

化 学

試験時間；10:00～11:00（60 分）

配 点；150 点

【注意事項】

1. 試験開始の合図があるまで、この「問題冊子」の中を見てはいけません。
2. 配付物 ； (1)「問題冊子」1～23ページ
(2)「解答用紙（マーク式）」1枚
3. 「問題冊子」中、表紙裏は下書き用紙です。計算用紙として使いなさい。
問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。
4. 問題文は、1～8ページ、10ページ、12～18ページ、20～23ページに印刷してあります。
問題冊子の9ページ、11ページ、19ページは下書き用紙です。
5. 試験開始と同時に配付物を確認し、脱落している場合は申し出なさい。
また、試験中に「問題冊子」の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び「解答用紙（マーク式）」の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 「解答用紙（マーク式）」の記入方法について
 - (1) 記入は必ず鉛筆を使用すること。
 - (2) 受験番号記入欄には各自の5ケタの受験番号（90001, 90002, 90003, …）を記入し、続いて5ケタの受験番号（90001, 90002, 90003, …）をマークしなさい。
 - (3) 氏名欄には各自の氏名を楷書で記入すること。
 - (4) 解答は指定された解答欄にマークしなさい。
 - (5) 欄外の「記入上の注意事項」をよく守って解答しなさい。
7. 試験終了の合図と同時に、裏返しの状態で下から「問題冊子」,
「解答用紙（マーク式）」1枚の順に並べなさい。
8. 試験終了後、「問題冊子」は持ち帰りなさい。

下書き用紙

問 1 ～ 問 2 4 の解答を，指定された解答欄にマークせよ。

必要があれば，次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0， C = 12， N = 14， O = 16， Na = 23， S = 32， Cl = 35.5，
Ca = 40， Cu = 64， Zn = 65

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

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

セルシウス温度目盛りのゼロ点 0 °C：273 K

標準状態：0 °C， $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

標準状態での理想気体のモル体積：22.4 L/mol

『余 白』

1

次の問い（問1～問5）に答えよ。

(28点)

問1 原子番号 27, 質量数 59 のコバルト原子が 2 価の陽イオンとなった Co^{2+} に関する次の記述のうち, 正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 **1**

- (a) この Co^{2+} の陽子数は 27 である。
(b) この Co^{2+} の電子数は 25 である。
(c) この Co^{2+} の中性子数は 32 である。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問2 ハロゲン化水素 HF, HCl, HBr, および HI に関する次の記述のうち, 正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。ただし, 常温・常圧を 25 °C, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。

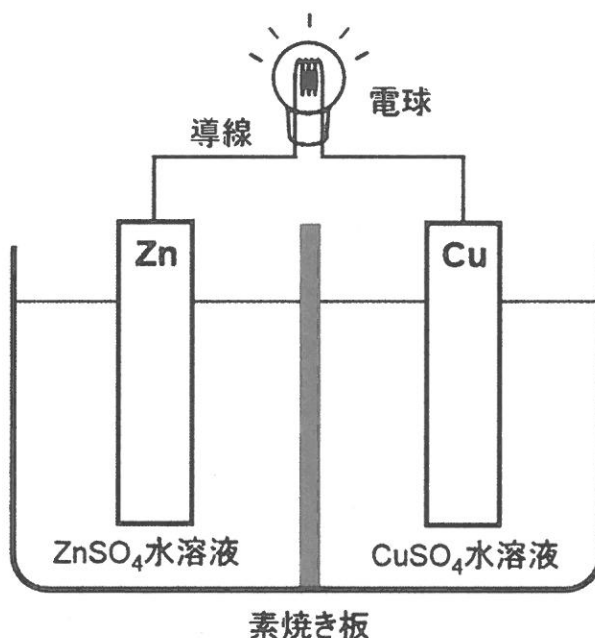
マーク式解答欄 **2**

- (a) いずれも, 常温・常圧で無色の気体である。
(b) いずれも, 水溶液は強い酸性を示す。
(c) 同じ圧力条件下で最も沸点が高いものは, HF である。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問3 下図のように、亜鉛 **Zn** 板を浸した硫酸亜鉛 **ZnSO₄** 水溶液と、銅 **Cu** 板を浸した硫酸銅(II) **CuSO₄** 水溶液を素焼き板で仕切り、電極となる亜鉛板と銅板とを導線でつないだところ、放電により $7.72 \times 10^2 \text{ C}$ の電気量が流れた。このとき正極で起こる変化として、最も近いものはどれか。ただし、放電に関与する反応以外の化学反応は起こらないものとする。

