

ニチアス株式会社

—高耐熱低熱伝導断熱材の開発—

NICHIAS Co., Ltd. —Development of High Heat Resistance and Low Thermal Conductivity Insulation Material—

Key-words : Insulation, Alumina nanoparticles, High heat resistance, Low thermal conductivity

福代 壮二郎

Sohjiro FUKUYO (NICHIAS Co., Ltd.)

1. はじめに

当社は、1896年の創業以来120年以上にわたり「断つ・保つ」[®]の技術を軸に多様な製品群および技術領域を拡大してきた。石綿製品に始まり、時代の要請とともに無機繊維や高機能樹脂、セラミックスなど多様な素材技術を応用し、発電・石油化学・自動車・半導体といった広範な分野に製品を提供している。「断つ・保つ」[®]の技術を基盤に、「シール」「耐火」「断熱」「防音」「耐食」「クリーン」という6つのコア技術を展開し、さまざまな産業分野を支えている(図1)。なかでも「断熱」は、エネルギー利用効率の向上や機器の長寿命化に直結する技術領域であり、当社の中核的技術の一つである。近年では、産業設備の高温化・省エネ化が進む中で、より高い耐熱性と低い熱伝導率を両立する断熱材へのニーズが高まっている。このような背景を踏まえ、我々はアルミナナノ粒子を用いた高耐熱かつ低熱伝導な断熱材の開発に着手した。本稿ではその開発事例について紹介する^{1), 2)}。



図1 ニチアスの保有技術

2. 1200℃対応低熱伝導断熱材の紹介

当社は、2011年2月にシリカナノ粒子を主原料とする断熱材 TOMBOTM No. 4350 ロスリム[®] ボード H/GH を製品化した。当製品は、従来の繊維質断熱材よりも極めて低い熱伝導率で、かつ優れた加工性とハンドリング性を有しており、最高使用温度は1000℃である。しかしながら、より高い耐熱性と低い熱伝導率を併せ持った断熱材の要望も強い。そこで、最高使用温度1200℃対応の断熱材の開発に着手した。この開発品は、アルミナナノ粒子を主原料とし、耐熱補強繊維およびふく射散乱材と混合した後に圧縮成形し、焼成することでハンドリング強度を発現した高性能断熱材である。その概要について以下に記す。

2.1 ナノ粒子断熱材の低熱伝導化の原理

断熱材中の熱の移動形態は、固体部分を介しての伝熱、空隙に存在する気体を介しての伝熱、空間内でのふく射伝熱の組み合わせになると考えられる³⁾。

$$\lambda = \lambda_{sol} + \lambda_{gas} + \lambda_r \quad (1)$$

ここで、 λ は断熱材の熱伝導率、 λ_{sol} は固体の熱伝導率、 λ_{gas} は気体の熱伝導率、 λ_r はふく射の熱伝導率である。

近年、粉体の微細化技術が進歩する中で、より活性度の高いナノレベルの超微粒子が得られるようになり、材料の高性能化、新素材の創出に大きな可能性をもたらした⁴⁾。ナノ粒子を断熱材に応用することで、伝熱要素のうち固体と気体の熱伝導率を低減でき、従来には見られなかった低熱伝導率を実現する断熱材が世の中に登場するようになった。図2にナノ粒子集合体の模式図を示す。ナノ粒子で形成された断熱材が低熱伝導を発現する要因は、粒子径がナノレベルであるため粒子同士の接触面積が小さいこと(固体伝導伝熱の低減)と空気平均自由行程(常温、常圧において約100nm)よりも小さな細孔の存在(気体伝導伝熱の低減)にある。

