように，コイルと磁石を配置し，磁石の磁束がコイルを貫いている。

1.　スイッチ S を閉じた状態で磁石をコイルに近づけると，コイルには （ア） の向きに電流が流れる。

2.　コイルの巻数が 200 であるとする。スイッチ S を開いた状態でコイルの断面を貫く磁束を 0.5 s の間に 10 mWb だけ直線的に増加させると，磁束鎖交数は （イ） Wb だけ変化する。また，この 0.5 s の間にコイルに発生する誘導起電力の大きさは （ウ） V となる。ただし，コイル断面の位置によらずコイルの磁束は一定とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(ウ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



（イ）

$$\Psi = N\Phi = 200 \times 10\ \mathrm{mWb} = 2\ \mathrm{Wb}$$

（ウ）

$$V = \frac{\Delta\Psi}{\Delta t} = \frac{2}{0.5} = 4\ \mathrm{V}$$

	(ア)	(イ)	(ウ)
(1)	①	2	2
(2)	①	2	4
(3)	①	0.01	2
(4)	②	2	4
(5)	②	0.01	2

電流と磁束の関係（まとめ）

電気の世界

磁気の世界

I 電流 → 磁界 → 磁束/磁束密度

$NI = Hl$

$B = \mu H$

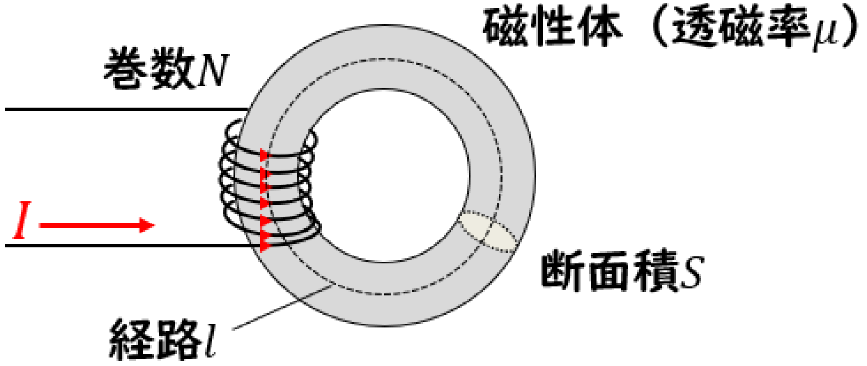
$\Phi = BS$

V 電圧 ← 鎖交磁束 時間変化 ← 磁束/磁束密度

$$V = -\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t}$$

$\Psi = N\Phi$

環状ソレノイドを例に式で表現



電流→磁束

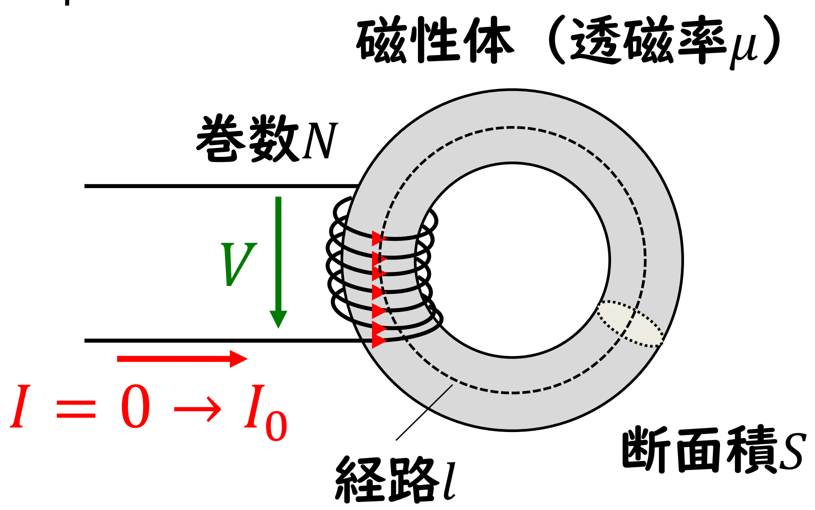
$$NI = \frac{l}{\mu S}\Phi = R_m \Phi$$

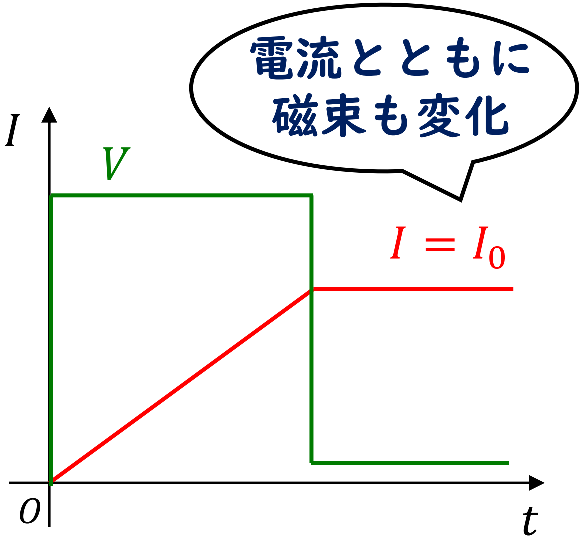
R_m：磁気抵抗

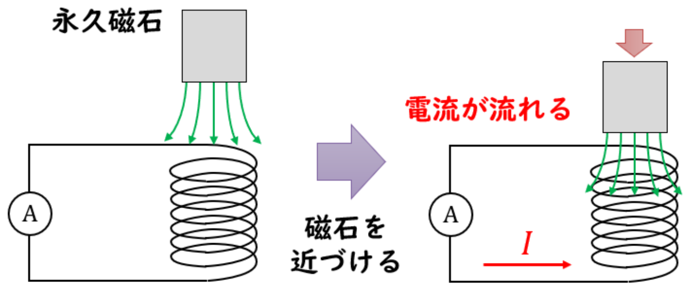
磁束→電圧

$$-N\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t} = V$$

自己インダクタンス







磁束→電圧

$$-N\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t}=V$$

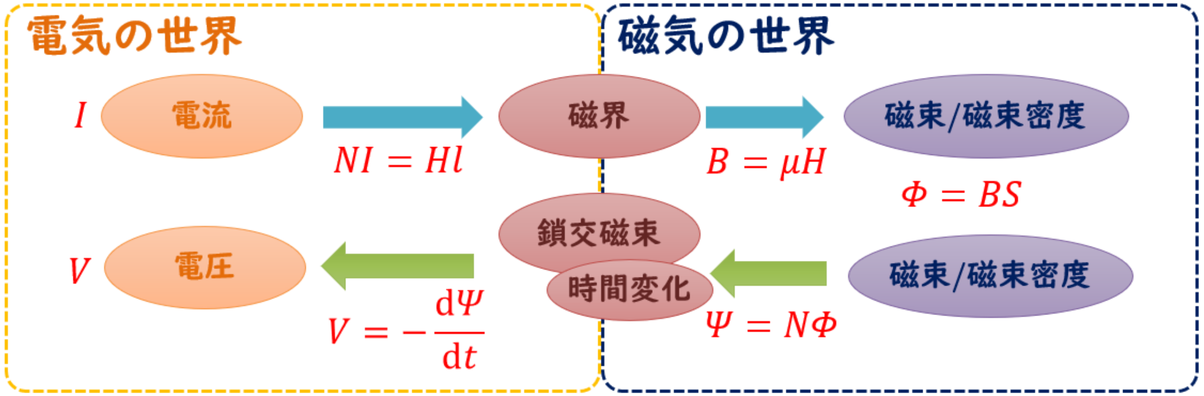
電流が変化する場合でも、
電磁誘導が起こり電圧が発生する

$$-N\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=-N\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\mu S}{l}NI\right)=-N\frac{\mu S}{l}N\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

$$-\frac{N^2}{R_m}\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}=V\quad\rightarrow V=L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

