

平成 27 年度前期日程入学試験学力検査問題

平成 27 年 2 月 25 日

理 科

物 理…… 4 ～19ページ, 化 学……20～33ページ

生 物……34～45ページ, 地 学……46～55ページ

志 望 学 部	試 験 科 目	試 験 時 間
理 学 部 農 学 部	物理, 化学, 生物, 地学のうちから 2 科目選択	13 : 30 ~ 16 : 00 (150 分)
医 学 部 歯 学 部	物理, 化学, 生物のうちから 2 科目選択	
薬 学 部 工 学 部	物理(指定), 化学(指定)	

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで, この問題冊子, 解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は, 55 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし, 冊子の留め金を外したり, ページを切り離しては使用しないこと。なお, ページの脱落, 印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は, 必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し, ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1枚につき2か所)には, 忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は, 必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後, この問題冊子は持ち帰ること。

化 学

計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。

原子量 $H = 1.00$ $C = 12.0$ $N = 14.0$ $O = 16.0$ $Cu = 63.5$

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

解答に字数の指定がある場合、以下の例に示すように、句読点、数字、アルファベット、および記号も1字として数えよ。なお、問題中の体積記号Lは、リットルを表す。

(例)

F	e	³	+	を	含	む	4	°	C	の	H	₂	O	が	,
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1 次の文章を読み、問1から問7に答えよ。なお、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

周期表の15族に属する典型元素である窒素は、大気中や^{a)}土壌、生体内を様々な物質として循環し、広く地球上に存在している。特に窒素酸化物は種類も多く、重要な物質である。窒素分子は無色・無臭の気体で、^{b)}水に溶けにくく、^{c)}常温では化学的に不活性で酸素分子と反応することはない。しかし、自動車のエンジン内のような高温・高圧下では酸素分子と反応して窒素酸化物が生成する。排気ガスの一部として大気中に放出された^{d)}一酸化窒素は酸化され、水に溶けやすい赤褐色の有毒な二酸化窒素を生成して、雲の中の水滴に取り込まれたり、降下中の雨水に溶け込むことなどにより、地上や海に降り注ぐ。^{e)}雨水に溶けた二酸化窒素は酸性雨の原因となる硝酸などになる。このため、近年では、窒素酸化物などの排出を抑えるために、触媒を用いて窒素分子などに効率良く変換している。

問 1 下線部 a) に関して，生物の排出物に含まれている尿素は，微生物の作用によりアンモニアを生じることで肥料としての役割を果たしている。尿素について以下の問いに答えよ。

- (1) アンモニアと二酸化炭素から尿素と水が得られる。尿素の構造式を書け。
- (2) 尿素分子は何組の非共有電子対をもつか。その数を書け。

問 2 表 1 は窒素酸化物の物質名とその化合物における窒素原子の酸化数である。表 1 の空欄 ア から ウ に適切な数字を符号とともに書け。

表 1

物質名	窒素原子の酸化数
一酸化窒素	+ 2
一酸化二窒素	ア
二酸化窒素	イ
三酸化二窒素	+ 3
四酸化二窒素	ウ

問 3 下線部 b) に関して，窒素分子の結合エネルギー [kJ/mol] の値を有効数字 3 桁で求めよ。ただし， NH_3 (気体) の生成熱 46.0 kJ/mol と表 2 に示した値を用いよ。

表 2

結合	結合エネルギー [kJ/mol]
H-H	436
H-N	391

問 4 下線部 c) に関して、窒素は、60 °C においてその分圧が 1.0×10^5 Pa のとき、水 1.0 L に 4.7×10^{-4} mol 溶けることが知られている。窒素の溶解度に関して以下の問いに答えよ。なお、空気を窒素分子と酸素分子(物質質量比 8 : 2) および水蒸気の混合気体であるとし、水の飽和蒸気圧は 60 °C のとき 2.0×10^4 Pa とする。

