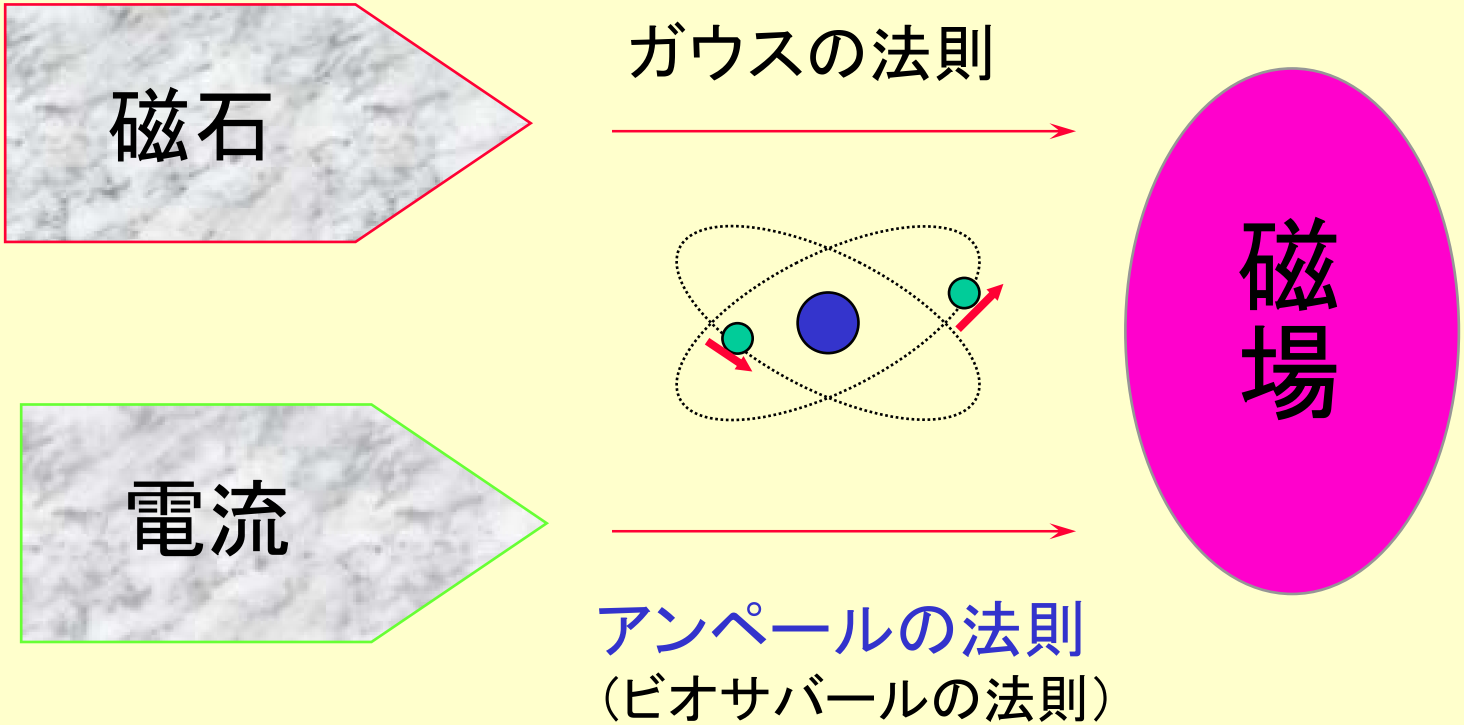
磁気現象

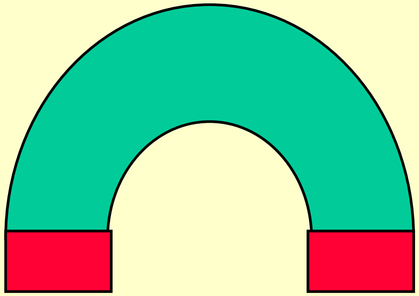
電磁気

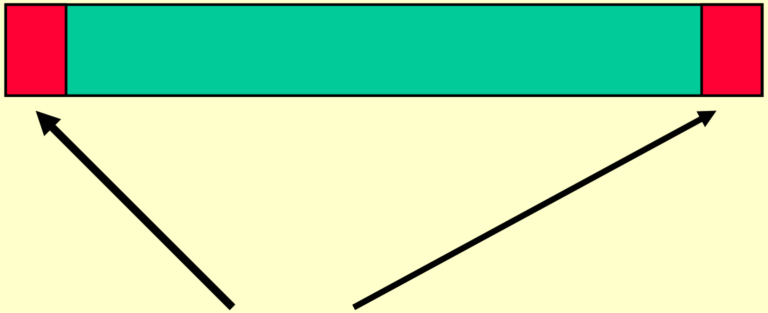
磁気の源

ミクロに見れば磁石の磁場は原子レベルの「電流」



磁石





磁極（N, S）

＋ －

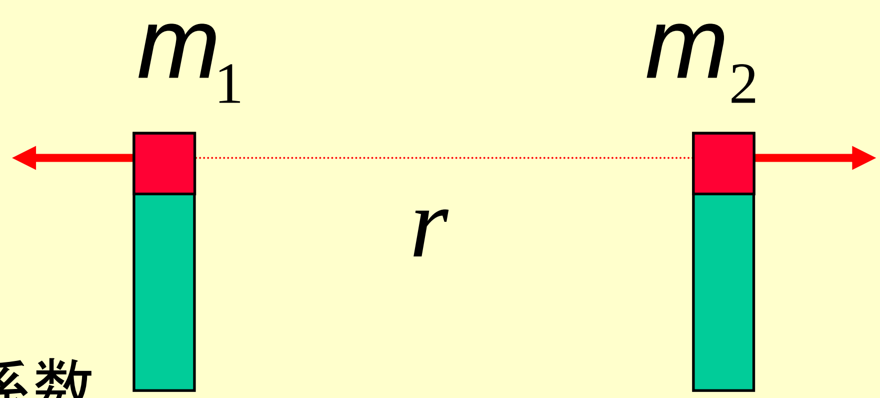
磁荷　m

単位　Wb（ウェーバ）

磁気クーロンの法則

$$F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

向きは磁荷と
磁荷を結ぶ方向



比例係数

$$k_m = 10^7/(4\pi)^2[\mathrm{Nm}^2/\mathrm{Wb}^2]$$

磁場

電気現象の時と同様に

磁荷mの作る磁場　単位Ａ／ｍ

$$H = k_m \frac{m}{r^2}$$

→ 磁場のガウスの法則

$$k_m = \frac{1}{4\pi\mu_0}$$

真空の透磁率

磁束密度・磁束

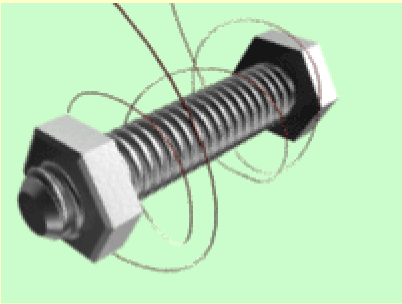
$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

