

## 平成 28 年度・入学試験問題

# 理 科 (前)

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は 35 ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意(重要)  
「物理」、 「化学」、 「生物」のうち 2 科目を選択して解答しなさい。  
選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後、90 分で回収します。それ以後は  
選択の変更は認めません。  
全科目の解答用紙 5 枚ともに受験番号を記入しなさい。

# 化 学

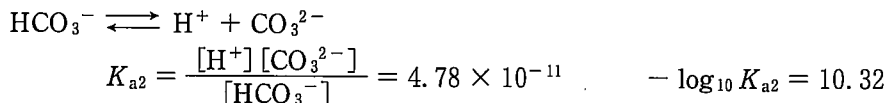
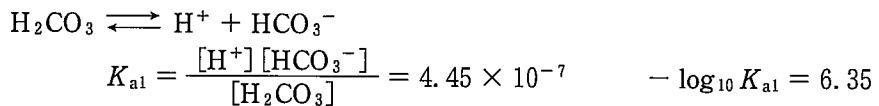
## 化学問題 1

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

二酸化炭素  $\text{CO}_2$  は、常温常圧で無色無臭の気体である。二酸化炭素は、石油や石炭等に含まれる有機化合物の燃焼によって容易に生成し、地球温暖化を引き起こすことが近年懸念されている。

水に溶解した二酸化炭素は、炭酸  $\text{H}_2\text{CO}_3$  となる(注)。炭酸は下記のように2段階に解離して、炭酸水素イオン  $\text{HCO}_3^-$  と炭酸イオン  $\text{CO}_3^{2-}$  を生成する。これらの物質を含む水溶液は緩衝作用を持ち、血液の pH を 7.40 付近に保つために重要な役割を果たしている。

二酸化炭素を水中に吹き込んだ炭酸水は、清涼飲料水としてよく用いられる。炭酸水を作るために、1 L の水を入れた 3.88 L の密閉容器を用意し、0.15 mol の  $\text{CO}_2$  ガスを封入して、15 °C で溶解平衡に到達させた。次に、 $\text{CO}_2$  ガスの封入量を増すことで、溶解した炭酸の濃度を約 0.1 mol/L に調整した。この炭酸水 10 mL を、正確に濃度が分かっている 0.100 mol/L の NaOH 水溶液で滴定し、滴下した NaOH 水溶液の量に対する pH 値の変化を pH 計で測定した。



$K_{a1}$  及び  $K_{a2}$  は、それぞれ1段階目と2段階目の解離に関する平衡定数を表す。

(注) 実際には、溶解した二酸化炭素と炭酸との間で平衡が存在するが、本問ではこの平衡を考慮せずに、全て炭酸とみなして解答せよ。

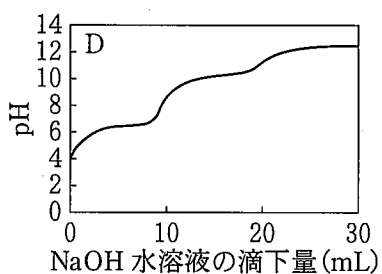
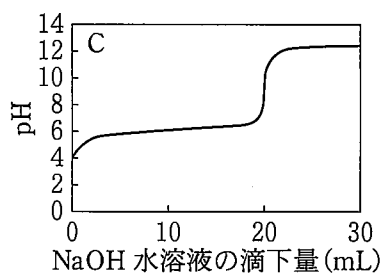
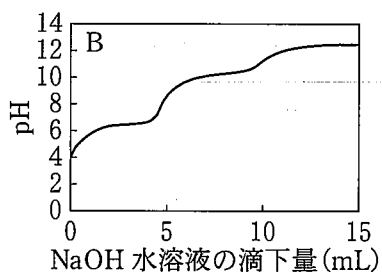
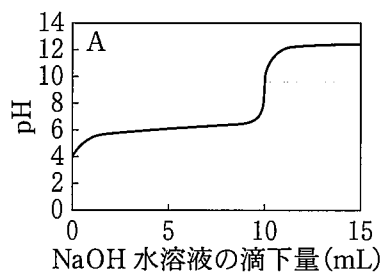
問 1. 下線部①に関連して、気体の  $\text{CO}_2$  を液体に変換するにはどのようにしたらよいか簡潔に述べよ。

