電流と磁場

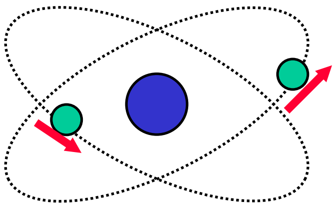
情報物理学A

No. 4

電流と磁場

ミクロに見れば磁石の磁場は原子レベルの「電流」

磁石



電流

磁場

今回
アンペールの法則
ビオサバールの法則

磁場関係の記号

$\vec{H}$　　磁場　　単位 A/m

$\vec{B}$　　磁場　　単位 T（テスラ）

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$　　真空の透磁率　　単位 H/m

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$　　真空中（空気中も）

$\Phi \quad (= BS)$　　磁束　　単位 Wb（ウェーバ）

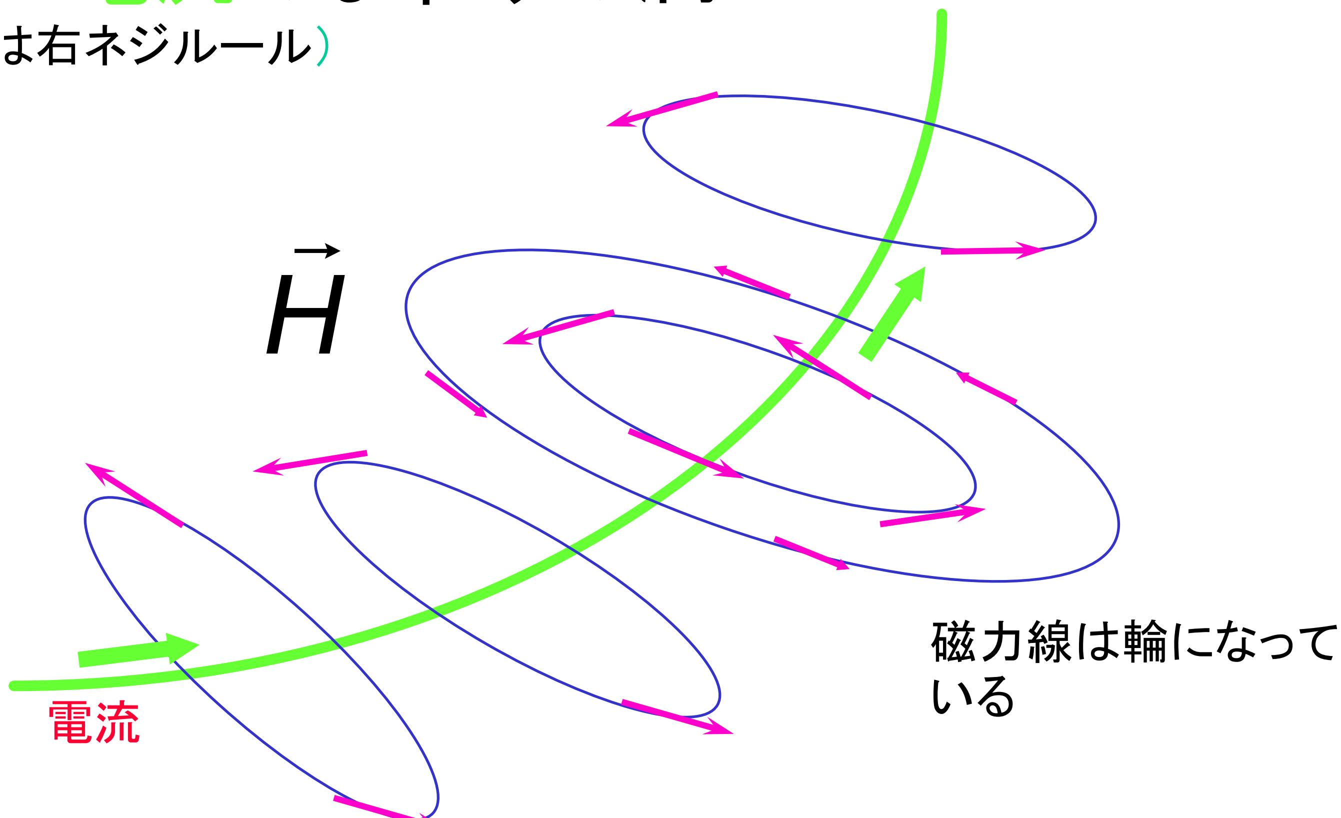
電流が作る磁場(電磁石)

- 電磁石の写真

電流と磁場のイメージ

磁場＝電流のまわりの渦

（向きは右ネジルール）

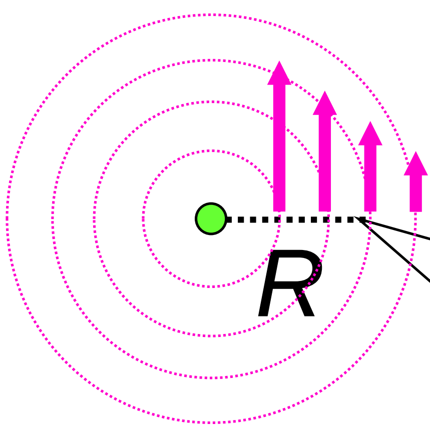


直線電流のまわりの磁場

$$\vec{H} = \begin{cases} \text{大きさ} & \dfrac{I}{2\pi R} \\ \text{向き} & \text{右ネジ渦状} \end{cases}$$

