

(注意) 必要があれば、次の数値および原子量を用いなさい。

アボガドロ数： 6.02×10^{23}

原子量：Li = 6.94, Be = 9.01, Na = 23.0, Mg = 24.3, K = 39.1, Ca = 40.1, Mn = 54.9, Fe = 55.9,
Cl = 35.5, Br = 79.9, I = 127, Si = 28.1, C = 12.0, F = 19.0, B = 10.8, O = 16.0,
H = 1.01, N = 14.0, S = 32.1

[1] 以下に示す元素 X, Y, Z に関する記述を読み、設問に答えなさい。

(注：文中の [X], [Y], [Z] はそれぞれ元素 X, Y, Z の名称に対応している。また [] [] と連続している場合は、1つの化合物名を表す。)

【元素 X に関する記述】

[X] の単体は天然にほとんど存在しないため [あ] [X] のような酸化物を還元してつくる。得られた [X] の単体の結晶は、[い] と同じ構造をしており灰黒色で光沢がある。一方、[う] と呼ばれる (A) [あ] [X] の結晶 は、非常に硬く融点も 1550°C と高い。この結晶を高温で融解した後、すばやく冷やすと (B) [え] の [う] ガラス になる。① [あ] [X] と [お] [Z] を混ぜて融解すると、[あ] [か] とガラス状の固体 が生成する。生成した固体に [き] を加え加熱して得られる粘性の大きな液体に [く] を加えると、白色ゼリー状の物質が得られる。これを加熱乾燥したものが [け] であり、多孔質で吸湿性が大きいので乾燥剤や吸着剤として用いられる。

【元素 Y に関する記述】

[Y] の単体は、工業的には ② [こ] [Z] の水溶液を [さ] することにより生産 される。一方、実験室においては、酸化マンガン (IV) に濃 [く] を加え加熱、または [し] に濃 [く] を加えることによって得られる。[Y] の単体と [す] ガスを混合し光を当てると爆発的に反応が起こり、[こ] [す] が生じる。この物質の水溶液が [く] である。また、③ [せ] [Z] と [Y] の単体を反応させると、[そ] [Z] と [こ] [す] が生成する。

【元素 Z に関する記述】

[Z] の単体は常温で、激しく [き] と反応して [せ] [Z] と [す] を発生する。また、大気中の [た] とよく反応するため通常実験室においては灯油中で保管する。

[セ][Z]は放置すると徐々に大気中の[キ]分子を吸収して溶ける。この現象は[チ]と呼ばれる。また、^④[セ][Z]は大気中の[あ][か]と反応して、[お][Z]を生成する。[お][Z]の10水和物を空气中に放置すると白色粉末状の1水和物になる。この現象は[ツ]と呼ばれる。[Z]の単体は、工業的には^⑤[こ][Z]を高温で融解させ、[さ]することによって得られる。また、^⑥[Z]の単体の結晶の密度は常温・常圧下で[キ]よりも小さい。

設問1 [あ]～[ツ]に当てはまる語句を以下の選択肢から選び、番号で答えなさい。

(注：同じ選択肢を重複して使わないこと)

- | | | |
|------------|------------|--------------|
| 1. 水素 | 2. 酸素 | 3. 炭素 |
| 4. 窒素 | 5. 水酸化 | 6. 一酸化 |
| 7. 二酸化 | 8. ヨウ化 | 9. 窒化 |
| 10. 炭化 | 11. 塩化 | 12. 臭化 |
| 13. 次亜塩素酸 | 14. フッ化水素酸 | 15. 酢酸 |
| 16. 炭酸 | 17. 塩酸 | 18. 硫酸 |
| 19. 硝酸 | 20. 2クロム酸 | 21. 石英 |
| 22. 水 | 23. エタノール | 24. 縮合 |
| 25. 延性 | 26. 展性 | 27. 潮解 |
| 28. 風解 | 29. ダイヤモンド | 30. グラファイト |
| 31. ポリエチレン | 32. シリカゲル | 33. エアロゾル |
| 34. ドライアイス | 35. セルロース | 36. さらし粉 |
| 37. でんぷん | 38. たんぱく質 | 39. 電気泳動 |
| 40. 電気分解 | 41. 加水分解 | 42. アモルファス物質 |

