高校化学 L01 第 132 講 アルカリ金属とナトリウム化合物

この講でできるようになること

- アルカリ金属に共通する性質を、電子配置と反応性から説明できる。
- 炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウムの違いを、組成や反応条件から判断できる。
- ナトリウム化合物の反応を、物質量比と化学式から考えられる。

アルカリ金属の性質

アルカリ金属は周期表の 1 族に属する金属元素である。

代表的なアルカリ金属として、リチウムLi、ナトリウムNa、カリウムKがある。

これらの元素は、最外殻電子を 1 個持つという共通点がある。

元素	電子殻配置	最外殻電子
Li	2,1	1 個
Na	2,8,1	1 個
K	2,8,8,1	1 個

最外殻電子を 1 個失うことで、+1価の陽イオンになりやすい。

$$Li \rightarrow Li^+ + e^-$$

$$Na \rightarrow Na^+ + e^-$$

$$K \rightarrow K^+ + e^-$$

同じ族では似た化学的性質を示す。

下に行くほど電子殻の数が増え、最外殻電子が原子核から離れるため、電子を失いやすくなる傾向がある。

そのため、同じ条件で水と反応すると、 $Li < Na < K$ の順に反応が激しくなる。

ただし、この傾向を水溶液中のすべてのイオン化傾向と単純に同じものとして扱うことはできない。

©ミライコーチング

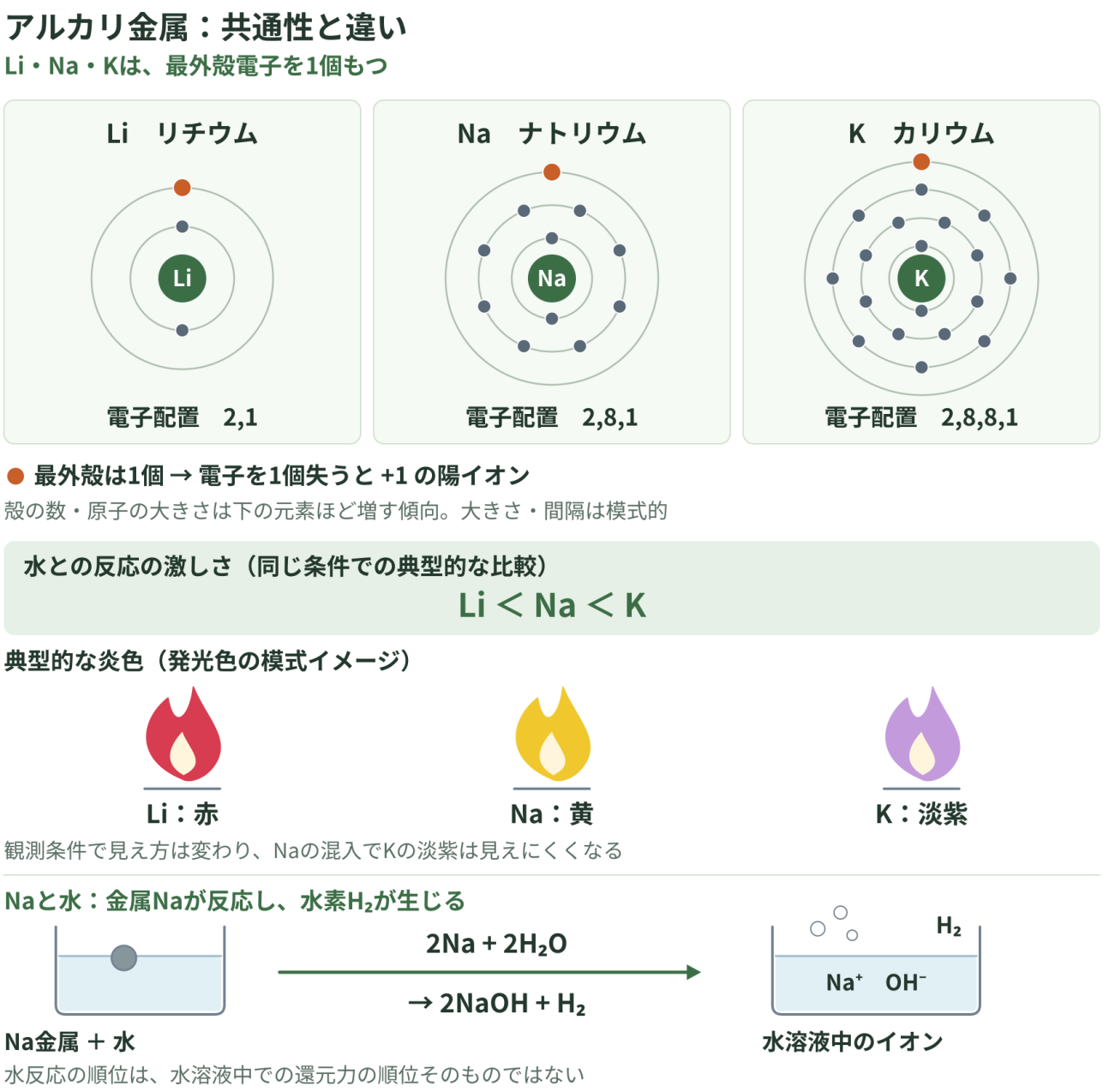


図 1　Li、Na、K の電子配置、最外殻電子、水との反応傾向、炎色を比較する。

アルカリ金属と水の反応

アルカリ金属は水と反応して、水酸化物と水素を生じる。

一般式では、$2M + 2H_2O \rightarrow 2MOH + H_2$ と表される。

例えばナトリウムでは、$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$ である。

この反応では、ナトリウムが電子を失って酸化され、水中の水素が還元される。

アルカリ金属は空気や水分と反応しやすいため、接触を避ける条件で管理される。

また、酸素との反応では条件によって生成物が異なるため、すべてのアルカリ金属が必ず同じ酸化物を作ると考えない。

実験の安全

アルカリ金属と水の反応は激しく、$NaOH$には強い腐食性がある。これらの反応や薬品操作は、適切な設備と指導者の管理下で学び、家庭では試さない。

アルカリ金属の炎色反応

アルカリ金属の化合物を加熱すると、元素ごとに特徴的な色を示す。

元素	炎色
Li	赤
Na	黄