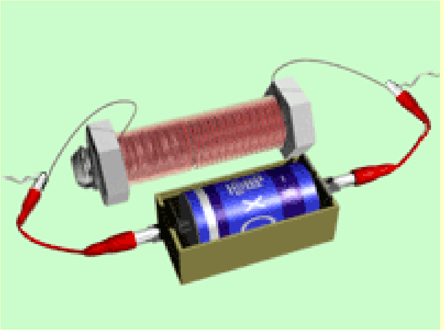
磁束密度　[T]テスラ

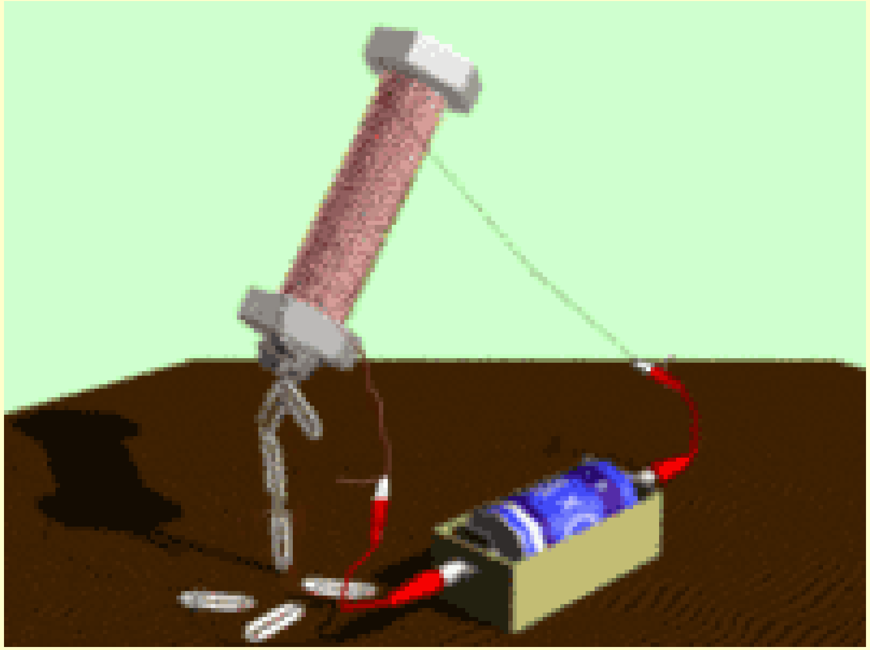
$$\Phi = BS$$

磁束　[Wb]ウェーバ

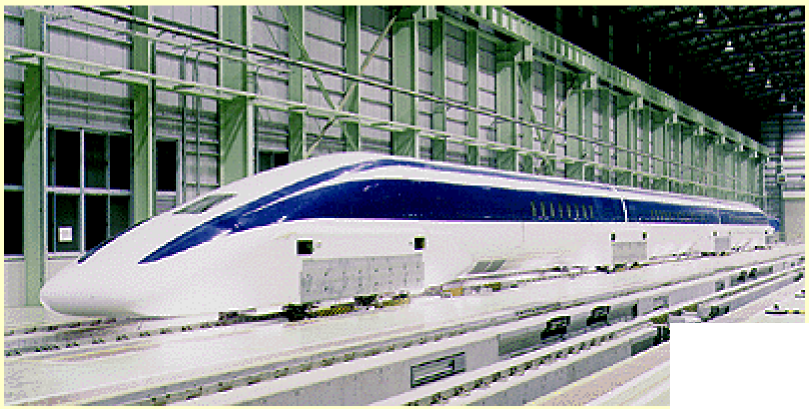
電流が作る磁場(電磁石)