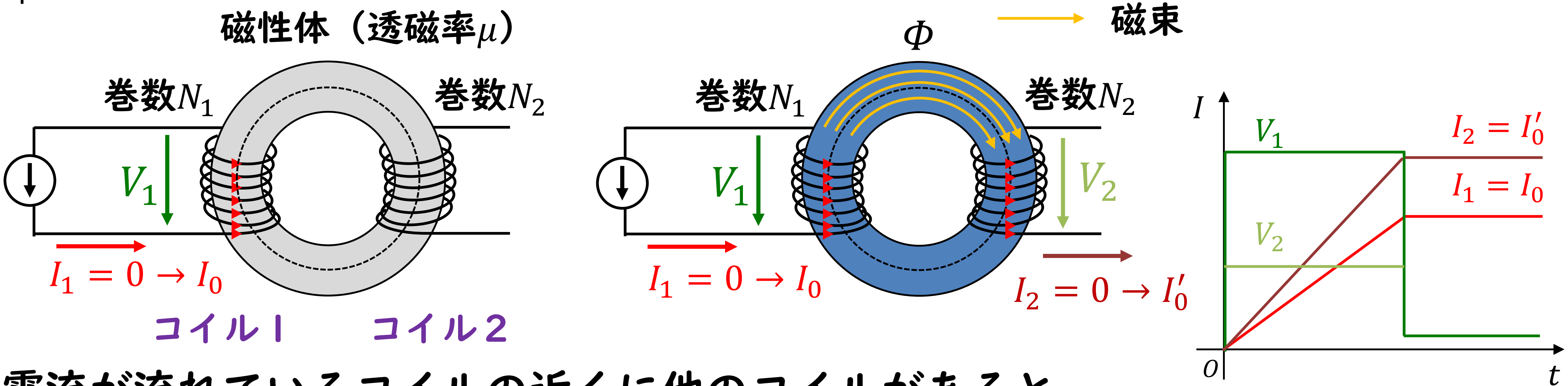
L：自己インダクタンス[H]

$$L=\frac{N^2}{R_m}$$



電流の流れを妨げるもの（インピーダンス）と考えるので
マイナス符号はとる

相互インダクタンス



電流が流れているコイルの近くに他のコイルがあると、
そのコイルでも電磁誘導が発生し電流が流れる。

コイル1で発生する電圧V_1は

$$V_1 = L_1 \frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}$$

L_1：コイル1の自己インダクタンス

コイル2で発生する電圧V_2は

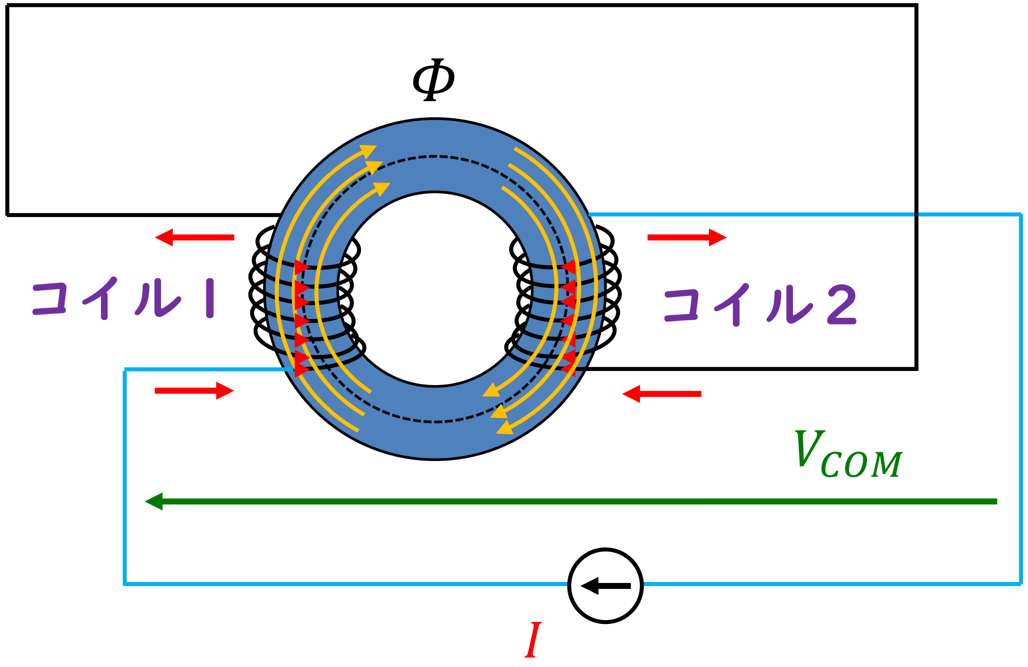
$$V_2 = M \frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t} \qquad M = k\sqrt{L_1 L_2} \qquad k：結合定数$$

M：コイル1とコイル2の相互インダクタンス

L_2：コイル2の自己インダクタンス

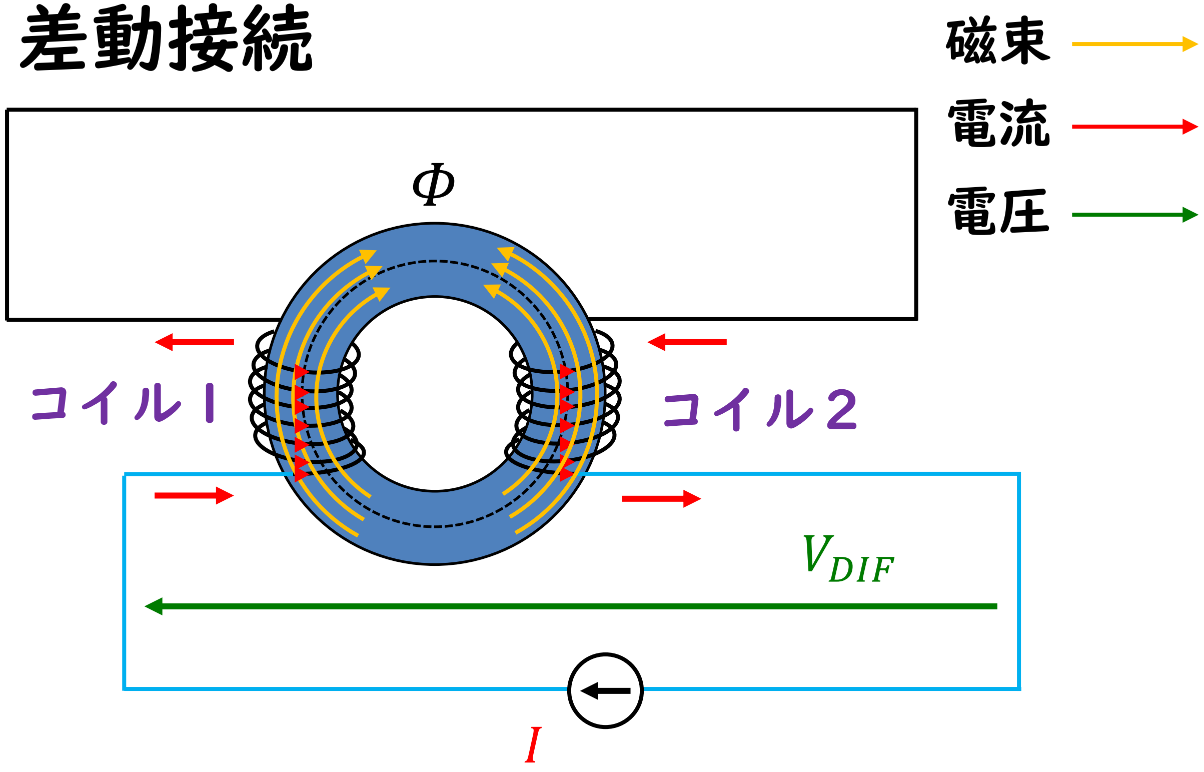
和動接続、差動接続

和動接続



$$V_{COM} = (L_1 + L_2 + 2M)\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

