受験番号	MC−

1

［1］一様な物質中（透磁率 μ）において，閉曲線 C に囲まれた面 S を電流密度 $\boldsymbol{j}(\boldsymbol{r})$ が貫いており，C 上に磁束密度 $\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r})$ が発生する状況を考える。ここで $\boldsymbol{j}(\boldsymbol{r})$ は時間変化しないものとする。このとき以下の問いに答えよ。
※解答はベクトル量とスカラー量が区別できるように記載すること

（1―1）時間変化する電場が無い場合，電流密度と磁束密度が満たすべき関係はアンペールの法則と呼ばれる以下の積分形の式で記述できる。

$$\oint_C \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r})\cdot d\boldsymbol{r} = \mu \int_S \boldsymbol{j}(\boldsymbol{r})\cdot \boldsymbol{n}\, dS$$

ここで $d\boldsymbol{r}$ は閉曲線 C 上の線素ベクトル，$\boldsymbol{n}$ は面 S における単位法線ベクトル，$\boldsymbol{n}\,dS$ は面 S 上の面積素ベクトルをそれぞれ表す。
この式が意味する磁束密度と電流密度の関係について，図を用いて説明せよ。

（1―2）前問の積分形の式にストークスの定理

$$\oint_C \boldsymbol{h}\cdot d\boldsymbol{r} = \int_S (\nabla\times\boldsymbol{h})\cdot \boldsymbol{n}\, dS$$

（$\boldsymbol{h}$ は任意のベクトル場）

を適用することにより，アンペールの法則の微分形の式を示せ（導出過程も示すこと）。

〔2〕図１－１に示すように，円柱状の導体（内部導体）と，内部導体と同軸となる中空の円筒導体（外部導体）からなる同軸線路について考える。内部導体の半径を a，外部導体の内径を b，外径を c とする。同軸線路の一方の端子には起電力 V_0 の定電圧電源が接続されており，他方の端子には抵抗値 R の負荷抵抗が接続されている。このとき内部導体と外部導体には互いに逆向きの電流が流れており，その大きさはどちらも時間によらず一定の定常状態であるとする。同軸線路の長さは外径に比べて十分に長く，各導体の抵抗はゼロと仮定する。同軸線路は真空中に置かれており，内部導体と外部導体の隙間の空洞も真空であり，外部導体は接地されているものとする。この回路において，内部導体の表面と外部導体内側の表面には正，負の電荷がそれぞれ誘起される。電荷は同軸線路の軸方向に均一に分布しており，単位長さ当たりの電荷量の大きさを λ とする。また，真空の誘電率を ε_0，透磁率を μ_0 とし，内部導体中心軸からの径方向の距離を r とする。