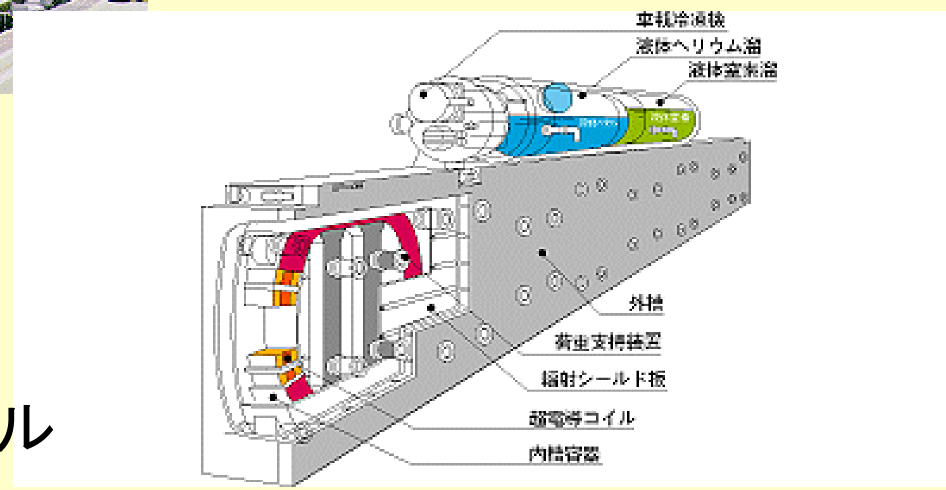


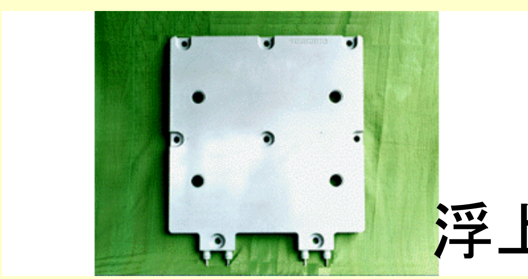


リニアモーターカー
超伝導磁石による磁気力浮上



超伝導磁石



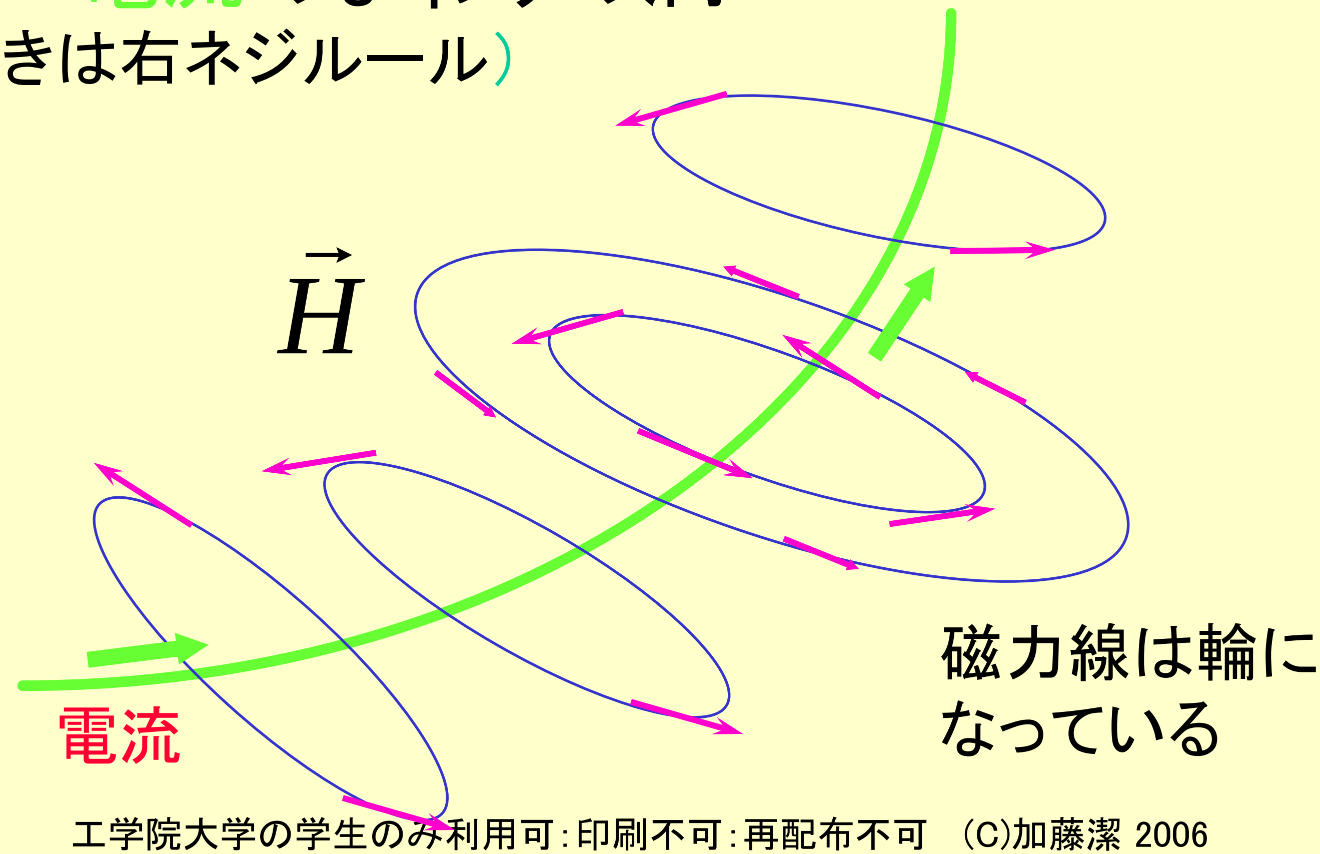


浮上コイル

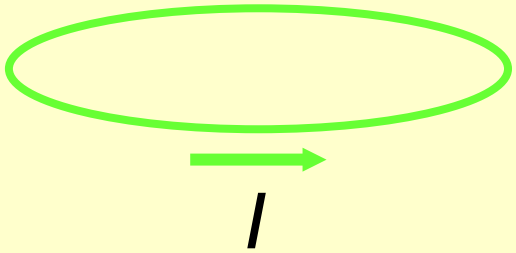
電流と磁場のイメージ

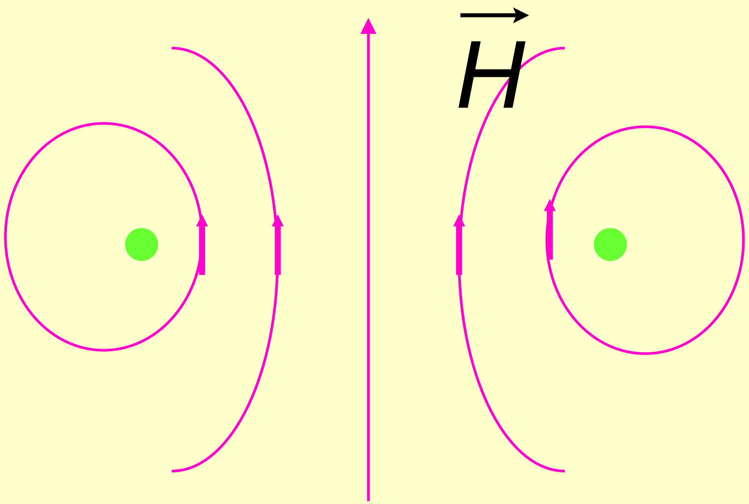
磁場＝電流のまわりの渦

（向きは右ネジルール）



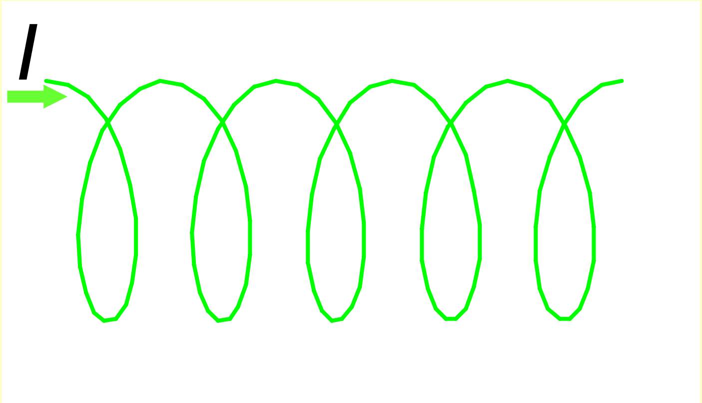
円電流

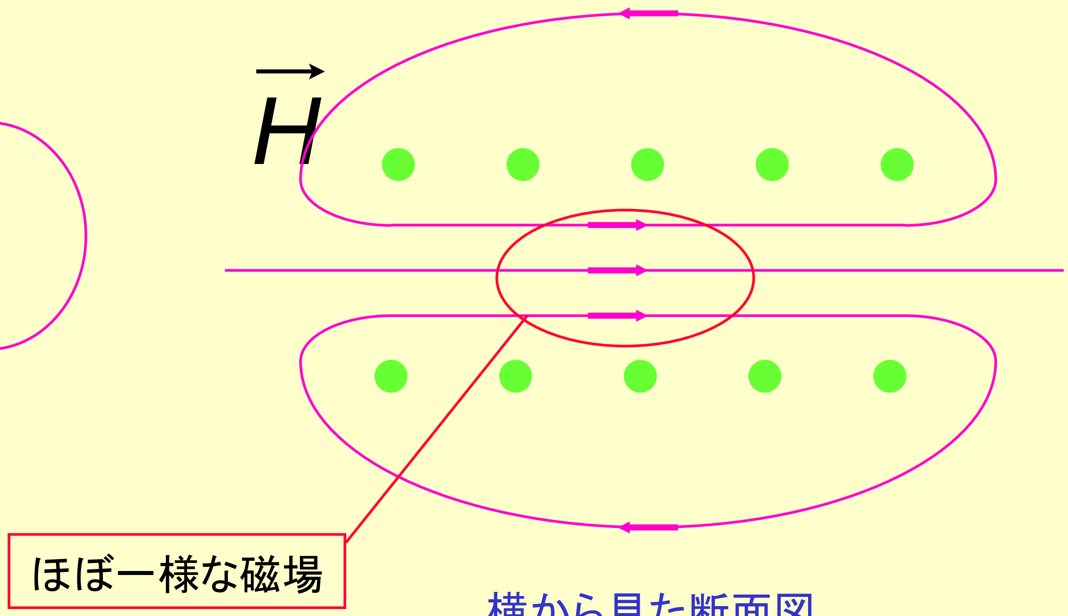




横から見た断面図