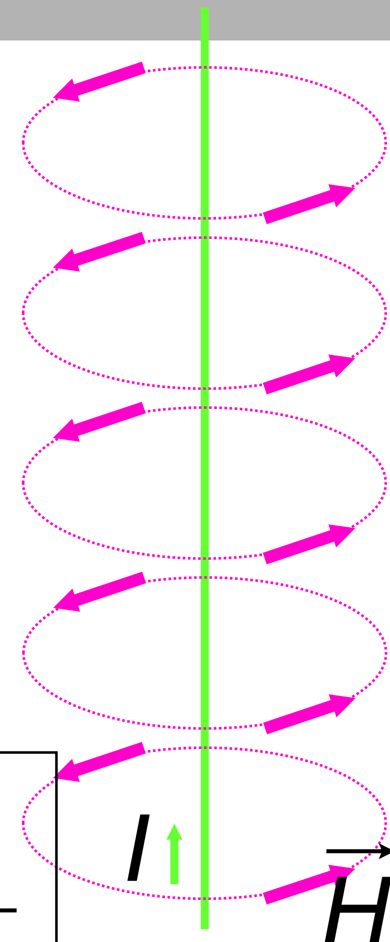
Rは電流から磁場の観測点までの距離

Hの単位
A／m



$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

上から見た図

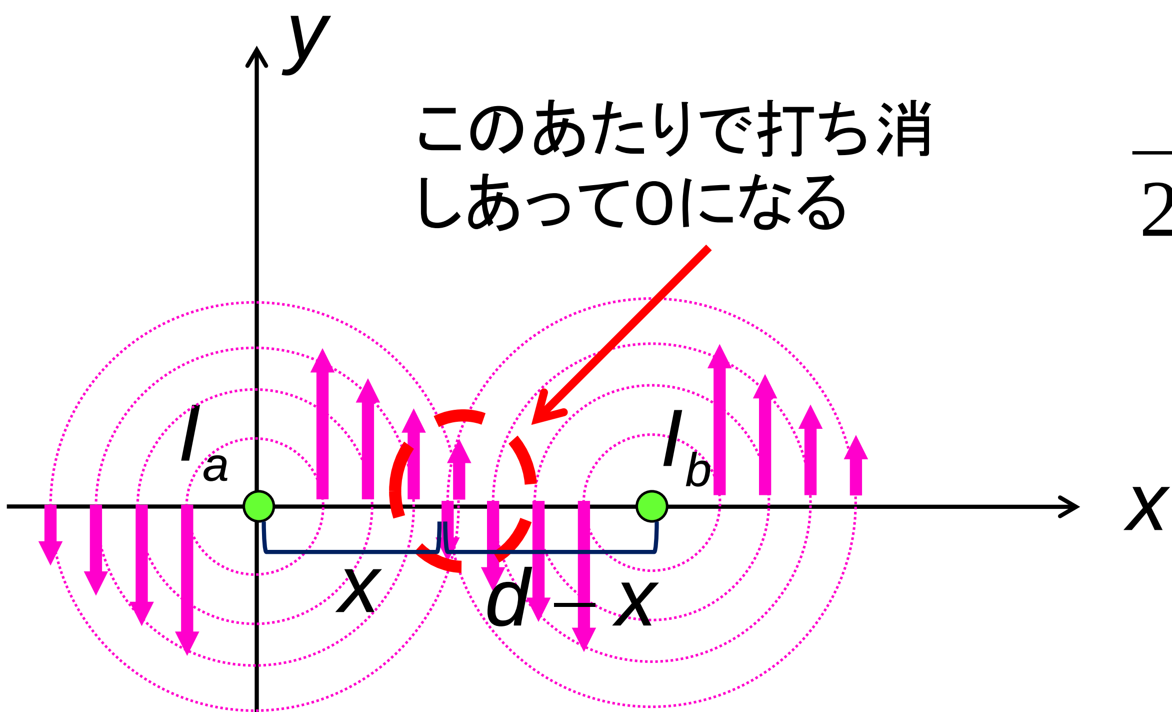


練習－1

強さI_a, I_bの2本の電流があり，z軸方向に流れている。I_aは(0,0,0)を，I_bは(d,0,0)を通る。x軸上で磁場の強さが0である位置を答えよ。

考え方: ベクトルとして重ね合わせる

まず図を描く！



$$\frac{I_a}{2\pi x} = \frac{I_b}{2\pi(d-x)}$$

$$I_a(d-x) = I_b x$$

$$\boxed{x = \frac{I_a d}{I_a + I_b}}$$

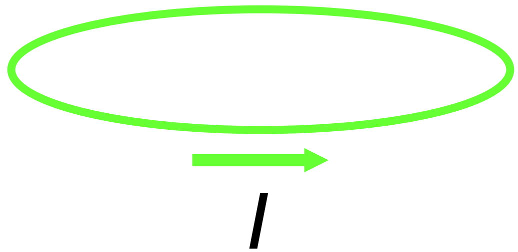
$$H = \frac{I_a}{2\pi x}$$

位置x での磁場の強さ

