

ニチアス 技術時報

2014

No.364

1号

断熱材特集

NEWS

住宅用ロックウール断熱材の新工場完成!
業界初!「ガスケットNAVI™」アプリを公開



ニチアス

目 次

【巻頭言】

- ◆断熱材特集号発刊にあたって 1
研究開発本部 浜松研究所 研究開発部門 GL 佐藤 清

【特別企画】

- ◆極低温から超高温までをカバーするニチアスの断熱材 2

【News】

- ◆住宅用ロックウール断熱材の新工場が完成しました 4
◆最適なガスケットを選定できるアプリケーション「ガスケット NAVI™」を公開しました 5

【技術レポート】

- ◆（寄稿）中・低温領域の断熱材の概要と発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発について 6
独立行政法人 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 依田 智
◆高耐熱低熱伝導断熱材の開発 15
研究開発本部 浜松研究所 福代 壮二郎

【解説】

- ◆硬質ウレタンフォームの発泡剤をめぐる環境問題対策の動向について 20
基幹産業事業本部 工事業本部 工事技術部 服部 泰紀

【製品紹介】

- ◆着脱自在な発じんの少ないクリーンルーム向け保温材
TOMBO No.4500-CR「エネサーモ® CR」..... 28
高機能製品事業本部 無機断熱材技術開発部
◆金属保温材 31
基幹産業事業本部 工事業本部 工事技術部

【その他】

- ◆技術時報 363（2013年4号）誤記に関するお詫びと訂正 35

送り先ご住所の変更、送付の停止などにつきましては、下に記載の連絡先までご連絡ください。
なおその際は、宛て名シールに記載されている7桁のコードを必ずお知らせくださいますよう、お願いいたします。

〈連絡先および本誌に関するお問い合わせ先〉

ニチアス株式会社 経営企画部広報課
TEL: 03-4413-1194
FAX: 03-3552-6149
E-mail: info@nichias.co.jp

本誌の内容は当社のホームページでもご紹介しております。
当社ホームページでは、1999年1号から最新号までの内容をご覧いただけます。
<http://www.nichias.co.jp/>

〈巻頭言〉

断熱材特集号発刊にあたって

研究開発本部

浜松研究所 研究開発部門 GL 佐藤 清



新年明けましておめでとうございます。

今年の日本経済が経済政策および民間活力により好調となり、産業を支えるニチアスの製品群がその一助になることを期待しております。

本号は弊社創業以来の主要製品のひとつである断熱材を特集します。火を扱う技術に付随して生まれた断熱技術は、科学技術史の時間軸でも長い歴史をもつ熟成された技術です。しかし現代の産業を支える基盤としての重要性は色褪せることはなく、省エネルギーや省資源の要求の高まりから、断熱技術には技術的熟成だけではなく技術的進歩が期待されています。

断熱技術を熟成・進歩させていく方向について、性能向上と機能付与の視点で整理してみます。

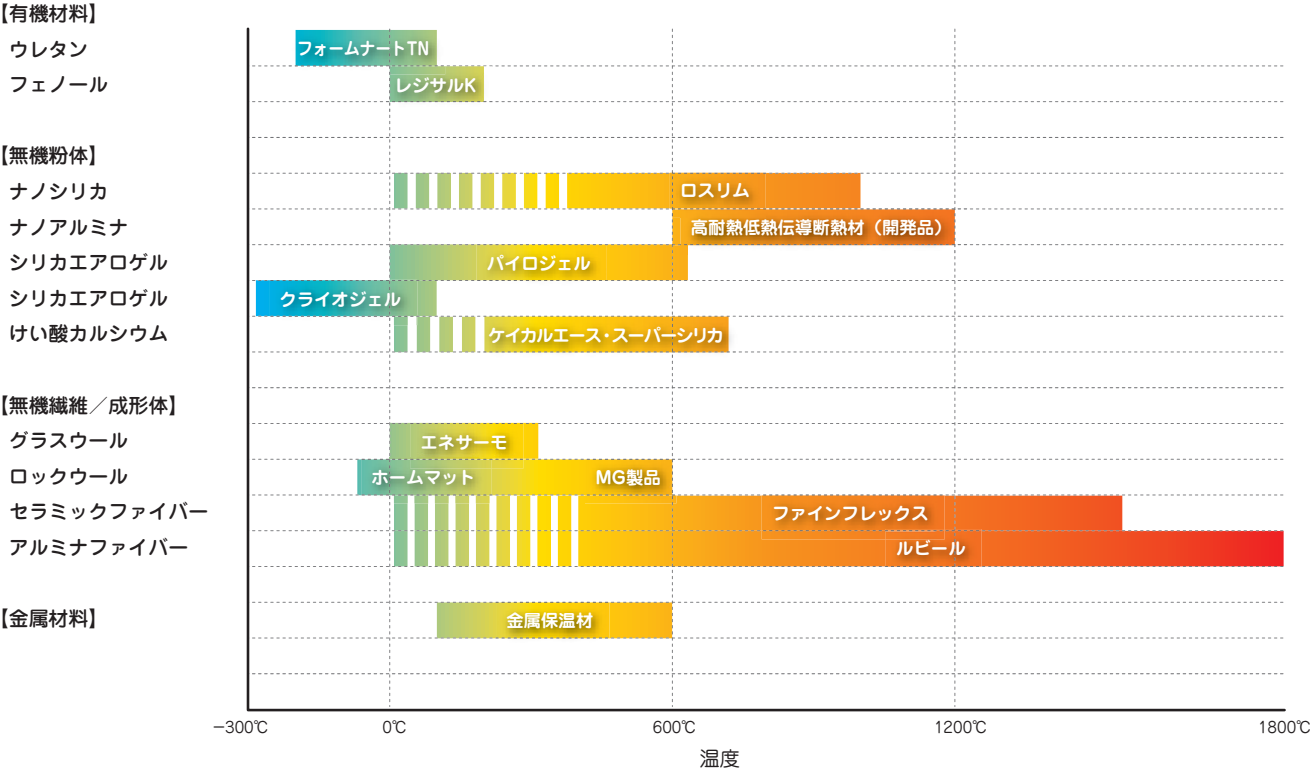
まず性能向上の視点でとらえると、断熱材の熱伝導率は既に物理的限界に近い性能が実現されています。室温付近においては、真空断熱や本号でも紹介するナノ構造を利用した低熱伝導断熱材で、静止空気以下の熱伝導率が実現されています。今後も性能向上は続くと考えますが、性能を単純に2倍、3倍にすることは困難です。ただし高温など断熱材に厳しい使用環境であれば話は別です。伝熱理論の物理的限界よりも材料の耐熱限界などが先に現れる領域では、今後も性能向上の余地があり、弊社が継続的に技術の極限に挑戦していく領域です。

次に機能付与の視点で断熱技術をとらえます。この視点では、お客さまの技術進展に応じて開発を進めていく多くの課題が存在します。本号で紹介する断熱技術のほとんどは、これらの機能付与の領域に属します。本号では強度向上、クリーン性付与、使いやすさなどの事例を紹介しています。科学技術や産業の変遷に応じて現れるニーズに対応していき、断熱材の市場価値を創出する活動は、断熱技術開発の主戦場といえます。

弊社は断熱技術のトップメーカーとして、断熱技術の極限の追求と、断熱材の市場価値創出の両面において、皆さまのご意見・ご要望をいただき研究開発を行う所存ですので、今後とも一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

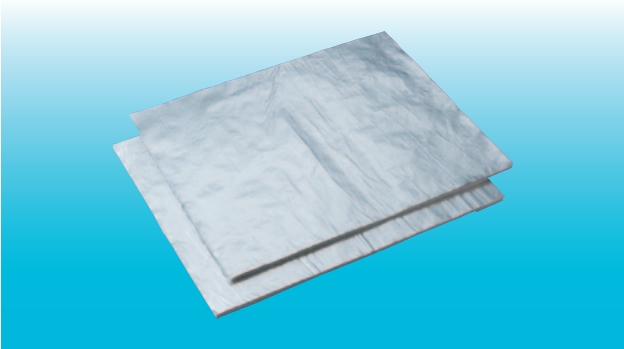
極低温から超高温までをカバーするニチアスの断熱材

ニチアスは1896年に保温・断熱分野のパイオニアとして誕生して以来、今日まで極低温から超高温までの温度領域に対応したさまざまな断熱材料を開発し、それらを用いた製品を幅広く提供しております。