問 2. 下線部②に関連して、石灰水に  $\text{CO}_2$  ガスを吹き込むと白色沈殿を生じるが、 $\text{CO}_2$  ガスをさらに吹き込むとこの沈殿は溶解し、無色透明な水溶液となる。これらの現象を2つの化学反応式で表せ。

問 3. 下線部③に関連して、pH 7.40 の血液中では、 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  と  $[\text{HCO}_3^-]$  のうち、どちらの濃度が高いか。その理由とともに答えよ。

問 4. 下線部④の容器内の圧力は何 Pa になるか。有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $15^\circ\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  の  $\text{CO}_2$  ガスが水 1 L に溶ける体積は、標準状態に換算して 1.12 L である。容器内の  $\text{CO}_2$  ガスは理想気体としてふるまうものとする。また、気体定数は  $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$  とし、水の蒸気圧及び容器内の空気成分は無視できるものとする。

問 5. 下線部⑤の滴定を行ったときの滴定曲線として最もふさわしいものを下記の A～Dから選び、記号で答えよ。



問 6. 下線部⑤の滴定を行うための実験装置の概要を作図し、主な器具と薬品の名称を記入せよ。ただし、器具を支えるための支持台やクランプ等の図示は省略して構わない。

## 化学問題 2

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。ただし、数値で答える場合には有効数字を2桁とする。また、必要であれば、次の定数や定義を用い、生成熱は表の値を使用せよ。

ファラデー定数  $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ ,  $1 \text{ W} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ V} = 1 \text{ J/s}$

25 °C,  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  における生成熱

物質	生成熱(kJ/mol)
CH <sub>4</sub> (気)	75
H <sub>2</sub> O(気)	242
H <sub>2</sub> O(液)	286
CO <sub>2</sub> (気)	394

燃料電池は、還元剤としてはたらく **ア(語句)** 極活物質と酸化剤としてはたらく **イ(語句)** 極活物質を化学反応させて、電気エネルギーを得る点で電池である。また燃料である活物質を、連続的に送ることが可能であり、絶えること無くエネルギーが得られる点で、優れたエネルギー変換装置でもある。

燃料電池の歴史は古く、裁判官であったイギリスのグローブ卿<sup>きょう</sup>が、1839年に最初の発電実験を行った。図1に示すような直列につながれた4個の電池により、電流を発生させた。各々の電池内では、白金でできた棒が貫通した試験管に酸素ガスあるいは水素ガスが満たされており、それが希硫酸の溶液に浸されている。電気エネルギーの発生は、図1の上部に描かれている容器において、白金電極を用いた希硫酸の電気分解を行い、陽極における **ウ(物質名)** と陰極における **エ(物質名)** の生成により確認された。

現在、グローブ卿の燃料電池を改良した酸素-水素燃料電池が使われ始めている。酸素は空気から得ることが多いのに対し、水素は炭化水素やアルコールを水蒸気と反応させて得られる。炭化水素の中で、メタンは炭素原子当たりの水素原子の個数が最も多いので、水素の生成にともない発生する二酸化炭素の量が、最も少な

