高校化学 L01 第 134 講 アルミニウムと両性化合物

この講でできるようになること

- アルミニウム、酸化アルミニウム、水酸化アルミニウムの性質の違いを説明できる。
- 両性化合物と酸・強塩基との反応を反応式で示せる。
- Al を含む物質について、酸化還元反応と酸塩基反応を区別できる。

アルミニウムとその化合物

アルミニウムAlは金属単体であり、酸化アルミニウムAl_2O_3や水酸化アルミニウム$Al(OH)_3$はアルミニウムを含む化合物である。

それぞれは同じ元素を含むが、状態や結合の違いによって性質が異なる。

物質	分類	Al の酸化数
Al	金属単体	0
Al_2O_3	酸化物	+3
$Al(OH)_3$	水酸化物	+3
Al^{3+}	陽イオン	+3
$[Al(OH)_4]^-$	錯イオン	+3

アルミニウムは表面に酸化皮膜を作るため、通常の空気中では比較的安定である。

この皮膜は内部のアルミニウムを保護し、反応を妨げる場合があるため、水と常に同じように反応するわけではない。

また、常温の濃硝酸では不動態となり、反応しにくい。

アルミニウム単体の酸化還元反応

アルミニウムは電子を失って酸化される。

$$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$$

希塩酸のような非酸化性酸では、水素イオンが還元されて水素を発生する。

$$2Al + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2$$

イオンに分けずに表すと、$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$ と表される。

この反応では、Al は電子を失い酸化され、水素イオンは電子を受け取って還元される。

一方、アルミニウムは強塩基水溶液とも反応する。

十分な NaOH 水溶液では、$2Al + 2OH^- + 6H_2O \rightarrow 2[Al(OH)_4]^- + 3H_2$ となる。

イオンに分けずに表すと、$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2$ と表される。

この反応でも Al は酸化され、水分子中の水素が還元される。

NaOH は酸化剤ではなく、アルミニウムを溶解させる塩基性条件を作る役割を持つ。

©ミライコーチング

Alとその化合物：溶け方と水素発生

反応が進む条件での代表式。進む速さが同じという意味ではない

物質と酸化数	希塩酸（H^+）	十分なNaOH水溶液
Al 金属 Alの酸化数 0 → +3	$2Al + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2\uparrow$ H_2が発生	$2Al + 2OH^- + 6H_2O \rightarrow 2[Al(OH)_4]^- + 3H_2\uparrow$ H_2が発生
Al_2O_3 酸化物 Alの酸化数 +3 → +3	$Al_2O_3 + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2O$ H_2は生じない	$Al_2O_3 + 2OH^- + 3H_2O \rightarrow 2[Al(OH)_4]^-$ H_2は生じない
$Al(OH)_3$ 水酸化物 Alの酸化数 +3 → +3	$Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O$ H_2は生じない	$Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ H_2は生じない

表面の酸化皮膜：薄い膜が内部のAlを保護する



断面模式（厚さは誇張）

空気中では比較的安定

皮膜が反応を妨げる場合がある

Al_2O_3の反応性は形態・条件による

常温の濃硝酸では不動態となり、反応しにくい。希塩酸とは区別する

図 1　Al 単体、Al2O3、Al(OH)3 の酸・強塩基への反応と水素発生の違いを比較する。

酸化アルミニウムと水酸化アルミニウムの両性

Al_2O_3は両性酸化物であり、酸と強塩基の両方と反応する。反応の進みやすさは、酸化物の状態や温度などによって異なる。

酸との反応では、 $Al_2O_3 + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2O$ となる。

強塩基水溶液では、 $Al_2O_3 + 2OH^- + 3H_2O \rightarrow 2[Al(OH)_4]^-$ となる。

$Al(OH)_3$も両性水酸化物である。

酸との反応では、 $Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O$ となる。

十分過剰な NaOH 水溶液では、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ となる。

両性とは、酸にも塩基にも中性であるという意味ではなく、酸と塩基の両方と反応する性質を表す。

また、これらの反応では Al の酸化数は+3のままであり、水素を発生する酸化還元反応ではない。

Al^{3+}水溶液と水酸化物沈殿

Al^{3+}を含む水溶液に NaOH 水溶液を少量加えると、 $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$ となり、白色沈殿を生じる。

