

第2回 解答・解説

第
2
回

設問別正答率

解答番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
配点	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4
正答率(%)	66.1	59.2	89.0	47.1	58.0	57.5	71.9	46.9	35.1	53.7
解答番号	11	12	13	14						
配点	3	3	4	4						
正答率(%)	38.7	64.1	52.4	21.7						

設問別成績一覧

設 問	設 問 内 容	配 点	全 体	現 役	高 卒	標準偏差
合計		50	27.3	26.7	34.1	10.9
1	物質の構成粒子，化学結合	25	16.1	15.9	19.1	6.2
2	化学量，酸・塩基，酸化還元	25	11.1	10.8	15.0	6.4

(50点満点)

問題 番号	設 問	解答番号	正解	配点	自己採点
第1問	問 1	1	④	3	
	問 2	2	⑤	4	
	問 3	3	①	4	
	問 4	4	④	4	
	問 5	5	⑥	3	
		6	①	3	
	問 6	7	④	4	
第1問 自己採点小計				(25)	
第2問	問 1	8	③	4	
	問 2	9	⑤	3	
	問 3	10	②	4	
	問 4	11	③	3	
	問 5	12	③	3	
	問 6	13	①	4	
	問 7	14	①	4	
第2問 自己採点小計				(25)	
自己採点合計				(50)	

第1問 物質の構成

問1 原子の構造

原子番号と陽子の数は等しい。また、質量数は、陽子の数と中性子の数の和なので、「中性子の数＝質量数－陽子の数」である。

①～⑤の選択肢についてまとめると、次の表のとおりである。

		陽子の数	中性子の数
①	${}^1_1\text{H}$	1	$1-1=0$
	${}^3_1\text{H}$	1	$3-1=2$
②	${}^2_1\text{H}$	1	$2-1=1$
	${}^4_2\text{He}$	2	$4-2=2$
③	${}^7_3\text{Li}$	3	$7-3=4$
	${}^9_4\text{Be}$	4	$9-4=5$
④	${}^{11}_5\text{B}$	5	$11-5=6$
	${}^{12}_6\text{C}$	6	$12-6=6$
⑤	${}^{14}_6\text{C}$	6	$14-6=8$
	${}^{14}_7\text{N}$	7	$14-7=7$

よって、中性子の数が同じ原子の組合せは、④(${}^{11}\text{B}$ と ${}^{12}\text{C}$)である。

1 … ④

問2 元素の周期律，周期表

① 正しい。2族に属するベリリウム Be ，マグネシウム Mg ，カルシウム Ca の原子の電子配置は、次の表のとおりである。

元素 記号	電子配置			
	K 殻	L 殻	M 殻	N 殻
${}_4\text{Be}$	2	2		
${}_{12}\text{Mg}$	2	8	2	
${}_{20}\text{Ca}$	2	8	8	2

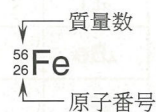
このように、2族元素の原子は、価電子を2個もつ。

なお、典型元素の原子では、希ガスを除き価電子の数が族番号の一の位の数値と一致する。

② 正しい。17族元素は、ハロゲンとよばれる。

③ 正しい。第2周期に属する原子番号3のリチウム Li から原子番号10のネオン Ne までの電子配置は、次の表のとおりである。

原子番号と質量数



(原子番号)＝(陽子の数)＝(電子の数)

(質量数)＝(陽子の数)＋(中性子の数)

電子配置

原子内で電子が存在する層を電子殻といい、原子核に近い内側から順に K 殻，L 殻，M 殻，…とよばれる。各電子殻に収容することのできる電子の最大数は、K 殻から順に 2 個，8 個，18 個，…であり、内側から n 番目の電子殻に収容することのできる電子の最大数は $2n^2$ 個である。電子は一般に内側の K 殻から順に収容される。なお、原子の最外殻電子の数は 8 を超えない。

価電子

原子がイオンになったり、化学結合するときに重要な役割を果たす電子を価電子という。希ガス以外の典型元素の原子では、最外殻電子が価電子である。希ガスの原子はイオンになったり、他の原子と結合することはほとんどないので、希ガス原子の価電子の数は 0 とする。

