令和４年度個別学力検査問題
（国際資源学部，教育文化学部，理工学部）

物　　理

前　期　日　程

注　意　事　項

1　試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

2　この問題冊子は10ページあります。解答用紙は１枚あります。

問題はⅠからⅣまで４題あります。ただし，Ⅳは**問題**Ａまたは**問題**Ｂのいずれかを選択して解答しなさい。

試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの乱丁・落丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。

3　監督者の指示に従って，解答用紙に受験番号と氏名を記入しなさい。

4　解答は，解答用紙の該当欄に記入しなさい。

5　配付された解答用紙は，持ち帰ってはいけません。

6　試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい。

I　次の文章中の空欄①〜⑧を数式で埋め，解答欄に記入しなさい。

図1のように長さLの軽い糸の上端を点Pで固定し，下端につり下げられた質量mの小球Aが，摩擦のない水平な床の上を速さvで等速円運動をしている。糸にたるみはなく，糸と鉛直方向のなす角はθであった。なお，重力加速度の大きさをgとする。

(i)　小球Aが床面を離れずに等速円運動を行っているとき，小球Aが床から受ける垂直抗力の大きさをN，糸の張力の大きさをSとすると，鉛直方向の力のつり合いの式は，N，S，m，θ，gを用いて，(　①　)と表される。一方，小球Aの円運動の半径をrとすると，半径方向の力のつり合いの式は，S，m，θ，v，rを用いて，(　②　)と表される。このとき，糸の張力の大きさSは，L，m，θ，vを用いて，$S=$(　③　)，小球Aが床から受ける垂直抗力の大きさNは，L，m，θ，v，gを用いて，$N=$(　④　)と表される。小球Aの速さがある値よりも大きくなると，小球Aは床から浮き上がって等速円運動をする。小球Aが床から浮き上がらないで運動する速さの最大値v_1は，L，θ，gを用いて，$v_1=$(　⑤　)と表される。

次に，小球Aを図2に示される位置に，糸がたるまないように静止させた。そして，質量mの小球Bを床に対して高さhの位置から摩擦のない曲面上を静かに滑らせ，図2で示される方向から小球Aに衝突させた。その後，小球Bは小球Aと一体となり，質量$2m$の物体Cとして等速円運動を始めた。

(ii)　小球Bが小球Aと一体となる直前の小球Bの速さv_2は，m，g，hから必要なものを用いて，$v_2=$(　⑥　)と表される。また，小球Bが小球Aと一体となった直後の物体Cの速さv_3は，m，g，hから必要なものを用いて，$v_3=$(　⑦　)と表される。したがって，物体Cが床から浮き上がらないで運動するとき，高さhの最大値$h_{\max}$は，L，g，θから必要なものを用いて，$h_{\max}=$(　⑧　)と表される。

