



国語，数学，理科(化学，生物)問題

はじめに，これを読みなさい。

1. これは，国語，数学，化学，生物の4科目の問題を綴じた冊子である。必要な科目を選択して解答しなさい。食料環境政策学科受験者は「国語」が必須である。
2. 問題は，数学，化学，生物については表面から75ページ，国語については裏面から14ページある。ただし，ページ番号のない白紙はページ数に含まない。
3. 解答用紙に印刷されている受験番号が正しいかどうか，受験票と照合して確認すること。
4. 監督者の指示にしたがい，解答用紙の氏名欄に氏名を記入すること。
5. 監督者の指示にしたがい，解答用紙にある「解答科目マーク欄」に1つマークし，「解答科目名」記入欄に解答する科目名を記入しなさい。なお，マークしていない場合，または複数の科目にマークした場合は0点となる。
6. 解答は，すべて解答用紙の所定欄にマークするか，または記入すること。所定欄以外のところには何も記入しないこと。解答番号は各科目の最初に示してある。
7. 問題に指定された数より多くマークしないこと。
8. 解答は，必ず鉛筆またはシャープペンシル(いずれもHB・黒)で記入のこと。
9. 訂正する場合は，消しゴムできれいに消し，消しくずを残さないこと。
10. 解答用紙は，絶対に汚したり折り曲げたりしないこと。
11. 解答用紙はすべて回収する。持ち帰らず，必ず提出すること。
12. この問題冊子は必ず持ち帰ること。
13. マーク記入例

良い例	悪い例
	

化 学

(解答番号 1～28, 101～105)

注意：1. 原子量が必要な場合は、次の数値を用いなさい。

H = 1.0 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0 Na = 23.0 Mg = 24.0

Al = 27.0 P = 31.0 S = 32.0 Cl = 35.5 K = 39.0 Ca = 40.0

Ar = 40.0 Fe = 55.9 Cu = 63.5 I = 127.0 Ba = 137.0 Pt = 195.0

2. 気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 [\text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})]$

または $R = 0.0821 [\text{L} \cdot \text{atm} / (\text{K} \cdot \text{mol})]$

3. アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23} [\text{mol}^{-1}]$

4. 絶対温度 $T (\text{K}) = 273 + t (^\circ\text{C})$

5. $1 \text{ mol} = 1000 \text{ mmol}$

[I] 以下の問いに答え、 ～ にあてはまる答として最もふさわしいものを各解答群の中から1つ選び、記号をマークしなさい。また、解答欄 には化学反応式を書きなさい。

1 物質は(ア)と(イ)に分類できる。自然界の物質の多くは、何種類かの物質がさまざまな割合で混じり合った(ア)であり、身近な代表例としては空気がある。時と場所によって含有量が異なる水蒸気を除いて、空気の成分の多い方から3つあげると、順に(a), (b), (c)である。これらは非常に低い温度下で液体空気を(ウ)することによってそれぞれ(イ)として得られる。(ウ)は成分物質のわずかな(エ)の差を利用して分ける方法であるが、これら3物質の沸点は、低い方から順に である。ここで得られた(イ)はすべて(オ)である。

液体窒素は冷却剤として利用されているが、これを使用してアイスクリームをつくと非常になめらかでクリーミーな軽い食感のものができるといわれて

いる。この液体窒素を乾燥した空気の中で飲料用の缶などのような非常に薄いアルミニウムでできた容器に満たすと、外側に滴(しずく)が付く。この滴の大部分は空気から(カ)されてできた液体(キ)で、ロケット燃料にも使われるものである。

(1) 上の文章中の(ア)~(エ)にあてはまる語句の適切な組み合わせは

である。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
A	純物質	混合物	蒸留	融点
B	混合物	純物質	蒸留	沸点
C	純物質	混合物	分留	融点
D	混合物	純物質	分留	沸点
E	純物質	混合物	昇華	融点
F	混合物	純物質	昇華	沸点

(2) 上の文章中の(a), (b), (c)にあてはまる物質名の適切な組み合わせは である。

	(a)	(b)	(c)
A	酸素	窒素	アルゴン
B	酸素	アルゴン	窒素
C	アルゴン	酸素	窒素
D	アルゴン	窒素	酸素
E	窒素	酸素	アルゴン
F	窒素	アルゴン	酸素

(3) 上の文章中の(オ)～(キ)にあてはまる語句の適切な組み合わせは

3 である。

3

	(オ)	(カ)	(キ)
A	単体	昇華	アルゴン
B	単体	凝縮	酸素
C	単体	凝固	窒素
D	化合物	昇華	窒素
E	化合物	凝縮	酸素
F	化合物	凝固	アルゴン

4

- | | |
|--------------|--------------|
| A 窒素<アルゴン<酸素 | B 窒素<酸素<アルゴン |
| C アルゴン<窒素<酸素 | D アルゴン<酸素<窒素 |
| E 酸素<アルゴン<窒素 | F 酸素<窒素<アルゴン |

2 以下の a から e の中ですべてが同素体であるものの組み合わせは 5

である。

- | | |
|-------------------|----------------|
| a 黒鉛 ダイヤモンド フラーレン | b 赤リン 黄リン リン灰石 |
| c 斜方硫黄 単斜硫黄 ゴム状硫黄 | d 酸素 オゾン 空気 |
| e 氷 水 水蒸気 | |