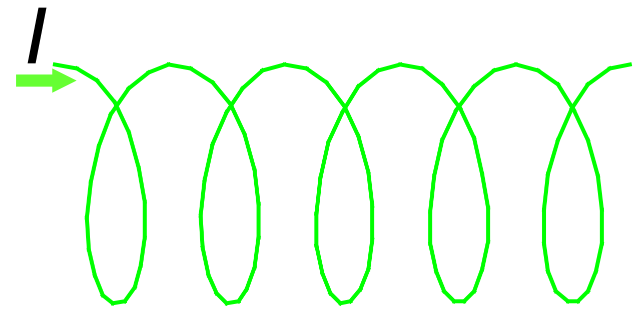
$$H = \frac{I_b}{2\pi(d-x)}$$

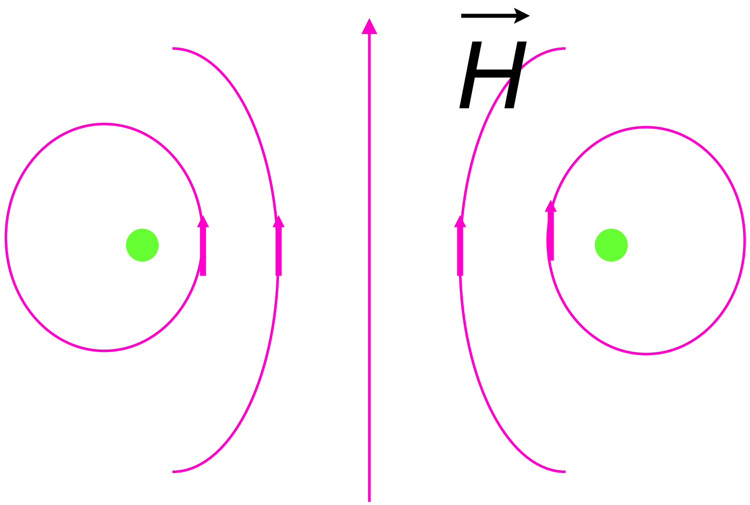
位置x での磁場の強さ

円電流

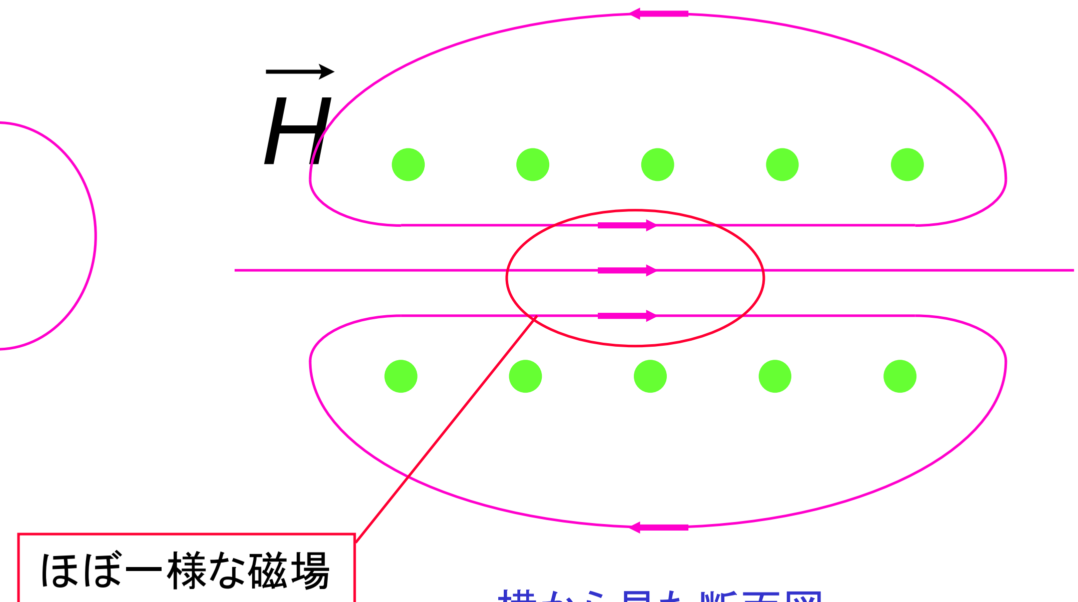


ソレノイド



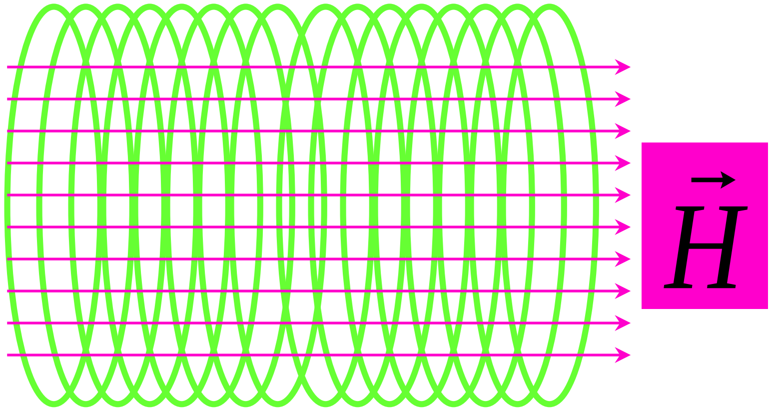


横から見た断面図



横から見た断面図

ソレノイドの磁場



電流 I が流れている

十分長いソレノイド
→ 一様な磁場ができる

$$n = \frac{\text{巻数}}{\text{長さ}}$$

$$\boxed{H = nI}$$

練習－2

長さ50cm，全巻数が1000のソレノイドがある。電流0.2Aを流した時の，コイル内部の磁場を答えよ。

長さ50cm，全巻数が1000のソレノイドがある。電流0.2Aを流した時の，コイル内部の磁場を答えよ。

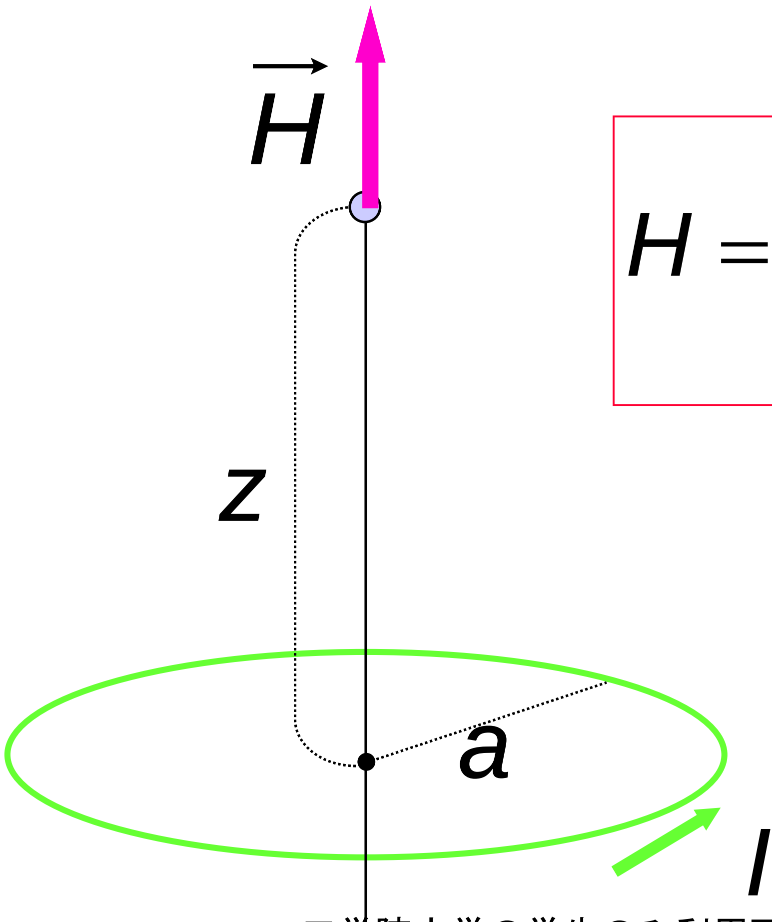
$$\boxed{H = nI}$$