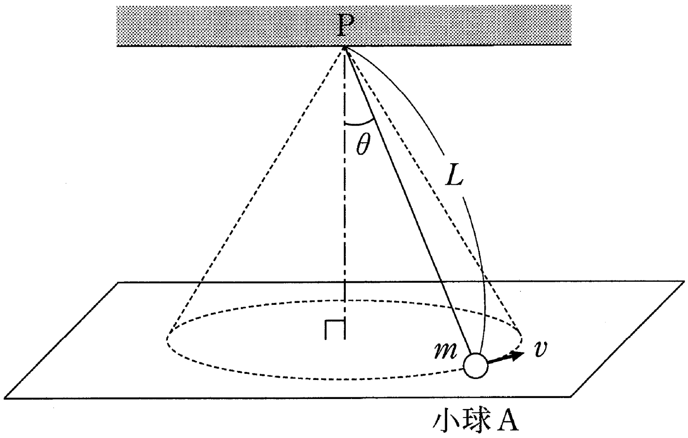

図 1

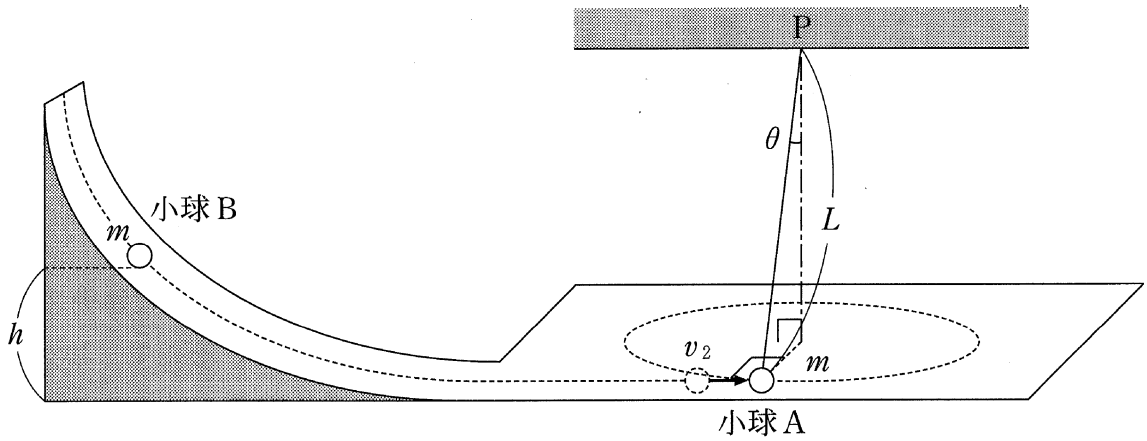

図 2

Ⅱ 次の文章中の空欄①〜③，⑤，⑥，⑧は数式で，④，⑦，⑨は数値で埋め解答欄に記入しなさい。

(i) 図1のような条件において，位置Gにおける高さyの物体は，レンズを通して位置G'のスクリーンに高さy'の倒立像として映し出された。レンズ中心Oから光軸に沿って焦点距離fだけ離れた点をF_1およびF_1'とし，物体の頂点Yから出た光は，レンズを通過したのち実像の頂点Y'に集まる。この光のうち(1)光軸に平行な光，(2)レンズ中心を通る光，(3)レンズ焦点F_1を通る光，の3つを図示した。また，距離OGをs_1，距離OG'をs_1'とし，実像の倍率mを$m=\dfrac{y'}{y}$と定義するとき，図中の相似な三角形$\triangle YGO \backsim \triangle Y'G'O$の関係から，倍率$m$は$s_1$および$s_1'$を用いて$m=$(①)と表すことができる。同様にして$\triangle AOF_1' \backsim \triangle Y'G'F_1'$の関係から，$f$と$s_1'$を用いると$m=$(②)と表すことができる。さらに①と②を用いてレンズの式$\dfrac{1}{f}=$(③)が得られる。ここで，$f=50$ mmとして，レンズ中心から60 mmの位置に物体を置いたときの実像の倍率は$m=$(④)倍となる。

(ii) 次に図2のような条件において，物体をF_2よりレンズ側のG点に移動させると，レンズを通った光は，スクリーンに像を結ばなくなった。そこで，焦点F_2'の位置から観察者の眼でレンズをのぞくと，G''の位置に虚像が見えた。(i)と同様に，図中の相似な三角形$\triangle Y''G''O \backsim \triangle YGO$の関係から，虚像の倍率$m$は$s_2$および$s_2'$を用いると$m=$(⑤)と表すことができる。同様にして$\triangle Y''F_2'G'' \backsim \triangle BF_2'O$の関係から，$f$と$s_2'$を用いると$m=$(⑥)と表すことができる。ここで，図中の$F_2'$から虚像までの距離$D$は，人がレンズを通して虚像を最も見やすい距離である。いま，$D=250$ mm，$f=50$ mmとすると，虚像の倍率は$m=$(⑦)倍となる。

(iii) さらに像の倍率を上げるために，図3のように同じ焦点距離fのレンズを2枚用いた。レンズ1では(i)と同様に物体の倒立像が見られる条件とし，レンズ2ではレンズ1の倒立像について(ii)と同様に虚像が見られる条件とした。この組み合わせレンズの条件では，虚像の倍率mはs_1'，s_1，s_2'，s_2を用いて，$m=$(⑧)と表すことができる。したがって，$f=50$ mm，$s_1=60$ mm，$D=250$ mmの条件では，倍率は$m=$(⑨)倍となる。このような組み合わせレンズが顕微鏡の原理に用いられている。