5

A	a	E	e	I	a, e	M	a, b, c
B	b	F	a, b	J	b, c	N	a, c, d
C	c	G	a, c	K	c, d	O	a, c, e
D	d	H	a, d	L	c, e		

3 一般的には、物質の密度の大きさは固体>液体>気体であるが、液体である水に固体である氷が浮いているのを身近に目にする。これはまれな現象であるが、そのおかげで湖の表面だけに氷が張って断熱の役目を果たし、湖全体が凍結しなくなり、水に住む生物は死なずにすんでいるといえる。ところが、地球上にはわずかながら水に沈む氷が存在する可能性がある。それは、重水の氷である。重水は通常の水素の約2倍の質量をもつ重水素(質量数2の水素)2原子と通常酸素原子(質量数16)からなる“水”である。実際に重水の氷をつくって実験するためには、重水素の同位体存在比が約0.01%であることから重水素を含む重水を濃縮する必要がある。濃縮により重水の割合が %以上となった氷は通常の水に沈むと考えられる。ただし、重水素の相対質量は2.0とし、重水の氷と通常の水の氷の結晶構造は変わらず、通常の水の氷の0℃での密度を0.92 g/cm³、浮かべる水の密度は1.00 g/cm³として計算しなさい。

A 10

B 30

C 50

D 70

E 90

4 工業的規模の金属火災のニュースが時折流れる。金属火災の消火活動には注意が必要である。金属マグネシウムの火災の場合、汎用の炭酸ガス消火器を使用すると大変なことになる。マグネシウムは二酸化炭素とよく反応して燃焼が継続し、二酸化炭素から黒い粒が生成する。この反応の化学反応式は、

である。

5 次の文章の(ア)～(ウ)に当てはまる語句の適切な組み合わせは 7 である。

(ア)は線状の高分子を融解して細孔から急伸しながら紡糸することにより得られる。(ア)の1つのナイロンは(イ)による(ア)の商品名である。代表的なものはナイロン66で、ヘキサメチレンジアミンとアジピン酸の(ウ)で合成される。

7

	(ア)	(イ)	(ウ)
A	再生繊維	ポリエステル	縮合重合
B	再生繊維	ポリアミド	縮合重合
C	再生繊維	レーヨン	開環重合
D	再生繊維	ポリエステル	開環重合
E	合成繊維	ポリエステル	開環重合
F	合成繊維	ポリアミド	開環重合
G	合成繊維	レーヨン	縮合重合
H	合成繊維	ポリアミド	縮合重合

化学 問題は次ページに続いています。

〔Ⅱ〕 以下の問いに答え、 ～ にあてはまる答として最もふさわしいものを各解答群の中から1つ選び、記号をマークしなさい。

解答欄 には化学反応式を書きなさい。

エタノールはエチレンから化学合成することもできるが、飲用・工業用・燃料に関わらず微生物を利用したアルコール発酵によりその多くが生産されている。植物に含まれる糖を原料として作られたエタノールは、正味の二酸化炭素の発生がないことなどから、再生可能エネルギーであるとされている。サトウキビやトウモロコシなどの食用となる生物資源(バイオマス)からの燃料としてのエタノールの生産技術は実用化されている。一方で、非食用バイオマスの利用は現在の重要な課題である。とくに、植物細胞壁を構成するヘミセルロースに含まれるキシロースは、含有量の多い糖のひとつである。キシロースを効率よく利用してアルコール発酵を行う微生物が見つかっていないため、キシロースの細胞内への取り込み効率や細胞内でアルコールに変換する効率を人工的に改良した酵母の作出も試みられている。

- (1) エタノールが酸素と反応して完全燃焼するときの熱化学方程式(式1)のうち、燃焼熱以外の下線を引いた部分を完成させ、解答欄 に記入しなさい。

$$\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} + \text{ kJ} \quad (\text{式1})$$

- (2) それぞれの物質の生成熱が分かれば、熱化学方程式を完成させることができる。エタノール、二酸化炭素、水の生成熱をそれぞれ 276 kJ/mol, 394 kJ/mol, 286 kJ/mol とすると、(式1)の反応熱(燃焼熱)は kJ と計算される。

A 346 B 404 C 1084 D 1370 E 1764 F 1922

- (3) 1.15 mLのエタノールを完全燃焼させるには、最低でも Lの標準状態の酸素が必要である。エタノールの密度を 0.80 g/cm^3 として計算しなさい。

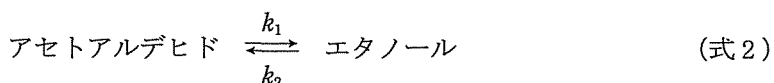
- A 1.0 B 1.1 C 1.2 D 1.3 E 1.4 F 1.5
 G 1.6 H 1.7 I 1.8 J 1.9 K 2.0

- (4) 酵母におけるアルコール発酵の最終反応では、アセトアルデヒド (CH_3CHO) 1分子がアルコール脱水素酵素により(ア)されてエタノール 1分子に変換される。このとき、アセトアルデヒドで酸素と共有結合を形成している炭素原子の酸化数は(イ)から(ウ)に変化する。

文章中の(ア)、(イ)、(ウ)にあてはまる適切な語句および数値の組み合わせは である。

	(ア)	(イ)	(ウ)		(ア)	(イ)	(ウ)
A	酸化	-1	0	G	還元	-1	-2
B	酸化	-1	+1	H	還元	0	-2
C	酸化	-1	+2	I	還元	0	-1
D	酸化	0	+1	J	還元	+1	-2
E	酸化	0	+2	K	還元	+1	-1
F	酸化	+1	+2	L	還元	+1	0