同族元素

アルカリ金属元素 H を除く 1 族元素

アルカリ土類金属元素 Be, Mg を除く 2 族元素

ハロゲン元素 17 族元素

希ガス(貴ガス)元素 18 族元素

元素 記号	電子配置	
	K 殻	L 殻
${}_3\text{Li}$	2	1
${}_4\text{Be}$	2	2
${}_5\text{B}$	2	3
${}_6\text{C}$	2	4
${}_7\text{N}$	2	5
${}_8\text{O}$	2	6
${}_9\text{F}$	2	7
${}_{10}\text{Ne}$	2	8

よって、第2周期に属するすべての原子の最外電子殻は、いずれもL殻である。

④ 正しい。電子親和力の値は、同一周期では17族元素の原子が最大である。よって、第3周期で原子の電子親和力が最も大きい元素は、塩素Clである。

⑤ 誤り。周期表1, 2, 12~18族の元素を典型元素という。典型元素には、非金属元素と金属元素の両方が含まれる。

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr

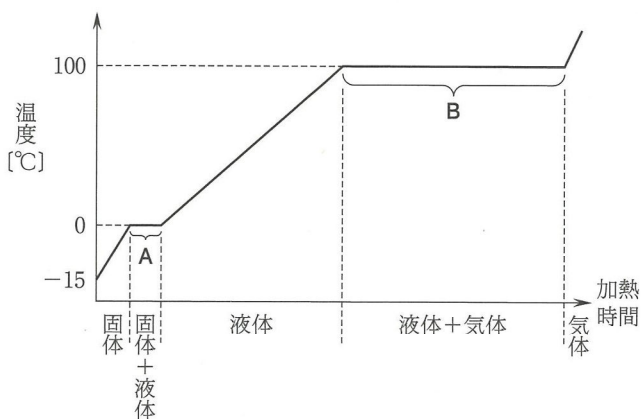
□ 典型元素
 □ 遷移元素
 ■ 典型元素

□ 金属元素
 ■ 非金属元素

2 ... ⑤

問3 状態変化

-15℃の固体の水(氷)を容器に入れ、1気圧(1.013×10^5 Pa)に保って加熱したときの加熱時間と温度の関係を次図に示す。

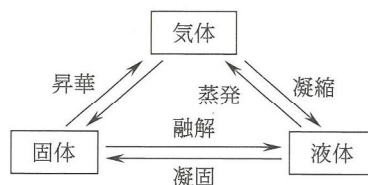


-15℃の氷に熱を加えていくと温度が上昇していく。温度が

電子親和力

原子が電子1個を取り入れて1価の陰イオンになるときに放出するエネルギー。電子親和力が大きい原子ほど陰イオンになりやすい。

物質の三態と状態変化



水の融点である 0°C に達すると固体から液体への状態変化(A 融解)が始まり, すべての氷が液体の水に変わるまで温度は 0°C に保たれる。その後も加熱を続けると, 液体の水の温度は上昇していく。温度が水の沸点である 100°C に達すると沸騰が始まり, すべての水が水蒸気になるまで温度は 100°C に保たれる。液体から気体への状態変化を B 蒸発という。なお, 沸騰とは液体の内部からも蒸発が起こる現象をいう。

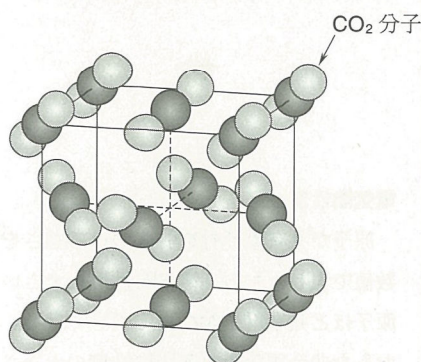
3 … ①

問4 炭素およびケイ素の酸化物

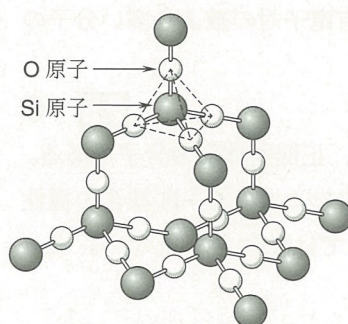
炭素, ケイ素は周期表の 14 族に属する。

炭素の酸化物である二酸化炭素 CO_2 の固体は, ドライアイスとよばれる。ドライアイスは, CO_2 分子どうしが弱い分子間力で引きあった分子結晶であり, 大気圧下, 常温で昇華する。

