

物 理 (全3の3)

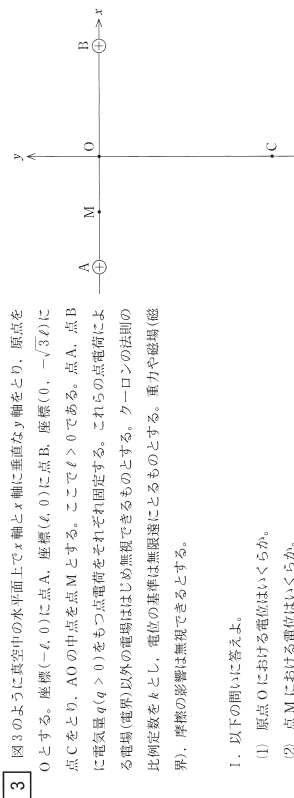


図3

- I. 以下の問いに答えよ。
- (1) 原点 O における電位はいくらか。
 - (2) 点 M における電位はいくらか。
 - (3) 点 M における電場の強さはいくらか。
 - (4) 点 C における電位はいくらか。
 - (5) 点 C における電場の強さはいくらか。
- II. 電気量 $q (q > 0)$ をもつ質量 m の点電荷 P について考える。点電荷 P の運動は x 軸上に限られるものとする。
- (6) 原点 O に静止している点電荷 P を原点 O から点 M まで静かに移動させたとき、外力がした仕事はいくらか。
 - (7) 点 M で静止させた点電荷 P を静かに離すと、点電荷 P は x 軸の正の向きに動き出した。点電荷 P が原点 O を通過するときの速さはいくらか。
- III. 電気量 $-q (q > 0)$ をもつ質量 m の点電荷 P' について考える。点電荷 P' の運動は y 軸上に限られるものとする。
- (8) 原点 O に静止している点電荷 P' を原点 O から点 C まで静かに移動させたとき、外力がした仕事はいくらか。
 - (9) 点 C にある点電荷 P' が受ける静電気力の大きさはいくらか。
- Ⅳ. 点 C で静止させている点電荷 P' に対して y 軸の正の向きに初速を与え、無限度に到達させたい。このとき必要な速さの最小値 v はいくらか。
- ① 点 C で静止させている点電荷 P' に対して、 y 軸の正の向きに①で求めた速さ v を与えた。点電荷 P' が原点 O を通過するときの速さはいくらか。
 - ② 点 A 、点 B に固定された点電荷のつくる電場に加え、 y 軸の正の向きに一樣な強さ E の電場をかける。点 C で静止させている点電荷 P' に y 軸の正の向きに②で求めた速さ v を与えて離れたところ、点電荷 P' は原点 O に達して一瞬静止した。かけた電場の強さ E はいくらか。

化 学 (全2の1)

全問をとおして、必要があれば次の原子量および数値を用いよ。 $H = 1.0$ 、 $C = 12$ 、 $N = 14$ 、 $O = 16$ 、 $Na = 23$ 、 $Cl = 35.5$ 、アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ 、ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

1 以下の問いに答えよ。

- (1) システインが関与する、タンパク質の三次構造形成に重要な結合の名称を答えよ。
- (2) 同族体の関係にある組を選び記号で答えよ。
(ア) ^{12}C 、 ^{13}C (イ) エタン、プロパン (ウ) 黄リン、赤リン (エ) マグネシウム、カルシウム
- (3) ある銅水コロイドの溶液を U 字管に入れ、蒸留水を加えて両端間に直流電圧をかけると、コロイド粒子は陰極側へ移動した。このコロイドを最も少ない物質質量で電析させることのできるイオンを次から選び、化学式で答えよ。
アルミニウムイオン、塩化物イオン、マグネシウムイオン、リチウムイオン、硫酸イオン、リン酸イオン
- (4) クメン法によってフェノールを合成する際に、副生成物として得られる有機化合物は何か。名称を答えよ。
- (5) 不斉炭素原子をもたない分子を選び、記号で答えよ。
(ア) アラニン (イ) グリシン (ウ) グルタミン酸 (エ) 乳酸 (オ) 2-ブタノール

