第一回東北大化学模試

解答と解説

採点基準 ……2 ページ

1 ……3 ページ

2 ……13 ページ

3 ……23 ページ

【採点基準】

個別の採点基準は各問の解説に付随させた。ここでは共通の採点基準を公開する。

・化学用語の誤字脱字　論述や計算過程中の場合，1 つにつき–1 点。同じ文字を複数回間違った場合，減点対象となるのは最初の一回のみである(例：問 1 と問 2 で「還元」を「環元」としてしまった場合，減点対象となるのは問 1 のみであり，問 2 は指摘のみとなる。しかし，問 1 がすでに他のところで減点され，0 点となっていた場合，代わりに問 2 が減点対象となる)。

・化学用語以外の誤字脱字　相当酷くない限りは指摘のみで，減点対象にはならない。

・有効数字の誤り　例えば，1.21×10^{3} と答えるところを，1.211×10^{3} のように，正しく四捨五入すれば正解となる場合，1 点減点とする。指定より有効数字が小さかったり(例：1.2×10^{3})，四捨五入しても正解とならない場合(例：1.216×10^{3})は誤りとする。
また，1.1×10^{-2} と答えるところを，0.011 としても正答とする。

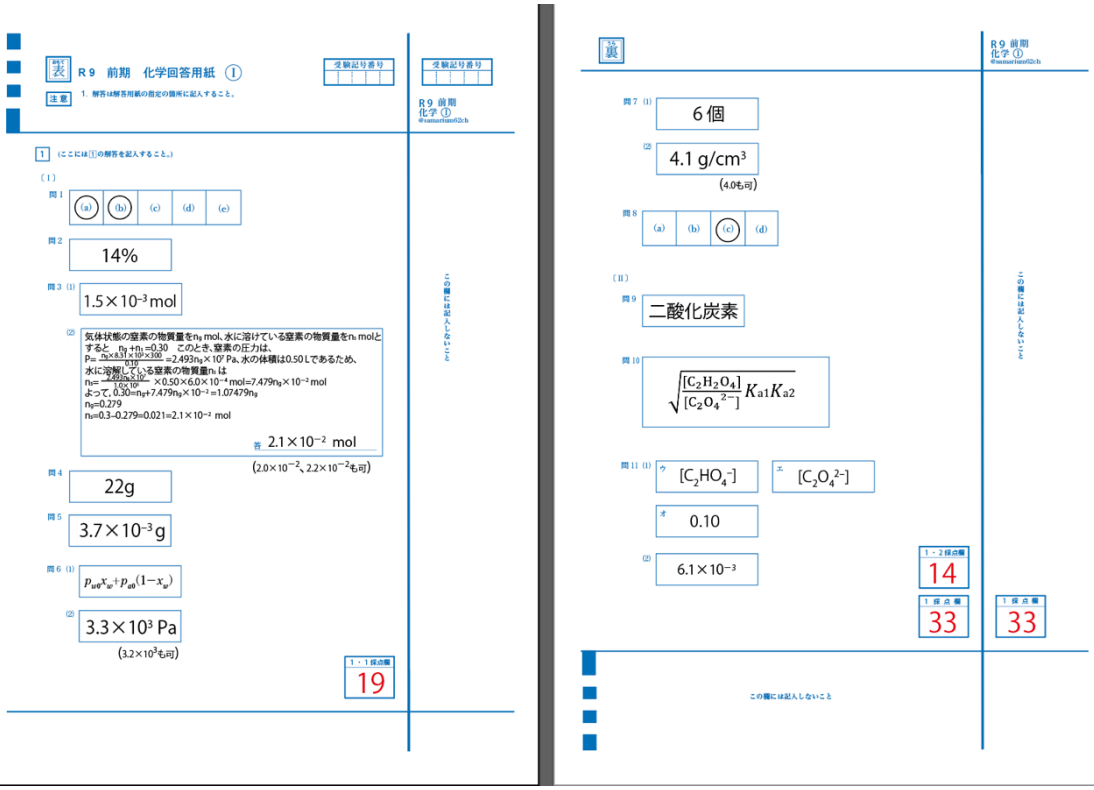
・単位について　単位を書きなさいという旨の指定がなければ単位はあってもなくても構わない。ただし，単位が誤っていた場合は 1 点減点もしくは誤りとする。

・構造式について　指定通りに構造を書かなかった場合(骨格式等)...1 つにつき 1 点減点とする。
水素原子の数が多い/少ない等のミス... 1 つにつき 1 点減点とする。
不斉炭素原子の＊忘れ... 1 つにつき 1 点減点とする。

【補足について】

補足　は高校範囲内のみの補足であり，補足＋　は高校範囲外の内容を含む補足である。どちらも目を通す価値はあると思われる。
また，大問 3 では メタ補足 という，メタ読みを含んだ補足がある。合格のためには手段を選ぶわけにいかないので，こういうずるい手も身につけておきたい。

1



問題	形式	範囲	難易度	配点
1	記号選択	化学基礎　分子の極性　　無機化学	2	2
2	計算(数値)	化学基礎　濃度	2	3
3	計算(数値)	理論化学　ヘンリーの法則	2	2
	計算(過程)	理論化学　ヘンリーの法則	3	4
4	計算(数値)	化学基礎　理論化学　溶解度	2	3
5	計算(数値)	理論化学　溶解度積	1	1
6	計算(文字)	理論化学　蒸気圧	1	1
	計算(数値)	理論化学　蒸気圧	2	3
7	計算(数値)	化学基礎　結晶格子	1	2
	計算(数値)	化学基礎　結晶格子	2	3
8	記号選択	化学基礎　結晶の種類	1	1
9	語句	化学基礎　酸化還元	1	1
10	計算(文字)	理論化学　化学平衡	1	2
11	計算(文字)	理論化学　化学平衡	1	2
	計算(数値)	理論化学　化学平衡	2	3
				33

枝問数	小問数	難易度 1	難易度 2	難易度 3	難易度 4	難易度 5	
11	15	7	7	1	0	0	
語句	記号 選択	計算 (数値)	計算 (文字)	計算 (過程)	反応式	論述	構造式
1	2	8	3	1	0	0	0

【出題内容】

問題	内容	問題	内容
1	物質の融点・沸点	8	アモルファス
2	溶液の濃度	9	シュウ酸の酸化
3	ヘンリーの法則	10	二段階電離
4	溶解度	11	物質収支の式　二段階電離の pH
5	溶解度積		
6	ラウールの法則		
7	CsCl の結晶格子		

【講評】

主に化学基礎と理論化学から出題した。

基礎的な問題を中心に，一度は見たことがあるであろう問題を多く出題したため，取れる問題を確実にとる必要があった。

ラウールの法則は知らない人もいたかもしれない。知らなくとも問題文からイメージできると早い。結晶格子における，ある原子から n 番目に近い原子の個数(第 n 近接という)は，東北大ではなぜか頻出である。そこまで難しい話ではないため，対策しておきたい。

【解説】

〔Ⅰ〕

問 1　(a)　メタノールおよび(b)　臭素は，知識で液体であると決定してほしい。

(d)　二酸化硫黄も，気体であることを知識で決定してほしい。

(c)　ヨウ化水素は，沸点がフッ化水素より低いこと，フッ化水素(沸点 19.5℃)が常温で液体だったり気体だったりすることから，ヨウ化水素は気体であると推測できる。また，ヨウ化水素は圧平衡の問題でよく出ることからも気体であることがわかる。

(e)　十酸化四リンは，構造をなんとなく知っていれば，分子量が大きい→固体と推測可能。

補足＋

十酸化四リンは昇華性を持つ。

採点項目	配点
(a)，(b)のみを選択している	＋2 点

問 2　質量%濃度とモル濃度の変換は，公式化して覚えておくと速い(公式を用いた解法については別解で)。

モル濃度が 2.5 mol/L の塩化ナトリウム(式量 58.5)水溶液 1.0L(1080g)中には，

2.5 mol/L×58.5 g/mol=146.25g の塩化ナトリウムが含まれる。よって，水溶液 100g 中に含まれる塩化ナトリウムの質量をx〔g〕とすると，