差動接続



$$V_{DIF} = (L_1 + L_2 - 2M)\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

H24 問3

問３　次の文章は，コイルのインダクタンスに関する記述である。ここで，鉄心の磁気飽和は，無視するものとする。

均質で等断面の環状鉄心に被覆電線を巻いてコイルを作製した。このコイルの自己インダクタンスは，巻数の [(ア)] に比例し，磁路の [(イ)] に反比例する。

同じ鉄心にさらに被覆電線を巻いて別のコイルを作ると，これら二つのコイル間には相互インダクタンスが生じる。相互インダクタンスの大きさは，漏れ磁束が [(ウ)] なるほど小さくなる。それぞれのコイルの自己インダクタンスを L_1〔H〕，L_2〔H〕とすると，相互インダクタンスの最大値は [(エ)]〔H〕である。

これら二つのコイルを [(オ)] とすると，合成インダクタンスの値は，それぞれの自己インダクタンスの合計値よりも大きくなる。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)，(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	1　乗	断面積	少なく	L_1+L_2	差動接続
(2)	2　乗	長　さ	多　く	L_1+L_2	和動接続
(3)	1　乗	長　さ	多　く	$\sqrt{L_1L_2}$	和動接続
(4)	2　乗	断面積	少なく	L_1+L_2	差動接続
(5)	2　乗	長　さ	多　く	$\sqrt{L_1L_2}$	和動接続

導出のポイント

問３　次の文章は，コイルのインダクタンスに関する記述である。ここで，鉄心の磁気飽和は，無視するものとする。

均質で等断面の環状鉄心に被覆電線を巻いてコイルを作製した。このコイルの自己インダクタンスは，巻数の　(ア)　に比例し，磁路の　(イ)　に反比例する。

２乗　長さ

同じ鉄心にさらに被覆電線を巻いて別のコイルを作ると，これら二つのコイル間には相互インダクタンスが生じる。相互インダクタンスの大きさは，漏れ磁束が　(ウ)　なるほど小さくなる。それぞれのコイルの自己インダクタンスを L_1〔H〕，L_2〔H〕とすると，相互インダクタンスの最大値は　(エ)　〔H〕である。

多く　$\sqrt{L_1 L_2}$

和動接続

これら二つのコイルを　(オ)　とすると，合成インダクタンスの値は，それぞれの自己インダクタンスの合計値よりも大きくなる。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)，(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	1　乗	断面積	少なく	L_1+L_2	差動接続
(2)	2　乗	長　さ	多　く	L_1+L_2	和動接続
(3)	1　乗	長　さ	多　く	$\sqrt{L_1 L_2}$	和動接続
(4)	2　乗	断面積	少なく	L_1+L_2	差動接続
(5)	2　乗	長　さ	多　く	$\sqrt{L_1 L_2}$	和動接続

H29 問3

問３　環状鉄心に，コイル１及びコイル２が巻かれている。二つのコイルを図１のように接続したとき，端子 A–B 間の合成インダクタンスの値は 1.2 H であった。次に，図２のように接続したとき，端子 C–D 間の合成インダクタンスの値は 2.0 H であった。このことから，コイル１の自己インダクタンス L の値[H]，コイル１及びコイル２の相互インダクタンス M の値[H]の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，コイル１及びコイル２の自己インダクタンスはともに L[H]，その巻数を N とし，また，鉄心は等断面，等質であるとする。

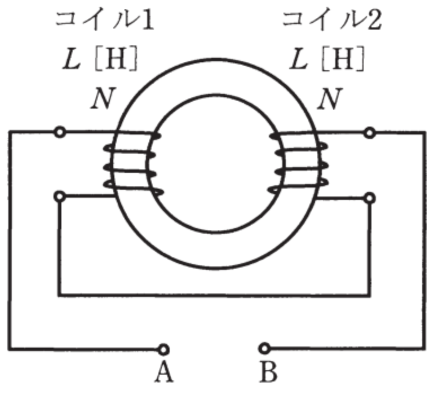


図１

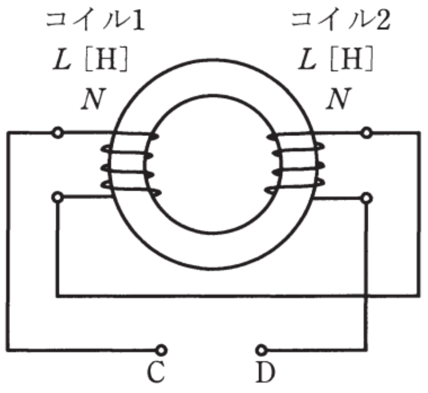


図２

	自己インダクタンス L	相互インダクタンス M
(1)	0.4	0.2
(2)	0.8	0.2
(3)	0.8	0.4
(4)	1.6	0.2
(5)	1.6	0.4

導出のポイント

問３　環状鉄心に，コイル１及びコイル２が巻かれている。二つのコイルを図１のように接続したとき，端子 A-B 間の合成インダクタンスの値は 1.2 H であった。次に，図２のように接続したとき，端子 C-D 間の合成インダクタンスの値は 2.0 H であった。このことから，コイル１の自己インダクタンス L の値[H]，コイル１及びコイル２の相互インダクタンス M の値[H]の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，コイル１及びコイル２の自己インダクタンスはともに L[H]，その巻数を N とし，また，鉄心は等断面，等質であるとする。

$$L_{AB} = L + L - 2M = 1.2\ \mathrm{H}$$

$$L_{CD} = L + L + 2M = 2.0\ \mathrm{H}$$

$$L_{AB} + L_{CD} = 4L = 3.2\ \mathrm{H} \ \rightarrow L = 0.8\ \mathrm{H}$$

$$L_{CD} - L_{AB} = 4M = 0.8\ \mathrm{H} \ \rightarrow M = 0.2\ \mathrm{H}$$

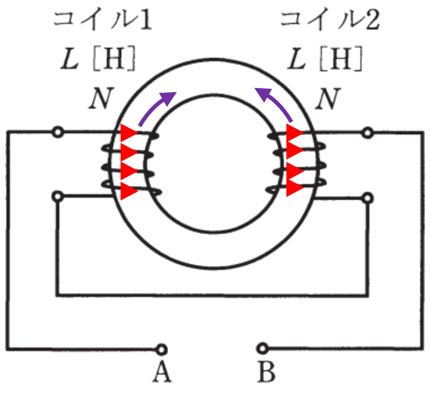


図１

差動接続

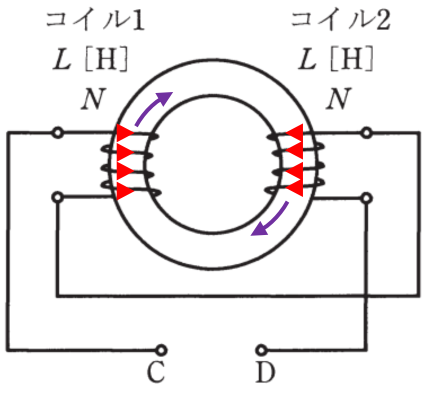


図２

和動接続

	自己インダクタンス L	相互インダクタンス M
(1)	0.4	0.2
(2)	0.8	0.2
(3)	0.8	0.4
(4)	1.6	0.2
(5)	1.6	0.4