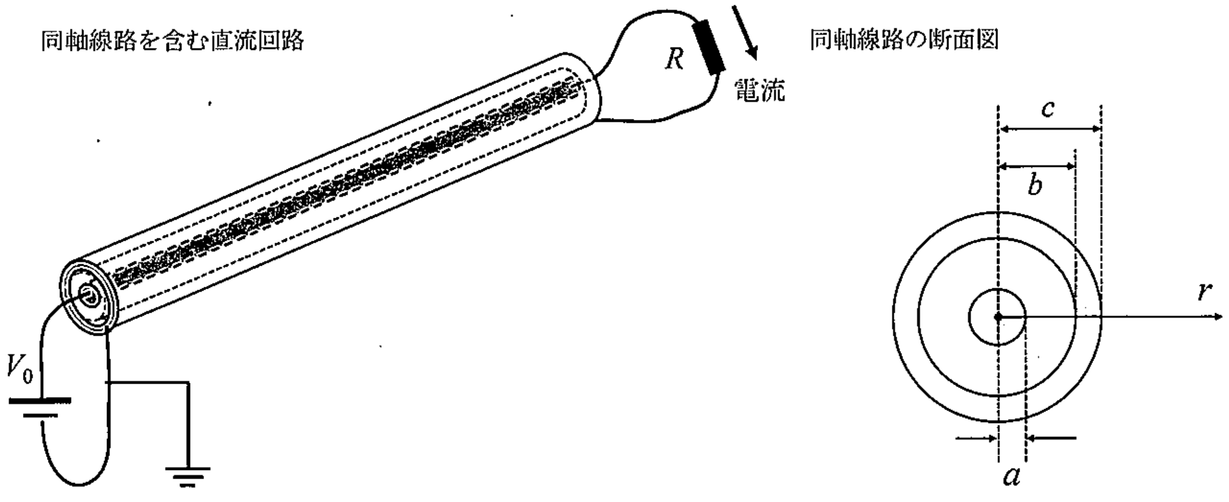

図１－１

受験番号	MC－

同軸線路と同じ中心軸をもつ半径 r，長さ L の円柱状閉曲面Sを考え，閉曲面S上で観測される電場 $\boldsymbol{E}$ の径方向成分を E_r，円周方向成分を E_θ，軸方向成分を E_z とする。ここで円周方向と軸方向については，$E_\theta=0$，$E_z=0$ が成り立つため，電場は径方向成分 E_r のみをもつ。このとき，以下の問（2―1）～（2―4）に答えよ。
問（2―1）～（2―4）の解答では，a，b，c，L，r，ε_0，λ，のうち適切なものを用いて良い。

（2―1）電場の円周方向成分 E_θ がゼロとなる理由を説明せよ。

（2―2）以下の空欄（ア）～（ウ）にあてはまる適切な式または数値を答えよ。

まず，空洞内（$a<r<b$）で観測される電場を求めよう。ガウスの法則から

$$\int_S \boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{n}\,dS = \boxed{\text{（ア）}}$$

が成り立つ。この式を解くことにより，電場の径方向成分 E_r は，

$$E_r = \boxed{\text{（イ）}}$$

と求められる。次に，外部導体の外側（$r>c$）における電場を求めよう。上記と同様に半径 r の円柱状閉曲面を考え，ガウスの法則を用いると，E_r は以下のように求められる。

$$E_r = \boxed{\text{（ウ）}}$$

（2―3）距離 r を変数とする $E_r(r)$ の概形を解答欄のグラフに示せ。$r=0$ から $r>c$ の領域まで示すこと。

（2―4）内部導体表面（$r=a$）と外部導体内側表面（$r=b$）の間の電位差 V_0 を求めよ。

受験番号	MC－

同軸線路と同じ中心軸をもつ半径 r の円を考え，その円周を閉曲線Cとする。C上に観測される磁束密度 $\boldsymbol{B}$ の径方向成分を B_r，円周方向成分を B_θ，軸方向成分を B_z とする。ここで径方向と軸方向については，$B_r = 0$，$B_z = 0$ が成り立つため，磁束密度は円周方向成分 B_θ のみをもつ。このとき，以下の問（2—5）～（2—7）に答えよ。
問（2—5）～（2—7）の解答では，V_0，μ_0，r，R，のうち適切なものを用いて良い。

（2—5）磁束密度の径方向成分 B_r がゼロとなる理由を説明せよ。

（2—6）内部導体に流れる電流の大きさ I を求めよ。

（2—7）空洞内（$a < r < b$）および外部導体の外側（$r > c$）における磁束密度の円周方向成分 B_θ を求めよ。

（2—8）同軸線路の構造は計測器間をつなぐケーブルに応用されている。前問までで求めた外部導体の外側（$r > c$）における電場と磁束密度の結果を踏まえ，同軸線路の有用性について述べよ。

受験番号	MC－

2

〔1〕図２−１に示すように，質量mの球が，なめらかな水平な床の上に置かれている。球と壁の間を，バネ定数がkで自然長がl_0のバネでつないだ。ただし，球の大きさは無視でき，バネの質量も無視できるとする。床に沿ってx軸を取り，水平右向きをx軸の正方向とする。球はx軸方向にのみ運動するものとし，時刻tにおける球の位置を$x(t)$で表す。壁の位置を$x = 0$とする。球の運動に関する以下の問いに答えよ。