- (1) 60 °C において、全圧 1.0×10^5 Pa の空気が水に十分に長い時間接して気液平衡状態に達していたとする。この空気中の窒素分子の分圧 [Pa] を有効数字 2 桁で求めよ。
- (2) (1) の条件で、水 1.0 L に溶けている窒素分子の質量 [g] を有効数字 2 桁で求めよ。また導出過程も書け。

問 5 下線部 d) に記した反応による二酸化窒素の生成速度 v [mol/(L·s)] が、反応速度定数 k を用いて①式のように表せるとする。

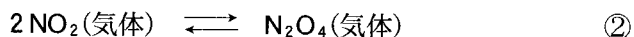
$$v = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2] \quad \text{①}$$

ここで、①式の [M] は分子 M のモル濃度を示す。27 °C で 10 L の容器に 1.0×10^{-2} mol の NO と 5.0×10^{-3} mol の O_2 を封入し、反応を開始させた。以下の問いに答えよ。

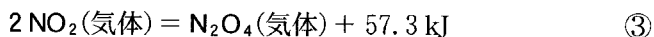
- (1) 反応開始直後から 0.20 秒の間に 7.0×10^{-6} mol の二酸化窒素が生成した。この間の [NO] と [O₂] は一定とみなしてよいものとする。0.20 秒間の平均生成速度から反応速度定数 k を有効数字 2 桁で求め、その単位とともに書け。
- (2) 一定時間が経過した時点で二酸化窒素の生成速度を調べたところ、反応開始直後に比べ $\frac{1}{8}$ 倍になっていた。この時、容器内にある O₂ の物質質量 [mol] を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、容器の温度は一定に保たれており、生成した二酸化窒素の分解は無視できるものとする。

問 6 下線部 e) に関して、二酸化窒素が冷水に溶けると、硝酸と亜硝酸 (HNO₂) が生成する。この反応の化学反応式を書け。

問 7 純粋な二酸化窒素を注射器に入れて栓をし、 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5\text{ Pa}$ の条件で放置したところ、二酸化窒素の一部が四酸化二窒素に変化し、 t 秒後に②式で表される平衡状態に達した。



このときの気体の体積は 50 mL であり、その中に含まれる四酸化二窒素の質量の割合は 80% であった。以下の問いに答えよ。なお、注射器内の圧力はピストンが滑らかに動くことで常に $1.0 \times 10^5\text{ Pa}$ に保たれているとし、二酸化窒素から四酸化二窒素が生じる反応の熱化学方程式は③式で表されるものとする。



(1) 注射器中に密閉した二酸化窒素の質量 $[\text{g}]$ を有効数字 2 桁で求めよ。また導出過程も書け。

(2) この反応で次の(a)から(c)のようにそれぞれ条件を変化させたときの記述として、 から に入る適切な語句を以下の選択肢(i)から(v)の中より選び、記号で書け。なお、②式以外の反応は起こらないものとする。

(a) 注射器内にアルゴンガスを $2.0 \times 10^{-3}\text{ mol}$ 追加し、 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ で平衡状態に達するのを待った。アルゴンガスを追加しなかったときと比較すると、平衡は 。

(b) $\frac{1}{2}t$ 秒後に注射器のピストンを固定し、 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ で平衡状態に達するのを待った。ピストンの固定を行わなかったときと比較すると、平衡は 。

(c) 温度を高くしたところ、正反応の平衡定数は 。

- (i) 左に移動した (ii) 右に移動した (iii) 大きくなった
(iv) 小さくなった (v) 変化しなかった

2 次の文章(I)と(II)を読み、問1から問10に答えよ。

(I) ハロゲンは、多くの元素の単体と反応してハロゲン化物をつくる。たとえば、銅線を熱して塩素中に入れると、激しく反応して塩化銅(II)を生じる。この反応では、銅と塩素の間で電子の授受が行われており、塩素は ア 剤、銅は イ 剤としてはたらいっている。このような電子の授受を伴う化学反応を ウ 反応という。上述した銅線と塩素との反応では、ア 反応と イ 反応が同じ場所で起こっているため、反応で生じるエネルギーを電気エネルギーとして直接取り出すことはできない。