1080 g(水)：146.25 g(塩)=100 g(水)：x g(塩)　，　$x=\frac{14625}{1080}$=13.54 g=14g=<u>14%</u>

別解　公式を用いる

私は次の形で覚えている。

$$c=\frac{10ad}{M}$$

c：モル濃度〔mol/L〕，a：質量%濃度〔g/水 100g × 100〕，d＝水溶液の密度〔g/cm³〕，

M：溶質の式量〔g/mol〕

上式より，$a=\frac{cM}{10d}=\frac{146.25}{10.80}$=13.54 g=14g=<u>14%</u>

採点項目	配点
答え 14%が出ている	＋3 点

問 3　ヘンリーの法則では，温度一定での溶ける気体の物質量は，その気体の分圧と水の体積に比例する。

⑴　窒素の溶解による窒素分子の物質量の変化は無視できるため，理想気体の状態方程式より，0.30mol，1.50L，27℃(300K)，気体定数 8.31×10^3 Pa･L/(mol･K)での窒素の圧力は，

$$P=\frac{0.30\times8.31\times10^3\times300}{1.5}=4.986\times10^5 \text{ Pa}$$

水の体積は 0.50 L であるため，水に溶解している窒素の物質量は

$$\frac{4.986\times10^5}{1.0\times10^5}\times0.50\times6.0\times10^{-4}\text{ mol}=14.985\times10^{-4}\text{ mol}=\underline{1.5\times10^{-3}\text{ mol}}$$

採点項目	配点
答え 1.5×10^{-3} mol が出ている	＋2 点

⑵　今度は圧力が大きく，より多くの窒素が水に溶解するため，窒素の溶解による窒素分子の物質量の変化は無視できない。ここで，窒素の総物質量(0.30mol)=気体窒素の物質量+溶存窒素の物質量とする。

$$0.3\text{ mol}=n_g\text{ mol}+n_s\text{ mol}$$

(g は気体 gas，s は溶液 solution の意)

このとき，窒素の圧力は，

$$P=\frac{n_g\times8.31\times10^3\times300}{0.10}=2.493n_g\times10^7 \text{ Pa}$$

水の体積は 0.50 L であるため，水に溶解している窒素の物質量n_sは

$$n_s=\frac{2.493n_g\times10^7}{1.0\times10^5}\times0.50\times6.0\times10^{-4}\text{ mol}=7.479n_g\times10^{-2}\text{ mol}$$

よって，$0.3\text{ mol}=n_g+7.479n_g\times10^{-2}=1.07479n_g$

$$n_g=\frac{0.3}{1.07479}\fallingdotseq\frac{0.3}{1.075}=0.279$$

ゆえに，$n_s=0.3-0.279=0.021=\underline{2.1\times10^{-2}\text{ mol}}$　（なお，2.0×10^{-2}，2.2×10^{-2}も正答とする）

採点項目	配点
$0.3\text{ mol}=n_g\text{ mol}+n_s\text{ mol}$ とおき，理想気体の状態方程式に代入できている。	＋1 点(部分点)*
$n_g=\frac{0.3}{1.07479}$　に近い形の式が得られている	＋1 点(部分点)*
正しい答えが出ている	＋4 点

*本設問において，部分点は答えが間違っていた時のみ入る。

問 4　計算が面倒くさい溶解度の問題である。東北大化学では計算が重い溶解度は頻出で、近年 2〜3 年に 1 回は出題されている。

NH_4Cl は 80℃で 100 g の水に 65.5 g 溶解する。そのため，80℃で NH_4Cl の飽和水溶液 100g に溶けている NH_4Cl の質量x g は

$165.5 : 65.5 = 100 : x$

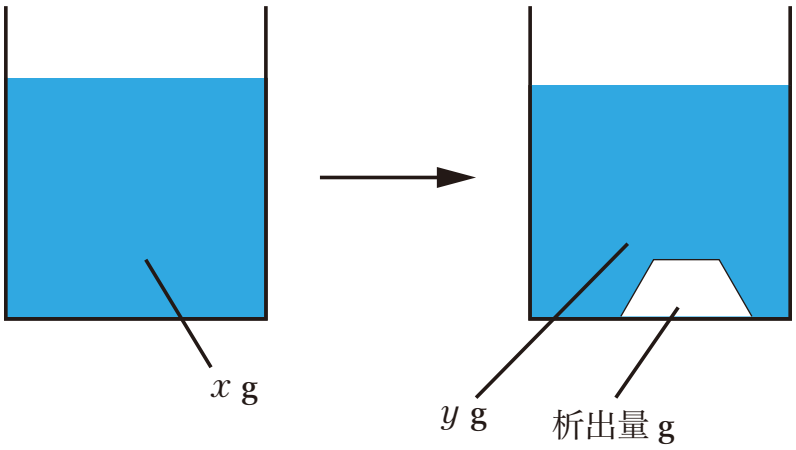
$x = \frac{6550}{165.5} = 39.58 = 39.6$g

よって，この水溶液中の水の質量 g は，100–39.6=60.4g

0℃で 60.4g の水に溶けている NH_4Cl の質量y g は

$y = \frac{60.4}{100} \times 29.4 = 17.76 = 17.8$g

よって，析出量は，39.6–17.8=21.8=<u>22g</u>



$$x = y + \text{析出量}$$

採点項目	配点
答え 22g が出ている	＋3 点

問 5　$[Mg^{2+}][CO_3^{2-}] = 2.0 \times 10^{-7}\ (\text{mol/L})^2$ より、

$[Mg^{2+}] = [MgCO_3] = \sqrt{20 \times 10^{-8}} = 2\sqrt{5} \times 10^{-4} = 4.4 \times 10^{-4}$ mol/L

100mL の水には 4.4×10^{-5} mol の $MgCO_3$ がとけており，その質量 X〔g〕は

4.4×10^{-5} mol × 84 g/mol=<u>3.7×10^{-3} g</u>

採点項目	配点
答え 3.7×10^{-3} g が出ている	＋1 点

問 6　ラウールの法則に関する出題である。

⑴　混合溶液全体の蒸気圧　$p_t = p_{w1} + p_{a1}$　より

$p_t = p_{w0}x_w + p_{a0}x_a$

$x_w + x_a = 1$ より

$p_t = \underline{p_{w0}x_w + p_{a0}(1 - x_w)}$

採点項目	配点
答え$p_{w0}x_w + p_{a0}(1 - x_w)$が出ている	＋1 点

⑵　酢酸と水のモル分率を求め，上式に代入する。

酢酸(式量 60)が 40%，水(式量 18)が 60%あるため，例えばこの水溶液 100g 中には酢酸が 40g=$\frac{40g}{60g/mol}$=$\frac{2}{3}$mol，水が 60g=$\frac{60g}{18g/mol}$=$\frac{10}{3}$mol,

