

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2016年度 第2回 全統記述模試

学習の手引き 【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

【2016年9月実施】

● 数 学	1
● 理 科	
物理基礎	42
化学基礎	51
生物基礎	55
地学基礎	61
物 理	70
化 学	85
生 物	100
地 学	115

※英語冊子巻末に「自己採点シート」と「学力アップ・志望校合格のための復習法」を掲載していますので、志望校合格へむけた効果的な復習のためにご活用ください。

河合塾



1661220119501040

化学

1 16 族元素，熱化学

▶ 解答 ▶

問 1	(ウ)	(エ)
問 2	(1) Al_2O_3	(2) $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
問 3	$\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \longrightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$	
問 4	(1) 198 kJ	(2) 3.1 kg
問 5	$\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	
問 6	(1) $4.8 \times 10^2 \text{ g}$	(2) 51°C

▶ 配点 ▶ (25点)

問 1 各 2 点 \times 2 (順不同) 問 2 (1) 2 点 (2) 2 点 問 3 2 点 問 4 (1) 3 点 (2) 3 点
 問 5 3 点 問 6 (1) 3 点 (2) 3 点

出題のねらい

16 族元素の単体と化合物に関する基本知識を確認する問題，および熱化学に関する計算問題である。

▶ 解説 ▶

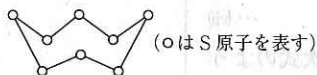
問 1 (ア) 誤り。 O_2 は空気中に約 21 % (体積比) 含まれている。空気中に約 78 % (体積比) 含まれている気体は N_2 である。

(イ) 誤り。 O_3 は淡青色，特異臭の気体であり，酸素中で無声放電を行ったり，紫外線を照射すると生じる。

(ウ) 正しい。 O_3 は，水で湿らせたヨウ化カリウムデンプン紙を青変させる。これは， O_3 が酸化剤，KI が還元剤としてはたらき，次式のように反応して I_2 が生じ，ヨウ素デンプン反応を示すことによる。



(エ)，(オ) 硫黄の同素体には，次の図のような S_8 の環状分子からなる斜方硫黄と単斜硫黄，長い鎖状の分子 S_n からなるゴム状硫黄などがあり，これらのうち常温で最も安定なものは斜方硫黄である。よって，(エ) は正しく，(オ) は誤りである。



整理

同素体

同じ元素の単体で，構造や性質が異なるもの。

S (斜方硫黄，単斜硫黄，ゴム状硫黄)

C (黒鉛，ダイヤモンド，フラーレン)

O (酸素 O_2 ，オゾン O_3)

P (黄リン，赤リン)

問2 (1) NOは水に難溶であり、酸とも塩基とも反応しないので、酸性酸化物、塩基性酸化物、両性酸化物のいずれにも分類されない。SiO₂は酸性酸化物であり、水に不溶だが、強塩基とは反応する。CaOは塩基性酸化物であり、水と反応して強塩基であるCa(OH)₂になる。Al₂O₃は両性酸化物であり、水に不溶であるが、酸とも強塩基とも反応する。

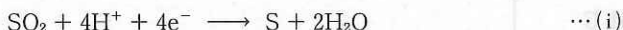
(2) CO₂は酸性酸化物であり、NaOH水溶液に通じると、次式のように反応してNa₂CO₃が生じる。



なお、CO₂をさらに通じてNaOHがなくなると、次式のように反応してNaHCO₃が生じる。



問3 SO₂は、通常は還元剤としてはたらくが、H₂Sに対しては酸化剤としてはたらく。SO₂が酸化剤としてはたらくとき、次の(i)式のように変化する。



また、H₂Sが還元剤としてはたらくとき、次の(ii)式のように変化する。



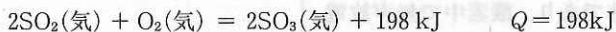
(i)+(ii)×2より、e⁻を消去すると、次の化学反応式が得られる。



問4 (1) SO₂(気)とSO₃(気)の生成熱を表す熱化学方程式は、それぞれ次の(iii)式、(iv)式である。



(iv)×2-(iii)×2より、

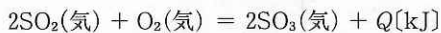


別解

反応熱と生成熱の間には、次の関係が成立する。

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の生成熱の総和}) - (\text{反応物の生成熱の総和})$$

次式について、上記の関係を適用すると、



$$Q = 396 \text{ kJ/mol} \times 2 \text{ mol} - 297 \text{ kJ/mol} \times 2 \text{ mol} = 198 \text{ kJ}$$

