

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2017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

【2017年9月実施】

● 数 学	1
● 理 科	
物理基礎	38
化学基礎	44
生物基礎	50
地学基礎	56
物 理	65
化 学	82
生 物	97
地 学	110

※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



1761220119501040

化学

1 無機化学, 熱化学

▶ 解答 ◀

問 1	15	問 2	(ア)	問 3	(イ)	
問 4	(1)	$\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{気}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{気}) = \text{NH}_3(\text{気}) + 46 \text{ kJ}$				
	(2)	946 kJ/mol	(3)	134 kJ		
問 5	(1)	$\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$				
	(2)	$2.24 \times 10^3 \text{ L}$	(3)	(i)	(ウ)	(ii)
問 6	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$					

配点 (25点)

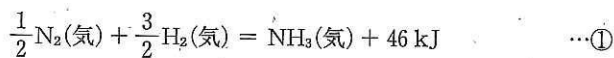
問 1 2点 問 2 2点 問 3 2点 問 4 (1) 3点 (2) 3点 (3) 3点
 問 5 (1) 2点 (2) 3点 (3) (i) 2点 (ii) 1点 問 6 2点

出題のねらい

15 族元素の単体および化合物の製法・性質に関する知識を確認するとともに、熱化学に関する理解を試す問題である。

解説

- 問 1 銩素およびリンは、周期表の 15 族に属する元素である。
- 問 2 二種類以上の液体の混合物を、沸点の違いを利用して各成分に分離する操作を分留(分別蒸留)という。空気は主に N_2 (沸点 -196°C) と O_2 (沸点 -183°C) の混合物であり、空気を冷却・圧縮して液体にしたのち、沸点の違いを利用して、 N_2 と O_2 に分離することができる。
- 問 3 NH_3 は、工業的には、 N_2 と H_2 を鉄を主成分とした触媒を用いて $400\sim 600^\circ\text{C}$ 、 $2 \times 10^7 \sim 6 \times 10^7 \text{ Pa}$ で反応させることにより製造されている。この方法はハーバー・ボッシュ法とよばれる。
- 問 4 (1) NH_3 (気) の生成熱が 46 kJ/mol であることから、 NH_3 (気) の生成熱は次の熱化学方程式 ① で表される。



(2) N_2 分子中の $\text{N} \equiv \text{N}$ 結合の結合エネルギーを $x[\text{kJ/mol}]$ とすると、①式について、

整理

生成熱

物質 1 mol 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。

結合エネルギー

結合 1 mol を切断して気体状態の原子にするのに必要なエネルギー。

反応熱 = (生成物の結合エネルギーの総和)

− (反応物の結合エネルギーの総和)

の関係を用いて、

$$46 \text{ kJ} = 391 \text{ kJ} \times 3 - \left(x \text{ [kJ]} \times \frac{1}{2} + 436 \text{ kJ} \times \frac{3}{2} \right)$$

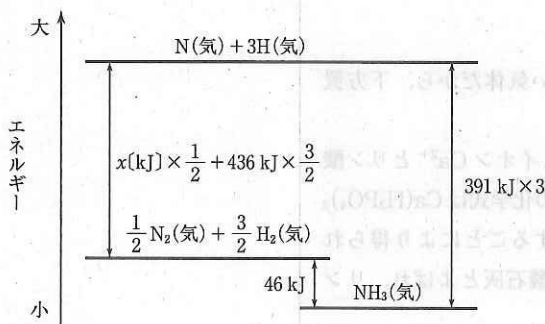
よって、 $x = 946 \text{ kJ/mol}$

別解

①式について次のエネルギー図を描くことにより、

$$x \text{ [kJ]} \times \frac{1}{2} + 436 \text{ kJ} \times \frac{3}{2} + 46 \text{ kJ} = 391 \text{ kJ} \times 3$$

よって、 $x = 946 \text{ kJ/mol}$



(3) 与えられた熱化学方程式について、

反応熱 = (生成物の生成熱の総和)

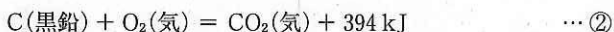
− (反応物の生成熱の総和)

の関係を用いて、

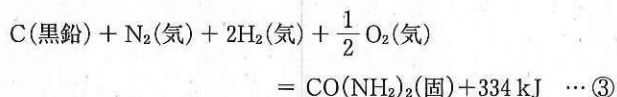
$$Q = (334 \text{ kJ} + 286 \text{ kJ}) - (46 \text{ kJ} \times 2 + 394 \text{ kJ}) = 134 \text{ kJ}$$

