

加工性を高めた ゾノライト系けい酸 カルシウム材料

Calcium Silicate Materials (Xonotlite Group) with Excellent Cutting Workability beyond Machinable Ceramics

Key-words : Calcium silicate, Cutting workability, Heat resistance, Machinable ceramics

金子 一郎・小泉 佑樹

Ichiro KANEKO and Yuuki KOIZUMI
(Japan Insulation Co., Ltd.)

1. はじめに

けい酸カルシウム¹⁾は、酸化カルシウムとけい酸の化合物で、天然に産出する鉱物であるが、人造合成技術は1948年にアメリカ・アームストロング社で実用化されたのが最初だと言われており、その後、建材や断熱材の用途に利用されている。

人工的に生成可能な、けい酸カルシウム水合物は、CaO/SiO₂のモル比、原料と水との比率を調製することにより、約20種類に及ぶと言われているが、工業用途に用いられているのは、ゾノライト(図1)、トバモライト(図2)、C・S・Hゲル、ジャイロライトが知られている。

当社は、このうち、ゾノライト結晶が凝集した球状の粒子(以下、「2次粒子」と言う)により構成される成形体を製造する技術を1966年に世界で初めて開発したもので、欧米にも技術供与を行った実績がある。

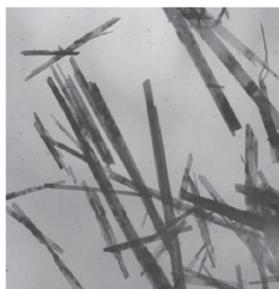
その後、当社では、このゾノライト系けい酸カルシウム材料の持つ特性を活かして、鉄骨用耐火被覆材、高温用保温材等のさまざまな製品開発を進めてきており、その中で加工性の高いセラミック製品を開発、製造するに至った。

本稿では、この加工性を高めた製品について、基材のゾノライト系けい酸カルシウム材料およびその成形体の特徴や他の用途製品との関連で概説する。

2. ゾノライト系けい酸カルシウム成形体の製法と特徴

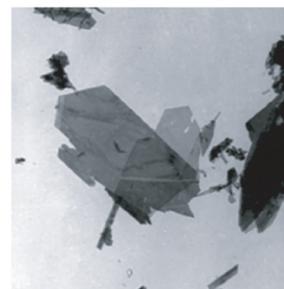
2.1 製法(攪拌法)

当社が開発したゾノライト系けい酸カルシウム成



ゾノライト(Xonotlite) : 6CaO・6SiO₂・H₂O

図1 ゾノライト結晶



トバモライト(Tobermorite) : 5CaO・6SiO₂・5H₂O

図2 トバモライト結晶

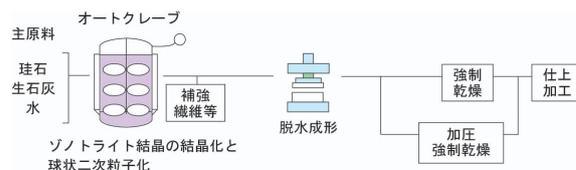


図3 攪拌法によるけい酸カルシウム成形体の製造工程

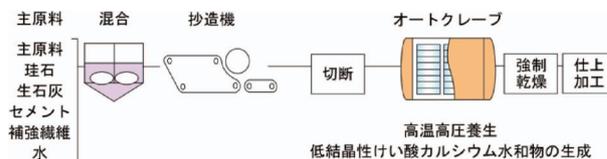


図4 一般的なけい酸カルシウム成形体の製造工程

形体の製造方法は、図3のように、けい酸質原料および石灰質原料(以下、「主原料」と言う)の反応段階で、攪拌装置付きのオートクレーブを用いて水熱合成を行い、この段階で「スラリー」と呼んでいるゾノライト結晶の2次粒子と水よりなる懸濁液を生成させる。次にこのスラリーを金型に流し込んで高圧プレスで脱水成形を行った後、乾燥させて製品となる。

