

課題 1 : コイル電流要素が作る磁場をパソコンで計算しよう

電流の微小要素 $d\mathbf{j}$ が作る磁場は？

$$d\mathbf{A} = \frac{\mu_0}{4\pi|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} d\mathbf{j}$$

から、 $\mathbf{B}=\text{rot}\mathbf{A}$ で計算すると、磁場の X 成分は、

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \left\{ \frac{\partial}{\partial y} \frac{dj_z}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{dj_y}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \right\} \quad (\text{偏微分は磁場評価位置})$$

であり、そのなかで、

$$|\mathbf{r}-\mathbf{r}'| = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} = \frac{y'-y}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} \quad \text{および} \quad \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} = \frac{z'-z}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} \quad \text{なので、}$$

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \left\{ \frac{y'-y}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} dj_z - \frac{z'-z}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} dj_y \right\} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{d\mathbf{j} \times (\mathbf{r}-\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} \right)_x$$

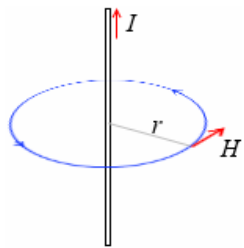
X 以外の成分も同様にして計算し、電流に沿って積分すると、

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{j} \times (\mathbf{r}-\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3}$$

で、Biot-Savart式がMaxwell方程式からベクトルポテンシャルを介して求まる。

課題 2 : ビオサバールの式から無限遠に長い電流が作る磁場をPCで計算しよう。

ねじが進む向きに電流を流すと、ねじを回す向きに磁場が生じます。そして、電流が大きいほど、また電流に近いほど、磁場は強くなります。



I [A] の直線電流から r [m] 離れた地点の磁場の強さ H は、次式で表されます。

直線電流がつくる磁場

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

この式はアンペールの法則、あるいはビオ・サバールの法則というものから導き出されるものなのですが、高校物理では説明しないことになっています。この式は丸暗記してもらえないです。一応、導出の考え方を[補足ページ](#)で解説しましたので参考にしてください。