電磁気学における力と運動

クーロン力

電荷間で働く力　$F=\dfrac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon r^2}=Q_1E$

磁気力

磁荷間で働く力　$F=\dfrac{m_1m_2}{4\pi\mu r^2}=m_1H$

電磁力（ローレンツ力）

電流と磁界の間で生じる力　$F=I\times B\,\Delta l$

この２つの力が生じたときの電子（または電荷）の運動を考える

電磁気学における力と運動

クーロン力

電荷間で働く力　$F = \dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r^2} = Q_1 E$

電磁力（ローレンツ力）

電流と磁束の間で生じる力　$F = I \times B\ \Delta l$

力が運動を表すわけではない

運動方程式

運動を表す式　$F = m\alpha$

α：加速度

$$\alpha = \frac{F}{m} \Rightarrow v = \alpha t + v_0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\alpha t^2 + v_0 t + x_0$$

v：速度

v_0：初速度

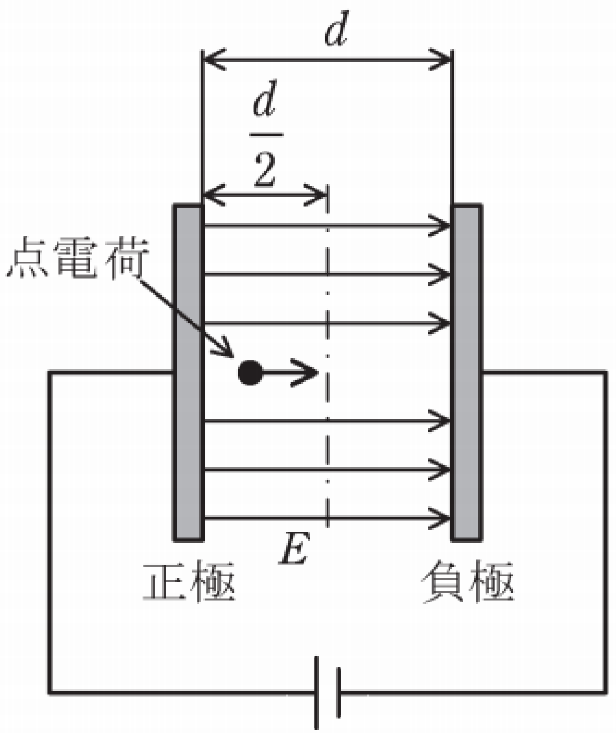
x：位置

x_0：初期位置

R01 問12

問 12　図のように，極板間の距離 d[m]の平行板導体が真空中に置かれ，極板間に強さ E[V/m]の一様な電界が生じている。質量 m[kg]，電荷量 $q(>0)$[C]の点電荷が正極から放出されてから，極板間の中心 $\frac{d}{2}$[m]に達するまでの時間 t[s]を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，点電荷の速度は光速より十分小さく，初速度は 0 m/s とする。また，重力の影響は無視できるものとし，平行板導体は十分大きいものとする。

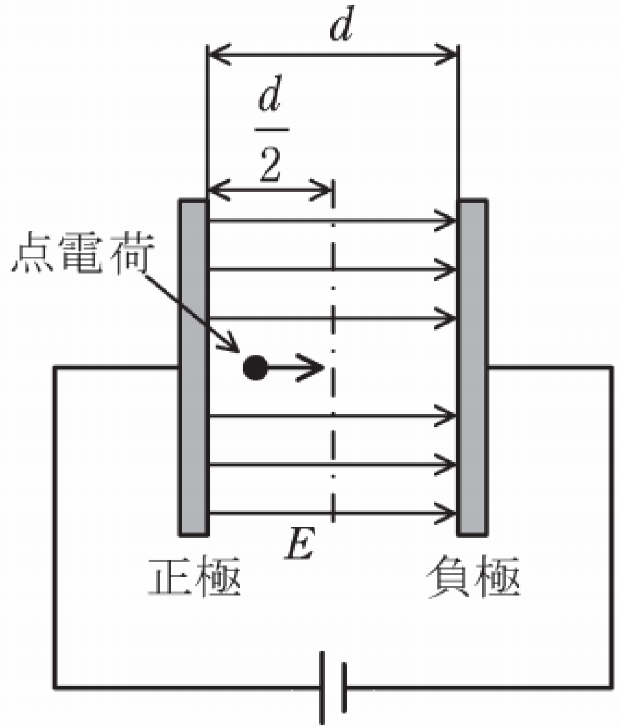


(1) $\sqrt{\dfrac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\dfrac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\dfrac{2qE}{md}}$

導出のポイント

問 12　図のように，極板間の距離 d[m]の平行板導体が真空中に置かれ，極板間に強さ E[V/m]の一様な電界が生じている。質量 m[kg]，電荷量 q(>0)[C]の点電荷が正極から放出されてから，極板間の中心 $\frac{d}{2}$[m]に達するまでの時間 t[s]を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，点電荷の速度は光速より十分小さく，初速度は 0 m/s とする。また，重力の影響は無視できるものとし，平行板導体は十分大きいものとする。



クーロン力　$F = qE$

運動方程式　$F = m\alpha \rightarrow \alpha = \dfrac{F}{m} = \dfrac{qE}{m}$

位置と時間の関係　$x = \dfrac{1}{2}\alpha t^2 + \underbrace{v_0 t + x_0}_{0}$

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2}\alpha t^2 \rightarrow t^2 = \frac{d}{a} = \frac{d}{qE/m}$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{md}{qE}}$$

(1) $\sqrt{\dfrac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\dfrac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\dfrac{2qE}{md}}$

H23 問12

問12　次の文章は，真空中における電子の運動に関する記述である。

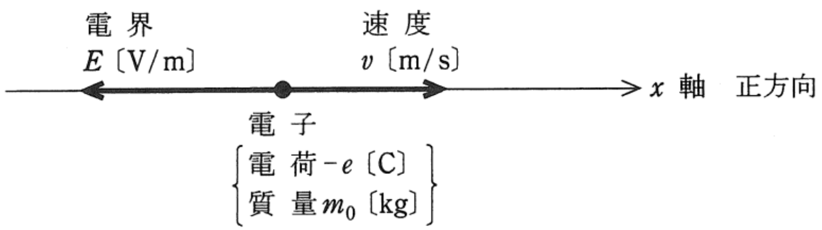
図のように，x 軸上の負の向きに大きさが一定の電界 E〔V/m〕が存在しているとき，x 軸上に電荷が $-e$〔C〕（e は電荷の絶対値），質量 m_0〔kg〕の1個の電子を置いた場合を考える。x 軸の正方向の電子の加速度を a〔m/s²〕とし，また，この電子に加わる力の正方向を x 軸の正方向にとったとき，電子の運動方程式は

$$m_0 a = \boxed{\quad(ア)\quad} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ①$$

となる。①式から電子は等加速度運動をすることがわかる。したがって，電子の初速度を零としたとき，x 軸の正方向に向かう電子の速度 v〔m/s〕は時間 t〔s〕の $\boxed{\quad(イ)\quad}$ 関数となる。また，電子の走行距離 x_{dis}〔m〕は時間 t〔s〕の $\boxed{\quad(ウ)\quad}$ 関数で表される。さらに，電子の運動エネルギーは時間 t〔s〕の $\boxed{\quad(エ)\quad}$ で増加することがわかる。