さらに十分過剰な NaOH を加えると、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ となり、沈殿が溶けて無色の溶液になる。

ただし、NaOH の量や条件によって沈殿が残る場合もあるため、NaOH を加えれば必ず透明になるとは限らない。

水中のAl^{3+}は水和した状態で存在するが、反応式では簡略化してAl^{3+}として表す。

$Al(OH)_3$は独立した分子の集まりとして考えるのではなく、固体の組成を表したものである。

$[Al(OH)_4]^-$では、Al を中心に 4 つの O-H を含む四面体型の構造として模式的に表す。

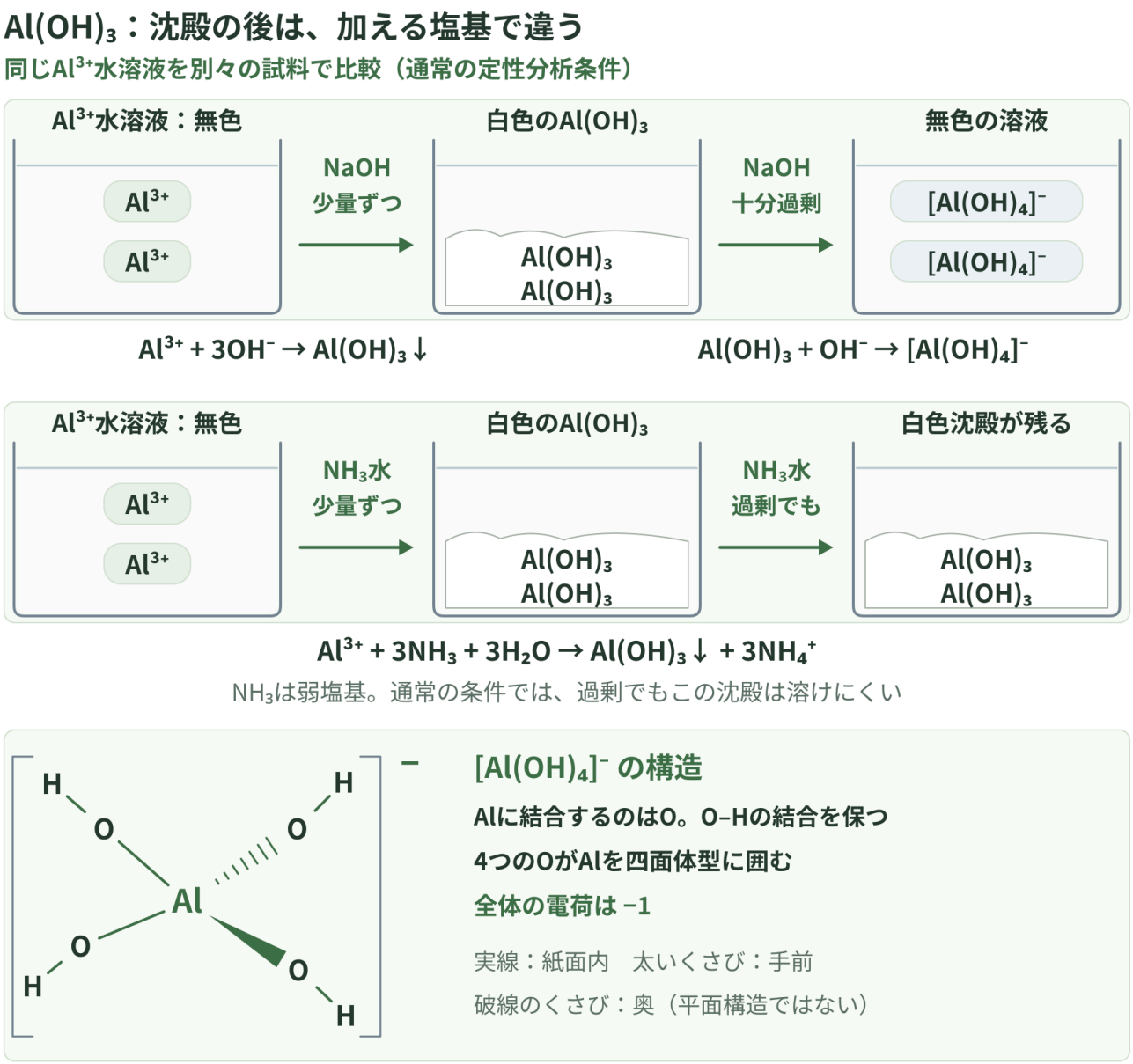

図 2　Al(OH)3 沈殿が過剰 NaOH では溶解し、過剰 NH3 では残る違いを比較する。

アンモニア水との比較

アンモニア水では、 $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ の平衡によってOH^-が生じる。

そのため、 $Al^{3+} + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3NH_4^+$ のように白色沈殿が生じる。

しかし、通常の実験条件では、NH3 は弱塩基であるため、NaOH 水溶液のように高いOH^-濃度にはならない。

そのため、通常の条件では過剰なアンモニア水を加えても$Al(OH)_3$は溶けにくい。

これは、十分過剰な NaOH で$[Al(OH)_4]^-$を作る反応とは異なる。

安全に関する扱い

酸や強塩基には腐食性があり、水素を発生する金属反応では引火にも注意が必要である。

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

アルミニウムAl、酸化アルミニウムAl_2O_3、水酸化アルミニウム$Al(OH)_3$について考える。

1. Al、Al_2O_3、$Al(OH)_3$を金属単体、酸化物、水酸化物に分類し、それぞれの Al の酸化数を答えよ。