ソレノイド





横から見た断面図

直線電流のまわりの磁場

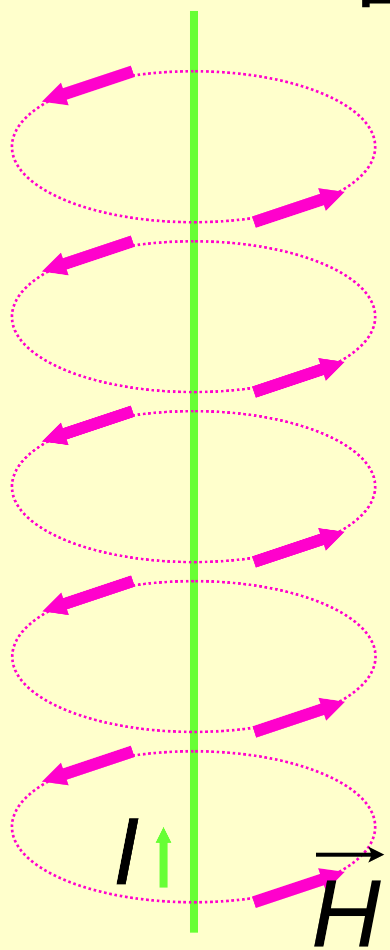
直線電流 I のまわりで磁場を測定してみたところ･･･

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

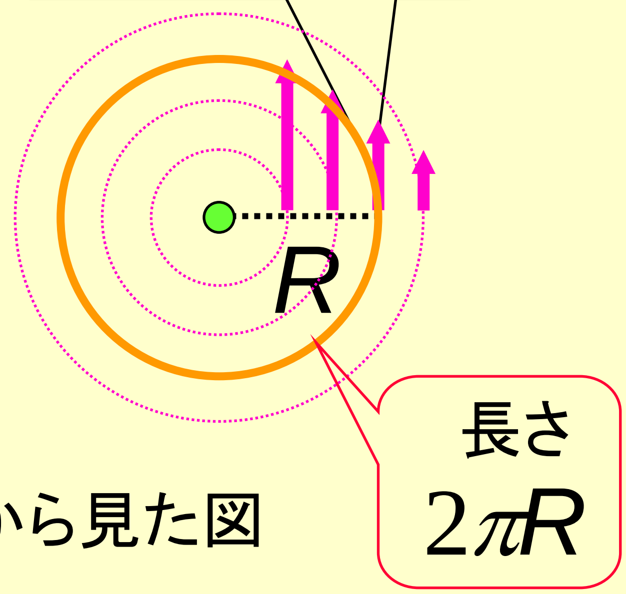
Rは電流から磁場の観測点までの距離

Hの単位
A／m

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

- 電場
- 点電荷の作る場
- 球面の面積

$$\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\times 4\pi r^2$$