マーク式解答欄 **3**



- (1) 質量が 256 mg 減少した。
- (2) 質量が 256 mg 増加した。
- (3) 質量が 512 mg 減少した。
- (4) 質量が 512 mg 増加した。
- (5) 質量に変化はみられなかった。

『余 白』

問4 下記の水溶液 **A** と **B** の **25 °C** における **pH** として最も近い組み合わせはどれか。必要があれば、 $\log_{10}2.0 = 0.30$ を用いよ。

マーク式解答欄 **4**

A 2.0×10^{-3} mol/L 硫酸水溶液

(硫酸は完全に電離しているものとする)

B 2.0×10^{-2} mol/L 酢酸水溶液

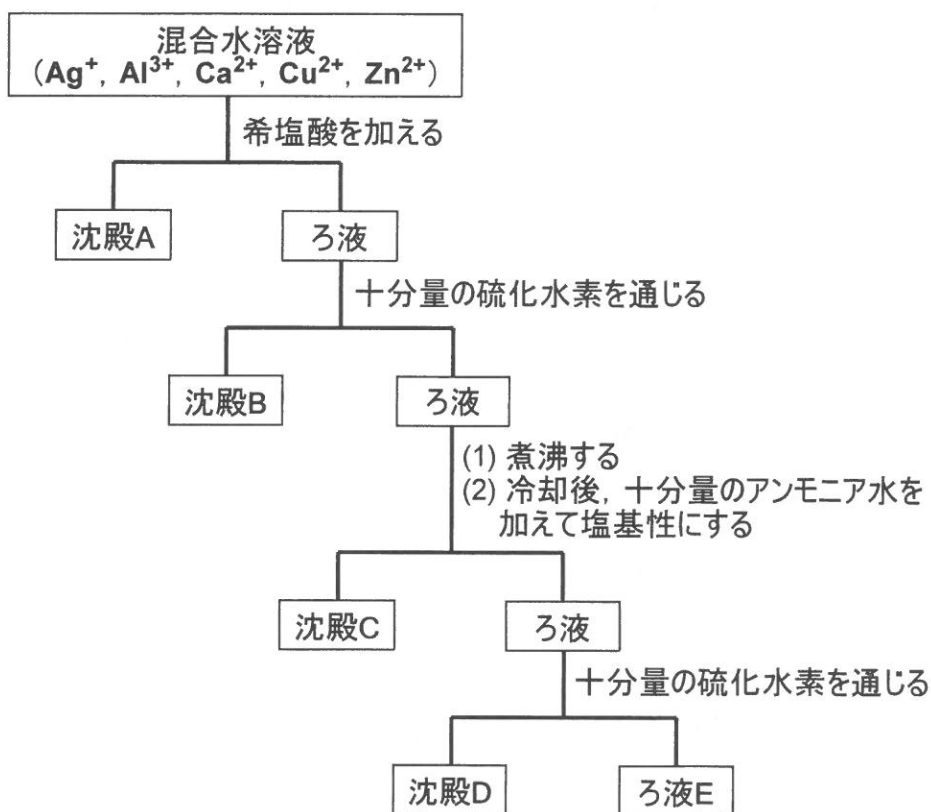
(酢酸の **25 °C** における電離度を 4.0×10^{-2} とする)

	A	B
(1)	2.4	3.1
(2)	2.4	3.7
(3)	2.4	4.3
(4)	2.7	3.1
(5)	2.7	3.7
(6)	2.7	4.3
(7)	3.3	3.1
(8)	3.3	3.7
(9)	3.3	4.3

『余 白』

問5 Ag^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} の5種類の金属イオンを含む混合水溶液からそれぞれのイオンを分離するために、下図の操作を行った。この分離に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 5



- (a) 沈殿 A～D は、いずれも白色である。
 (b) 沈殿 C は、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ である。
 (c) ろ液 E に含まれる金属イオンは、橙赤色の炎色反応を示す。