2.2 高温におけるアルミナナノ粒子の形態変化

ナノ粒子は、原子間の結合力の弱い表面原子の割合が大きく、粗大粒子よりも低温で表面原子の拡散が起こりやすい。そのため、1200℃の高温において粒成

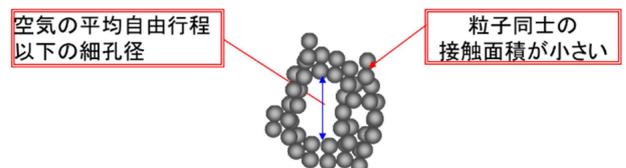


図2 ナノ粒子集合体の模式図¹⁾

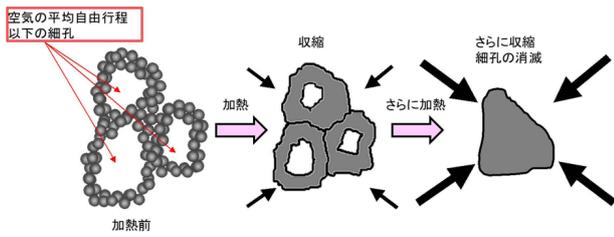


図3 ナノ粒子集合体の粒成長の模式図¹⁾

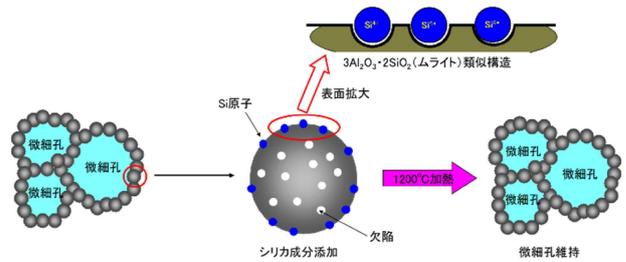


図5 シリカ成分添加による粒成長抑制の模式図²⁾

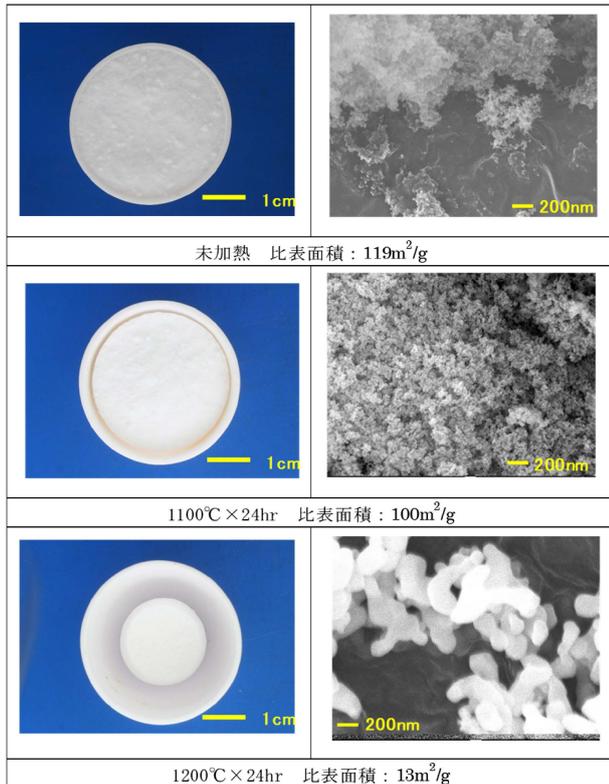


図4 アルミナナノ粒子の加熱試験結果¹⁾ (左：外観写真 右：SEM写真)

長はより促進される状態となる。加熱によるナノ粒子集合体の粒成長の模式図を図3に示す。粒成長により空気平均自由行程以下の細孔が潰れて収縮が引き起こされ、結果として、固体と気体の熱伝導率が大きくなってしまふ。

アルミナナノ粒子粉末の耐熱性を評価した結果を図4に示す。外観写真は、アルミナナノ粒子を坩堝に入れて上から撮影したものである。アルミナナノ粒子は、1100℃においては、未加熱の場合と比較し収縮と比表面積の低下は小さくナノ粒子集合体の形態を保っていたが、1200℃になると収縮と比表面積の低下は大きくなり、粒子は粗大化した。アルミナナノ粒子単体では、1100℃程度の耐熱性であることがわかった。