K	淡紫

炎色は観察条件によって見え方が変化し、特に Na は少量でも影響が大きいため、他元素の色を見えにくくする場合がある。

炎色は元素を区別する手がかりであり、物質そのものの色とは区別する。

水酸化ナトリウム NaOH

水酸化ナトリウム$NaOH$は、強塩基として働く白色固体である。

水に溶けるときは発熱する。

また、空気中の水分を吸収して溶ける潮解性を持つ。

潮解とは、水分を吸収して物質が溶解する現象であり、二酸化炭素の吸収とは異なる。

$NaOH$は酸と中和反応をする。

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

また、二酸化炭素とも反応する。

$NaOH$が十分存在する場合、 $2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$ となる。

さらに、二酸化炭素を水中で十分供給すると、 $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3$ となる場合がある。

総括的には、 $NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3$ と表すこともできるが、実際の生成物は二酸化炭素量や条件によって変化する。

炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウム

炭酸ナトリウムNa_2CO_3と炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$は、どちらもナトリウム塩である。

炭酸イオンは、 CO_3^{2-} であり、炭酸水素イオンは、 HCO_3^- である。

HCO_3^-では、炭素に結合する 3 個の酸素のうち 1 個に、水素が 1 個結合している。

物質	陰イオン	特徴
Na_2CO_3	CO_3^{2-}	炭酸ナトリウム
$NaHCO_3$	HCO_3^-	炭酸水素ナトリウム

これらは独立した分子として存在するのではなく、陽イオンNa^+と陰イオンの組み合わせとして考える。

$NaHCO_3$は酸性塩に分類される。

ただし、酸性塩とは、もとの酸の電離できる水素の一部がNa^+などの陽イオンに置き換わり、電離できる水素が残っている塩という組成上の分類であり、水溶液が必ず酸性になるという意味ではない。

Na_2CO_3と$NaHCO_3$の水溶液は、どちらも陰イオンが水と反応してOH^-を生じるため、塩基性を示す。同じ温度・同じモル濃度で比べると、Na_2CO_3の方が塩基性が強く、$NaHCO_3$は通常、弱い塩基性を示す。