(5) 細胞内では物質が変換されるときに酵素が触媒としてはたらき、化学反応の速度を上げるとともに、可逆反応においてはその平衡にも影響する。酵母では(式2)のように、アセトアルデヒドから生成されたエタノールが同じ酵素によって可逆的にアセトアルデヒドに変換される。(式2)の反応に触媒としてはたらくある種のアセトアルデヒド脱水素酵素は、この反応を右方向へと進めやすく、この酵素による反応の反応速度定数 k_1 と k_2 は10倍異なる。試験管内でこの酵素をエタノールとアセトアルデヒドと混合し、平衡状態に達したときのエタノールの濃度は、アセトアルデヒドの濃度の(エ)倍である。なお、実際の反応には補酵素と呼ばれる物質が必要であるが、補酵素は十分な量が存在しており反応速度には影響しないものとする。



ここで、反応に関わる物質の濃度が変化すると、平衡がいずれかの方向に移動する。上で述べた平衡状態の溶液中に外からエタノールを加え、エタノールの濃度を10倍にした。その後、あらたな平衡状態に達したときのアセトアルデヒドの濃度は、エタノールを加える前の約(オ)倍になる。

文章中の(エ)、(オ)にあてはまる適切な数値の組み合わせは

11 である。

11

	(エ)	(オ)		(エ)	(オ)		(エ)	(オ)
A	3	3	E	5	3	I	10	3
B	3	5	F	5	5	J	10	5
C	3	9	G	5	9	K	10	9
D	3	10	H	5	10	L	10	10

(6) アセトアルデヒドは、糖が細胞内で複数の反応を経て生成するピルビン酸という物質から生産される。また、アセトアルデヒドはさらに酢酸に変換され、エネルギー生産のために使われる。ピルビン酸($\text{CH}_3\text{COCO}_2\text{H}$)と酢酸($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)は弱酸であり、それぞれの電離定数を 3.0×10^{-3} と 3.0×10^{-5} とすると、 0.09 mol/L の水溶液におけるピルビン酸の電離度は酢酸の約 (カ) 倍である。

また、 0.01 mol/L の酢酸水溶液の水素イオン濃度は、 0.09 mol/L の酢酸水溶液の約 (キ) 倍である。

文章中の (カ), (キ) にあてはまる適切な数値の組み合わせは

12

 である。

12

	(カ)	(キ)		(カ)	(キ)		(カ)	(キ)
A	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{3}$	E	$\frac{1}{100}$	1	I	$\frac{1}{100}$	3
B	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{3}$	F	$\frac{1}{10}$	1	J	$\frac{1}{10}$	3
C	10	$\frac{1}{3}$	G	10	1	K	10	3
D	100	$\frac{1}{3}$	H	100	1	L	100	3

(7) 酢酸は食用として食酢に含まれる一方、写真フィルムの現像を停止する際に、現像液に含まれる塩基を中和するために用いられることもある。25 mLの水酸化ナトリウム(NaOH)水溶液を過不足なく中和するのに、0.09 mol/Lの酢酸水溶液が10 mL必要だった。このとき、水酸化ナトリウム水溶液の濃度は(ク) mol/Lである。

また、中和反応により正塩である酢酸ナトリウムが生じるが、その水溶液は(ケ)を示す。

文章中の(ク)、(ケ)にあてはまる適切な数値および語句の組み合わせは

13

 である。

13

	(ク)	(ケ)		(ク)	(ケ)
A	0.018	酸性	G	0.072	酸性
B	0.018	中性	H	0.072	中性
C	0.018	塩基性	I	0.072	塩基性
D	0.036	酸性	J	0.113	酸性
E	0.036	中性	K	0.113	中性
F	0.036	塩基性	L	0.113	塩基性

化学 問題は次ページに続いています。

〔Ⅲ〕 以下の問いに答え、14 ～ 18 にあてはまる答として最もふさわしいものを各解答群の中から1つ選び、記号をマークしなさい。

解答欄 103 には化学式を書きなさい。

1 化学部に所属するA君とB君は、硫酸銅を含む水溶液中の硫酸イオンの定量実験を行った。硫酸銅(Ⅱ)水溶液に塩化バリウム水溶液を加えると難溶性の(a)が生じるので、この重量を正確に測定することにより、硫酸イオンを定量した。

まず、試料の硫酸銅(Ⅱ)水溶液 10.0 mL をホールピペットで取り、300 mL ビーカーに移し、純水を加えて約 100 mL とした。そこに、温めておいた 10 % 塩化バリウム水溶液を添加し、難溶性の(a)沈殿が生じなくなるまで添加した。ろ紙を使って沈殿物を回収し、ろ紙上に塩化バリウムが残らないように十分に洗浄した。完全に洗浄できたかどうかは硝酸銀を用いて確認した。これは、ろ紙を洗浄したろ液に(b)が含まれていれば、硝酸銀水溶液を加えることにより白色沈殿を生じることから確認できる。十分に洗浄した沈殿とろ紙を磁製の容器(ろつぼ)に入れ、ガスバーナーで加熱して有機成分を完全に分解することにより、無機成分が灰として得られた。この重量を正確に量り取ったところ 0.350 g であった。

