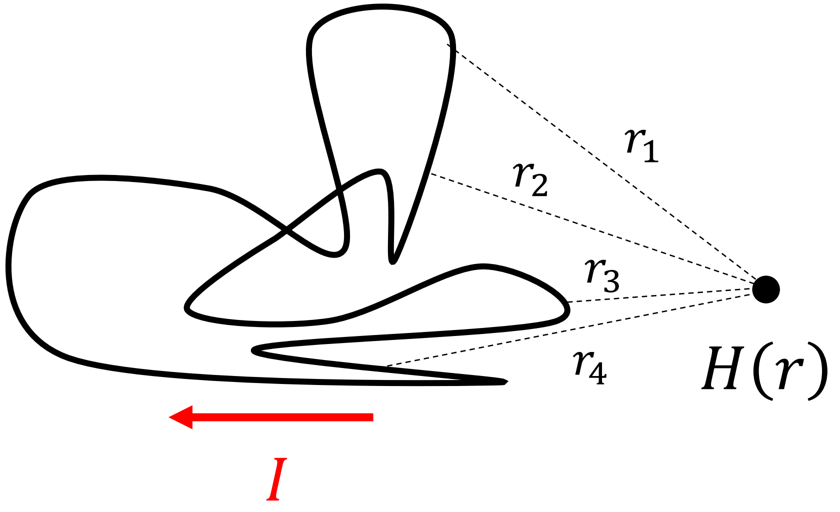
電験どうでしょう管理人
KWG presents

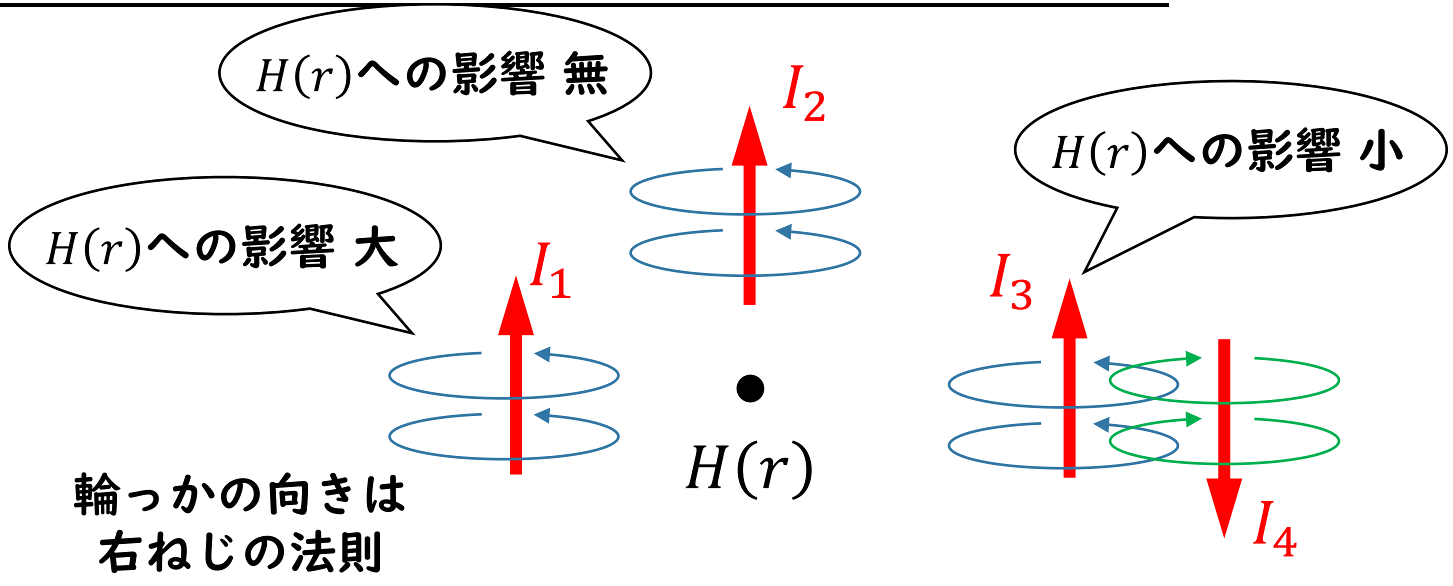
電験オンライン塾

第7回　電磁気学
~磁気回路~

2021.07.31 Sat

ビオ・サバールの法則





（ルールⅠ）

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

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

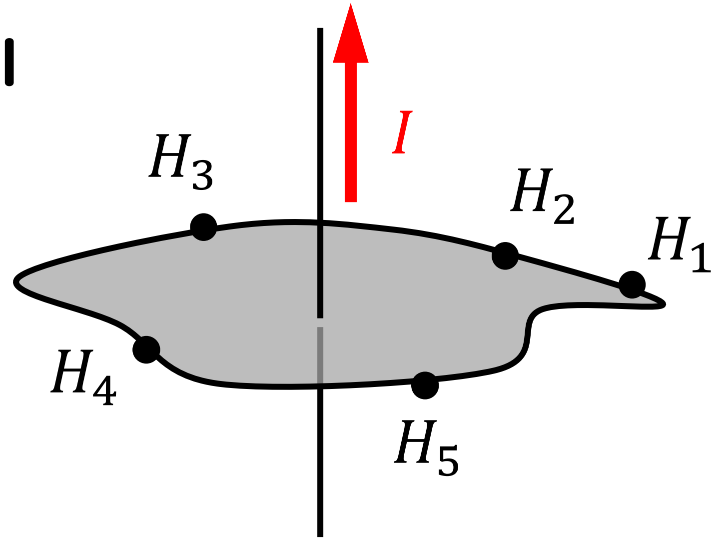
（ルール２）

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

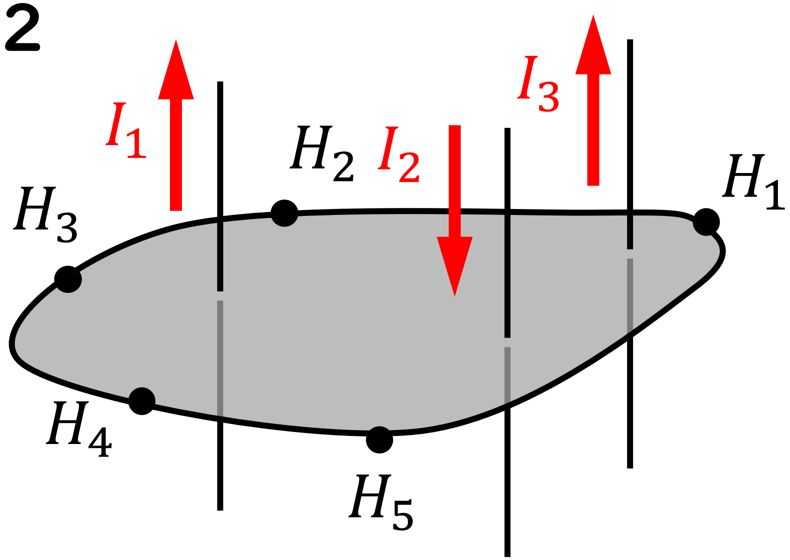
ビオ・サバールの法則
→ある点の磁界を求めるのに有効

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

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

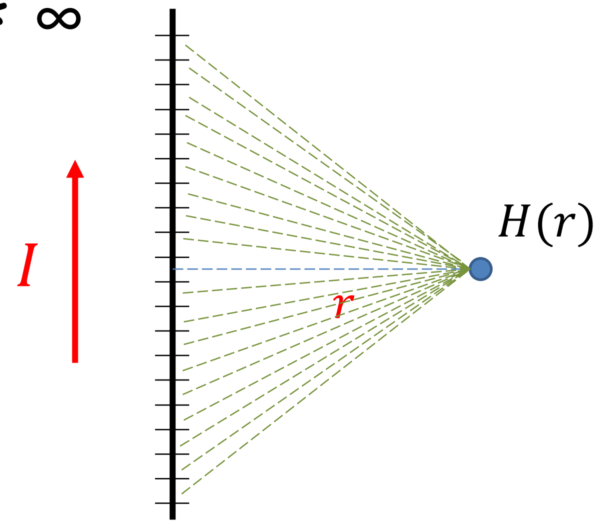
電流の総和 ＝ ある経路の磁界の総和

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 ∞

