［基礎科目（物理学）］

［問題］以下の文章を読み，問 A~H に答えよ．なお、SI 単位系を用いること．

半径 R の無限に長い円筒表面に正電荷が面密度 σ で一様に分布している．円筒内部において，これらの正電荷が作る電場 E_{in} は $E_{\mathrm{in}} = \boxed{\text{ア}}$ である．円筒の上部および底部から発生する電場は無視できるので，対称性を考慮すると，円筒の外部では電場は全て中心軸に直角に放射状に発生する．ここで，発生する電場 E_{out} を円筒中心軸からの距離 r（$>R$）の関数として求めよう．図 1 に示したように，半径 r，長さ l の円筒に対してガウスの法則を適用すると，

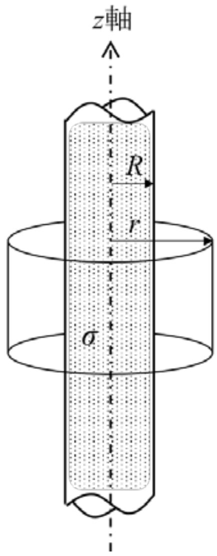

図 1 半径 R の無限長円筒

$$2\pi r l \varepsilon_0 E_{\mathrm{out}} = \boxed{\text{イ}} \qquad (1)$$

が成り立つ．ここで，ε_0 は真空の誘電率である．式 (1) を整理すると，E_{out} は l に依存しない量になる．

問 A　空欄 $\boxed{\text{ア}}$ に入る適切な値，および $\boxed{\text{イ}}$ に入る適切な数式を答えよ．

問 B　円筒表面と半径 r の任意の点の間に生じる電位差 V を，E_{out} を積分することで求めよ．

次に，図 2 に示したようにこの円筒が角速度 ω で，円筒の中心軸回りに z 軸の上から見て反時計回りに回転している場合を考える．ここで，正電荷も円筒の回転運動に追随するものとする．よって，正電荷は周速度 v ＝ $\boxed{\text{ウ}}$ で円筒の中心軸回りを運動している．この回転円筒は無限長のソレノイドコイルと等価であるため，円筒内部の磁場 $\vec{B}$ は常に中心軸に平行であり，円筒外部では $\vec{B}=0$ であることが導かれる．

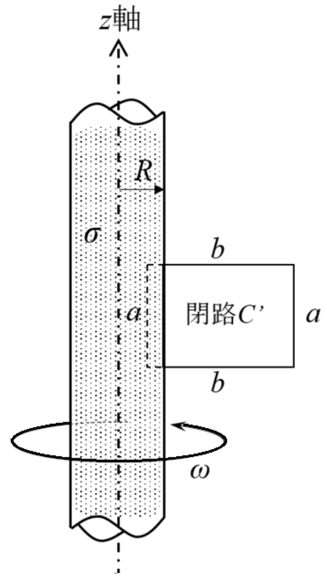

図 2 角速度 ω で回転する半径 R の無限長円筒

さて，$\boxed{\text{エ}}$ の法則を用いてこの回転円筒が作る磁場 $\vec{B}$ を求めよう．一般に $\boxed{\text{エ}}$ の法則は閉路 C に沿う周回積分を用いて，

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I \qquad (2)$$

で表せる．ここで，μ_0 は真空の透磁率，$d\vec{l}$ は任意の線素ベクトル，I は閉路 C を貫く電流である．式(2)は，電流 I が閉路 C が作る面を貫く時，その電流 I に比例した磁場 $\vec{B}$ が面の境界に生じるということを示している．

ここで，図 2 に示した様に，辺の長さが a，b の長方形の閉路 C' を，z 軸と平行に円筒側面を垂直に横切るように定める．閉路 C' を貫く電流 I' は I'＝$\boxed{\text{オ}}$ である．式(2)の左辺は，円筒内部の磁場の大きさ B (＝$|\vec{B}|$)を用いて $\boxed{\text{カ}}$ となる．

問 C　空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ に入る適切な数式を，ω および R を用いて答えよ．

問 D　空欄 $\boxed{\text{エ}}$ に入る適切な語句を答えよ．

問 E　空欄 $\boxed{\text{オ}}$ に入る適切な数式を ω の関数として答えよ．

問 F　空欄 $\boxed{\quad カ \quad}$ に入る適切な数式を答えよ.

問 G　円筒内部に生じる磁場 $\vec{B}$ の大きさを，ω の関数として答えよ．また，磁場$\vec{B}$の方向を答えよ.

問 H　式(2)を用いて，円筒内部では磁界 $\vec{B}$ は均一に分布していることを示せ.