この硫酸銅(Ⅱ)水溶液には排水基準を超える銅イオンが含まれており、そのまま放流することはできない。そこで、銅イオンを難溶性化合物に導いて除くことにした。A君は水酸化ナトリウム水溶液を添加することにより生じた青白色の(c)を沈殿させて除いた。B君はアンモニア水を用いてアルカリ性にするにより(c)を生成しようと考えたが、誤って過剰量のアンモニア水を加えたために溶液は深青色になり、沈殿は再び溶解してしまった。この場合、溶液を加熱してアンモニアを蒸発させて除去した後、水酸化ナトリウム水溶液を加えて再び沈殿を生成させる必要がある。

- (1) 上記文中(a), (b), (c)に入る化学式の正しい組み合わせは である。

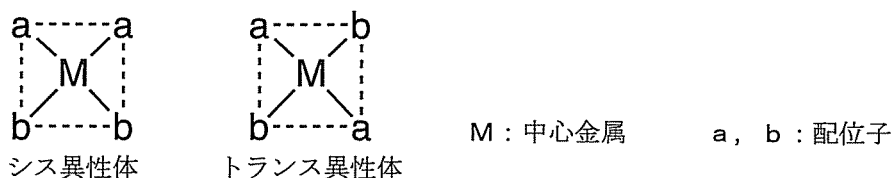
	(a)	(b)	(c)		(a)	(b)	(c)
A	CuCl_2	SO_4^{2-}	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	D	BaSO_4	Cl^-	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
B	CuCl_2	Cl^-	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	E	BaSO_4	SO_4^{2-}	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
C	CuCl_2	SO_4^{2-}	CuO	F	BaSO_4	Cl^-	CuO

- (2) 下線部の反応で生成したイオンの化学式を解答欄 に書きなさい。

- (3) ホールピペットで取った硫酸銅(II)水溶液に含まれていた硫酸銅の濃度は、 mol/Lである。ただし、ろ紙に由来する灰分(無機成分)の重量は無視できるものとする。

- A 1.5 B 0.15 C 0.015 D 0.0015
 E 2.6 F 0.26 G 0.026

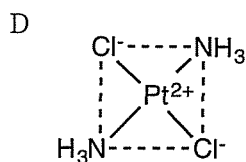
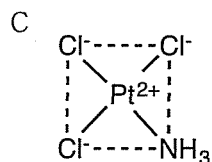
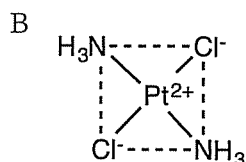
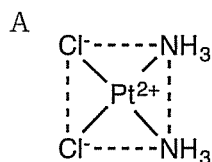
2 同じ分子式を持ち原子の結合が同じであるが、中心原子に対して原子や置換基の空間的配置が異なる場合、これらの化合物を立体異性体という。有機化合物だけではなく、錯イオンにも立体異性体が存在する。例えば、平面正方形の錯イオンの場合、下図のようなシス・トランス異性体が存在する。なお、以下の問題では金属の陽イオンと陰イオンの配位子が、ちょうど電荷を打ち消し合っただけで中性になった錯体も含めて考えることにする。



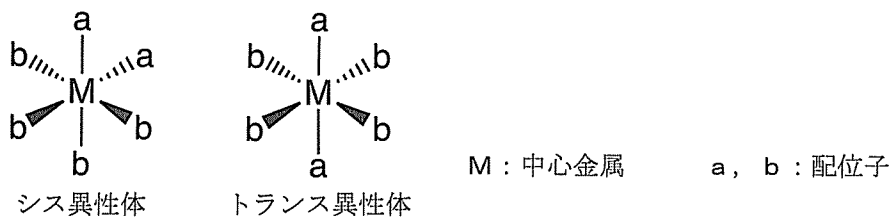
例えば、シスプラチンと呼ばれる抗がん剤を考えると、白金 Pt(II) 原子に配位子を配置する場合、複数の空間配置が可能である。シスプラチンは Cl^- と NH_3 の 2 種類の配位子によるシス異性体の構造を持っており、がん細胞の DNA と相互作用することにより DNA 複製を阻害し、がん細胞の増殖を抑制する。

(1) シスプラチンの構造として適切なものは 16 である。

16

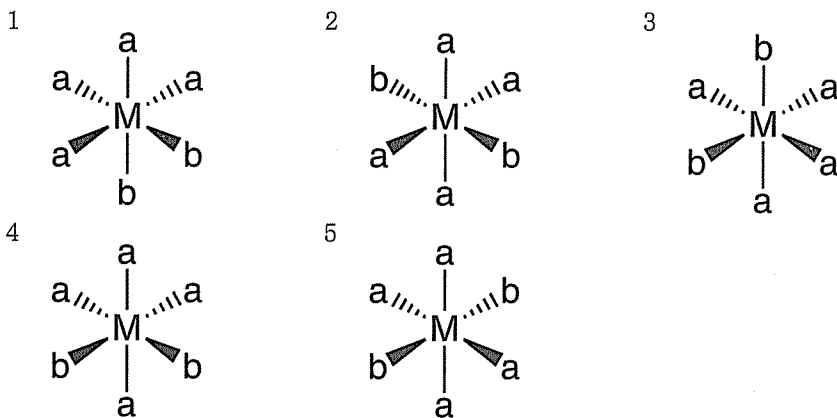


同様に、正八面体六配位の化合物で2種類の配位子 a, b がそれぞれ4個と2個存在する場合、下図のようなシス・トランス異性体が存在する。ここでは、紙面手前側への結合を実線のくさびで、紙面背後への結合を点線のくさびで表している。



