高校化学 L01 第 130 講 ケイ素とケイ素化合物

この講でできるようになること

- ケイ素、二酸化ケイ素、ケイ酸塩の構造と性質の違いを説明できる。
- 同じ Si を含む物質でも、結合や構造によって性質が変化する理由を説明できる。
- ケイ素化合物の代表的な反応や用途を、条件とともに判断できる。

ケイ素と二酸化ケイ素の構造

ケイ素Siは炭素と同じ 14 族元素であり、単体として存在する。

ケイ素の結晶では、1 個の Si 原子が 4 個の Si 原子と共有結合し、ダイヤモンド型の連続した網目構造を作る。

純粋なケイ素は半導体であり、金属のように自由電子が大量に流れる導体でも、完全な絶縁体でもない。

高純度のケイ素は半導体材料や太陽電池などに利用される。

ケイ素（シリコン）は元素・単体の名称であり、シリコーン樹脂などのシリコーンとは異なる。

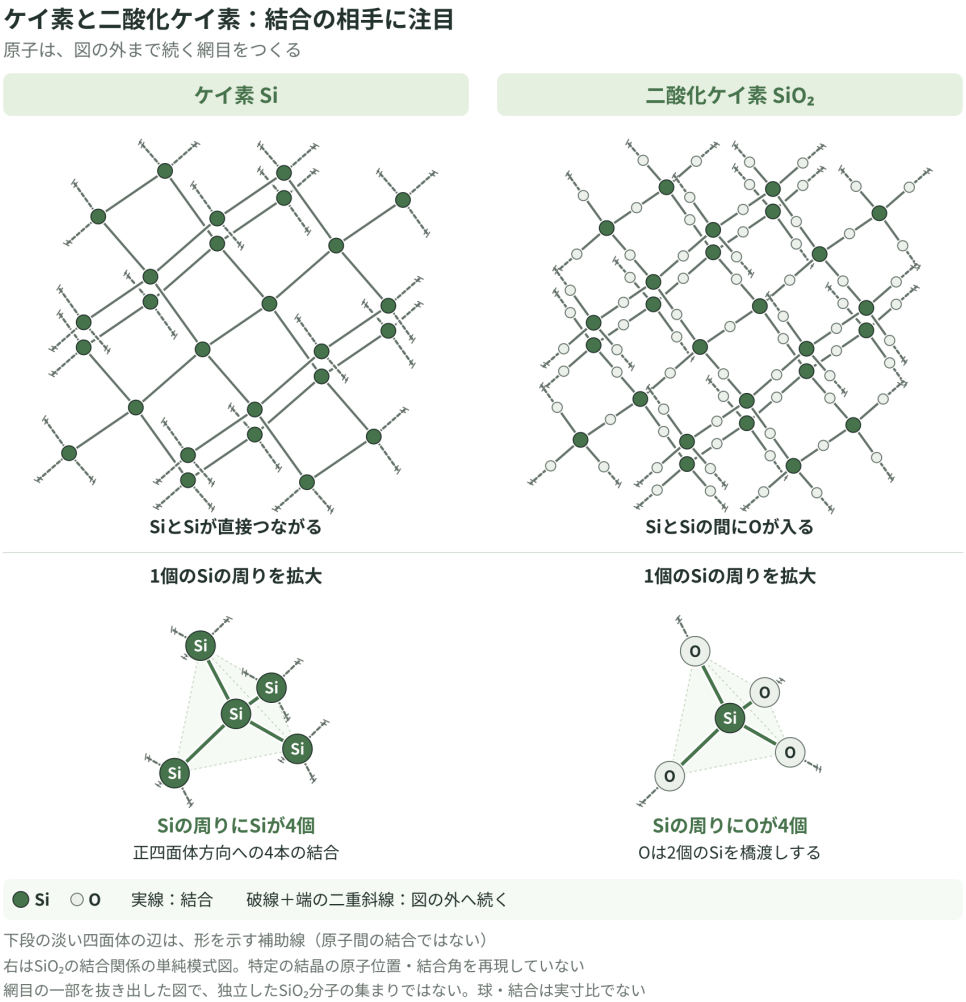


図 1　Si 単体と SiO2 では、中心原子をつなぐ相手と共有結合の網目構造が異なる。

二酸化ケイ素SiO_2では、Si 原子の周囲に 4 個の O 原子が配置される。

©ミライコーチング

また、1 個の O 原子は 2 個の Si 原子に共有されるため、三次元的な連続網目構造を作る。
この構造から、Si と O の組成比を考えると、Si:O は 1:2 となる。

$$\frac{4}{2} = 2$$

となり、組成式はSiO_2で表される。
SiO_2は独立したSiO_2分子が集まった物質ではない。
石英などの結晶質SiO_2は硬く、融点が高く、水に溶けにくい。