磁場の強さは、電流の大きさに比例し、距離に反比例する、という意味の式であり、直感的に納得できると思います。

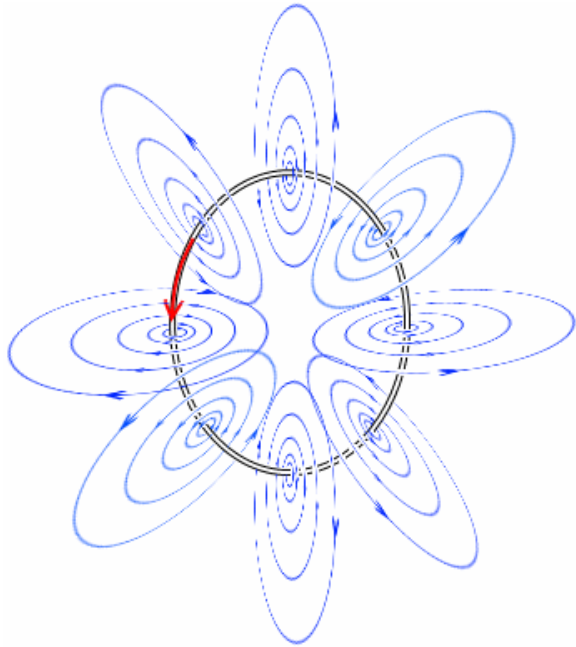
$$[\text{N/Wb}] = [\text{A/m}]$$

単位についてですが、左辺の磁場の強さ H の単位は『[磁場](#)』で説明したように [N/Wb] です。そして右辺を見てもみると、電流 [A] アンペア

課題1で作ったソースコードで、無限遠に長い電流がつくる磁場を計算。教科書に出てくる公式で計算したものと一致するか確認してください。

課題3：ビオサバールの式から円電流が作る磁場をPCで計算しよう

別の描き方をすると、磁場の様子は左図のようになります。



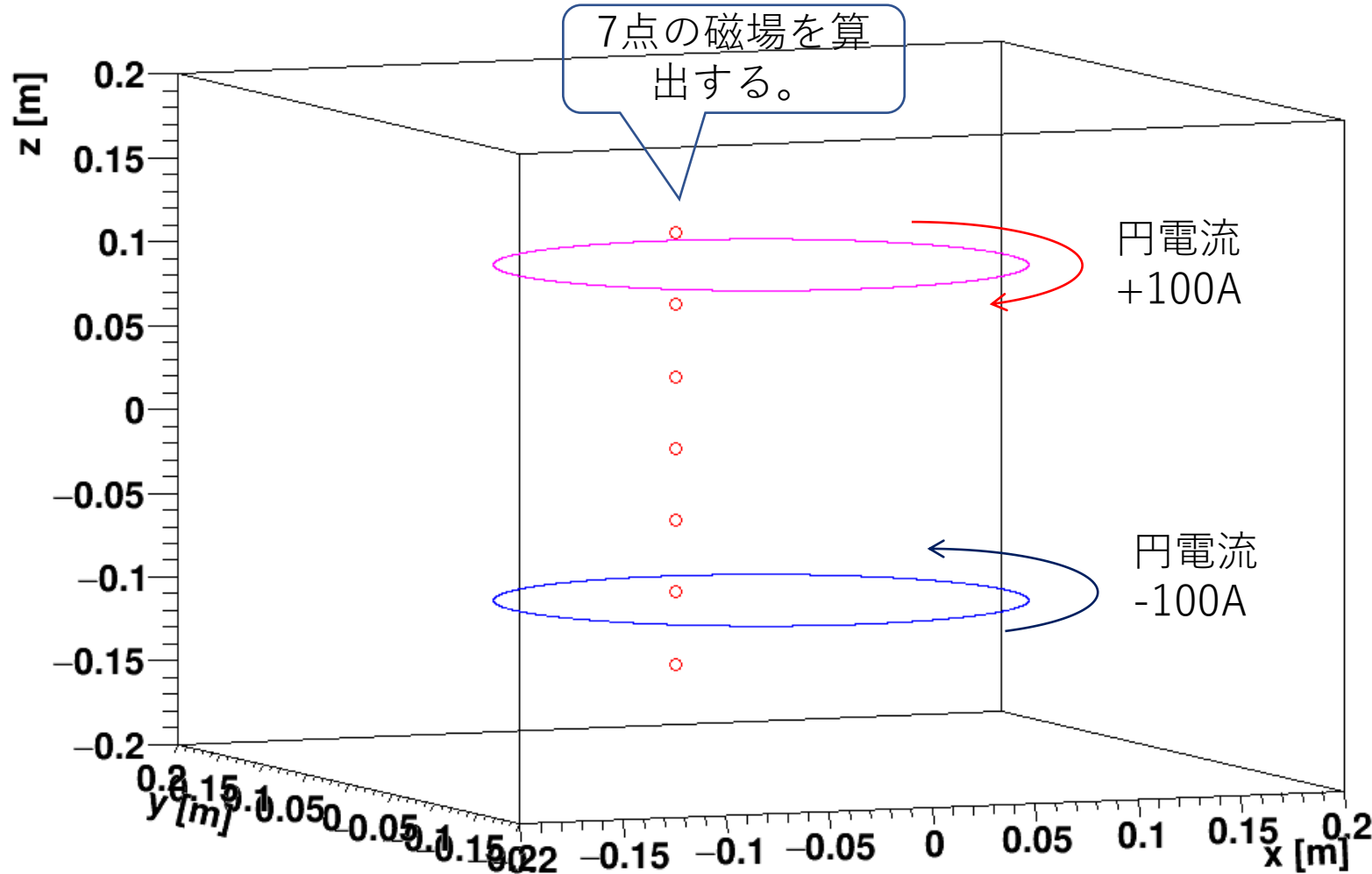
課題1で作ったソースコードで、円形電流がつくる磁場を計算。
教科書に出てくる公式で計算したものと一致するか確認してください。