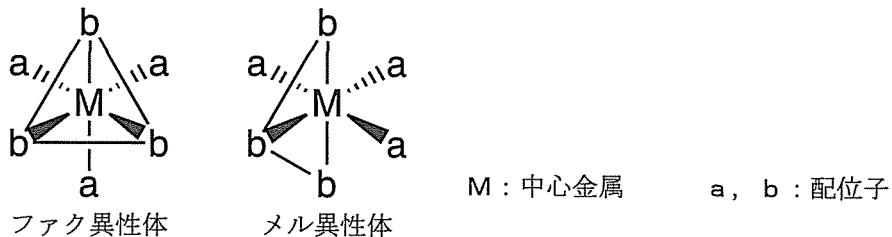
(2) 以下の化合物をシス異性体、トランス異性体に分類した組み合わせとして正しいものは 17 である。

17



	シス異性体	トランス異性体		シス異性体	トランス異性体
A	1, 2, 3	4, 5	G	1, 2, 5	3, 4
B	4, 5	1, 2, 3	H	3, 4	1, 2, 5
C	3, 4, 5	1, 2	I	1, 3, 5	2, 4
D	1, 2	3, 4, 5	J	2, 4	1, 3, 5
E	2, 3, 4	1, 5	K	1, 3, 4	2, 5
F	1, 5	2, 3, 4	L	2, 5	1, 3, 4

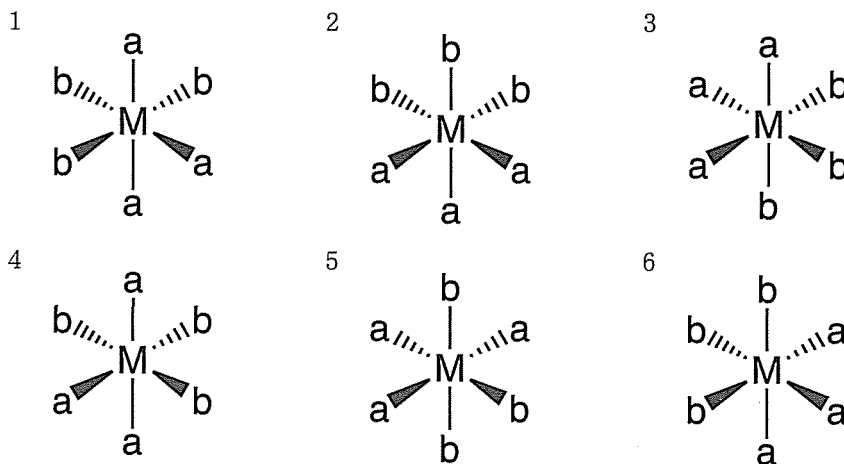
(3) 正八面体六配位の化合物で、2種類の配位子が a, b 各 3 個ある場合、同一の配位子が形成する面に中心金属原子 M が含まれないファク異性体 (fac ; 面の, facial) と、同一の配位子が形成する面上に中心金属原子 M が含まれるメル異性体 (mer ; 子午線の, meridional) が存在する。



以下の構造をファク異性体とメル異性体に正しく分類した組み合わせは

18 である。

18



	ファク異性体	メル異性体		ファク異性体	メル異性体
A	1, 2, 4	3, 5, 6	F	2, 3, 6	1, 4, 5
B	1, 3, 4	2, 5, 6	G	2, 4, 6	1, 3, 5
C	1, 3, 5	2, 4, 6	H	2, 5, 6	1, 3, 4
D	1, 3, 6	2, 4, 5	I	3, 4, 6	1, 2, 5
E	1, 4, 5	2, 3, 6	J	3, 5, 6	1, 2, 4

化学 問題は次ページに続いています。

〔Ⅳ〕 以下の問いに答え、 ～ にあてはまる答として最もふさわしいものを各解答群の中から1つ選び、記号をマークしなさい。

解答欄 には化学構造式を書きなさい。

食品添加物は、保存料、甘味料、着色料、香料など、食品の製造過程または食品の加工・保存の目的で使用される。これらの化合物は食品衛生法により、「食品の製造の過程において、又は食品の加工若しくは保存の目的で、食品に添加、混和、湿潤、その他の方法によって使用する物」と定義されており、人の健康を損なうおそれのない場合に限って、成分の規格や、使用の基準が定められ、それらの使用が認められている。

食品添加物は、指定添加物(食品衛生法第10条に基づき、厚生労働大臣が使用してよいと定めたもの)、既存添加物(わが国において広く使用されており、長い食経験があるもので、例外的に使用、販売等が認められている)、天然香料(動植物から得られる天然の物質で、食品に香りをつける目的で使用されるもの)、一般飲食物添加物(一般的に使用に供されているもので、添加物として使用されるもの)に分類されている。厚生労働省では新たな食品添加物についての安全性を評価するだけでなく、すでに使用を認められている食品添加物についても国民一人当たりの摂取量を調査するなどの施策により、我々の安全の確保を図っている。

食品添加物として使用が認められている化合物に関する以下の問いに答えなさい。

1 現在、指定添加物リストには 400 種類以上の化合物が記載されている。このリストに記載されている化合物[a]は、炭素、水素、酸素から構成されており、 n 個の水酸基を有している。また、酸素原子は水酸基以外には含まれていない。この化合物[a]に無水酢酸を作用させたところすべての水酸基がエステル化された化合物[b]が得られた。分子量を比較したところ、化合物[b]は化合物[a]の約 2.1 倍であった。また、化合物[a]が有するすべての水酸基の水素原子がメチル基で置換されたメチルエーテル化合物[c]の分子量を測定したところ 104 であった。