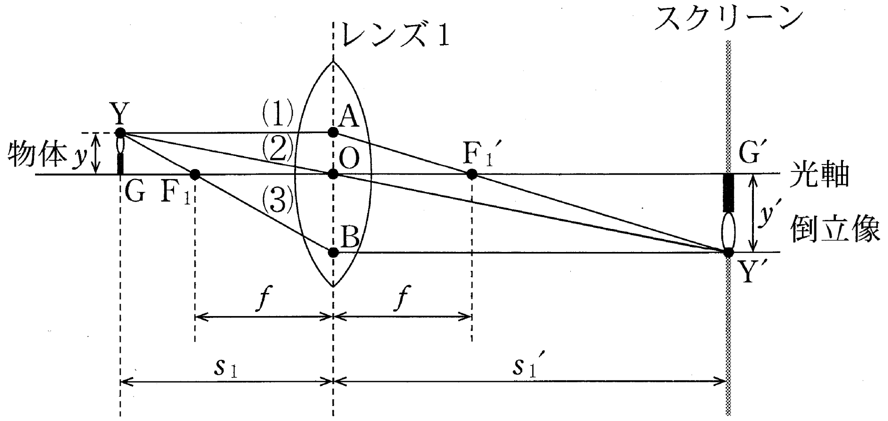
レンズ1
スクリーン
Y
(1)
A
物体 y
(2)
O
F₁′
G′
光軸
G F₁
(3)
y′
倒立像
B
Y′
f
f
s₁
s₁′

図1

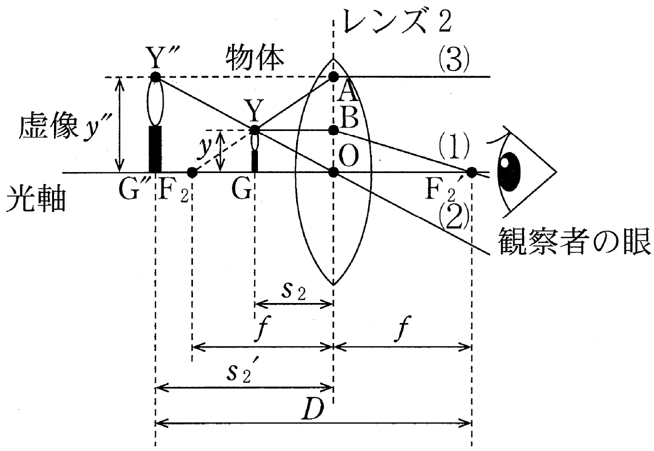
レンズ2
Y″
物体
(3)
A
虚像 y″
Y
B
y
(1)
O
光軸
G″ F₂
G
F₂′
(2)
観察者の眼
s₂
f
f
s₂′
D

図2

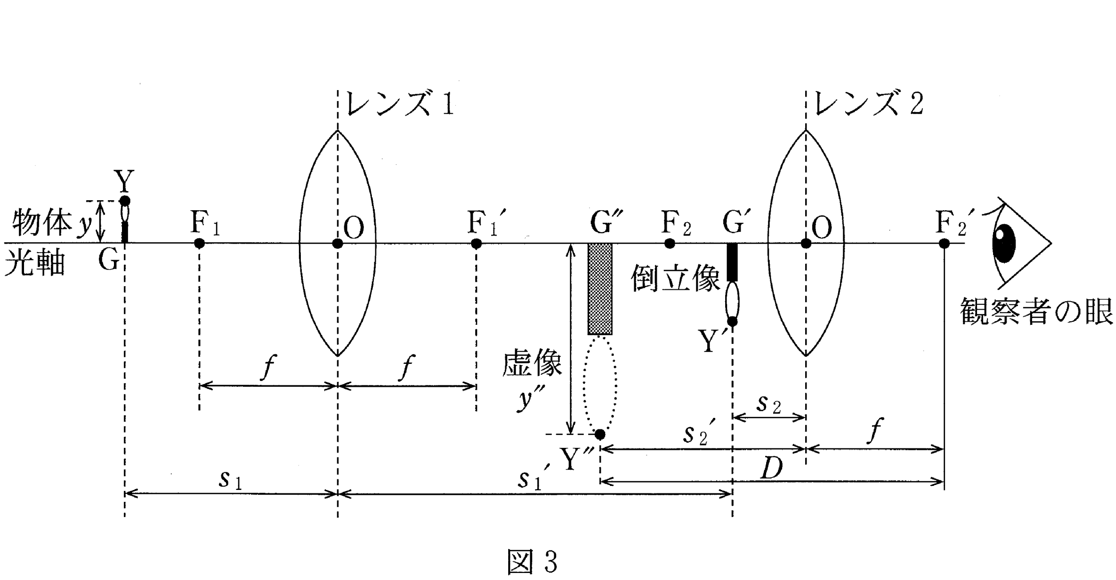
レンズ1
レンズ2
Y
物体 y
F₁
O
F₁′
G″
F₂
G′
O
F₂′
光軸
G
倒立像
観察者の眼
Y′
f
f
虚像
y″
s₂
s₂′
f
Y″
D
s₁
s₁′