よって，酢酸の物質量：水の物質量=$\frac{2}{3}$：$\frac{10}{3}$=1：5

ゆえに，酢酸のモル分率x_a=$\frac{1}{6}$、水のモル分率=$\frac{5}{6}$であるため,

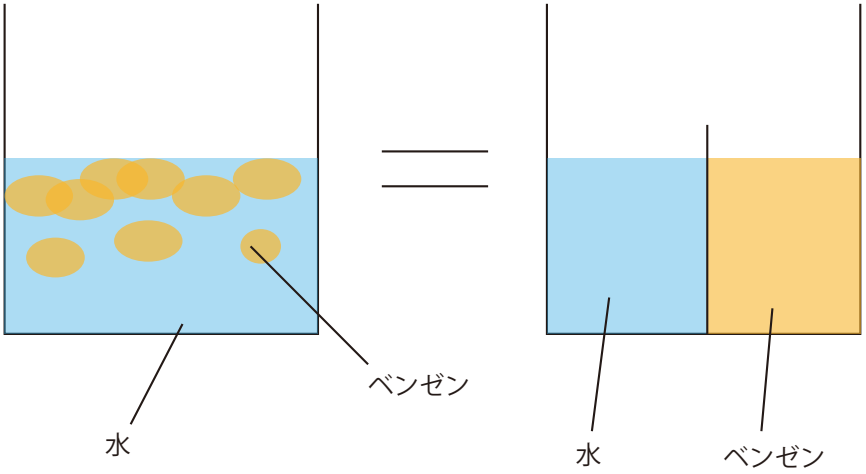
p_t=p_{w0}×$\frac{5}{6}$+ $p_{a0}x_a$×$\frac{1}{6}$=3.6×10^3×$\frac{5}{6}$ + 1.5×10^3×$\frac{1}{6}$=3.25×10^3=$\underline{3.3\times10^3\,\mathrm{Pa}}$

(なお，3.2×10^3も正答とする)

採点項目	配点
正しい答えが出ている	＋3 点

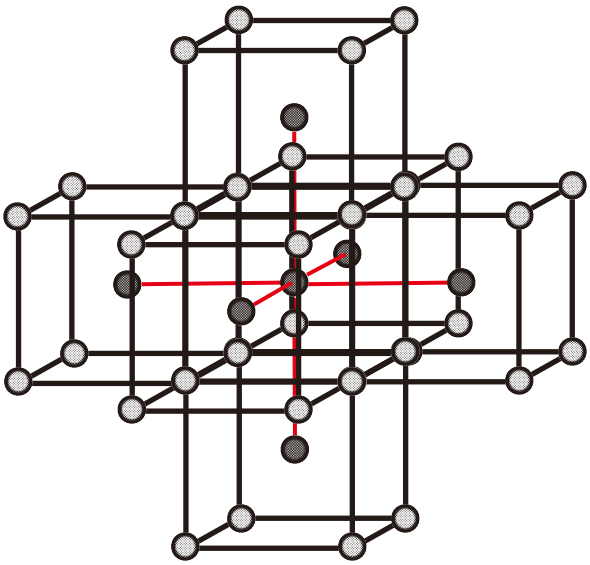
補足＋

ラウールの法則は互いに混ざり合う液体にしか用いることができない。そのため，水とベンゼンのような組み合わせでは，蒸気圧の計算にラウールの法則を用いることはできない。互いに混じり合わない液体の蒸気圧は，次のように溶液が別々に存在していると捉えられる。そのため，個々の蒸気圧は個々の純粋な状態での蒸気圧と等しくなり，混合溶液全体の蒸気圧は，個々の純粋な状態での蒸気圧の和と等しくなる。



問 7　塩化セシウム CsCl 型の結晶格子に関する出題である。東北大化学で結晶格子は頻出で，密度を求めさせるだけでなく，ある原子(イオン)から n 番目に近い原子(イオン)の個数(第 n 近接という→補足＋)を答えさせる出題がなぜか多い。

(1)　塩化セシウム CsCl の結晶格子を拡張すると，ある Cs^+から最も近い Cs^+は 6 個あり，その距離は 4.1×10^{-8}cm である。



補足＋

ある原子(イオン)から n 番目に近い原子(イオン)を第 n 近接という。塩化セシウム CsCl において，第一近接は 8 個の Cl^-，第二近接は 6 個の Cs^+，第三近接は 12 個の Cs^+，第四近接は 24 個の Cl^-，第五近接は 8 個の Cs^+である。

採点項目	配点
答え 6 個が出ている	＋2 点

⑵　結晶格子の密度は，公式化して覚えておくと速い(公式を用いた解法については別解で)。塩化セシウム(式量 168.5)の単位格子中には 1 個の CsCl 単位があるため，$(4.1\times10^{-8})^3$ cm^3 あたり 1 個の CsCl があり，この質量は$\frac{1\times168.5}{N_A}$ g である。なお，密度〔g/cm^3〕は 1cm^3 あたり何 g の CsCl があるかという指標である。密度をd〔g/cm^3〕とし，表にすると

単位	体積	CsCl 質量
単位格子	$(4.1\times10^{-8})^3$ cm^3	$\frac{1\times168.5}{N_A}$g
1cm^3	1cm^3	d g

これを比例式にして，$(4.1\times10^{-8})^3$ cm^3 : $\frac{1\times168.5}{N_A}$g =1cm^3 : d g

$d = \frac{\frac{1\times168.5}{N_A}}{(4.1\times10^{-8})^3} = \frac{\frac{168.5}{6.02\times10^{23}}}{(4.1\times10^{-8})^3}$=4.06=<u>4.1〔g/cm^3〕</u>

(なお，4.0 も正答とする)

別解　公式を用いる

私は次の形で覚えている。

$$d=\frac{aM}{VN_A}$$

d：密度〔g/ cm^3〕，a：単位格子内の物質構成単位数，M＝式量〔g/mol〕，
V＝単位格子の体積〔cm^3〕，N_A：アボガドロ定数〔/mol〕

上式より，$d=\frac{168.5}{(4.1\times10^{-8})^3\times6.02\times10^{23}}$=4.06=<u>4.1〔g/cm^3〕</u>

(なお，4.0 も正答とする)

採点項目	配点
答え 4.1〔g/cm^3〕が出ている	＋3 点

問 8 (c) ガラスはアモルファスの代表例である。他にはアモルファスシリコンなどもある。

補足＋

例えばゴム状硫黄はアモルファスである。ポリエチレンなどの高分子は，結晶領域と非晶領域(要するにアモルファス)を含む。

採点項目	配点
(c)のみを選択している	＋1 点

〔II〕

問 9 シュウ酸は還元剤として働き，二酸化炭素を放出する。

$(COOH)_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H^+ + 2e^-$

補足

シュウ酸の炭素原子の酸化数は+3 であり，二酸化炭素の炭素原子の酸化数は+4 である。

採点項目	配点
二酸化炭素と答えられている	＋1 点

問 10 典型的な二段階電離の問題である。K_{a1} と K_{a2} をモル濃度で表し，$[C_2HO_4^-]$を消せばよい。

$K_{a1}=\frac{[H^+][C_2HO_4^-]}{[C_2H_2O_4]}$ $K_{a2}=\frac{[H^+][C_2O_4^{2-}]}{[C_2HO_4^-]}$ より，$[C_2HO_4^-]=\frac{[H^+][C_2O_4^{2-}]}{K_{a2}}$ これを

$K_{a1}=\frac{[H^+][C_2HO_4^-]}{[C_2H_2O_4]}$ に代入して，$K_{a1}=\frac{[H^+]^2[C_2O_4^{2-}]}{[C_2H_2O_4]K_{a2}}$，$[H^+]=\sqrt{\frac{[C_2H_2O_4]}{[C_2O_4^{2-}]}K_{a1}K_{a2}}$

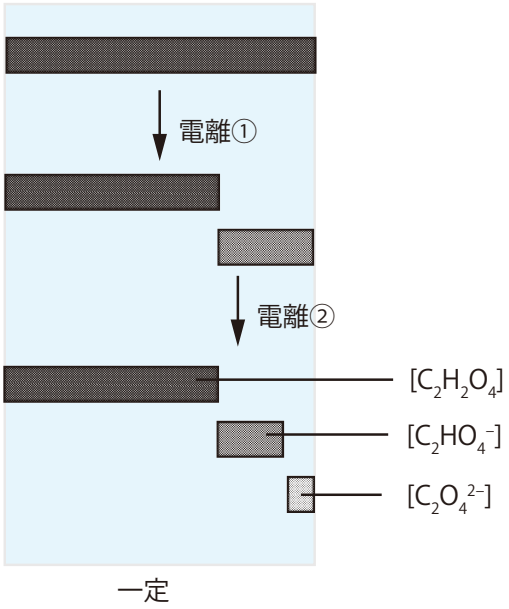
採点項目	配点
答え $\sqrt{\frac{[C_2H_2O_4]}{[C_2O_4^{2-}]}K_{a1}K_{a2}}$ が出ている	＋2 点

