

化学基礎・化学

[問題 1] 次の文章 (I) と (II) を読み、以下の設問 1～8 中の空欄 (1) ～ (15) にあてはまる適切な選択肢または数値を、対応する解答欄にマークしなさい。ただし、水のイオン積 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とする。

(I) 酸の分子 1 個に含まれる水素原子 H のうち、水素イオン H^+ になることができる H の数を酸の価数という。例えば、シュウ酸 $(\text{COOH})_2$ は (ア) 価の酸、リン酸 H_3PO_4 は (イ) 価の酸である。塩基についても、電離して水酸化物イオン OH^- となることができる OH の数、または (ウ) を塩基の価数という。

水溶液の酸性や塩基性の強弱を表す指標として、水素イオン指数 pH がある。0.10 mol/L 塩酸 (電離度 1.0) の pH は (エ) であり、(a)0.10 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液 (電離度 1.0) の pH は (オ) である。また、電離度 5.0×10^{-5} の 0.020 mol/L フェノール水溶液の pH は (カ) であり、電離度 2.5×10^{-2} の 0.040 mol/L アンモニア水の pH は (キ) である。

設問 1. (ア) ～ (ウ) に入る数値と語句の組み合わせとして、最も適切なのは (1) である。

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	1	1	与えることのできる水素イオン H^+ の数
②	1	1	受け取ることのできる水素イオン H^+ の数
③	1	3	与えることのできる水素イオン H^+ の数
④	1	3	受け取ることのできる水素イオン H^+ の数
⑤	2	1	与えることのできる水素イオン H^+ の数
⑥	2	1	受け取ることのできる水素イオン H^+ の数
⑦	2	3	与えることのできる水素イオン H^+ の数
⑧	2	3	受け取ることのできる水素イオン H^+ の数

設問 2. (エ) に入る数値は (2) , (オ) に入る数値は (3) (4) である。

設問 3. 下線部(a)の 0.10 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液 10 mL を、水を加えて 1000 mL に希釈した。薄めた後の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液の pH は (5) である。

- ① 6 ② 7 ③ 8 ④ 9 ⑤ 10
 ⑥ 11 ⑦ 12 ⑧ 13 ⑨ 14

設問 4. (カ) に入る数値は (6) , (キ) に入る数値は (7) (8) である。

設問 5. ある 1 価の弱酸 0.20 mol を水に溶かすと、水素イオン H^+ が 0.0052 mol 存在していた。
この弱酸の電離度 α は (9) . (10) $\times 10^{-2}$ である。

(Ⅱ) 濃度が不明な酢酸水溶液 (A 液) の濃度を、以下の中和滴定によって求めた。この中和滴定の指示薬には (ク) を用いることができ、その色は (ケ) から (コ) に変化する。

〔操作 1〕 A 液を、水で正確に 10 倍に薄めて酢酸水溶液 (B 液) とした。

〔操作 2〕 (サ) を用いて、B 液 10.0 mL を正確にはかりとり、コニカルビーカーに入れた。

〔操作 3〕 0.120 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を (シ) に入れ、滴下前の目盛りを読んだ。

〔操作 4〕 (シ) から、水酸化ナトリウム水溶液を 12.5 mL 滴下したところ、過不足なく中和した。

設問 6. (ク) ~ (コ) に入る語句の組み合わせとして、最も適切なのは (11) である。

	(ク)	(ケ)	(コ)
①	フェノールフタレイン	無色	赤色
②	フェノールフタレイン	赤色	無色
③	フェノールフタレイン	黄色	赤色
④	フェノールフタレイン	赤色	黄色
⑤	メチルオレンジ	無色	赤色
⑥	メチルオレンジ	赤色	無色
⑦	メチルオレンジ	黄色	赤色
⑧	メチルオレンジ	赤色	黄色

設問 7. (サ) と (シ) に入る器具の組み合わせとして、最も適切なのは (12) である。

	(サ)	(シ)
①	メスフラスコ	ホールピペット
②	メスフラスコ	ビュレット
③	ホールピペット	メスフラスコ
④	ホールピペット	ビュレット
⑤	ビュレット	メスフラスコ
⑥	ビュレット	ホールピペット

