高校化学 L01 第 133 講 アルカリ土類金属

この講でできるようになること

- Mg、Ca、Ba などの 2 族元素について、電子配置とイオン化の特徴を説明できる。
- 水酸化物や硫酸塩の溶解性の違いを、元素ごとの性質として比較できる。
- カルシウム化合物の変化を、条件に応じた化学反応式で説明できる。

アルカリ土類金属の特徴

アルカリ土類金属は、周期表の 2 族元素のうち、高校化学では主に Ca、Sr、Ba、Ra を指す。

ただし、本講では同じ 2 族元素である Mg も比較対象として扱う。

Mg、Ca、Ba はいずれも最外殻電子を 2 個持つ。

元素	電子配置	最外殻電子
Mg	2,8,2	2 個
Ca	2,8,8,2	2 個
Ba	2,8,18,18,8,2	2 個

そのため、最外殻電子を 2 個失い、$2+$の陽イオンになりやすい。

$$M \rightarrow M^{2+} + 2e^-$$

下に行くほど電子殻の数が増え、外側の電子は原子核から離れる。

そのため、電子を失いやすくなる傾向がある。

ただし、電子を失いやすいことだけから、すべての元素が常温の水と同じように反応すると考えることはできない。

©ミライコーチング

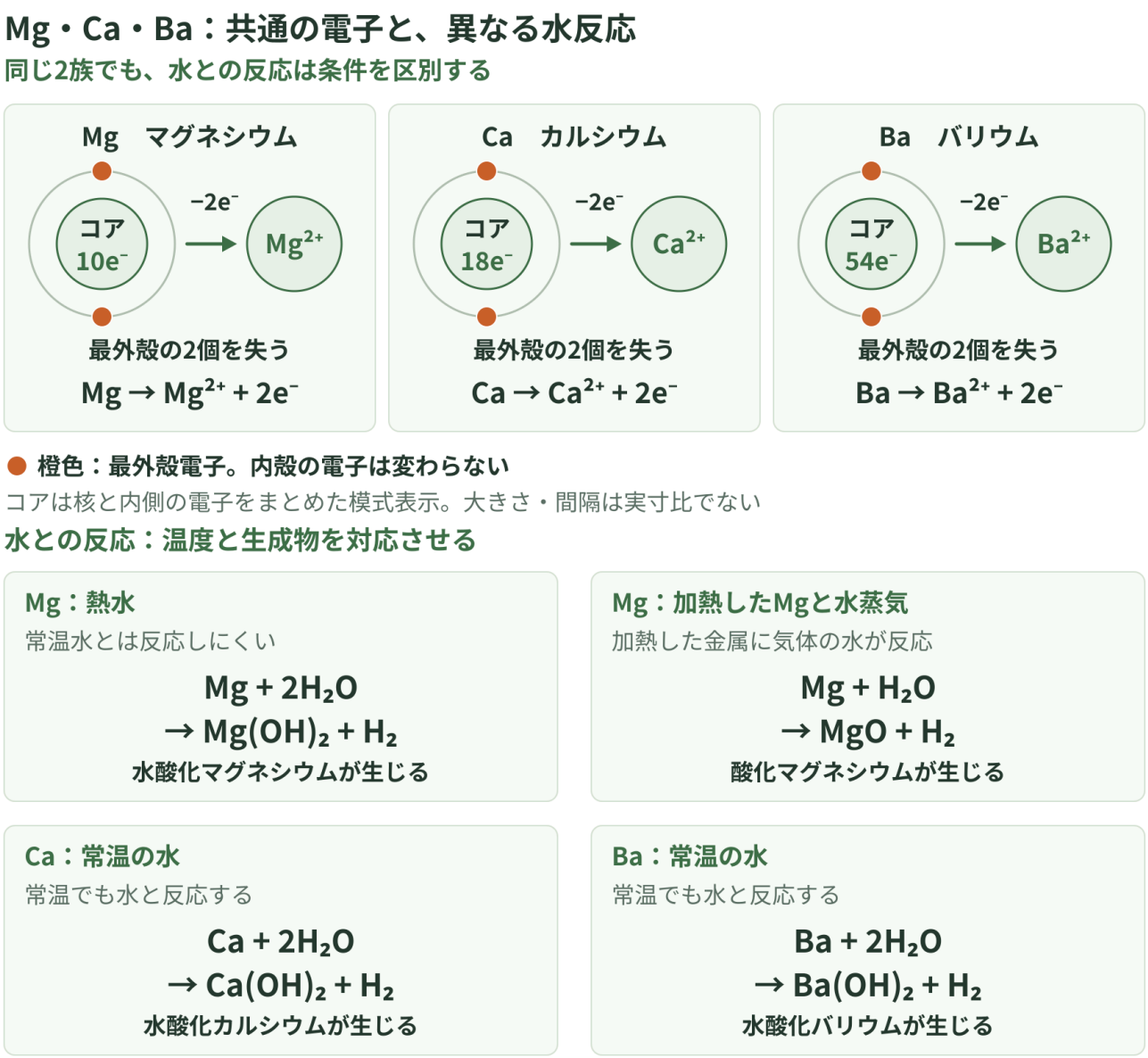


図 1　Mg・Ca・Ba の最外殻電子と、水との反応条件を比較する。

2 族金属と水の反応

Ca や Ba は常温の水と反応する。

$$M + 2H_2O \rightarrow M(OH)_2 + H_2$$

例えばカルシウムでは、$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2$ となる。

この反応では、金属が電子を失って酸化され、水中の水素が還元される。

一方、Mg は常温の水とは反応しにくい。

熱水では、$Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$ となり、水蒸気との高温反応では、$Mg + H_2O \rightarrow MgO + H_2$ となる。