ケイ素の酸化物である二酸化ケイ素 SiO_2 は, 多数のケイ素原子 Si と酸素原子 O が共有結合で次々と結びついた共有結合の結晶(共有結合結晶)である。



ドライアイスの結晶構造



二酸化ケイ素の結晶構造の例

① 正しい。ドライアイスは, 大気圧下, 常温で昇華する。すなわち, 液体を経ずに気体になる。

② 正しい。ドライアイス中で, CO_2 分子どうしは分子間力で引きあっている。

③ 正しい。石英や水晶は, SiO_2 の結晶である。

④ 誤り。 SiO_2 の結晶は, 共有結合の結晶である。

⑤ 正しい。ケイ素の単体 Si は, 半導体として, コンピュータの集積回路や太陽電池などに用いられている。なお, ケイ素の単体 Si は天然には存在せず, SiO_2 の還元により製造されている。

4 … ④

問5 共有結合, 分子の形と極性

a 分子ア～エの電子式, 共有電子対および非共有電子対の数は, 次のとおりである。

分子結晶

分子が分子間力で結びついた結晶。一般に, 融点が低く, 軟らかくてもろい。また, 電気を導かない。ドライアイス CO_2 やヨウ素 I_2 , ナフタレン C_{10}H_8 など昇華性を示すものもある。

共有結合の結晶(共有結合結晶)

原子が共有結合によって次々と結びついた結晶。(ダイヤモンド C, 黒鉛 C, ケイ素 Si, 二酸化ケイ素 SiO_2 など)

融点が高く, 非常に硬い。また, 電気を導かない。(黒鉛は軟らかく, 電気を導く。また, ケイ素は半導体である。)

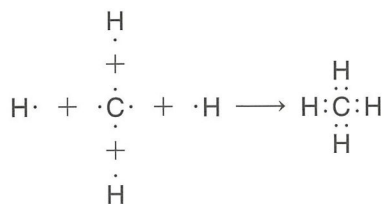
電子式

元素記号の周囲に最外殻電子を点(・)で表した化学式。

共有電子対, 非共有電子対

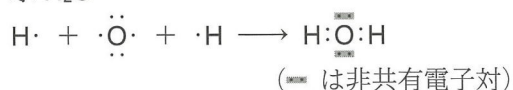
2 原子間で共有されている電子対を共有電子対, 共有されていない電子対を非共有電子対という。

ア メタン CH_4



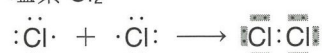
共有電子対：4組，非共有電子対：なし

イ 水 H_2O



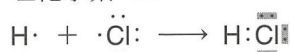
共有電子対：2組，非共有電子対：2組

ウ 塩素 Cl_2



共有電子対：1組，非共有電子対：6組

エ 塩化水素 HCl

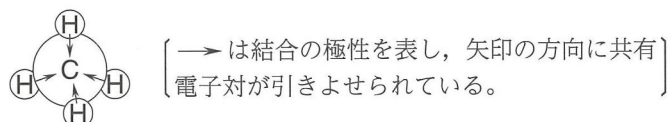


共有電子対：1組，非共有電子対：3組

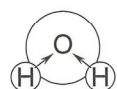
よって，非共有電子対の数が，共有電子対の数より多い分子の組合せは⑥(ウとエ)である。

5 … ⑥

b ① 誤り。アのメタン CH_4 は，正四面体形の分子である。 $\text{C}-\text{H}$ 結合には極性があるが，分子内で4本の $\text{C}-\text{H}$ 結合の極性は打ち消されるので，分子全体としては極性をもたない。よって， CH_4 は無極性分子である。



② 正しい。イの水 H_2O は，折れ線形の分子である。 $\text{O}-\text{H}$ 結合に極性があり，分子内で2本の $\text{O}-\text{H}$ 結合の極性が打ち消されないで，分子全体として極性をもつ。よって， H_2O は極性分子である。



③ 正しい。ウの塩素 Cl_2 は，直線形の分子である。 $\text{Cl}-\text{Cl}$ 結合に極性がなく， Cl_2 は無極性分子である。



④ 正しい。エの塩化水素 HCl は，直線形の分子である。 $\text{H}-\text{Cl}$ 結合に極性があり，分子全体として極性をもつ。よって， HCl は極性分子である。