問 11

⑴　物質収支の式である。シュウ酸の場合，シュウ酸＋シュウ酸水素イオン＋シュウ酸イオン=一定であり，この設問では 0.10 mol/L シュウ酸水溶液を用いているため，

$[C_2H_2O_4] + [C_2HO_4^-] + [C_2O_4^{2-}] = 0.10$

となる。



補足

一段階の電離，例えば 1.0 mol/L 酢酸水溶液における物質収支の式は，

$[CH_3COOH] + [CH_3COO^-] = 1.0$

となる。

採点項目	配点
ウ，エ，オに正しい答えを当てはめられている	＋2 点

⑵　⑤式を無視して pH を計算する。　$K_{a1}=\frac{[H^+][C_2HO_4^-]}{[C_2H_2O_4]}$　にて，

シュウ酸の初期濃度を c〔mol/L〕=0.10〔mol/L〕，電離度を α とおくと，

$K_{a1}=\frac{(c\alpha)^2}{c(1-\alpha)}$

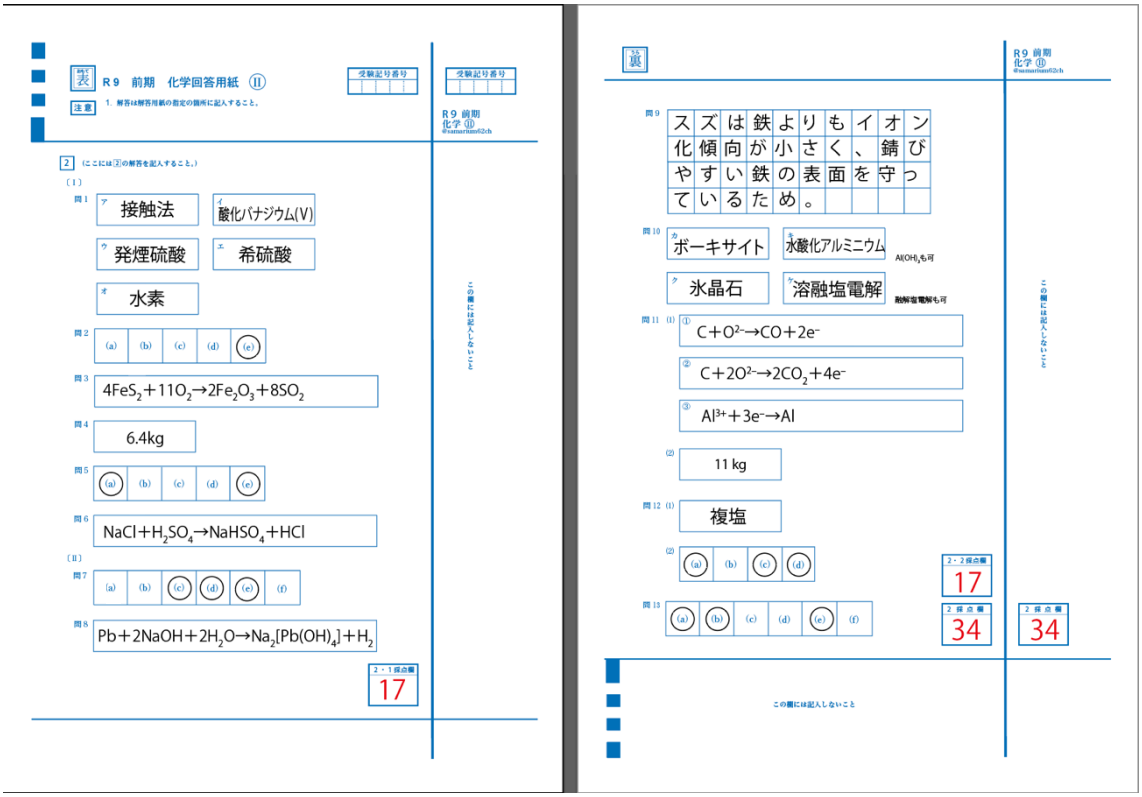
$(1-\alpha)K_{a1} = c\alpha^2, \quad c\alpha^2 + K_{a1}\alpha - K_{a1} = 0, \quad \alpha^2 + 5.4\times10^{-1}\alpha - 5.4\times10^{-1} = 0$

$\alpha = -0.27 + \sqrt{0.6124}, \quad [H^+]=c\alpha$より，$[H^+]=-0.027+\sqrt{6.124\times10^{-3}}$

よって，カ：$\underline{6.1\times10^{-3}}$

採点項目	配点
答え6.1×10^{-3}　が出ている	＋3 点

2



問題	形式	範囲	難易度	配点
1	語句	無機化学　接触法	1	1
2	記号選択	無機化学　硫酸	2	3
3	反応式	無機化学　黄鉄鉱の燃焼	1	2
4	計算(数値)	化学基礎　物質量計算	2	3
5	記号選択	化学基礎　酸化還元	1	1
6	反応式	化学基礎　揮発性酸の遊離	2	2
7	記号選択	無機化学　スズと鉛	2	3
8	反応式	無機化学　両性元素	2	2
9	論述	化学基礎　合金	1	2
10	語句	無機化学　アルミニウムの精錬	1	1
11	反応式	無機化学　アルミニウムの精錬	1	3
	計算(数値)	無機化学　アルミニウムの精錬 理論化学　電気分解	2	4
12	語句	無機化学　ミョウバン	1	1
	記号選択		2	3
13	記号選択	無機化学　金属イオン	2	3

							34
枝問数	小問数	難易度 1	難易度 2	難易度 3	難易度 4	難易度 5	
13	17	7	8	0	0	0	
語句	記号 選択	計算 (数値)	計算 (文字)	計算 (過程)	反応式	論述	構造式
3	5	2	0	0	6	1	0

【出題内容】

問題	内容	問題	内容
1	接触法	8	$[Pb(OH)_4]^{2-}$
2	硫酸の性質	9	ブリキ
3	黄鉄鉱	10	アルミニウムの精錬
4	濃硫酸の生成量	11	ホール・エルー法
5	熱濃硫酸	12	ミョウバン
6	揮発性酸の遊離	13	金属イオン
7	スズと鉛		

【講評】

主に無機化学から出題した。

全体的に基礎的な問題が多いものの，全て選ばせる設問が多く，抜けがあると得点しにくい問題だった。

【解説】

〔Ⅰ〕

問 1　硫酸の工業的製法である接触法は，二酸化硫黄を酸化バナジウム(Ⅴ)V_2O_5 などの固体触媒に接触させることに由来する。

補足＋

接触法が確立される前の硫酸の工業的製法は，鉛室法というものだった。これは，硫酸鉛が水に溶けない性質を利用し，これを容器として用いたことが由来である。

採点項目	配点
ア～オに正しい答えを当てはめられている	＋1 点

問 2　(a)　誤。硫酸が強酸だからといって 2 段階目の電離がほとんど進行しているとは限らない。(b)　誤　反応式は $C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow 12C+11H_2O$　このとき濃硫酸は触媒である。(c)　誤　濃硫酸の溶解熱によって水が突沸し，その勢いで硫酸が飛び散る。硫酸の沸点は約 300℃であるため，溶解熱ではなかなか沸騰しない。(d)　誤　濃硫酸は粘性が高く，ややドロドロしている。粘性が高いことは沸点が高いことにも繋がる。(e)　正　硫酸カルシウムはセッコウの主成分である。セッコウでできた石像が雨で溶けたら大変である。硫酸バリウムは X 線を透過させない性質を持ち，胃のレントゲン検査に用いられる(マズイらしい？私はやったことがないためわからない)。バリウムは通常毒性が高いが，これは電離により生じるバリウムイオン Ba^{2+} が悪く，水に溶けずに電離しない硫酸バリウムは無毒である。