(2) 硫酸は、次に示す3つの反応によって硫黄からつくられる。



(v)×2+(vi)+(vii)×2より、反応を1つにまとめると、次式のようになる。

整理

酸化物の分類

酸性酸化物：水に溶けて酸性を示すか、塩基と反応する酸化物。一般に非金属元素の酸化物。

塩基性酸化物：水に溶けて塩基性を示すか、酸と反応する酸化物。一般に金属元素の酸化物。

両性酸化物：酸とも塩基とも反応する酸化物。両性元素の酸化物。

整理

電子を含むイオン反応式(半電池反応式)の作り方

①酸化剤、還元剤の反応前(左辺)、反応後(右辺)の化学式を書く。

この時、酸化数が変化した原子の数を両辺で等しくすること。

②両辺の酸素原子の数をH₂Oを加えることにより等しくする。

③両辺の水素原子の数をH⁺を加えることにより等しくする。

④両辺の電荷をe⁻を加えることにより等しくする。

定義

生成熱

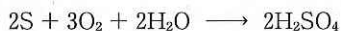
物質1molが成分元素の最も安定な単体から生成するときの反応熱。

公式

反応熱と生成熱の関係

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の生成熱の総和}) - (\text{反応物の生成熱の総和})$$

ただし、最も安定な単体の生成熱は0である。



これより、S 1 mol から H_2SO_4 1 mol が生じることがわかる。得られる濃硫酸の質量を W [kg] とすると、 H_2SO_4 の物質量について、

$$\frac{1.0 \times 10^3 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = W \times 10^3 \text{ [g]} \times \frac{98}{100} \times \frac{1}{98 \text{ g/mol}}$$

$$W = 3.12 \text{ kg} \doteq 3.1 \text{ kg}$$

問5 加熱した濃硫酸は強い酸化力を示すため、Cu や Ag などの H_2 よりイオン化傾向の小さい金属とも反応して SO_2 が発生する。

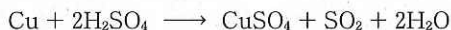
H_2SO_4 が酸化剤、Cu が還元剤としてはたらくときの変化は、それぞれ次の (viii) 式、(ix) 式で表される。



よって、(viii)+(ix) より、 e^- を消去すると、次のイオン反応式が得られる。



この両辺に SO_4^{2-} を加えると、次の化学反応式が得られる。



問6 (I) 濃硫酸を水で希釈して希硫酸を得るとき、

$$(\text{濃硫酸の質量}) + (\text{加えた水の質量}) = (\text{希硫酸の質量})$$

の関係が成り立つので、加えた水の質量を w [g] とすると、

$$1.84 \text{ g/cm}^3 \times 30 \text{ cm}^3 + w \text{ [g]} = 1.07 \text{ g/cm}^3 \times 500 \text{ cm}^3$$

$$w = 479.8 \text{ g} \doteq 4.8 \times 10^2 \text{ g}$$

補足 このときの体積については、

$$(\text{濃硫酸の体積}) + (\text{加えた水の体積}) = (\text{希硫酸の体積})$$

の関係は成立しない。したがって、加えた水の体積は、

$$500 \text{ cm}^3 - 30 \text{ cm}^3 = 470 \text{ cm}^3$$

ではない。

(2) 98% の濃硫酸 (密度 1.84 g/cm^3) 30 cm^3 に含まれる H_2SO_4 の物質量は、

$$\frac{1.84 \text{ g/cm}^3 \times 30 \text{ cm}^3 \times \frac{98}{100}}{98 \text{ g/mol}} = 0.552 \text{ mol}$$

よって、濃硫酸を水で希釈したときに発生した熱量は、

$$95 \text{ kJ/mol} \times 0.552 \text{ mol} = 52.44 \text{ kJ} \doteq 5.24 \times 10^4 \text{ J}$$

得られた希硫酸の温度が 25°C から ΔT [K] 上昇したとすると、

$$5.24 \times 10^4 \text{ J} = 3.8 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \times (1.07 \text{ g/cm}^3 \times 500 \text{ cm}^3) \times \Delta T \text{ [K]}$$

$$\Delta T = 25.7 \text{ K}$$

以上より、得られた希硫酸の温度は、

$$(25 + 25.7)^\circ\text{C} = 50.7^\circ\text{C} \doteq 51^\circ\text{C}$$

公式

物質の温度変化と比熱と熱量の関係

$$\text{熱量 [J]} = \text{物質の比熱 [J/(g}\cdot\text{K)]}$$

$$\times \text{物質の質量 [g]} \times \text{温度変化 [K]}$$

2 電池・電気分解

▶ 解答 ▶

問1	(1)	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$							
	(2)	あ	負	い	正	う	減少	(3)	3.5 mol/L
問2	+0.25 g								
問3	(1)	B, D, F		(2)	O_2		(3)	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$	
	(4)	(オ)	(5)	0.50 mol/L		(6)	1.4		

▶ 配点 ▶ (25点)

問1 (1) 2点 (2) 3点 (3) 3点 問2 3点

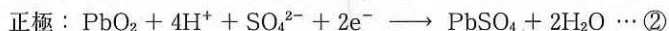
問3 (1) 2点 (2) 2点 (3) 2点 (4) 2点 (5) 3点 (6) 3点