電気陰性度

原子が共有電子対を引きつける強さを数値で表したもの。電気陰性度の大きい原子ほど共有電子対を強く引きつける。おもな非金属元素の電気陰性度の大きさは， $\text{F} > \text{O} > \text{Cl} > \text{N} > \text{C} > \text{H}$ の順である。

結合の極性

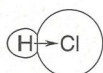
異なる原子間の共有電子対が電気陰性度の大きい原子の方に引きよせられるため，結合している原子間に電荷の偏りがあること。

無極性分子

原子間の結合に極性がない，あるいは，原子間の結合には極性があるが，その極性が互いに打ち消しあって，分子全体では極性をもたない分子。

極性分子

原子間の結合に極性があり，分子内でその極性が打ち消されず，分子全体として極性をもつ分子。



6 …①

問6 物質の電気伝導性

金属結晶は、自由電子をもち、固体状態でも融解して液体にしても、電気を導く。イオン結晶は、固体状態ではイオンが自由に移動できないので電気を導かないが、融解して液体にするとイオンが移動できるようになり、電気を導く。分子結晶は、固体状態でも融解して液体にしても、電気を導かない。

鉛 **Pb** は金属結晶であり、固体でも融解液でも電気を導き、電球が点灯する。よって、**ウ**が鉛である。

塩化ナトリウム **NaCl** はイオン結晶であり、固体では電気を導かないので電球が点灯しないが、融解液では電気を導くので電球が点灯する。よって、**ア**が塩化ナトリウムである。

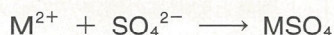
スクロース(ショ糖) **C₁₂H₂₂O₁₁** は分子結晶であり、固体でも融解液でも電気を導かないので電球が点灯しない。よって、**イ**がスクロースである。なお、スクロースは砂糖の主成分である。

7 …④

第2問 物質の変化

問1 化学量

ある金属 **M**(原子量を x とする)の2価の陽イオン M^{2+} を 0.020 mol 含む水溶液に硫酸ナトリウム **Na₂SO₄** 水溶液を加えると、次のイオン反応式で表される反応が起こる。



反応式より、反応した M^{2+} と生じた **MSO₄** (式量: $x+96$) の物質量は等しいので、

$$0.020 \text{ mol} = \frac{4.66 \text{ g}}{(x+96) [\text{g/mol}]}$$

$$x=137$$

なお、原子量 137 の元素はバリウム **Ba** であり、生じた沈殿は硫酸バリウム **BaSO₄** である。**BaSO₄** は、水に溶けにくい白色の固体である。

8 …③

問2 溶液の濃度

溶液を 20 倍に希釈するとモル濃度は $\frac{1}{20}$ になることから、希釈前のオキシドールのモル濃度を x [mol/L] とすると、

$$x [\text{mol/L}] \times \frac{1}{20} = 0.050 \text{ mol/L}$$

$$x=1.0 \text{ mol/L}$$

モル濃度から質量パーセント濃度を求める場合、溶液 1 L あたりで計算すると簡便である。オキシドール 1 L (=1000 cm³) の質

物質の電気伝導性

- ・金属結晶…電気を導く。
- ・イオン結晶…固体では電気を導かないが、融解液や水溶液は電気を導く。
- ・分子結晶…固体でも融解液でも電気を導かない。
- ・共有結合の結晶…電気を導かないものが多い。

ただし、黒鉛は電気を導く。ケイ素は電気をわずかに導く(半導体)。

モル濃度

溶液 1 L あたりに溶けている溶質の物質質量 [mol] で表した濃度。

モル濃度 [mol/L]

$$= \frac{\text{溶質の物質質量} [\text{mol}]}{\text{溶液の体積} [\text{L}]}$$

希釈

溶液に溶媒を加えて、濃度を小さくすることを希釈という。溶液を n 倍に希釈(体積を n 倍)すると、モル濃度は $\frac{1}{n}$ 倍になる。

量は,

$$1.0 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ g}$$

モル濃度が 1.0 mol/L だから、オキシドール 1 L には H_2O_2 (分子量 34) が 1.0 mol 含まれ、その質量は,

$$34 \text{ g/mol} \times 1.0 \text{ mol} = 34 \text{ g}$$

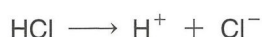
オキシドールの質量パーセント濃度は,

$$\frac{34 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 = 3.4 \%$$

9 ... ⑥

問3 酸と塩の水溶液の性質

① 正しい。 HCl は強酸であり、水溶液中で次のように完全に電離する。



また、 CH_3COOH は弱酸であり、水溶液中で次のように一部が電離する。



② 誤り。 $\text{pH } 3.0$ の水溶液中の水素イオン濃度は $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ より、希塩酸 (HCl の水溶液) のモル濃度は $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ である。