$$n = \frac{1000}{0.5} = 2000\ \mathrm{m}^{-1}$$

単位はSI にそろえる

$$H = 2000 \times 0.2 = 400\ \mathrm{A/m}$$

円形電流の作る磁場

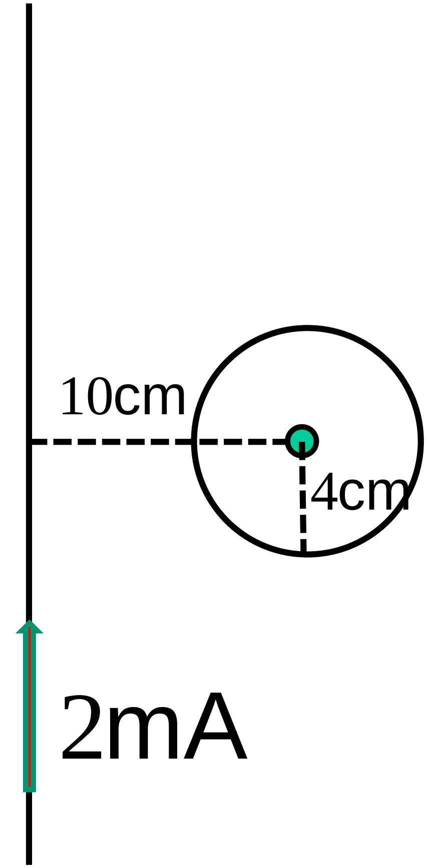


$$\boxed{H=\frac{Ia^2}{2(\sqrt{a^2+z^2})^3}}$$

右ねじの向き

練習3

図で直線の導線には2mAの電流が流れている。円形導線の中心での磁場を0とするためには，円形導線に，どちら向きにどれだけの電流を流せば良いか。



磁場の向き

直線電流の作る磁場の向き･･･ 右ねじ･･･手前から奥向き

⇒円電流の作る磁場はそれと逆（奥から手前向き）

⇒右ねじ･･･円電流は反時計回り

磁場の強さ

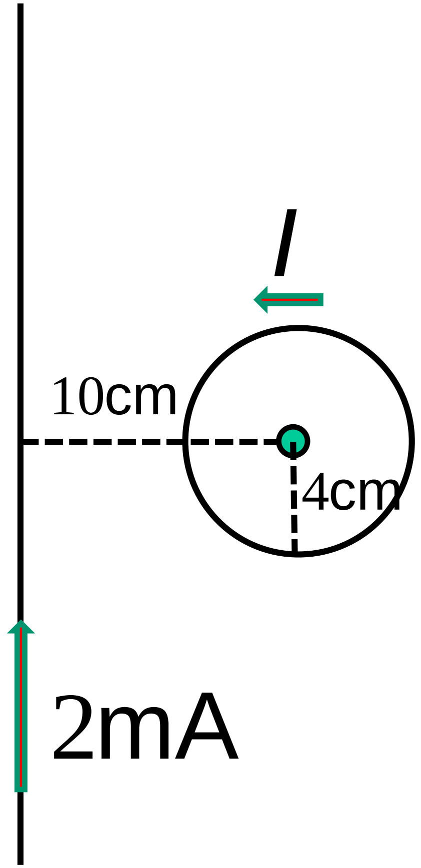
直線電流の作る磁場 $H=\dfrac{I}{2\pi R}=\dfrac{2\times10^{-3}}{2\pi\times0.1}$