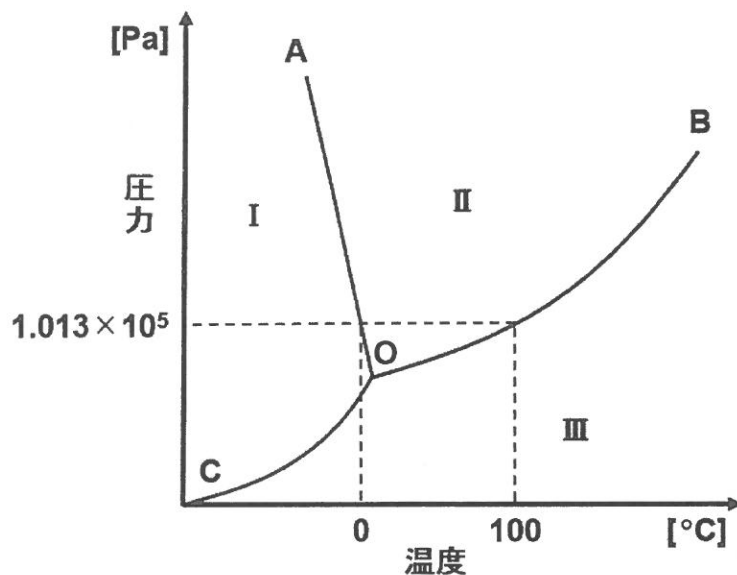
- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

2

次の記述を読んで、問い（問6～問10）に答えよ。（31点）

物質の三態（固体、液体、気体）が、温度と圧力によってどのように変化するかを表した図を状態図という。下図は水の状態図である。境界線 **OA** を越えて状態が **I** から **II** になる変化は[**ア**]，境界線 **OB** を越えて状態が **II** から **III** になる変化は[**イ**]，境界線 **OC** を越えて状態が **I** から **III** になる変化は[**ウ**]とよばれる。標準大気圧 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における水の凝固点は 0°C であり，沸点は 100°C である。

同じ圧力条件下では，希薄溶液の凝固点や沸点は，溶液中の溶質粒子の数によって決まる。



『余 白』

問6 [ア], [イ], [ウ] に入る語句の正しい組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 6

	[ア]	[イ]	[ウ]
(1)	融解	蒸発	昇華
(2)	融解	凝固	蒸発
(3)	融解	昇華	凝縮
(4)	凝固	蒸発	凝縮
(5)	凝固	凝縮	蒸発
(6)	凝固	昇華	融解
(7)	蒸発	凝固	昇華
(8)	蒸発	凝縮	昇華
(9)	蒸発	昇華	融解

問7 水の状態図に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 7

- (a) 3つの境界線の交点 **O** は、臨界点とよばれる。
- (b) 境界線 **OB** は、蒸気圧曲線とよばれる。
- (c) 標準大気圧から圧力を上げていくと、水の凝固点と沸点はともに上昇する。
- (d) 圧力一定の条件下で、状態が **I** から **II** になる変化は吸熱反応である。

- | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| (1) [(a),(b)] | (2) [(a),(c)] | (3) [(a),(d)] |
| (4) [(b),(c)] | (5) [(b),(d)] | (6) [(c),(d)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | (8) [(a),(b),(d)] | (9) [(a),(c),(d)] |
| (10) [(b),(c),(d)] | | |

問8 標準大気圧下，ある不揮発性の非電解質 **X** **3.00 g** を水 **250 g** に完全に溶かした水溶液の凝固点を測定したところ，**-0.111 °C** であった。この非電解質 **X** の分子量はいくらか。最も近い値を選べ。ただし，この水溶液は希薄であり，水のモル凝固点降下を **1.85 K·kg/mol** とする。

マーク式解答欄 **8**

- | | | |
|---------|---------|---------|
| (1) 125 | (2) 180 | (3) 200 |
| (4) 222 | (5) 333 | (6) 444 |

問9 ある質量の塩化ナトリウム **NaCl** を水 **1.50 kg** に完全に溶かした水溶液の沸点は，水の沸点と比べて **0.0208 °C** 高かった。この水溶液から **0.200 kg** の水が蒸発したとすると，残った水溶液の沸点が水の沸点と比べて高くなる温度 [°C] はいくらか。最も近い値を選べ。ただし，いずれも希薄溶液であり，**NaCl** は完全に電離しているものとする。また，いずれの沸点も標準大気圧下で測定しているものとする。

マーク式解答欄 **9**

- | | | |
|------------|------------|------------|
| (1) 0.0104 | (2) 0.0156 | (3) 0.0208 |
| (4) 0.0240 | (5) 0.0480 | (6) 0.0960 |