石英とガラス

石英は結晶質のSiO_2であり、規則的な長距離構造を持つ。
透明な石英結晶は水晶と呼ばれるが、すべての石英が無色透明であるわけではない。
一方、石英ガラスは主にSiO_2からなる非晶質材料である。
非晶質では長距離の周期的な配列はないが、局所的なSiO_4四面体のつながりは保たれている。
ガラスは室温で普通に流れる液体ではなく、固体として扱われる。

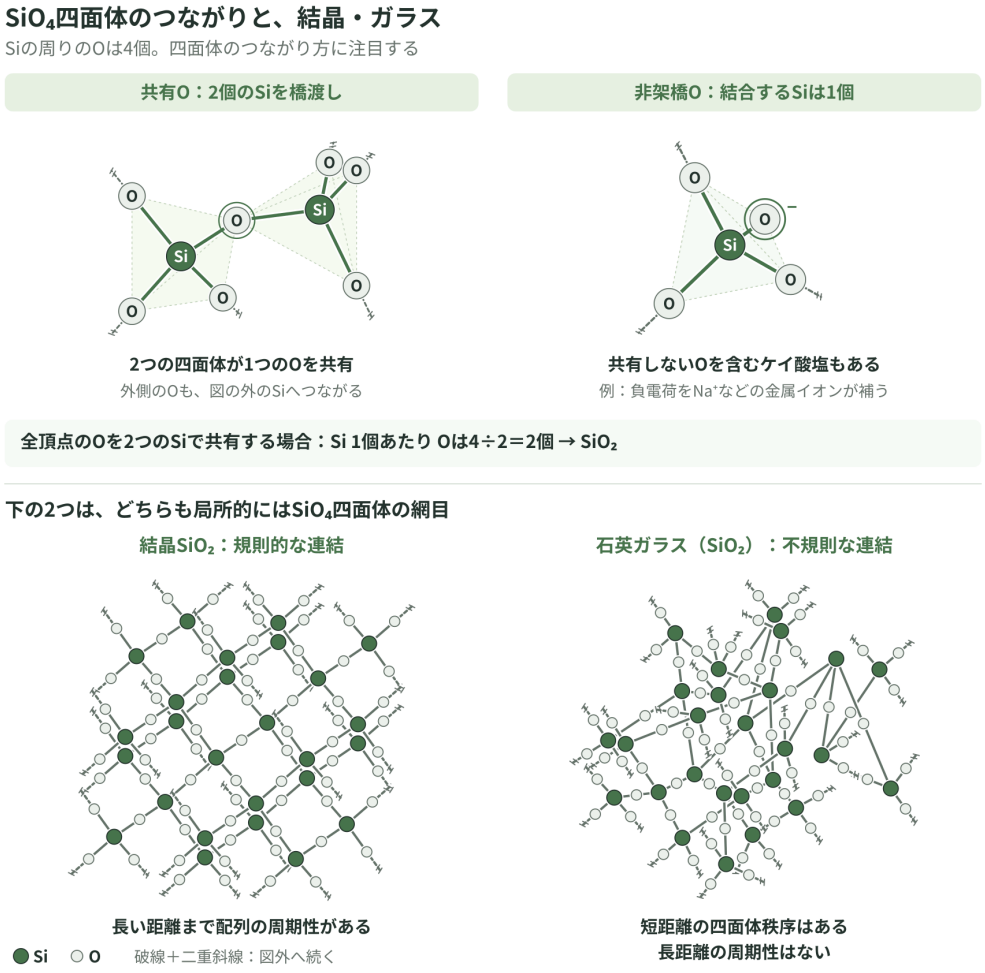


図 2　結晶質 SiO2 と非晶質石英ガラスでは長距離構造の規則性が異なる。

物質	構造の特徴	代表的な性質・用途
Si	共有結合の連続網目	半導体材料
石英	結晶質 SiO2	透明材料など
石英ガラス	非晶質 SiO2	耐熱性を利用した材料
ソーダ石灰ガラス	複数酸化物からなるガラス	一般的なガラス材料
シリカゲル	含水シリカ系の多孔質材料	乾燥剤