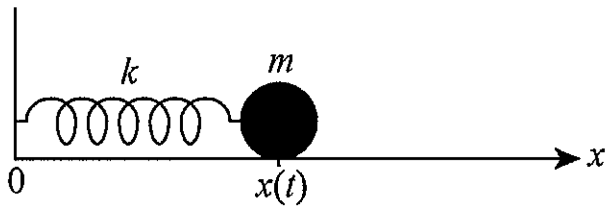

図２－１

（１－１）バネの伸び（バネの長さから自然長を引いたもの）を答えよ。ただし，バネの長さが自然長より長い場合は正のスカラー，短い場合は負のスカラーになるように答えよ。

（１－２）球に対する運動方程式を答えよ。

（１－３）問（１－２）の運動方程式を解いて，球の位置$x(t)$を求めよ。ただし，$t = 0$のとき，$x = \frac{l_0}{2}$，$\frac{dx}{dt} = 0$とする。解の導出の過程も示すこと。

受験番号	MC－

〔2〕図2－2に示すように，球1と球2がバネ2でつながれ，なめらかな水平な床の上に置かれている。さらに，球1は床の左端の壁にバネ1で，球2は床の右端の壁にバネ3でつながれている。2つの球の質量はいずれもm，3つのバネのバネ定数はいずれもkで自然長はいずれもl_0とする。ただし，球の大きさは無視でき，バネの質量も無視できるとする。床に沿ってx軸を取り，水平右向きをx軸の正方向とする。球はx軸方向にのみ運動するものとし，時刻tにおける球1と球2の位置をそれぞれ$x_1(t)$と$x_2(t)$で表す。左端の壁の位置を$x = 0$とし，右端の壁の位置を$x = L$とする。以下の問いに答えよ。

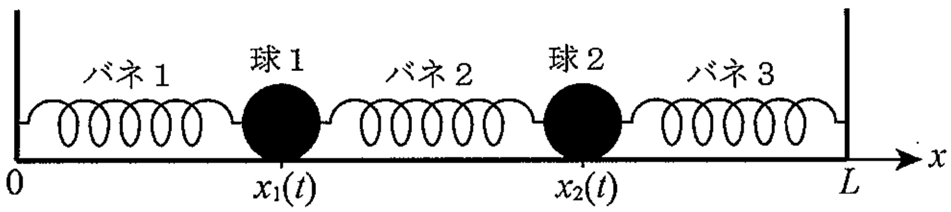

図2－2

（2－1）以下の文章と式の空欄(a)～(e)に入る数式を答えよ。

バネ1の伸びは $\boxed{\text{(a)}}$，バネ2の伸びは $\boxed{\text{(b)}}$，バネ3の伸びは $\boxed{\text{(c)}}$ で与えられる。したがって，球1と球2に対する運動方程式は次式で与えられる。

球1　$m\dfrac{d^2x_1}{dt^2} = -k\boxed{\text{(a)}} + k\boxed{\text{(b)}} = -k\boxed{\text{(d)}}$

球2　$m\dfrac{d^2x_2}{dt^2} = -k\boxed{\text{(b)}} + k\boxed{\text{(c)}} = -k\boxed{\text{(e)}}$

（2－2）重心の位置$X = \frac{x_1+x_2}{2}$に対して成り立つ微分方程式を求めよ。

（2－3）相対距離$Y = x_2 - x_1$に対して成り立つ微分方程式を求めよ。

（２－４）問（２－２）で求めた重心に対する微分方程式を解いて，重心の位置$X(t)$を求めよ。ただし，$t=0$のとき，$X=\frac{2}{3}L$，$\frac{dX}{dt}=0$とする。

（２－５）問（２－３）で求めた相対距離に対する微分方程式を解いて，相対距離$Y(t)$を求めよ。ただし，$t=0$のとき，$Y=\frac{L}{3}$，$\frac{dY}{dt}=0$とする。