クライオジェル™ Z

シリカエアロゲルをポリエステル不織布に含浸させ、完全防湿層であるアルミ箔を組み合わせた保冷用ブランケットです。超伝熱伝導性、柔軟性、はっ水性、ハンドリング性を有する極低温に必要不可欠な高性能断熱材です。-270℃～90℃の断熱に使用されます。



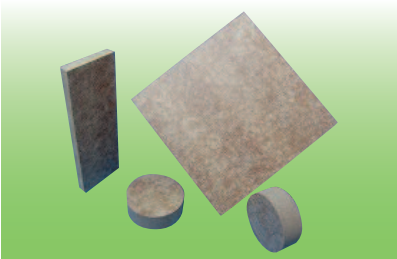
フォームナート™ TN 詳細はP20～

炭酸ガス発泡による独立気泡からなるノンフロン硬質ウレタンフォーム製断熱材です。極低温（-196℃）から100℃までの断熱に使用されます。



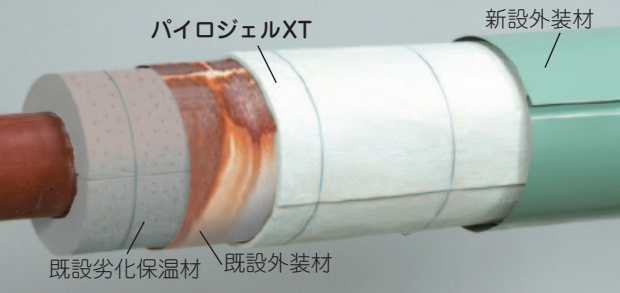
レジサル® K

ガラスペーパーにフェノール樹脂を含浸したプリプレグを、複数積層した高強度断熱板です。曲げ強度が高く、熱プレスの断熱板に使用されます。200℃までの断熱に使用されます。



パイロジェル™ XT

静止空気より低い熱伝導性・はっ水性・水蒸気特性に優れた高性能保温材で、劣化した既設保温材の上に巻くだけで機能を回復させるe-AIM工法に使用されます。650℃までの断熱に使用されます。
※内部流体温度400℃以上でご使用される場合は当社へご相談ください。



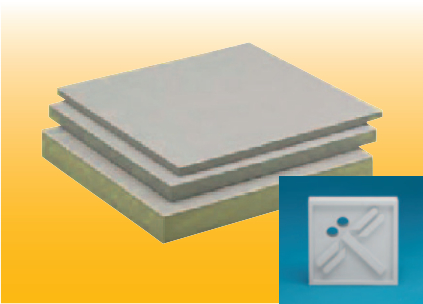
ホームマット®

ロックウールをマット状に成形加工したもので、環境にやさしく、断熱性・防火性・防音性に優れた住宅用断熱材です。



ロスリム®

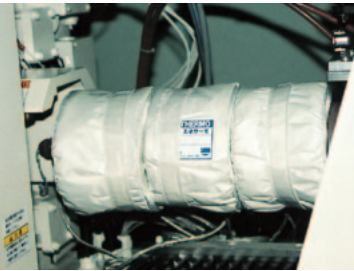
ナノポア構造を有するシリカ質を成形したもので、静止空気を上回る優れた断熱性と高い加工性・ハンドリング性を有する高性能断熱材です。1000℃までの断熱に使用されます。



加工例

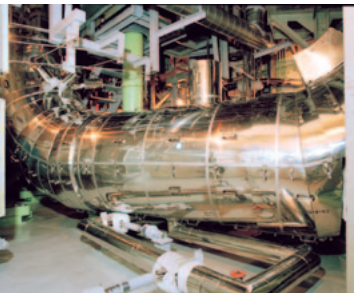
エネサーモ® 詳細はP28～

フェルト状のグラスファイバーなどを無機繊維織布で被覆成形した、着脱自在で繰り返し使用できるフレキシブルな断熱材で、250℃までの断熱に使用されます。



金属保温材 詳細はP31～

ステンレス薄鋼板で構成されたケースに、特殊形状のステンレス箔を複数積層し収納した低発じん性の断熱材です。主に原子力発電所用の配管断熱材に使用されています。着脱が容易で、機械的強度、腐食性に優れ、600℃までの断熱に使用されます。



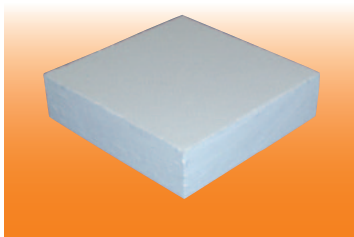
ファインフレックス®・ルビール®

アルミナ・シリカを主成分とした人造無機繊維です。二次製品は各種結合剤や充填材を配合することにより、ファインフレックスは1600℃まで、ルビールは1800℃までの断熱に使用されます。



高耐熱低熱伝導断熱材（開発品） 詳細はP15～

ナノポア構造を有するアルミナ質を成形したもので、静止空気を上回る優れた断熱性と高い加工性・ハンドリング性を有する高性能断熱材です。1200℃までの断熱に使用されます。



News

住宅用ロックウール断熱材の新工場が完成しました

弊社の子会社である株式会社君津ロックウールにおいて、2013年11月7日に住宅用ロックウール断熱材の新工場が竣工しました。

現在、国は住宅の省エネ住宅推進政策を強力に進めており、断熱性に優れた住宅用ロックウール断熱材の需要が大幅に拡大することが予測されております。

弊社ではこれに応じて住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®NEO」「ホームマット®」の新工場建設を進めてきました。完成した新工場の生産能力は4万トン／年です。これにより弊社グループの住宅用ロックウール断熱材の生産能力は今後約3倍になります。



新工場全景



ホームマットNEO外観

【関連バックナンバー】

2013年1号 通巻No.360 建材特集号

【解説】省エネルギー基準の変遷と今後の法制化の動き

【製品紹介】住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®」「ホームマット®NEO」

バックナンバーは弊社ホームページからご覧いただけます。

* 「ホームマット」はニチアス(株)の登録商標です。

最適なガスケットを選定できるアプリケーション 「ガスケットNAVI™」を公開しました

弊社は、工業用ガスケットの選定や施工に関して技術者を支援する業界初のアプリケーション「ガスケットNAVI™」を、2013年12月2日より無料で公開しました。

ガスケットは、それぞれの使用条件（温度・圧力・流体の種類など）に適した製品を、多種多様なバリエーションの中から選定しなければなりません。さらに使用にあたり、ガスケットの種類やサイズに応じた適切な締付け力など、専門的な知識が必要ですが、この「ガスケットNAVI™」の登場で、使用状況に応じた最適なガスケットの選定と締付け力の計算が可能になり、大幅な作業効率化を図ることができます。

「ガスケットNAVI™」の機能は以下の4点です。※特許出願済

- 使用条件に合ったガスケットの選定
- 他社品情報からニチアス相当品（ガスケット、パッキン）を検索
- 最適なガスケットの締付け力を計算
- 長さ、面積、質量などの単位を換算

アプリケーションは、Web経由のパソコン版（<http://seal.nichias.co.jp/>）のほかにスマートフォン向け（iOS版、Android版）も同時に公開いたしました。事務所や現場など、場所や使用環境を問わずどこでも気軽にアプリケーションを利用いただけます。



ガスケットNAVI画面



「ガスケットNAVI™」に関するお問合せ先：工業製品事業本部 03-4413-1134

*「ガスケットNAVI」はニチアス(株)の商標です。

〈技術レポート〉

(寄稿) 中・低温領域の断熱材の概要と発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発について

独立行政法人 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 依 田 智

1. はじめに

エネルギー資源の多くを海外に依存せざるを得ない我が国においては、エネルギーを無駄なく、有効に活用するための取り組みは不可欠である。またCO₂の排出削減、地球温暖化防止の観点からも、化石燃料を中心とした省エネルギーへの取り組みが必要である。東日本大震災以降の電力供給の状況や、国際的に資源確保の動きが高まっていることも踏まえ、その重要性は高まりつつある。