設問 8. 濃度が不明な酢酸水溶液 (A 液) の濃度は (13) . (14) (15) mol/L である。

[問題2] 次の文章を読み、以下の設問1～7中の空欄 (16) ～ (30) にあてはまる適切な選択肢または数値を、対応する解答欄にマークしなさい。

天然に存在する多くの元素には、^(a)相対質量の異なるいくつかの同位体が存在し、その存在比は、ほぼ一定である。ホウ素 **B** と塩素 **Cl** には、それぞれ2種類の安定同位体が存在し、それぞれの相対質量と天然存在比は、下の表に示した値とする。

表 ホウ素 **B** と塩素 **Cl** の安定同位体の相対質量と天然存在比

ホウ素	相対質量	天然存在比 [%]	塩素	相対質量	天然存在比 [%]
¹⁰ B	10.0	20.0	³⁵ Cl	35.0	75.0
¹¹ B	11.0	80.0	³⁷ Cl	37.0	25.0

表の値をもとにすると、ホウ素 **B** と塩素 **Cl** の原子量は、それぞれ (ア) と 35.5 となる。また、分子の質量も、原子量の場合と同様に、相対質量で表すことができ、分子式を構成する元素の原子量の総和で分子量を求めることができる。例えば、三塩化ホウ素 **BCl₃** の分子量は、上記のホウ素 **B** と塩素 **Cl** の原子量から (イ) と求めることができる。

BCl₃ を化学的に合成すると、表に示す ¹⁰B と ¹¹B および ³⁵Cl と ³⁷Cl の存在比を反映して、相対質量の異なる (ウ) 種類の **BCl₃** 分子が存在する。その中で、相対質量が 120 である **BCl₃** 分子は、1 個の (エ), (オ) 個の ³⁵Cl, (カ) 個の ³⁷Cl で構成され、すべての **BCl₃** 分子の中で (キ) % 存在する。

設問 1. 下線部(a)に関連して、原子や分子の相対質量の基準は、国際基準で定められている。現在の基準として、最も適切なのは (16) である。

- ① 質量数 1 の水素原子 ¹H 1 個の質量を 1 とする。
- ② 電荷をもたない中性子 1 個の質量を 1 とする。
- ③ 質量数 12 の炭素原子 ¹²C 1 個の質量を 12 とする。
- ④ 質量数 16 の酸素原子 ¹⁶O 1 個の質量を 16 とする。

設問 2. 塩素 **Cl** の原子番号は (17) (18) であり、同位体 ³⁷Cl の原子核に含まれる中性子の数は (19) (20) 個である。

設問 3. (ア) に入る数値は (21) (22) . (23) である。

設問 4. (イ) に入る数値は (24) (25) (26) . (27) である。

設問 5. (ウ) に入る数値は 28 である。

設問 6. (エ) ～ (カ) に入るホウ素の同位体と数値の組み合わせとして、最も適切な
のは 29 である。

	(エ)	(オ)	(カ)
①	^{10}B	0	3
②	^{10}B	1	2
③	^{10}B	2	1
④	^{10}B	3	0
⑤	^{11}B	0	3
⑥	^{11}B	1	2
⑦	^{11}B	2	1
⑧	^{11}B	3	0