出題のねらい

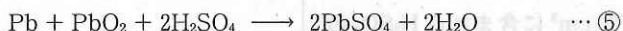
電池，電気分解についての理解度を試す問題である。

▶ 解説 ▶

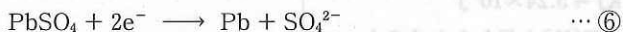
問1 (1) 鉛蓄電池の放電時に各電極で起こる変化は次の①，②式で表される。



①+②より， e^- を消去すると，放電時の全体の反応式(⑤式)が得られる。このとき，各電極で生じる PbSO_4 は水に難溶であり電極に付着するので，放電後の各電極の質量は放電前と比べていずれも増加する。



(2) 鉛蓄電池を充電するとき，鉛蓄電池の負極に外部電源の負極を，正極に外部電源の正極を接続する。充電時には，放電時(①，②式)とは逆の⑥，⑦式の変化が各電極で起こる。よって，放電時に各電極に付着した PbSO_4 は， Pb または PbO_2 へと変化し，各電極の質量は充電前と比べていずれも減少する。



(3) ⑥+⑦より， e^- を消去すると，充電時の全体の反応式(⑧式)が得られる。これは⑤式の逆反応である。



⑧式より，充電時に e^- が2 mol 流れると電解液中で H_2SO_4 が

整理

電池

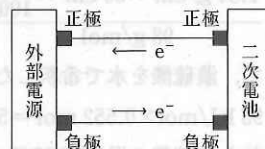
負極…放電時に還元剤が電子を放出し，酸化反応が起こる電極。

正極…放電時に酸化剤が電子を受け取り，還元反応が起こる電極。

活物質…負極または正極において，電子を放出したり受け取ったりする物質。

整理

充電時の接続の仕方



2 mol 増加することがわかる。よって、0.12 mol の e^- を流して充電すると H_2SO_4 が 0.12 mol 増加するので、充電後の H_2SO_4 の物質量は、

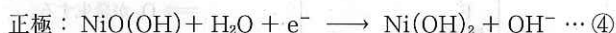
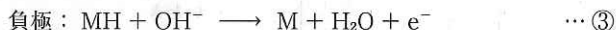
$$3.1 \text{ mol/L} \times \frac{300}{1000} \text{ L} + 0.12 \text{ mol} = 1.05 \text{ mol}$$

希硫酸の体積は 300 mL で変化しないので、充電後の希硫酸のモル濃度は、

$$\frac{1.05 \text{ mol}}{\frac{300}{1000} \text{ L}} = 3.5 \text{ mol/L}$$

問2 ニッケル-水素電池の放電時に各電極で起こる変化は次の③、

④式で表される。



③、④式より、負極で H 原子が 1 mol 反応すると e^- が 1 mol 放出され、正極では、 $NiO(OH)$ が 1 mol 消費されて $Ni(OH)_2$ が 1 mol 生成するから、H 原子 1 mol に相当する質量 (1.0 g) が増加する。

水素吸蔵合金に吸蔵された H 原子の物質量は、

$$\frac{5.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} \times 2 = 0.50 \text{ mol}$$

このうち 50 % が放電によって反応したので、反応した H 原子の物質量は、

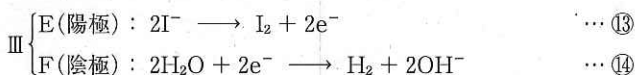
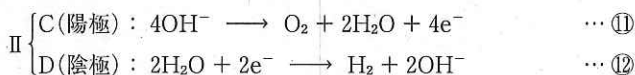
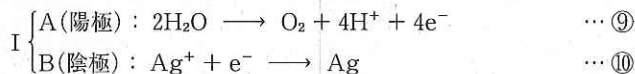
$$0.50 \text{ mol} \times \frac{50}{100} = 0.25 \text{ mol}$$

よって、回路を流れた e^- は 0.25 mol だから、正極の質量増加は、

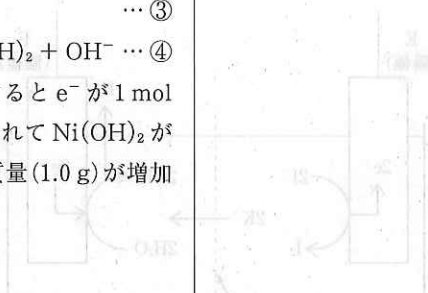
$$1.0 \text{ g} \times \frac{0.25 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 0.25 \text{ g}$$

問3 (1)~(3) 直流電源の正極に接続した電極が電気分解の陽極で、負極に接続した電極が陰極だから、陽極では酸化反応、陰極では還元反応が起こる。よって、還元反応が起こった電極は、陰極の B、D、F である。