Mg では条件によって生成物が変化するため、Ca や Ba と同じ反応として扱わない。

また、希塩酸とは代表的に、$M + 2HCl \rightarrow MCl_2 + H_2$ のように反応する。

酸化物と水酸化物

MgO、CaO、BaO は代表的な塩基性酸化物である。

酸化物は酸と反応して塩を作る。

また、CaO は水と反応して水酸化カルシウムを作る。

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

この反応では熱が発生する。

CaO は生石灰、$Ca(OH)_2$は消石灰と呼ばれる。

水酸化物の溶けやすさには族内で違いがある。

水酸化物	溶解性の傾向
$Mg(OH)_2$	難溶
$Ca(OH)_2$	少量溶解
$Ba(OH)_2$	比較的溶けやすい

水酸化物が水に溶けた部分からOH^-が生じるため、溶解性と塩基性の強さは関連するが、単純に同じ意味ではない。

硫酸塩の溶解性

2 族金属の硫酸塩では、水酸化物とは異なる溶解傾向を示す。

硫酸塩	溶解性の傾向
$MgSO_4$	溶けやすい
$CaSO_4$	少し溶ける、難溶
$BaSO_4$	非常に溶けにくい

特に$BaSO_4$は白色の難溶性固体であり、条件がそろうと沈殿を生じる。

$$Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$$

このような沈殿は、イオンの組み合わせと条件によって判断する。

©ミライコーチング

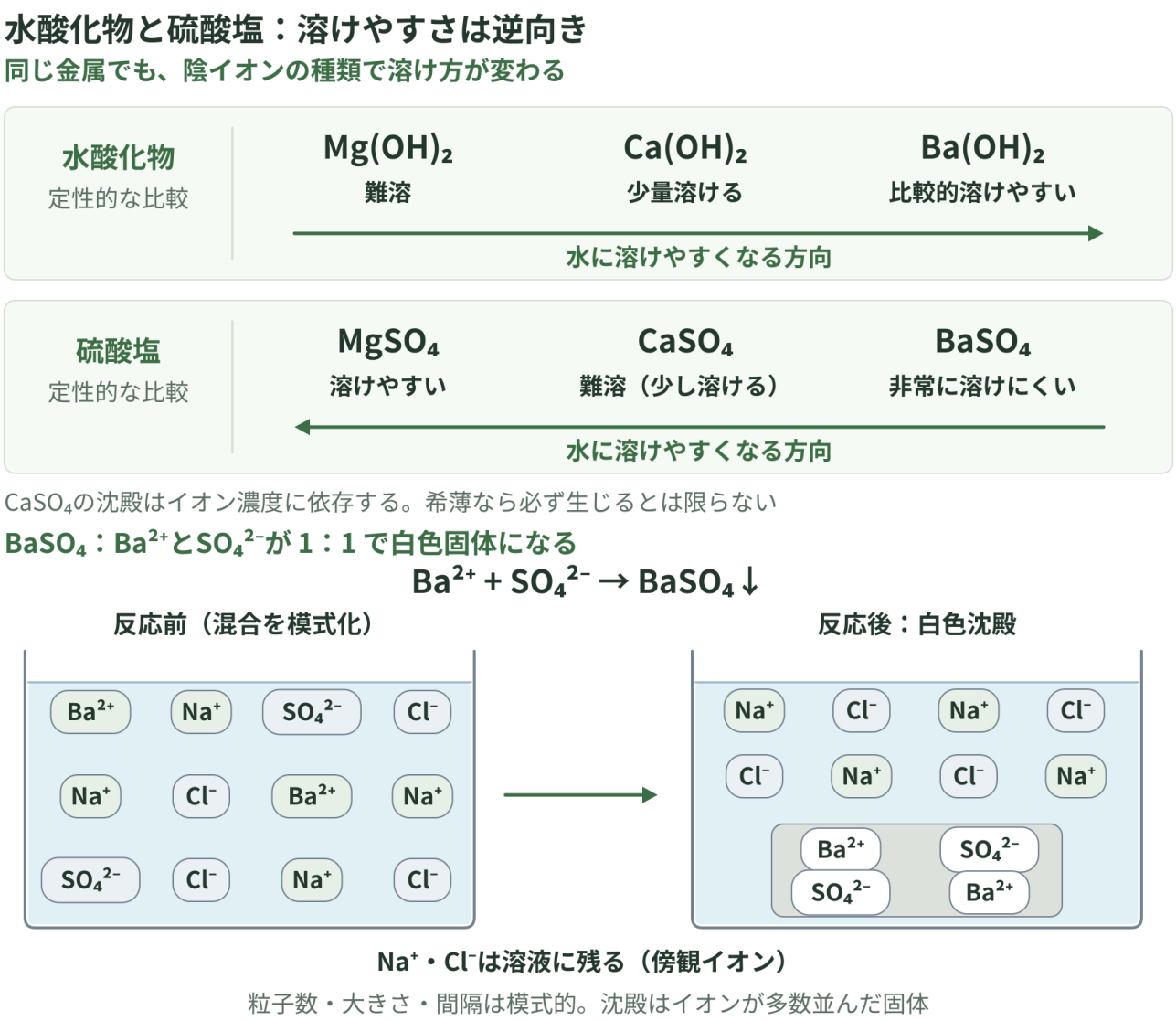


図 2　水酸化物と硫酸塩では、族内の溶けやすさの傾向が異なる。

炭酸カルシウムと石灰水

炭酸カルシウム$CaCO_3$は石灰石の主成分である。

加熱すると、 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ となる。

生成したCaOは水と反応して、 $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ となる。

透明な石灰水は$Ca(OH)_2$の水溶液であり、固体を含む石灰乳とは異なる。

石灰水に二酸化炭素を適量加えると、 $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ となり、白色の炭酸カルシウム沈殿を生じる。

さらに過剰な二酸化炭素を加えると、 $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2(aq)$ となる。