2. アルミニウムに希塩酸を加えた場合と、十分な NaOH 水溶液を加えた場合について、反応式と水素発生の有無を説明せよ。また、Al_2O_3や$Al(OH)_3$の場合との、水素発生の違いを述べよ。

解答・解説

1.
分類すると、

物質	分類	Al の酸化数
Al	金属単体	0
Al_2O_3	酸化物	+3
$Al(OH)_3$	水酸化物	+3

である。

Alは単体なので酸化数は 0 である。

Al_2O_3中の Al の酸化数をxとする。酸素の酸化数は-2であり、全体で 0 となるので、$2x+3(-2)=0$より$x=+3$である。

$Al(OH)_3$でも OH 中の酸素と水素の組み合わせ全体が-1となるため、Al は$+3$である。

2.
希塩酸では、酸中のH^+が還元されて水素が発生する。

反応式は、 $2Al+6HCl \rightarrow 2AlCl_3+3H_2$ である。

この反応では Al が、 $0 \rightarrow +3$ となり電子を失うため酸化される。

一方、H^+は電子を受け取り水素になるため還元される。

十分な NaOH 水溶液では、 $2Al+2NaOH+6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4]+3H_2$ となる。

この反応でも Al は酸化され、水分子中の水素が還元されるため水素が発生する。

NaOH は酸化剤ではなく、アルミニウムが溶解する塩基性条件を作る役割を持つ。Al_2O_3と$Al(OH)_3$は、酸や強塩基との反応で Al の酸化数が$+3$のままであり、水素は発生しない。

例題 2

Al^{3+}を含む水溶液に塩基を加える反応を考える。

加える試薬の量は、各小問に示す条件に従う。

1. Al^{3+}を含む水溶液に少量の NaOH 水溶液を加えた場合と、十分過剰な NaOH 水溶液を加えた場合の変化を、反応式で説明せよ。
2. 同じAl^{3+}水溶液にアンモニア水を加えた場合、過剰に加えても沈殿が残る理由を NaOH との違いから説明せよ。

解答・解説

1.