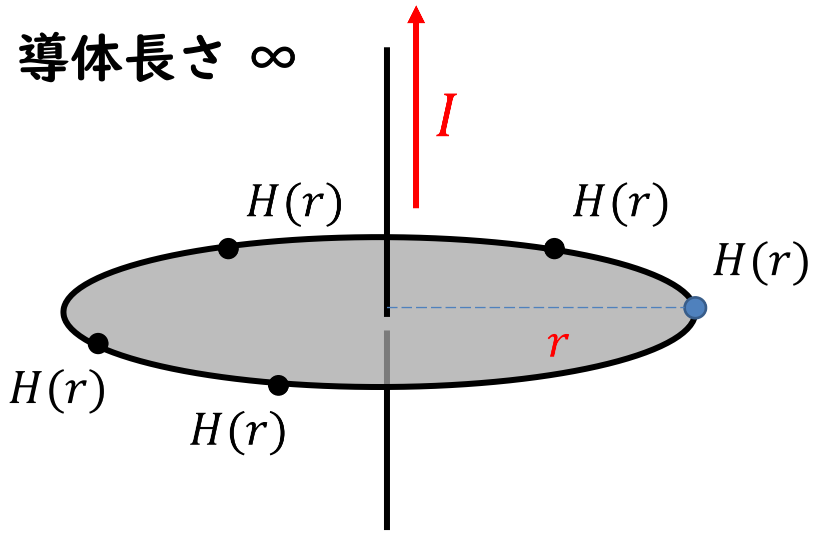


電流の経路を刻んで、
各点と位置rとの距離を用いる

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

アンペールの法則

導体長さ ∞

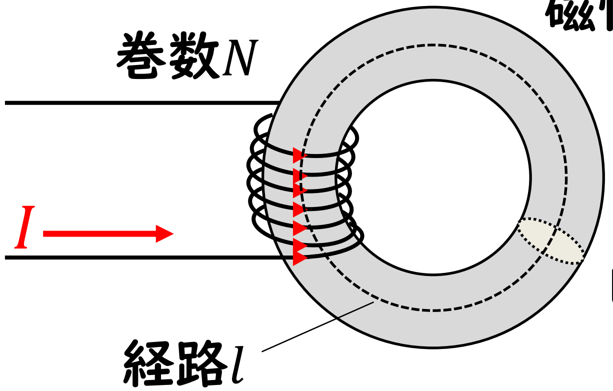


電流から半径r離れた点の磁界は
どの点も等しく$H(r)$となるので

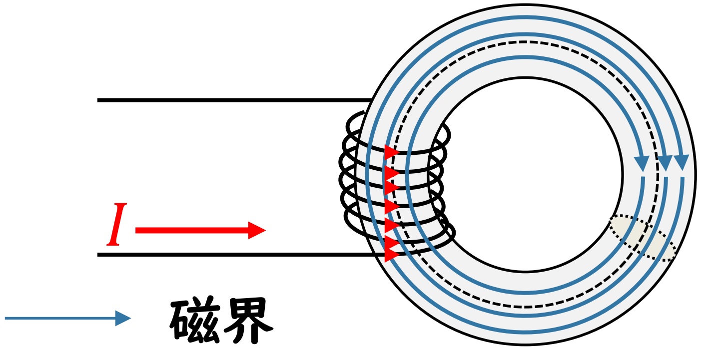
$$I = 2\pi r\, H(r)$$

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

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

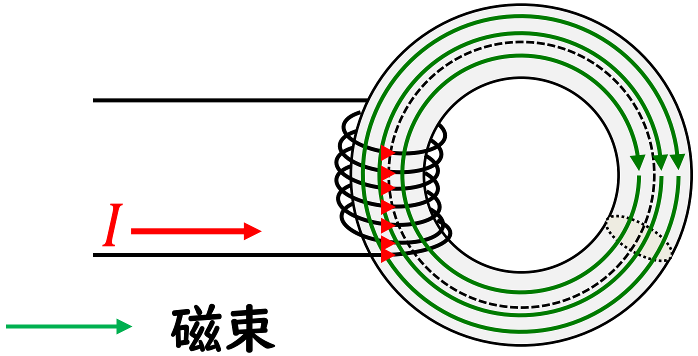


磁界Hを求める

アンペールの法則
（ビオサバールの法則に似ている）

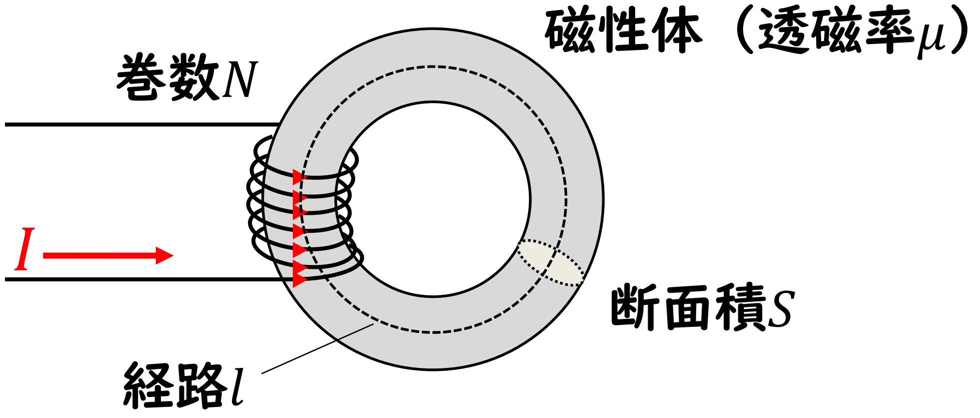
（電流）＝（ある経路の磁界の総和）

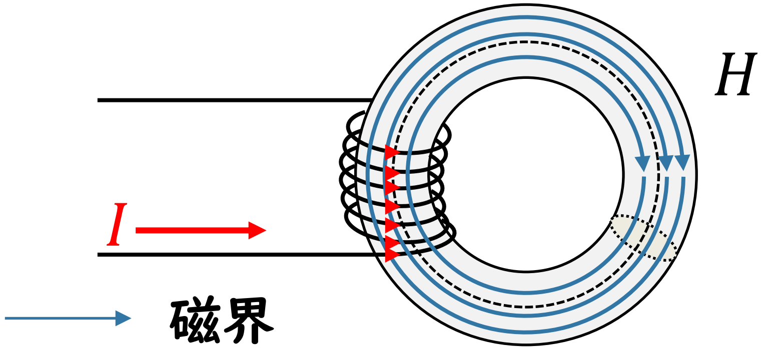
$$NI = Hl$$

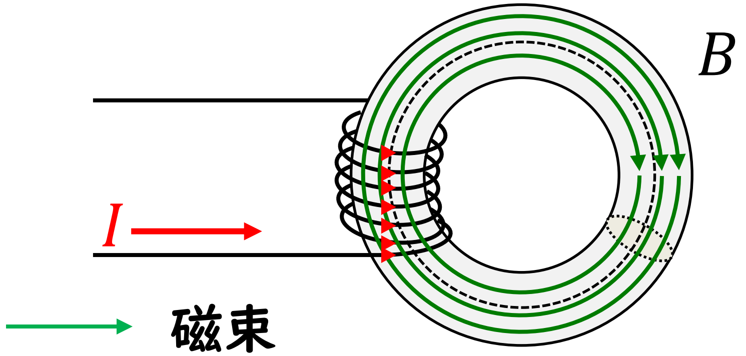