2 次の実験について、以下の問いに答えよ。

実験1 0.020 mol の水素(H_2)、0.10 mol の酸素(O_2)および黒鉛(C)をピストン付きの容器に入れ、完全に燃焼させた。その結果、反応後に水素と黒鉛は残っており、29.36 kJの熱が生じた。

実験2 リン酸形燃料電池を一定時間放電したところ、放電中の起電力は常に1.0 Vであり、90 gの水が生成した。

表1 結合エネルギー	
結合	ΔH (kJ/mol)
H—H	436
O—H	463
O=O	498
C=O	804



- (1) 実験1において、反応前の黒鉛の質量を答えよ。
- (2) 実験1において、同温度下で反応後の容器体積は反応前の何倍となるか。
- (3) 与えられた式および式から、 $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ から $\text{H}_2\text{O}(\text{気})$ へと変化する際の蒸発エンタルピーを求めよ。
- (4) 化学反応が自発的に進行するかは、エンタルピー $-H$ 、エントロピー $-S$ 、絶対温度 T から定義されるギブズエネルギー $-G$ から判断できる。ギブズエネルギー変化 ΔG を表す式を選び、記号で答えよ。
(a) $\Delta S - T\Delta H$ (b) $\Delta S + T\Delta H$ (c) $\Delta H - T\Delta S$ (d) $\Delta H + T\Delta S$
- (5) 水は1気圧、100℃で液体と気体が平衡状態にある。このことから水の蒸発エンタルピー変化 ΔS を求めよ。ただし、③で求めた蒸発エンタルピーを用いよ。
- (6) 実験2において、負極で起こる反応を、 e^- を含む反応式で表せ。
- (7) 燃料電池はリン酸以外の電解質を用いることもできる。水酸化カリウムを電解質としたアルカリ形燃料電池の負極で起こる反応を、 e^- を含む反応式で表せ。
- (8) 実験2において、流れた電子の物質量を答えよ。
- (9) 電気エネルギーは流れた電気量と電圧の積である(1 J = 1 C·V)。実験2で得られた電気エネルギーを求めよ。
- ⑩ 燃料電池は、水素の燃焼反応で生じる熱の一部を電気エネルギーへと変換している。実験2で用いた燃料電池のエネルギー変換効率を求めよ。

化学 (全2の2)

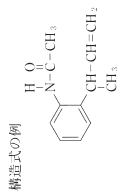
3 炭酸水素ナトリウムは、胃の制酸剤やベキングパウダーの成分として利用されている。炭酸水素ナトリウムは加熱により熱分解し、水と気体Aを発生し、残留物として炭酸ナトリウムが生じる。気体Aの分子構造は(ア)形であるため、毒性をもたない。この気体Aを冷却して得られる固体は(イ)と呼ばれ、常圧では-79℃で固体から直接気体になる昇華性をもち保冷剤として利用される。この固体は面心立方構造の分子結晶であり、単位格子中には(ウ)個の分子を含む。

炭酸ナトリウム(炭酸ソーダ)は、ガラスやせっけんの製造原料に用いられている。炭酸ナトリウムは加熱しても分解せず(エ)する。炭酸ナトリウムは、工業的にはアンモニアソーダ(ソルベール)法によって合成される。この方法では、塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを溶解し、さらに気体Aを吹き込むことによって炭酸水素ナトリウムの沈殿を得る。炭酸水素ナトリウムは水に難溶であるため、この段階で分離が可能である。得られた炭酸水素ナトリウムを加熱分解することで、炭酸ナトリウムが得られる。炭酸ナトリウムの十水和物は(オ)性を示し、空気中に放置すると一部の水和水を失って白色粉末となる。以下の問いに答えよ。

- (1) (ア)～(オ)にあてはまる適切な語句または数字を答えよ。
- (2) 気体Aの固体(イ)の密度を有効数字2桁で求めよ。ただし、単位格子の一边の長さは $5.0 \times 10^{-8} \text{ cm}$ とする。
- (3) 下線部における化学反応式を記せ。
- (4) 炭酸ナトリウム750 kgをソルベール法により製造するには、何 kgの塩化ナトリウムが必要か。有効数字3桁で答えよ。ただし反応は完全に進行し、副反応は考慮しないものとする。
- (5) 下線部において、二酸化炭素を通じる前にアンモニアを十分に溶解させることで、炭酸水素ナトリウムの沈殿反応が効率的に進行する。このような順序で反応を進めることで沈殿が効率よく得られる理由を説明せよ。
- (6) 塩化ナトリウム飽和水溶液に濃塩酸を加えると固体が析出した。この現象が起こる理由を、「共通イオン効果」という語句を用いて説明せよ。