ただし，電子の速度 v〔m/s〕はその質量の変化が無視できる範囲とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	eE	一　次	二　次	1　乗
(2)	$\frac{1}{2}eE$	二　次	一　次	1　乗
(3)	eE^2	一　次	二　次	2　乗
(4)	$\frac{1}{2}eE$	二　次	一　次	2　乗
(5)	eE	一　次	二　次	2　乗

導出のポイント

問12　次の文章は，真空中における電子の運動に関する記述である。

図のように，x 軸上の負の向きに大きさが一定の電界 E〔V/m〕が存在しているとき，x 軸上に電荷が $-e$〔C〕（e は電荷の絶対値），質量 m_0〔kg〕の1個の電子を置いた場合を考える。x 軸の正方向の電子の加速度を a〔m/s²〕とし，また，この電子に加わる力の正方向を x 軸の正方向にとったとき，電子の運動方程式は

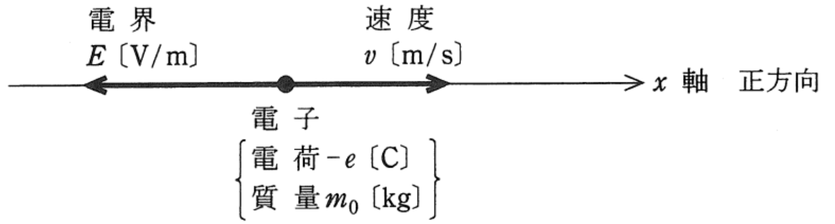
eE

$m_0 a =$ (ア) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ①

となる。①式から電子は等加速度運動をすることがわかる。したがって，電子の初速度を零としたとき，x 軸の正方向に向かう電子の速度 v〔m/s〕は時間 t〔s〕の 一次 (イ) 関数となる。また，電子の走行距離 x_{dis}〔m〕は時間 t〔s〕の 二次 (ウ) 関数で表される。さらに，電子の運動エネルギーは時間 t〔s〕の (エ) 2乗 で増加することがわかる。

ただし，電子の速度 v〔m/s〕はその質量の変化が無視できる範囲とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



運動方程式

$$F = m_0 a = eE \rightarrow a = \frac{eE}{m_0}$$

速度

$$v = at$$

距離

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

運動エネルギー

$$K = \frac{1}{2}m_0 v^2 = \frac{1}{2}m_0 a^2 t^2$$

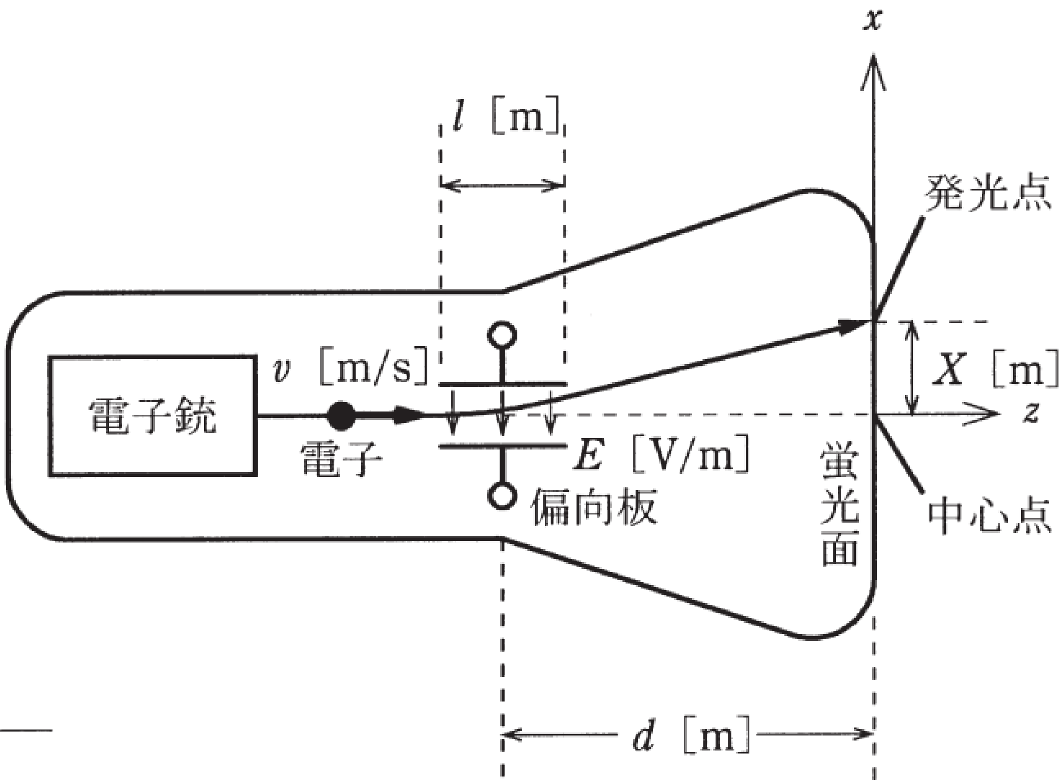
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	eE	一 次	二 次	1 乗
(2)	$\frac{1}{2}eE$	二 次	一 次	1 乗
(3)	eE^2	一 次	二 次	2 乗
(4)	$\frac{1}{2}eE$	二 次	一 次	2 乗
(5)	eE	一 次	二 次	2 乗

H27 問12

問12　ブラウン管は電子銃，偏向板，蛍光面などから構成される真空管であり，オシロスコープの表示装置として用いられる。図のように，電荷$-e$［C］をもつ電子が電子銃から一定の速度v［m/s］でz軸に沿って発射される。電子は偏向板の中を通過する間，x軸に平行な平等電界E［V/m］から静電力$-eE$［N］を受け，x方向の速度成分u［m/s］を与えられ進路を曲げられる。偏向板を通過後の電子はz軸と$\tan\theta=\frac{u}{v}$なる角度θをなす方向に直進して蛍光面に当たり，その点を発光させる。このとき発光する点は蛍光面の中心点からx方向に距離X［m］だけシフトした点となる。