これに対して、ア 反応と イ 反応を異なる場所(電極)で行わせ、その間を導線でつなぐと、授受される電子を電流として取り出すことができる。このように、ウ 反応に伴って放出されるエネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置を エ という。エ では、電子が導線に流れ出る電極を オ、導線から電子が流れ込む電極を カ という。また、両極間の電位差(電圧)を キ という。

水溶液などに電極を浸し、外部電源を用いて電流を流すと ウ 反応を起こすことができる。これを電気分解という。

b)

問1 下線部a)に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) ハロゲンの単体あるいは化合物に関する以下の記述のうち、正しいものをすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。
- (a) ヨウ化カリウム水溶液に臭素水を加えると、ヨウ素 I_2 が遊離する。
 - (b) 非金属元素の単体の中で、常温の大気圧下で、液体の物質は臭素 Br_2 だけである。
 - (c) 常温の大気圧下で、塩素 Cl_2 は乾燥した空気よりも密度が小さい。
 - (d) 塩酸にマグネシウム片を入れると、水素 H_2 が発生する。
 - (e) フッ化水素 HF は、他のハロゲン化水素 HCl , HBr , HI に比べて沸点が低い。
- (2) 酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて加熱したところ、塩素 Cl_2 が発生した。この反応の化学反応式を書け。

問 2 文中の空欄 **ア** から **キ** に入る適切な語句を書け。

問 3 下線部 b) に関して、炭素棒を電極に用いて、塩化銅(II)水溶液を一定電流で 25 分 44 秒間電気分解したところ、0.127 g の銅が析出した。電流の値は何アンペア [A] か。その数値を有効数字 3 桁で書け。ただし、このときの電気量はすべて銅の析出に使われたものとする。

問 4 ある水溶液 A に対して、以下の実験装置を使用し、常温において実験 1 と実験 2 を行った。

実験装置：図 1 のように、白金の電極 1 と電極 2 が水溶液 A に浸してあり、導線で抵抗、電流計、電源、スイッチがつながれている。電極の周囲には、電極から発生する気体をためるガラス容器が取り付けられている。電流計には、電流の向きと大きさを計測できるものを使用した。

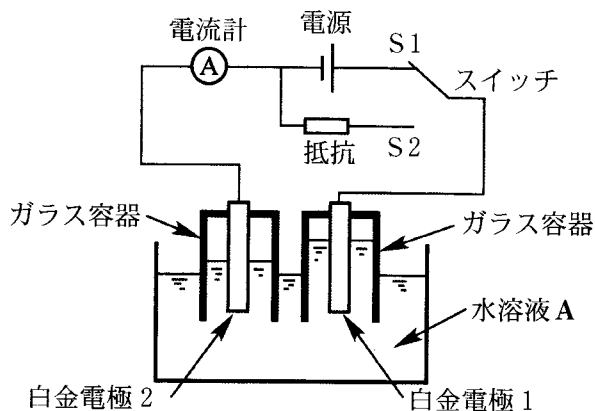


図 1 実験 1 と実験 2 に使用した装置

実験 1：どちらのガラス容器も水溶液 A で完全に満たした後、スイッチを端子 S1 側につなぎ、水溶液 A の電気分解を行った。その結果、図 1 のようにガラス容器に気体がたまった。

実験 2：水溶液 A として希硫酸を用いて実験 1 と同様の操作を行い、図 1 のようにガラス容器に気体がたまったところで、スイッチを端子 S2 側に切りかえた。