4 炭素原子と水素原子、酸素原子だけでできた有機化合物Xは、分子量が60であることがわかっている。4.5 mgの化合物Xを完全燃焼させたところ、9.9 mgの二酸化炭素と5.4 mgの水が生成した。化合物Xとしては構造異性体A～Cが考えられる。化合物Aは室温で気体であり、金属ナトリウムと反応しない。一方、化合物BとCは室温で液体であり、金属ナトリウムと反応して気体Dを発生する。また、塩基性の水溶液中でヨウ素素と反応させると、化合物A～Cのうち化合物Bの場合のみで、特異臭をもつ紫色沈殿が得られる。^(a)化合物Bにニクロム酸カリウム水溶液と希硝酸を加えて反応させると、水と互いによく混じり合う化合物Eが得られる。以下の問いに答えよ。

- (1) 元素分析の際、発生した水蒸気を吸収する管に充てんされる物質の名称を答えよ。
- (2) 化合物Xの分子式を答えよ。
- (3) 4.5 mgの化合物Xに含まれる炭素原子の数は何個か。有効数字2桁で答えよ。
- (4) 化合物Aと化合物Eの構造式を例にならって示せ。
- (5) 下線部の反応で、発生する気体Dは何か。化学式で答えよ。
- (6) 下線部aのような反応の名称を答えよ。また、化合物Bの名称を答えよ。
- (7) 下線部bについて、反応前後でクロムの酸化数はどのように変化するか。
- (8) 化合物A～Eのうちのいずれかを酸化すると、銀鏡反応を示す化合物Fが得られる。化合物Fの名称を答えよ。



生物 (全4の1)

1 (1) ① 微小管は多様な細胞機能を担う細胞骨格で、チューブリンが重合したフィラメントの束で形成される(ア：a中空の筒状、b繊維状)の構造体である。チューブリンが微小管の末端から重合したり脱落することで微小管は長さを変え、通常は微小管の(イ：cプラス端、dマイナス端)は微小管形成中心に固定されているため、微小管の伸縮は(ウ：eプラス端、fマイナス端)で起きる。

問1 文中のあからに当てはまる適切な語句の組み合わせを、以下の①～⑧より一選び番号で答えなさい。

- ① (ウ)a、(イ)c、(ウ)e ② (ウ)a、(イ)c、(ウ)f ③ (ウ)a、(イ)d、(ウ)e ④ (ウ)a、(イ)d、(ウ)f
- ⑤ (ウ)b、(イ)c、(ウ)e ⑥ (ウ)b、(イ)c、(ウ)f ⑦ (ウ)b、(イ)d、(ウ)e ⑧ (ウ)b、(イ)d、(ウ)f

問2 下線aについて、微小管が主要な役割をはたすものを、以下の①～⑦より全て選び番号で答えなさい。

- ① 細胞内での核の位置保持 ② シナプス小胞の軸索末端への輸送 ③ ゴルジ体の核付近への滞留
- ④ 細胞分裂の収縮環の形成 ⑤ 筋細胞の収縮 ⑥ デスモソームの形成
- ⑦ 植物細胞の原生質流動

問3 下線bについて、ある細胞で微小管の伸縮を計測したところ、微小管が伸長する速度は毎分 $1.2 \mu\text{m}$ であり、縮小する速度は毎分 $3.6 \mu\text{m}$ であった。一定時間内において微小管が伸長する確率(P_{grow})は様々な条件によって影響され、例えばチューブリンの濃度が増加したり、微小管結合タンパク質のはたらきで微小管構造が安定化すると、微小管は伸長しやすくなる。 P_{grow} が0.6であったとき、微小管は1分あたり $0.72 \mu\text{m}$ 縮小した。この細胞において微小管の見かけ上の伸縮が見られなくなる状態に達するための P_{grow} の値を求めなさい。