図3

Ⅲ 次の文章中の空欄①，④，⑤を数式で，②，⑥を数値で埋め，③，⑦については(ア)～(ウ)から正しいものを１つ選び，解答欄に記入しなさい。

(i) 抵抗率がρ〔Ω・m〕，断面積S〔m^2〕が一定で長さがl〔m〕の抵抗線がある。この抵抗線の抵抗R〔Ω〕は，ρ，S，lを用いて$R=$(　①　)と表される。

未知の抵抗R_Xの値を測るため，図１のように，長さが1.0 mで両端のａ点とｂ点の間に可動接点を持つ抵抗線，80 Ωの抵抗R_0，内部抵抗が無視できる検流計Ｇ，内部抵抗が無視できる起電力E〔V〕の電池からなる回路をつくった。ab間にある可動接点を動かし，検流計Ｇの指針の振れを調べた結果，点ａからの距離が0.64 mの点ｃで指針は０を示した。このとき，R_Xの値は(　②　)Ωと求められる。次に，検流計Ｇを内部抵抗が無視できない検流計Ｇ′に交換すると，指針が０を示すときの可動接点の位置は点ｃから(③　(ア)　ａ側に移動する，(イ)　ｂ側に移動する，(ウ)　移動しない)。

(ii) 未知の抵抗R_Xの値を，内部抵抗r_Aの電流計と内部抵抗r_Vの電圧計を用いて測定する。電流計と電圧計の接続として，図２と図３の２通りが考えられる。それぞれの接続での電流計と電圧計の読みをI_1，V_1およびI_2，V_2とし，これらから求まる抵抗値をそれぞれ$R_1=\dfrac{V_1}{I_1}$および$R_2=\dfrac{V_2}{I_2}$とすると，どちらも正しいR_Xの値(真値)にならない。I_1は電圧計を流れる電流とR_Xを流れる電流の和であり，V_2はR_Xと電流計による電圧降下の和であることから，R_1とR_2は，R_X，r_A，r_Vから必要なものを用いて，それぞれ，$R_1=$(　④　)，$R_2=$(　⑤　)と表される。$r_A=0.90$ Ωの電流計と$r_V=1000$ Ωの電圧計を図２のように接続したとき，電流計と電圧計の読みがそれぞれ$I_1=348$ mAと$V_1=15.0$ Vであった。これらの値から，R_Xの値は有効数字３桁で(　⑥　)Ωと求められる。

R_Xに対して，電流計の内部抵抗が無視できない大きさで，電圧計の内部抵抗が十分に大きい場合は，(⑦　(ア)　図２の接続で求めるR_1の方が，(イ)　図３の接続で求めるR_2の方が，(ウ)　R_1とR_2は等しく)真値に近い値になる。