最近では、これまで排熱として放出され、利用されていない低品位の熱を有効利用するための技術開発に世界的な注目が集まっている。経済産業省では、平成25年度から国のプロジェクトとして「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発」(平成25年度予算15.5億)を開始した¹⁾。このプロジェクトでは、蓄熱、断熱、熱電変換、ヒートポンプなどの技術開発を促進し、未利用熱エネルギーの有効活用に向けた取り組みを推進している。断熱材料は直接的に省エネルギーに貢献するのみならず、他の技術の効率化や性能向上にも重要な役割を果たすことが期待されている。

本稿では、室温から数100℃までの、中・低温といわれる領域の断熱材料の状況を俯瞰するとともに、独立行政法人産業技術総合研究所(以下、産総研と略す)で取り組んでいる“発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材”の開発について紹介する。

2. 中・低温領域の断熱材料の現状と問題点

2.1 中・低温領域の断熱材概説

中・低温領域では主に(a)無機繊維系、(b)発泡ポリマー系が断熱材として汎用されており、また(c)真空断熱材、(d)シリカエアロゲル系複合材が高性能断熱材として上市されている。用途は住宅用建材やプラント関連の配管などの断熱、冷蔵庫、自動販売機などの機器用断熱が主である。マーケットとしては住宅用建材の断熱の割合が大きく、面積比で全断熱材の約70%を占める²⁾。

2.2 主要な各断熱材料の概要と技術課題

図1に主な断熱材の使用可能な温度領域と熱伝導率、価格と熱伝導率の相関(概念図)を示した。材質そのものに柔軟性のある軟質の断熱材と、硬質の断熱材を色で区別した。なお汎用材料の熱伝導率の値は、やや古くなっているが、公的にオーソライズされている資料³⁾を参照している。

(a) 無機繊維系(グラスウール、ロックウール)

極めて安価で化学的安定性、不燃性などの性質を持ち、広く用いられている。一般品の熱伝導率は0.04~0.05W/(m・K)(室温)程度で、温度と共に急激に増大する⁴⁾。

(b) 発泡ポリマー系(硬質ウレタンフォーム、ポリスチレンフォーム、ポリエチレンフォーム、フェノールフォームなど)

軽量で柔軟性、加工性、ハンドリング性に優れる。無機繊維系より熱伝導率は小さく0.029~

0.04W/(m・K) (室温) 程度で、価格はやや高い。フロン系ガス、炭化水素など熱伝導率の小さいガスを使うウレタンフォーム、フェノールフォームでは高性能 (0.022以下～0.028W/(m・K)) が得られるが、空気との置換により断熱性能は低下する⁵⁾。耐熱性は乏しく、フェノールフォームで150℃、他は100℃以下である。上記の環境負荷の大きなガスを使わない発泡技術 (N₂, CO₂の超臨界発泡、ウレタンフォームの水発泡) の開発と、ガスの封止、対流防止などを目的としたガスバリア性の向上が検討されている。

(c) 真空断熱材

多孔質の芯材をシール材 (ラミネートフィルム) で密封し、内部を減圧にした構造を持つ。対流伝熱がなく、極めて低い熱伝導率 (0.01W/(m・K) (室温) 以下) が実現可能である。価格は高い。真空を長期間維持することが最大の課題で、シール部分による熱の逃げや、加工性、施工性の悪さ、柔軟性に欠けることも問題となる。また一般にシール部分の耐熱性が低く、100℃以上では使われない。これらの課題に対する技術開発が行われている。

(d) シリカエアロゲル系複合材

シリカエアロゲルは極めて高い空隙率と、平均径が10～50 nmの細孔構造を合わせ持つシリカの多孔体であり、0.012～0.015W/(m・K) (室温) という低熱伝導率を実現できる。断熱性能は構造に依存し、真空やフロンガスなどの低熱伝導率のガスを使う必要がないため、長期の性能持続性に優れる。成形体の製造コストが高いこと、柔軟性がなく、力学的強度 (特に引っ張り) が小さいことが普及のバリアになっている。

そのため粉末、微粒子などの低コストの製造プロセス、機械的強度の向上を目的とした複合化の研究開発が盛んであり (後述)、粉末状のものと不織布などを複合化した材料 (0.015～0.020W/(m・K) 以下) が上市されている。

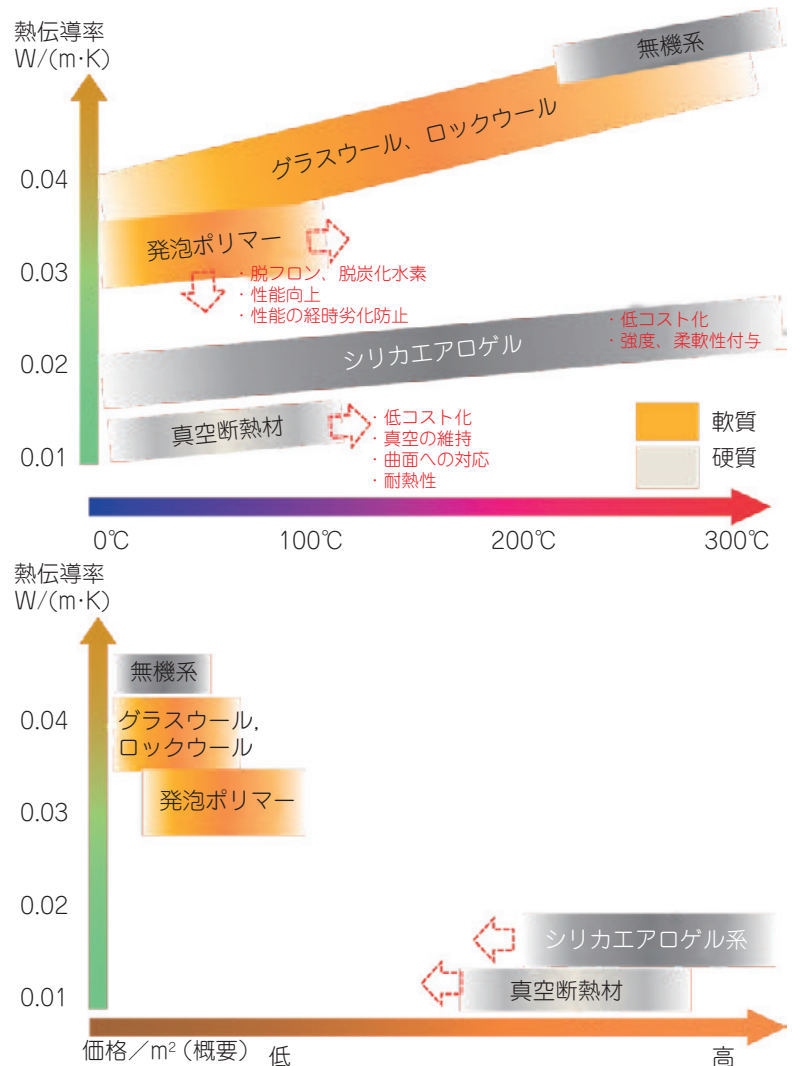


図1 主な断熱材の使用可能な温度領域と熱伝導率、価格の相関(概念図)

以上を総合すると、中・低温領域では、100℃以上の領域で、種々の形状に使用できる主要な軟質断熱材としては無機繊維系が選択肢となるが、現状ではさらに高い断熱性能が要求されるようになっている。また、全般的にコストへの要求が厳しい。

3. 中・低温領域における断熱材料のニーズ

3.1 住宅用途

住宅の冷暖房、給湯に起因するエネルギー消費は増え続けており、断熱化が急がれている⁶⁾。次世代省エネ基準 (平成11年基準) を満たすためには標準Ⅳ地域で壁に高性能グラスウール (密度16k) またはロックウール (密度40k) で90 mm

が必要とされるが、断熱材が高性能になるほど薄くでき、居住空間の増大につながる。建築業界がイニシャルコストに厳しいこと、不燃性、難燃性が求められること、施工基準が整備されていない問題などから、無機繊維系が出荷量（面積基準）で66%（平成22年）を占める²⁾。ポリマー系は33%で、うち硬質ウレタンフォーム、フェノールフォームはそれぞれ12.4%、1.7%であり、他の高性能断熱材のシェアは極めて低い²⁾。

この用途で新規の断熱材料を考えるならば、低コストで高性能（ $0.02 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ （室温）以下）であることが必要であり、難燃性または不燃性、環境調和性（フロンガスや炭化水素フリー）が求められる。