また、 $C [\text{mol/L}]$ の酢酸水溶液における CH_3COOH の電離度を α ($0 < \alpha < 1$) とすると、 $[\text{H}^+] = C\alpha$ より、 $\text{pH } 3.0$ の水溶液では、 $[\text{H}^+] = C\alpha = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ となり、 C は $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ より大きい。

③ 正しい。中和滴定では、中和点の前後で pH が急激に変化するので、この急激な pH 変化の範囲内に変色域をもつ指示薬を用いると、中和点を知ることができる。

酢酸水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えたときに起こる反応は、次のようになる。



この中和滴定は、弱酸の酢酸 CH_3COOH に強塩基の水酸化ナトリウム NaOH を加えているので、中和点では酢酸ナトリウム CH_3COONa の水溶液となり、塩基性を示す。また、中和点の前後では pH が急激に変化する。したがって、変色域が塩基性側 ($\text{pH } 8.0 \sim 9.8$) にあるフェノールフタレインを、この中和滴定の指示薬として用いることができる。

なお、酢酸水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を滴下したときの滴定曲線は、次のようになる。

質量パーセント濃度

溶液 100 g あたりに溶けている溶質の質量 $[\text{g}]$ で表した濃度。

質量パーセント濃度 $[\%]$

$$= \frac{\text{溶質の質量} [\text{g}]}{\text{溶液の質量} [\text{g}]} \times 100$$

酸の強弱

強酸 HCl , HNO_3 , H_2SO_4 など

水溶液中でほぼ完全に電離する。

弱酸 CH_3COOH , $(\text{COOH})_2$ など

水溶液中でわずかに電離する。

電離度

$$\text{電離度} = \frac{\text{電離した電解質の物質量}}{\text{溶けている電解質の物質量}}$$

中和滴定の指示薬

強酸と強塩基の滴定…フェノールフタレイン, メチルオレンジ

弱酸と強塩基の滴定…フェノールフタレイン

強酸と弱塩基の滴定…メチルオレンジ

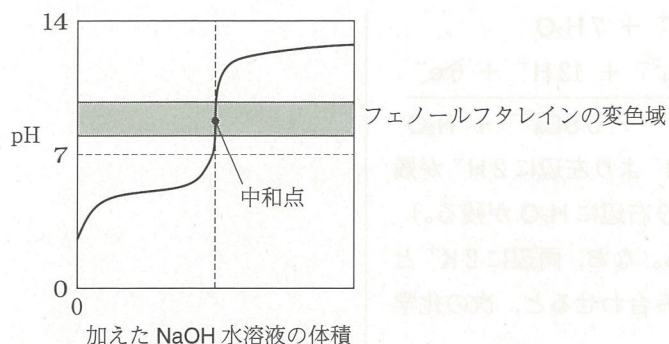
塩の水溶液の性質

強酸と強塩基からなる塩…中性

(ただし、 NaHSO_4 は酸性)

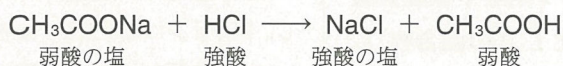
弱酸と強塩基からなる塩…塩基性

強酸と弱塩基からなる塩…酸性



④ 正しい。酢酸ナトリウム CH_3COONa は弱酸である CH_3COOH と強塩基である NaOH との中和反応により得られる塩であり、その水溶液は塩基性を示す。

⑤ 正しい。弱酸の塩*の水溶液に強酸を加えると弱酸が生じる。弱酸の塩である酢酸ナトリウム CH_3COONa の水溶液に強酸である塩酸を加えると、強酸の塩である NaCl とともに弱酸である CH_3COOH が生成する。