問4 下線cにはどの細胞小器官に由来するか、名称を答えなさい。

問5 チューブリンの脱落を阻止し微小管を強固に安定化させる化合物は薬としても使われている。どの病気に対する薬として用いられるか、以下の①～⑥より一選び番号で答えなさい。

- ① 糖尿病 ② アルツハイマー病 ③ 結核
- ④ がん ⑤ 花粉症 ⑥ コロナウイルス感染症

(1) 鞭毛や繊毛は、微小管が形成する共通の基本骨格である軸索を持つ。この構造において、微小管どうしはタンパク質で架橋され、さらにモータータンパク質の(エ：gダイニン、hキネシン、iミオシン)が結合している。エが微小管の軸索(イ：jプラス端からマイナス端、kマイナス端からプラス端)方向に移動することで、架橋された微小管が屈曲する。この動きが周期的に連続することで波打つような動きが可能になる。

問6 文中のhおよびaに当てはまる適切な語句の正しい組み合わせを、以下の①～⑥より一選び番号で答えなさい。

- ① (エ)g、(イ)j ② (エ)g、(イ)k ③ (エ)h、(イ)j
- ④ (エ)h、(イ)k ⑤ (エ)i、(イ)j ⑥ (エ)i、(イ)k

問7 下線dについて、鞭毛は細胞に1～2本存在する長い毛で、繊毛は多数存在する短い毛として分類される。ヒトの体で繊毛を持つ細胞を挙げ、その繊毛の役割を30字以内で答えなさい。

問8 下線eの軸索の横断面における微小管の配置として相応しいものを図1の①～④より一選び、番号で答えなさい。

問9 下線fのモータータンパク質による動きはどの微小管の間で起きるか、図1を参考にして適切なものを以下の①～⑦より一選び、番号で答えなさい。

- ① 外側周縁の隣り合った微小管(アとア')の間 ② 中央の微小管(イとイ')の間
- ③ 外側周縁と中央の微小管(アとイ')の間 ④ ①と②の間
- ⑤ ②と③の間 ⑥ ①と③の間 ⑦ ①～③のすべて

問10 微小管とモータータンパク質が拒うはたらきを、以下の①～⑦の中から一選び番号で答えなさい。

- ① 細胞内での核の位置保持 ② シナプス小胞の軸索末端への輸送 ③ ゴルジ体の核付近への滞留
- ④ 細胞分裂の収縮環の形成 ⑤ 筋細胞の収縮 ⑥ デスモソームの形成
- ⑦ 植物細胞の原生質流動

問11 近年、スーパーグループという真核生物の新しい系統分類群が提唱されている。この分類方法においては、真核細胞がもつ鞭毛の特徴も重要な要素となっており、動物と植物は細胞の後に鞭毛を持つという意味の同じグループに分類される。そのグループ名を答えなさい。また、このグループに属し、海綿動物の祖先とも考えられている原生物の名前を答えなさい。

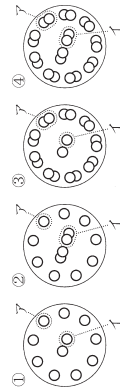


図1 ① ② ③ ④

生 物 (全4の2)

2 動物は、多細胞で運動性のある従属栄養生物である。動物の分類群には、海綿動物、刺胞動物、環形動物、線形動物、節足動物、節足動物、脊索動物などがある。体腔の有無や胚葉数などの発生様式を重視して推定した単純な動物の系統関係では、節足動物は環形動物と近縁であると考えられていた。しかし、DNAの塩基配列に基づいた系統解析の結果、節足動物は線形動物と近縁であることが明らかとなり、系統関係の修正が行われた。

問 1 以下のa)~E)のうち、海綿動物について正しい記述を全て選び記号で答えなさい。

- (A) 胚葉の分化がない。
 - (B) 神経は網目状に分布し、中枢神経系がない。
 - (C) 食物の取り込みに関わるえり細胞を持つ。
 - (D) 細胞にある程度の分化はみられるが、組織を形成していない。
 - (E) 多数の触手を持ち、その触手には針と毒を持つ細胞が存在する。
- 問 2 刺胞動物の消化管の開口部の特徴を60字以内で説明しなさい。
- 問 3 選択肢1より、環形動物、線形動物、節足動物の各分類群に属する動物を全て選びそれぞれ記号で答えなさい。