※ビオサバールの法則はある点の磁界を求める公式

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
電圧V	→	電流I
電流I	→	磁束Φ
抵抗R	→	磁気抵抗R_m

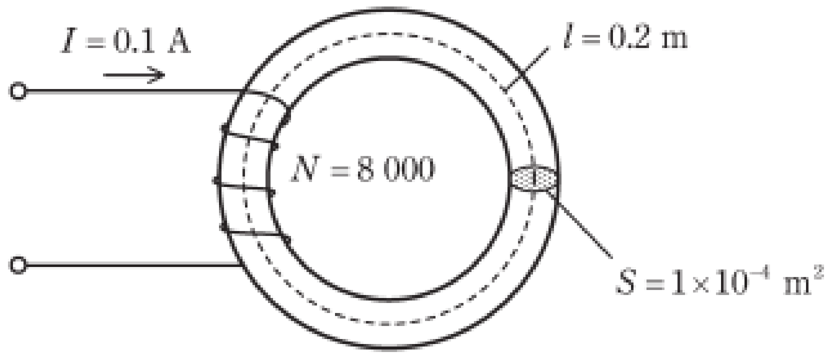
$V = \dfrac{\rho l}{S} I = \dfrac{l}{\sigma S} I = RI$

ρ：抵抗率、σ：導電率

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}

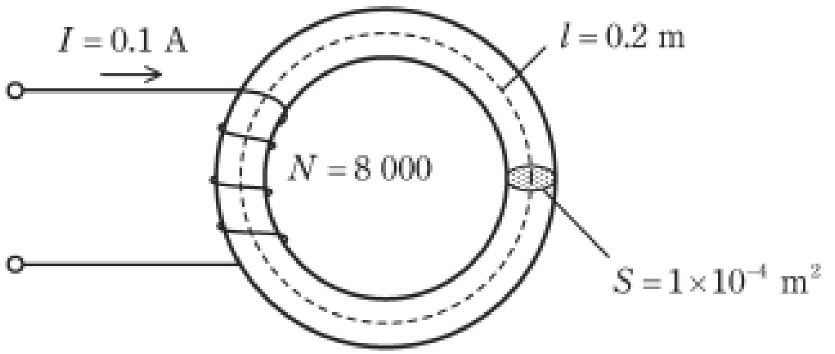
導出のポイント

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

$$\mu = \frac{l\Phi}{SNI} = \frac{lB}{NI}$$

問４　図のように，磁路の長さ $l=0.2\,\mathrm{m}$，断面積 $S=1\times10^{-4}\,\mathrm{m}^2$ 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 $I=0.1\,\mathrm{A}$ を流したとき，鉄心中の磁束密度は $B=1.28\,\mathrm{T}$ 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。