設問2 元素X, Y, Zに相当する元素記号を答えなさい。

また、元素X, Y, Zの第1イオン化エネルギー、最外殻の電子数、電気陰性度のそれぞれについて正しい大小関係を以下の選択肢から選んで記号で答えなさい。

- (ア) $X > Y > Z$ (イ) $Y > X > Z$ (ウ) $Z > X > Y$
 (エ) $X > Z > Y$ (オ) $Y > Z > X$ (カ) $Z > Y > X$

設問 3 下線部 ①, ②, ③, ④, ⑤ の反応について化学反応式を書きなさい。

また、これらの反応の中で酸化還元反応に該当するものをすべて選び、対応する番号
(①～⑤)を解答欄に書きなさい。

設問 4 下線部 ⑤ において [さ] の操作を行う前段階の処理が下線部 ② と異なっているのは
なぜか。60字以内で簡潔に説明しなさい。

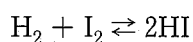
設問 5 下線部の固体 (A), (B) の原子配列における違いを60字以内で簡潔に述べなさい。

設問 6 以下の設問に答えなさい。

- 1) 単一の元素からなる結晶を考える。今、体心立方格子を仮定した時の結晶格子の一辺
の長さを a_1 、密度を d_1 、面心立方格子を仮定した時の結晶格子の一辺の長さを a_2 、
密度を d_2 とする。また、結晶を構成する原子の原子半径を r とする。 a_1 , a_2 をそれぞ
れ r で表しなさい。また、構成原子の種類にかかわらず一定値をとる d_1/d_2 の値を答
えなさい (注: 無理数は近似値に置き換えずにそのままにしておくこと)。
- 2) [Z] の単体の結晶中における原子半径が 0.186 nm であるとして、 d_1 および d_2 の
値を求めなさい (途中の計算式も書きなさい)。また、本文中の下線部 ⑥ を参考にし
て実際に存在している [Z] の結晶の格子構造を決定しなさい (ただし、 $\sqrt{2} = 1.41$,
 $\sqrt{3} = 1.73$ とする)。

[2] 次の文章を読み、設問に答えなさい。

水素とヨウ素の混合物を加熱するとヨウ化水素が生成されるが、ヨウ化水素を加熱すると水素と
ヨウ素が生成する。このように、以下の化学反応式で示されるようなどちらの方向にも進む反応を
(A) と呼ぶ。



水素とヨウ素の混合物をある容器内に入れ一定温度にて長時間保管すると、この両反応の速度が等
しくなり、見かけ上反応が停止した状態となり、この状態を (B) と呼ぶ。(B) にお
けるそれぞれの気体のモル濃度 $[\text{H}_2]$, $[\text{I}_2]$, $[\text{HI}]$ の関係を示す定数 K を (C) と呼び、
(ア) と表される。

アンモニアは、鉄を主成分とした (D) を用いて窒素と水素から工業的に合成され、この方法を (E) と呼ぶ。この反応も ① という化学反応式で表される (A) であり、その (C) は (B) におけるそれぞれの気体のモル濃度により (イ) と表される。したがって、すべての窒素と水素をアンモニアに変換することはできない。例えばある体積一定の反応容器内において、窒素が 11.0 [mol/l] 、水素が 30.0 [mol/l] という初期状態から反応を進行させ、(B) において窒素濃度が 2.0 [mol/l] となったとするならば、その時の水素のモル濃度は (v) , アンモニアのモル濃度は (w) となる。この場合、(C) は (x) と計算される。

酢酸は、水溶液中においてその一部が電離して、 ② というイオン反応式で表される (B) となり、このような (B) を (F) と呼ぶ。また、この場合の (C) である K_a を (G) と呼び、この反応に関連する化合物やイオンのモル濃度により (ウ) と表される。 25°C において pH が 2、すなわち (H) が $1.00 \times 10^{-12} \text{ [mol/l]}$ である酢酸水溶液を作成するには、酢酸のモル濃度を (y) とすれば良い。これは、 25°C における酢酸の K_a は $2.75 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$ であり、また水溶液中で電離をしている割合である (I) は 1 に比べて極めて低いためである。酢酸水溶液を水で希釈すると pH は (J) が、酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液を水で希釈すると pH は (K) 。これは、酢酸の (F) は酢酸ナトリウムが加えられても成り立つためであり、このような溶液を (L) と呼ぶ。酢酸のモル濃度が $1.00 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$ で pH が 5 の (L) を作製するには、酢酸ナトリウムのモル濃度を (z) とすれば良い。