別解

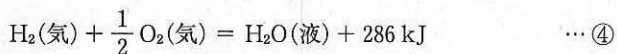
CO_2 (気)の生成熱が 394 kJ/mol であることから、



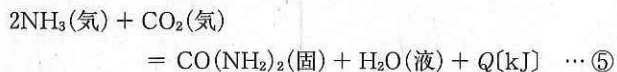
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (固)の生成熱が 334 kJ/mol であることから、



H_2O (液)の生成熱が 286 kJ/mol であることから、



与えられた熱化学方程式を⑤式とすると、



⑤ = −① × 2 − ② + ③ + ④ だから、

$$Q = -46 \text{ kJ} \times 2 - 394 \text{ kJ} + 334 \text{ kJ} + 286 \text{ kJ} = 134 \text{ kJ}$$

公式

反応熱と結合エネルギーの関係

反応熱

= (生成物の結合エネルギーの総和)

− (反応物の結合エネルギーの総和)

公式

反応熱と生成熱の関係

反応熱 = (生成物の生成熱の総和)

− (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 とする。

整理

熱化学方程式のつくり方

- (1) 着目する物質の係数を 1 として化学反応式をつくる。このとき、他の物質の係数が分数になることもある。
- (2) 物質の状態(気体、液体、固体)や同素体の種類などを付記する。
- (3) 反応熱を右辺の末尾に書く。符号は発熱ならば +、吸熱ならば − である。
- (4) 化学反応式の \longrightarrow を等号 = にかえる。

問5 (1) NH_3 から HNO_3 が生じる反応は、

(反応 2 \times 3 + 反応 3 \times 2 + 反応 1) $\times \frac{1}{4}$ より、 NO と NO_2 を消去することにより、次の一つの化学反応式で表すことができる。



反応 1 ~ 3 による硝酸の工業的製法をオストワルト法という。

(2) (1) より、 NH_3 1 mol あたり HNO_3 1 mol が生成するので、必要な NH_3 の標準状態における体積を $x(\text{L})$ とすると、

$$\frac{x(\text{L})}{22.4 \text{ L/mol}} = \frac{10.0 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{63.0}{100}}{63.0 \text{ g/mol}}$$

よって、 $x = 2.24 \times 10^3 \text{ L}$

(3) (i) NO_2 は赤褐色の気体である。

(ii) NO_2 は水に溶けやすく、空気よりも重い気体だから、下方置換で捕集する。

問6 リン酸二水素カルシウムは、カルシウムイオン Ca^{2+} とリン酸二水素イオン H_2PO_4^- からなる塩だから、その化学式は $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ となる。なお、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ を H_2SO_4 で処理することにより得られる $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ と CaSO_4 の混合物は過リン酸石灰とよばれ、リン肥料として用いられる。



2 脂肪族化合物

▶ 解答 ◀

I	問1	アルキン	問2	塩化ビニル					
	問3	$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{C}_2\text{H}_2$			問4	エチレン			
	問5	(1)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	(2)	(i)	(エ)	(ii)	(ウ)	
II	問6	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_4$							
	問7	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{O} \end{array}$	問8	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{O}-\text{CH}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{O} \quad \text{CH}_3 \quad \text{O} \end{array}$					

▶ 配点 ◀ (25点)

I 問1 2点 問2 2点 問3 3点 問4 2点 問5 (1) 2点 (2) 各2点×2
 II 問6 3点 問7 3点 問8 4点

出題のねらい

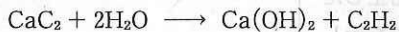
脂肪族化合物の製法・性質に関する知識の確認と、エステルの構造決定について思考力を試す問題である。

▶ 解説 ◀

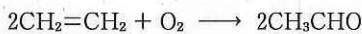
I
 問1 炭素間三重結合を1つもつ鎖式炭化水素はアルキン(一般式 $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$)とよばれる。

問2 アセチレンに HgCl_2 を触媒として HCl を付加させると、塩化ビニル $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ (化合物 X) が生成する。