ケイ素と二酸化ケイ素の反応

二酸化ケイ素は酸性酸化物として扱われる。

ただし、通常の水に溶けてすぐ酸になるという意味ではない。

加熱条件では、塩基と反応してケイ酸塩を作る。

例えば、 $SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$ となる。

また、炭酸ナトリウムと強く加熱すると、 $SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow$ と表される。

ケイ素単体は、二酸化ケイ素を炭素とともに高温で加熱し、還元することで得られる。

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO\uparrow$$

この反応は粗ケイ素を得る代表的な総括式であり、高純度半導体用ケイ素がそのまま得られることを意味しない。

二酸化ケイ素は通常の酸には反応しにくいが、HF とは反応する。次式は HF が過剰にある水溶液中の反応を表す。

$$SiO_2 + 6HF \rightarrow H_2SiF_6 + 2H_2O$$

HF はガラスを侵す非常に危険な物質であり、反応の性質を理解する範囲で扱う。

ケイ酸塩とケイ酸ナトリウム

ケイ酸塩は、Si と O からなる基本単位SiO_4四面体を含む多様な化合物である。

四面体同士がどのようにつながるかによって、骨格や組成が変化する。

形式的には、 SiO_4^{4-} のように表せるが、すべてのケイ酸塩でこのイオンが単独で存在しているわけではない。

代表的なケイ酸塩としてケイ酸ナトリウムがあり、形式的な組成式をNa_2SiO_3で表す。

これは独立したSiO_3分子が存在するという意味ではなく、ケイ酸塩の組成を表したものである。

水ガラスはケイ酸ナトリウム系の水溶液であり、組成比が常に一定の単一物質として扱うものではない。

酸を加えると形式的には、 $Na_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow H_2SiO_3 + 2NaCl$ と表せる。