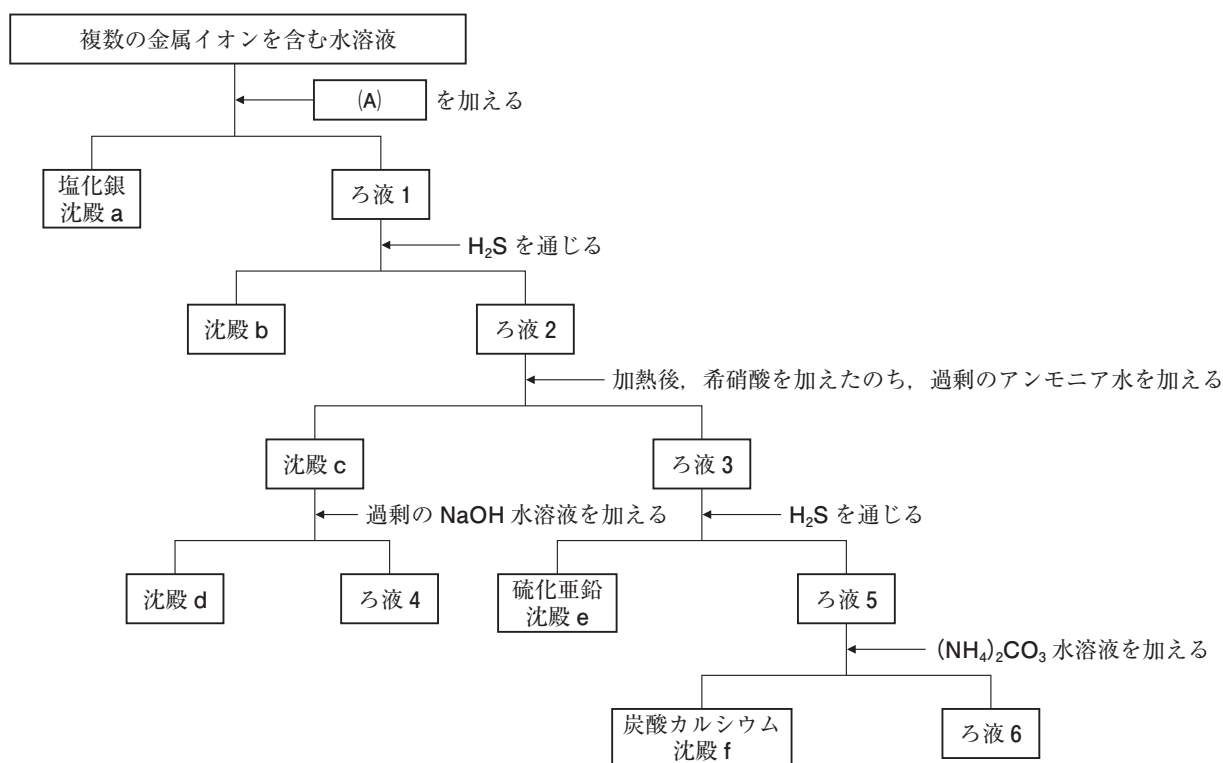
設問 7. (キ) に入る数値は 30 である。

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| ① 2 | ② 5 | ③ 8 | ④ 11 | ⑤ 14 |
| ⑥ 17 | ⑦ 20 | ⑧ 27 | ⑨ 34 | |

〔問題 3〕 次の文章を読み、以下の設問 1 ～ 7 中の空欄 (31) ～ (42) にあてはまる適切な選択肢を、対応する解答欄にマークしなさい。

周期表は、物質を構成する基本単位である元素を、性質や特徴を考慮して並べたものである。周期表において、縦の列が (ア), 横の行が (イ) であり、一般に、3 ～ 12 族の元素を遷移元素という。遷移元素の単体は、すべて (ウ) 元素であり、一般的に融点が (エ), 密度が大きいものが多い。

金属イオンが特定の陰イオンと結びつき、沈殿することを利用して、多くの種類の金属イオンを含む水溶液から、特定の金属イオンを分離することができる。以下は、複数の金属イオン Ag^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , K^+ , Zn^{2+} を含む水溶液を用いて、金属イオンの分離実験を行った結果をまとめた図である。



設問 1. (ア) ～ (エ) に入る語句の組み合わせとして、最も適切なのは (31) である。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
①	族	周期	金属	高く
②	族	周期	金属	低く
③	族	周期	典型	高く
④	周期	族	典型	低く
⑤	周期	族	金属	高く
⑥	周期	族	金属	低く

設問 2. 金属イオンの分離実験で、(A) に入る試薬は (32)，塩化銀（沈殿 a）の色は (33) である。

- ① 四塩化炭素 ② ジクロロメタン ③ 希塩酸 ④ 塩化メチル
⑤ 黒色 ⑥ 白色 ⑦ 褐色 ⑧ 深青色

設問 3. 下記の濃度で，“銀イオン Ag^+ を含む水溶液 X” と “塩化物イオン Cl^- を含む水溶液 Y” を同体積で混ぜ合わせたとき，塩化銀の沈殿が生じる組み合わせは (34) である。ただし，塩化銀の溶解度積は $K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.8 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$ とする。

	水溶液 X：銀イオン Ag^+ 濃度 $[\text{mol/L}]$	水溶液 Y：塩化物イオン Cl^- 濃度 $[\text{mol/L}]$
①	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}
②	2.0×10^{-5}	6.0×10^{-5}
③	4.0×10^{-5}	1.2×10^{-5}
④	6.0×10^{-5}	4.0×10^{-6}
⑤	8.0×10^{-5}	4.0×10^{-6}