(1) n にあてはまる数は である。

A 1 B 2 C 3 D 4 E 5 F 6

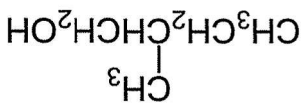
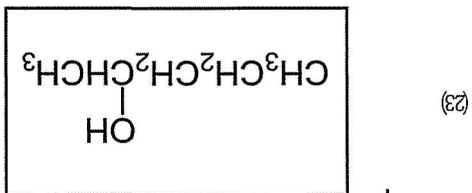
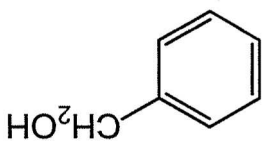
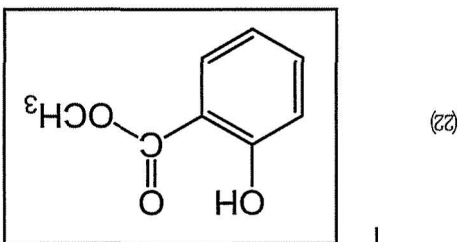
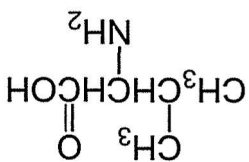
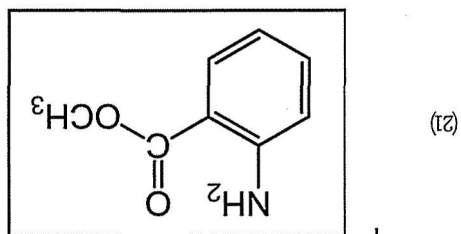
(2) 化合物[a]の分子量は である。

A 60 B 76 C 92
D 104 E 108 F 132

(3) 化合物[a]には不斉炭素が 1 つ含まれており、光学異性体の等量混合物であるラセミ体であった。化合物[a]の化学構造式を解答欄 に書きなさい。ただし、立体化学についての表示は必要ない。

2 [A群]の(21)~(23)にはそれぞれ2種類の指定添加物リストに記載されている食品添加物の化学構造式を示してある。それぞれの2種類の化合物から目視による観察により四角で囲まれた化合物を検出する最も適切な実験法に関する記述が[B群]に、検出によって観察されるそれらの変化についての記述が[C群]に含まれている。(21)~(23)についてそれぞれの正しい組み合わせを選び、解答欄21 ~ 23 にマークしなさい。

[A群]



[B群]

- a 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加える。
- b さらし粉の水溶液を加える。
- c ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液に溶解してから水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱する。
- d フェーリング液を加えて加熱する。

[C群]

- a 黄色結晶が生成し、特有の臭気をもつ気体が発生する。
- b 水溶液が紫色(青紫～赤紫)を呈する。
- c 加えた水溶液の色が消失する。
- d 赤色の沈殿が生成する。

21 ~ 23

	B群	C群		B群	C群		B群	C群
A	a	a	F	b	b	K	c	d
B	a	b	G	b	d	L	d	a
C	a	c	H	c	a	M	d	b
D	a	d	I	c	b	N	d	c
E	b	a	J	c	c	O	d	d

[V] 以下の問いに答え、 ～ にあてはまる答として最もふさわしいものを各解答群の中から1つ選び、記号をマークしなさい。

解答欄 には化学反応式を書きなさい。

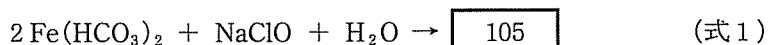
日本酒の醸造では、水質が品質に大きく影響することから、古来より良い水が得られるところに酒蔵が建てられている。日本酒には、リン酸を含む硬水が望ましいとされ、さらに着色の原因となる鉄分が少ないことが必要とされている。兵庫県西宮市に湧出する宮水(みやみず)は日本酒に適した名水であり、江戸後期からこの水を用いて「灘(なだ)」の銘酒が醸造されている。

発酵醸造学の講義で以上の話を聞いたM大学のA君は、水に含まれる鉄イオン(Fe^{2+} または Fe^{3+})に興味を持ち、付属農場の窪地から湧き出ている水について調べてみることにした。

(1) 湧き出たばかりの水(以下、原水とする)にチオシアン酸カリウム(KSCN)水溶液を加えてもほとんど変化はなかった。しかし、原水をビーカーに入れて良くかき回してからチオシアン酸カリウム水溶液を加えたところ、血赤色に変化した。これは、 ためである。

- A 原水に含まれていた Fe^{3+} が空気中の酸素により酸化されて Fe^{2+} が生じた
- B 原水に含まれていた Fe^{3+} が空気中の酸素により還元されて Fe^{2+} が生じた
- C 原水に含まれていた Fe^{2+} が空気中の酸素により酸化されて Fe^{3+} が生じた
- D 原水に含まれていた Fe^{2+} が空気中の酸素により還元されて Fe^{3+} が生じた

(2) 原水には鉄イオンが含まれていたため、残念ながらこのままでは日本酒の醸造には向いていないと考えられた。そこで、鉄イオンの除去を試みることにした。水酸化鉄(Ⅲ) (Fe(OH)₃)はゲル状の沈殿なので、ろ過により効率よく除去することができる。水に含まれる鉄イオンを除去するためには、Fe²⁺をすべてFe³⁺に変換する必要があるため、通常は次亜塩素酸ナトリウム NaClO により処理を行い、Fe(OH)₃を形成させる。湧き水に含まれている鉄イオンは、Fe(HCO₃)₂として存在することが多いので、反応式は(式1)となる。