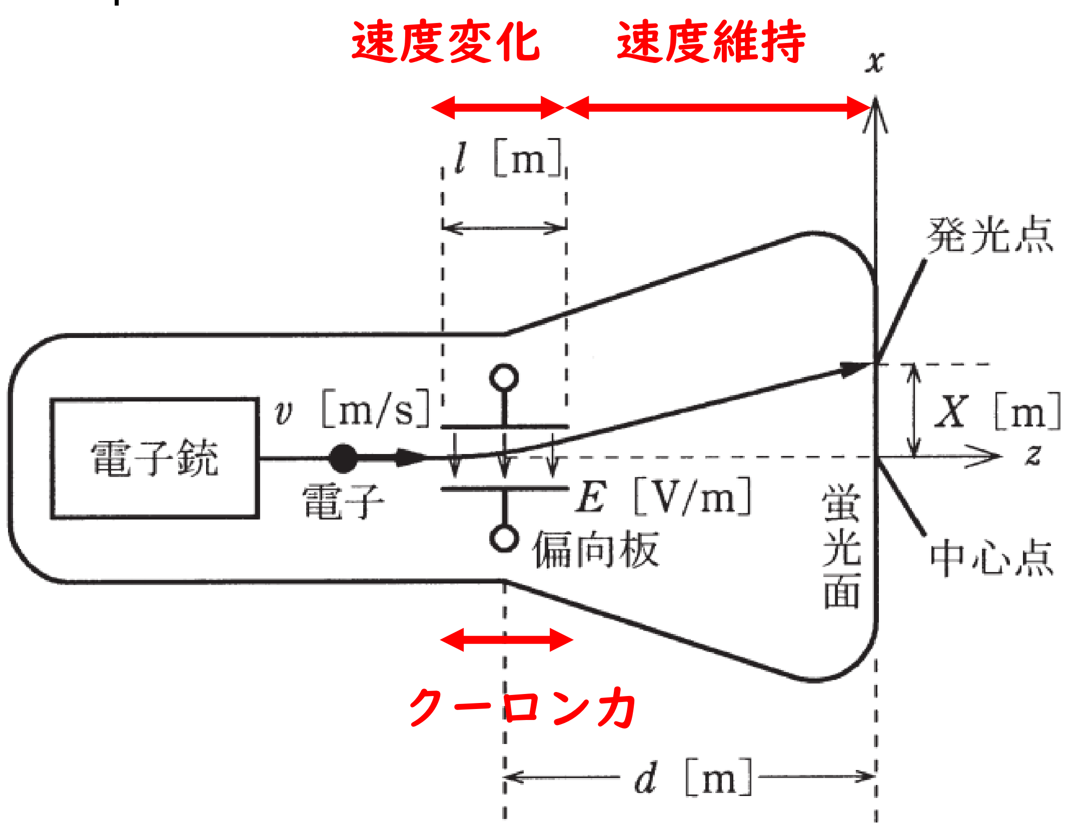
uとXを表す式の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，電子の静止質量をm［kg］，偏向板のz方向の大きさをl［m］，偏向板の中心から蛍光面までの距離をd［m］とし，$l \ll d$と仮定してよい。また，速度vは光速に比べて十分小さいものとする。



	u	X
(1)	$\frac{elE}{mv}$	$\frac{2eldE}{mv^2}$
(2)	$\frac{elE^2}{mv}$	$\frac{2eldE}{mv^2}$
(3)	$\frac{elE}{mv^2}$	$\frac{eldE^2}{mv}$
(4)	$\frac{elE^2}{mv^2}$	$\frac{eldE}{mv}$
(5)	$\frac{elE}{mv}$	$\frac{eldE}{mv^2}$

導出のポイント



力がかかっていないときの物体の運動は
- 等速直線運動
- 静止

のどちらか

x方向の速度v_xを求める

$$F_x = ma_x = eE$$

$$a_x = \frac{eE}{m} \rightarrow \ v_x = u = a_x t_0 = \frac{eE}{m} t_0$$

t_0はクーロン力F_xが発生している時間であり、偏向板を通過している時間なので、

$$t_0 = \frac{l}{v_z} = \frac{l}{v}$$

$$\therefore u = \frac{elE}{mv}$$

偏向板から蛍光面までの距離をdとし、z方向の速度vより蛍光面に衝突するまでの時間t_1は

$$t_1 = \frac{d}{v_z} = \frac{d}{v}$$

x方向へのずれXは、

$$X = v_x t_1 = u t_1 = \frac{elE}{mv} \times \frac{d}{v}$$

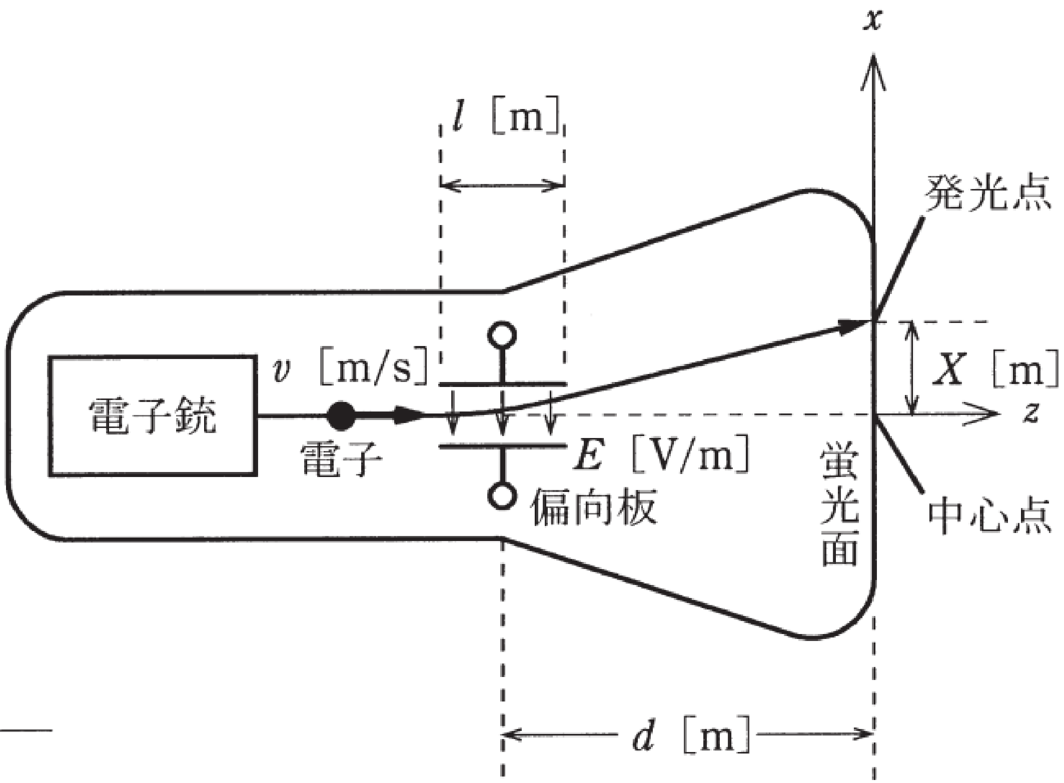
$$\therefore X = \frac{eldE}{mv^2}$$

H27 問12

問12　ブラウン管は電子銃，偏向板，蛍光面などから構成される真空管であり，オシロスコープの表示装置として用いられる。図のように，電荷$-e$［C］をもつ電子が電子銃から一定の速度v［m/s］でz軸に沿って発射される。電子は偏向板の中を通過する間，x軸に平行な平等電界E［V/m］から静電力$-eE$［N］を受け，x方向の速度成分u［m/s］を与えられ進路を曲げられる。偏向板を通過後の電子はz軸と$\tan\theta=\frac{u}{v}$なる角度θをなす方向に直進して蛍光面に当たり，その点を発光させる。このとき発光する点は蛍光面の中心点からx方向に距離X［m］だけシフトした点となる。

uとXを表す式の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，電子の静止質量をm［kg］，偏向板のz方向の大きさをl［m］，偏向板の中心から蛍光面までの距離をd［m］とし，$l \ll d$と仮定してよい。また，速度vは光速に比べて十分小さいものとする。