設問 4. 金属イオンの分離実験で，硫化亜鉛（沈殿 e）の沈殿生成に関連する記述のうち，適切なものは (35) と (36) である。

- ① 亜鉛イオンを含む水溶液が中性・塩基性であれば， H_2S を通じて沈殿を生じる。
② 亜鉛イオンを含む水溶液が強い酸性であれば， H_2S を通じて沈殿を生じる。
③ 硫化亜鉛の沈殿物は黒色である。
④ 硫化亜鉛の沈殿物は白色である。
⑤ 硫化亜鉛の沈殿反応を利用した沈殿滴定がモール法である。

設問 5. 炭酸カルシウムの沈殿（沈殿 f）が生じている水溶液に，二酸化炭素を通じ続けたときの変化として，適切なものは (37) と (38) である。

- ① 炭酸カルシウムの沈殿が溶ける。
② 炭酸カルシウムの沈殿が増加する。
③ 沈殿が黒色に変化する。
④ 沈殿が青色に変化する。
⑤ 酸化カルシウム CaO になる。
⑥ 炭酸水素カルシウム $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ になる。

設問 6. “沈殿 b” として沈殿するのは (39)，“沈殿 d” として沈殿するのは (40) である。

- ① Al^{3+} ② Cu^{2+} ③ Fe^{3+} ④ K^+

設問 7. “ろ液 4” に含まれるのは (41)，“ろ液 6” に含まれるのは (42) である。

- ① Al^{3+} ② Cu^{2+} ③ Fe^{3+} ④ K^+

[問題 4] 次の文章を読み、以下の設問 1 ～ 6 中の空欄 (43) ～ (51) にあてはまる適切な選択肢または数値を、対応する解答欄にマークしなさい。ただし、水のイオン積 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$, $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$ とする。

水はごくわずかに電離して、式(1)のような平衡状態が成立する。水の電離は吸熱反応であるため、温度が低くなると、(ア)により、電離が起こりにくくなる。



一方、弱酸や弱塩基は弱電解質であり、水溶液中ではその一部が電離し、電離していない物質と電離してできたイオンが、一定の割合で存在する平衡状態となる。例えば、酢酸は、水溶液中でその一部が電離して、式(2)のような平衡状態となる。



このときの平衡定数を電離定数という。酢酸の電離定数 K_a は、以下の式(3)で表される。

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad (3)$$

また、電離前の酢酸水溶液のモル濃度を c [mol/L]、電離度を α とすると、電離前、変化量、平衡時のモル濃度は以下ようになる。

	CH ₃ COOH のモル濃度	CH ₃ COO ⁻ のモル濃度	H ⁺ のモル濃度
電離前	c [mol/L]	0 [mol/L]	0 [mol/L]
変化量	(イ) [mol/L]	$+c\alpha$ [mol/L]	(ウ) [mol/L]
平衡時	(エ) [mol/L]	$c\alpha$ [mol/L]	(オ) [mol/L]

設問 1. (ア) に入る語句として、最も適切なのは (43) である。

- ① ボイルの法則 ② アレニウスの式 ③ シャルルの法則
④ ヘスの法則 ⑤ ルシャトリエの原理 ⑥ ソルベ法

設問 2. (イ) ～ (オ) に入る式の組み合わせとして、最も適切なのは (44) である。

	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
①	$+c\alpha$	$+c\alpha$	$c(1-\alpha)$	$c(1-\alpha)$
②	$+c\alpha$	$-c\alpha$	$c-\alpha$	$c(1-\alpha)$
③	$+c\alpha$	$-c\alpha$	$c(1-\alpha)$	$c-\alpha$
④	$-c\alpha$	$-c\alpha$	$c-\alpha$	$c-\alpha$
⑤	$-c\alpha$	$+c\alpha$	$c(1-\alpha)$	$c\alpha$
⑥	$-c\alpha$	$+c\alpha$	$c-\alpha$	$c\alpha$

設問 3. 電離前の酢酸水溶液のモル濃度を c [mol/L] とした場合、電離度 α と酢酸の電離定数 K_a の関係を表した式は (45) である。

① $K_a = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$

② $K_a = c\alpha$

③ $K_a = \frac{1-\alpha}{c\alpha^2}$

④ $K_a = c^2\alpha^2$

⑤ $K_a = \frac{c\alpha^2}{\alpha-1}$

⑥ $K_a = \sqrt{c\alpha}$

設問 4. 0.20 mol/L の酢酸水溶液の pH は (46) . (47) である。ただし、酢酸の電離度 α は 1 に比べて十分に小さく、酢酸の電離定数 K_a は 2.0×10^{-5} mol/L とする。