$$=\frac{q}{\varepsilon_0}$$ 一定の量

- 磁場
- 直線電流の作る場
- 円周の長さ

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

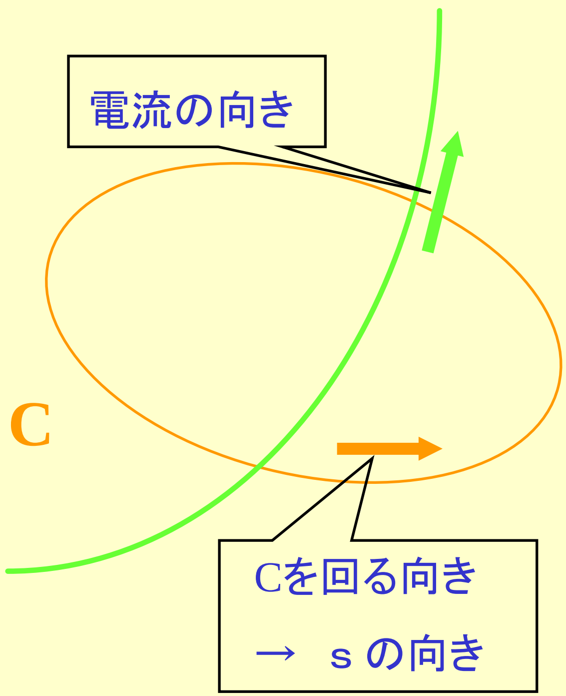
$$=I$$ 一定の量

アンペールの法則

磁場　×　閉曲線Cの長さ　＝　通り抜ける電流

$$\boxed{H \cdot s = I}$$

閉曲線：　輪になった端のない曲線



アンペールの法則

Maxwellの方程式の1つ

精密化

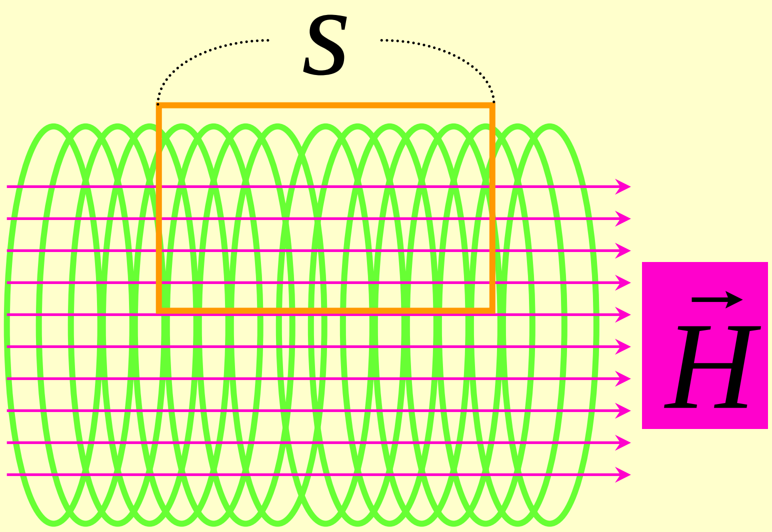
- 磁場ベクトルの成分　→接線成分
- 磁場が一様でないとき→分割して加える

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