また、既存の住宅のうち50%近くが無断熱状態⁷⁾であり、これらの断熱リフォームに対応する製品も望まれている。例えばカーペット、床材、壁紙などの内装材であり、既存の居住空間を損なわないための薄さ（＝断熱性能）と柔軟性が求められる。

3.2 プラントなどの用途

化学、電力などの産業プラントでは温排水や蒸気配管などでの排熱損失が問題となっている。排熱温度は $100 \sim 300^\circ\text{C}$ のものの割合が多いが、前述のように 100°C 以上で一般的なポリマー系材料は対応できず、無機繊維系や、無機系複合材料が使われているプラントなどの用途では $100 \sim 300^\circ\text{C}$ で安定に使用でき、特に熱漏れの大きなバルブ部などの複雑な形状に対応するための柔軟性や復元性、低コストなどが求められる。今後の熱伝導率の目標値としては、コストとのトレードオフとなるが、例えば同じ温度の静止空気（ 200°C ）とすることが妥当な目標と考えられる。

3.3 自動車用途

近年ハイブリッド車やEVの普及に伴い、これまでエンジンの排熱を利用してきていた冷暖房の負荷が相対的に大きくなり、燃費への悪影響が無視できない問題となっている。そのため、これまでほとんど考慮されていなかったボディの断熱化が検討されるようになった。現状では吸音・断熱効果のある素材が一部使われている程

度であり、高い性能の断熱材を導入することにより効果が期待できる。必要なスペックとして、薄くできること（＝高い断熱性能）、複雑な形状に対応できる柔軟性、成形性、不燃性または難燃性、低コストなどが上げられる。

また、熱電変換素子を用いた排気ガスからの排熱回収も検討されているが、効率的に熱回収を行うためには、断熱材による熱流の制御が必要になる。高い温度領域となるため一部は無機系断熱材の守備範囲となるが、今後需要が多くなる分野と考えられる。

3.4 その他

ヒートポンプや蓄熱システム、熱電変換素子、太陽熱利用システムなどの熱デバイス全般において、断熱の高性能化、熱流の制御による熱利用効率の向上が期待できる。太陽電池との組み合わせによるエネルギー利用向上も期待できる。いずれの場合も薄くて高性能で、さまざまな形状に対応できることが基本的に求められる。

4. ナノコンポジット技術による低熱伝導率の実現性

4.1 低熱伝導率達成の考え方

微細な独立気泡や細孔構造を持つ断熱材料では、熱伝導の三態（伝導・対流・放射）のうち、気体の対流による伝熱が無視でき、固体および気体における伝導と放射が主に影響する^{8, 9)}。放射は材質の影響が大きく、温度領域や強度、用途などで選択が限定される。固体部分の伝導抑制にはできる限り空隙率を大きくすることが必要である。気体部分の熱伝導については、真空断熱が抜本的な解決法となるが、材料としては前述のようにコスト、柔軟性、性能の持続性、加工性などの点で問題も多い。

真空を用いない断熱材料として、空気中の気体分子が自由に運動できないサイズの空間を集積した構造を持つNIM（Nano Insulation Materials）の概念が知られている¹⁰⁾（図2）。熱伝導率の小さな材料で、空隙率の高いこのような構造が作成できれば、気体分子が空間に拘束され、相互衝突頻度が下がるために、伝導が抑制され、静止状態の空気を下回る熱伝導率が得

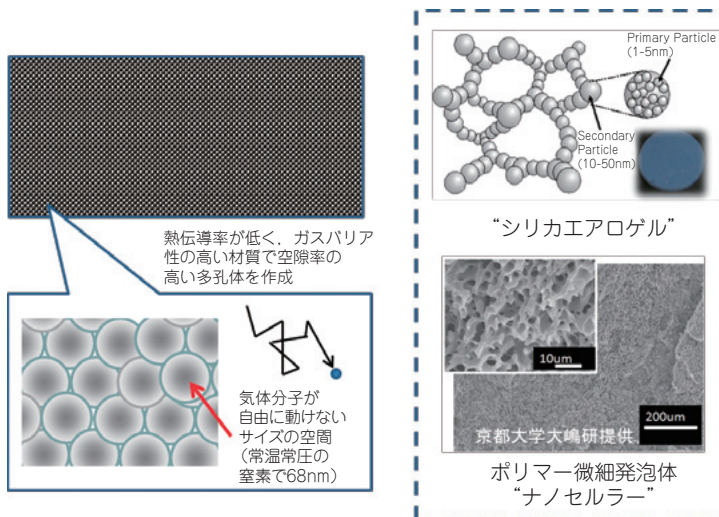


図2 NIMの概念図

られるとされる^{8~10)}。実在のNIMに近い材料としては、シリカエアロゲルとポリマーの微細発泡体（ナノセルラー）がある。

4.2 シリカエアロゲルなど低密度シリカとポリマーのナノコンポジット

シリカエアロゲルはNIMに最も近い実用材料であり、欠点である製造コストの低減と、機械的強度の改善が研究開発の中心となっている。シリカエアロゲルなどの低密度シリカと、ポリマーもしくは繊維をナノレベルで複合化することで、断熱性能と機械的強度を両立したコンポジット材料を目指す研究が多く行われている。これらの研究では室温領域での建材用途を想定した研究が中心で、硬質断熱材が多く、100℃以上での利用を想定した研究は数少ない。本稿末に軟質断熱材または耐熱性ポリマーに関連の深い最近の研究の一覧を示した。

4.3 耐熱性ポリマーフォーム

ポリマーの微細発泡により、NIMを製造する試みはこれまでも多く行われているが、バッチ発泡での実施例はあるものの、実用サイズ/materialを連続的に製造するに至っていない。現状では耐熱性の高いポリマーで、高い空隙率と微細な気泡径ができるだけ両立するような構造の最適化、高い空隙率となった際の機械的強度の維持、コストの低減が課題である。ポリイミドやポリ尿素な

ど、耐熱性の高いポリマーの多孔体の作成、またそれらとシリカなどの複合技術が注目すべき技術と思われる。同じく本稿末に最近の技術の一覧を示した。

4.4 低熱伝導率の実現性と課題

柔軟性で、耐熱性のある、高性能断熱材料を実現するためには、耐熱ポリマーをマトリックスとした空隙率の高いナノセルラーか、骨格の柔軟性が非常に高いシリカエアロゲル類似構造を作成することが理想であるが、どちらも技術的なハードルは極めて高い。シリカエアロゲルや低密度シリカを、耐熱性のポリマー多孔体中にできるだけ多く高分散した構造を作成することが現実的である。既存のこのような材料の熱

伝導率は0.03~0.04W/(m・K) (室温) のものが多く、ポリマー成分による熱伝達の増大が影響していると思われる。シリカ成分の割合を増やすことで、低熱伝導率を実現することは可能であるが、柔軟性の低下や発じん性、加工性などハンドリング性とのトレードオフになる。低密度シリカをできるだけ微細なレベルで、できるだけ分散化する技術が開発課題となる。構造最適化により同温度の静止空気 (室温で0.024W/(m・K), 200℃で0.037W/(m・K)) を上回る熱伝導率を達成できればさまざまなニーズに対応できよう。図3に想定されるナノコンポジット断熱材の位置づけを示した。

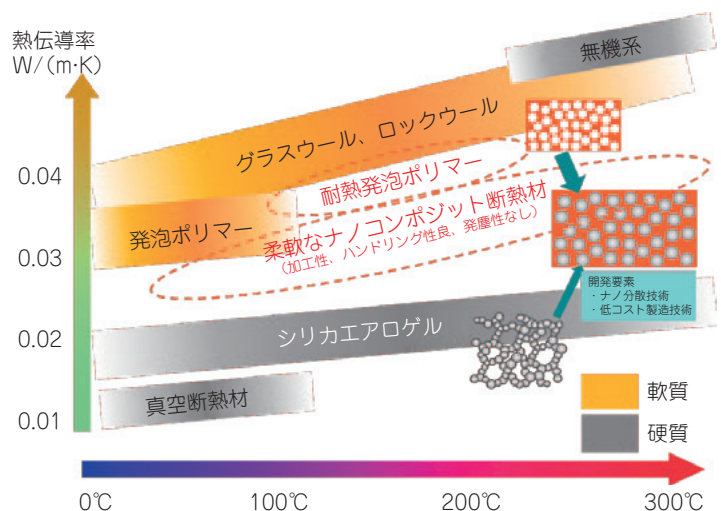


図3 想定されるナノコンポジット断熱材の位置づけ

5. 発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発

5.1 コンセプト

もし、シリカエアロゲルが発泡ポリマーの独立気泡内に充填された構造（図4）を持つナノコンポジットが低コストで製造できれば、柔軟で高性能な断熱材料としての展開が期待できる。我々はこのような材料の実現を目指して検討を行っている。