問3 実験室では、アセチレンは炭化カルシウム CaC_2 に水を加えることによりつくられる。



問4 アセトアルデヒドは、工業的には、 PdCl_2 と CuCl_2 の水溶液を触媒として、エチレンを酸素で酸化することによりつくられる。



問5 (1) HgSO_4 を触媒としてプロピンに水を付加させると、次の図のように2つの化合物が生じるが、いずれの化合物も不安定であり、ただちにカルボニル化合物(アルデヒドまたはケトン)に変化する。

整理

付加反応

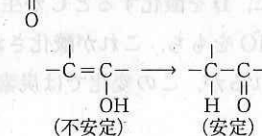
$\text{C}=\text{C}$ や $\text{C}\equiv\text{C}$ などの不飽和結合の部分に他の原子が付け加わる反応。

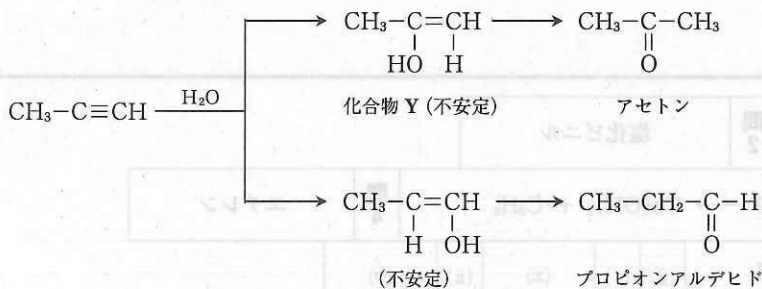
整理

エノールの異性化

炭素間二重結合を形成している炭素原子に $-\text{OH}$ が結合している構造(エノール)は不安定であり、

$-\text{C}-$ をもつ安定な構造に変化する。





(2) (i) アセトンは $\text{CH}_3\text{-CO-}$ の構造をもつのでヨードホルム反応を示す。

(ii) プロピオンアルデヒドはアルデヒド基をもつのでフェーリング液を還元する。

なお、炭素間の不飽和結合をもつ化合物は臭素水の赤褐色を脱色し、ヒドロキシ基をもつ化合物は金属ナトリウムと反応して水素を発生する。また、アセトンやプロピオンアルデヒドなどの低級のカルボニル化合物は水に溶けやすい。

II

問6 化合物 A 中の各元素の物質質量比(原子数の比)は、質量組成より、

$$\begin{aligned}
 \text{C} : \text{H} : \text{O} &= \frac{53.2}{12} : \frac{6.3}{1.0} : \frac{40.5}{16} = 4.43 : 6.3 : 2.53 \\
 &= 1.75 : 2.49 : 1 \doteq 7 : 10 : 4
 \end{aligned}$$

よって、A の組成式は $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_4$ (式量 158) であり、分子量が 158 であることより、分子式も $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_4$ である。

別解

A の分子式を $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ とすると、分子量と質量組成より、

$$x = \frac{158 \times 0.532}{12} \doteq 7, \quad y = \frac{158 \times 0.063}{1.0} \doteq 10, \quad z = \frac{158 \times 0.405}{16} \doteq 4$$

よって、A の分子式は $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_4$ である。

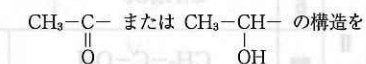
問7, 8 A の加水分解によって得られた化合物 B, C, D について整理すると、B と C は、 NaHCO_3 水溶液を加えて気泡を発生したことから、 $-\text{COOH}$ をもち、B と D は、ヨードホルム反応を示したことから、 $\text{CH}_3\text{-CO-}$ または $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-}$ の構造をもつと推定される。よって、B, C, D の炭素数は次のようになる。

	$-\text{COOH}$	波線部の構造	炭素数
B	もつ	もつ	\Rightarrow 3 以上
C	もつ	もたない	\Rightarrow 1 以上
D	もたない	もつ	\Rightarrow 2 以上

さらに、D を酸化すると C が生成したことから、D は $-\text{CH}_2\text{OH}$ か $-\text{CHO}$ をもち、これが酸化されて C の $-\text{COOH}$ に変化したと推定されるが、この変化では炭素数が変化しない。よって、A の

整理

ヨードホルム反応



もつ化合物に I_2 と NaOH 水溶液を加えて加熱すると、特有の臭いをもつヨードホルム CHI_3 の黄色沈殿が生じる。ただし、 $\text{CH}_3\text{-C}(=\text{O})\text{-O-}$ の構造をもつ酢酸などは除く。