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

閉曲線Cを回る方向が正の接線方向

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

$$n = \frac{巻数}{長さ}$$

アンペールの法則

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

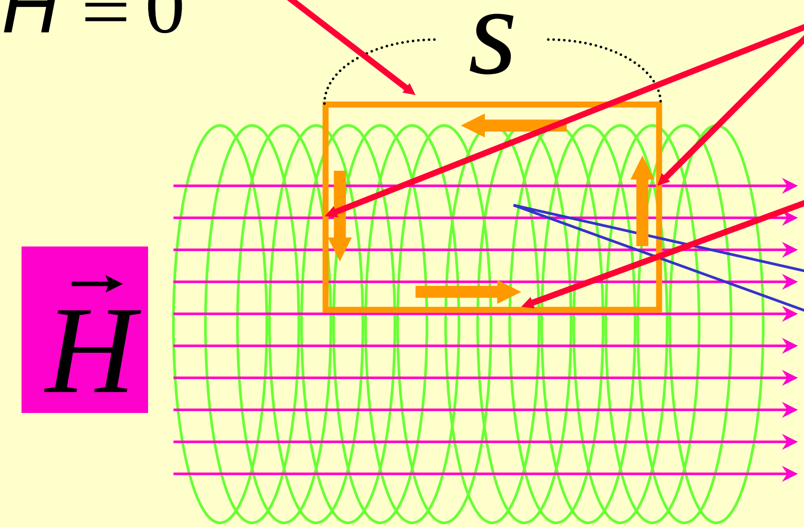
閉曲線Cとして
一辺がsの
長方形をとる

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
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