*弱酸の中和反応で生じる塩を弱酸の塩といい、強酸の中和反応で生じる塩を強酸の塩という。

10 … ②

問4 中和反応の量的関係

硫酸 H_2SO_4 は2価の酸、水酸化ナトリウム NaOH は1価の塩基なので、希硫酸のモル濃度を x [mol/L] とすると、中和反応の量的関係より、

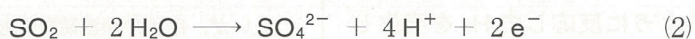
$$2 \times x \text{ [mol/L]} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1 \times 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{20}{1000} \text{ L}$$

$$x = 0.10 \text{ mol/L}$$

11 … ③

問5 酸化還元反応の反応式

二クロム酸イオン $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ は酸化剤、 SO_2 は還元剤としてはたらく、それぞれ次のように反応する。



酸化還元反応では、酸化剤が受け取る電子 e^- の数と還元剤が与える電子 e^- の数は等しい。したがって、(1)、(2)式のような酸化剤と還元剤のはたらきを表す電子を含むイオン反応式を、電子が消去されるように組み合わせると、酸化還元反応のイオン反応式が得られる。 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ と SO_2 との酸化還元反応のイオン反応式は、(1)式+(2)式 $\times 3$ により、 e^- の係数を6にして消去すると得られる。

弱酸の遊離

(弱酸の塩) + (強酸)

$\longrightarrow$ (強酸の塩) + (弱酸)

中和反応の量的関係

(酸の価数) $\times$ (酸の物質質量)

$=$ (塩基の価数) $\times$ (塩基の物質質量)

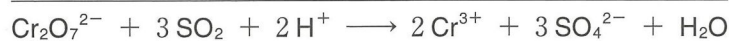
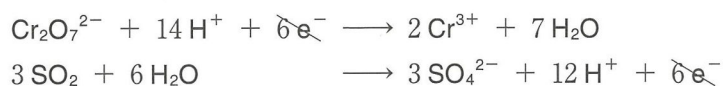
酸化と還元

	酸 化	還 元
O 原子	結びつく	失 う
H 原子	失 う	結びつく
電 子	失 う	得 る
酸化数	増加する	減少する

酸化剤・還元剤

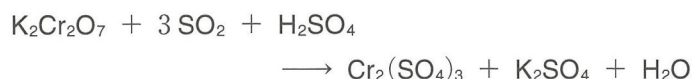
酸化剤 相手を酸化する物質。自身は還元され、酸化数が減少する原子を含む。

還元剤 相手を還元する物質。自身は酸化され、酸化数が増加する原子を含む。



(水素イオンは、左辺 14H^+ 、右辺 12H^+ より左辺に 2H^+ が残る。水は、左辺 $6\text{H}_2\text{O}$ 、右辺 $7\text{H}_2\text{O}$ より右辺に H_2O が残る。)

以上より、正解は③ ($b=2, c=1$)である。なお、両辺に 2K^+ と SO_4^{2-} を加え、陽イオンと陰イオンを組み合わせると、次の化学反応式が得られる。



12 … ③

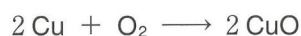
問6 金属の単体の性質

① 誤り。金 Au は濃塩酸と反応せず、濃塩酸に溶けない。よって、 Au を濃塩酸に入れても気体は発生しない。なお、イオン化傾向が非常に小さい Au は、強い酸化力をもつ硝酸や熱濃硫酸にも溶けないが、王水(濃硝酸と濃塩酸の体積比 $1:3$ の混合物)には溶ける。

② 正しい。イオン化傾向が大きいナトリウム Na は、水に入ると、次のように反応して水素 H_2 を発生しながら溶ける。



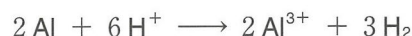
③ 正しい。銅 Cu を空気中で熱すると、表面に黒色の酸化銅(Ⅱ) CuO が生じる。



④ 正しい。イオン化傾向の小さい金属のイオンを含む水溶液に、それよりイオン化傾向の大きい金属の単体を入れると、イオン化傾向の大きい金属の単体が陽イオンになって溶け出すとともに、イオン化傾向の小さい金属の単体が析出する。鉄 Fe を硝酸鉛(Ⅱ) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液に入れると、 Fe の方が鉛 Pb よりイオン化傾向が大きいので、次の反応が起こり、 Pb が析出する。



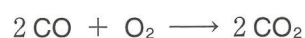
⑤ 正しい。イオン化傾向が H_2 より大きいアルミニウム Al は、希硫酸や塩酸に入れると、次のように反応して H_2 を発生しながら溶ける。