このとき、炭酸水素カルシウムは水中でCa^{2+}やHCO_3^-として存在するため、沈殿が溶けて透明になる。

透明になったことは二酸化炭素が消えたことを意味せず、沈殿が溶解した結果である。

©ミライコーチング

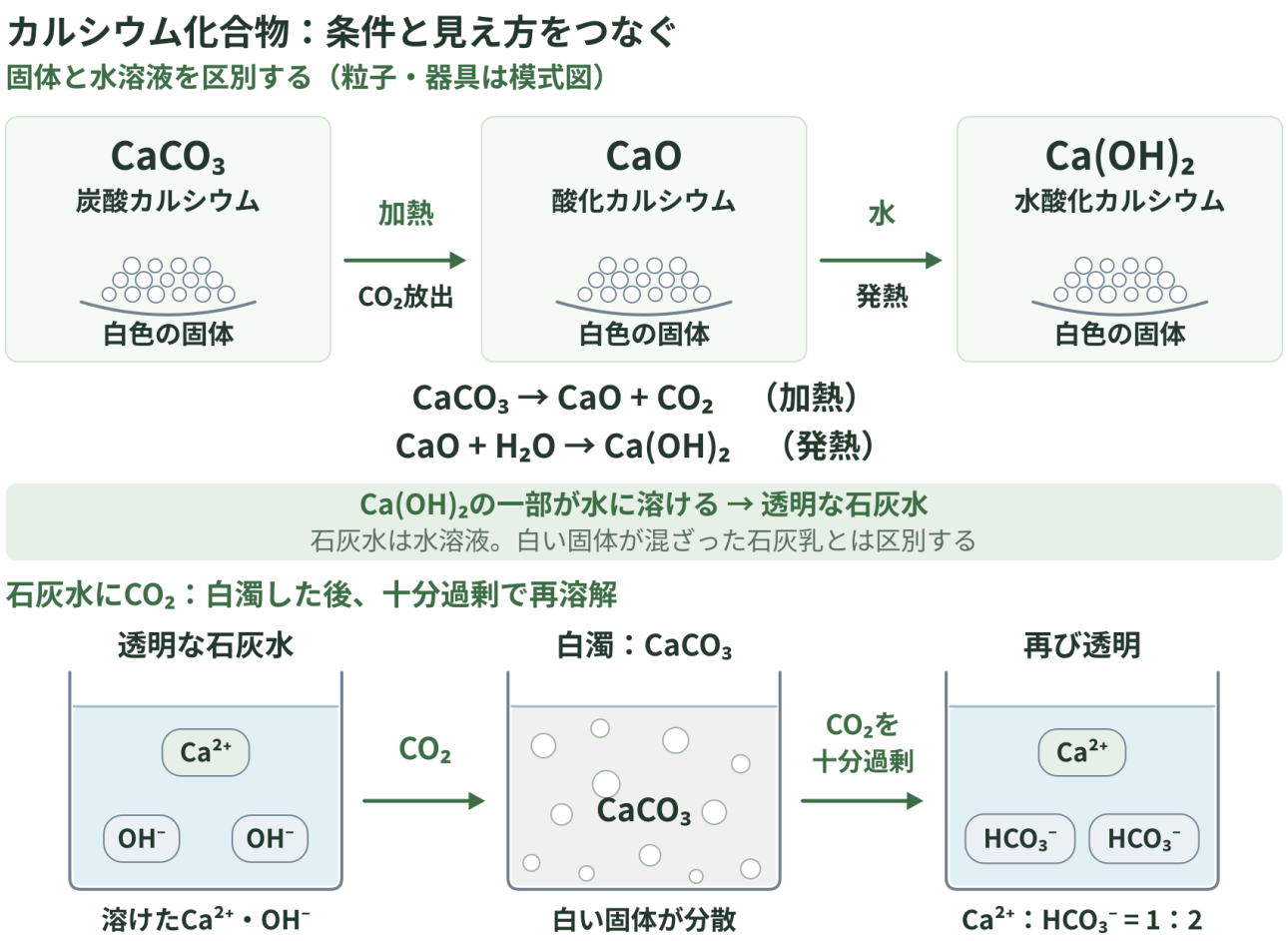


図 3　カルシウム化合物の変化を、加熱・水・二酸化炭素の条件で追う。

安全に関する扱い

Ca や Ba などの金属と水の反応、CaO の水和による発熱、$Ca(OH)_2$や $Ba(OH)_2$などの腐食性、可溶性バリウム化合物の有害性に注意する。本講では反応式や性質の理解を扱い、実際の薬品操作や家庭での実験手順は扱わない。

©ミライコーチング

例題

例題 1

Mg、Ca、Ba の性質について考える。

条件として、Mg、Ca、Ba はいずれも最外殻電子を 2 個持つものとする。

1. Mg、Ca、Ba が生じやすい陽イオンを答え、最外殻電子を失う反応を示せ。
2. Mg、Ca、Ba と水の反応について、Mg は熱水・加熱した水蒸気、Ca と Ba は常温の水という条件で考える。それぞれの生成物と反応式を示し、条件による生成物の違いを説明せよ。

解答・解説

1.
Mg、Ca、Ba はいずれも最外殻電子を 2 個持つため、その 2 個を失って$2+$の陽イオンになりやすい。

反応式は一般的に、 $M \to M^{2+} + 2e^-$ で表される。

したがって、生じやすいイオンは、 $Mg^{2+}, Ca^{2+}, Ba^{2+}$ である。

2.
Mg は常温の水とは反応しにくいが、熱水では、 $Mg + 2H_2O \to Mg(OH)_2 + H_2$ となる。

さらに加熱した Mg に水蒸気を反応させる条件では、 $Mg + H_2O \to MgO + H_2$ となる。

一方、Ca や Ba は常温の水と反応し、 $M + 2H_2O \to M(OH)_2 + H_2$ となる。

Mg、Ca、Ba はいずれも電子を失いやすいが、反応の起こりやすさや条件によって生成物は異なるため、すべてを同じ反応として扱うことはできない。

例題 2

アルカリ土類金属の水酸化物と硫酸塩について考える。

1. $Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、$Ba(OH)_2$の溶解性の傾向を示し、塩基性との関係を説明せよ。
2. 条件として、Ba^{2+}を含む水溶液とSO_4^{2-}を含む水溶液を混合し、反応が完全に進むものとする。生じる沈殿の反応式を示せ。

解答・解説

1.