アルデヒドの検出反応

$-\text{CHO}$ は酸化されやすいため、他の物質を還元する性質がある。これを利用した検出反応には次の二つがある。

① 銀鏡反応

アンモニア性硝酸銀水溶液と加熱すると、銀 Ag が析出する。

② フェーリング液の還元

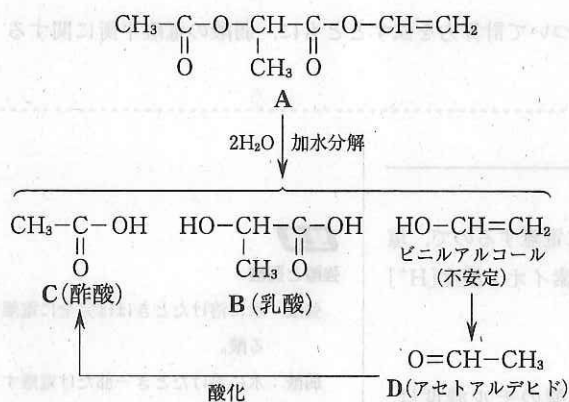
フェーリング液と加熱すると、酸化銅 (I) Cu_2O の赤色沈殿が生成する。

炭素数は7だから、Bの炭素数は3、DおよびCの炭素数は2である。この段階でDは、 $\text{CH}_3\text{-CHO}$ か $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ のいずれかであるが、銀鏡反応陽性であったことから、Dは前者のアセトアルデヒドであり、Dの酸化生成物であるCは酢酸と決まる。

次に、Bは $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$ か $\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$ のいずれかであるが、Aが不斉炭素原子をもつことから、Bは不斉炭素原子をもつ前者(乳酸)と決まる。

エステルAの加水分解によってアセトアルデヒドDが生成したが、通常、エステルの加水分解ではカルボン酸とアルコールが生成し、アルデヒドは生成しない。よって、Aの加水分解でビニルアルコールが生成し、これが不安定なためアセトアルデヒドDに変化したものと考えられる。

以上より、Aの構造は解答のように決まり、Aの加水分解とその後の変化は次のようになる。



③ 酸と塩基，弱酸の電離平衡

▶ 解答 ◀

I	問1	あ	1.0×10^{-4}	い	4.0	問2	(オ)
	問3	水の電離で生じた水素イオンの濃度					
II	問4	え	$c(1-\alpha)$	お	$\sqrt{\frac{K_a}{c}}$	か	$\sqrt{cK_a}$
	問5	(1)	1.4×10^{-2}	(2)	2.9	問6	(1) 3.6×10^{-1} (2) 4.4

▶ 配点 ◀ (25点)

I 問1 各2点×2 問2 2点 問3 3点

II 問4 各2点×3 問5 (1) 2点 (2) 2点 問6 (1) 3点 (2) 3点

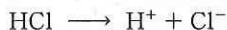
出題のねらい

酸の水溶液の水素イオン濃度，pH，電離度について計算力を試すとともに，弱酸の電離平衡に関する理解を試す問題である。

▶ 解説 ◀

I

問1 塩化水素は1価の強酸で水溶液中では完全に電離するので，塩酸の濃度が極端に小さい場合を除いて，塩酸の水素イオン濃度 $[H^+]$ は塩酸のモル濃度と等しいとしてよい。



0.010 mol/L の塩酸を水で 10^2 倍に薄めた塩酸のモル濃度は， $0.010 \text{ mol/L} \times \frac{1}{10^2} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ だから，薄めた塩酸の $[H^+]$ とpHは，

$$[H^+] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\log_{10}(1.0 \times 10^{-4}) = 4.0$$

問2, 3 0.010 mol/L の塩酸を水で 10^6 倍に薄めた塩酸のモル濃度は， $0.010 \text{ mol/L} \times \frac{1}{10^6} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ であるが，この場合は問1と同じように「 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ で， $pH = 8.0$ 」とはならない。酸の水溶液を水で薄めて $pH = 8.0$ の塩基性になることはない。酸の水溶液を水で薄めると，酸性が弱くなり中性に近づくが，酸性の水溶液であることに変わりはないので， $pH < 7$ である。

これは，酸の電離で生じた H^+ の濃度が極端に小さい場合は，「水の電離で生じた H^+ の濃度」を無視できなくなるためである。

整理

強酸と弱酸

強酸：水に溶けたときほぼ完全に電離する酸。

弱酸：水に溶けたとき一部だけ電離する酸。

pH (水素イオン指数)