電解槽 I~III の電極 A~F では次の変化(⑨)~(⑭式)が起こる。



(4) 電極 E では I_2 が生成するため、電極 E 付近の水溶液の色は、無色から褐色へと変化する。



整理

電気分解の電極

陽極：外部電源の正極に接続した電極。

酸化反応が起こる。

陰極：外部電源の負極に接続した電極。

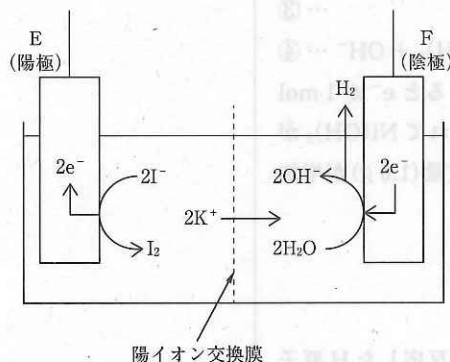
還元反応が起こる。

(5) ⑪+⑫×2より、 e^- を消去すると、電解槽Ⅱの全体の反応式(⑮式)が得られる。



これは水の電気分解であり、溶媒である H_2O のみが減少し、溶質である NaOH は変化しない。よって、電解液中の OH^- の物質量は変化せず、また、電気分解の前後で電解液の体積は変化しないものとするので、 OH^- のモル濃度は 0.50 mol/L のままである。

(6) 回路に e^- が 2 mol 流れると、電極Eでは I^- 2 mol が I_2 1 mol に変化し、電極Fでは H_2O 2 mol が H_2 1 mol と OH^- 2 mol に変化する。このとき、 K^+ 2 mol が陽イオン交換膜を通過して、電極E側から電極F側へと移動する。



よって、 0.020 mol の e^- を流したとき、 0.020 mol の K^+ が電極E側から電極F側へと移動するので、電気分解後のそれぞれの電解液中の K^+ の物質量は、

$$\text{E側} : 0.50 \text{ mol/L} \times \frac{250}{1000} \text{ L} - 0.020 \text{ mol} = 0.105 \text{ mol}$$

$$\text{F側} : 0.50 \text{ mol/L} \times \frac{250}{1000} \text{ L} + 0.020 \text{ mol} = 0.145 \text{ mol}$$

電解液の体積はともに 250 mL で変化しないものとするので、電解液中の K^+ のモル濃度の比は物質量の比と等しいから、

$$\text{E側} : \text{F側} = 0.105 \text{ mol} : 0.145 \text{ mol} = 1 : 1.38 \approx 1 : 1.4$$

整理

水溶液の電気分解の電極反応

陽極：

①電極がPtまたはC以外のとき
 \implies 電極の金属が溶け出す。



②電極がPtまたはCのとき

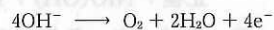
(i) 水溶液中に Cl^- 、 Br^- 、 I^- があるとき

$\implies \text{Cl}_2$ 、 Br_2 、 I_2 が生成する。

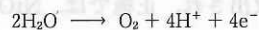


(ii) 水溶液中に Cl^- 、 Br^- 、 I^- がないとき

$\implies \text{O}_2$ が発生する。



(塩基性)

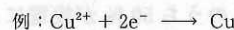


(中性・酸性)

陰極：

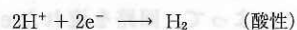
(i) 水溶液中に重金属イオン(Cu^{2+} 、 Ag^+ など)があるとき

\implies 重金属の単体が析出する。



(ii) 水溶液中に重金属イオンがないとき

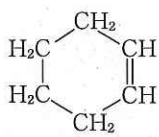
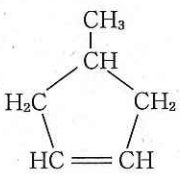
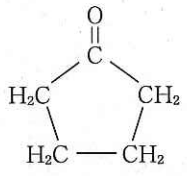
$\implies \text{H}_2$ が発生する。



(中性・塩基性)

3 脂肪族化合物

▶ 解答 ◀

I	問1	(1)	(ア)	(2)	(イ)	問2	C_5H_{12}
	問3	(1)	3種類	(2)		問4	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
II	問5	A		B	$CH_2=CH-CH_2-CH_2-CH=CH_2$		
		C		D	$HO-C(=O)-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$		
	問6						

▶ 配点 ◀ (25点)

I 問1 (1) 2点 (2) 2点 問2 3点 問3 (1) 2点 (2) 2点 問4 2点
 II 問5 A 2点 B 2点 C 3点 D 2点 問6 3点

出題のねらい

- I 元素分析，アルカンの性質および構造に関する理解度を試す問題である。
- II $KMnO_4$ による酸化を用いた炭化水素の構造決定の問題である。

▶ 解説 ◀

I 問1 図1の装置は，有機化合物中の炭素と水素の質量組成を調べるための装置である。

化合物	炭素	水素	酸素
10℃	75%	12.5%	12.5%
28℃	75%	12.5%	12.5%

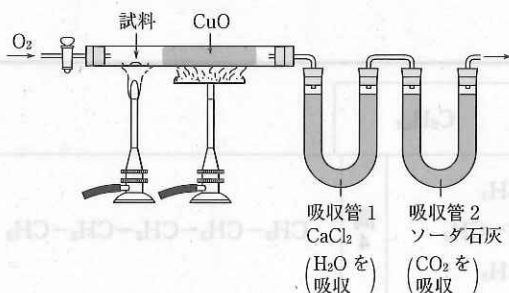


図 1

なお、塩化カルシウム CaCl_2 とソーダ石灰を逆に詰めた場合、吸収管 1 のソーダ石灰に CO_2 と H_2O の両方が吸収されてしまい、 CO_2 と H_2O の質量を別々に測定することができない。また、濃硫酸は液体であるため、吸収管(U字管)に詰める物質として適さない。