一般的なけい酸カルシウム成形体の製法では、主原料を混合させた後に成形(抄造、または金型へ流し込み)し、これをオートクレーブに入れて水熱合成を行う方法がとられる(図4)。

このように、当社のゾノライト系けい酸カルシウム成形体の製法は、成形前に主原料を反応させて、けい酸カルシウム結晶を生成させる点に特徴がある(以下、この製法を「攪拌法」と言う)。

一般的な製法において副原料を使用する場合、材料の選定がけい酸カルシウムの水熱合成反応に影響を与えない範囲に限られ、かつ水熱合成時の環境条件に制約を受ける(例えば、アルカリ性に弱い材料は使用するのが困難である)ことが多いと考えられる。

これに対して攪拌法では、けい酸カルシウム結晶の生成後に副原料を添加する工程であるため、こうした制約を受けにくい利点がある。

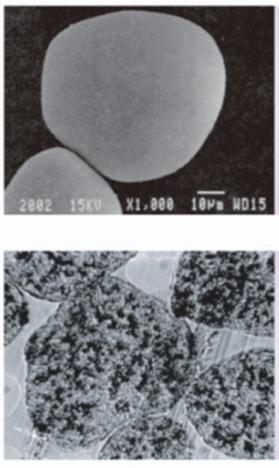


図5 充実球の2次粒子

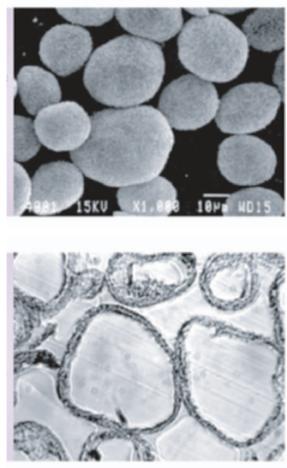


図6 中空球の2次粒子

当社では、この攪拌法の特性に着眼して、けい酸カルシウム成形体に目的とする機能を付与するための研究開発を行ってきており、本稿の主題である「加工性」を付与するために、後述するように、副原料として樹脂を添加することによって、成形体の強度を高め、加工時の角欠けを低減させることができた。

2.2 ゾノトライト結晶の2次粒子構造

当社のゾノトライト系けい酸カルシウムの製法では、オートクレーブの内部で攪拌されながら、ゾノトライト結晶の2次粒子が生成される。2次粒子の構造は、1本1本のゾノトライト結晶（1次粒子）が多数3次元的に絡合して形成されたものであり、まりも状の球形の形状をした粒子となる。

オートクレーブでの反応工程において、結晶生成にかかる管理項目は、攪拌数、温度、圧力等であり、これらのパラメータを制御することによって、成形体のかさ密度を $0.1\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 程度の範囲で変化させることができる。

成形体のこのようなかさ密度の差は、2次粒子の構造の違いによるもので、すなわち大きく区分すれば、図5のように2次粒子の内部に結晶が詰まった構造（以下、「充実球」と言う。粒径は $70\mu\text{m}$ 程度）のものと、図6のように内部が中空の構造のもの（以下、「中空球」と言う。粒径は $20 \sim 40\mu\text{m}$ 程度）である。

充実球の2次粒子は、主に強度や耐熱性を要求される耐火建材用として、中空球の2次粒子は、主に断熱性を要求される断熱保温材用として使用されている。

また、この2次粒子の内部には、主原料の反応段階で不活性な副原料を混合させると、2次粒子の内部に副原料を内包させることができる。例えば、断熱保温材では、一般に数百度以上になる高温域では熱線輻射による熱移動が大きくなるが、熱線遮蔽材を内包させ