$pH = -\log_{10}[H^+]$ であり，

$$[H^+] = 1 \times 10^{-n} \text{ mol/L}$$

↓

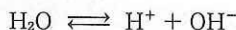
$$pH = n$$

n倍希釈の意味

溶液の体積が n 倍になるまで水を加えて薄めることであり，溶質の物質量は変化せず，溶液の体積は n 倍になるため，モル濃度 (mol/L) は $\frac{1}{n}$ 倍になる。

これについて詳しく説明する。

酸の水溶液中でも水分子はごくわずかに電離しており、次式の平衡状態にある。



そのため、酸の水溶液中の $[\text{H}^+]$ は次のようになる。

$$[\text{H}^+] = \left(\begin{array}{l} \text{酸の電離で生じた} \\ \text{H}^+\text{のモル濃度} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{水の電離で生じた} \\ \text{H}^+\text{のモル濃度} \end{array} \right)$$

また、酸の水溶液中の OH^- は水の電離でのみ生じるので、

$$[\text{OH}^-] = \left(\begin{array}{l} \text{水の電離で生じた} \\ \text{OH}^-\text{のモル濃度} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{水の電離で生じた} \\ \text{H}^+\text{のモル濃度} \end{array} \right)$$

したがって、酸の水溶液を水でいくら薄めても酸の電離で生じた H^+ のモル濃度の分だけ $[\text{H}^+]$ の方が $[\text{OH}^-]$ より大きくなるので、水溶液は酸性になる。

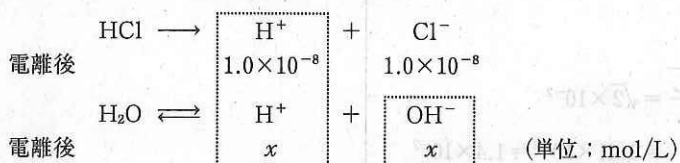
参考

1.0×10^{-8} mol/L の塩酸の $[\text{H}^+]$ と pH は、次のようにして求めることができる。

水の電離で生じた H^+ の濃度を x (mol/L)とすると、HClは完全に電離するので、

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L} + x \text{ (mol/L)}$$

$$[\text{OH}^-] = x \text{ (mol/L)}$$



これらを $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ に代入して、

$$(1.0 \times 10^{-8} + x) \text{ (mol/L)} \times x \text{ (mol/L)} = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (mol/L)}^2$$

$$x^2 + 1.0 \times 10^{-8} x - 1.0 \times 10^{-14} = 0$$

$x > 0$ だから、

$$x = \frac{-1.0 \times 10^{-8} + \sqrt{4.01 \times 10^{-14}}}{2}$$

$$\doteq \frac{-1.0 \times 10^{-8} + 2.0 \times 10^{-7}}{2} = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$$

よって、

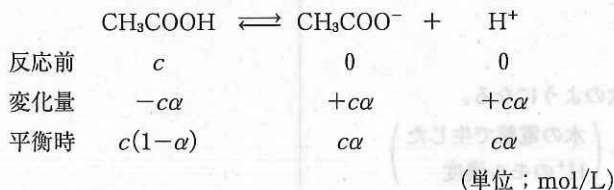
$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-8} + 9.5 \times 10^{-8} = 1.05 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$\log_{10} 1.05 = 0.02$ より、

$$\text{pH} = -\log_{10}(1.05 \times 10^{-7}) = 7 - 0.02 = 6.98$$

II

問4 c (mol/L) の酢酸水溶液中の酢酸の電離度を α とすると、



c が極端に小さい場合を除いて、水溶液中の $[\text{CH}_3\text{COOH}]$, $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$, $[\text{H}^+]$ は、

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = c(1-\alpha)$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+] = c\alpha$$

これらを K_a の式 ((i) 式) に代入すると、

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{(c\alpha)^2}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha} \quad \dots (ii)$$

通常の濃度では、 α は 1 に比べて十分小さいので、 $1-\alpha \approx 1$ と近似して、

$$K_a = c\alpha^2 \quad \text{よって、} \quad \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \quad \dots (iii)$$

したがって、

$$[\text{H}^+] = c\alpha = c\sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{cK_a} \quad \dots (iv)$$

問5 (1) (iii) 式より、 α は、

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}}{0.10 \text{ mol/L}}} = \sqrt{2} \times 10^{-2} \\ &= 1.41 \times 10^{-2} \approx 1.4 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