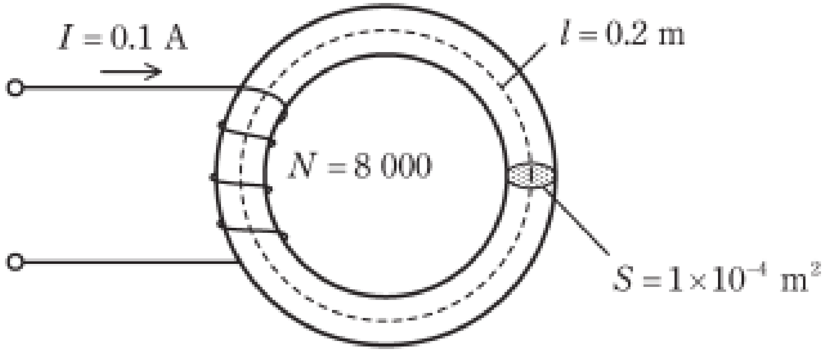


(1) 1.6×10^{-4}　(2) 2.0×10^{-4}　(3) 2.4×10^{-4}　(4) 2.8×10^{-4}　(5) 3.2×10^{-4}

R01　問4

問４　図のように，磁路の長さ l=0.2 m，断面積 $S=1\times10^{-4}\,\mathrm{m}^2$ 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。



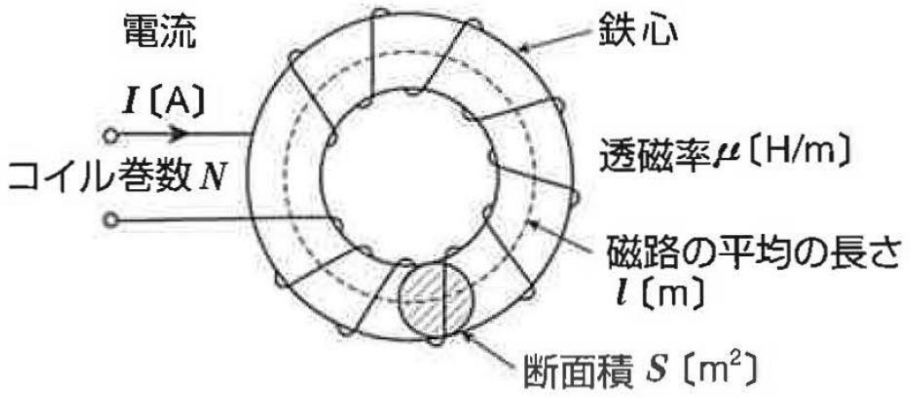
(1) 1.6×10^{-4}　(2) 2.0×10^{-4}　(3) 2.4×10^{-4}　(4) 2.8×10^{-4}　(5) 3.2×10^{-4}

H20 問3

図のように，磁路の平均の長さ l〔m〕，断面積 S〔m^2〕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．



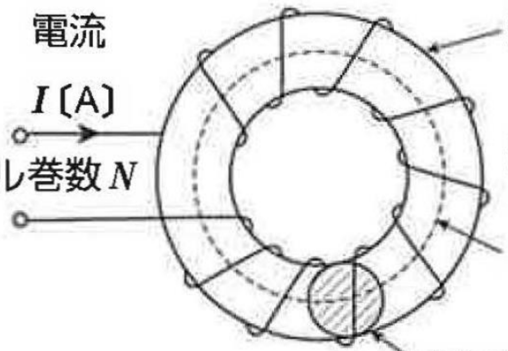
	(ア)	(イ)
(1)	I	$\dfrac{l}{\mu S}I$
(2)	I	$\dfrac{\mu S}{l}I$
(3)	NI	$\dfrac{lN}{\mu S}I$
(4)	NI	$\dfrac{\mu SN}{l}I$
(5)	N^2I	$\dfrac{\mu SN^2}{l}I$

H20 問3

図のように，磁路の平均の長さ l〔m〕，断面積 S〔m^2〕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．