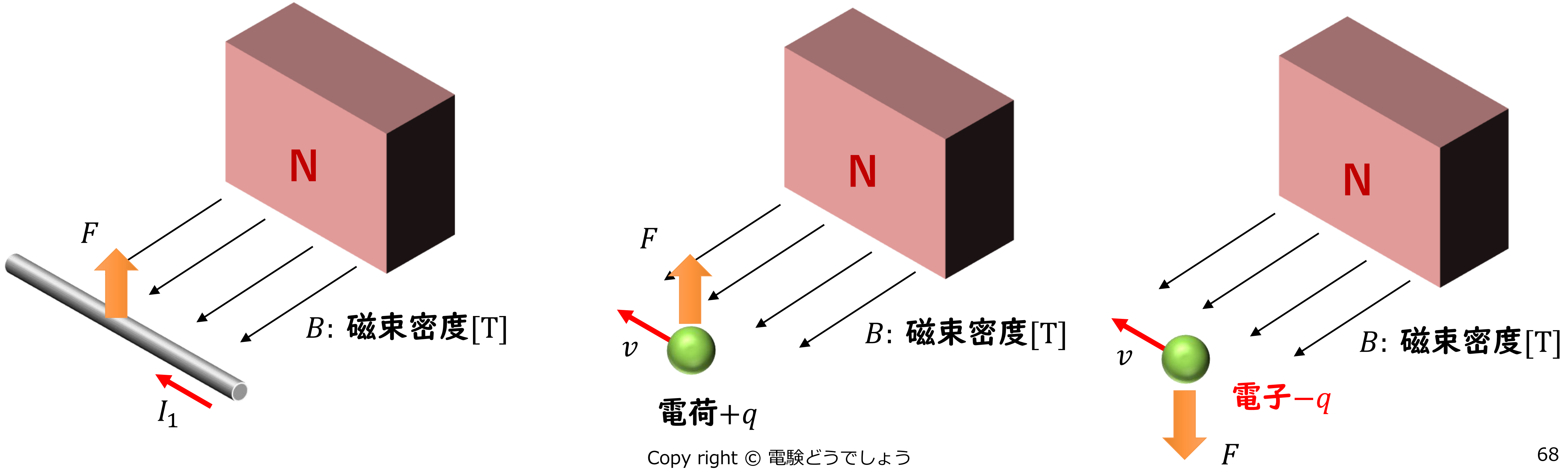
	u	X
(1)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(2)	$\dfrac{elE^2}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(3)	$\dfrac{elE}{mv^2}$	$\dfrac{eldE^2}{mv}$
(4)	$\dfrac{elE^2}{mv^2}$	$\dfrac{eldE}{mv}$
(5)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{eldE}{mv^2}$

ローレンツ力による電荷の運動

電磁力（ローレンツ力）

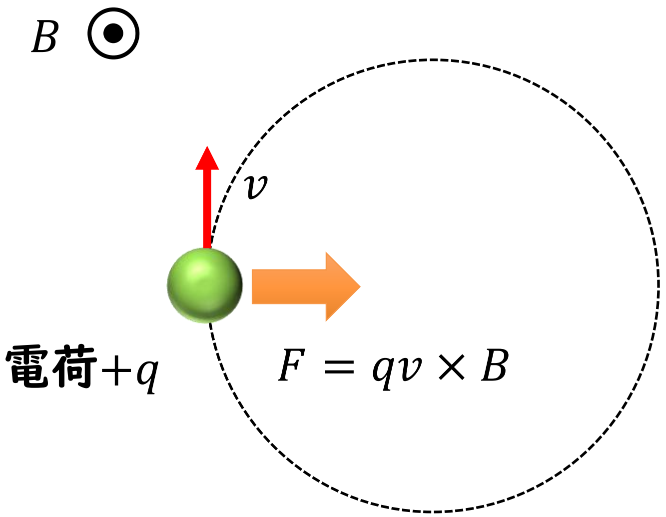
電流と磁束の間で生じる力　$F = I \times B\,\Delta l$

電荷と磁束の間で生じる力　$F = \dfrac{\Delta q}{\Delta t} \times B\,\Delta l = \Delta q \dfrac{\Delta l}{\Delta t} \times B = qv \times B$



ローレンツ力による電荷の運動

電磁力（ローレンツ力）
電荷と磁束の間で生じる力　$F = qv \times B$



遠心力
円運動により物体が受ける慣性力

$$F = mr\omega^2 = m\frac{v^2}{r} = mv\omega$$

ω：角速度　r：円運動の半径

- 進行方向と垂直な方向に力が加わると物体は“円運動”する
- このとき、中心へ向かう力（向心力）がローレンツ力となり、この力は遠心力と釣り合う

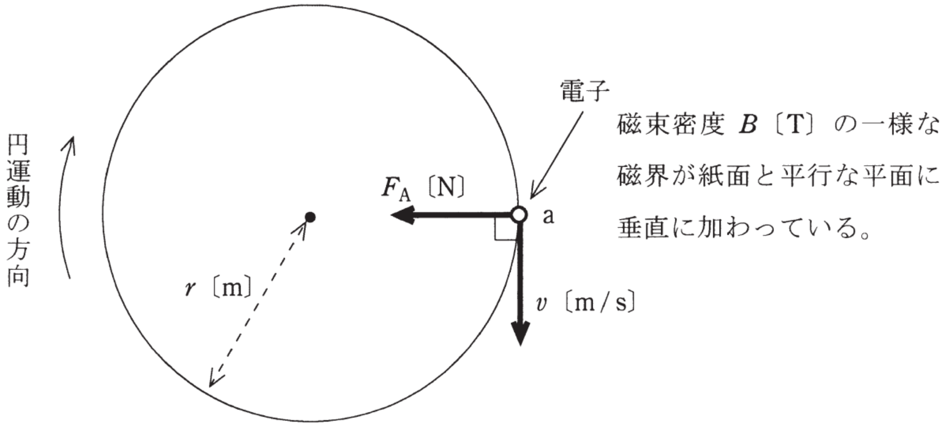
H24 問12

問12　次の文章は，図に示す「磁界中における電子の運動」に関する記述である。

真空中において，磁束密度 B〔T〕の一様な磁界が紙面と平行な平面の $\boxed{\text{(ア)}}$ へ垂直に加わっている。ここで，平面上の点 a に電荷 $-e$〔C〕，質量 m_0〔kg〕の電子をおき，図に示す向きに速さ v〔m/s〕の初速度を与えると，電子は初速度の向き及び磁界の向きのいずれに対しても垂直で図に示す向きの電磁力 F_A〔N〕を受ける。この力のために電子は加速度を受けるが速度の大きさは変わらないので，その方向のみが変化する。したがって，電子はこの平面上で時計回りに速さ v〔m/s〕の円運動をする。この円の半径を r〔m〕とすると，電子の運動は，磁界が電子に作用する電磁力の大きさ $F_A = Bev$〔N〕と遠心力 $F_B = \dfrac{m_0}{r}v^2$〔N〕とが釣り合った円運動であるので，その半径は $r = \boxed{\text{(イ)}}$〔m〕と計算される。したがって，この円運動の周期は $T = \boxed{\text{(ウ)}}$〔s〕，角周波数は $\omega = \boxed{\text{(エ)}}$〔rad/s〕となる。

ただし，電子の速さ v〔m/s〕は，光速より十分小さいものとする。また，重力の影響は無視できるものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



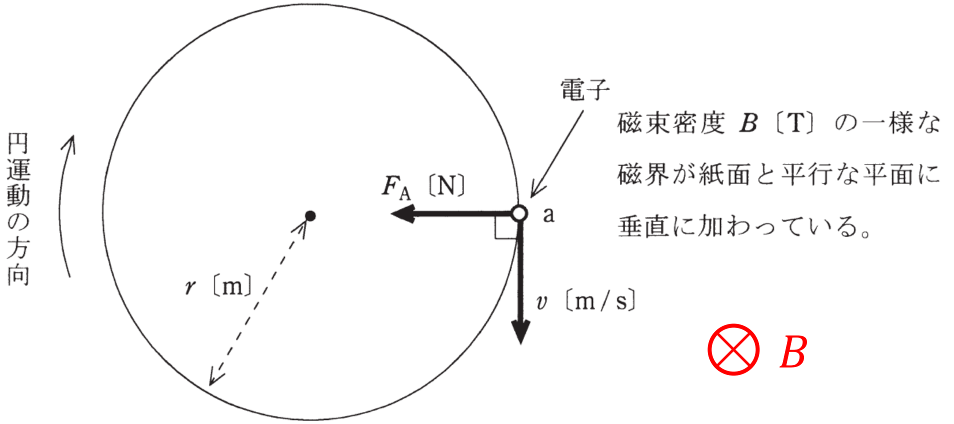
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{eB^2}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(2)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(3)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{e^2 B}$	$\dfrac{2e^2 B}{m_0}$
(4)	おもてから裏	$\dfrac{2m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB^2}$	$\dfrac{eB^2}{m_0}$
(5)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{2eB}$	$\dfrac{\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$