【選択肢1】

- (A) ナメクジウオ (B) エビ (C) ヒドラ (D) コカイ (E) ワムシ (F) クモ
- (G) プラナリア (H) バッタ (I) センチュウ (J) ヒトデ (K) ムカデ (L) ミミズ

問 4 脊索動物には、原索動物と脊椎動物が含まれる。これらの動物の発生過程で形成される脊索は、外胚葉、中胚葉、内胚葉のうちのどの胚葉に由来するか答えなさい。また、脊椎動物の発生過程において、脊索以外にこの胚葉から生じるものを選択肢2より全て選び、記号で答えなさい。

【選択肢2】

- (A) 脳 (B) 肝臓 (C) 骨格筋 (D) 水晶体
- (E) すい臓 (F) 心臓 (G) 肺 (H) 腎臓

問 5 下線部a)について、節足動物と環形動物において共通して見られる特徴を、選択肢3より全て選び記号で答えなさい。

【選択肢3】

- (A) 開放血管系を持つ。
- (B) 体が多く体の節からできている。
- (C) 体素がキチン質の外骨格に覆われている。
- (D) はしご形神経系を持つ。
- (E) 真体腔を持つ。

問 6 下線部b)について、節足動物と線形動物において共通して見られる特徴を、選択肢4より全て選び記号で答えなさい。

【選択肢4】

- (A) 発生の過程で原口が成体の将来の口側となる。
- (B) 発生の過程で原口とは別の部分に新しい口ができる。
- (C) 真体腔を持つ。
- (D) 脱皮により成長する。
- (E) 体が多く体の節からできている。

生 物 (全4の3)

3 腎臓は、老廃物を排出するために尿を生成すると同時に、体液の量と体液に含まれる塩類の濃度を一定に保つたらしめている。ヒトの腎臓は、横隔膜の(ア：a.上、b.下)の(イ：c.腹側、d.背側)に左右1対ある。形状はソラメ型で、大きさは(ウ：e.ソラメ、f.鶏卵、g.握りこぶし、h.小児頭)大である。内側の腎門と呼ばれる少し凹んだ部分から腎動脈と尿を運び出す(1)が出る。

腎臓実質内部には尿を生成する(2)という単位構造があり、(2)は、腎小体(マルピーギ小体)と細尿管からなる。腎小体は毛細血管が枝分かれし、糸玉状になった(3)とこれを包む袋状の(4)から構成されている。(3)において血液の血漿からへ濾過された原尿は、さらに細尿管や集合管を通して尿となる。

腎臓で作られた尿は(5)に集まり、(1)を経て(6)に蓄えられ、状況に応じて、(7)を通り体外へ排出される。

問 1 文中の(ア、イ、ウ)にあてはまる語句を選び、記号で答えなさい。

問 2 文中の(1)~(7)にあてはまる適切な語句を答えなさい。

問 3 腎臓で1分間に生成されるおおよその尿の量を計算しなさい。ただし、体水分量や室温などの状況を正常範囲内とする。その他の条件として、1分間の心拍出量(血液量)を5Lとし、その20%を腎血流量とする。また、(3)での血漿からの原尿の濾過量を20%とし、その後の再吸収量を99%とする。

問 4 (6)に蓄積された尿により強い尿意を感じる平均値が250ml.とすると、排尿後、次に強い尿意を感じるのはおおよそどれくらいの時間が経った後か、選択肢Aより一つ選び記号で答えなさい。

【選択肢A】

- (A) 1時間 (B) 2時間 (C) 3時間 (D) 4時間 (E) 5時間

問 5 集合管における水分の再吸収を増やすホルモンの名称を答えなさい。

問 6 夏場に汗をかいたとすると、その後の尿量はどのようになり、尿の色はどのようになるか、答えなさい。ただし水分摂取量は変化していないとする。

問 7 大量に発汗したあと、喉の渴きを強く感じただけで、大量の水をがぶ飲みした。

(1) a)の際、問5で答えたホルモンの分泌量はどのようになっているか、選択肢Bより一つ選び記号で答えなさい。

【選択肢B】

- (A) 増加する (B) 変わらない (C) 減少する

(2) b)の後、問5で答えたホルモンの分泌量はどのようになっているか、選択肢Cより一つ選び記号で答えなさい。

【選択肢C】

- (A) 増加する (B) 変わらない (C) 減少する

(3) b)の後、しばらくすると、血漿の塩分濃度はどうなっているか、選択肢Dより一つ選び記号で答えなさい。

【選択肢D】

- (A) 上昇する (B) 変わらない (C) 低下する

問 8 問7のa)およびb)の時に、ある器官からの塩分濃度を調節するホルモンの分泌が変化する。このホルモンの名称とこのホルモンを分泌する器官、およびこのホルモンの標的器官を答えなさい。