右辺を解答欄 に記入して、(式1)を完成させなさい。

原水について鉄イオンの除去工程を行った水(以下、処理水とする)にヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム水溶液を加えて鉄(Ⅲ)イオンが残留しているかどうか調べたところ、わずかに濃青色の沈殿を生じた。残念ながら、処理水にも鉄イオンが残っていると考えられた。

日本工業規格(JIS)では、鉄イオンの定量は1,10-フェナントロリン(以下、フェナントロリンと表記する)を用いた吸光度法(フェナントロリン法)により行うことと定められている。鉄イオンを含む水溶液にフェナントロリンを添加すると赤橙色に着色する。3分子のフェナントロリンが1原子のFe²⁺と結合することにより形成するキレート錯イオンが青緑色の光を吸収するため、補色の赤橙色に見えるようになる(図1)。この錯イオンによる青緑色光の吸収の程度(吸光度)は錯イオンの濃度に正確に比例することから、分光光度計とよばれる機器を用いて吸光度を計測することにより、試料水に含まれている鉄(Ⅱ)イオンの濃度を測定することができる。

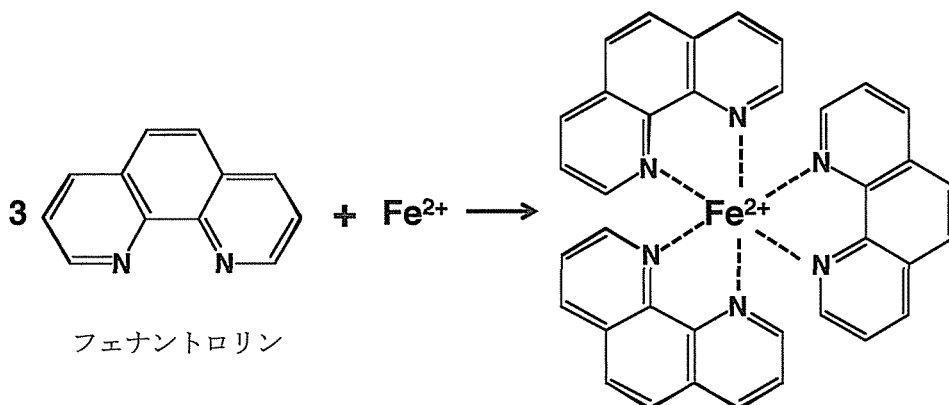


図1 Fe^{2+} との反応による鉄フェナントロリン錯体の形成

分光光度計の原理を図2に示す。光源(a)から発した光を、プリズムを利用した分光器(b)により測定波長の光だけに分光する(フェナントロリン法による鉄イオン(II)の測定では、510 nmの波長の光を用いる)。測定光を内径1 cmのガラスの容器に入った試料水溶液(c)を通過させる。通過した測定光を受光器(d)で検出し、その強度を表示器(e)で表示・記録する。

(注：1 nm[ナノメートル] = 10^{-9} m)

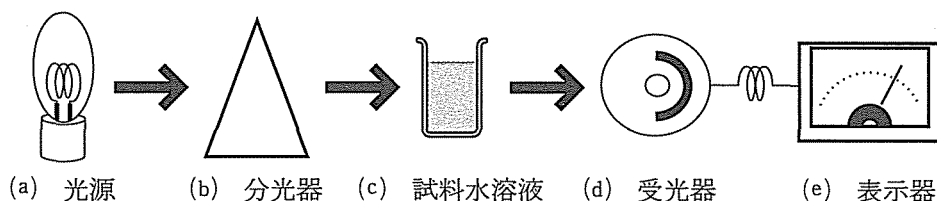


図2 分光光度計の原理

【フェナントロリン法の測定手順】

フェナントロリン法では、50 mLメスフラスコにホールピペットを用いて 試料水 10.0 mL をとり、1.0%ヒドロキノン水溶液 1.0 mLを加えて15分間静置し、鉄イオンをすべて Fe^{2+} に還元する。次に、0.25%フェナントロリン水溶液を 2.0 mL加えて混合し、25%クエン酸ナトリウム水溶液を 0.5 ~ 2.0 mL加えて pHを約 3.5に調整した後、蒸留水を加えて 50.0 mL として20分程度静置した後に吸光度を測定する。

濃度既知の Fe^{2+} 水溶液 10.0 mL を用いて、同じ手順でフェナントロリン法により着色した試料の吸光度を測定して、検量線が作成されている(図3)。この検量線を用いることにより、 Fe^{2+} 濃度を知ることができる。