この値は 1 に比べて十分小さいので、(iii) 式を用いて計算したのは妥当である。

(2) (iv) 式より、 $[\text{H}^+]$ は、

$$[\text{H}^+] = c\alpha = 0.10 \text{ mol/L} \times \sqrt{2} \times 10^{-2} = \sqrt{2} \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

または、

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= \sqrt{cK_a} = \sqrt{0.10 \text{ mol/L} \times 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}} \\ &= \sqrt{2} \times 10^{-3} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

よって、pH は、

$$\text{pH} = -\log_{10}(\sqrt{2} \times 10^{-3}) = 3 - \frac{1}{2} \log_{10} 2.0$$

$$= 3 - \frac{1}{2} \times 0.30 = 2.85 \approx 2.9$$

問6 (1) 10^3 倍に薄めた酢酸水溶液のモル濃度は、 $0.10 \text{ mol/L} \times$

$\frac{1}{10^3} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ である。問5(1)と同様に $\alpha \ll 1$ と仮定して

(iii) 式より α を求めると、

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}}{1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}}} = 2\sqrt{5} \times 10^{-1} = 0.448$$

整理

弱酸の電離度 α とその水溶液の $[\text{H}^+]$

弱酸の濃度を c (mol/L)、電離定数を K_a (mol/L) とすると、 $\alpha \ll 1$ のとき、

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{cK_a}$$

この値は1に比べて十分小さくはないので、(iii)式を用いて計算したのは妥当ではない。よって、(ii)式を用いて計算する必要がある。

そこで $K_a = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$ より、

$$c\alpha^2 + K_a\alpha - K_a = 0$$

これに、 $c = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 、 $K_a = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ を代入して、

$$1.0 \times 10^{-4} \alpha^2 + 2.0 \times 10^{-5} \alpha - 2.0 \times 10^{-5} = 0$$

両辺を 5×10^4 倍して、

$$5\alpha^2 + \alpha - 1 = 0$$

$0 < \alpha < 1$ だから、

$$\alpha = \frac{-1 + \sqrt{21}}{10} = \frac{-1 + 4.58}{10} = 0.358 \doteq 3.6 \times 10^{-1}$$

(2) $[\text{H}^+]$ は、

$$[\text{H}^+] = c\alpha = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \times 0.358 \doteq 3.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

(ここで $[\text{H}^+] = \sqrt{cK_a}$ を用いてはならない。)

よって、pH は、

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log_{10}(3.6 \times 10^{-5}) = -\log_{10}(2^2 \times 3^2 \times 10^{-6}) \\ &= 6 - 2\log_{10}2 - 2\log_{10}3 = 4.44 \doteq 4.4 \end{aligned}$$

弱酸の式	弱酸の式	弱酸の式
ある	ある	ある
ある	ある	ある
ある	ある	ある

4 気体

▶ 解答 ◀

I	問1	あ	大きく			い	小さく		う	小さく	
	問2	熱	運	動	が	激	し	く			
II	問3	9.0×10 ³ Pa			問4	1.8×10 ⁴ Pa		問5	0.090 mol		
	問6	体積	3.0 L		圧力	1.9×10 ⁴ Pa		問7	0 L		

▶ 配点 ◀ (25点)

I 問1 各2点×3 問2 3点

II 問3 3点 問4 3点 問5 3点 問6 各2点×2 問7 3点

出題のねらい

理想気体と実在気体に関する知識の確認と、気体の法則および飽和蒸気圧について理解力を試す問題である。

解説

I

問1, 2 実在気体には分子間力がはたらき、これは体積を小さくする効果がある。また、実在気体の分子には大きさがあり、これは体積を大きくする効果がある。

H₂のように分子量が小さい無極性分子では、標準状態では、分子間力の影響よりも分子の大きさの影響の方が大きいため、体積は理想気体よりも大きくなる。

一方、NH₃のような極性分子では、標準状態では、分子の大きさの影響よりも分子間力の影響の方が大きいため、体積は理想気体よりも小さくなる。

圧力を小さくすると、分子間の平均距離が大きくなり、分子間力および分子の大きさの影響を受けにくくなり、また、温度を高くすると、気体分子の熱運動が激しくなり、分子間力の影響を受けにくくなるので、実在気体は理想気体に近いふるまいをする。