生 物 (全4の4)

4 以下の文を読み、問いに答えなさい。

ポリメラゼ連鎖反応(PCR)は、多数の DNA 分子の中から目的とする特定の領域を何回も複製して増幅するための実験手法である。PCR では、適切な緩衝液中に、目的領域の塩基配列を含む 2 本鎖 DNA、(ア)、(イ)、(ウ)を加え、温度管理が自動化された装置を用いて緩衝液の液温を変化させることで、ごく微量な DNA から目的領域を迅速に増幅することができる。

ヒトゲノム中には、2 塩基から 5 塩基の、ある決まった塩基配列が複数回繰り返し並んでいる「反復 DNA 配列」とよばれる塩基配列領域が、多数存在している。同じ遺伝子座に存在する反復 DNA 配列であっても、ヒトの個体ごとに反復の回数がさまざまで異なる、いわゆる多型を示す場合がある。このような領域を挟み込むようにして(ア)の塩基配列を設計し、(イ)のはたらきにより DNA の断片を増幅する。その後、電気泳動により増幅した DNA 断片を長さによって分離開することで、反復回数を決定することができる。この技術は、犯罪捜査や親子鑑定などに大きな影響を与えている。

ヒト 13 番染色体上の遺伝子座 A には反復 DNA 配列が存在しており、TATC の 4 塩基が 7 ～ 15 回繰り返し並んでいるため、多型を示すことがわかっている。この反復 DNA 配列は親から子へと変異を起こさずに遺伝するため、遺伝的マーカーとして有用である。あるヒト集団 X を構成する全ての個体について、遺伝子座 A の反復配列の反復回数を調べたところ、図 2 のような出現頻度を示すことがわかった。

問 1 文中の空欄(ア)、(イ)、(ウ)に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 ヒト集団 X の中のある 1 個体から細胞を採取して、そこから 2 本鎖 DNA を抽出し、遺伝子座 A の反復 DNA 配列を PCR で増幅したところ、反復回数が 8 回および 11 回に相当する 2 種類の異なる長さの DNA 断片が得られた。なぜ 2 種類の異なる長さの DNA 断片が得られたのか、その理由を 50 字以内で答えなさい。また、このような結果を示すヒトは、ヒト集団 X 中にどれくらいの頻度で存在するか、図 2 の出現頻度を用いて計算式を示したうえで、有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つものとする。

問 3 現在、PCR によって、遺伝子座 A を含む、互いに独立した連鎖していない全 16 か所の遺伝的マーカーの反復配列数を決定できる遺伝子解析システムができている。このシステムを用いることで、ある 2 個体が親子関係にあるかどうかを調べることが可能になる。もし、この 2 個体が親子関係にある場合には、全ての遺伝的マーカーについて、反復配列数が等しい DNA 断片が必ず得られることになる。

血縁関係のない 2 個体から細胞を採取して、そこから 2 本鎖 DNA を抽出してこの遺伝子解析システムで遺伝的マーカーの反復配列数を調べた。その際に、この 16 個所の遺伝的マーカー全てにおいて反復配列数が同じ DNA 断片が得られる確率を求め、有効数字 3 桁で答えなさい。ただし各遺伝的マーカーにおいて血縁関係のない 2 個体間で反復配列数が同じ DNA 断片が得られる確率を一律 20 % と仮定する。

遺伝子座名	A (13 番染色体上)	
反復配列	TATC	
反復回数	出現頻度	
7	0.0011	
8	0.3670	
9	0.1289	
10	0.1148	
11	0.2211	
12	0.2022	
13	0.0511	
14	0.0130	
15	0.0008	
出現頻度合計	1	

図 2