また、 CuO は試料の不完全燃焼によって生じる CO や C を酸化して CO_2 にする目的で使用されている。



問 2 元素分析の結果より、炭化水素 X 18.0 mg 中の C 原子の質量 w_C [mg], H 原子の質量 w_H [mg] はそれぞれ、

$$w_C = 55.0 \text{ mg} \times \frac{12}{44} = 15.0 \text{ mg}, \quad w_H = 27.0 \text{ mg} \times \frac{1.0 \times 2}{18} = 3.0 \text{ mg}$$

$$\text{よって、原子数の比は、} \text{C} : \text{H} = \frac{15.0 \text{ mg}}{12 \text{ g/mol}} : \frac{3.0 \text{ mg}}{1.0 \text{ g/mol}} = 5 : 12$$

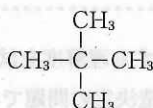
したがって、X の組成式は C_5H_{12} (式量 72) となる。

X の分子量は 100 以下だから、X の分子式は C_5H_{12} である。

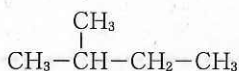
問 3 (1) 分子式 C_5H_{12} の炭化水素(アルカン)には次の 3 種類の構造異性体が存在する。



ペンタン



2,2-ジメチルプロパン



2-メチルブタン

(2) 炭素数が同じアルカンの異性体では、分子が直鎖状のものほど沸点が高く、枝分かれが多いものほど沸点は低くなる傾向がある。

したがって、上記の 3 種類の異性体のうちで沸点が最も低いものは 2,2-ジメチルプロパンである。

(参考) C_5H_{12} の異性体の沸点

化合物	ペンタン	2-メチルブタン	2,2-ジメチルプロパン
沸点	36 °C	28 °C	10 °C

整理

異性体

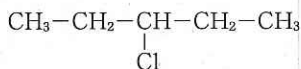
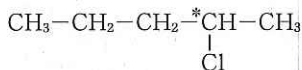
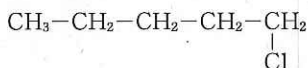
分子式が同じだが、互いに構造や性質が異なる化合物。

構造異性体：原子のつながり方が異なるために生じる。

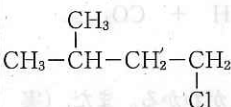
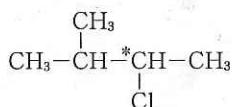
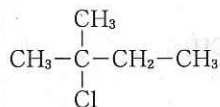
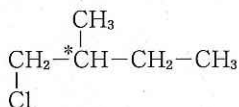
立体異性体：原子のつながり方は同じであるが、原子または原子団の空間的な配置が異なるために生じる。幾何異性体(シストランス異性体)と光学異性体(鏡像異性体)がある。

問4 問3の3種類の構造異性体のH原子1個をCl原子で置き換えた化合物には、それぞれ次の構造異性体がある。

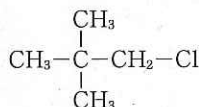
ペンタンの場合：



2-メチルブタンの場合：



2,2-ジメチルプロパンの場合：

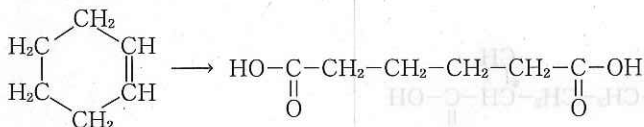


(*C: 不斉炭素原子)

不斉炭素原子を1つもつ化合物には光学異性体が1組存在するので、光学異性体を区別して数えると、塩素の1置換体の異性体は、ペンタンの場合には4種類、2-メチルブタンの場合には6種類、2,2-ジメチルプロパンの場合には1種類となる。よって、炭化水素Xはペンタンと決まる。

II

問5 A (実験1)から、Aは分子内にC=Cを1個もつことがわかる。また、(実験2)①から、アジピン酸 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ のみが得られるので、Aはシクロヘキセンである。



A (シクロヘキセン)

アジピン酸

B, D (実験1)から、Bは分子内にC=Cを2個またはC≡Cを1個もつことがわかる。また、(実験2)②から、ジカルボン酸Dはマレイン酸に水素を付加して得られる化合物と同じであるから、Dは次のように決まる。