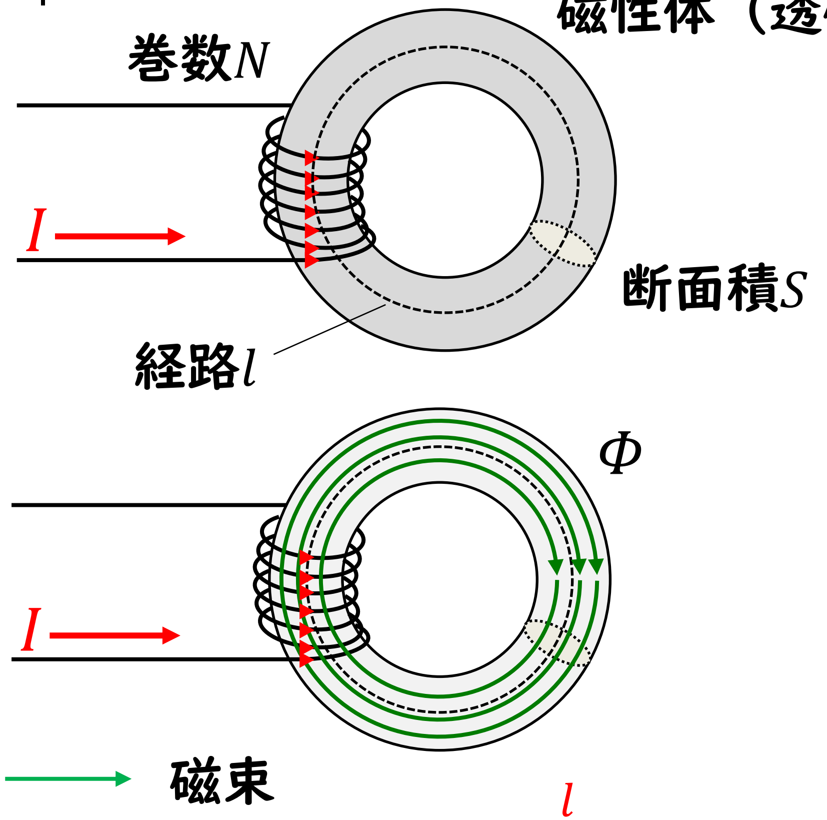
ただし，鉄心及びコイルの漏れ磁束はないものとする．

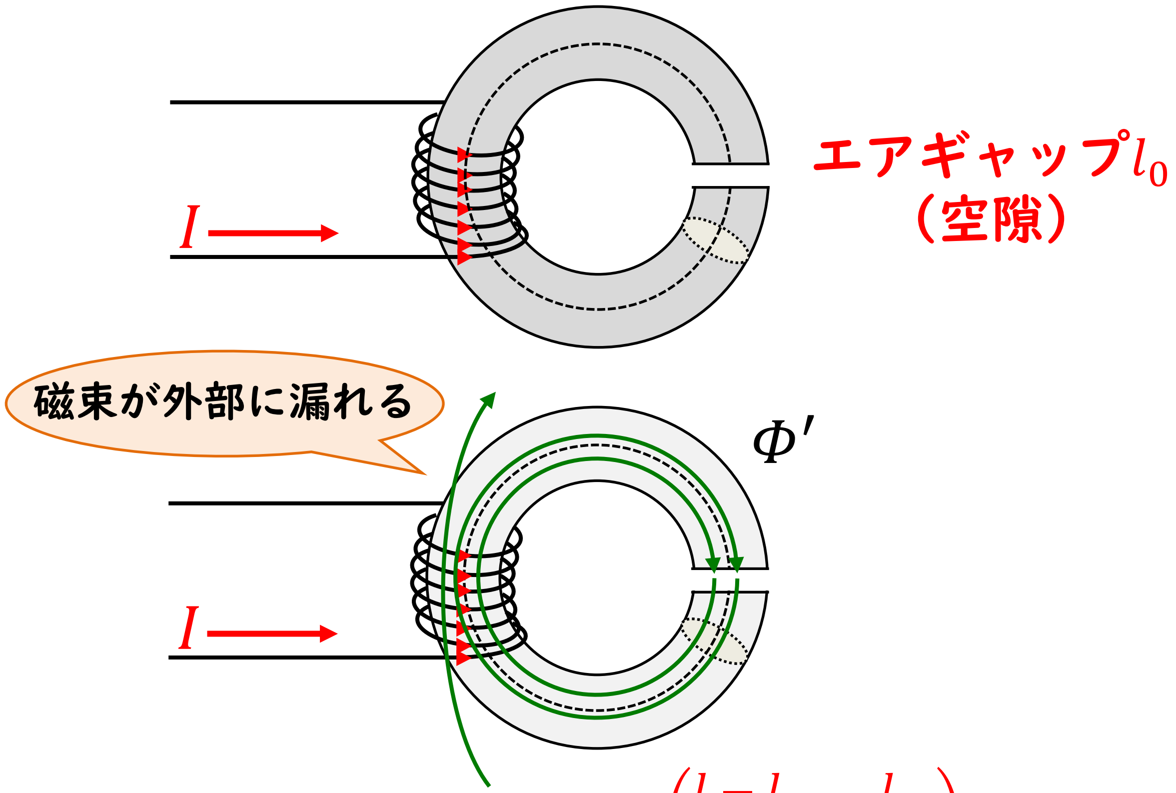
上記の記述中の空白箇所(ア)及び(イ)に当てはまる式として，正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか．



	(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	$\dfrac{\mu SN^2}{l}I$

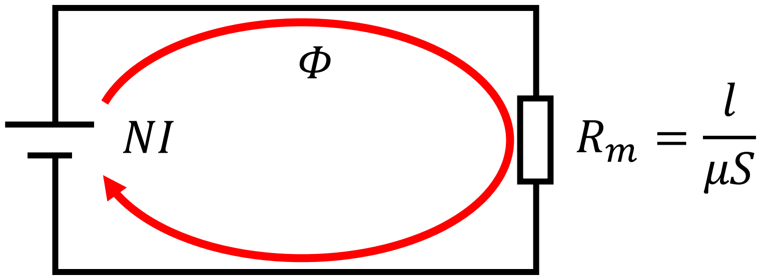
磁気回路とエアギャップ



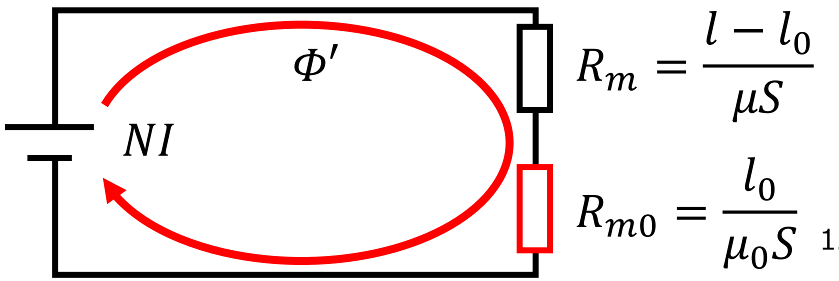


$$NI = \frac{l}{\mu S}\Phi = R_m\Phi$$

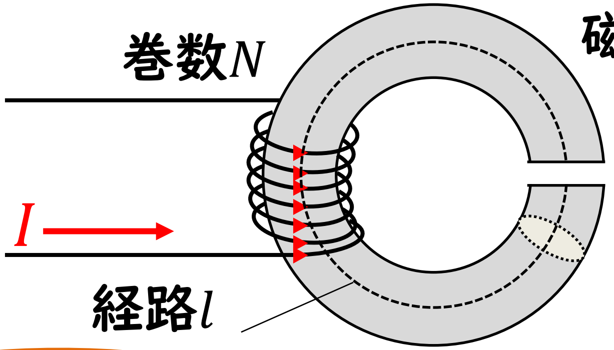
$$NI = \left(\frac{l - l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S}\right)\Phi' = (R_m + R_{m0})\Phi'$$