い。主成分がメタンである天然ガスは、家庭用燃料電池の水素源として用いられることがある。

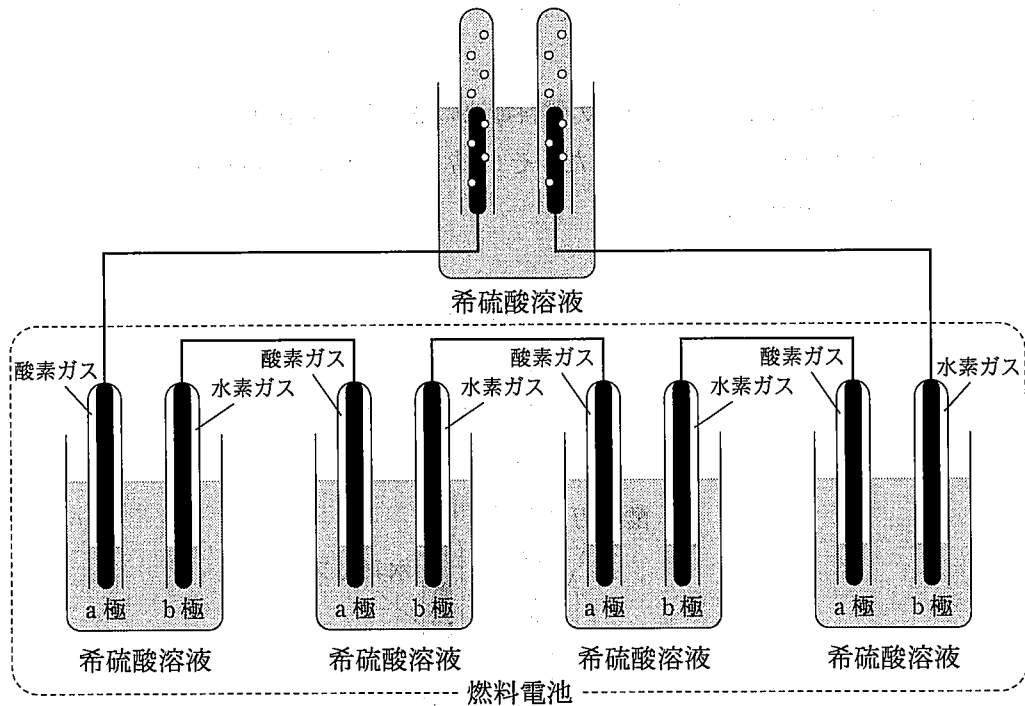


図1. グローブ卿の燃料電池

問 1. ア ~ エ を括弧内の指示に従って埋めよ。

問 2. 図 1 で表されたグローブ脚の燃料電池の① a 極および② b 極で起こる化学反応を、電子  $e^-$  を含む反応式で示せ。

問 3. 図 1 で表されたグローブ脚の燃料電池の電池 1 個を取り外し、図 2 の実験用回路を作成し、測定を行った。その結果、 $25^\circ\text{C}$  にて電圧  $0.48\text{ V}$  で  $1.0 \times 10^{-3}\text{ W}$  の出力が得られた。

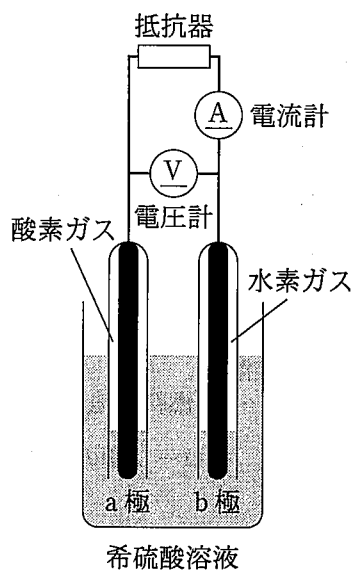
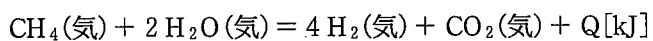


図 2. 実験用回路

- (1) この電池を 10 分間使って得られる電気エネルギー(J)を求めよ。ただし、この間に電流、電圧の変動は無いものとする。
- (2) この電池を 10 分間使って消費される水素ガスの物質量 (mol) を求めよ。
- (3) 水素の燃焼により液体の水となる時に発生する熱エネルギーの量を 100 % とした場合、この電池において、同量の水素の消費により発生する電気エネルギーの量は何%となるか、その値を求めよ。

問 4. 下線部Aに関連して、炭素原子 1 個あたり 2.5 個の水素原子をもつ炭化水素の物質名を、いずれか一つ答えよ。

問 5. 下線部Bについて、メタンを水蒸気と反応させて水素を得るときの反応は次の熱化学方程式で表される。



(1) 反応熱  $Q(\text{kJ})$  を求めよ。

(2) この反応が平衡に達した。温度を変えることにより、さらに水素を得るためには、加熱あるいは冷却のどちらが適切か、その理由とともに答えよ。



### 化学問題 3

次の文章を読み、問1～問7に答えよ。必要があれば、原子量は  $H = 1$ ， $N = 14$ ， $O = 16$ ， $Cl = 35.5$ ， $Cu = 63.5$ ， $Ag = 108$  を用いよ。