整理

不斉炭素原子と光学異性体

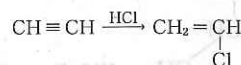
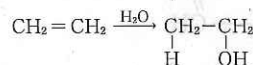
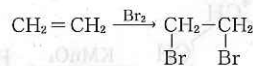
炭素原子に4個の異なる原子や原子団が結合している場合、その炭素原子を不斉炭素原子という。

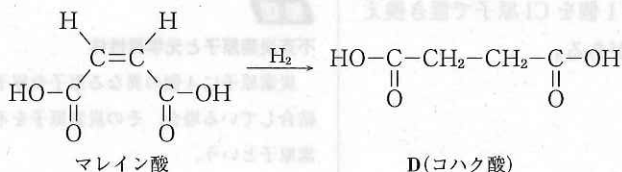
分子内に不斉炭素原子をもつ化合物には、光学異性体(鏡像異性体)が存在する。

整理

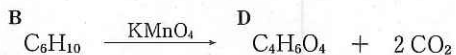
付加反応

炭素原子間の二重結合や三重結合をもつ化合物は付加反応を起こしやすい。

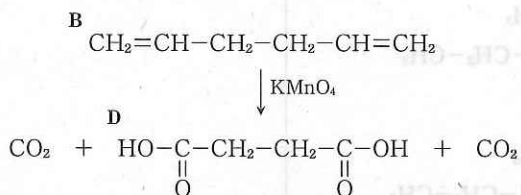




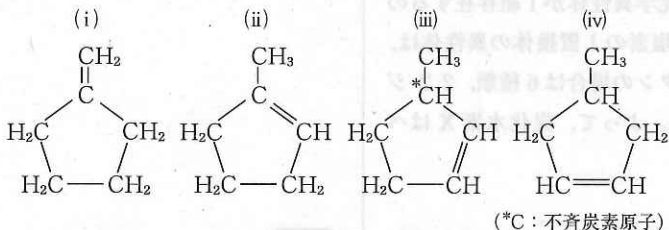
炭素原子の数に着目すると、BのKMnO₄による酸化は次のようになる。



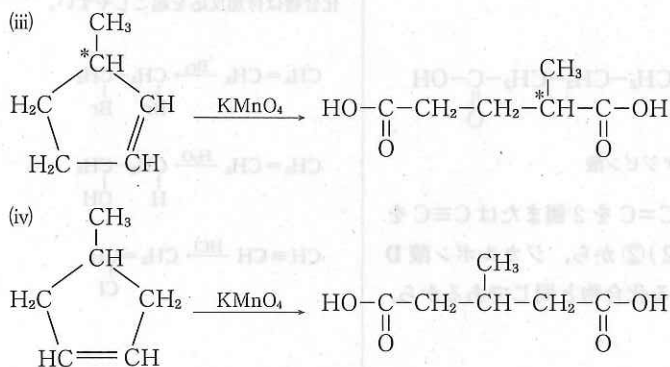
よって、BはC=Cを2個もつ次の構造と決まる。



C (実験1)から、CはC=Cを1個もつことがわかる。また、(実験2)③から、CをKMnO₄で酸化すると、ジカルボン酸Eのみが得られるので、CはC=Cを1個もつ環状構造の炭化水素であることがわかる。AとCは異なる構造であるから、Cは五員環構造をもつ次の(i)~(iv)の4つの構造異性体のうちのいずれかである。



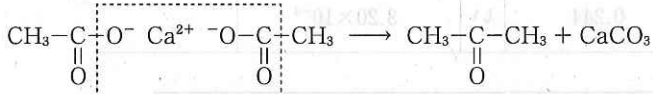
(i)~(iv)をKMnO₄で酸化した場合、ジカルボン酸のみを生じるのは(iii)または(iv)である。



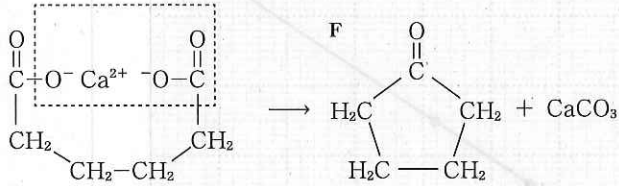
CおよびEにはいずれも不斉炭素原子が存在しないから、Cは(iv)

と決定できる。

問6 酢酸カルシウム $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$ からアセトン CH_3COCH_3 が得られる反応は次式で表される。



アジピン酸のカルシウム塩を乾留すると、上と同様の反応が起こるので、F は次のように決まる。



4 反応速度，気相平衡

▶ 解答 ◀

I	問1	触媒	問2	あ	0.244	い	3.20×10^{-4}
	問3						
II	問4	(1)	1	(2)	$1.3 \times 10^{-3}/s$		
	問5	う	$2n\alpha$		え	$\frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2}P$	
	問6	(ア)	問7	0.23	問8	0.20	

▶ 配点 ◀ (25点)