炭酸塩の酸との反応

炭酸ナトリウムに酸を加えると、加えた酸の量に応じて反応が進む。

十分な酸を加える場合、 $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$ となる。

炭酸水素ナトリウムの場合は、 $NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$ となる。

炭酸塩では、最初のH^+によって、 $CO_3^{2-} + H^+ \rightarrow HCO_3^-$ となり、さらにH^+を受け取ると、$HCO_3^- + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O$ へ変化する。

二酸化炭素と水まで変化させるには、炭酸イオン 1mol にはH^+が 2mol、炭酸水素イオン 1mol にはH^+が 1mol 必要である。酸が不足すれば、炭酸水素イオンが残る場合がある。

炭酸水素ナトリウムの加熱

炭酸水素ナトリウムは加熱すると分解する。

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

この反応では炭酸ナトリウム、二酸化炭素、水が生じる。

一方、通常の加熱条件では炭酸ナトリウムが同じように分解するとは考えない。

炭酸ナトリウムの水和物と用途

炭酸ナトリウム十水和物$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$は結晶水を含む。

乾燥した空気中では結晶水の一部を失う風解を示す場合がある。

風解は、空気中の水分を吸収して溶ける NaOH の潮解とは異なる。

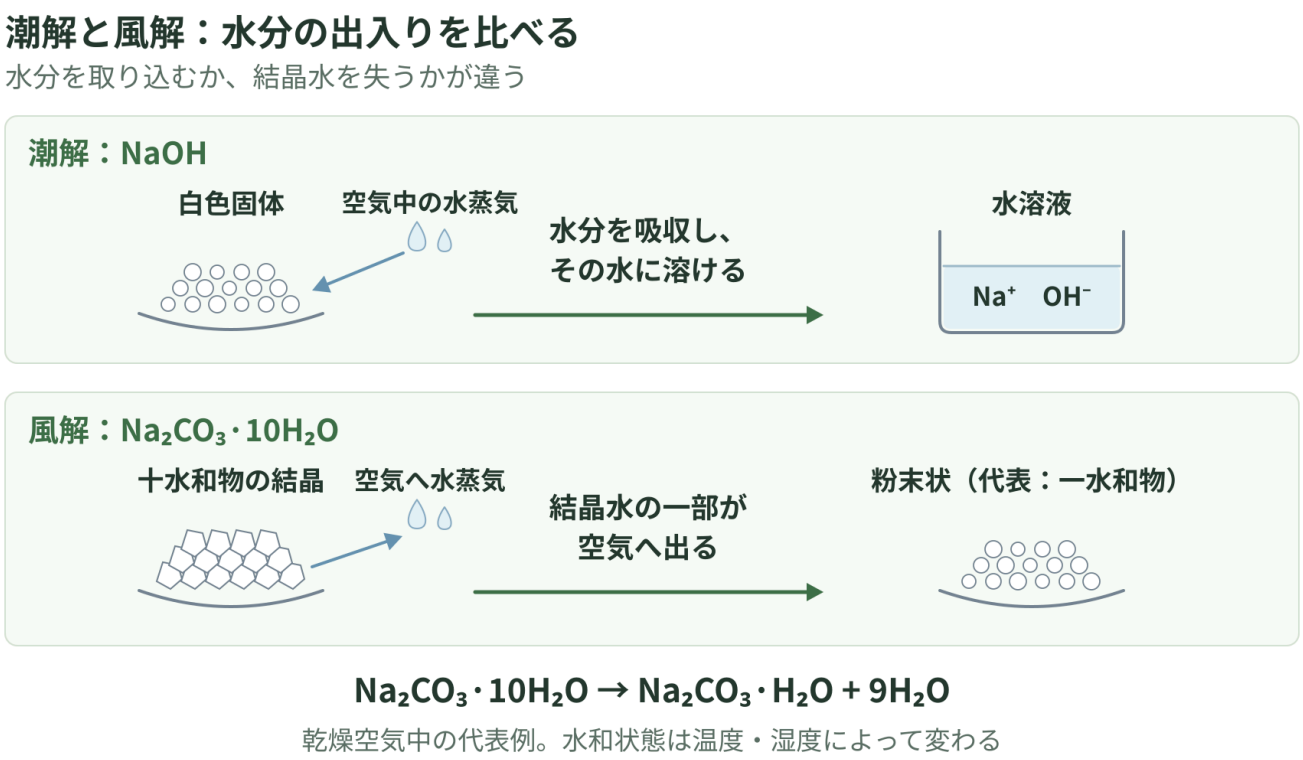


図 2　潮解は空気中の水分を取り込み、風解は結晶水を失う。

物質	性質	用途例
Na_2CO_3	塩基性、ガラス原料	ガラス製造など
$NaHCO_3$	加熱分解、二酸化炭素発生	膨張剤など

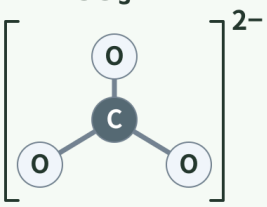
ナトリウム化合物では、化学式だけでなく、陰イオンの種類や反応条件を確認することが重要である。

ナトリウム化合物：粒子と反応条件

イオンの構造と、物質が変わる条件を対応させる

炭酸イオン

CO_3^{2-}

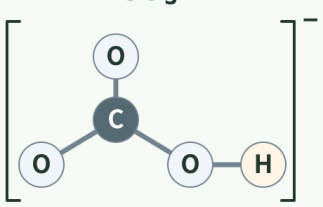


C：1個　O：3個

全体の電荷：−2

炭酸水素イオン

HCO_3^-



C：1個　O：3個　H：1個

全体の電荷：−1

線は結合関係のみ（結合次数は省略）。HはOにつながる

塩の構成比（電荷の合計は0）

Na_2CO_3：Na^+とCO_3^{2-}が 2：1　　**$NaHCO_3$：Na^+とHCO_3^-が 1：1**

結晶はイオンが多数並ぶ。独立したNa_2CO_3分子を表してはいない

① CO_2の量で、主な生成物が変わる

NaOH ⟶（NaOHが十分）**Na_2CO_3** ⟶（さらにCO_2＋水）**$NaHCO_3$**

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3$$