半径 r [m] の円の形で、 I [A] の大きさの電流がつくる磁場のうち、円の中央部分の磁場の強さは次式で表されます。

円形電流がつくる磁場

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

課題4：キッカーコイルが作る磁場分布を算出



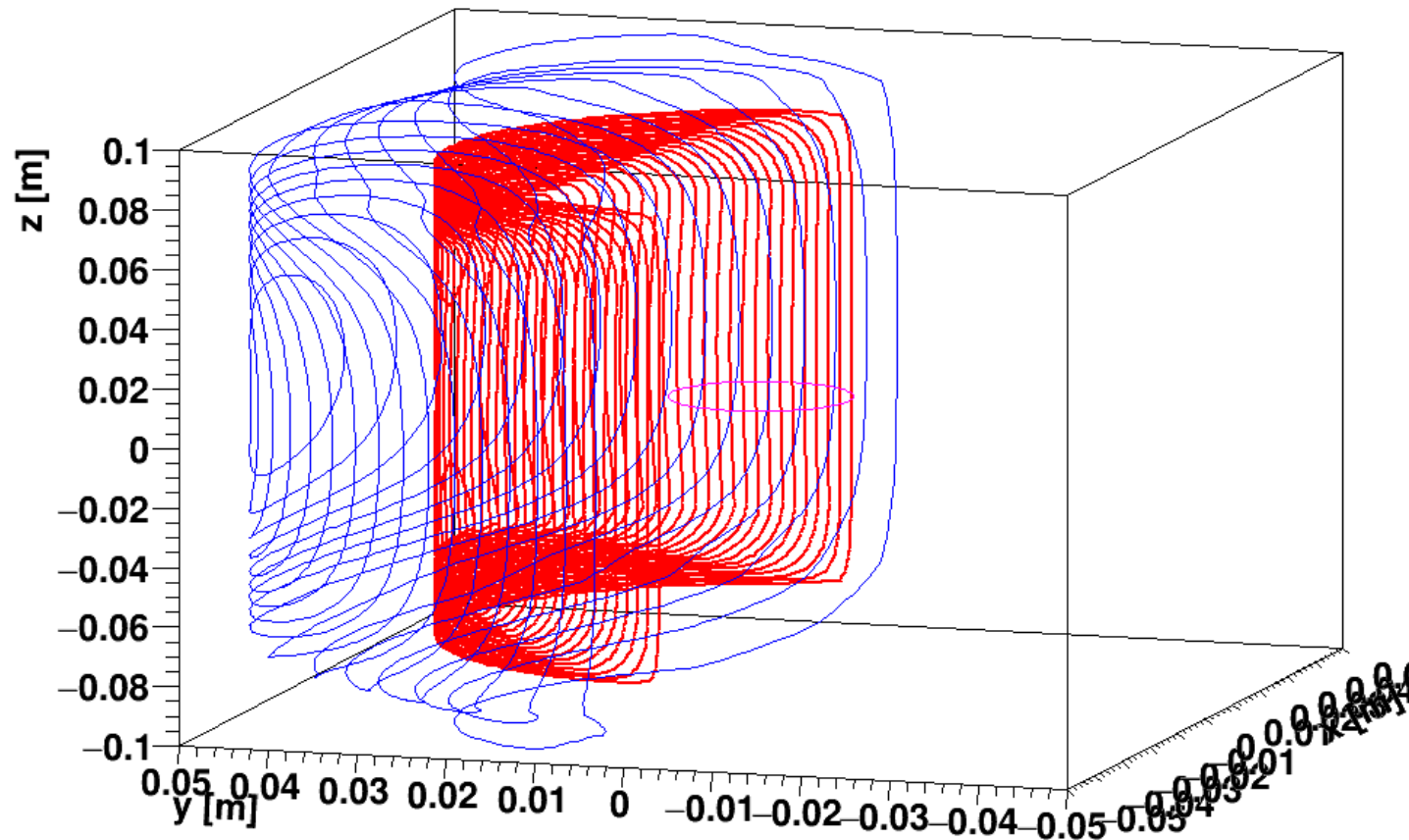
半径 0.12[m]

Z=0.1, -0.1[m]にある円電流
100A（上下で電流向きは逆）が
つくる磁場を以下の7点で求めて
ください。

$(x,y,z)=(0,0.1,-0.15)$
 $(0,0.1,-0.10)$
 $(0,0.1,-0.05)$
 $(0,0.1,0)$
 $(0,0.1,0.05)$
 $(0,0.1,0.1)$
 $(0,0.1,0.15)$

- 磁場計算できたら、
- 1) キッカー磁場でのビーム運動を計算します。
 - 2) テストベンチで磁場測定します。

もう少ししたら、テストベンチで制作する
シールド機能付き磁石（鉄を用いない、コイルのみ）の磁場計算に進みます。



ビオサバールの線電流要素
素が作る磁場を足し合
わせて行けば、このよ
うな複雑形状のコイル
が作る磁場計算もでき
る。