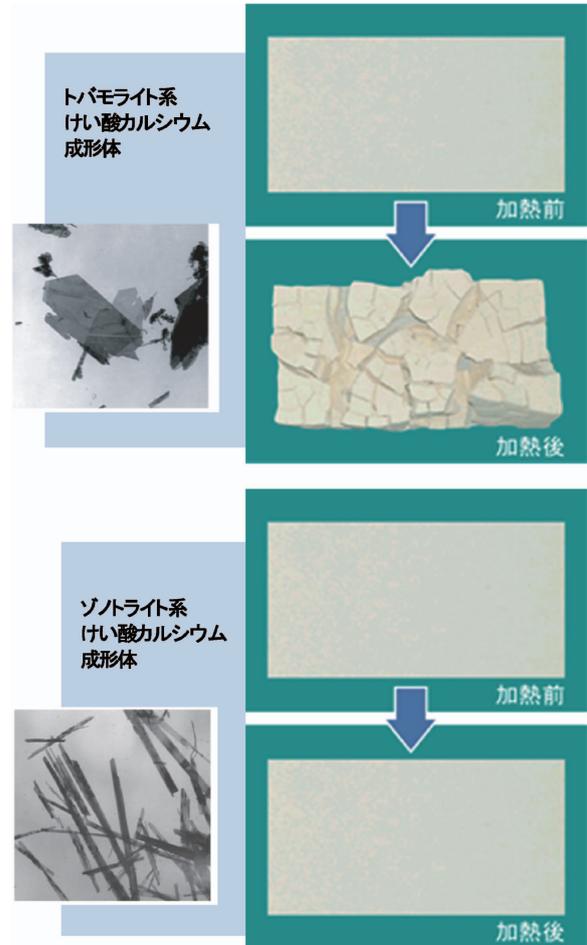


図7 1000℃ 3時間で加熱前後の成形体状況

た保温材では、高温域の熱伝導率を下げるができる。

2.3 熱的特性

工業的に利用されている各種けい酸カルシウムのうちで、ゾノトライト系けい酸カルシウム成形体は、他のけい酸カルシウム成形体と比較して高い耐熱性を有する特徴がある。

例として、ゾノトライト系けい酸カルシウム保温材とトバモライト系けい酸カルシウム保温材（いずれもJIS A 9510 適合品）を、 1000°C で3時間加熱した場合、試験体は図7のように、トバモライト系では大きな体積収縮による崩壊が生じることがわかる。

2.4 機械的特性

当社のゾノトライト系けい酸カルシウムは、上述のように、2次粒子の構造の違いによって、充実球と中空球の2つに大別でき、さらに混合させる副原料によって、機械的特性等の範囲を設計することができる。

現在、当社で製造している、ゾノトライト系けい酸カルシウムを基材とした主なJIS製品は表1のような特性を示す。

表1 当社が製造しているゾノトライト系けい酸カルシウムを基材とした主な JIS 製品の特徴

	JIS A 9510	JIS A 5430 0.2TK	JIS A 5430 0.5TK	JIS A 5430 0.5TK 樹脂複合タイプ
かさ密度 (g/cm ³)	0.13	0.2	0.35	0.5~0.7
曲げ強さ (N/mm ²)	0.3	0.39	2.0	6.5 以上
圧縮強さ (N/mm ²)	0.4	-	-	11.4
加熱線収縮率 (%)	2.0 以下	2.0 以下	2.0 以下	-



図8 穴あけ加工した断熱材 (JIS A 9510 相当品)

3. ゾノトライト系けい酸カルシウムの用途

以上に述べたような、ゾノトライト系けい酸カルシウムの特徴を活かして、当社では、以下のような製品開発を行ってきた。

①鉄骨用耐火被覆材

JIS A 5430 タイプ3に適合するものは、鉄骨用耐火被覆材として使用されている。

②プラント用保温材

JIS A 9510 に適合するものは、プラント用の保温材として使用されている。

③その他の応用例

蓄熱暖房機やコンパクションオープンレンジの断熱材として、耐熱性の高いゾノトライト系けい酸カルシウム断熱材が使用されるが、加工性に優れているので、配管などを通すために穴あけ加工が施されている(図8)。