円電流の作る磁場 $H=\dfrac{I}{2r}=\dfrac{I}{2\times0.04}$

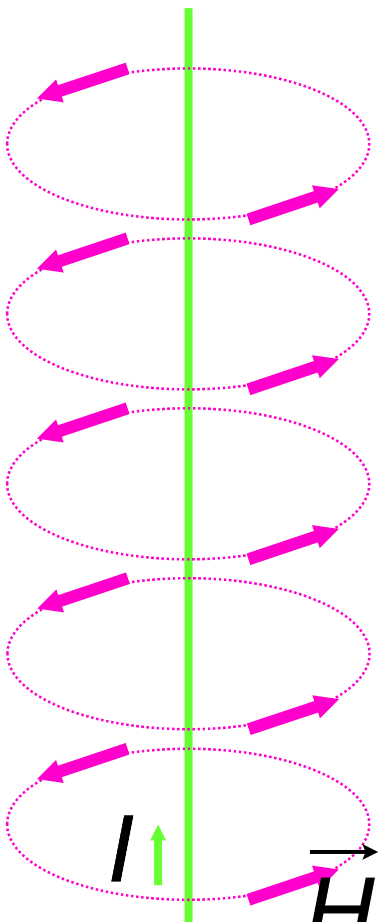
両者が等しい

$$\frac{2\times10^{-3}}{2\pi\times0.1}=\frac{I}{2\times0.04}$$

$$\Rightarrow\ I=0.25\times10^{-3}\ A$$

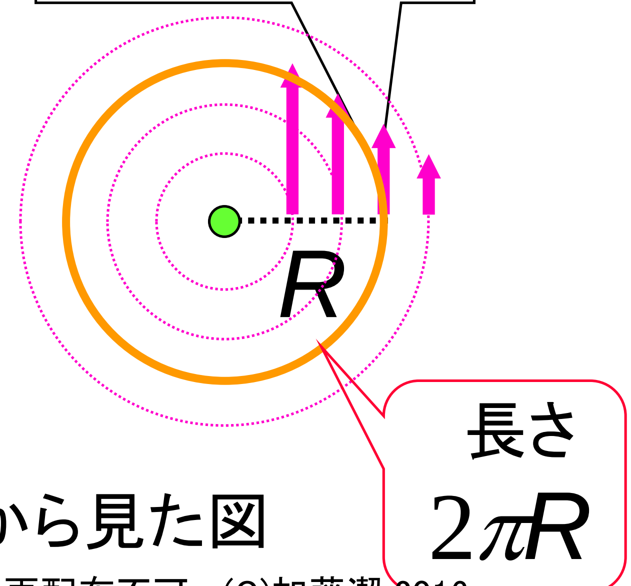


直線電流→アンペールの法則へ



直線電流の
周りの磁場

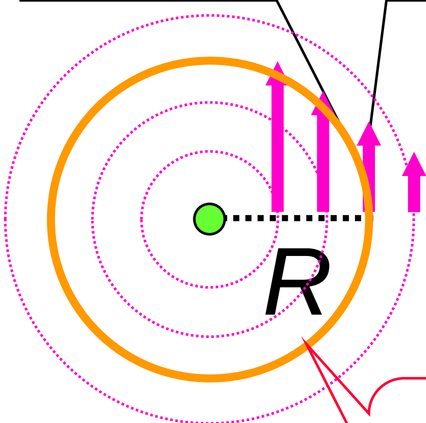
$$H = \frac{I}{2\pi R}$$



上から見た図

特別な例を一般化→法則

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$



長さ

$2\pi R$

- 磁場
- 直線電流の作る場
- 円周の長さ

$$\frac{I}{2\pi R} \times 2\pi R$$

$= I$　一定の量

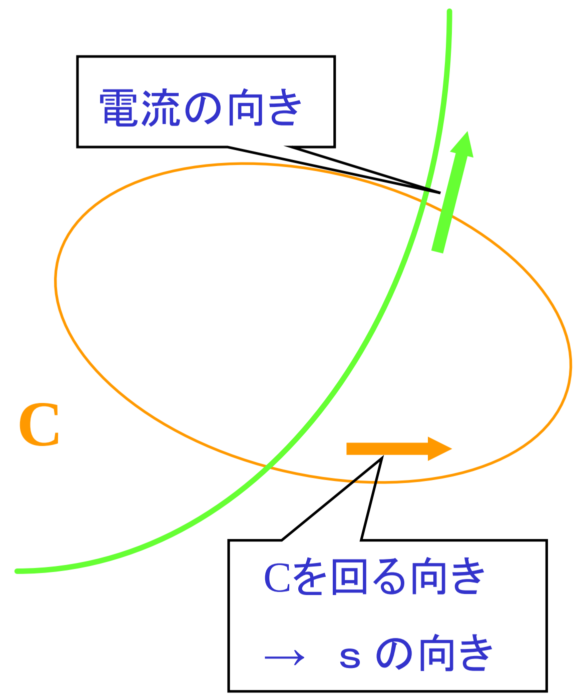
アンペールの法則

磁場　×　閉曲線Cの長さ　＝　通り抜ける電流

$$H \cdot s = I$$

閉曲線：　輪になった端のない曲線

Cを回る向きと電流の向きは右ねじルールで決める



アンペールの法則

閉曲線Cを回る方向が正の接線方向

精密化

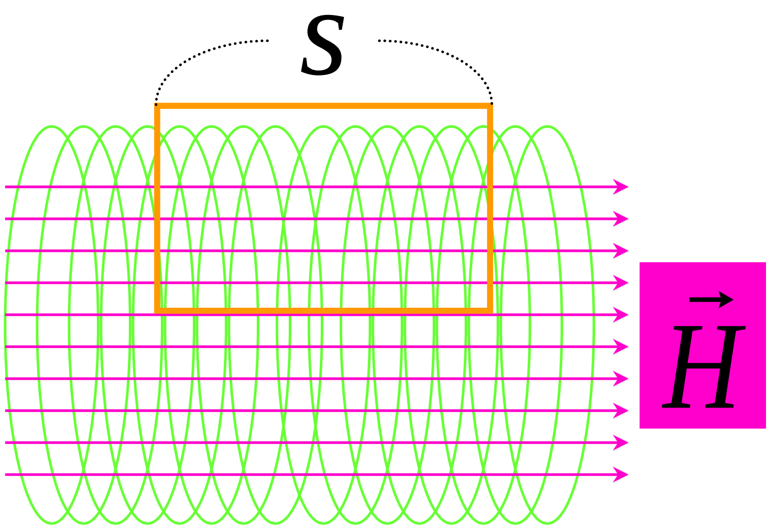
- 磁場ベクトルの成分　→接線成分