設問 5. 電離度 α に関する記述として、適切なものは (48) と (49) である。

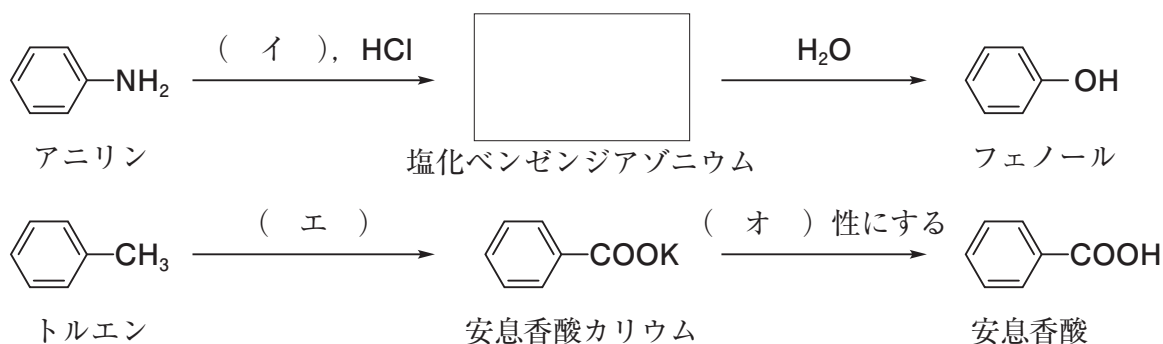
- ① 一定温度において、弱電解質の濃度が小さいほど、電離度 α は大きくなる。
- ② 弱電解質の水溶液の pH は、電離度 α の常用対数にマイナスを付けた値である。
- ③ 電離度 α は、 $0 < \alpha \leq 1$ の値を示す。
- ④ 弱電解質の電離度 α は、温度に依存せず一定である。

設問 6. 酸の電離定数 K_a に関する記述として、適切なものは (50) と (51) である。

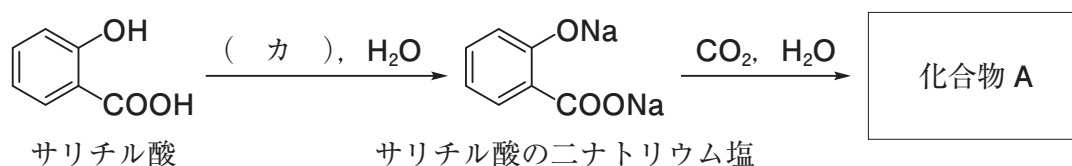
- ① 2 価の弱酸の場合、全体としての電離定数 K_a は、各電離過程の電離定数の和として表される。
- ② 電離定数 K_a と電離度 α は、反比例関係にある。
- ③ 酸の電離定数 K_a は、一定温度で一定の値となる。
- ④ 同じ濃度の弱電解質溶液では、酸の電離定数 K_a が大きいほど酸性が強い。

[問題 5] 次の文章を読み、以下の設問 1 ～ 7 中の空欄 (52) ～ (62) にあてはまる適切な選択肢または数値を、対応する解答欄にマークしなさい。ただし、原子量は $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$ とする。

(ア) 性のアニリンの希塩酸水溶液を氷冷しながら、(イ) 水溶液を加えると、(a)塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する。塩化ベンゼンジアゾニウムは低温では安定に存在するが、温度が上がると分解しやすく、その水溶液を温めると、フェノールと(ウ)が生じる。トルエンを(エ)と反応させると、安息香酸カリウムが生成する。安息香酸カリウムの水溶液を(オ)性になると、安息香酸が生じる。



ヒドロキシ基をもつフェノールとカルボキシ基をもつ安息香酸は、ともに酸性の化合物であるが、“酸としての強さ”は異なる。これらの“酸としての強さ”の違いは、分子中にヒドロキシ基とカルボキシ基の両方をもつサリチル酸の反応でも確認できる。サリチル酸を、(カ)水溶液と完全に反応させると、サリチル酸の二ナトリウム塩となり、水によく溶ける。また、サリチル酸の二ナトリウム塩の水溶液に、二酸化炭素を十分に通じると化合物 A が生じる。このことは、(b)フェノール、安息香酸、炭酸の“酸としての強さ”を考えれば理解できる。