以下の問いに答えよ。

- (1) ある水溶液 A に対して実験 1 を行ったところ、電極 1 の周囲のガラス容器には酸素が、電極 2 の周囲のガラス容器には水素がたまった。水溶液 A に該当するものを以下の選択肢からすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。
- (a) 硫酸ナトリウム水溶液
 - (b) 硫酸銅(II)水溶液
 - (c) 塩化ナトリウム水溶液
 - (d) ヨウ化カリウム水溶液
 - (e) 水酸化カリウム水溶液
- (2) 実験 2 において、スイッチを端子 S2 側に切りかえた後の電流の流れ方に関する以下の記述のうち、最も適切なものを 1 つ選び、解答欄の記号を○で囲め。
- (a) 電気分解のときと同じ向きに電流が流れる。
 - (b) 電流はまったく流れない。
 - (c) 電気分解のときとは逆向きに電流が流れる。
- (3) 上記(2)での電流の流れ方の理由に関する以下の記述のうち、最も適切なものを 1 つ選び、解答欄の記号を○で囲め。
- (a) 電気分解をやめると、電極での反応も停止するため。
 - (b) 白金の触媒作用により、水が生成するため。
 - (c) 白金が不動態となるため。
 - (d) 電気分解で発生した気体が硫酸と反応するため。
 - (e) 電気分解をやめても、分解反応は反応物がなくなるまで継続するため。
 - (f) 電気分解の際に電極 1 から溶解した白金が、電極 2 に析出するため。

(II) イオン結晶である物質は、水に溶けやすいものが多い。たとえば、塩化ナトリウム NaCl の結晶が水に溶解するのは、 Na^+ や Cl^- と水分子との間に静電的な引力がはたらくことにより、イオンが水分子と結びつき、水中に分散するためである。

一方、エタノールは非電解質であるが、ヒドロキシ基をもつため、この部分が水分子と結合をつくりやすく、水によく溶ける。このように、分子からなる物質にも、水に溶けやすいものがある。

問 5 下線部 c) に関して、イオン結晶やイオンに関する以下の記述のうち、正しいものをすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。

- (a) ナトリウムイオン Na^+ のイオン半径は、ナトリウム Na の原子半径よりも大きい。
- (b) イオン結晶である硫酸バリウムは、溶解度積が小さいため水に溶けにくい。
- (c) イオン結晶である物質を溶解した水溶液の電気分解において、電極で反応するのは、イオンのみである。
- (d) 水溶液では、溶媒である水も一部が電離してイオンを生じているが、この電離は低温ほど起こりにくい。
- (e) ハロゲン化ナトリウム NaF 、 NaCl 、 NaBr の結晶では、ハロゲン化物イオンのイオン半径が大きいものほど融点が低い。

問 6 下線部 d) に関して、この現象の名称を書け。

問 7 下線部 e) に関して、この結合の名称を書け。

問 8 下線部 f) に関して、以下の問いに答えよ。

(1) 極性分子を以下の選択肢からすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。

(a) 四塩化炭素 (b) 硫化水素 (c) 二酸化炭素 (d) アンモニア

(2) 分子結晶あるいは分子に関する以下の記述のうち、正しいものをすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。

(a) 分子結晶である物質は、イオン結晶である物質に比べて融点が高いものが多い。

(b) 分子からなる物質では、固体は液体より密度が小さいものが多い。

(c) 二原子分子 F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 では、分子量が大きいものほど、分子間力が強い。

(d) 分子結晶である物質は、電気伝導性を示さないものが多い。

問 9 ヨウ素は、水にはごく少量しか溶解しないが、ヨウ化カリウム水溶液にはよく溶ける。これは、ヨウ化カリウム水溶液中では、可逆反応



により、褐色の三ヨウ化物イオン I_3^- を生じるためである。ヨウ素を溶かしたヨウ化カリウム水溶液は、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液とよばれる。

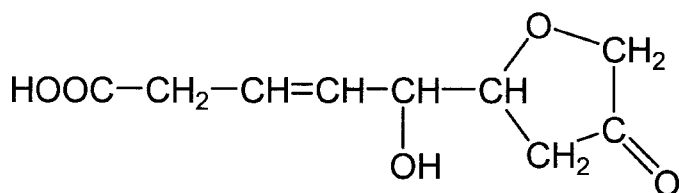
分液漏斗ぶんえきろうとに、ほぼ同じ体積のヨウ素ヨウ化カリウム水溶液とヘキサンを入れたところ、二層に分離した。これをよく振り混ぜて静置したところ、ヘキサン層は無色から紫色に変わり、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液は色が薄くなった。この理由を、分子の極性と①式の化学平衡に基づいて、40字以内で書け。