独立気泡でなく、連通孔型のポリマーフォームを用いれば、ゾルゲル法でのシリカ前駆体を含浸させることで、シリカエアロゲルとポリマーの複合体は容易に作成できる。このような材料では、シリカエアロゲル並の断熱性能を維持したままで、ハンドリング性、柔軟性などの特性が大幅に向上することを確認している¹¹⁾

一方、図4のような独立気泡内にシリカを充填する手法としては、市販のシリカエアロゲルをポリマーに混練、分散することも考えられるが、我々は図5のような新規手法を提案した。これは、高压の二酸化炭素（CO₂）が、ゾルゲル法でシリカの調製に多用されるシリコンアルコキシド類と、各種のポリマーの双方に親和性を持ち、化学種と温度、圧力条件によって三成分の均一相を形成できる¹²⁾ ことを利用し、均一相の状態から減圧により相分離（発泡）を行うものである。通常の発泡ポリマーでは、高压下でポリマー中に発泡ガス（例えばCO₂）を溶解させ、これを減圧することで発泡させるが、この場合、CO₂の代わりにCO₂とシリコンアルコキシドの混合物で発泡させる、と言い換えてもよい。これによりシリコンアルコキシドを発泡セル内に凝集させた構造を形成させ、加水分解によりシリカとすることができる。

この方法は分子レベルの混合状態からボトムアップで気孔とシリカが形成されるため、理論的にはナノレベルの微細な構造の形成、制御が可能である。また発泡ポリマーの製造と同様にして、押出成形機を用いた

連続的な製造プロセスを構築できる可能性があり、実現すれば既存の材料と十分なコスト競争力を持つことが期待できる。これらの発展性を踏まえて、本法の検討を行ってきた。

5.2 ポリマー、シリコンアルコキシド、二酸化炭素の高压相平衡

目的とする断熱材の構造（図4）を図5の製造プロセスで実現するためには、各種ポリマーについて、シリコンアルコキシド、CO₂との三成分が、均一相を形成する条件と相分離する条件を把握し、両条件を跨ぐように圧力の操作を行うことが必要となる。図6に三成分の相平衡と圧力操作の関係（概念図）を示す。相平衡は化学種によって異なるため、例えば均一相を形成する条件が実プロセスでは現実的でない温度、圧力となったり、常温常圧でも相分離しなかったりとすることもあり得る。

相平衡の測定は、体積可変型で内部観察可能な窓のついた圧力容器にポリマー、シリコンアルコ

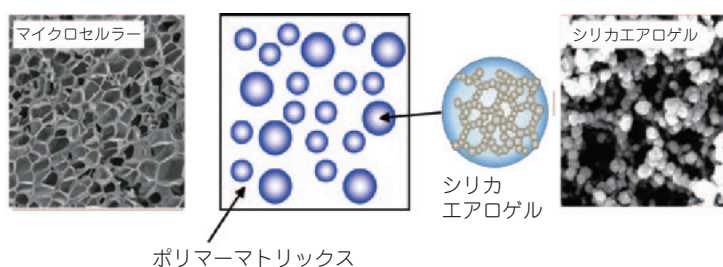
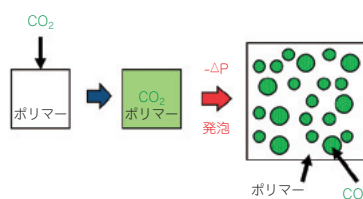


図4 目的とする断熱材の概念図
(シリカエアロゲルが発泡ポリマーの独立気泡内に充填された構造)

■通常の発泡ポリマー



■発泡ポリマー・シリカナノコンポジット

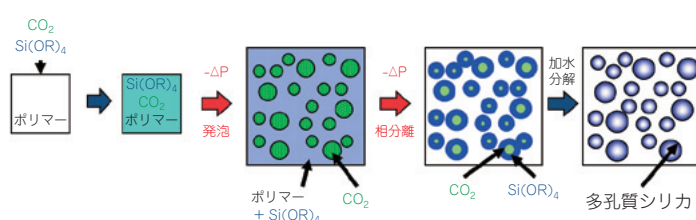


図5 発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の製造プロセス概念図

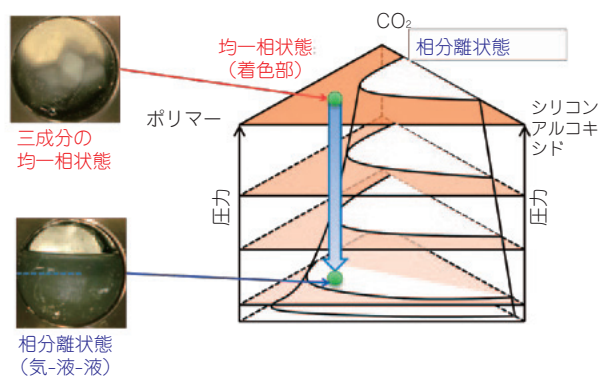
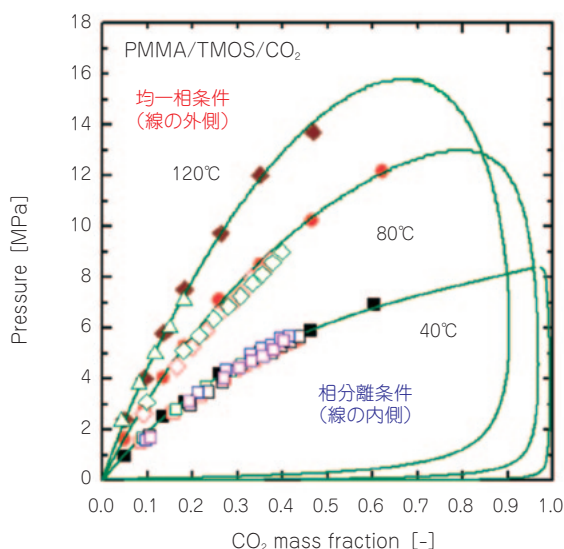


図6 三成分の相平衡と圧力操作の関係

キシド、CO₂を所定量導入し、容器の体積を変えて組成一定のまま圧力を変化させ、相の変化を目視観察することにより行う。ポリメタクリル酸メチル (PMMA)、テトラメトキシシラン (TMOS)、CO₂の三成分系について、均一相の減圧により発泡が開始される平衡条件（気液相分離点）の測定を行った例を図7に示す¹²⁾。組成によらず均一相（線の外側）となる圧力条件があり、温度と共に高圧力側にシフトすることがわかる。測定した系では三成分系が発泡する条件はTMOSとCO₂二成分系が相分離する温度、圧力¹³⁾とほぼ一致しており、同系統のポリマーおよびシリコンアルコキシドでも同様な傾向を確認した。今後他のポリマー、シリコンアルコキシドについても同様の測定を行い、相平衡と発泡／相分離に関するデータを蓄積していく予定である。

図7 PMMA/TMOS/CO₂三成分系における気液相分離点の測定例

※緑の線は境界（臨界軌跡）を表し、白抜き点は三成分系の実測点、塗りつぶし点はTMOS/CO₂二成分系の実測点を表す

5.3 バッチ発泡による発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの調製¹⁴⁾

各種のポリマーをシリコンアルコキシド、CO₂と共に高圧条件下で保持し、急減圧によりバッチ発泡させ、試料を作成する検討を行った。図8に調製法の概略を示す。シリコンアルコキシドとしてはTMOSを選択し、各種ポリマーと共に圧力容器に仕込み、CO₂を導入して353 K、20 MPaまで昇温昇圧した。この条件では組成によらずTMOSとCO₂は均一相を形成する¹³⁾。同条件で24時間維持した後、大気圧まで急減圧してポリマーを発泡させた。発泡した試料は圧力容器より取り出した後、水またはアンモニア水溶液上で24時間処理することによりTMOSの加水分解を行い、真空乾燥してナノコンポジット発泡体を得た。