採点項目	配点
(e)のみを選択している	＋3 点

問 3　$4FeS_2$ ＋ $11O_2 \rightarrow$ $2Fe_2O_3$ ＋ $8SO_2$ である。少し複雑な反応式だが，Fe_2O_3 に着目すると，酸素原子数は偶数になる必要があるため，Fe_2O_3 の係数は偶数になると気づけると早い。

補足＋

黄鉄鉱は見た目が金に似ているが希少価値はなかったため，愚者の金とも呼ばれた。FeS_2 は Fe^{2+} と二硫化物イオン S_2^{2-} で構成されており，二硫化物イオン S_2^{2-} は二つの硫黄原子がジスルフィド結合によってつながっている。

採点項目	配点
$4FeS_2$ ＋ $11O_2 \rightarrow$ $2Fe_2O_3$ ＋ $8SO_2$ が正しく書けている	＋2 点

問 4　98%の濃硫酸(式量 98)は，98%の硫酸と 2%の水をセットと考え，式量が 100 であるとみなすと計算しやすい。

98%の濃硫酸の物質量は，$\frac{10kg}{100g/mol}$=100 mol

これを合成するのに必要な二酸化硫黄(式量 64)の質量は，100 mol×64=<u>6.4kg</u>

採点項目	配点
答え 6.4kg が出ている	＋3 点

問 5 （高校範囲だと)イオン化傾向が水素より大きい金属のうち, 金と白金でないものが対象となる。
そのため, (a)　Cu, (e)　Hg　のみである。

補足＋
水銀は天然で赤色の辰砂 HgS として産出する。これを加熱すると熱分解し，銀白色の Hg が生じる。これを空気中におくと，赤色の酸化水銀(Ⅱ) HgO が生じる。しかしこれも加熱すると熱分解し, 銀白色の Hg が生じる。さらにこれを空気中におくと, 赤色の酸化水銀(Ⅱ) HgO が生じる。さらにこれを加熱して...という繰り返しが，何度でも甦る不死身の象徴とされ，これを飲んだ始皇帝はもちろん...

採点項目	配点
(a), (e)のみを選択している	＋1 点

問 6　揮発性酸の遊離が起こるのは, 遊離した揮発性酸が系から逃げていくため, 平衡が揮発性酸遊離側へ傾くからである。また，問 2 の(a)の選択肢にも繋がるが，硫酸は 2 段階目の電離をほとんどしていないため，この反応は硫酸水素ナトリウム $NaHSO_4$ で終わる。

$NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl$

採点項目	配点
$NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl$ が正しく書けている	＋2 点

〔Ⅱ〕

問 7　(a)　誤。Sn^{2+}は還元性が強く，ニトロベンゼンをアニリンに還元する(→補足＋)また，Pb は Pb^{4+}より Pb^{2+}の方が安定である(→補足＋)。

(b)　誤　青銅である。白銅はニッケルと銅の合金。(c)　正。はんだの融点の最小値は 183℃であり，これはスズ(232℃)や鉛(327℃)よりも低い。

(d)　正(→補足＋)。(e)　正。高分子のアミノ酸の範囲で主に学習する。(f)　誤。鉛は希硝酸にも濃硝酸にも溶ける。

補足＋

金属を用いてニトロベンゼンをアニリンに還元する方法をベシャンプ還元といい，スズの他に鉄なども用いられる。スズを用いる際は Sn^{2+}が還元剤となる。亜鉛と塩化アンモニウムを用いるとニトロ基が部分的に還元され，ヒドロキシアミノ基–NHOH ができる。

Pb^{4+}より Pb^{2+}の方が安定なのは不活性電子対効果という現象による。周期表で鉛の両隣の元素であるタリウムやビスマスにも同様の効果が見られる。

鉛が放射線を吸収しやすいのは，密度が高いため(=原子が密に詰まっており放射線が貫通しにくいため)である。

採点項目	配点
(c)，(d)，(e)のみを選択している	＋3 点

問 8　テトラヒドロキシド鉛(Ⅱ)酸ナトリウムの化学式は $Na_2[Pb(OH)_4]$であるため，反応式は，$Pb+2NaOH+2H_2O \rightarrow Na_2[Pb(OH)_4]+H_2$　となる。

採点項目	配点
$Pb+2NaOH+2H_2O \rightarrow Na_2[Pb(OH)_4]+H_2$ が正しく書けている	＋2 点

問 9　ブリキは錆びやすい鉄の表面を，イオン化傾向が小さいスズで覆って守っている。そのため，表面に傷がつくとそこから鉄の錆びが進行しやすい。

補足

なお，鉄に亜鉛をメッキしたトタンは傷がついても，鉄より亜鉛の方がイオン化傾向が大きいため，亜鉛が優先的に反応して鉄は錆びにくい。

採点項目	配点
鉄とスズのイオン化傾向の違いについて触れている	＋1 点
スズが鉄の酸化を守っていることに触れている	＋1 点

問 10　アルミニウムの主要な鉱石はボーキサイトである。ボーキサイトを濃水酸化ナトリウム水溶液と反応させテトラヒドロキシドアルミン酸イオン$[Al(OH)_4]^-$として溶かし，不純物を取り除いた後に水で希釈して水溶液中の水酸化物イオン濃度を下げ，ルシャトリエの原理で水酸化アルミニウム $Al(OH)_3$ を沈殿させる。

$$Al(OH)_3 + OH^- \rightleftarrows [Al(OH)_4]^-$$

アルミナの融点は約 2000℃であるため，氷晶石 Na_3AlF_6 を加えて融点を約 1000℃とする。

補足＋

ボーキサイトの生産量が 1 位の国はオーストラリアであるが，多くのエネルギーを安定して供給できる国(=産油国や水力発電が中心の国)であるカナダやアラブ首長国連邦はボーキサイトを輸入して精錬しており，アルミニウム地金生産量は上位に入る。アルミニウムの精錬に大きなエネルギーが必要なのは，溶融塩電解の大変さからわかるだろう。

ボーキサイトからアルミナを得る方法はバイヤー法と呼ばれ，アルミニウムの溶融塩電解はホール・エルー法と呼ばれる。

採点項目	配点
カ～ケに正しい答えを当てはめられている	＋1 点

問 11

⑴　炭素電極 A は正極, 炭素電極 B は負極である。正極では炭素電極そのものが反応する。

①　$C+O^{2-}\rightarrow CO+2e^-$

②　$C+2O^{2-}\rightarrow CO_2+4e^-$

③　$Al^{3+}+3e^-\rightarrow Al$

採点項目	配点
解答欄①に $C+O^{2-}\rightarrow CO+2e^-$が正しく書けている	＋1 点
解答欄②に $C+2O^{2-}\rightarrow CO_2+4e^-$が正しく書けている	＋1 点
解答欄③に $Al^{3+}+3e^-\rightarrow Al$ が正しく書けている	＋1 点