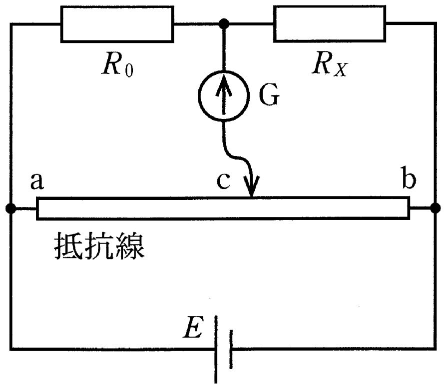

図 1

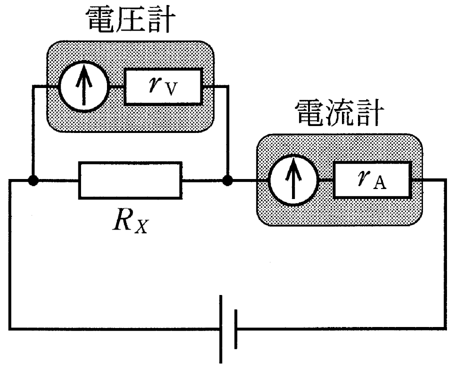

図 2

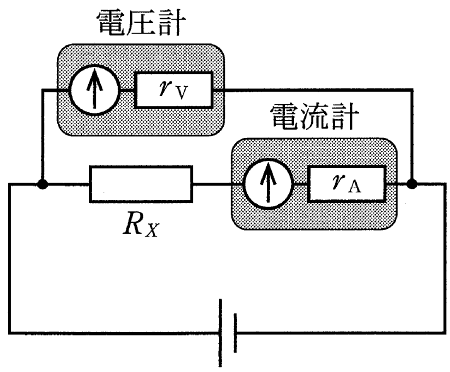

図 3

Ⅳ **問題A**と**問題B**のいずれかを選択して解答しなさい。なお，解答欄にある，選択した問題の**記号A**または**記号B**を○で囲みなさい。

《問題A》

次の文章中の空欄①～⑤を数式で埋め，⑥は(ア)～(エ)のうちから正しいものを1つ選び，⑦は数値で解答欄に記入しなさい。

なめらかに動くピストンのついたシリンダー内に，単原子分子理想気体n〔mol〕が封じ込められている。シリンダー内の圧力と体積を，図1のように状態Aから出発し，A→B→C→A とゆっくり変化させた。ここでA→Bは定積変化，B→Cは断熱変化，C→A は定圧変化である。状態Aの気体の温度をT_1〔K〕，体積をV_1〔m^3〕，圧力をp_1〔Pa〕とし，状態Bの圧力を$4p_1$〔Pa〕，状態Cの体積をV_2〔m^3〕，状態B，Cの温度をそれぞれT_2〔K〕，T_3〔K〕とする。また，気体定数をR〔J/(mol･K)〕とする。

(i) 状態Aでの気体の温度T_1は，p_1，V_1，n，Rを用いて$T_1 =$(　①　)〔K〕と表される。A→Bは定積変化であるので，気体は外部に仕事をしない。熱力学第1法則から，A→Bで気体が吸収した熱量Q_1は内部エネルギー変化に等しく，n，R，T_1，T_2を用いて，$Q_1 =$(　②　)〔J〕と表される。

(ii) B→Cは断熱変化であるので，B→Cで気体が外部にした仕事W_1は，B→Cでの気体の内部エネルギー変化をΔUとすると，熱力学第1法則からΔUを用いて，$W_1 =$(　③　)〔J〕と表される。単原子分子理想気体の断熱変化では$pV^{\frac{5}{3}} =$(一定)となることが知られている。この関係から，状態Cの体積V_2をV_1で表すと，$V_2 = 4^{\frac{3}{5}}V_1 \fallingdotseq 2.3V_1$である。

(iii) C→Aは定圧変化であるので，気体が外部からされた仕事W_2は，p_1，V_1を用いて，$W_2 =$(　④　)〔J〕である。また，C→Aで気体が放出した熱量Q_2は，単原子分子理想気体の定圧モル比熱が$\frac{5}{2}R$であることに注意すると，n，R，T_1，T_3を用いて，$Q_2 =$(　⑤　)〔J〕と表される。

(iv) A→B→C→A の変化について，横軸を体積，縦軸を温度にとったグラフとして，最も適当なものは図 2(ア)〜(エ)のうち（ ⑥ ）である。状態 B，C の温度 T_2，T_3 は T_1 を用いて表すことができるので，Q_1，Q_2 も T_1 で表される。これらから，A→B→C→A のサイクルではたらく熱機関の熱効率 $e = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ を，有効数字 2 桁で求めると $e =$（ ⑦ ）である。