I 問1 2点 問2 各2点×2 問3 3点 問4 (1) 1点 (2) 3点

II 問5 各2点×2 問6 2点 問7 3点 問8 3点

出題のねらい

- I 反応速度に関する理解度を試す問題である。
- II 化学平衡に関する基本的な知識の確認と応用力を試す問題である。

▶ 解説

I

問1 反応の前後でそれ自身は変化しないが，反応速度を大きくする物質を触媒という。触媒を加えると，触媒を加えない場合に比べて，活性化エネルギーの小さい経路で反応が進行するため，反応速度が大きくなる。なお，触媒は，反応物と均一に混じり合ってはたらく均一系触媒と，反応物と均一に混じり合うことなくはたらく不均一系触媒に分類される。

問2 反応開始からの経過時間 t_1, t_2 [s] ($t_1 < t_2$) における H_2O_2 のモル濃度をそれぞれ $[\text{H}_2\text{O}_2]_1, [\text{H}_2\text{O}_2]_2$ [mol/L] とすると, $t_1 \sim t_2$ [s] における H_2O_2 の平均のモル濃度 $[\overline{\text{H}_2\text{O}_2}]$ は, 次式で表される。

$$[\overline{\text{H}_2\text{O}_2}] = \frac{[\text{H}_2\text{O}_2]_1 + [\text{H}_2\text{O}_2]_2}{2} \text{ [mol/L]}$$

また, $t_1 \sim t_2$ [s] における H_2O_2 の平均分解速度 \bar{v} は, 次式で表される。

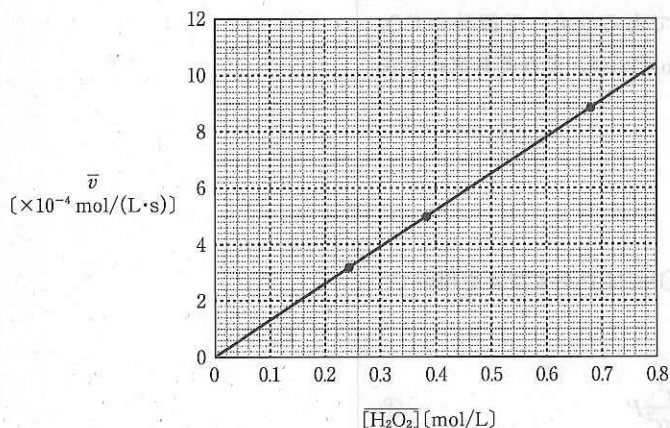
$$\bar{v} = -\frac{[\text{H}_2\text{O}_2]_2 - [\text{H}_2\text{O}_2]_1}{t_2 - t_1} \text{ [mol/(L}\cdot\text{s)]}$$

したがって, 800 ~ 1200 s における $[\overline{\text{H}_2\text{O}_2}]$ および \bar{v} はそれぞれ,

$$[\overline{\text{H}_2\text{O}_2}] = \frac{(0.308 + 0.180) \text{ mol/L}}{2} = 0.244 \text{ mol/L}$$

$$\bar{v} = -\frac{(0.180 - 0.308) \text{ mol/L}}{(1200 - 800) \text{ s}} = 3.20 \times 10^{-4} \text{ mol/(L}\cdot\text{s)}$$

問3 反応物である過酸化水素が存在しないとき, 反応は起こらないため, 反応速度は0である。これと, 表1および問2の結果より, $[\overline{\text{H}_2\text{O}_2}]$ と \bar{v} の関係を表すグラフは, 次のような原点を通る直線になる。



問4 (1) 問3の結果より, H_2O_2 の分解速度 v は H_2O_2 のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ に比例することがわかるので, $x=1$ である。よって, 反応速度式は,

$$v = k[\text{H}_2\text{O}_2]$$

(2) (1)より, $k = \frac{v}{[\text{H}_2\text{O}_2]}$ だから, k は問3のグラフの直線の傾きであり, このグラフは原点および $(0.80, 10.4 \times 10^{-4})$ の2点を通ると読み取れるので,

$$k = \frac{10.4 \times 10^{-4} \text{ mol/(L}\cdot\text{s)}}{0.80 \text{ mol/L}} = 1.30 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1} \doteq 1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

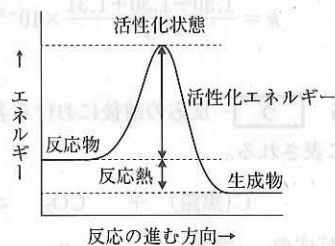
別解 k の値は, 次のように求めることもできる。

0 ~ 500 s, 500 ~ 800 s, 800 ~ 1200 s の各区間で k の値を求め

整理

活性化エネルギー

化学反応は, 活性化状態とよばれるエネルギーの高い状態を経て進行する。反応物を活性化状態にするために必要な最小のエネルギーを活性化エネルギーという。触媒は活性化エネルギーを低下させるはたらきがある。