量・温度・濃度などで混合物にもなる。途中を一種類と決めつけない

② $NaHCO_3$固体の加熱：CO_2と水を失う

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

Na_2CO_3は通常の学校実験の加熱では、このようには分解しない

③ 十分な塩酸：どちらからもCO_2が発生

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$$

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$$

図 3　炭酸イオンと炭酸水素イオンの違い、NaOH・Na2CO3・NaHCO3 の反応条件を比較する。

例題

例題 1

アルカリ金属の性質について考える。

条件として、Li、Na、K の電子配置はそれぞれ$2,1$、$2,8,1$、$2,8,8,1$である。

1. Li、Na、K に共通する電子配置上の特徴を説明し、生じやすい陽イオンを答えよ。
2. ナトリウムNaを十分量の水と反応させる。反応式を示し、Na の酸化数変化を説明せよ。

解答・解説

1.
Li、Na、K はいずれも最外殻電子を 1 個持つ。

この電子を失うことで、希ガスと同じ安定な電子配置に近づくため、$+1$価の陽イオンになりやすい。

したがって、生成しやすい陽イオンは、 Li^+, Na^+, K^+ である。

2.
ナトリウムと水の反応は、 $2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$ である。

Na は単体では酸化数 0 であり、反応後はNa^+となるため、 $0 \rightarrow +1$ となる。

Na は電子を失って酸化され、水中の水素は電子を受け取って還元される。

例題 2

炭酸ナトリウムNa_2CO_3と炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$について考える。

1. それぞれに十分な希塩酸を加えたときの反応式を示し、塩 1mol あたりに必要な HCl の物質量を比較せよ。
2. $NaHCO_3$を加熱した場合の反応式を示し、同程度の加熱条件でNa_2CO_3との違いを説明せよ。

解答・解説

1.

炭酸ナトリウムでは、 $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$ となる。

Na_2CO_3 1mol に対して、HCl は 2mol 必要である。

炭酸水素ナトリウムでは、 $NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$ となる。

$NaHCO_3$ 1mol に対して、HCl は 1mol 必要である。

塩	必要な HCl
Na_2CO_3 1mol	2mol
$NaHCO_3$ 1mol	1mol

これは、炭酸イオンCO_3^{2-}が 2 個の H^+を受け取る段階を持つのに対し、炭酸水素イオンHCO_3^-は 1 個の H^+で二酸化炭素と水になるためである。

2.