⑵　生じたアルミニウムの物質量は，$\frac{10.8kg}{27g/mol}=4.0\times10^2$ mol

③式より，流れた電子の物質量は，　4.0×10^2 mol$\times3=1.2\times10^3$ mol

生じた一酸化炭素の物質量は，$\frac{2.8kg}{28g/mol}=1.0\times10^2$ mol

①式より，一酸化炭素を発生させるのに流れた電子の物質量は,

1.0×10^2 mol$\times2=2.0\times10^2$ mol

よって，二酸化炭素発生させるのに流れた電子の物質量は,

1.2×10^3 mol-2.0×10^2 mol $= 1.0\times10^3$ mol

②式より，生じた二酸化炭素の物質量は

1.0×10^3 mol$\div4 = 2.5\times10^2$ mol

したがって，生じた二酸化炭素の質量は

2.5×10^2 mol$\times44$ g/mol=<u>11kg</u>

採点項目	配点
答え 11 kg が出ている。	＋4 点

問 12

⑵　(a)　正。多くの人が一度はミョウバンの結晶を見たことがあると思われる。(b)　誤。ミョウバンは溶解度の計算問題にも登場し，水に溶ける。(c)　正。ミョウバンは強酸である硫酸と，強塩基である水酸化物カリウムカリウムおよび弱塩基である水酸化アルミニウムの塩であるため，弱酸性を示す。(d)　正　色落ちを防ぐ色止め剤として用いられる。

補足＋

単にミョウバンというとカリウムミョウバン $AlK(SO_4)_2・12H_2O$ を指すが，ミョウバンには他にも鉄ミョウバン $FeNH_4(SO_4)_2・12H_2O$ など種類がある。

なお，ミョウバンは漢字で書くと明礬であり，この礬(バン)という漢字は現在ではアルミニウムを指す漢字となっており，鉄礬柘榴石や満礬柘榴石などがある。また，硫酸銅(Ⅱ)の鉱物である胆礬にもこの字が含まれているが，アルミニウムは無関係である。

採点項目	配点
⑴ 複塩と答えられている	+1 点
⑵ (a)，(c)，(d)のみを選択している	＋3 点

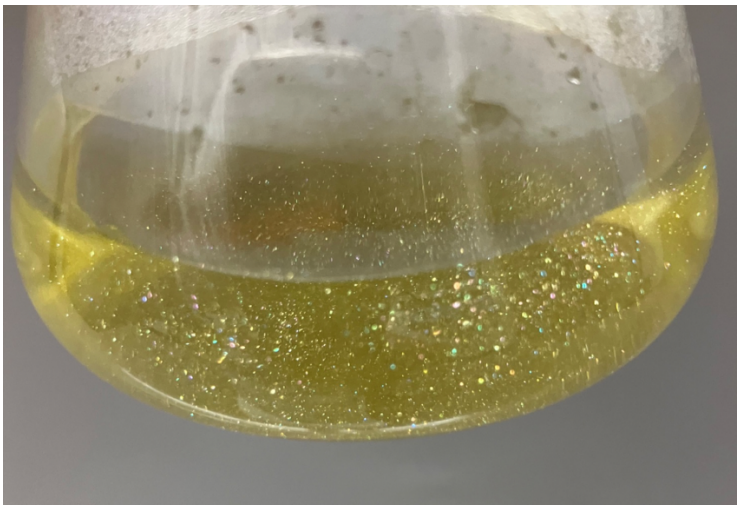
問 13　(a)正。亜鉛は両性元素であり，テトラヒドロキシド亜鉛酸イオン $[Zn(OH)_4]^{2-}$ を生じる。(b)正。全てビスチオスルファト銀(Ⅰ)イオン $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ を生じる。(c)　誤。Ag^+ は褐色の $Ag_2(CrO_4)$ を形成する。Ba^{2+} と Pb^{2+} は黄色の沈殿を形成する。(d)　誤。硫化亜鉛 ZnS は白色である(→補足＋)。(e)　正。(→補足＋)。(f)　誤。イオン化傾向が小さい金属ほど液性に関わらず，硫化水素と反応して沈殿を生じやすい(→補足＋)。

補足＋

クロム酸カルシウム $CaCrO_4$ なども黄色の化合物であり，これの溶解度は 20℃で 2.25g/100g 水と，わずかに溶けるが量次第では沈殿する。

12 族元素は高校範囲では遷移元素とされるが，実際は典型元素とする派閥も存在する(私は典型派)。12 族元素が典型元素に似た性質を示す点の一つに硫化物の色がある。12 族は亜鉛，カドミウム，水銀などがあるが，それぞれの硫化物の色は白色，黄色，赤色であり，多くの遷移金属の硫化物の色である黒と異なる。それに対し，典型元素の硫化物は，アルカリ金属およびアルカリ土類金属の白色や，スズの褐色/黄色と，黒色以外になりやすい(鉛は例外。またマンガンも遷移元素だが淡桃色で例外)。他にも，12 族は単体の融点が低かったり(亜鉛 420℃，カドミウム 321℃，水銀−39℃)する点も，典型元素よりの特徴である。なお，これらの性質は 12 族元素の 3d 軌道が閉殻であることに由来する。

塩化鉛(Ⅱ)が温水に溶ける性質は，ヨウ化鉛(Ⅱ) PbI_2 にも見られ，PbI_2 を溶かした温水を冷却すると，次のような小さな結晶が析出し，キラキラして綺麗である(語彙力皆無)。この実験は，ゴールデンレイン(黄金の雨)の実験として知られる。



私の過去の投稿より引用

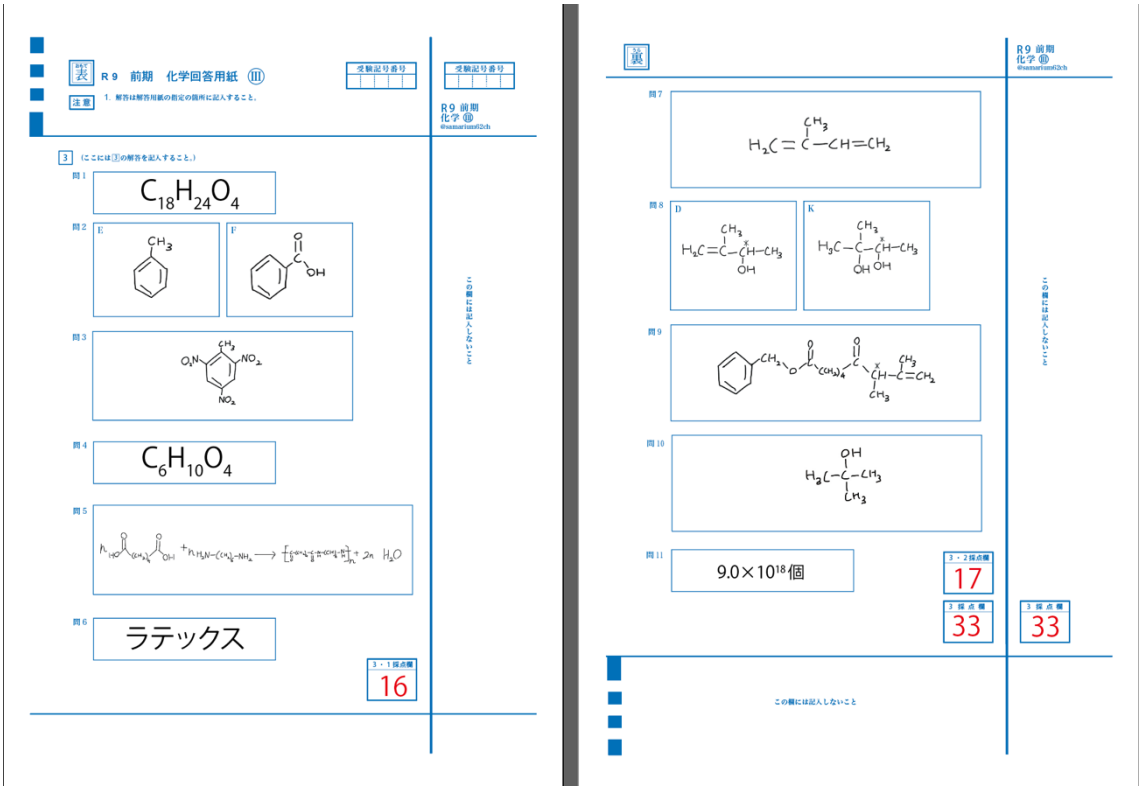
液性と硫化物の沈殿の関係は，ルシャトリエの原理で説明される。水溶液中で硫化水素は電離して S^{2-}を生じるが，その量はわずかである。

$$H_2S \rightleftharpoons 2H^+ + S^{2-}$$ （2 段階の電離を統合した）

水溶液が酸性だと，上の平衡は左へ傾く。酸性溶液中は H^+が多く存在するためである。
イオン化傾向が小さい金属は電気陰性度が大きい傾向にあり(強く電子を引っ張る→陽イオンになりにくいため。例外あり。)，共有結合性が増す。こうなると，イオンのように電離して水に溶けるようなことが起こりにくくなり，沈殿しやすくなる(この説明はかなり雑で，例外がかなり多い。詳しくは HSAB 則やファヤンスの規則を参考に)。