- 磁 … 加える

Maxwellの方程式の1つ

任意の閉曲線Cに沿ってのH×sの和　　閉曲線Cを通り抜ける電流の和

$$\sum H_t \Delta s = \sum I$$

応用（ソレノイド）



電流 I が流れている

十分長いソレノイド
→ 一様な磁場ができる

$$n = \frac{\text{巻数}}{\text{長さ}}$$

アンペールの法則

$$\boxed{\sum H_t \Delta s = \sum I}$$

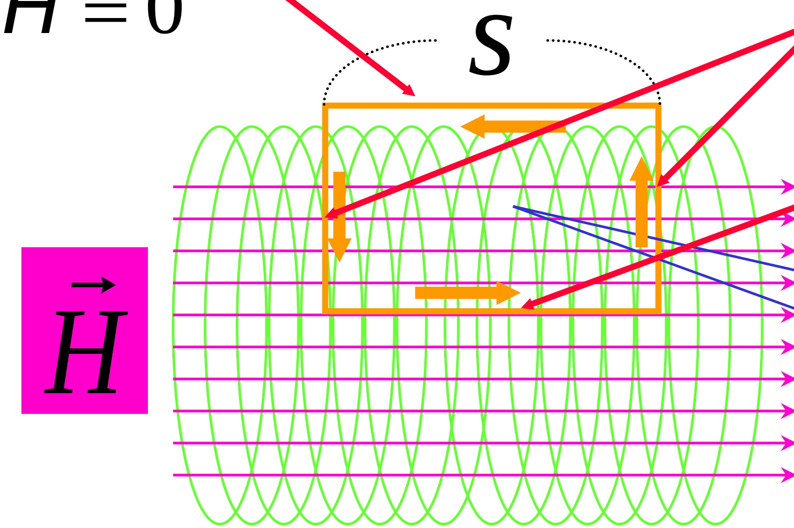
閉曲線Cとして
一辺がsの
長方形をとる

コイル外で磁場なし

$H = 0$

$\vec{H}$あり　$H_t = 0 \quad (\because \boxed{\vec{H}} \perp \boxed{\vec{s}})$

$H_t = H \quad (\because \boxed{\vec{H}} // \boxed{\vec{s}})$



長方形Cを通る電流の数

$N = ns$

$$\boxed{\sum H_t \Delta s = \sum I}$$

$$H \cdot s + 0 + 0 + 0 = (ns) I$$

$$\boxed{H = nI}$$

ビオサバールの法則

方針

- 電流を多数の微小部分（電流素片）に分割
- 各電流素片の作る磁場を求める
- それを電流全体について加える

$$\Delta\vec{H} = \frac{\Delta\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^{3}}$$