問10 混合物から目的とする物質を適当な溶媒に溶かし出して分離する操作を何というか。その名称を書け。

——このページは白紙——

3 化合物 A, B, C, D, E, F, G に関する実験 1 から実験 8 を読み、問 1 から問 10 に答えよ。上記化合物はすべて炭素原子、水素原子、酸素原子のみからなり、化合物 A, B, C, D, E は同じ分子式で表され、分子量が 100 以下の構造異性体である。また、化合物 F, G は同じ分子量で、互いに異なる分子式で表される化合物である。化合物 A から G および反応生成物が環状構造をもつ場合、5 個以上の原子からなる環が 1 つだけ含まれるものとする。構造式は、次の例にならって書け。なお、幾何異性体および不斉炭素原子により生じる立体異性体は区別しなくてよい。

(例)



実験 1 化合物 A 86.0 mg を完全燃焼させると、二酸化炭素 220 mg と水 90.0 mg が生成した。

実験 2 不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 A に、適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、不斉炭素原子をもたない生成物が得られた。

実験 3 不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 B に、適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 H が得られた。化合物 B に臭素を付加させたところ、不斉炭素原子を 3 つもつ化合物 I が得られた。

実験 4 不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 C に、適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 J が得られた。化合物 J にナトリウムを加えたが、気体の発生は観測されなかった。

実験 5 不斉炭素原子をもたない化合物 **D** に臭素を付加させたところ、不斉炭素原子を 1 つもつ生成物が得られた。適切な触媒を用いて化合物 **D** に水素を付加させると化合物 **K** が得られた。化合物 **K** を二クロム酸カリウムの硫酸酸性溶液で酸化したところ、化合物 **K** より分子量が 14.0 増加した化合物 **L** が得られた。化合物 **L** は、不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 **E** を二クロム酸カリウムの硫酸酸性溶液で酸化しても得られた。また、化合物 **L** とメタノールの混合物に濃硫酸を加えて加熱すると化合物 **M** が得られた。

実験 6 化合物 **F**、**G** の分子量測定と元素分析を行ったところ、化合物 **F**、**G** の分子量はいずれも化合物 **M** と同じであり、化合物 **F**、**G**、**M** の炭素原子数は 4 以上で、分子式は互いに異なることがわかった。

実験 7 不斉炭素原子をもたない化合物 **F** に、適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、分子量が 2.0 増加し、不斉炭素原子を 1 つもつ化合物 **N** が得られた。化合物 **F**、**N** はいずれもヨードホルム反応を示した。また、化合物 **F**、**N** にそれぞれ炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると気体が発生した。ア の飽和水溶液にこの気体を通すと白色沈殿が生じた。化合物 **N** に濃硫酸を加えて加熱すると分子内脱水反応により化合物 **O** が得られた。

実験 8 0.10 mol の化合物 **G** に希硫酸を加えて加水分解したところ、0.20 mol の化合物 **P** が得られた。

問 1 化合物 **A** の分子式を書け。

問 2 化合物 **A** の構造式を書け。

問 3 化合物 **I** の構造式を書け。

問 4 化合物 **C** の構造式を書け。

問 5 化合物 **D** および **E** の構造式を書け。

問 6 実験 5 の化合物 **E** が酸化されて化合物 **L** が生成する反応のイオン反応式を書け。なお、化合物 **E** と **L** は構造式ではなく、化合物記号 **E** と **L** を用いて表すこと。

問 7 化合物 **M** の構造式を書け。

問 8 実験 7 の空欄

ア

 にあてはまる化合物の組成式を書け。

問 9 化合物 **O** の構造式を書け。

問10 化合物 **G** の構造式を書け。

——このページは白紙——