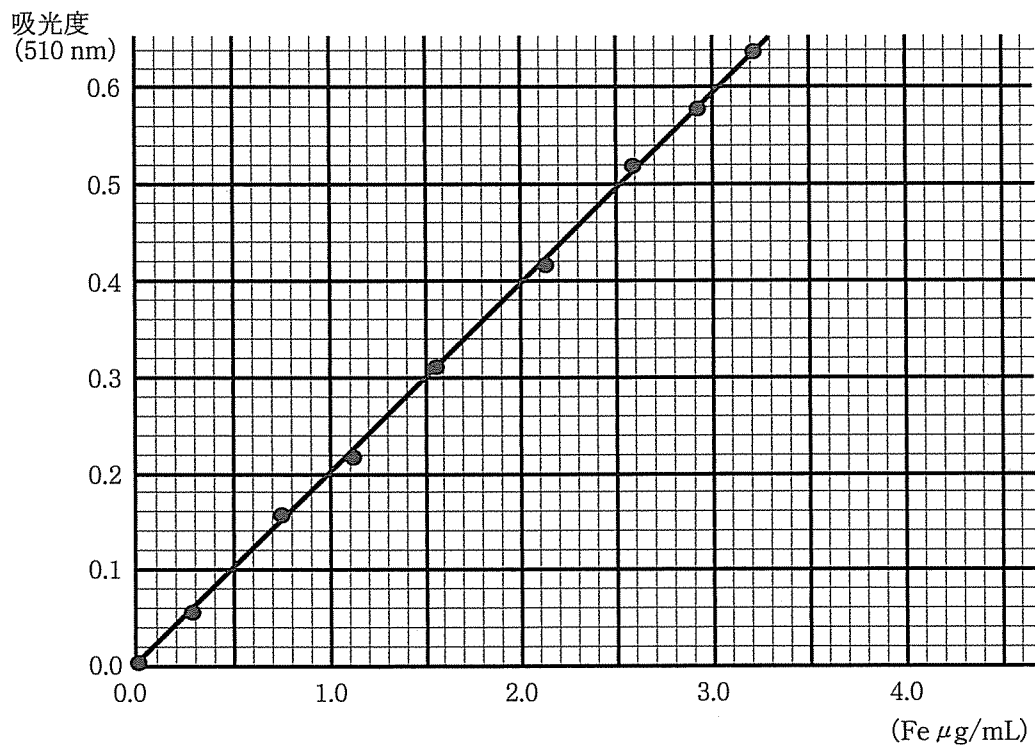


図3 フェナントロリン法による試料水溶液中の Fe^{2+} 濃度検量線
(Feの濃度は、吸光度を測定した水溶液に含まれる Fe^{2+} 濃度を示す)

と算出される。(注：1 mg = 1000 μg)

$$0.4 \mu\text{g/mL} \times 5 = 2.0 \mu\text{g/mL}$$

は

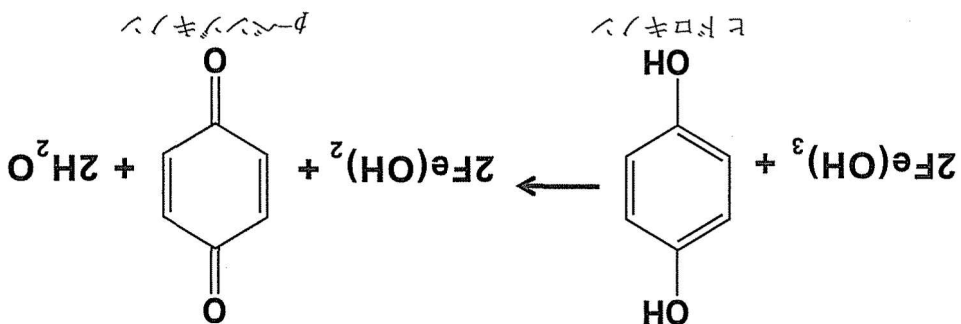
処理水を10.0 mLとして試料水とし、フエナントロリン法の測定手順にしたがって吸光度を測定したところ吸光度は0.08であった。吸光度0.08は図3の検量線から、測定溶液の鉄イオン濃度は0.4 μg/mLとなる。処理水10.0 mLを5倍に希釈して測定していることから、処理水に含まれていた鉄イオン濃度

A	0.91	B	0.55	C	0.26	G	0.026	H	0.011
D	0.11								

25

る。

10 mLの1.0 mmol/L Fe(OH)₃を完全に還元するために、1.0%ピロキノン(C₆H₆O₂;分子量110)水溶液は、少なくとも 25 mL必要である。



ピロキノールとなる。

ピロキノールにより還元されてFe²⁺となり、ピロキノールは酸化されてピロ

(3) 前記の鉄イオン除去処理を行って調整した処理水に含まれるFe(OH)₃は、

- (4) 付属農場で採取した原水を 1.0 mL とってメスフラスコに入れ、蒸留水を加えて 50.0 mL とした。この希釈水を試料水として 10.0 mL とり、フェナントロリン法の測定手順にしたがって吸光度を測定したところ、吸光度は 0.36 であった。原水に含まれる鉄イオンの濃度は $\mu\text{g/mL}$ である。

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| A 720 | B 450 | C 180 | D 90 |
| E 72 | F 45 | G 18 | H 9.0 |

- (5) 以上の結果から、付属農場の原水を次亜塩素酸 NaClO により処理してろ過することによって得られた処理水では、原水に含まれていた鉄イオンの % が除去できたことになる。

- | | | | |
|---------|--------|--------|------|
| A 99.96 | B 99.8 | C 99.6 | D 98 |
| E 96 | F 92 | G 86 | H 82 |

- (6) 付属農場の原水 1000 トンを大規模な装置を用いて次亜塩素酸 NaClO により処理したとき、原水中の鉄イオンは、 kg の $\text{Fe}(\text{OH})_3$ として除去される。ただし、この装置では鉄イオンの除去率は 99 % である。ただし、原水の密度は 1.00 kg/L とする。

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| A 23 | B 48 | C 85 | D 87 |
| E 234 | F 426 | G 852 | H 869 |