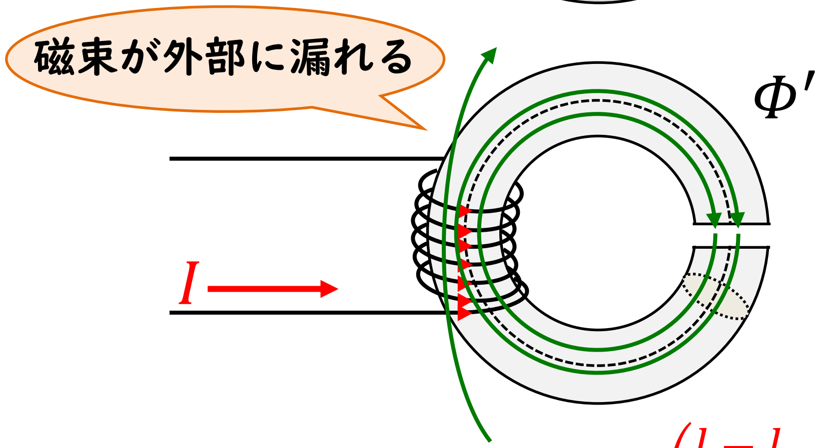


電気回路		磁気回路
電圧V	→	電流I
電流I	→	磁束Φ
抵抗R	→	磁気抵抗R_m



磁気回路とエアギャップ





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

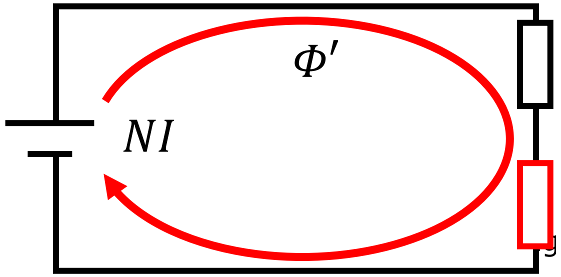
$$R_{m0} = \frac{\frac{1}{100} l}{\frac{1}{5000} \mu S} \sim 50 R_m$$

$$NI = \left(\frac{l - l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S} \right) \Phi' = (R_m + R_{m0}) \Phi'$$