ただし、実際に得られるものは含水シリカ系ゲルとして理解し、独立した純粋なH_2SiO_3分子の沈殿と考えない。

シリカゲルはこの系を脱水・乾燥して得られる多孔質材料であり、広い表面への吸着を利用して乾燥剤などに用いられる。

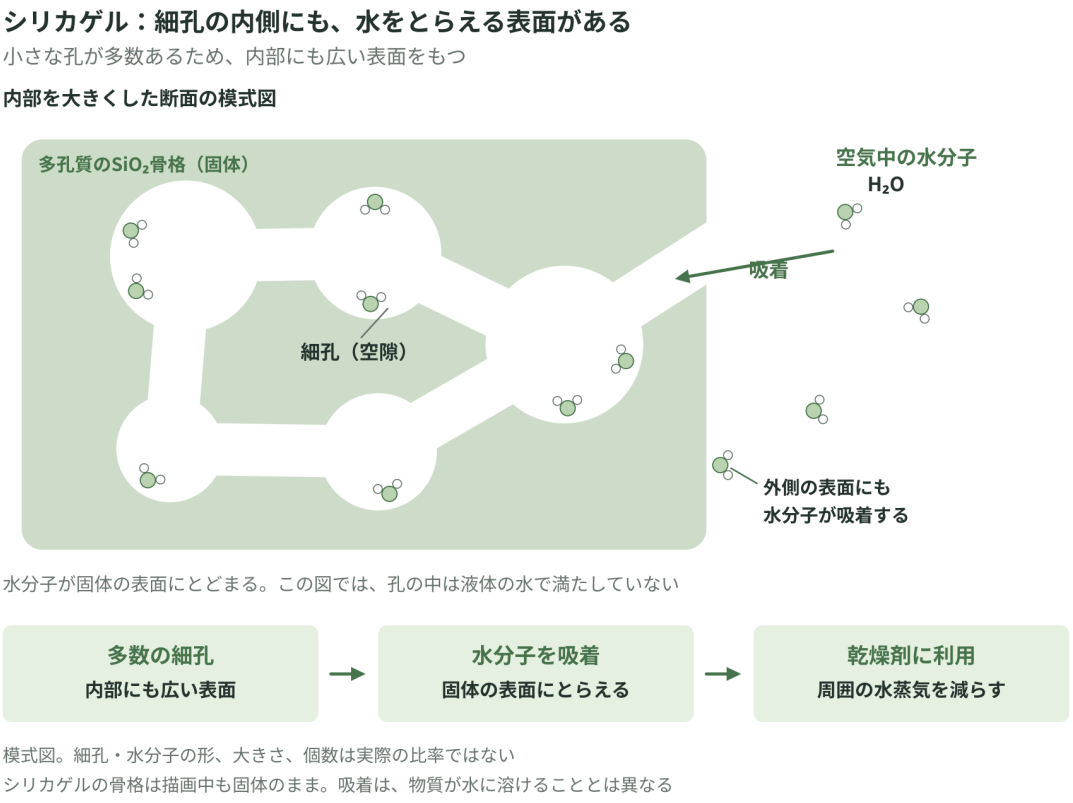


図 3　シリカゲルの細孔の内側にも表面があり、水分子を吸着する。

ガラスの組成と用途

一般的なソーダ石灰ガラスは、主に以下の原料から作られる。

原料	対応する酸化物	役割
ケイ砂	SiO2	ガラス骨格の中心
炭酸ナトリウム	Na2O	加工しやすさに関係
石灰石	CaO	化学的耐久性の向上

ソーダ石灰ガラスは、複数の酸化物成分を含む非晶質の材料である。

石英ガラスは小さい熱膨張などの性質から耐熱用途に利用されるが、すべてのガラスが同じ耐熱性や用途を持つわけではない。

©ミライコーチング



図 4　水晶（左）と石英ガラス（右）の外観イメージ。結晶・非晶質の違いは外観だけでは判定できない。

ケイ素を含む物質では、同じ元素を含むかだけでなく、結合構造や組成、条件によって性質や用途が変化する。

©ミライコーチング

例題

例題 1

ケイ素Siと二酸化ケイ素SiO_2について考える。

1. Si単体とSiO_2の構造の違いを説明し、SiO_2の組成比が$Si:O=1:2$になる理由を説明せよ。
2. 石英結晶と石英ガラスについて、長距離周期性の違いと局所構造の共通点を説明し、それぞれの性質や利用と関連づけよ。

解説

1.
Si単体の結晶では、1 個の Si 原子が 4 個の Si 原子と共有結合し、ダイヤモンド型の連続網目構造を作る。

一方、SiO_2では、1 個の Si 原子の周囲に 4 個の O 原子が結合し、さらに 1 個の O 原子が 2 個の Si 原子に共有される。

Si に結合する O の数を考えると、

対象	考え方
Si の周囲の O	4 個
1 個の O が共有される Si	2 個

である。

したがって、1 個の Si に対応する O の数は、$4\div2=2$ となり、組成式はSiO_2で表される。

この構造は独立したSiO_2分子の集合ではなく、Si-O 結合が連続した網目構造である。

2.
石英結晶は、SiO_4四面体が規則的に並んだ結晶質のSiO_2であり、長距離周期性を持つ。

一方、石英ガラスは主にSiO_2からなる非晶質材料であり、長距離周期性はない。

ただし、どちらも局所的にはSiO_4四面体のつながりを持つ。

物質	構造	特徴・利用
石英結晶	長距離周期性あり	透明なものは光学材料などに用いる
石英ガラス	長距離周期性なし	熱膨張が小さく、耐熱用途などに用いる

石英ガラスは結晶構造を持たないが、局所的な結合構造が維持されるため、SiO_2としての性質を示す。

©ミライコーチング

例題 2

二酸化ケイ素SiO_2と水酸化ナトリウム$NaOH$の反応を考える。

条件として、加熱条件で、 $SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$ が完全に進むものとする。

1. この反応式を用いて、SiO_2が酸性酸化物として扱われる理由を説明せよ。
2. 純粋なSiO_2を 0.500mol 用いる。$NaOH$は十分に存在し、反応が完全に進むとき、必要な$NaOH$の物質量と生成するNa_2SiO_3の物質量を求めよ。

解説

1.
SiO_2は塩基である$NaOH$と反応して、ケイ酸塩であるNa_2SiO_3を作る。

この反応は、 $SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$ で表される。

塩基と反応して塩を作ることは、酸性酸化物の性質の一つである。

SiO_2は水に溶けて直接酸になるという意味ではないが、塩基と反応してケイ酸塩を作るため、酸性酸化物として扱われる。

2.
反応式の係数比は、 $SiO_2 : NaOH : Na_2SiO_3 = 1 : 2 : 1$ である。

SiO_2が 0.500mol 反応する場合、

必要な$NaOH$は、 $0.500 \times 2 = 1.00\,\mathrm{mol}$ となる。

生成するNa_2SiO_3は、 $0.500 \times 1 = 0.500\,\mathrm{mol}$ である。

したがって、

物質	物質量
SiO_2	0.500mol
必要な$NaOH$	1.00mol
生成するNa_2SiO_3	0.500mol

となる。

係数比は原子数保存から決まり、実際に反応する量は与えられた物質量と条件によって決まる。

演習問題

演習 1

ケイ素Siと二酸化ケイ素SiO_2の構造について考える。

1. Si単体とSiO_2について、それぞれの局所的な結合構造を説明せよ。
2. SiO_2の組成比が$Si : O = 1 : 2$になる理由を、酸素原子の共有から説明せよ。

演習 2

石英と石英ガラスについて考える。

1. 石英結晶と石英ガラスの局所構造の共通点と長距離周期性の違いを説明せよ。
2.「透明な物質は必ず結晶であり、透明でない物質は非晶質である」という説明が正しいか、理由を含めて説明せよ。