また、樹脂複合化した材料が内装建材や刻字用材料に使用されているが、これは後述する。

4. ゾノトライト系けい酸カルシウムの樹脂複合化

当社では前述のとおりゾノトライト結晶を成形前に生成させ、成形体内部まで均質な結晶で構成されるので、成形体は加工しやすい特性がある。

しかし、それでもなお、角欠けがしやすい欠点がある。

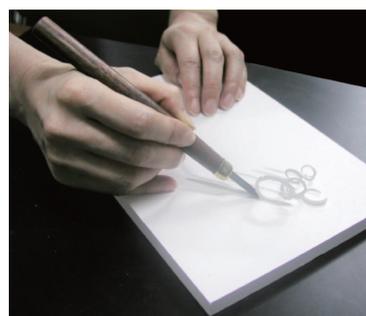


図9 樹脂複合化したゾノトライト系けい酸カルシウム成形体



図10 凸彫りしたサインボードの製作例

あったので、成形前の工程でスラリーに樹脂を添加することによって、成形体の強度を高め、加工時の角欠けを低減させることができた。樹脂は、ゴム系、特にスチレン・ブタジエンゴム (SBR) が有効であった。

樹脂と複合化したゾノトライト系けい酸カルシウム成形体は均質であるので、木材のような加工性を持ちながら、それでいて、木材にみられるような木目、逆目などの不均質な部分がなく、固さが一定している。

また、材質そのものも木材より柔らかい。彫刻刀で削ると、容易に削ることができる。(図9) 以下に内装建材、刻字用材料などとして製品化している例を示す。

4.1 刻字・彫刻用材料

上述のように、ゾノトライト系けい酸カルシウム成形体は、木材にみられるような木目、逆目などの不均質な部分がないので、彫刻作業が容易で、ノミを使用しなくても立体感のある作品を製作することができる。初心者や高齢者でも容易に彫刻に取り組むことができるので、刻字、レリーフの材料や版画、拓本の原版としても用いられ、小学校や中学校の教材にも採用されている。図10は凸彫りしたサインボードの製作例、図11は手掘りした能面の製作例である。

4.2 内装建材

ゾノトライト系けい酸カルシウム板をNCルータ(NCとは「Numerical Control (数値制御)」の略で、コンピュータで制御する切削加工機械)で3D加工すると、表面に意匠を施すことができる(図12, 図13)。



図 11 手掘りした能面の製作例

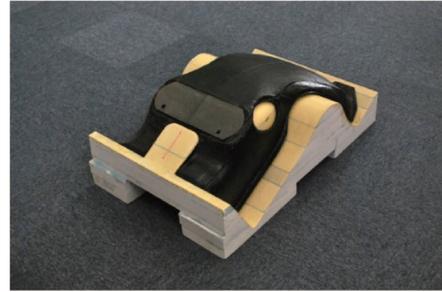


図 14 CFRP の成形用型材での使用例（黒い部分は CERP）

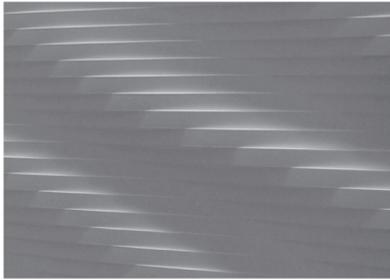


図 12 NC ルータで 3D 加工した内装建材（詳細）



図 13 NC ルータで 3D 加工した内装建材

4.3 今後の展開

樹脂複合化したゾノトライト系けい酸カルシウム材料は、加工性と耐熱性を兼ね備えた素材である。樹脂の混合量を調整することで、加工性と耐熱性の特性を調整することができる。例えば、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の成形用型材などへの応用で実用されている例（図 14）があるが、相反する特性のバランスを取りながら、顧客からのニーズに対応して用途開発を進めていきたいと考えている。

文 献

- 1) 柿木克己, “軽量軽量断熱材 けい酸カルシウムについて”, 冬樹社 (1990).

筆 者 紹 介

金子 一郎 (かねこ いちろう)・小泉 佑樹 (こいずみ ゆうき)
 [連絡先] 〒542-0081 大阪市中央区南船場 1-18-17 商工中金船場ビル 7 階 日本インシュレーション(株)
 E-mail: i-kaneko@jic-bestork.co.jp