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

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

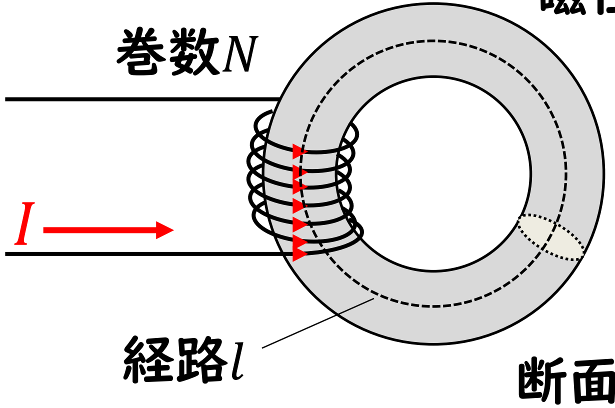


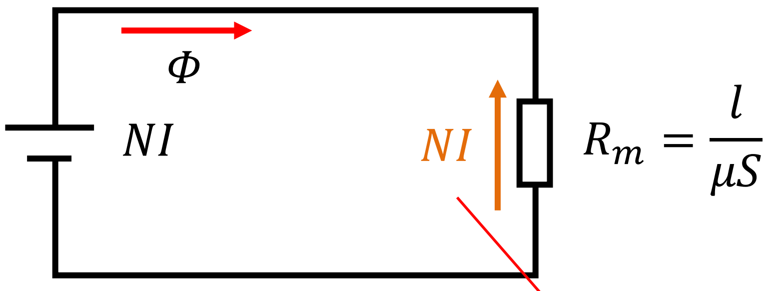
$$R_m = \frac{l - l_0}{\mu S}$$

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

磁気回路とエアギャップ

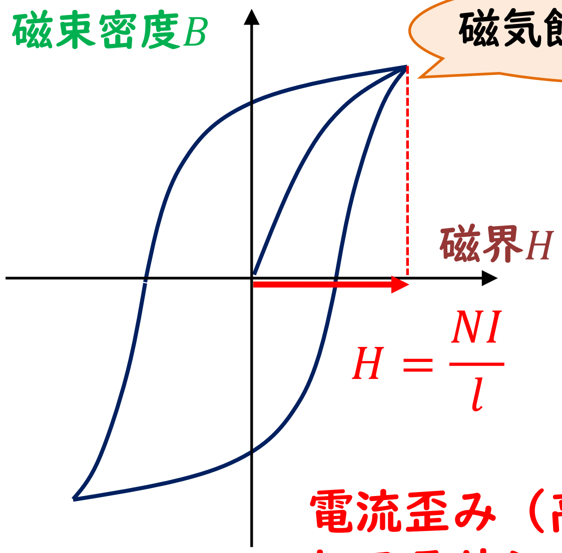
磁性体（透磁率μ）





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

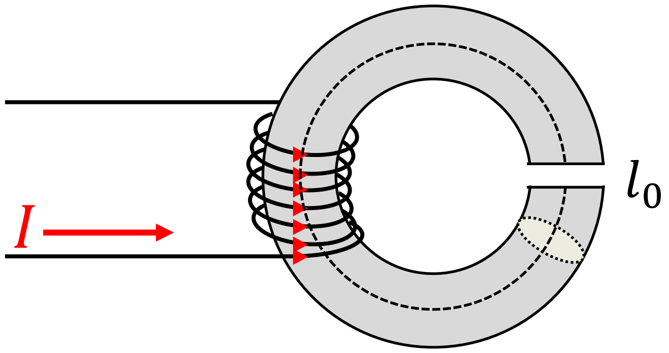
$$NI = \frac{l}{\mu S}\Phi = R_m\Phi$$

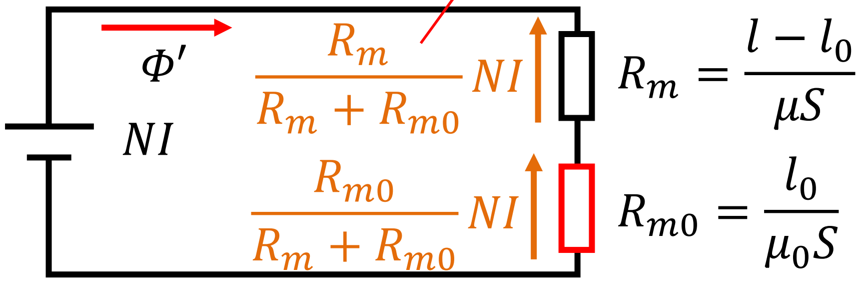


変圧器の鉄心では

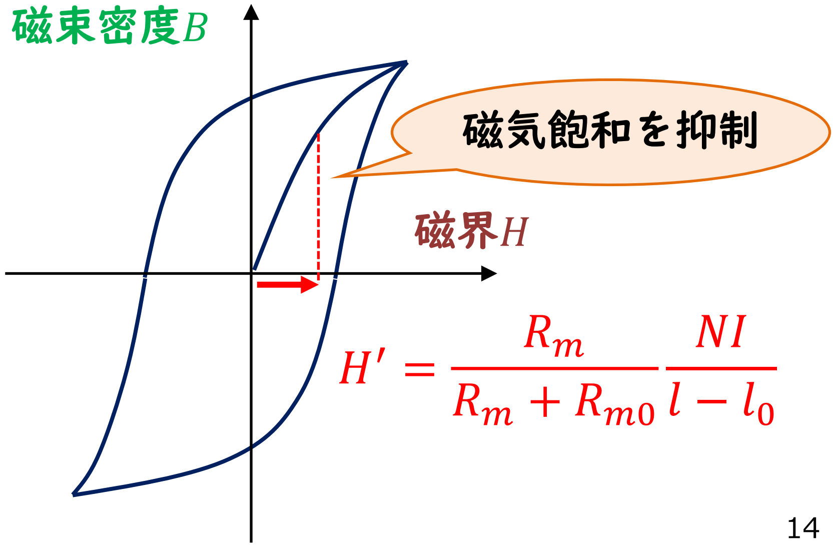
電流歪み（高調波）発生
ヒステリシス損の増加

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





$$NI = \left(\frac{l - l_0}{\mu S} + \frac{l_0}{\mu_0 S}\right)\Phi' = (R_m + R_{m0})\Phi'$$



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。

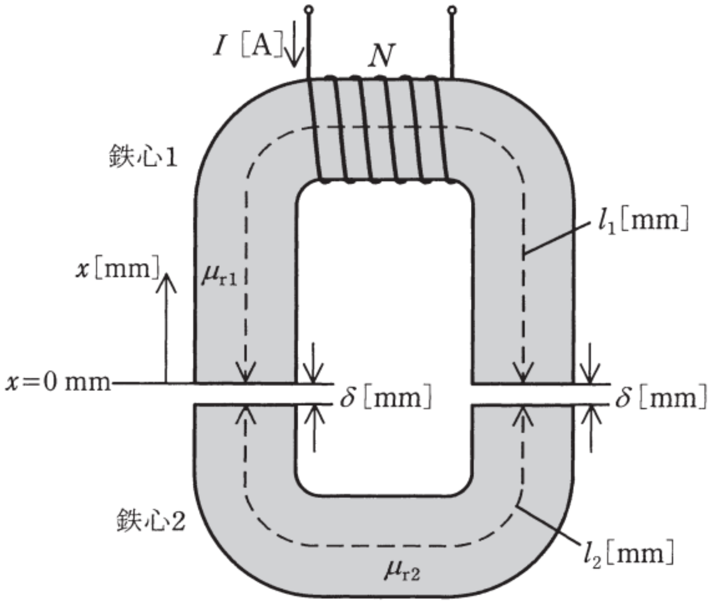
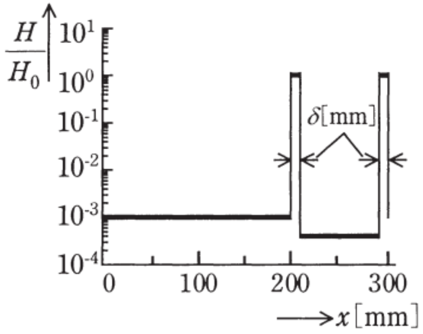


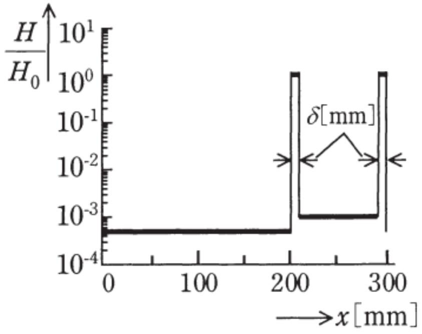
図1

(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。

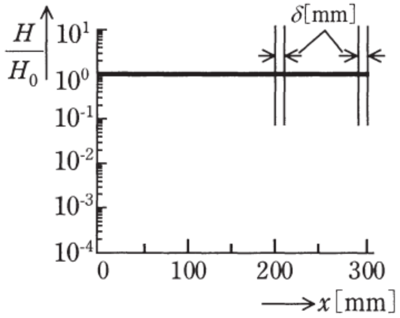
(1)



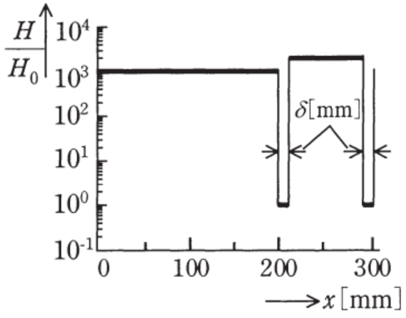
(2)



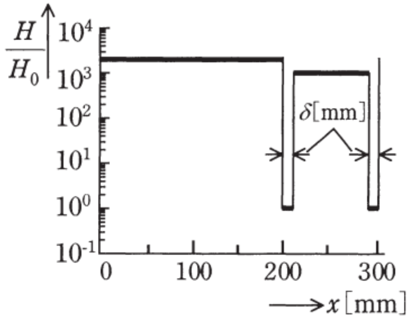
(3)



(4)



(5)



導出のポイント

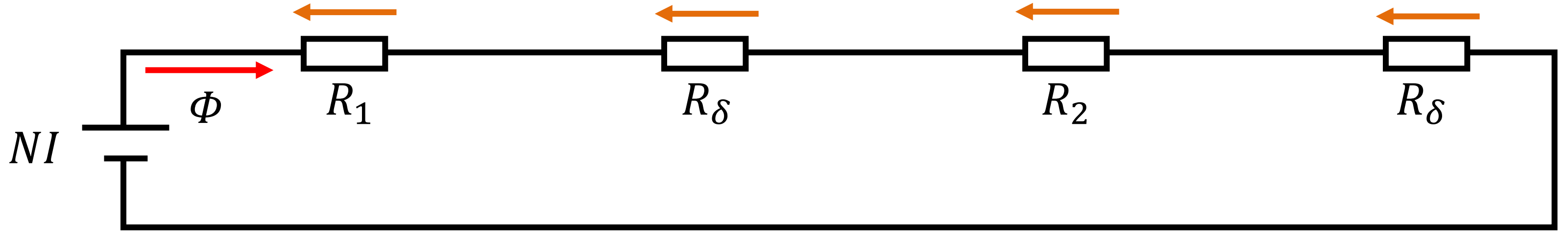
$$H_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{l_1}$$