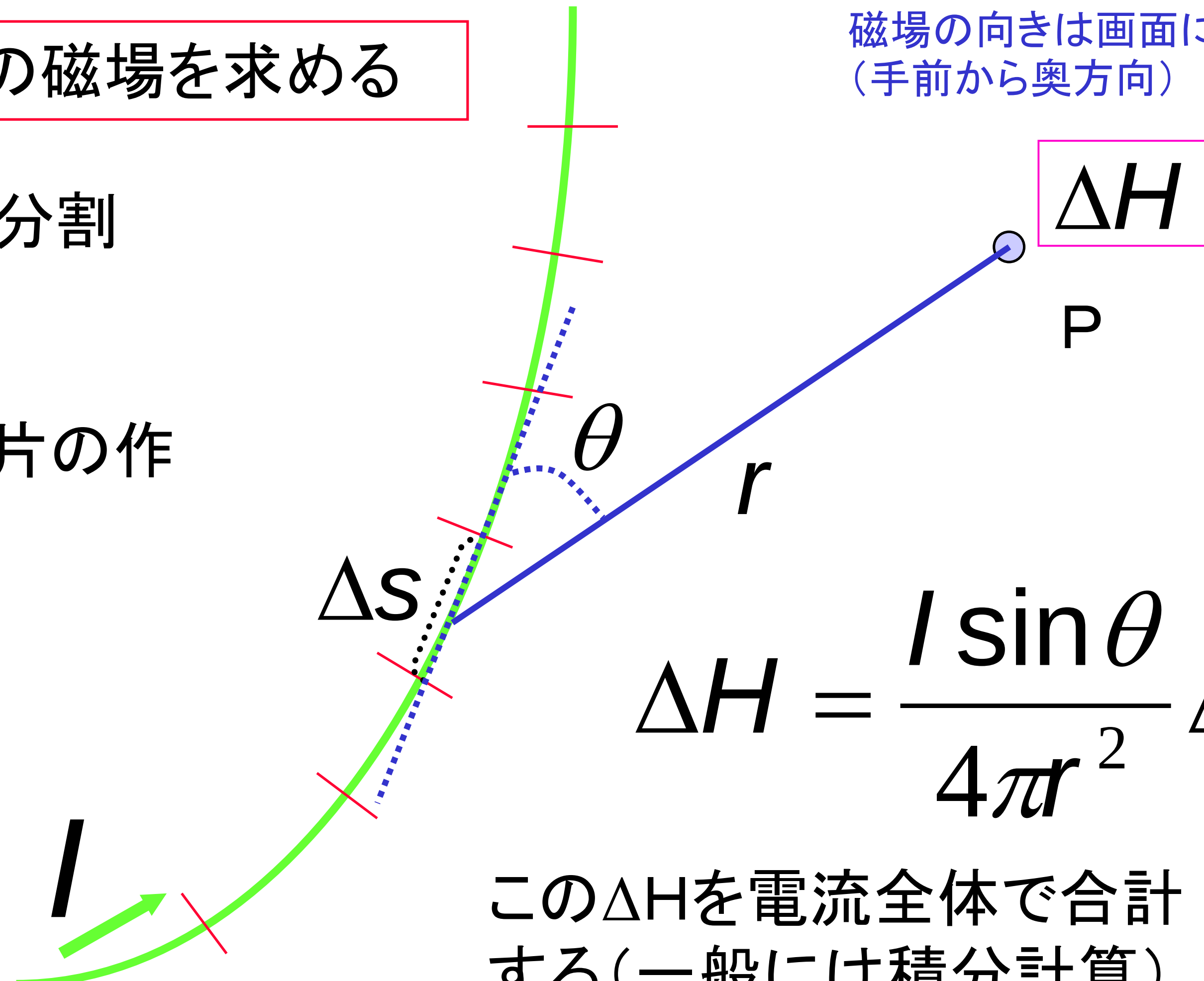
ベクトルの向き
外積に注意

点Pでの磁場を求める

磁場の向きは画面に垂直
（手前から奥方向）

電流を分割

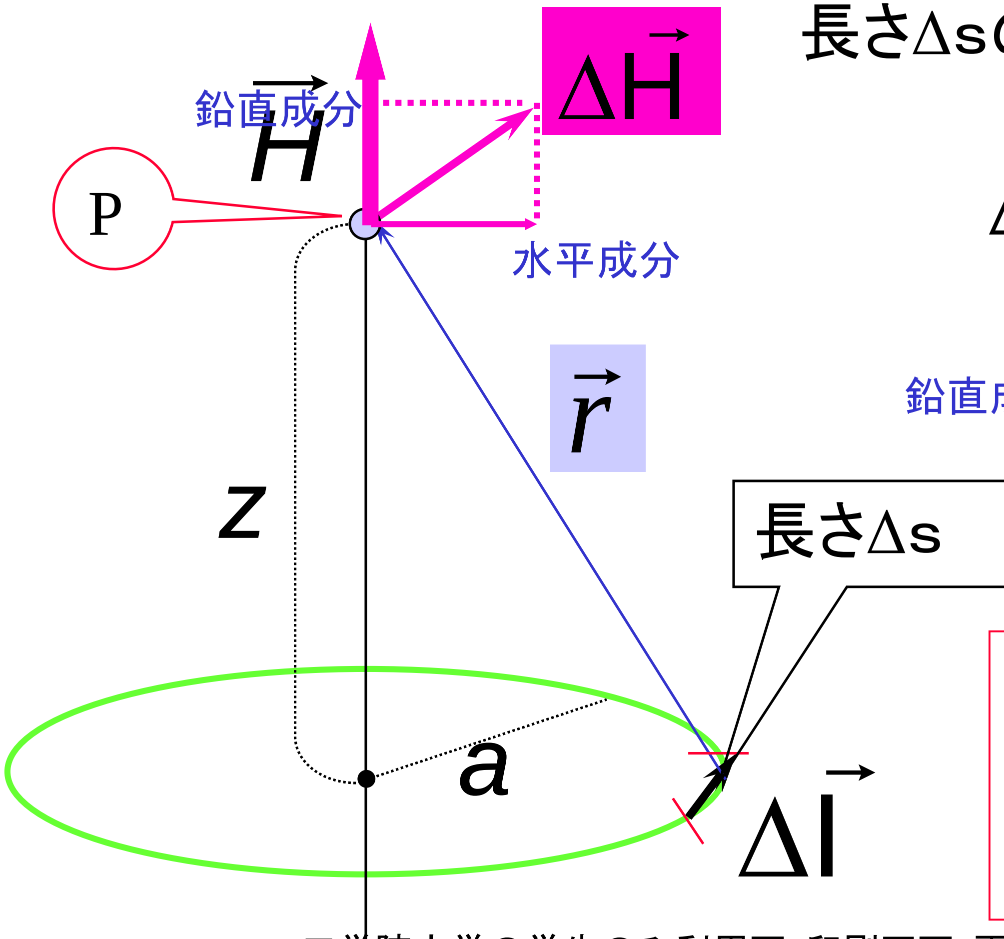
電流素片の作る磁場



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

このΔHを電流全体で合計する（一般には積分計算）

応用ー1（円形電流）



長さΔsの電流素片の作る磁場

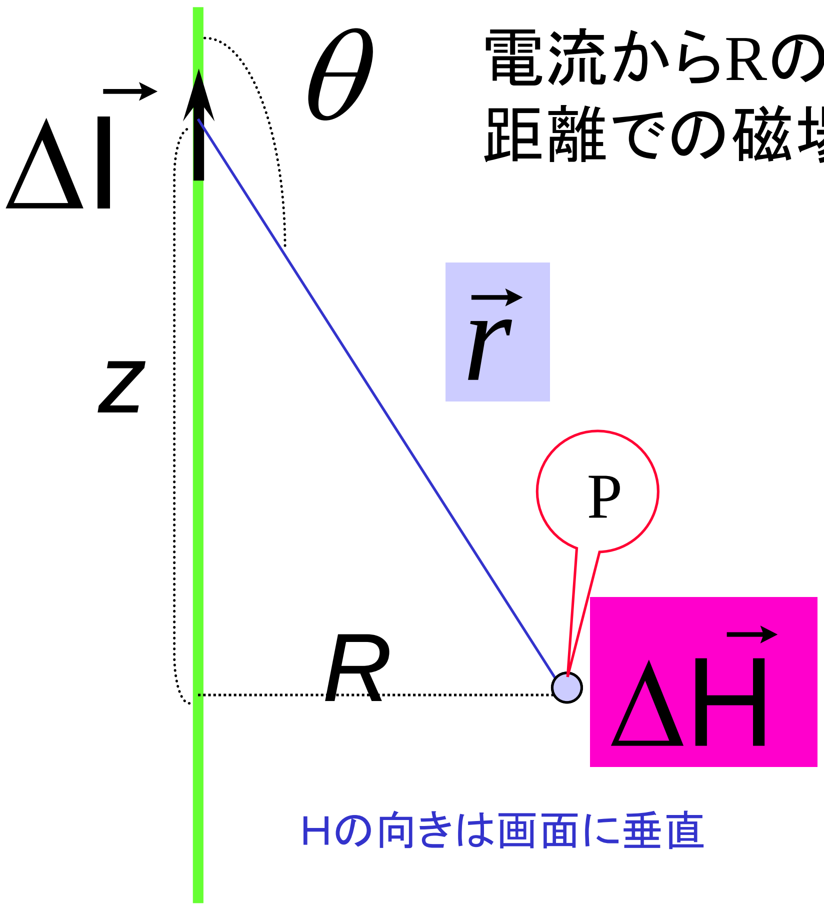
$$\Delta H = \frac{I}{4\pi r^2}\Delta s$$

鉛直成分 $\times \dfrac{a}{r}$

$\boxed{2\pi a}$

$$\boxed{H = \frac{Ia^2}{2(\sqrt{a^2+z^2})^3}}$$

応用ー2(直線電流)



電流からRの
距離での磁場

$$\Delta H = \frac{I \sin\theta}{4\pi r^2}\Delta z$$

$$H = \sum \Delta H$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{I \sin\theta}{4\pi\left(z^2 + R^2\right)} dz$$

$$\boxed{H = \frac{I}{2\pi R}}$$

既知の結果
の確認

Hの向きは画面に垂直