2.3 高温におけるアルミナナノ粒子の形態維持

アルミナナノ粒子が1200℃においてもナノ粒子集

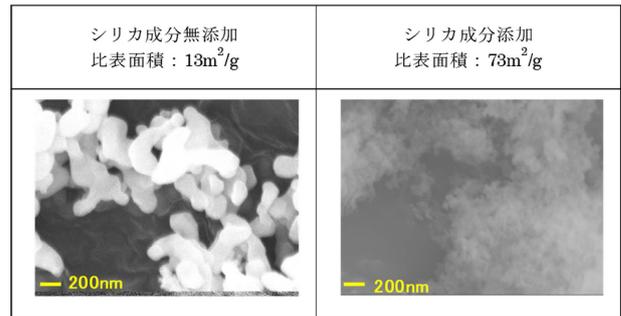


図6 1200℃×24hr加熱後のシリカ成分添加有無によるアルミナナノ粒子の形状²⁾

合体の形態を保つためには、粒成長を抑制する必要がある。一般的に自動車用触媒や触媒担体で使われるミクロンオーダーのアルミナの粒成長を抑制する方法として微量のシリカ成分を添加することが知られている⁵⁾。その抑制メカニズムの模式図を図5に示す。アルミナ粒子表面の欠陥部分にシリカ成分のSi原子がドーブされると表面が高温で安定なμライト類似構造となり、表面原子の拡散が抑制されるため粒成長しにくくなり、微細孔を維持することができる。

そこで、アルミナナノ粒子に粒成長抑制材としてシリカ成分を添加し、1200℃×24hr加熱した後の粒子の形状を調べた。加熱前後のSEM写真を図6に示す。1200℃加熱後においても、ナノ粒子集合体の形態を保ち、粒成長が抑制されることが示された。

3. 開発品の性能評価

アルミナナノ粒子を主原料とし、粒成長抑制材のシリカ成分、耐熱補強繊維、ふく射散乱材で構成された開発品の性能を以下に述べる。

3.1 熱伝導率

断熱材の重要な性能指標の一つに熱伝導率がある。幅広い断熱材ラインアップを持つ当社では、研究開発から品質管理まで、すべてのステージで重要な材料特性となる熱伝導率を高精度に測定する技術を保有している。材料開発と性能評価の両方の技術を併せ持つこ

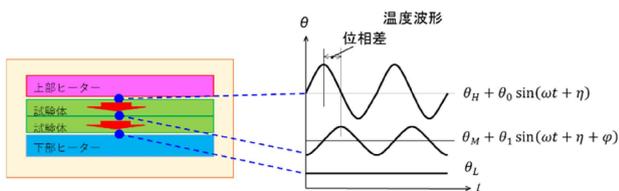


図7 周期加熱法の模式図と温度波形

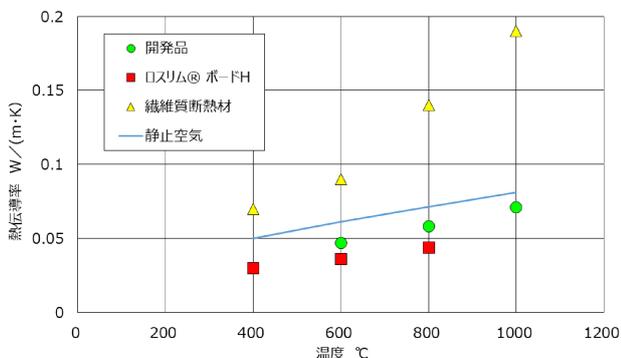


図8 各種断熱材の熱伝導率¹⁾

とは、迅速な製品開発や顧客ニーズへの柔軟な対応に繋がるため、当社の強みとなっている。当社では複数の熱伝導率評価装置を保有しており、測定の方法や用途、材料などに応じて適切な装置を選定している。中でも、周期加熱法を用いた装置は、当社が独自に開発した装置であり、2021年にISO⁶⁾、2022年にJIS⁷⁾の規格として制定され、常用1000℃までの測定が可能である。周期加熱法の模式図と温度波形を図7に示す。周期加熱法では、試験体の上下面にヒーターを設置し、上部ヒーターから厚さ方向に周期的な温度変動を与える。試験体上面から中間面に温度変動が伝播する際、位相差φ(時間差)を生じる。周期加熱法では、この位相差φから熱拡散率を求め、別途求めた比熱と密度との積から熱伝導率を算出する。