整理

反応速度と反応速度式

反応速度と反応物質の濃度の関係を表す式を反応速度式という。AとBからCが生成する反応 $a\text{A} + b\text{B} \rightarrow c\text{C}$ では, 一般に反応速度式は次のように表される。

$$v = k[\text{A}]^x[\text{B}]^y \quad (k: \text{反応速度定数})$$

x, y の値は実験的に決定され, 化学反応式の係数とは必ずしも一致しない。

ると、次のようになる。

$$0 \sim 500 \text{ s} : \frac{8.84 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{s})}{0.679 \text{ mol/L}} = 1.30 \times 10^{-3}/\text{s}$$

$$500 \sim 800 \text{ s} : \frac{5.00 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{s})}{0.383 \text{ mol/L}} = 1.30 \times 10^{-3}/\text{s}$$

$$800 \sim 1200 \text{ s} : \frac{3.20 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{s})}{0.244 \text{ mol/L}} = 1.31 \times 10^{-3}/\text{s}$$

したがって、 k の値はこれらの平均をとって、

$$k = \frac{1.30 + 1.30 + 1.31}{3} \times 10^{-3} = 1.30 \times 10^{-3}/\text{s} \doteq 1.3 \times 10^{-3}/\text{s}$$

II

問5 **う** 反応の前後における各物質の物質質量の変化は次のように表される。

	C(黒鉛)	+	CO ₂	⇌	2CO	… ③
反応前	多量		n		0	
変化量	$-n\alpha$		$-n\alpha$		$+2n\alpha$	
平衡時	多量		$n(1-\alpha)$		$2n\alpha$	(単位 : mol)

え 平衡混合気体の全圧が P [Pa]で、混合気体の総物質質量が $n(1-\alpha) + 2n\alpha = n(1+\alpha)$ [mol]であるから、平衡時の CO₂の分圧 P_{CO_2} [Pa]および COの分圧 P_{CO} [Pa]は、それぞれ次式で表される。

$$P_{\text{CO}_2} = P \times \frac{n(1-\alpha)}{n(1+\alpha)} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} P$$

$$P_{\text{CO}} = P \times \frac{2n\alpha}{n(1+\alpha)} = \frac{2\alpha}{1+\alpha} P$$

したがって、③式の圧平衡定数 K_p [Pa]は P および α を用いて、次の④式のように表される。

$$K_p = \frac{(P_{\text{CO}})^2}{P_{\text{CO}_2}} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{1+\alpha} P\right)^2}{\frac{1-\alpha}{1+\alpha} P} = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} P \quad \dots \text{④}$$

問6 ルシャトリエの原理より、温度を上げると吸熱反応である CO が生成する方向に平衡は移動する。したがって、COの物質質量は増加する。

問7 温度が T_1 [K] のとき $K_p = 3.6 \times 10^4$ Pa であるから、 $P = 1.6 \times 10^5$ Pa のときの α を α_1 とすると、④式より、

$$3.6 \times 10^4 \text{ Pa} = \frac{4\alpha_1^2}{1-\alpha_1^2} \times 1.6 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\frac{\alpha_1^2}{1-\alpha_1^2} = \frac{9}{160} \quad \text{これより、} \alpha_1^2 = \frac{9}{169}$$

$0 < \alpha_1 < 1$ だから、

$$\alpha_1 = \frac{3}{13} = 0.230 \doteq 0.23$$

整理

ルシャトリエの原理(平衡移動の原理)

一般に、平衡状態にある反応系に、平衡状態を決定する条件の一つを変化させると、その条件変化による影響を緩和する方向に平衡が移動する。

問8 温度が T_1 [K] で一定だから K_p は変化しないので、 $P = 7.2 \times 10^5$ Pa のときの α を α_2 とすると、

$$3.6 \times 10^4 \text{ Pa} = \frac{4\alpha_2^2}{1-\alpha_2^2} \times 7.2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\frac{\alpha_2^2}{1-\alpha_2^2} = \frac{1}{80} \quad \text{これより, } \alpha_2^2 = \frac{1}{81}$$

$0 < \alpha_2 < 1$ だから、

$$\alpha_2 = \frac{1}{9}$$

気体定数を R [Pa·L/(K·mol)] とすると、はじめの平衡状態と、あらたな平衡状態について、それぞれ理想気体の状態方程式より、次の⑤、⑥式が成り立つ。

$$1.6 \times 10^5 \text{ Pa} \times V_1 [\text{L}]$$

$$= n \left(1 + \frac{3}{13} \right) (\text{mol}) \times R [\text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})] \times T_1 [\text{K}] \quad \cdots \text{⑤}$$

$$7.2 \times 10^5 \text{ Pa} \times V_2 [\text{L}]$$

$$= n \left(1 + \frac{1}{9} \right) (\text{mol}) \times R [\text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})] \times T_1 [\text{K}] \quad \cdots \text{⑥}$$

したがって、⑥÷⑤より、

$$\frac{7.2}{1.6} \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{10}{9}}{\frac{16}{13}} \quad \text{よって, } \frac{V_2}{V_1} = 0.200 \doteq 0.20$$