少量の NaOH では、 $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$ となり、白色沈殿の$Al(OH)_3$が生じる。

さらに十分過剰な NaOH を加えると、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ となり、沈殿が溶けて無色の溶液になる。

これは$Al(OH)_3$が両性水酸化物であり、強塩基とも反応できるためである。

2.

アンモニア水では、 $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ の平衡によってOH^-が生じる。

そのため、 $Al^{3+} + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3NH_4^+$ となり、白色沈殿が生じる。

しかし、通常の実験条件では、NH3 は弱塩基であるため、NaOH 水溶液のように高いOH^-濃度にはならない。

また、通常の条件ではアンモニア水によって$Al(OH)_3$が溶ける安定な化学種は形成されない。

そのため、過剰なアンモニア水を加えても沈殿が残る。

©ミライコーチング

例題 3

純粋なアルミニウムAl 2.70g が過剰な希塩酸と完全に反応する。

条件：

- 反応は$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$のみが進行する。
- $M(Al) = 27.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
- 発生した水素は乾燥され、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. Al とH_2の物質量比を示し、必要な HCl の物質量を求めよ。
2. 発生するH_2の体積を求めよ。

解答・解説

1.
Al の物質量は、 $n(Al) = \frac{2.70}{27.0} = 0.100\,\mathrm{mol}$ である。

反応式より、 $n(Al) : n(H_2) = 2 : 3$ である。

したがって、 $n(H_2) = 0.100 \times \frac{3}{2} = 0.150\,\mathrm{mol}$ となる。

また、HCl との係数比は、 $Al : HCl = 2 : 6 = 1 : 3$ である。

そのため必要な HCl は、 $0.100 \times 3 = 0.300\,\mathrm{mol}$ である。

2.
発生する水素は0.150 molなので、 $V(H_2) = 0.150 \times 22.4$ より、 $V(H_2) = 3.36\,\mathrm{L}$ となる。

係数比から求めた水素の物質量と、気体条件から求めた体積は対応しており、反応式の原子数保存も満たしている。

演習

演習 1

アルミニウムAlの反応について考える。

1. 希塩酸を十分に加えた場合の反応式を示し、Al と水素イオンの酸化還元の関係を説明せよ。
2. 十分な NaOH 水溶液を加えた場合の反応式を示し、Al の酸化数変化と水素発生の関係を説明せよ。

演習 2

酸化アルミニウムAl_2O_3について考える。

1. 酸性条件でAl_2O_3が反応する式を示し、この反応で水素が発生するか答えよ。
2. 十分な NaOH 水溶液中でAl_2O_3が反応する式を示し、この反応が酸化還元反応ではない理由を説明せよ。

©ミライコーチング

演習 3

水酸化アルミニウム$Al(OH)_3$について考える。

1. 酸を加えた場合の反応式を示し、Al の酸化数が変化するか説明せよ。
2. 十分過剰な NaOH 水溶液を加えた場合の反応式を示し、生成するイオンの電荷を答えよ。

演習 4

Al^{3+}を含む水溶液について考える。

1. 少量の NaOH 水溶液を加えた場合と、十分過剰な NaOH 水溶液を加えた場合の変化を、反応式で説明せよ。
2. 過剰なアンモニア水を加えた場合、過剰な NaOH 水溶液の場合と異なる結果になる理由を説明せよ。

演習 5

純粋な$Al(OH)_3$を 7.80g ずつ含む 2 つの試料を、別々に用意する。

条件：

- 2 つの試料を別々に用意し、一方には十分な酸、もう一方には十分な NaOH 水溶液を加える。
- それぞれ完全に反応する。
- $M(Al(OH)_3) = 78.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$