遷移元素は周期表 あ(数字) ～ い(数字) 族に位置する元素であり、鉄・銅・銀・金など、古くから我々の生活に深く関わってきた金属が多く含まれる。遷移元素の電子配置は、原子番号が大きくなっても う(語句) の数が1～2個と一定であるため、同じ周期の元素の性質は、互いによく似ている。

遷移元素同士は合金を作りやすく、これらの合金は単体にはない性質を示すこと  
A  
から、その性質を生かした様々な用途に利用されている。 遷移元素の化合物やイオンには、有色のものが多く含まれる。遷移元素のイオンに、非共有電子対を持つ分子またはイオンが配位結合して形成される え(語句) も同様に有色のものが多いため、これらの呈色反応が元素の確認に用いられている。また、遷移元素には、同一元素であっても複数の酸化数をとったり、価数の異なるイオンになったりするものが多い。例えば、マンガンの酸化数には、+2，+3，+4，+6，+7がある。マンガンの化合物である過マンガン酸カリウム  $KMnO_4$  は、酸化剤として工業的によく用いられているが、硫酸酸性溶液中と塩基性溶液中では、その酸化力が異なる。  
B

銀は、展性・延性に富み、美しい光沢のある金属で、世界中で古くから装飾品や貨幣、食器などに加工されて用いられてきた。イオン化傾向が小さく、空気中では比較的酸化されにくい<sup>C</sup>が、火山ガスや鉱泉、自動車の排ガスなどに含まれる硫黄化合物と反応すると、表面が黒色に変化する。 硝酸や熱濃硫酸など、酸化力の強い酸には溶解し、銀イオンを生じる。銀イオンを含む水溶液にアンモニア水を加えると、はじめに お(語句) 色の沈殿を生じるが、アンモニア水を更に加えていくと、この沈殿は溶ける。  
D  
銀イオンは、ハロゲン化物イオンと反応し、ハロゲン化銀を生じる。ハロゲン化銀は、か(物質名) を除いては、水に溶けにくく沈殿をつ

くる。この沈殿反応は、銀イオンの検出に用いられる。ハロゲン化銀は、光にさら<sup>E</sup>されると黒色に変化するため、臭化銀は写真のフィルムの感光剤として利用されて  
いる。感光したフィルムを現像後、未反応の臭化銀をチオ硫酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ <sup>F</sup>の水溶液に溶かして除去すると、陰画(ネガ)ができる。

問 1. 文中の あ ~ か に、括弧内の指示に従って適切な語を記せ。

問 2. 下線部Aに関連して、銀と銅の合金 24.2 g を濃硝酸に溶解し、純水を加えて希釈したのち、希塩酸を少量加えると、白色沈殿が生じた。この沈殿が新たに生じなくなるまで更に希塩酸を加えて、得られた沈殿をろ過して回収し、水で洗浄して乾燥させたところ、その質量は 28.7 g であった。もとの合金中の銅の物質質量(mol)を有効数字3桁で求めよ。

問 3. 下線部Bについて、過マンガン酸イオンの①硫酸酸性溶液中、②塩基性溶液中における反応を、それぞれ電子  $e^-$  を含むイオン反応式で記せ。また、③酸化力がより強いのはどちらの溶液中であるか答えよ。

問 4. 下線部Cで生じる化合物の名称を答えよ。

問 5. 下線部Dの反応を、イオン反応式で記せ。

問 6. 下線部Eにおいて、臭化銀にどのような化学的な変化が生じるか、説明せよ。

問 7. 下線部Fで、臭化銀が溶ける反応を、化学反応式で記せ。

## 化学問題 4

次の[I], [II]の文章を読み, 問1~問9に答えよ。ただし, 原子量は  $H = 1$ ,  $C = 12$ ,  $O = 16$ ,  $K = 39$ ,  $I = 127$ , ベンゼンのモル凝固点降下  $K_f$  は,  $5.12 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$  とする。