導出のポイント

問12　次の文章は，図に示す「磁界中における電子の運動」に関する記述である。

真空中において，磁束密度 B〔T〕の一様な磁界が紙面と平行な平面の $\boxed{(ア)}$ へ垂直に加わっている。ここで，平面上の点 a に電荷 $-e$〔C〕，質量 m_0〔kg〕の電子をおき，図に示す向きに速さ v〔m/s〕の初速度を与えると，電子は初速度の向き及び磁界の向きのいずれに対しても垂直で図に示す向きの電磁力 F_A〔N〕を受ける。この力のために電子は加速度を受けるが速度の大きさは変わらないので，その方向のみが変化する。したがって，電子はこの平面上で時計回りに速さ v〔m/s〕の円運動をする。この円の半径を r〔m〕とすると，電子の運動は，磁界が電子に作用する電磁力の大きさ $F_A=Bev$〔N〕と遠心力 $F_B=\dfrac{m_0}{r}v^2$〔N〕とが釣り合った円運動であるので，その半径は $r=\boxed{(イ)}$〔m〕と計算される。したがって，この円運動の周期は $T=\boxed{(ウ)}$〔s〕，角周波数は $\omega=\boxed{(エ)}$〔rad/s〕となる。

ただし，電子の速さ v〔m/s〕は，光速より十分小さいものとする。また，重力の影響は無視できるものとする。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	裏からおもて	$\dfrac{m_0v}{eB^2}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(2)	おもてから裏	$\dfrac{m_0v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(3)	おもてから裏	$\dfrac{m_0v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{e^2B}$	$\dfrac{2e^2B}{m_0}$
(4)	おもてから裏	$\dfrac{2m_0v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB^2}$	$\dfrac{eB^2}{m_0}$
(5)	裏からおもて	$\dfrac{m_0v}{2eB}$	$\dfrac{\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$

$$F=evB=mr\omega^2=m\frac{v^2}{r}=mv\omega$$

$$eB=m\omega$$

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi m}{eB}$$

$$evB=m\frac{v^2}{r}$$

$$r=\frac{mv}{eB}$$

H28 問12

問12　電荷q[C]をもつ荷電粒子が磁束密度B[T]の中を速度v[m/s]で運動するとき受ける電磁力はローレンツ力と呼ばれ，次のように導出できる。まず，荷電粒子を微小な長さΔl[m]をもつ線分とみなせると仮定すれば，単位長さ当たりの電荷(線電荷密度という。)は$\dfrac{q}{\Delta l}$[C/m]となる。次に，この線分が長さ方向に速度vで動くとき，線分には電流$I=\dfrac{vq}{\Delta l}$[A]が流れていると考えられる。そして，この微小な線電流が受ける電磁力は$F=BI\Delta l\sin\theta$[N]であるから，ローレンツ力の式$F=$ (ア) [N]が得られる。ただし，θはvとBとの方向がなす角である。FはvとBの両方に直交し，Fの向きはフレミングの (イ) の法則に従う。

では，真空中でローレンツ力を受ける電子の運動はどうなるだろうか。鉛直下向きの平等な磁束密度Bが存在する空間に，負の電荷をもつ電子を速度vで水平方向に放つと，電子はその進行方向を前方とすれば (ウ) のローレンツ力を受けて (エ) をする。

ただし，重力の影響は無視できるものとする。

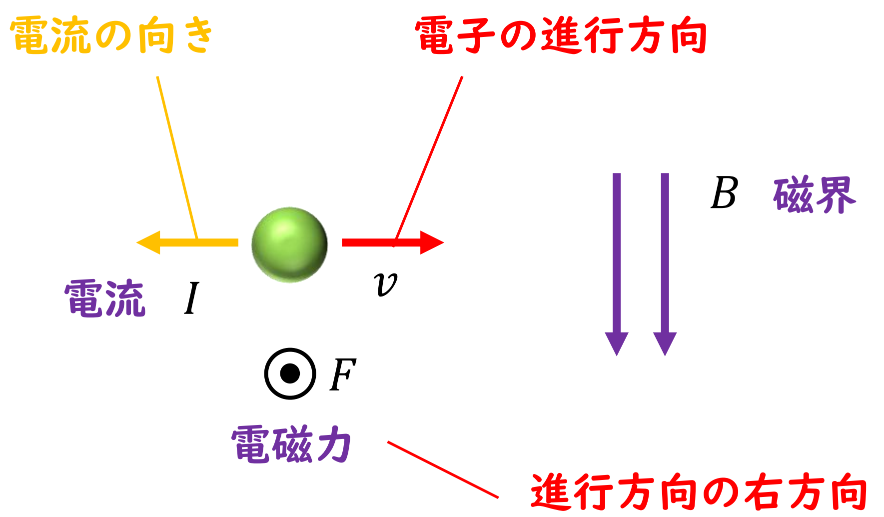
上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	$qvB\sin\theta$	右　手	右方向	放物線運動
(2)	$qvB\sin\theta$	左　手	右方向	円運動
(3)	$qvB\Delta l\sin\theta$	右　手	左方向	放物線運動
(4)	$qvB\Delta l\sin\theta$	左　手	左方向	円運動
(5)	$qvB\Delta l\sin\theta$	左　手	右方向	ブラウン運動

導出のポイント

問12　電荷 q [C]をもつ荷電粒子が磁束密度 B [T]の中を速度 v [m/s]で運動するとき受ける電磁力はローレンツ力と呼ばれ，次のように導出できる。まず，荷電粒子を微小な長さ Δl [m]をもつ線分とみなせると仮定すれば，単位長さ当たりの電荷(線電荷密度という。)は $\frac{q}{\Delta l}$ [C/m]となる。次に，この線分が長さ方向に速度 v で動くとき，線分には電流 $I=\frac{vq}{\Delta l}$ [A]が流れていると考えられる。そして，この微小な線電流が受ける電磁力は $F=BI\Delta l\sin\theta$ [N]であるから，ローレンツ力の式 $F=$ [　(ア)　] [N]が得られる。ただし，θ は v と B との方向がなす角である。F は v と B の両方に直交し，F の向きはフレミングの [　(イ)　] の法則に従う。
では，真空中でローレンツ力を受ける電子の運動はどうなるだろうか。鉛直下向きの平等な磁束密度 B が存在する空間に，負の電荷をもつ電子を速度 v で水平方向に放つと，電子はその進行方向を前方とすれば [　(ウ)　] のローレンツ力を受けて [　(エ)　] をする。
ただし，重力の影響は無視できるものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	$qvB\sin\theta$	右　手	右方向	放物線運動
(2)	$qvB\sin\theta$	左　手	右方向	円運動
(3)	$qvB\Delta l\sin\theta$	右　手	左方向	放物線運動
(4)	$qvB\Delta l\sin\theta$	左　手	左方向	円運動
(5)	$qvB\Delta l\sin\theta$	左　手	右方向	ブラウン運動

ご聴講ありがとう
ございました!!