水酸化物の溶解性は、$Mg(OH)_2 < Ca(OH)_2 < Ba(OH)_2$ の傾向を示す。

$Mg(OH)_2$は難溶であり、$Ca(OH)_2$は少量溶解し、$Ba(OH)_2$は比較的溶けやすい。

水酸化物は溶解した部分からOH^-を生じるため、溶解性は水溶液の塩基性と関係する。

ただし、溶解性と塩基性は同じ意味ではなく、単純に同じ強さの変化として扱わない。

2.

Ba^{2+}とSO_4^{2-}が反応し、白色沈殿の硫酸バリウムを生じる。

反応式は、$Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$ である。

電荷は、$(+2) + (-2) = 0$ となり、電荷がつり合っている。

$BaSO_4$は非常に溶けにくい固体であるため、沈殿として生じる。

例題 3

炭酸カルシウム$CaCO_3$の熱分解について考える。

条件：

- 純粋な$CaCO_3$ 10.0g を完全に加熱する。
- 反応は$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$のみが進行する。
- $M(CaCO_3) = 100\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$、$M(CaO) = 56.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- 発生したCO_2は乾燥され、0℃、1.013×10^5Paで測定する。
- 気体のモル体積は$22.4\,\mathrm{L\,mol^{-1}}$とする。

1. 生成するCaOの質量を求めよ。
2. 発生するCO_2の物質量と体積を求めよ。

解答・解説

1.
$CaCO_3$の物質量を求める。

$$n(CaCO_3) = \frac{10.0}{100} = 0.100\,\mathrm{mol}$$

反応式より、$CaCO_3 : CaO = 1 : 1$ である。

したがって、生成するCaOは、$n(CaO) = 0.100\,\mathrm{mol}$ となる。

質量は、$0.100 \times 56.0 = 5.60\,\mathrm{g}$ である。

2.
反応式より、$CaCO_3 : CO_2 = 1 : 1$ なので、生成するCO_2の物質量は、$n(CO_2) = 0.100\,\mathrm{mol}$ である。

体積は、$0.100 \times 22.4 = 2.24\,\mathrm{L}$ となる。

原子数を確認すると、反応前の$CaCO_3$に含まれる Ca、C、O が反応後のCaOとCO_2へ分かれており、質量保存が成り立つ。

演習

演習 1

Mg、Ca、Ba の性質について考える。

1. Mg、Ca、Ba の電子配置を比較し、最外殻電子の数と生じやすいイオンの電荷を説明せよ。
2. Mg、Ca、Ba と水の反応について、Mg は熱水、Ca と Ba は常温の水という条件で考える。それぞれの反応式または生成物の違いを説明せよ。

演習 2

アルカリ土類金属の酸化物と水酸化物について考える。

1. CaO と水の反応式を示し、CaO が何という性質を持つ酸化物として扱われるか説明せよ。
2. $Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、$Ba(OH)_2$の溶解性の傾向を示し、水溶液の塩基性との関係を説明せよ。

©ミライコーチング

演習 3

透明な石灰水に二酸化炭素CO_2を加える。

1. 適量のCO_2を加えた場合の反応式を示し、観察される変化と生成物を説明せよ。
2. さらに十分過剰なCO_2を加えた場合の反応式を示し、透明になる理由を溶液中の状態と関連づけて説明せよ。

演習 4

純粋なCaO 5.60g を十分な水と反応させる。

条件：

- 反応は$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$のみが完全に進む。
- 副反応は起こらない。
- $M(CaO) = 56.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- $M(Ca(OH)_2) = 74.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$

1. 生成する$Ca(OH)_2$の質量を求めよ。
2. 生成した$Ca(OH)_2$全量を完全に中和するために必要な HCl の物質量を求めよ。

演習 5

塩化バリウム水溶液と硫酸ナトリウム水溶液を混合する。

条件：

- $BaCl_2$水溶液は$0.0100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$で 10.0mL 使用する。
- Na_2SO_4水溶液は$0.0100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$で 20.0mL 使用する。
- $BaSO_4$の沈殿反応は完全に進行し、他の反応は起こらない。
- $M(BaSO_4) = 233\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$