（２－６）問（２－４）と問（２－５）の両方の初期条件を満たす球１の位置$x_1(t)$を求めよ。

（２－７）問（２－６）で求めた球１の位置$x_1(t)$の時間tに対する変化をグラフで示せ。

（２－８）２つの球の相対距離が一定の振動を同相の振動という。問（２－４）と問（２－５）の両方の初期条件を満たす振動は「同相である」，「同相でない」のどちらになるか，解答用紙の正しい方にまるをつけよ。つぎに，２つの球が静止して振動しないための初期条件を答えよ。

受験番号	MC−

3

〔1〕細胞に関する，以下の問いに答えよ。

（1—1）細胞の内部には，特定の機能を果たすように専門化した細胞小器官が存在する。以下の細胞小器官（A）～（G）と，それぞれの主な役割（a）～（g）とを対応づけよ。

細胞小器官

(A) ミトコンドリア，(B) 中心体，(C) ゴルジ体，(D) ペルオキシソーム，
(E) リソソーム，(F) エンドソーム，(G) プロテアソーム

役割

(a)　消化酵素を含み，不要物質を分解する
(b)　タンパク質の修飾や加工を行う
(c)　ATP の合成を行う
(d)　タンパク質を分解する
(e)　細胞内外の物質の輸送を行う
(f)　過酸化物の分解や脂質酸化を担う
(g)　微小管を束ねる

（1—2）以下の文章の（ H ），（ I ）に入る適切な語句を答えよ。

細胞小器官は，脂質分子の二重膜でできている生体膜で包まれている。脂質分子は，（ H ）性の頭部と（ I ）性の炭化水素の尾部からなる。(a)生体膜には流動性があり，流動性の大きさは，特に炭化水素部の性質によって決まる。

（1—3）問（1—2）の下線(a)について，炭化水素の構造に着目して，生体膜との流動性の関係を，以下の全ての語句を適切に用いて説明せよ。

不飽和度，長さ，疎，密

受験番号	MC−

（1―4）以下の文章の（ J ），（ K ）に入る適切な語句とその2種類の小胞体の役割を答えよ。

小胞体には2種類あり，表面にリボソームが付着しているものを（ J ）小胞体，ほとんど付いていないものを（ K ）小胞体という。これらは生体化合物の生産において，異なる役割をしている。

（1―5）核膜には直径約9 nmの核膜孔が多数存在し，この核膜孔を通じて物質のやりとりを行っている。分子のサイズによって通過方法は異なるが，巨大分子の核膜孔の通過方法を以下の全ての語句を適切に用いて説明せよ。

核輸送受容体，核局在化シグナル，アミノ酸配列

受験番号	MC－

〔2〕DNAの複製に関する，以下の問いに答えよ。

（2―1）（Ａ）～（Ｃ）に入る最も適切な語句を答えよ。また，下線部(a)のヘリカーゼが必要な理由と役割を説明せよ。

DNAの構成単位は（　A　）であり，この（　A　）が重合してポリマーを形成している。DNAの複製は，元のDNAの片方の鎖を鋳型とする（　B　）という複製様式をとる。この反応は，（　C　）のはたらきによって起こるが，（　C　）がはたらくためには，ヘリカーゼ(a)という酵素が必要である。

（2―2）DNA複製の過程でつくられる「岡崎フラグメント」を，以下の全ての語句を適切に用いて説明せよ。図を用いて説明する場合には，図中に以下の全ての語句を記載すること。

リーディング鎖，ラギング鎖，RNAプライマー，5'末端，3'末端

（2―3）DNA複製は正確に行われるが，線状のDNA複製時においては，末端複製問題を避けることができない。末端複製問題とは何か，「テロメア」という語句を用いて説明せよ。また，生殖細胞では，末端複製問題を解決するためにテロメアーゼという酵素が働いている。テロメアーゼがどのようにして末端複製問題を解決するか，説明せよ。

（2―4）以下の文章の（Ｄ）～（Ｆ）に入る適切な語句を答えよ。

遺伝情報を適切な形で保持し発現させるために，複製が完了したDNAは，（　D　）というタンパク質に約2回巻き付いた（　E　）と呼ばれる構造をつくり，さらに，この（　E　）を基本単位とする繊維状の（　F　）という複合体を形成している。