II

問3 操作1終了後のA室の圧力を P_A[Pa] とすると、A室の気体の総物質量は 0.020 mol + 0.010 mol = 0.030 mol だから、理想気体の状態方程式より、

$$P_A[\text{Pa}] \times 8.3 \text{ L} = 0.030 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300 \text{ K}$$

よって、P_A = 9.0 × 10³ Pa

整理

理想気体と実在気体

	理想気体	実在気体
分子の大きさ	ない	ある
分子間力	はたらかない	はたらく
PV = nRT	厳密に従う	従わない

なお、実在気体は高温・低圧下で理想気体に近いふるまいをする。

整理

理想気体の状態方程式

$$PV = nRT$$

P: 圧力, V: 体積, n: 物質質量

R: 気体定数, T: 絶対温度

問4 操作2終了後のA室の容積は $16.6\text{ L} \times \frac{1}{1+3} = \frac{8.3}{2}\text{ L}$ であり、

操作2では温度と気体の総物質量は変化していないので、ボイルの法則が成立する。よって、操作2終了後のA室の圧力を P_A' (Pa) とすると、

$$P_A'(\text{Pa}) \times \frac{8.3}{2}\text{ L} = 9.0 \times 10^3 \text{ Pa} \times 8.3\text{ L}$$

$$\text{よって、} P_A' = 1.8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

別解

A室の容積は $\frac{8.3}{2}\text{ L}$ だから、理想気体の状態方程式より、

$$P_A'(\text{Pa}) \times \frac{8.3}{2}\text{ L}$$

$$= 0.030\text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300\text{ K}$$

$$\text{よって、} P_A' = 1.8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

問5 操作2終了後のA、B両室の圧力と温度は等しく、A室とB室の気体の体積はその物質に比例する。よって、B室に封入した N_2 の物質量を n_{N_2} (mol) とすると、

$$0.030\text{ mol} : n_{\text{N}_2}(\text{mol}) = 1 : 3$$

$$\text{よって、} n_{\text{N}_2} = 0.090\text{ mol}$$

別解

操作2終了後のB室の容積は $\frac{8.3 \times 3}{2}\text{ L}$ であり、A、B両室の圧力は等しく、B室の圧力も $1.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ だから、理想気体の状態方程式より、

$$1.8 \times 10^4 \text{ Pa} \times \frac{8.3 \times 3}{2}\text{ L}$$

$$= n_{\text{N}_2}(\text{mol}) \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300\text{ K}$$

$$\text{よって、} n_{\text{N}_2} = 0.090\text{ mol}$$

問6 燃焼によるA室内の各物質の物質量的変化は次のとおりである。

	2H_2	+	O_2	\longrightarrow	$2\text{H}_2\text{O}$
燃焼前	0.020		0.010		0
変化量	-0.020		-0.010		+0.020
燃焼後	0		0		0.020

(単位: mol)

燃焼によって生じた水がすべて気体であると仮定すると、操作3終了後のA、B両室の圧力と温度は等しく、A室とB室の気体の体積はその物質に比例する。よって、操作3終了後のA室の容積は、

$$16.6\text{ L} \times \frac{0.020\text{ mol}}{0.020\text{ mol} + 0.090\text{ mol}} = \frac{8.3 \times 4}{11}\text{ L}$$

整理

ボイルの法則

温度が一定のとき、一定量の気体の体積 V は、圧力 P に反比例する。

$$PV = k (k \text{ は定数})$$

整理

液体が存在するかすべて気体かの判定

P ; すべて気体として存在すると仮定し

たときに示す圧力

P_0 ; 飽和蒸気圧

とすると、

$P > P_0$; 液体が存在する。気液平衡だから、気体の圧力は P_0 となる。

$P \leq P_0$; すべて気体である。気体の圧力は P となる。

また、操作3終了後のA室の圧力を P_A'' [Pa] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$P_A'' [\text{Pa}] \times \frac{8.3 \times 4}{11} \text{ L} = 0.020 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 340 \text{ K}$$

よって、 $P_A'' = 1.87 \times 10^4 \text{ Pa}$

なお、ここでは次のようにして P_A'' [Pa] を求めることもできる。

操作3終了後のA室およびB室の圧力を P [Pa] (= P_A'' [Pa]) として、容器全体について、理想気体の状態方程式より、

$$P [\text{Pa}] \times 16.6 \text{ L} = (0.020 + 0.090) \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 340 \text{ K}$$