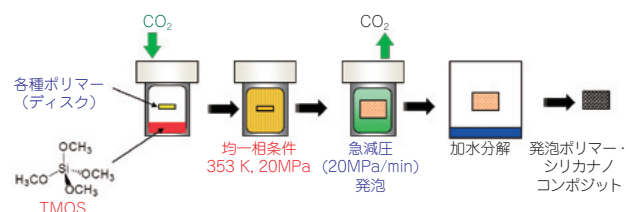


図8 バッチ発泡による発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの調製法の概略

検討の結果、ポリ乳酸 (PLA)、ポリメタクリル酸メチル (PMMA) などのポリエステル類がTMOSとの親和性が高く、また比較的倍率の高い発泡構造を示した。これらのポリマーにおいては、発泡セルの内部にシリカリッチな粒子が析出したり、マトリックスが多孔化するなどの多様な微細構造が観察された。バッチ発泡の条件を最適化すると、図9のように、発泡セル内にシリカリッチなカプセル状の単一粒子が生成した、極めてユニークな構造を持つ発泡体を作成できた。この粒子は多くの場合カプセル状となっており、さらにそのカプセルが微細なシリカ粒子で構成されている、多段階の階層構造となっていることを確認した（図10）。一方、ポリスチレン (PS) はTMOSに高い親和性を示すものの、シリカ粒子の成長は少なく、全体がハイブリット化する傾向を示した（図9 (d)）。これはPSとTMOSの親和性が非常に高く、常温常圧下でも

相互に溶解して均一相を形成できるため、PSとシリコンアルコキシドの分離が進行しなかったものと考えられる。また、ポリエチレンなどのオレフィン系ポリマーは、TMOSとの親和性が悪く、検討した条件ではコンポジットを形成できなかった。

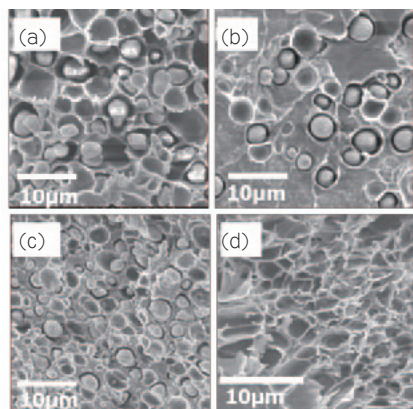


図9 バッチ発泡で調製した試料のSEM像
※(a) PLA (Natureworks 4060D, 非晶質), (b) PMMA (Aldrich), (c) PMMA (ブレンド) (d) PS (Aldrich) TMOSとの親和性が高くシリカが相分離しない

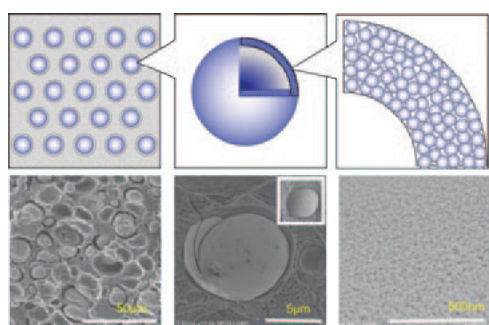


図10 発泡ポリマー・シリカナノコンポジットの多段階層構造の概念図および実試料のSEM像 (PMMA/TMOS/CO₂)
※中央はカプセルが潰れたと思われる構造

カプセル状粒子の形成は、三相の相分離条件となった際に、拡散性の高いCO₂が先にポリマーマトリックスから分離して気孔を形成し、気孔壁からシリコンアルコキシドが滲出して加水分解されることにより形成すると推察される。加水分解をアンモニア水溶液上でを行い、マトリックスからシリコンアルコキシドが分離する前に固定化を行うとマトリックスそのものが多孔化した構造が形成し、推論が裏付けられた (図11)。

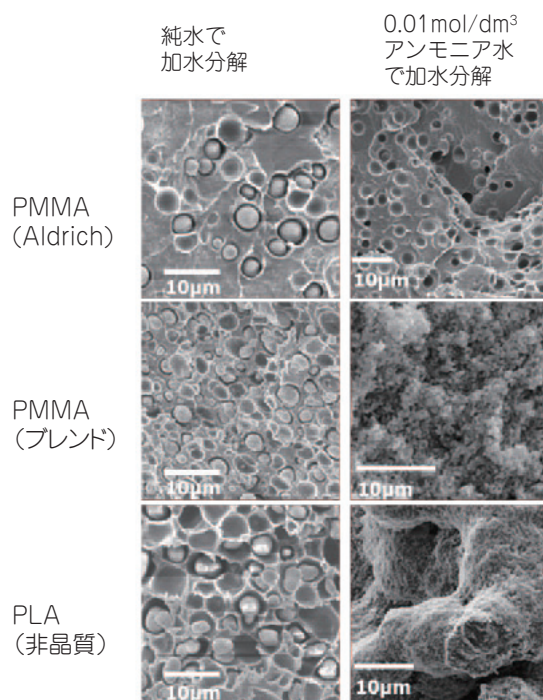


図11 加水分解条件による構造の差異

5.4 連続製造プロセスと断熱材としての評価

セグメント型の二軸押出成形機をベースとして、前述のプロセスを連続的に行うための装置を試作し、連続製造プロセスの開発を行った。図12にプロセスの概略と装置の写真を示す。装置にはシリコンアルコキシドとCO₂を混合して導入するための高圧ポンプ、ミキサーを備え、押出成形機の所定の位置に導入できるようにしている。

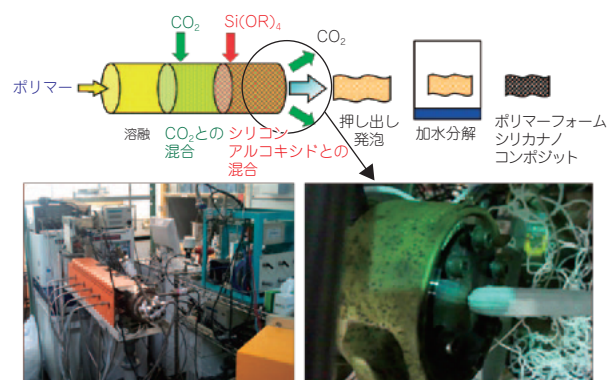


図12 連続製造プロセスの概念図および製造装置

この装置を使って連続的に製造した試料の例を図13に示す。PMMAをベースに、発泡倍率が20倍で、シリカ含有量が10~15wt%, 3 μm 程度の発泡セルが均一に分布した発泡体を得られた。バッチ発泡の場合と比較して発泡倍率を高めており、セル内へのカプセル析出は明確ではないが、内壁にはシリカリッチな微粒子の析出が確認できた。

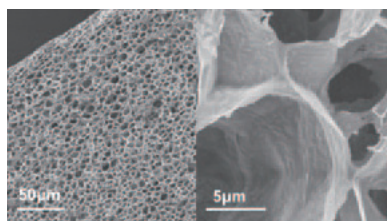


図13 連続製造装置で調製した発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の例

熱流束計による評価で、これらの試料は0.028 W/(m・K)の断熱性能を示しており、CO₂で同程度の倍率に発泡させた試料(0.034 W/(m・K))より高い断熱性を示した。シリカとのナノコンポジット化により、セル壁のガスバリア性が向上したことなどが要因と考えられる。また、環境試験器による3ヶ月の加速試験(333 K, 50% RH)を行ったが、性能の低下はほとんど見られなかった。

6. まとめ

6.1 ナノコンポジット断熱材

本稿ではナノコンポジットを用いた断熱材の可能性を俯瞰し、弊所での取り組みの例を紹介した。ナノコンポジットをベースとすることで、柔軟性、性能持続性、高い環境調和性などを合わせ持つ、従来の材料では得られない断熱材料が創製できるものと考えている。現状では断熱性能の向上が課題であり、発泡構造の制御、シリカの低密度化などによって改善を図っていく予定である。また、多様なポリマーへの適用可能性を図るため、現在、複数の企業と連携の上、これまで実証した以外の他の汎用ポリマーでナノコンポジット化ができないか、検討を行っている。