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

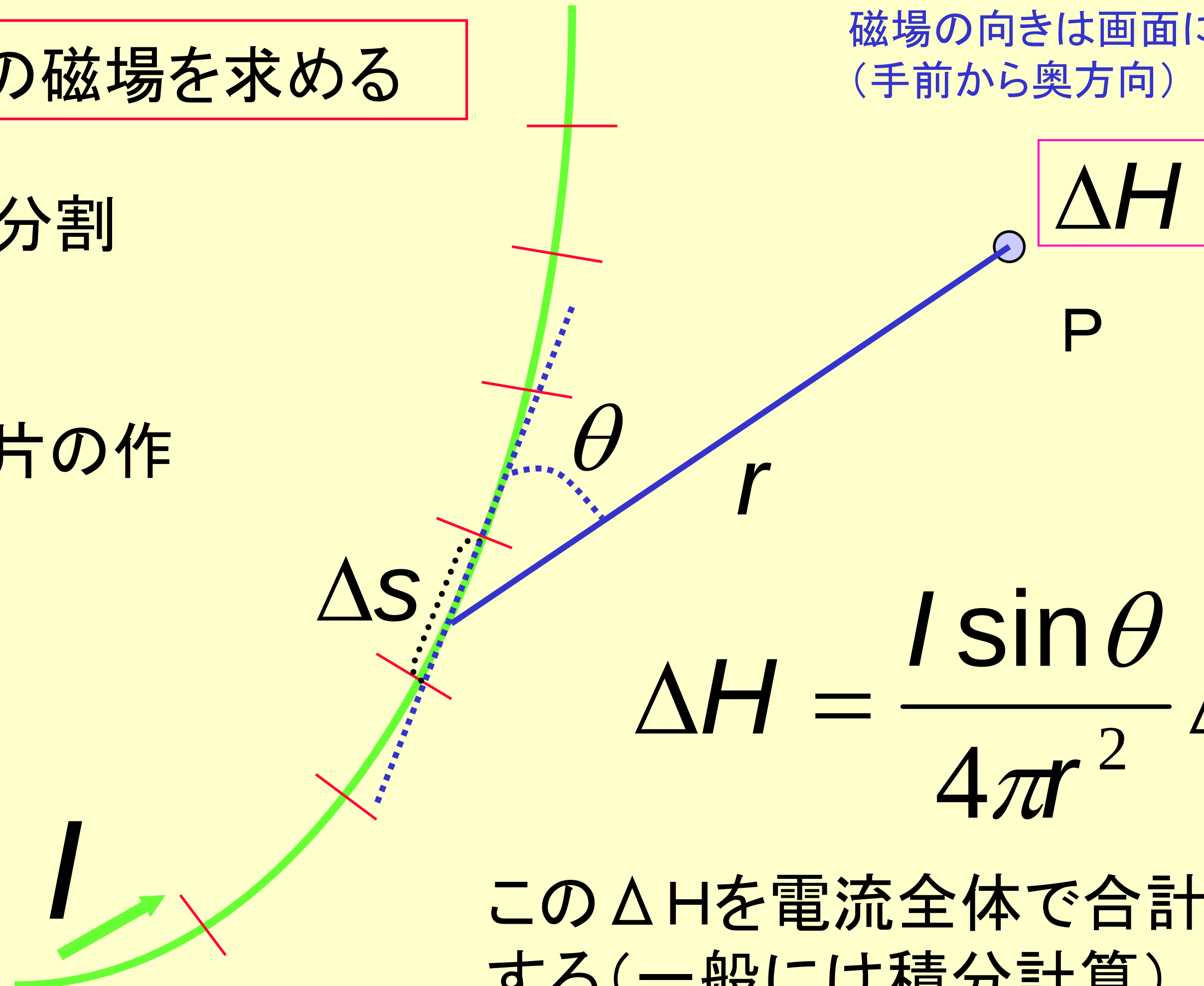
ベクトルの向き
外積に注意

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

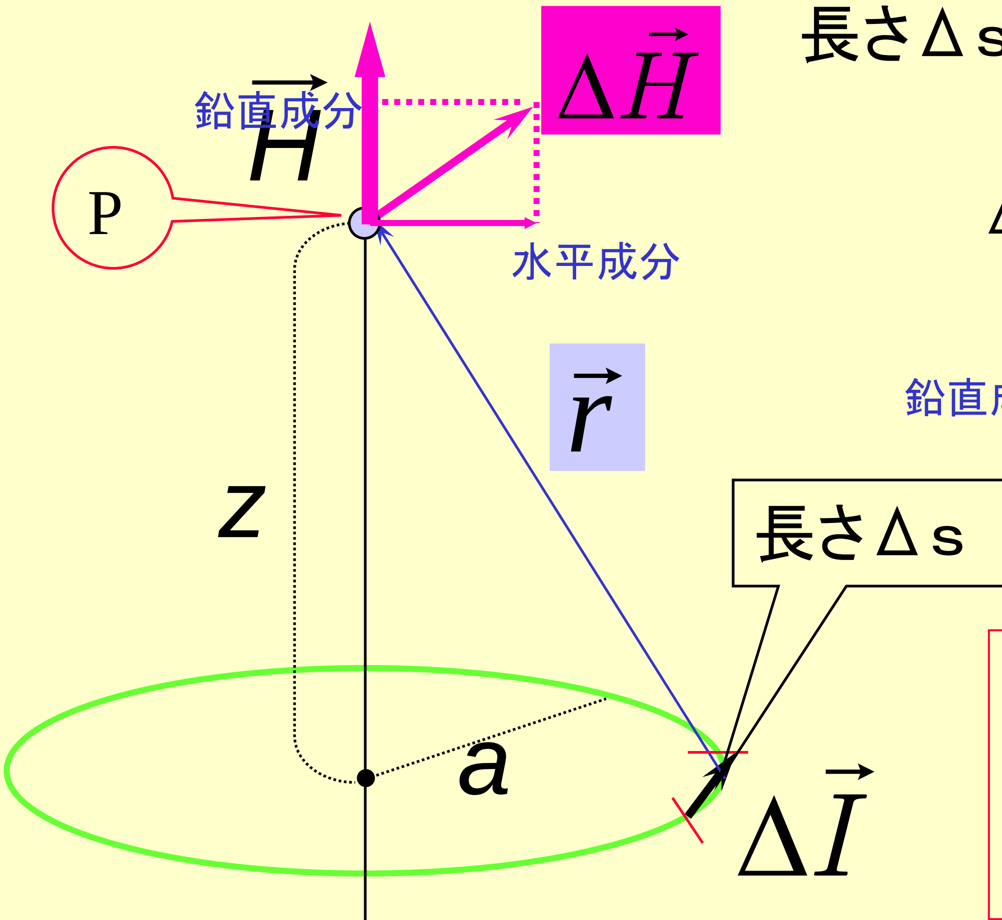
電流素片の作る磁場



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

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

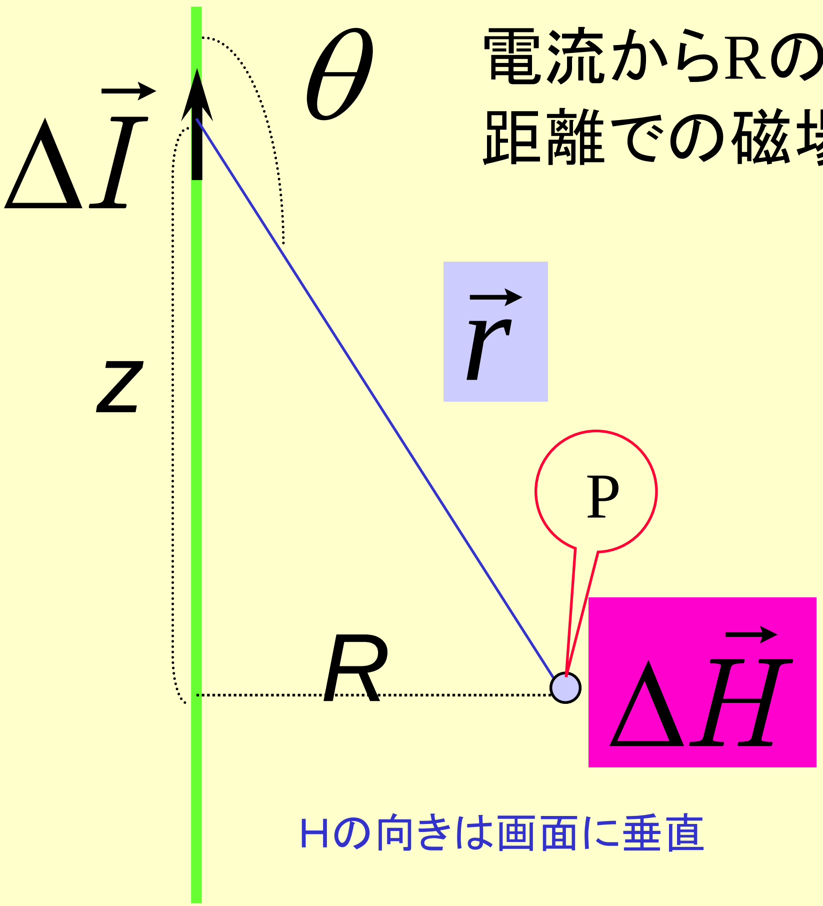
$$\Delta H = \frac{I}{4\pi r^2}\Delta s$$

鉛直成分 $\times \dfrac{a}{r}$

$\Delta s \rightarrow \boxed{2\pi a}$

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

応用ー2(直線電流)



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

$$H = \sum \Delta H$$

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

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

既知の結果
の確認