『余 白』

下書き用紙

問 10 ある不揮発性の非電解質 **Y** がベンゼンに完全に溶けた希薄溶液がある。標準大気圧下、この溶液の凝固点降下度は **0.085 K** であり、**27°C** における浸透圧は **$3.7 \times 10^4 \text{ Pa}$** であったとすると、ベンゼンのモル凝固点降下 [**K·kg/mol**] はいくらか。最も近い値を選べ。ただし、この溶液の密度は **0.90 g/cm³** であり、この非電解質 **Y** はベンゼンと反応しないものとする。また、この溶液は希薄であるため、溶液の質量は溶媒の質量と等しいものとする。

マーク式解答欄 **10**

(1) 0.74

(2) 1.3

(3) 1.9

(4) 2.6

(5) 5.1

(6) 5.4

(7) 7.4

(8) 13

『余 白』

下書き用紙

3

次の記述を読んで、問い(問11～問15)に答えよ。(30点)

硫酸酸性の過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液は、多くの有機化合物を酸化分解する。この酸化力を利用して、河川や湖沼などの有機化合物による汚れの指標となる化学的酸素要求量(COD)が測定される。

COD とは、試料水に酸化剤を加えて有機化合物を酸化分解したときに試料水 1 L 当たりに消費される酸化剤の量を、酸素 O_2 を酸化剤として用いた場合に消費される O_2 の質量 [mg] に換算したものである。

COD の測定では、過剰の KMnO_4 で試料水に含まれる有機化合物を酸化分解したのち、未反応の KMnO_4 を過剰のシュウ酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ で一旦すべて還元し、未反応の $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ を新たな KMnO_4 水溶液で滴定する手法が用いられる。

過マンガン酸イオン MnO_4^- 、シュウ酸イオン $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、および O_2 の酸化剤あるいは還元剤としてののはたらきを、それぞれ電子 e^- を用いたイオン反応式で表すと、式(1)～(3)となる。



式(1)と(2)より、酸性条件下、1 mol の KMnO_4 は $\boxed{\text{d}}$ mol の $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ と反応できることがわかる。また、式(1)と(3)より、 KMnO_4 の代わりに O_2 で有機化合物を酸化したとすると、1 mol の KMnO_4 は $\boxed{\text{e}}$ mol の O_2 に対応することがわかる。

『余 白』

以下の操作により、神戸薬科大学内にある池から採取した試料水の COD を測定した。

操作Ⅰ コニカルビーカーの中に試料水 50.0 mL をはかりとり、希硫酸を加えて酸性条件にしたのち、[ア] を用いて 2.0×10^{-3} mol/L の KMnO_4 水溶液 10.0 mL を加え、30 分間加熱した。

操作Ⅱ 操作Ⅰで得られた水溶液に、別の [ア] を用いて 5.0×10^{-3} mol/L の $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 水溶液 10.0 mL を加えた。

操作Ⅲ [イ] に 2.0×10^{-3} mol/L の KMnO_4 水溶液を入れて液面の目盛りを 0 [mL] に合わせたのち、操作Ⅱで得られた水溶液へ少しずつ滴下し、振り混ぜた。コニカルビーカー中の溶液が [ウ] に変化したときの目盛りを読むと、3.50 mL であった。

なお、池の水には有機化合物のみが含まれているものとし、操作Ⅰ～Ⅲでは、有機化合物の酸化、および KMnO_4 と $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ との反応がいずれも完全に進行し、これら以外の反応は起こらないものとする。

問 1 1 [b], [d], [e] に入る数値の正しい組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 1 1

	[b]	[d]	[e]
(1)	4	0.4	0.8
(2)	4	0.4	1.25
(3)	4	2.5	0.8
(4)	4	2.5	1.25
(5)	5	0.4	0.8
(6)	5	0.4	1.25
(7)	5	2.5	0.8
(8)	5	2.5	1.25