6.2 断熱材料の研究開発

高性能な断熱材料の開発と普及が我が国の省エネルギーに繋がることは議論の余地がないと考える。海外を見るとシリカエアロゲル複合材などの高性能断熱材に多額の公的資金が投入されており、住宅分野以外のアプリケーションを含め、開発と普及は確実に進んでいる。一方で我が国の現況にはいささかの不安を覚える。安価な割に嵩が高いという断熱材料の特質のため、国外からの製品輸入が少ない、という点で現状守られている点があるのかもしれない。しかし、近い将来、近隣諸国でシリカエアロゲル系の高性能断熱材が低コストで生産され、大量に輸入されるような状況は十分に考えられる。

ニッチな用途であっても、新規の断熱材料を開発し、有効性、省エネルギーの効果を実証していくことが現状では重要と思われる。さまざまな分野の方と議論させていただきながら、方向を模索していきたいと考えている。

本稿の前半は弊所で行った未利用熱プロジェクトに関する調査をベースに構成したものである。また後半は東京理科大学工学部の大竹勝人教授との共同研究の内容が含まれる。ご協力頂いた関係者の方々に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) <http://www.meti.go.jp/information/publicoffer/kobo/k130529002.html>
- 2) 矢野経済研究所 2011年版 各種住宅用断熱材の市場実態
- 3) 建築材料の断熱性に係わる性能値の公表について(平成11年4月8日通商産業省)
- 4) 大村高弘, 坪井幹憲, 小野寺正剛, 富村壽夫, 九州大学機能物質科学研究所報告, 16,13(2002)
- 5) 椰木佐津男, 大澤元毅, (社)日本建築学会 2002 年度大会要旨集, 2002.
- 6) 資源エネルギー庁 エネルギー白書 2011 2.2.(2) 家庭部門のエネルギー消費の動向 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011energyhtml/2-1-2.html>
- 7) 建材による建物の省エネ性能向上について(総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会), 社団法人日本建材住宅設備産業協会, 2011
- 8) 金森主祥, 中西和樹, 機能材料, 32(10), 10-16(2012).
- 9) 大嶋正裕, 志熊治雄, 成形加工, 22, 187-188(2011).
- 10) Bjorn Petter Jelle, Energy and Buildings, 43, 2549-2563(2011).

- 11) 依田智, 古屋武, 成形加工 24 (3), 154-158 (2012).
- 12) T. Hamada, et. al., Proceedings of 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Taipei, Taiwan (2010).
- 13) T. Hamada, et. al., Fluid Phase Equilibria, 322-323, 135-141 (2012).
- 14) S. Yoda, et. al., J. Mater. Chem. A, 1, 9620-9623 (2013).

筆者紹介



依田 智

(独) 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 ナノケミカルプロセスグループ グループ長
日本化学会, 化学工学会, 高分子学会 等会員
博士 (工学), 技術士 (化学部門)
高压流体を用いたナノ材料製造プロセスの開発に従事

軟質断熱材または耐熱性ポリマーに関連の深い最近の研究と技術の一覧

(a) 最近の主要論文

研究者, グループ	文献など	概要	熱伝導率 W/(m・K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
京都大学 中西教授ら	機能材料, 32 (10), 16-16 (2012) など	有機無機ハイブリッド組成により, 骨格に機械的強度と柔軟性を付与し, 常圧乾燥を可能にしたシリカエアロゲル	0.015/ 室温		基本的には硬質, 軟質あり
アキレス株式会社	井上望, 杉尾圭太郎, 小池裕治, 横山浩樹, 成形加工, 22, 201-202 (2011)	シリカエアロゲルをポリウレタン等の素材へ含浸することで, 柔軟で低い熱伝導率の断熱材料を製造。	0.027/ 室温		硬質～軟質
ハルピン工科大 (中)	GE Dengteng et. al, J Non-Cryst. Solids, 355 52-54 2610-2615 (2009)	シリカエアロゲル/エポキシ複合体を疎水性エアロゲルとエポキシ粉末の乾燥混合と加熱圧縮法によって調製。	0.044/ 170℃	250℃	硬質
Tongji Univ. China	CHEN Ke, et. al., J Sol-Gel Sci. Technol. 62(3), 294-303(2012).	レゾルシノール/ホルムアルデヒド (RF) 樹脂で架橋した機械的強度に優れるシリカエアロゲルをワンポットのプロセスで効率的に合成。低コストでの合成に期待。	ガラスウール程度		硬質

(b) 最近の主要特許

研究者, グループ	文献など	概要	熱伝導率 W/(m・K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
Gore Enterprise (米)	特開2012-107241	シリカエアロゲル粒子及びポリテトラフルオロエチレン (PTFE) バインダーからなる, 顕著な発塵又は絶縁特性の損失を伴わずに, 屈曲, 伸長又は折り曲げることができる複合体組成物。	0.025/ 室温		軟質
Institute of Sperio technico (ポルトガル)	WO2006-107226 特許4994360号	アルコキシシラン基で修飾したシリカ/ラテックスハイブリッドからなるモノリス状キセロゲル及びエアロゲル。超臨界条件を使わない乾燥条件によるポリマーラテックスとシリカのハイブリット。柔軟性と断熱性を併せ持つ。			軟質
BASF' (独)	EP2010-053193, WO2010-105985	イソシアネートと多官能性アミンあるいは多官能性ヒドロキシ化合物の有機複合材料のキセロゲル	0.036/ 室温		軟質
BASF (独)	EP20080-056015, WO2008-138978	芳香族ポリ尿素ベースのキセロゲル	0.037/ 室温		軟質

(c) Web情報など

研究者, グループ	Webサイトなど	概要	熱伝導率 W/(m・K)/ 温度	耐熱性	軟質, 硬質
NASA (米)	http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120014118	ゴム状のポリ尿素エアロゲル。汚れにくい, 柔軟性, 頑強, 永続性, 低密度で, 熱伝導性はシリカエアロゲルを上回る。			軟質
NASA (米)	http://www.gizmag.com/polymer-aerogel-stronger-flexible-nasa/23955/	ポリイミドエアロゲルのシート。400℃までの耐熱性をもち, 機械的強度が大きく, 柔軟性がある。米国2012R&D100 award に選出されている。		400℃	軟質
NASA (米)	http://www.nasa.gov/centers/kennedy/news/foam_technology.html	エアロゲル粒子, エアロゲル複合材およびポリイミド中空粒子からなる複合断熱材			
産総研, ユニチカ	http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130121/pr20130121.htm	ポリイミド-シリカ多孔ナノコンポジット		600℃	軟質

〈技術レポート〉

高耐熱低熱伝導断熱材の開発

研究開発本部 浜松研究所 福 代 壮二郎

1. はじめに

最近の省エネ需要の高まりから、工業炉や焼却炉、工場、ビル、家屋などの断熱が非常に重要な課題となり、断熱材のさらなる性能向上が期待されている。断熱材の重要な性能指標の一つとして熱伝導率があり、これをいかに低減できるかがポイントとなる。

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、バインダを用いずに粒子レベルでの固体間結合による材料の一体化を行う考え方が生まれた。こうしたナノ粒子技術は、従来材料の高性能化、新素材の創出に大きな可能性をもたらしている¹⁾。このナノ粒子を断熱材に利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ことが可能となった。

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TOMBO 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いるが、最高使用温度は1000℃である。そのため、より高い使用温度で「ロスリム®」と同等の低熱伝導率を持った断熱材が望まれていた。