[I] 炭素, 水素, 酸素だけからなる有機化合物 A, B, C, D, Eがある。化合物 A, B, Cは, いずれも分子量が122で, ベンゼン環を含み, 同じ化学式で表される。これらの化合物について次の実験1~6を行った。

実験1 化合物 A 12.2 mg を完全燃焼させると, 二酸化炭素 30.8 mg と水 5.4 mg が生成した。

実験2 化合物 A に炭酸水素ナトリウム水溶液を作用させると, 気体が発生した。

実験3 化合物 A 0.61 g を 100 g のベンゼンに溶かし, 凝固点降下を測定したところ, 凝固点降下度は  $0.154 \text{ K}$  であった。

実験4 化合物 B を水酸化ナトリウム水溶液中で加熱した後, 反応液を酸性にすると, 化合物 D と E が生成した。

実験5 化合物 C と D は, 銀鏡反応で陽性を示した。

実験6 化合物 C と E に塩化鉄(III)水溶液を作用させると, いずれも呈色した。

問 1. 化合物 A の組成式を求めよ。

問 2. 化合物 A と B を, それぞれ構造式で示せ。

問 3. 化合物 A はベンゼン溶液中で一部が二量体を作ることが知られている。

(1) 実験 3 の実験結果をもとに、化合物 A のおよそ何割が単量体として存在しているか求めよ。解答は、四捨五入して、一桁の整数で答えよ。

(2) 化合物 A がどのようにして二量体を形成しているか、簡潔に説明せよ。

問 4. 上記の実験から、化合物 C として複数の化合物が考えられる。(1)何種類の化合物が考えられるか、その数を答えよ。また、(2)考えられる化合物の中から任意の一つを選び、構造式で示せ。

[II] 高級脂肪酸を水酸化ナトリウムで中和してできる化合物は、一般に あ(語句) と呼ばれる。 あ は、油を い(語句) させる作用があり、洗濯に用いられるが、硬水中では、洗浄力が低下する。また、一般に、羊<sup>ア</sup>毛製品<sup>イ</sup>の洗濯には推奨されない。

高級脂肪酸とグリセリンのエステルは、一般に油脂と呼ばれる。油脂の融点は、構成する脂肪酸の炭素原子の数が多いほど う(語句) なり、脂肪酸に二重結合が多いほど え(語句) なる性質がある。

油脂を構成する脂肪酸の特性を記述するのに、けん化価とヨウ素価がある。けん化価とは、油脂 1 g をけん化するのに必要な水酸化カリウムの量(mg)を指し、ヨウ素価とは、油脂 100 g に付加するヨウ素の質量(g)を指す。

化合物 F は純物質からなる油脂である。化合物 F は、けん化価が 190、ヨウ素価が 86.2 であり、加水分解すると、グリセリンと一種類の飽和脂肪酸と一種類の不飽和脂肪酸が生じる。化合物 F に完全に水素添加した後で加水分解すると、グリセリンとただ一種類の飽和脂肪酸が得られる。これらのことから化合物 F の分子量は お(数値) であり、不飽和結合の数は か(数値) であると求められる。

問 5. あ ~ か に括弧内の指示に従い、適する語句又は数値を記せ。数値は、必要なら四捨五入して整数で答えよ。

問 6. (1) 化合物 F を構成する飽和脂肪酸は何か。(a)示性式で示し、(b)その名称を記せ。

(2) 化合物 F を構成する不飽和脂肪酸は何か。(a)示性式で示し、(b)その名称を記せ。

問 7. 下線部アについて、その理由を述べよ。

問 8. 下線部イについて、その理由を述べよ。

問 9. 下線部ウに関連して，不飽和結合は，反応条件によっては付加反応以外の反応をする。そのような反応を，次の(あ)～(か)の中から一つ選び，記号で答えよ。

- (あ) エチレンにニッケルを触媒として水素を作用させたときの反応
- (い) シクロヘキセンに臭素を吹き込んだときの反応
- (う) ベンゼンに鉄粉を触媒として塩素を作用させた時の反応
- (え) ベンゼンに紫外線をあてながら塩素を作用させた時の反応
- (お) アセチレンにニッケルを触媒として水素を作用させた時の反応
- (か) アセチレンにヨウ素を作用させたときの反応