採点項目	配点
(a)，(b)，(e)のみを選択している	+3 点

3



問題	形式	範囲	難易度	配点
1	分子式	有機化学　実験式	1	3
2	構造式	有機化学　構造決定	2	2
	構造式	有機化学　構造決定	2	2
3	構造式	有機化学　構造決定	2	3
4	分子式	有機化学　実験式	1	2
5	反応式	高分子化学　合成繊維	2	3
6	語句	高分子化学　ゴム	1	1
7	構造式	有機化学　構造決定	1	2
8	構造式	有機化学　構造決定	3	2
	構造式	有機化学　構造決定	3	2
9	構造式	有機化学　構造決定	3	4
10	構造式	有機化学　構造決定	1	2
11	計算(数値)	高分子化学　ゴム	3	5
				33

枝問数	小問数	難易度 1	難易度 2	難易度 3	難易度 4	難易度 5	
11	13	5	4	4	0	0	
語句	記号 選択	計算 (数値)	計算 (過程)	反応式	分子式	論述	構造式
1	0	1	0	1	2	0	8

【出題内容】

問題	内容	問題	内容
1	実験式	8	アルコール　不斉炭素原子
2	ベンゼン環側鎖の酸化	9	構造決定
3	TNT	10	第 3 級ある刻子
4	実験式	11	ブチルゴム
5	ナイロン 66		
6	天然ゴム		
7	イソプレン		

【講評】

主に有機化学から出題した。東北大の有機化学は実験数が多く，複雑な構造が出題されがちだが，一つ一つ丁寧に対処していくのが大切である。

行き詰まったら大失点しかねないため，落ち着いて解いていきたい。この大問を最初にやるのもありである。

【解説】

問 1　　実験 1＋αまでで考える。

二酸化炭素 19.8mg に含まれる炭素は，$19.8\times\frac{12}{44}$=5.40mg

水 5.40mg に含まれる水素は，$5.40\times\frac{2}{18}$=0.60mg

化合物 A7.60mg 中に含まれる酸素は，7.60-5.40-0.60=1.60mg

よって，　C：5.40g　H：0.60g　O：1.60g

$=C_{0.45}H_{0.60}O_{0.1}$

$= C_9H_{12}O_2$ （組成式）

これの式量は 152 であるため，これを 2 倍した $C_{18}H_{24}O_4$ も候補に上がる。

なお，実験 2 以降を読むと、ベンゼン環を含んでいたり，炭素数が 5 の化合物が関係していたりと，明らかに炭素数は 9 を越えているので，分子式は $C_{18}H_{24}O_4$ だと考えてよい。

メタ補足

東北大は炭素数 20 前後にしがちなので，どうせ $C_{18}H_{24}O_4$ というメタ読みも可能。

採点項目	配点
分子式 $C_{18}H_{24}O_4$ を答えられている	+3 点

問 2　　実験 5 までで考える。

よくわからない化合物 E が登場しているが，実験 3 より化合物 E はベンゼン環を持ち，化合物 A を構成する化合物 B につながる物質であるとわかる。

実験 5 で化合物 E をニトロ化しており，そこには「爆発性が高く，淡黄色～黄褐色で針状結晶の化合物 H」と書かれている。これらの性質を持つものとして TNT が挙げられる。実際，化合物 E は側鎖に炭素原子を持つ芳香族であり，側鎖に炭素原子を持つ芳香族化合物をニトロ化したものなど，TNT しか考えられない。（2–ニトロトルエンや 4–ニトロトルエンもあるが，「濃硝酸，濃硫酸を加えて加熱」とあり，　この条件下なら TNT が生じると考える。なお，トルエンはオルトパラ配向性であり，置換反応の反応速度はベンゼンより速く，加熱なし濃硫酸なしでも 1 箇所をニトロ化することくらいは可能である。）

以上より，化合物 E はトルエンであることが確定する。また，実験 4 に「化合物 G は銀鏡反応を示した」とあるため，化合物 G はトルエンを酸化して生じるアルデヒド，すなわちベンズアルデヒドだとわかる。よって，化合物 F の方は安息香酸であると考えられる。

また，実験 3「化合物 B と化合物 E の炭素数は等しかった」より，化合物 B がベンジルアルコールであると確定する。

メタ補足

2–ニトロトルエンや 4–ニトロトルエンが生じる場合，特別な操作をしない限り両方とも生じる。そのため，化合物 H の構造がそれらの場合，どちらかなのかを決定できなくなるので，2–ニトロトルエンや 4–ニトロトルエンが正解になるはずがない。

採点項目	配点
化合物 E の構造式を書けている	+2 点
化合物 F の構造式を書けている	+2 点

問 3　問 2 の解説でもう出てきたが，化合物 H は TNT(2,4,6–トリニトロトルエン，または単にトリニトロトルエン)である。

採点項目	配点
化合物 H の構造式を書けている	+3 点

問 4　　実験 7 までで考える。
二酸化炭素 3.96mg に含まれる炭素は，$3.96\times\frac{12}{44}$=1.08mg
水 1.35mg に含まれる水素は，$1.35\times\frac{2}{18}$=0.15mg
化合物 A2.19mg 中に含まれる酸素は，2.19–1.08–0.15=0.96mg
よって，　C：1.08g　H：0.15g　O：0.96g
=$C_9H_{15}O_6$
=$C_3H_5O_2$　(組成式)
また，化合物 C と化合物 J でアミド結合を持つ高分子 J が得られることから，化合物 C はジカルボン酸であると考える。そのため，分子式は組成式の 2 倍以上となる。試しに $C_3H_5O_2$ を 2 倍すると $C_6H_{10}O_4$ になることや，実験 7「高分子 J は枝分かれのない構造」もふまえ，化合物 C がアジピン酸であると予想する。なお，実験 7「世界初の合成繊維」はナイロン 66 のことであり，化合物 C はアジピン酸，化合物 I はヘキサメチレンジアミンであることが確定する。なお，ナイロン 66 が世界初の合成繊維であることは教科書にも載っているが，この問題ではその知識がなかったとしても，化合物 C がアジピン酸であると推測して考えていけばいい(というかそれを想定している。推測だけでは答えは一意に定まらないが，高校範囲で登場するアミド結合を持つ繊維が限られているので，これで十分だろう。)

採点項目	配点
分子式 $C_6H_{10}O_4$ を答えられている	+2 点

問 5
高分子 J がナイロン 66 だとわかったため，反応式を書くだけである。n 個のアジピン酸に

は n 個のヘキサメチレンジアミンが反応し, 2n–1≒2n 個のアミド結合が生まれる。よって, 生じる水は 2n–1≒2n 個となる。反応式中の水の係数は 2n, 2n–1 どちらでも正解とするが, 2n が推奨である(精製物であるナイロン 66 の構造式は末端を考慮していない式なため)。