1. 生成する$BaSO_4$の質量を求めよ。

演習 6

2 族元素とその化合物について考える。

1.「すべての 2 族金属は常温の水と同じように反応し、すべての硫酸塩は水に溶けない」という説明を、Mg・Ca・Ba の反応性や硫酸塩の溶解性の違いを用いて訂正せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

1.
Mg、Ca、Ba はいずれも最外殻電子を 2 個持つ。

そのため、2 個の電子を失って2 +価の陽イオンになりやすい。

$$M \rightarrow M^{2+} + 2e^{-}$$

より、生じやすいイオンはMg^{2+}、Ca^{2+}、Ba^{2+}である。

2.
Mg、Ca、Ba では、水との反応条件が異なる。

Mg は常温の水とは反応しにくいが、熱水では、 $Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$ となる。

また、水蒸気を用いた高温条件では、 $Mg + H_2O \rightarrow MgO + H_2$ となる。

一方、Ca や Ba は常温の水と反応し、 $M + 2H_2O \rightarrow M(OH)_2 + H_2$ となる。

同じ 2 価陽イオンを作る元素でも、反応条件によって生成物が変化する。

解答 2

1.
酸化カルシウムCaOと水の反応は、 $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ である。

CaOは酸と反応して塩と水を作る性質を持つため、塩基性酸化物として扱われる。また、水とも反応して$Ca(OH)_2$を生じ、$CaO + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O$のような反応を示す。

2.
水酸化物の溶解性は、 $Mg(OH)_2 < Ca(OH)_2 < Ba(OH)_2$ の傾向を示す。

$Mg(OH)_2$は難溶、$Ca(OH)_2$は少量溶解、$Ba(OH)_2$は比較的溶けやすい。

溶解した水酸化物からOH^-が生じるため、溶解性は水溶液の塩基性と関係する。

ただし、溶解性と塩基性は同じ意味ではなく、単純に同じ順序で決まるわけではない。

解答 3

1.
適量のCO_2を加えると、 $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ となる。

生成した$CaCO_3$は白色沈殿であり、石灰水は白濁する。

2.
十分過剰なCO_2を加えると、 $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2(aq)$ となる。

炭酸水素カルシウムは水溶液中でCa^{2+}やHCO_3^-として存在するため、固体の$CaCO_3$沈殿がなくなり透明になる。

これは二酸化炭素が気体として消えたためではなく、沈殿が溶解したためである。

解答 4

1.
反応式は、$CaO + H_2O \to Ca(OH)_2$ である。
まずCaOの物質量を求める。

$$n(CaO) = \frac{5.60}{56.0} = 0.100\,\mathrm{mol}$$

反応比は、$CaO : Ca(OH)_2 = 1:1$ なので、生成する$Ca(OH)_2$は$0.100\,\mathrm{mol}$である。
質量は、$0.100 \times 74.0 = 7.40\,\mathrm{g}$ となる。

2.
中和反応は、$Ca(OH)_2 + 2HCl \to CaCl_2 + 2H_2O$ である。
$Ca(OH)_2$ 1mol に対して HCl は 2mol 必要である。
したがって、$0.100 \times 2 = 0.200\,\mathrm{mol}$ の HCl が必要である。

解答 5

1.
まず、それぞれの物質量を求める。
$BaCl_2$は、

$$0.0100\,\mathrm{mol\,L^{-1}} \times 0.0100\,\mathrm{L} = 1.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol}$$

である。
Na_2SO_4は、

$$0.0100\,\mathrm{mol\,L^{-1}} \times 0.0200\,\mathrm{L} = 2.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol}$$

である。
反応式は、$Ba^{2+} + SO_4^{2-} \to BaSO_4$ である。
比は$Ba^{2+} : SO_4^{2-} : BaSO_4 = 1:1:1$なので、少ない$Ba^{2+}$が制限試薬となる。
したがって生成する$BaSO_4$は、$1.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol}$ である。
質量は、

$$1.00 \times 10^{-4} \times 233 = 0.0233\,\mathrm{g}$$

となる。

解答 6

1.
「すべての 2 族金属は常温の水と同じ反応をする」という説明は誤りである。
例えば Mg は常温の水とは反応しにくく、熱水では$Mg(OH)_2$、水蒸気ではMgOを生じる。
一方、Ca や Ba は常温の水と反応して水酸化物を生じる。
また、「すべての硫酸塩は不溶」という説明も誤りである。
$MgSO_4$は溶けやすく、$CaSO_4$は少し溶けるが、$BaSO_4$は非常に溶けにくい。
したがって、同じ 2 族元素でも元素や条件によって反応性や塩の溶解性は異なる。