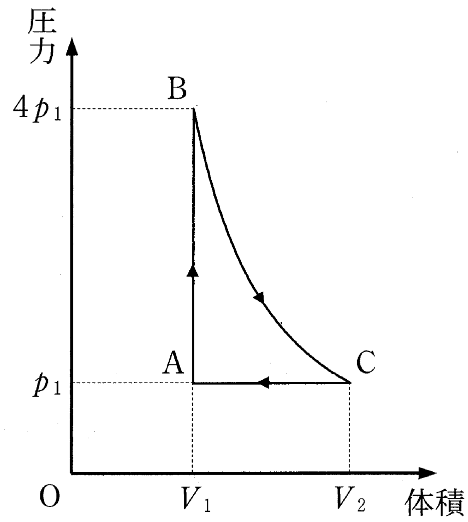

図 1

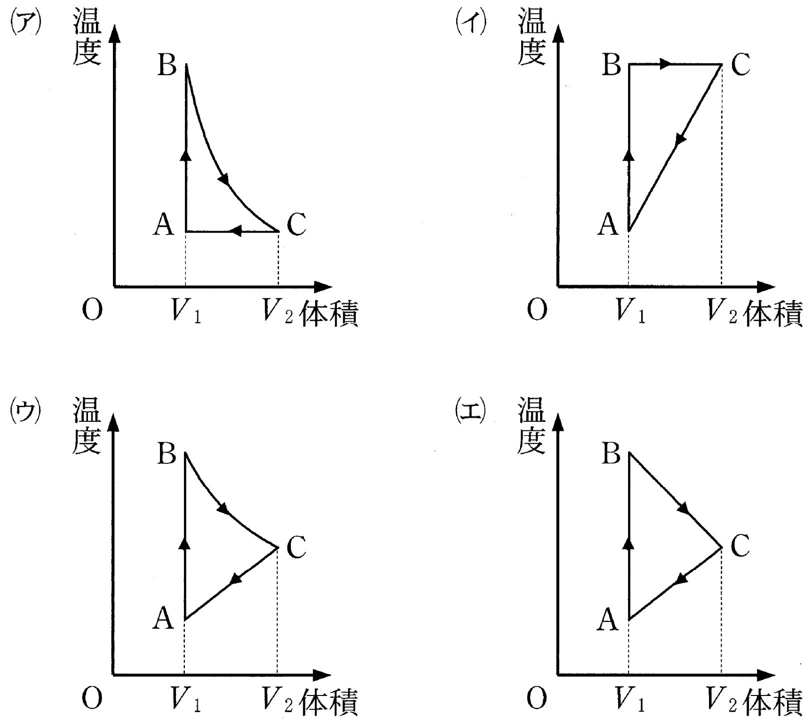

図 2

《問題B》

次の文章中の空欄①，⑤を数値で，②，④，⑦を数式で，③を語句で埋め，⑥は(ア)～(ウ)のうちから正しいものを1つ選び，解答欄に記入しなさい。①，⑤を数値で解答する際には，次の値を必要に応じて用い，有効数字2桁で答えなさい。

電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，光の速さ $c = 3.0 \times 10^{8}$ m/s，

プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J・s

(i) 真空中で陽極と陰極の間に高電圧 V をかけると，陰極から放出された電子が陽極の金属に衝突する。例えば，陽極と陰極の間を流れる電流が1.0 mAのときは，電流は単位時間あたりに通過する電気量に等しいことから，毎秒(　①　)個の電子が衝突していることになる。また，このとき陰極から飛び出す電子の初速度を0とすると，衝突する電子の運動量 p は電子の質量 m と e，V を用いて $p =$ (　②　)と表される。

電子が衝突した陽極からは，波長がX線領域の電磁波が発生する。例えば，陽極にモリブデンを用いたときには，波長と強度の関係は図1の模式図のように示される。この図で，強度が鋭いピークを示す部分を固有(特性)X線，なだらかに変化する部分を(　③　)という。X線には光と同じように粒子性があり，入射電子1個の運動エネルギーは陽極から発生する光子1個の最大のエネルギーに等しい。この関係から，(　③　)の最短波長 λ_0 は，h，c，e，V を用いて $\lambda_0 =$ (　④　)と表され，陽極の金属の種類によらないことがわかる。