13 … ①

問7 化学反応式と量的関係

一酸化炭素 CO の燃焼は次の化学反応式で表される。



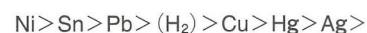
0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (標準状態)の気体の体積は物質質量に比例するので、次の関係が成り立つ。

$$(\text{反応式中の係数の比}) = \left(\frac{\text{反応により変化する気体の標準状態での体積の比}}{\quad} \right)$$

金属のイオン化傾向

金属の単体が水(溶液)中で電子を放出し、陽イオンになろうとする性質。

イオン化傾向が大きい金属の単体ほど水中で電子を放出してイオンになりやすく、イオン化傾向が小さい金属のイオンほど電子を受け取って単体になりやすい。



金属の単体の反応

・ Li から Na …冷水と反応し、 H_2 を発生する。

・ Li から Sn …塩酸や希硫酸と反応し、 H_2 を発生する。

(Pb は、表面に水に難溶な PbCl_2 や PbSO_4 の被膜を生じるため、塩酸や希硫酸にほとんど溶けない。)

・ Cu , Hg , Ag …塩酸や希硫酸と反応しないが、硝酸や熱濃硫酸と反応する。

・ Al , Fe , Ni …塩酸や希硫酸と反応するが、濃硝酸には溶けない(不動態)。

・ Pt , Au …王水(濃硝酸と濃塩酸の体積比 $1:3$ の混合物)と反応する。

モル体積

物質 1 mol の体積をモル体積という。

標準状態(0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)の気体のモル体積は、気体の種類によらず、 22.4 L/mol である。

以下の気体の体積はすべて標準状態での値である。

CO 8.0 L を含む容器に酸素 O₂ を加えて燃焼させると、加えた O₂ の体積が 4.0 L のとき過不足なく反応し、反応後には二酸化炭素 CO₂ 8.0 L のみが残る。

加えた O₂ の体積を x [L] とし、次の二つに場合分けして、反応後の気体の体積を考える。

(1) $x \leq 4.0$ のとき

加えた O₂ がすべて反応し、反応後の各気体および気体全体の体積は次のようになる。

	2 CO	+	O ₂	→	2 CO ₂	気体全体
反応前	8.0		x		0	$8.0 + x$
変化量	$-2x$		$-x$		$+2x$	$-x$
反応後	$8.0 - 2x$		0		$2x$	8.0

[単位：L]

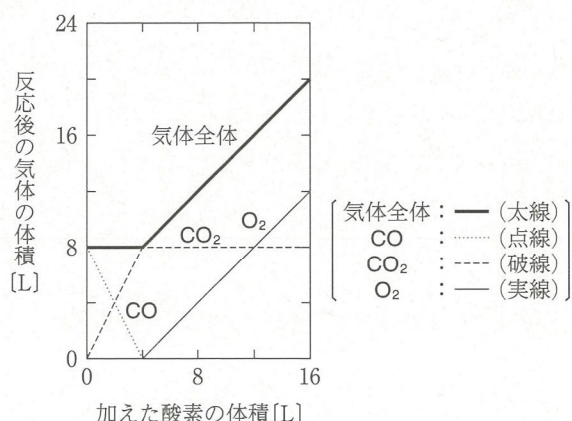
(2) $x \geq 4.0$ のとき

CO がすべて反応し、反応後の各気体および気体全体の体積は次のようになる。

	2 CO	+	O ₂	→	2 CO ₂	気体全体
反応前	8.0		x		0	$8.0 + x$
変化量	-8.0		-4.0		$+8.0$	-4.0
反応後	0		$x - 4.0$		8.0	$4.0 + x$

[単位：L]

以上により、加えた酸素の体積 [L] と反応後の気体全体の体積 [L] の関係を表したグラフは、次の図の太線のようにになる。



グラフのように、反応後の CO と CO₂ の体積の和は、反応前の CO の体積と等しく、8.0 L で変化しない。また、加えた O₂ の体積が 4.0 L を超えると、反応後に $(x - 4.0)$ [L] の O₂ が残るので、気体全体の体積 (CO₂ と O₂ の体積の和) は、 $(4.0 + x)$ [L] になる。

化学反応式が表す量的関係

化学反応式中の係数の比は、反応物と生成物の変化する物質量の比を表す。

(反応式中の係数の比)

$$= \left(\frac{\text{反応により変化する物質の物質量の比}}{\text{物質の物質量の比}} \right)$$

さらに気体の場合、係数比は変化する標準状態の体積比でもある。