周期加熱法を用いた装置で測定した各種断熱材の熱伝導率を図8に示す。ロスリム® ボードH、開発品ともに800℃における熱伝導率は、繊維質断熱材の1/2以下であり、静止空気よりも低い値である。

3.2 強度と耐熱性

各種断熱材の圧縮強度と加熱収縮率を表1に示す。開発品の圧縮強度はロスリム® ボードHと比較して同等であり、十分なハンドリング強度を有している。開発品の加熱収縮率は、ロスリム® ボードHや繊維質断熱材と比較し非常に小さく、1200℃までの使用が可能である。

表1 各種断熱材の圧縮強度と加熱収縮率

	開発品	ロスリム® ボードH	繊維質断熱材
密度 (kg/m ³)	370	250	250
圧縮強度 (MPa) (10%圧縮歪)	0.5	0.5	-
加熱収縮率 (%) at 1000℃×24 hr	0.0	2.5	2.2
at 1200℃×24 hr	1.0	-	3.4
最高使用温度 (°C)	1200	1000	1300

4. まとめ

本稿で紹介したアルミナナノ粒子を使った開発品は、常温から高温まで幅広い温度において低い熱伝導率を示し、繊維質断熱材と比較してその性能差は歴然である。また、十分なハンドリング強度も有しており、従来にない高性能な断熱材である。しかし、製造コストが高いという課題があり、残念ながら現時点では製品化には至っていない。ただし、開発の過程で得られた技術的知見やノウハウは、以降の研究開発において大いに活用されている。

5. 学生に向けて

「断熱材」と聞いて、どのような印象をお持ちでしょうか。あまり目立たない存在かもしれません。しかし、私たちは「熱を断つ」という一見地味な機能にこそ、社会的意義と技術の奥深さがあると考えています。熱を適切に制御することは、エネルギーの有効利用、安全性の確保、生産性の向上など多くの産業の基盤を支える重要な要素です。私たちは素材技術や評価技術を基盤に、日々この分野での挑戦を続けています。研究開発はすぐに結果が出るものではなく、失敗や試行錯誤を重ねながら進むものです。ただ、一見無駄に思える経験の中にも、次の一步につながるヒントが隠れていることがあります。そうした気づきを見出す感性は、時間をかけて身につく技術者としての力の土台となります。これは断熱材の研究に限らず、あらゆる分野に共通することです。皆様が今後どのような道を選ばれるとしても、物事の本質に向き合い、粘り強く取り組む力は、きっと社会の中で活かされるはずで、皆様のご活躍を心より願っております。

注

- * 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標又は商標です。
- * ®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。

文 献

- 1) 福代壮二郎, ニチアス技術時報, 1, 15-19 (2014).
- 2) 福代壮二郎, 配管技術, 56[13], 81-83 (2014).
- 3) ニチアス株式会社, ナノ複合構造制御による省エネルギー対応型高機能・超低熱伝導断熱材料の開発 平成15年度～平成16年度成果報告書 (2005) pp.67-69.
- 4) 細川益男, 野城 清, “ナノパーティクル・テクノロジー”, 日刊工業新聞社 (2003) pp.4-7.
- 5) 伊賀武雄, 名古屋工業技術研究所報告, 43[2], 69-78 (1994).
- 6) ニチアス技術時報, 3, 18 (2021).
- 7) ニチアス技術時報, 1, 16 (2023).

筆者紹介

福代 壮二郎 (ふくよ そうじろう)

2008年3月筑波大学大学院 数理物質科学研究科 博士前期課程修了。
同年4月にニチアス株式会社入社。断熱材の研究開発に従事。

[連絡先] 〒431-2103 静岡県浜松市浜名区新都田1-8-1 ニチアス株式会社 浜松研究所

E-mail : fukuyo-s@nichias.co.jp