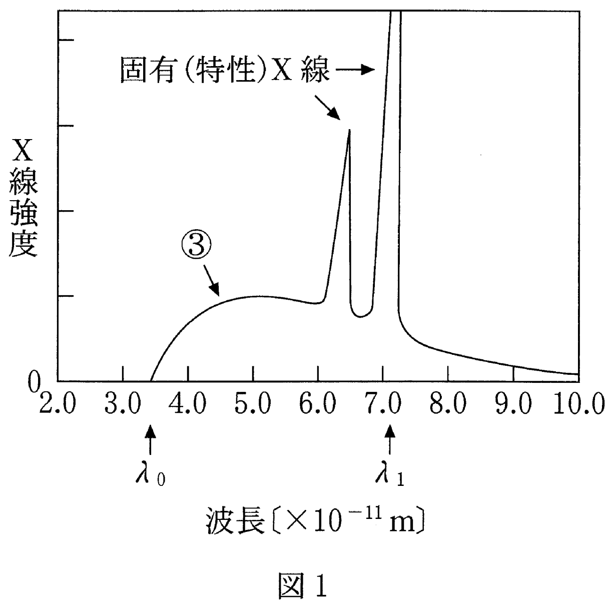

図1

(ii)　固有 X 線の波長は，陽極の原子中の電子のエネルギー準位により説明することができる。高電圧で加速された電子が陽極金属の原子核に近い内側の軌道の電子に衝突すると，その電子が原子の外にたたき出され，外側の軌道の電子が内側の空いた軌道に落ち込む。このとき，軌道間のエネルギー差 ΔE に等しいエネルギーをもつ X 線の光子が放出される。モリブデンの場合では，最も強度の高い固有 X 線の波長は $\lambda_1 = 7.1 \times 10^{-11}$ m であるので ΔE =(　⑤　)J である。金属元素は多くの電子を含み，原子番号によっていろいろな軌道間の ΔE に相当する固有 X 線をもつため，その波長から元素を特定することができる。

また，固有 X 線を図 2 のように結晶に照射し，X 線検出器の角度を変えながら反射 X 線の強度を測定すると，とくに強くなる角度があることがわかる。この強い反射 X 線は，隣り合う 2 つの格子面(結晶面)からの反射 X 線が，(⑥　(ア)　位相差が 90°，(イ)　同位相，(ウ)　逆位相)となって強め合うために生ずる。角度を 0° から少しずつ大きくしたとき，最初に強度の高い反射 X 線が観察される角度が 2θ であるならば，結晶の格子面(結晶面)の間隔 d は，θ と照射した固有 X 線の波長 λ_1 を用いて d =(　⑦　)と求まる。この方法により結晶構造を調べることができる。

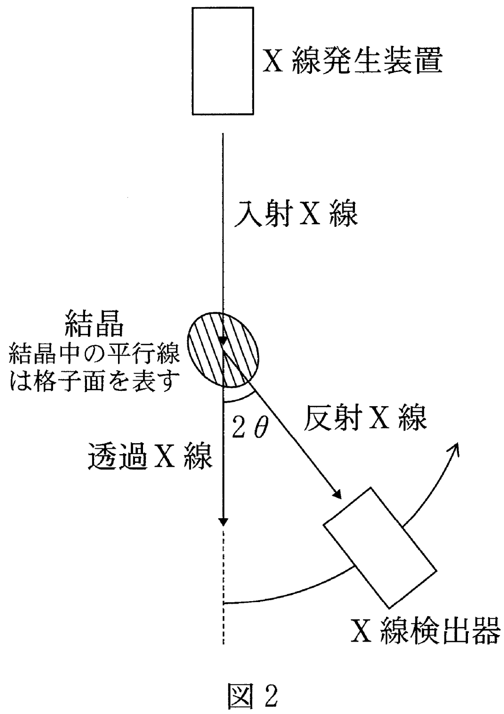

図 2