$$H_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{l_2}$$

$$H_0 = \frac{R_\delta}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{\delta}$$

$$H_0 = \frac{R_\delta}{R_1 + R_2 + 2R_\delta}\frac{NI}{\delta}$$

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



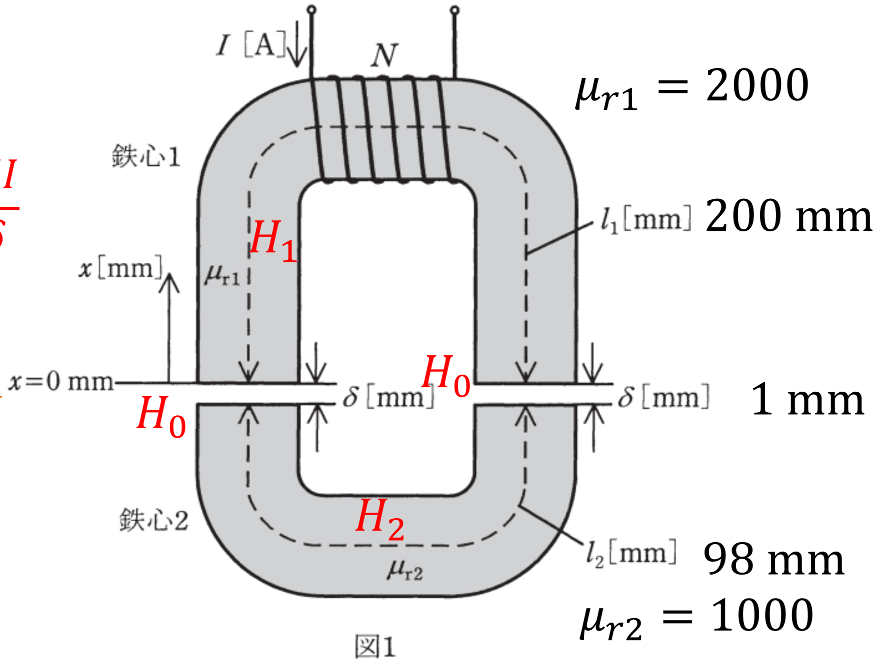
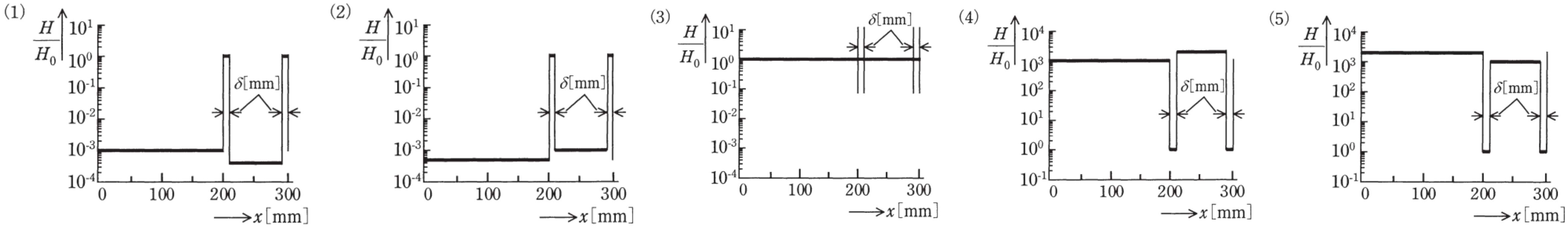


図1



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。

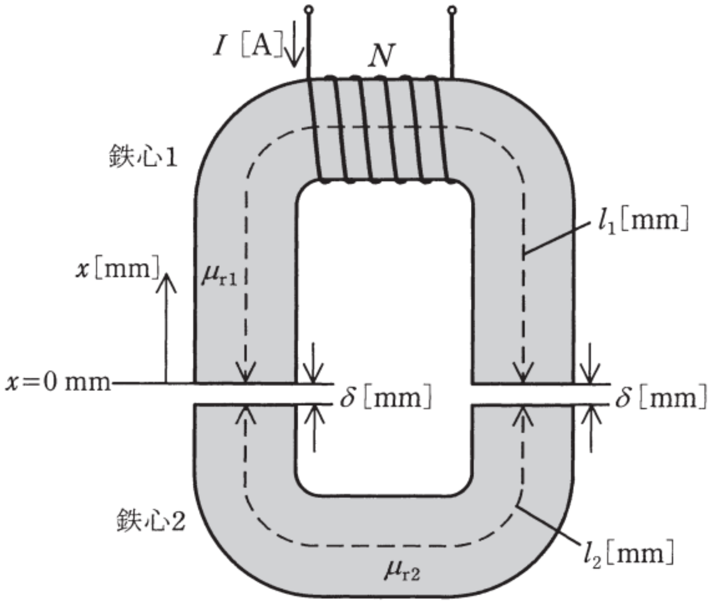
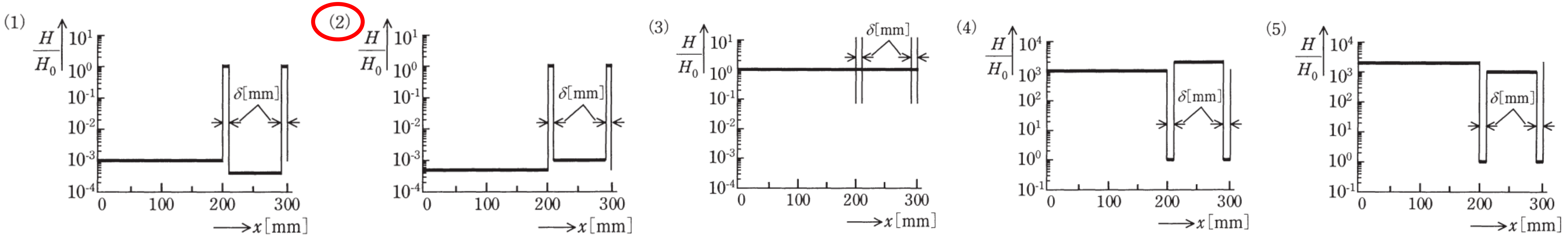


図1

(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。



ご聴講ありがとうございました!!