炭酸水素ナトリウムの加熱分解は、 $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ である。

$NaHCO_3$では炭酸水素イオン中の水素を含む構造が変化し、二酸化炭素と水が生じる。

一方、通常の加熱条件ではNa_2CO_3はこのように分解しない。

したがって、炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウムでは、加熱時の反応性が異なる。

例題 3

純粋な炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$固体 16.8g を、示した反応だけが完全に進む条件で加熱する。

反応式は、 $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ である。

発生したCO_2は乾燥後、0℃、1.013×10^5Paで測定する。

条件：

- $M(NaHCO_3) = 84.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- $M(Na_2CO_3) = 106\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- 気体のモル体積は$22.4\,\mathrm{L\,mol^{-1}}$
- 水は残留せず、残渣は無水Na_2CO_3のみとする。

1. 発生するCO_2の物質量と体積を求めよ。
2. 加熱後に残るNa_2CO_3の質量を求めよ。

解答・解説

1.
まず$NaHCO_3$の物質量を求める。

$$n(NaHCO_3) = \frac{16.8}{84.0} = 0.200\,\mathrm{mol}$$

反応式より、 $n(NaHCO_3) : n(CO_2) = 2 : 1$ である。

したがって、 $n(CO_2) = 0.200 \times \frac{1}{2} = 0.100\,\mathrm{mol}$ となる。

気体の体積は、 $0.100 \times 22.4 = 2.24\,\mathrm{L}$ である。

したがって、発生するCO_2は$0.100\,\mathrm{mol}$、体積は$2.24\,\mathrm{L}$である。

2.
反応式より、 $n(NaHCO_3) : n(Na_2CO_3) = 2 : 1$ である。

生成するNa_2CO_3の物質量は、 $n(Na_2CO_3) = 0.200 \times \frac{1}{2} = 0.100\,\mathrm{mol}$ となる。

質量は、 $0.100 \times 106 = 10.6\,\mathrm{g}$ である。

反応前の$NaHCO_3$中の Na、C、O、H の原子が反応後に分配され、質量保存が成り立つ。

演習

演習 1

アルカリ金属について考える。

条件として、Li、Na、K の電子配置はそれぞれ$2,1$、$2,8,1$、$2,8,8,1$である。

1. Li、Na、K に共通する最外殻電子の特徴を説明し、それぞれが生じやすいイオンの電荷を答えよ。
2. Li、Na、K の代表的な炎色を答え、Na が混入すると K の炎色観察が難しくなる理由を説明せよ。

演習 2

ナトリウムNaと水の反応について考える。

十分量の水が存在し、副反応は起こらず、ナトリウムは完全に反応するものとする。

1. ナトリウムと水の反応式を示し、電子の移動から酸化還元の関係を説明せよ。
2. ナトリウムNaが0.0460 mol完全に反応するとき、発生する水素H_2の物質量を求めよ。

演習 3

水酸化ナトリウム$NaOH$と二酸化炭素CO_2の反応について考える。

1. $NaOH$が十分存在する場合と、さらに水中でCO_2を十分供給した場合について、それぞれ生成する物質の反応式を示し、二酸化炭素量による違いを説明せよ。
2. $NaOH$の潮解と、炭酸ナトリウム十水和物$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$の風解の違いを説明せよ。

演習 4

炭酸ナトリウムNa_2CO_3と炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$に十分な希塩酸を加える。

1. それぞれの反応式を示し、発生する二酸化炭素の生成過程を説明せよ。
2. Na_2CO_3を0.0100 mol、$NaHCO_3$を0.0100 molそれぞれ完全反応させるために必要な HCl の物質量を求めよ。

演習 5

純粋な炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$固体8.40 gを、指定された熱分解反応のみが完全に進行する条件で加熱する。

反応後、水はすべて除かれ、残渣は無水炭酸ナトリウムNa_2CO_3のみとする。

条件：

- $M(NaHCO_3) = 84.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- $M(Na_2CO_3) = 106\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$