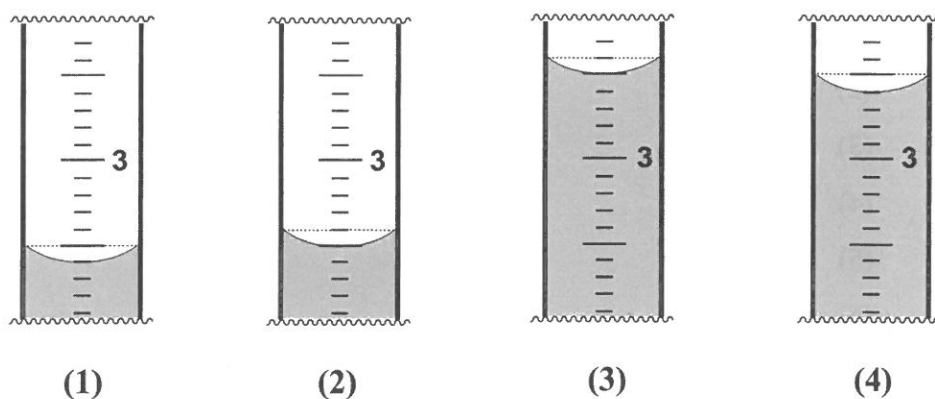
問 1 2 [ア], [イ], [ウ] に入る語句として最も適切な組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 1 2

	[ア]	[イ]	[ウ]
(1)	ホールピペット	メスシリンダー	薄い赤紫色
(2)	ホールピペット	メスシリンダー	無色
(3)	ホールピペット	ビュレット	薄い赤紫色
(4)	ホールピペット	ビュレット	無色
(5)	駒込ピペット	メスシリンダー	薄い赤紫色
(6)	駒込ピペット	メスシリンダー	無色
(7)	駒込ピペット	ビュレット	薄い赤紫色
(8)	駒込ピペット	ビュレット	無色

問 1 3 操作Ⅲの下線部の状態が示された適切な図はどれか。ただし、図は [イ] の一部を示し、短い目盛りは 0.1 mL ごとに、長い目盛りは 0.5 mL ごとに刻まれている。灰色で塗られた部分は KMnO_4 水溶液を、破線は KMnO_4 水溶液の曲面の上部を示す。

マーク式解答欄 1 3



問 1 4 操作Ⅰ～Ⅲの実験結果から、試料水 50.0 mL に含まれる有機化合物が KMnO_4 との反応で失った電子 e^- の物質質量 [mol] はいくらか。
最も近い値を選べ。

マーク式解答欄 1 4

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1) 1.4×10^{-6} | (2) 3.5×10^{-6} | (3) 6.5×10^{-6} |
| (4) 7.0×10^{-6} | (5) 1.4×10^{-5} | (6) 3.5×10^{-5} |
| (7) 6.5×10^{-5} | (8) 7.0×10^{-5} | |

問 1 5 操作Ⅰ～Ⅲの実験結果から求められる COD [mg/L] はいくらか。
最も近い値を選べ。

マーク式解答欄 1 5

- | | | |
|----------|----------|----------|
| (1) 0.28 | (2) 0.35 | (3) 0.56 |
| (4) 0.70 | (5) 2.8 | (6) 3.5 |
| (7) 5.6 | (8) 7.0 | |

『余 白』

4

次の記述を読んで、問い(問16～問19)に答えよ。(27点)

下記の化合物 **A**～**I** は、いずれも芳香族化合物である。

1. ベンゼンに鉄粉を加えて、塩素と反応させると、分子式 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ で表される化合物 **A** が生成した。
2. **A** に高温・高圧下で水酸化ナトリウム水溶液を作用させると、化合物 **B** が生成し、反応溶液を酸性にすると、化合物 **C** が遊離した。
3. **B** は、ベンゼンと濃硫酸とを加熱することで得られる化合物 **D** を水酸化ナトリウム水溶液で中和して化合物 **E** とし、これを固体の水酸化ナトリウムとともに高温で融解することによっても合成できる。
4. **B** に二酸化炭素を高温・高圧下で反応させると、化合物 **F** が生成し、反応溶液を酸性にすると、化合物 **G** が遊離した。
5. **G** に濃硫酸を触媒として試薬 **X** を反応させると、**G** よりも分子量が 14 増えた化合物 **H** が生成した。また、**G** に濃硫酸を触媒として試薬 **Y** を反応させると、**G** よりも分子量が 42 増えた化合物 **I** が生成した。

『余 白』

問 1 6 下線部に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 1 6

- (a) 鉄粉は触媒として用いられる。
 (b) 付加反応である。
 (c) 化合物 **A** とともに塩化水素が生成する。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問 1 7 試薬 **X** と **Y** の正しい組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 1 7