1. 酸を加えた試料で、必要なH^+の物質量を求めよ。
2. NaOH 水溶液を加えた試料で、必要なOH^-の物質量を求めよ。

演習 6

アルミニウムと酸の反応について考える。

1.「Al は酸なら種類・濃度・温度によらず必ず水素を発生する」という説明を、常温の濃硝酸と希塩酸の違いを用いて訂正せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

希塩酸との反応では、 $2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$ となる。

Al は単体なので酸化数は 0 であり、反応後はAl^{3+}となるため、 $0 \rightarrow +3$ で電子を失い酸化される。

一方、H^+は電子を受け取りH_2となるため還元される。

2.

十分な NaOH 水溶液では、 $2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2$ となる。

Al は、 $0 \rightarrow +3$ となり酸化される。

水分子中の水素が還元されるため、この反応でも水素が発生する。

NaOH は酸化剤ではなく、アルミニウムが溶解する強塩基性条件を作る役割を持つ。

解答 2

1.
酸性条件では、 $Al_2O_3 + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2O$ となる。

この反応では Al の酸化数は+3のままであり、電子の移動は起こらない。

そのため酸化還元反応ではなく、酸化物の酸への溶解反応であり、水素は発生しない。

2.
十分な NaOH 水溶液では、 $Al_2O_3 + 2OH^- + 3H_2O \rightarrow 2[Al(OH)_4]^-$ となる。

この反応でも Al の酸化数は+3のままで変化しない。

したがって電子の受け渡しはなく、水素を発生する酸化還元反応ではない。

解答 3

1.
酸を加えると、 $Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O$ となる。

Al(OH)₃中の Al の酸化数は+3であり、生成したAl^{3+}でも+3のままである。

したがって酸化数変化はなく、水素も発生しない。

2.
十分過剰な NaOH 水溶液では、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ となる。

生成する$[Al(OH)_4]^-$は全体として、 -1 の電荷を持つ。

この反応は両性水酸化物が塩基と反応して溶解する反応であり、Al の酸化数は+3のままである。

解答 4

1.
Al^{3+}水溶液に少量の NaOH を加えると、 $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$ となり、白色沈殿を生じる。

さらに十分過剰な NaOH を加えると、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ となり、沈殿は溶解する。

これは$Al(OH)_3$が両性水酸化物であり、強塩基とも反応するためである。

2.
アンモニア水では、 $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ によりOH^-が生じる。

そのため、 $Al^{3+} + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3NH_4^+$ となり白色沈殿を生じる。

しかし、通常の実験条件では、NH₃は弱塩基であるため、NaOH 水溶液のように高いOH^-濃度にはならない。

また通常条件では$Al(OH)_3$を溶解させる安定な化学種を作らないため、過剰アンモニア水でも沈殿は残る。

解答 5

1.
$Al(OH)_3$の物質量は、 $n(Al(OH)_3) = \frac{7.80}{78.0} = 0.100\,\mathrm{mol}$ である。

酸との反応は、 $Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O$ である。

反応比より、 $Al(OH)_3 : H^+ = 1 : 3$ なので、必要なH^+は、 $0.100 \times 3 = 0.300\,\mathrm{mol}$ となる。

2.
NaOH 水溶液との反応は、 $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^-$ である。

反応比は、 $Al(OH)_3 : OH^- = 1 : 1$ なので、必要なOH^-は、 $0.100\,\mathrm{mol}$ となる。

酸と塩基では必要なイオンの物質量比が異なるため、反応式の係数から判断する。

解答 6

1.
「Al は酸なら種類・濃度・温度によらず必ず水素を発生する」という説明は誤りである。

希塩酸では、 $2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$ のように、水素が発生する。

一方、常温の濃硝酸ではアルミニウム表面に緻密な酸化皮膜が形成され、不動態となるため反応しにくい。

したがって、酸の種類や条件によって反応は異なり、すべての酸で必ず水素が発生するわけではない。