1. 発生するCO_2の物質量を求めよ。
2. 加熱後に残るNa_2CO_3の質量を求めよ。

演習 6

炭酸水素ナトリウム$NaHCO_3$について考える。

1.「$NaHCO_3$は酸性塩なので、水溶液は酸性である」という説明が正しいか判断し、酸性塩の分類と水溶液の液性の違いを理由とともに説明せよ。

©ミライコーチング

演習の解答・解説

解答 1

1.
Li、Na、K はいずれも最外殻電子を 1 個持つ。

そのため、最外殻電子を 1 個失って安定な電子配置に近づき、+1価の陽イオンになりやすい。

したがって、生じやすいイオンはそれぞれLi^+、Na^+、K^+である。

2.
アルカリ金属の代表的な炎色は、Li が赤色、Na が黄色、K が淡紫色である。

Na は強い黄色の炎色を示すため、少量の Na が混入すると K の淡紫色が見えにくくなる。

そのため、炎色観察では混入した元素の影響を考える必要がある。

解答 2

1.
ナトリウムと水の反応は、$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$ である。

Na は単体で酸化数 0 であり、反応後はNa^+となるため、$0 \rightarrow +1$ となる。

Na は電子を失って酸化され、水中の水素は電子を受け取って還元される。

2.
反応式より、$n(Na) : n(H_2) = 2 : 1$ である。

Na が$0.0460\,\mathrm{mol}$反応すると、発生するH_2は、$0.0460 \times \frac{1}{2} = 0.0230\,\mathrm{mol}$ となる。

したがって、発生する水素は$0.0230\,\mathrm{mol}$である。

解答 3

1.
$NaOH$が十分存在する場合は、$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$ となる。

さらに、水中でCO_2を十分供給すると、$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3$ となる。

二酸化炭素の量によって、生成する炭酸塩の種類が変化する。

2.
$NaOH$の潮解は、空気中の水分を吸収して溶ける現象である。

一方、$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$の風解は、結晶水を失う現象である。

風解では湿度や温度によって水和状態が変化するため、普通の乾燥条件で必ず無水Na_2CO_3になるとは限らない。

潮解は水分を取り込む現象、風解は結晶中の水を失う現象であり、異なる。

解答 4

1.
炭酸ナトリウムでは、$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$ である。

炭酸水素ナトリウムでは、$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$ である。

どちらも酸によって炭酸由来の成分が二酸化炭素と水へ変化する。

2.
Na_2CO_3 0.0100mol では、反応式より HCl との比は、$n(Na_2CO_3) : n(HCl) = 1 : 2$ である。

したがって必要な HCl は、$0.0100 \times 2 = 0.0200\,\mathrm{mol}$ となる。

$NaHCO_3$ 0.0100mol では、$n(NaHCO_3) : n(HCl) = 1 : 1$ である。

したがって必要な HCl は、$0.0100\,\mathrm{mol}$ となる。

解答 5

1.
反応式は、$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ である。

まず$NaHCO_3$の物質量を求める。

$$n(NaHCO_3) = \frac{8.40}{84.0} = 0.100\,\mathrm{mol}$$

反応式より、$n(NaHCO_3) : n(CO_2) = 2 : 1$ なので、$n(CO_2) = 0.100 \times \frac{1}{2} = 0.0500\,\mathrm{mol}$ となる。

2.
反応式より、$n(NaHCO_3) : n(Na_2CO_3) = 2 : 1$ なので、生成するNa_2CO_3は、$0.100 \times \frac{1}{2} = 0.0500\,\mathrm{mol}$ である。

質量は、$0.0500 \times 106 = 5.30\,\mathrm{g}$ となる。

したがって、残留する無水Na_2CO_3の質量は5.30 gである。

解答 6

1.
「$NaHCO_3$は酸性塩なので、水溶液は酸性である」という説明は誤りである。

酸性塩とは、もとの酸の電離できる水素の一部がNa^+などの陽イオンに置き換わり、電離できる水素が残っている塩という組成上の分類であり、水溶液の液性を直接表すものではない。

$NaHCO_3$水溶液では、HCO_3^-が水と反応して一部OH^-を生じるため、通常は弱い塩基性を示す。

したがって、酸性塩という名前だけで水溶液が酸性になると判断してはいけない。