採点項目	配点
正しい反応式か書けている	+3 点

問 6

ラテックスに酢酸などの弱酸を加えると天然ゴムになる。これはコロイドの凝析と同じ原理である。

採点項目	配点
ラテックスと答えられている	+1 点

問 7

天然ゴムを乾留するとイソプレンが得られる。乾留というのは空気を遮断して加熱することで, 燃焼させずに熱分解させることが目的である。

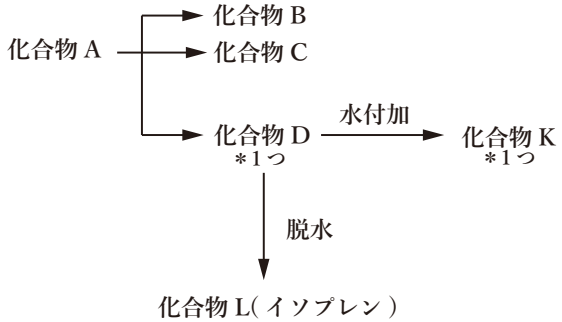
補足＋

イソプレンを構成単位として持つ天然の有機化合物をテルペンと言い, メントールやリモネン(イソプレン単位 2 つ)から, コレステロールなどのステロイド(イソプレン単位 4 つ)など, 多種多様な化合物がある。イソプレン単位を大量に持ったものが天然ゴムであり, これもテルペンの一種である。

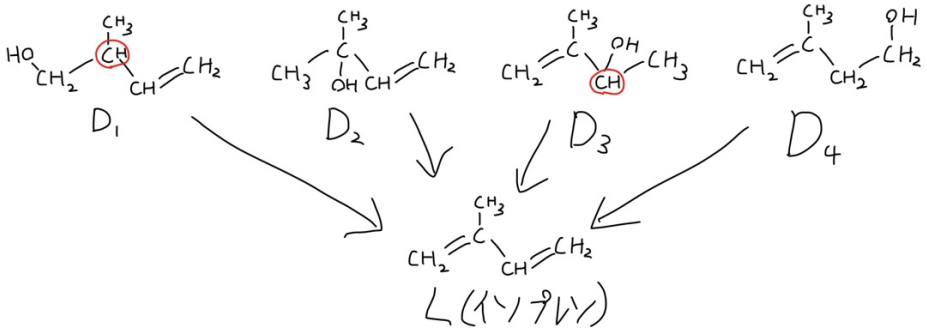
採点項目	配点
化合物 L の構造式を書けている	+2 点

問 8　　実験 9 までで考える

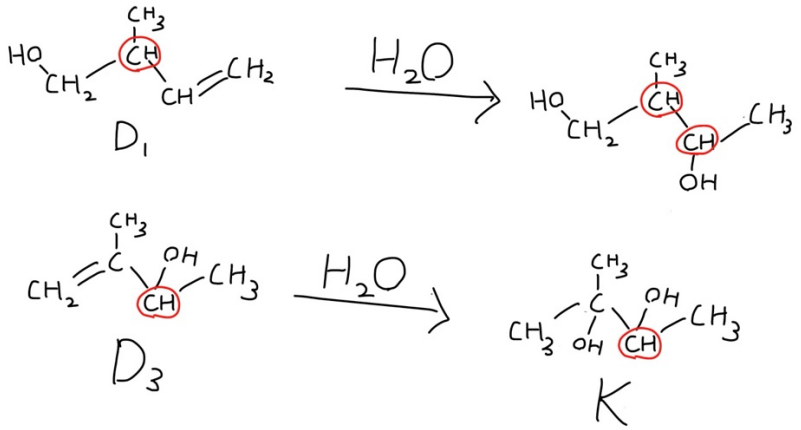
ここが少し難しい。化合物 A, D, K, L の関係を図にしてみる。



脱水して化合物 L になる構造を全て書き出す。



考えられる D_1〜D_4 のうち，不斉炭素原子を 1 つだけもつのは D_1，D_3 である。これにそれぞれ水を付加させる。



D_1 は水の付加によって不斉炭素原子を 2 つ持つ。D_3 は水の付加後も不斉炭素原子は 1 つだけなため，化合物 K は D_3 の水付加後，化合物 D は D_3 である。

採点項目	配点
化合物 D の構造式を書けている	+2 点
化合物 K の構造式を書けている	+2 点

問 9

これまでで化合物 B，C，D の構造がわかったため，これらを組み合わせればよい。構造完成後は問 1 で求めた分子式と一致するかを確認しよう。

採点項目	配点
化合物 A の構造式を書けている	+4 点

問 10　　実験 11 までで考える

炭素数が 4 の第 3 級アルコールなど 1 つしかないため，化合物 N は瞬殺である。

補足＋

化合物 N はターシャリーブタノール(tert–ブタノール，t–ブタノール，t–BuOH)という。これのリチウム置換物 t-BuLi(C_4H_9Li)は非常に危険で，空気に触れただけで燃え上がる。研究室でこれによる大学生の死亡事故も起きており(海外)，かなり危険だが有機化合物にリチウムを導入するのには便利な薬品であるため代替は難しく，使うときは細心の注意が必要とされる。

採点項目	配点
化合物 N の構造式を書けている	+2 点

問 11　　実験 12 までで考える

イソプレン(式量 68)1.02 mg と 2–メチルプロペン(式量 56)0.70 mg の物質量はそれぞれ

イソプレン：1.5×10^{-5}mol　　2–メチルプロペン：1.25×10^{-5}mol　である。

この二つの分子の総数は $2.75\times10^{-5}\text{mol}\times N_A$ 個である。

イソプレン分子 1 つには 2 つの二重結合があり，2–メチルプロペン分子 1 つには 1 つの二重結合があるため，二重結合の総数は $4.25\times10^{-5}\text{mol}\times N_A$ 個である。

付加重合によって $(2.75\times10^{-5}\text{mol}\times N_A)-1$ 個 $\fallingdotseq 2.75\times10^{-5}\text{mol}\times N_A$ 個の結合が生まれる。このとき，同数の二重結合が消費される。よって，高分子 O 中の二重結合の個数は，

$4.25\times10^{-5}\text{mol}\times N_A - 2.75\times10^{-5}\text{mol}\times N_A = 1.5\times10^{-5}\text{mol}\times N_A = \underline{9.0\times10^{18}\ \text{個}}$ である。

補足

高分子 O はブチルゴムというゴムの一種である。

採点項目	配点
答え 9.0×10^{18} 個が出ている	+5 点

【総合講評】

本模試を解いてくださってありがとうございました！東北大では頻出の題材がいくつかあり，それらは網羅できるようにしました。また，近年の傾向から，次はどのような題材の問題が出題されるかを予想して作問しました。特に有機は東北大の傾向にかなり寄せれたつもりです。なるべく悪問はないようにしましたが, 不親切なところがあったらごめんなさい。講評なら第二回も作ってみる予定です。

【総合分析】

枝問数	小問数	難易度 1	難易度 2	難易度 3	難易度 4	難易度 5
36	45	19	21	5	0	0
語句	記号選択	計算 (数値)	計算 (文字)	計算 (過程)	分子式	反応式
5	7	11	3	1	2	7
論述	構造式 (電子式)					
1	8					

全体的に計算が多め。簡単なものは確実に取りたい。溶解度など計算が複雑なものは，沼ったら後回しにするべきである。

また，配点を決めるにあたって，SNS 上の開示得点を参考にした。東北大は基礎的な問題が多いものの，あまり高得点を取れている人が見られなかった。これは問題の難易度に応じた傾斜配点が強めにあると考え，そのような配点とした。もしもっといい配点案があればぜひ教えていただきたい。