- | | X | Y |
|-----|----------|----------|
| (1) | メタノール | エタノール |
| (2) | メタノール | 無水酢酸 |
| (3) | メタノール | アセトン |
| (4) | エタノール | メタノール |
| (5) | エタノール | 無水酢酸 |
| (6) | エタノール | アセトン |
| (7) | アセトン | メタノール |
| (8) | アセトン | エタノール |
| (9) | アセトン | 無水酢酸 |

問 18 化合物 **B**～**G** に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 18

- (a) **B** の水溶液に十分量の二酸化炭素を通じると、**C** が遊離する。
- (b) **D** に十分量の炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると、**E** が生成する。
- (c) **G** に十分量の水酸化ナトリウム水溶液を加えると、最終的に **F** が生成する。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問 19 化合物 **G**, **H**, **I** に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 19

- (a) **G**, **H**, **I** のうち、塩化鉄(III)水溶液によって青～赤紫色を呈するものは、**G** と **I** のみである。
- (b) **H** と **I** は、いずれもエステル結合をもつ。
- (c) **I** は、解熱鎮痛剤として用いられる。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

下書き用紙

5

次の記述を読んで、問い(問20～問24)に答えよ。(34点)

1. 化合物 **A**, **B**, **C** は、いずれも分子量が **200** 以下で、互いに構造異性体である。元素分析の結果、これらの組成式は **C₃H₅O₂** であることがわかった。
2. **A** を完全に加水分解すると、アルコール **D** とカルボン酸 **E** が、**1:2** の物質量比で生成した。**D** は、合成樹脂の原料や自動車エンジン冷却用の不凍液として用いられる化合物である。
3. **E** は、グルコースのアルコール発酵によって得られるアルコール **F** を酸化することによっても生成した。
4. **B** を加水分解すると、アルコール **F**, カルボン酸 **G**, および不斉炭素原子をもつヒドロキシ酸 **H** が生成した。
5. **C** を加水分解すると、**F** および **G** とともに、**H** の構造異性体である酸性化合物 **I** が生成した。

『余 白』

問 20 化合物 **A** **73.0 mg** を完全燃焼させたときに生成する二酸化炭素と水の質量〔mg〕として、正しい組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 **20**

	二酸化炭素の質量〔mg〕	水の質量〔mg〕
(1)	132	22.5
(2)	132	45.0
(3)	132	90.0
(4)	198	22.5
(5)	198	45.0
(6)	198	90.0
(7)	264	22.5
(8)	264	45.0
(9)	264	90.0

『余 白』

問 2 1 化合物 **D** と **H** の名称として、正しい組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 2 1

	D	H
(1)	1-プロパノール	フタル酸
(2)	1-プロパノール	マレイン酸
(3)	1-プロパノール	乳酸
(4)	エチレングリコール	フタル酸
(5)	エチレングリコール	マレイン酸
(6)	エチレングリコール	乳酸
(7)	グリセリン	フタル酸
(8)	グリセリン	マレイン酸
(9)	グリセリン	乳酸

問 2 2 化合物 **D**、**E**、**F** に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 2 2

- (a) **D** は、水と互いによく混じり合う。
(b) **E** は、不飽和脂肪酸の 1 種である。
(c) グルコース 1 mol を完全にアルコール発酵させると、3 mol のアルコール **F** が生成する。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問 2 3 化合物 **F**～**I** に関する次の記述のうち、正しいもののみをすべて含む組み合わせはどれか。

マーク式解答欄 **2 3**

- (a) **F** は、ヨードホルム反応を示す。
 (b) **G** は、銀鏡反応を示す。
 (c) **H** と **I** は、いずれも炭酸水素ナトリウムと反応して二酸化炭素を発生する。

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| (1) [(a)] | (2) [(b)] | (3) [(c)] |
| (4) [(a),(b)] | (5) [(a),(c)] | (6) [(b),(c)] |
| (7) [(a),(b),(c)] | | |

問 2 4 化合物 **I** の構造式として、最も適切なものはどれか。

マーク式解答欄 **2 4**

- | | |
|--|--|
| (1) $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | (2) $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ |
| (3) $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | (4) $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ |
| (5) $\text{HO}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | (6) $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ |
| (7) $\text{HO}-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | (8) $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ |
| (9) $\text{HO}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | |

『以 上』