よって、 $P = P_A'' = 1.87 \times 10^4 \text{ Pa}$

この値は67℃における水の飽和蒸気圧である $2.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ よりも小さいので、水がすべて気体であるとした仮定は正しい。よって、A室の容積は、

$$\frac{8.3 \times 4}{11} \text{ L} = 3.01 \text{ L} \doteq 3.0 \text{ L}$$

また、A室の圧力は、

$$1.87 \times 10^4 \text{ Pa} \doteq 1.9 \times 10^4 \text{ Pa}$$

別解

操作2終了後のB室の容積は $16.6 \text{ L} \times \frac{3}{4} = \frac{8.3 \times 3}{2} \text{ L}$ である。燃焼によって生じた水がすべて気体であると仮定すると、操作3終了後のA、B両室の圧力と温度は等しく、A室とB室の気体の体積はその物質に比例するので、操作3終了後のB室の容積は、

$$16.6 \text{ L} \times \frac{0.090 \text{ mol}}{0.020 \text{ mol} + 0.090 \text{ mol}} = \frac{8.3 \times 18}{11} \text{ L}$$

操作2終了後と操作3終了後のB室内の N_2 の物質量は等しく、ボイル・シャルルの法則が成立するので、操作3終了後のB室の圧力を P_B [Pa] とすると、

$$\frac{1.8 \times 10^4 \text{ Pa} \times \frac{8.3 \times 3}{2} \text{ L}}{300 \text{ K}} = \frac{P_B [\text{Pa}] \times \frac{8.3 \times 18}{11} \text{ L}}{340 \text{ K}}$$

よって、 $P_B = 1.87 \times 10^4 \text{ Pa}$

この値は67℃における水の飽和蒸気圧である $2.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ よりも小さいので、水がすべて気体であるとした仮定は正しい。

よって、A室の容積は、

$$16.6 \text{ L} - \frac{8.3 \times 18}{11} \text{ L} = 3.01 \text{ L} \doteq 3.0 \text{ L}$$

また、A室の圧力はB室の圧力と等しいので、

$$1.87 \times 10^4 \text{ Pa} \doteq 1.9 \times 10^4 \text{ Pa}$$

整理

ボイル・シャルルの法則

一定量の気体の体積 V は、圧力 P に反比例し、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{PV}{T} = k \text{ (} k \text{ は定数)}$$

問7 操作4終了後のA室内の水がすべて気体であると仮定すると、A、B両室の圧力と温度は等しく、A室とB室の気体の体積はその物質に比例するので、操作4終了後のB室の容積は、操作3終了後のB室の容積と等しく $\frac{8.3 \times 18}{11}$ Lである。よって、操作4終了後のB室の圧力を P_B' [Pa] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$P_B' [\text{Pa}] \times \frac{8.3 \times 18}{11} \text{ L} \\ = 0.090 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300 \text{ K}$$

よって、 $P_B' = 1.65 \times 10^4 \text{ Pa}$

これは 27°C における水の飽和蒸気圧である $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ よりも大きいので、水がすべて気体であるとした仮定は誤りである。

次に、A室内の水が気液平衡であると仮定すると、操作4終了後のA、B両室の圧力は等しく $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ となる。操作4終了後のB室の容積を V_B [L] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$3.5 \times 10^3 \text{ Pa} \times V_B [\text{L}] \\ = 0.090 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300 \text{ K}$$

よって、 $V_B = 64.0 \text{ L}$

しかし、 V_B は 16.6 L よりも大きくなることはないので、A室内の水が気液平衡であるとした仮定も誤りである。

したがって、隔壁は容器の左端に位置し、A室の気体の体積は 0 L でA室内の水はすべて液体になっている。

別解

操作4終了後のB室の容積は最大で 16.6 L になる。この容積のときのB室の圧力を P_B'' [Pa] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$P_B'' [\text{Pa}] \times 16.6 \text{ L} \\ = 0.090 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300 \text{ K}$$

よって、 $P_B'' = 1.35 \times 10^4 \text{ Pa}$

A、B両室の圧力は等しいので、A室の圧力も $1.35 \times 10^4 \text{ Pa}$ になるはずだが、この値は 27°C における水の飽和蒸気圧である $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ よりも大きい。よって、操作4終了後のA室内の水はすべて液体となっており、隔壁は容器の左端に位置し、A室の気体の体積は 0 L である。

今回の操作を整理すると、次のとおりである。