また、サリチル酸は、フェノールや安息香酸と似た反応を起こす。サリチル酸に無水酢酸と濃硫酸を加えて反応させると、化合物 B が生じる。サリチル酸にメタノールと濃硫酸を加えて加熱すると、化合物 C が生じる。

設問 1. 下線部(a)の塩化ベンゼンジアゾニウムは (52) である。

- ① $\left[\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3 \right]^+ \text{Cl}^-$

② $\left[\text{C}_6\text{H}_5\text{N}(\text{H})\text{NH}_3 \right]^+ \text{Cl}^-$

③ $\left[\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{NH}_2 \right]^+ \text{Cl}^-$

④ $\left[\text{C}_6\text{H}_5\text{N}\equiv\text{N} \right]^+ \text{Cl}^-$

設問 2. (ア) ～ (ウ) に入る語句と物質の組み合わせとして、最も適切なものは 53 である。

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	弱酸	NaNO_2	窒素 (N_2)
②	弱酸	NaNO_2	アンモニア (NH_3)
③	弱酸	NaNO_3	窒素 (N_2)
④	弱酸	NaNO_3	アンモニア (NH_3)
⑤	弱塩基	NaNO_2	窒素 (N_2)
⑥	弱塩基	NaNO_2	アンモニア (NH_3)
⑦	弱塩基	NaNO_3	窒素 (N_2)
⑧	弱塩基	NaNO_3	アンモニア (NH_3)

設問 3. (エ) ～ (カ) に入る物質と語句の組み合わせとして、最も適切なものは 54 である。

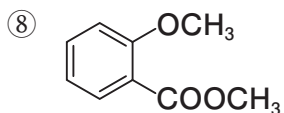
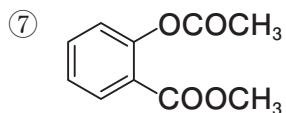
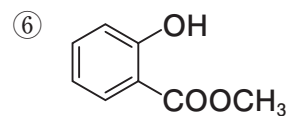
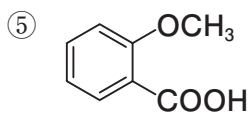
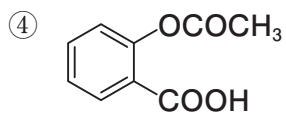
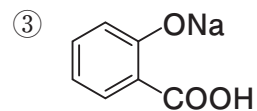
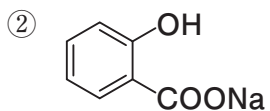
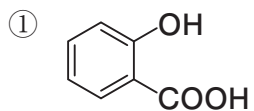
	(エ)	(オ)	(カ)
①	K_2SO_4	強酸	NaOH
②	K_2SO_4	強酸	NaHCO_3
③	K_2SO_4	強塩基	NaOH
④	K_2SO_4	強塩基	NaHCO_3
⑤	KMnO_4	強酸	NaOH
⑥	KMnO_4	強酸	NaHCO_3
⑦	KMnO_4	強塩基	NaOH
⑧	KMnO_4	強塩基	NaHCO_3

設問 4. 下線部(b)の“酸としての強さ”の順として、最も適切なものは 55 である。

- ① フェノール > 安息香酸 > 炭酸
- ② フェノール > 炭酸 > 安息香酸
- ③ 安息香酸 > フェノール > 炭酸
- ④ 安息香酸 > 炭酸 > フェノール
- ⑤ 炭酸 > フェノール > 安息香酸
- ⑥ 炭酸 > 安息香酸 > フェノール

設問 5. 46 g のトルエンが、すべて安息香酸に変換されたとすると、 56 57 g の安息香酸が得られる。

設問 6. 化合物 A は (58) , 化合物 B は (59) , 化合物 C は (60) である。



設問 7. 下記の記述のうち、アニリンにあてはまるのは (61) , フェノールにあてはまるのは (62) である。

- ① 酸化すると、アルデヒドを生じる。
- ② さらし粉水溶液によって呈色する。
- ③ クメン法で合成される。
- ④ フェーリング液に加えて加熱すると、赤色沈殿を生じる。
- ⑤ ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えると、ヨードホルム反応を示す。