設問 1 (A) から (L) にあてはまる語句を書きなさい。

設問 2 ① および ② にあてはまる化学反応式あるいはイオン反応式を書きなさい。

設問 3 (ア) から (ウ) の式を解答欄に完成させなさい。

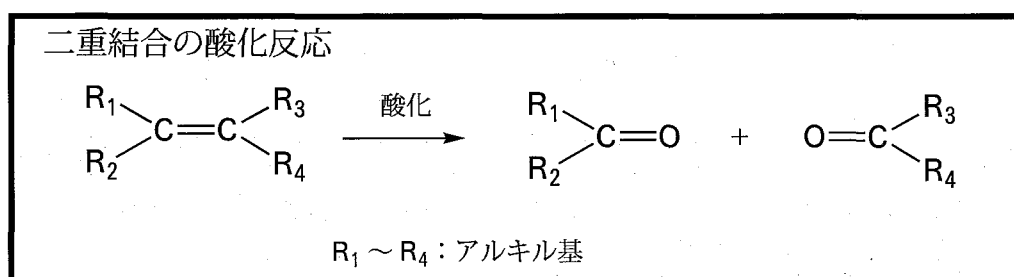
設問 4 (v) から (z) にあてはまる数字を書きなさい (単位がある場合は単位も書きなさい)。また、(y) および (z) については、その解答に至るまでの式および計算を、所定の欄内に書きなさい。

[3] 次の文章を読み、設問に答えなさい。

有機化合物の成分元素を調べる方法として、炭素および水素は試料を燃焼させて (a) と (b) として検出する。炭素、水素、および酸素のみからなる化合物については、この方法により (c) を決めることが出来る。さらに、分子量を知ることが出来れば分子中に含まれるすべての元素の原子数を表わす分子式を決定することが出来る。また、アミノ酸やタンパク質のように (d) を含有する有機化合物の場合は水酸化ナトリウムとの混合物を加熱して得られる (e) を検出する。硫黄の場合は、固体の水酸化ナトリウムと加熱して、(f) として検出する。このようにして有機化合物の分子式を求めることが出来る。

$C_{15}H_{16}O_6$ の分子式をもつ環式有機化合物 A がある。化合物 A の構造を決定するために以下の実験を行った。

- 化合物 A を水酸化ナトリウム水溶液中で加温した後、酸で中和したところ、化合物 B (分子式： $C_7H_6O_3$)、化合物 C (分子式： $C_3H_8O_2$)、および化合物 D (分子式： $C_5H_8O_4$) が得られた。得られた化合物は、すべて光学的に不活性であった。
- 化合物 B および D について濃硫酸を触媒としてメタノールと反応させたところ、化合物 B からは化合物 E (分子式： $C_8H_8O_3$)、化合物 D からは化合物 F (分子式： $C_7H_{12}O_4$) がそれぞれ得られた。
- 化合物 C についてある反応を行うと、カルボキシル基 2 個を持つ化合物 G (分子式： $C_3H_4O_4$) が得られた。
- 化合物 E を還元すると、*p*-クレゾールが得られた。
- 化合物 F から誘導されたアルコール化合物を脱水すると二重結合を有する化合物 H が生成した。この化合物の二重結合に対して下図に示した酸化反応を行うと、2 分子のホルムアルデヒドとともに、化合物 C を酸化しても合成できる化合物 I が得られた。



- 化合物 A に類似した環式有機化合物 J (分子式： $C_{15}H_{16}O_6$) を同様に水酸化ナトリウム水溶液中で加温した後、酸で中和したところ、化合物 B (分子式： $C_7H_6O_3$) および化合物 D (分子式： $C_5H_8O_4$) とともに光学活性化合物 K (分子式： $C_3H_8O_2$) が得られた。

設問 1 (a), (b), (e), (f) について適切な化学式, また (c), (d) について適切な語句を答えなさい。

設問 2 化合物 E, F, G, H, I の構造式を書きなさい。

設問 3 環式有機化合物 A の中で一番大きい環の大きさを答えなさい。

例：シクロプロパン＝3 員環, シクロヘキサン＝6 員環。

設問 4 化合物 K の構造式を書きなさい。

設問 5 化合物 J として可能な構造は全部でいくつあるか, 答えなさい。

注：解答欄に記入する構造式の中で、不斉炭素があれば「*」の印を付けなさい。