演習 3

加熱条件で、純粋なSiO_2と十分な量の$NaOH$を完全に反応させる。

1. この反応の化学反応式を示せ。
2. SiO_2を 0.200mol 用いる場合、必要な$NaOH$の物質量と生成するNa_2SiO_3の物質量を求めよ。

演習 4

ケイ酸ナトリウムを形式的にNa_2SiO_3として表す。

1. 酸性化による反応式を示し、生成物の実体とシリカゲルの用途を説明せよ。

演習 5

ケイ素を含む材料の性質と用途について考える。

1. Si、石英ガラス、シリカゲルについて、それぞれの性質と代表的な用途を対応させ、その理由を説明せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

Si単体では、1 個の Si 原子が 4 個の Si 原子と共有結合し、連続した 3 次元網目構造を作る。

一方、SiO_2では、1 個の Si 原子が 4 個の O 原子と結合し、SiO_4四面体が連続した構造を作る。

どちらも分子が独立して存在するのではなく、共有結合が広がった構造を持つ。

2.

SiO_2では、1 個の Si の周囲には 4 個の O が結合している。

しかし、1 個の O は 2 個の Si に共有されるため、1 個の Si に対応する O の数は、$4 \div 2 = 2$ となる。

したがって、Si と O の比は、$Si : O = 1 : 2$ となり、組成式はSiO_2で表される。

解答 2

1.
石英結晶と石英ガラスは、どちらも局所的にはSiO_4四面体がつながった構造を持つ。

違いは長距離の規則性である。

石英結晶ではSiO_4四面体が規則的に並び、長距離周期性を持つ。

一方、石英ガラスでは長距離周期性はないが、局所的な Si-O 結合がなくなるわけではない。

2.
「透明な物質は必ず結晶である」という説明は誤りである。

透明かどうかは外観の性質であり、結晶質か非晶質かは原子配列の規則性で決まる。

石英結晶が透明な場合もあれば、石英ガラスのような非晶質材料でも透明なものがある。

したがって、透明という見た目だけで結晶・非晶質を判断することはできない。

解答 3

1.
加熱条件では、 $SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$ である。

左右で Si、O、Na、H の原子数を確認すると保存されている。

2.
反応式の係数比は、 $SiO_2 : NaOH : Na_2SiO_3 = 1 : 2 : 1$ である。

SiO_2が 0.200mol の場合、

必要な$NaOH$は、 $0.200 \times 2 = 0.400\,\mathrm{mol}$ となる。

生成するNa_2SiO_3は、 $0.200 \times 1 = 0.200\,\mathrm{mol}$ となる。

したがって、

物質	物質量
SiO_2	0.200mol
$NaOH$	0.400mol
Na_2SiO_3	0.200mol

である。

解答 4

1.
ケイ酸ナトリウムを形式的にNa_2SiO_3と表し、塩酸で酸性化する場合、 $Na_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow H_2SiO_3 + 2NaCl$ と表せる。

ただし、実際に得られるものは独立した純粋なH_2SiO_3分子の沈殿ではなく、含水シリカ系ゲルとして理解する。

この系を脱水・乾燥するとシリカゲルが得られ、多孔質構造による広い表面への吸着を利用して乾燥剤として使われる。

解答 5

1.
Si、石英ガラス、シリカゲルは、構造や性質の違いによって用途が異なる。

物質	性質	用途
Si	共有結合の連続網目、半導体	半導体材料、太陽電池
石英ガラス	非晶質 SiO_2、耐熱性を持つ	耐熱材料など
シリカゲル	多孔質で吸着性が高い	乾燥剤

Si は結晶構造中の電子の性質によって半導体材料として利用される。

石英ガラスはSiO_2の網目構造を保ちながら長距離周期性を持たない材料であり、温度変化に伴う膨張・収縮が小さい性質を利用する。

シリカゲルは内部に細かな空間を持つ多孔質構造によって、水分を吸着する。

©ミライコーチング