本稿では、開発品の低熱伝導および高耐熱の原理について述べ、その性能を紹介する。

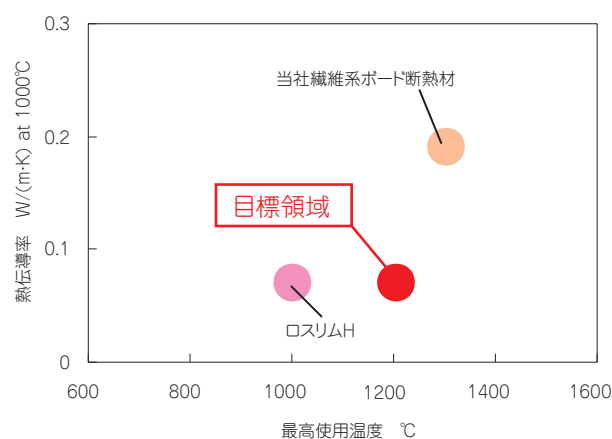


図1 各種断熱材の最高使用温度と1000℃における熱伝導率の関係

2. 開発品の目標領域

図1に各種断熱材の最高使用温度（概ね3%収縮を引き起こす温度）と測定可能な1000℃における熱伝導率の関係を示す。これまでに最高使用温度1200℃以上で、低い熱伝導率と十分なハンドリング強度を有する断熱材は開発されていない。そこで、当社は、最高使用温度1200℃で熱伝導率が「ロスリム®」と同程度の領域を目標領域とし、断熱材の開発に着手した。

3. ナノ粒子断熱材の低熱伝導化の原理

高空隙率な多孔質材料の物体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²⁾。

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

ここで、 λ は多孔質材料の熱伝導率、 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。図2にナノ粒子集合体の模式図を示す。ナノ粒子を成形してできた断熱材が低熱伝導率を発現する要因は、ナノ粒子同士の微小接点（固体伝熱の低減）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（気体伝熱の低減）にある。

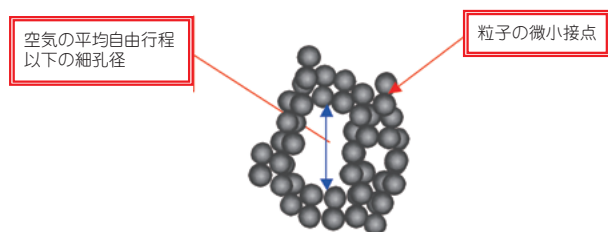


図2 ナノ粒子集合体の模式図

4. 高温におけるナノ粒子集合体の形態変化

粒子を加熱すると表面エネルギーを小さくするために、粒子はお互いに表面積を小さくし、径の大きな粒子に成長（粒成長）しようとする。1200℃の高温域において、低い熱伝導率を実現するためには、この高温域においてもできるだけ粒成長を抑制し、ナノ粒子集合体の形態を保っていることが必要である。しかし、極めて粒子径の小さなナノサイズの粒子では、原子間の結合力の弱い表面原子の割合が大きくなり、粗大粒子よりも低温で表面原子の拡散が起こりやすい。つまり、粒子径の小さいナノ粒子は、高温において粒成長しやすい。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、固体と気体の熱伝導率が大き

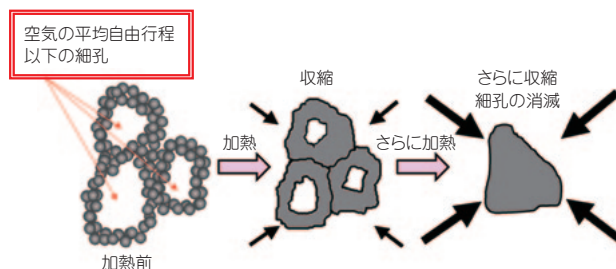


図3 ナノ粒子集合体の粒成長の模式図

きくなってしまうため、ナノ粒子を使った断熱材は、低い熱伝導率を維持することが難しいといえる。

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。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。また、粉末X線回折法でそれぞれの結晶構造を解析した結果、加熱前は遷移アルミナ（ γ アルミナ、 θ アルミナ）であるが、1200℃で加熱するとコランダム（ α アルミナ）に結晶転移することがわかった。

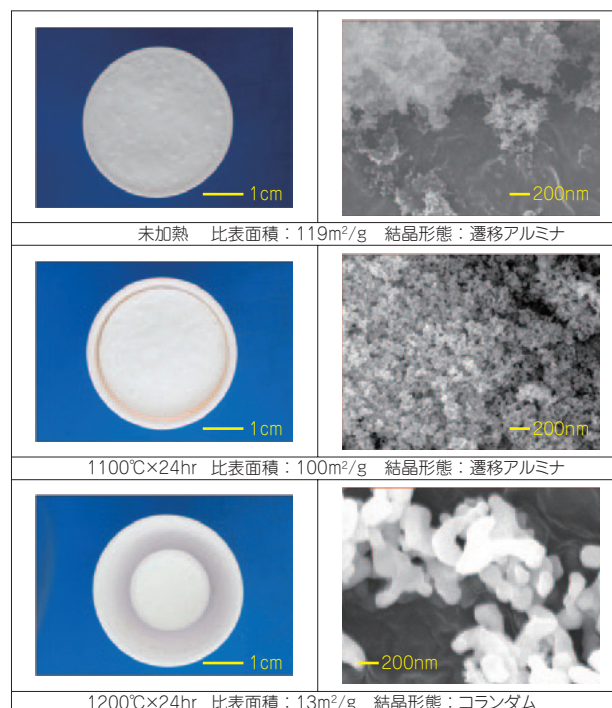


図4 アルミナナノ粒子の加熱試験結果
(左：外観写真 右：SEM写真)

5. 高温におけるアルミナナノ粒子集合体の形態維持

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。次に粒成長抑制方法について説明する。

5.1 粒成長のメカニズム

粒子の粒成長は粒境界近傍の原子の拡散移動

によって引き起こされる。Gleiter³⁾によると、粒成長はいくつかの素過程に分けられる。図5に示すように粒境界は平面から成り立っているのではなくテラスとステップから成っている。①各ステップの終点はキンクとなっていてそこから原子の離脱がはじまる。②キンクから原子が離脱するときは直接、テラスへ離脱するのではなくステップに沿って移動してから③テラスへと離脱する。④そしてテラス内で彷徨したのち⑤テラスから粒境界空間へと離脱する。よって、粒成長に関わる原子は表面に存在する全ての原子ではなくキンク原子に限定される。このキンク原子の離脱を抑えることができれば粒成長が抑制されることが考えられる。

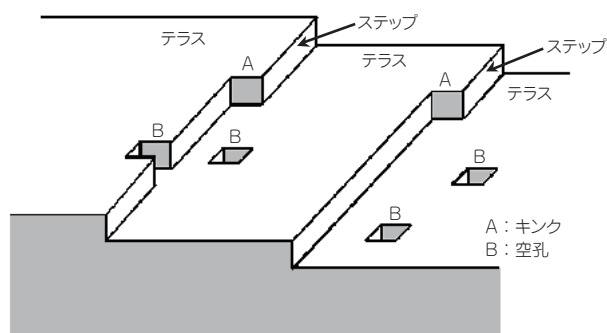


図5 粒境界の模式図

5.2 アルミナナノ粒子の粒成長抑制

一般的に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。伊賀によると⁴⁾、その抑制メカニズムは次の通りである。まず固溶した Si^{4+} が Al^{3+} を置換し、電荷の補償のためAlサイトに空孔を生じる。また、 Si^{4+} は結晶中よりも粒境界近辺へ偏析しやすくキンク部分に空孔を生じやすい。この空孔は Si^{4+} と強固にひきつけられ不動化しており、キンク原子をピン止めすることでキンク原子の離脱が著しく妨害されて粒成長が抑制される。

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6wt%添加した成形体と添加していない成形体を、それぞれ $1200^{\circ}\text{C} \times 24\text{hr}$ 加熱した後の収縮率と粒子の形状および結晶構造を調べた。成形体とは、最終製品を模した断熱

材であり、密度は $0.37\text{g}/\text{cm}^3$ で寸法は $150\text{mm} \times 100\text{mm} \times 25\text{mm}$ である。

シリカ成分無添加成形体の収縮率は4%を超えたが、シリカ成分添加成形体の収縮率は1%程度であった。シリカ成分添加成形体の加熱後のSEM写真を図6に示す。シリカ成分添加成形体は、ナノ粒子集合体の形態を保っていた。遷移アルミナは欠陥を多く持った結晶構造をしており、シリカ成分を添加することによってこの欠陥部分にSi原子がドーピングされ、粒成長が抑制されたと考えられる。



図6 シリカ成分添加成形体のSEM写真
($1200^{\circ}\text{C} \times 24\text{hr}$ 加熱後)

また、粒成長による原子の拡散が起こると移動後の原子の配列はエネルギー的に安定なコランダム結晶の配列に構造が変化すると考えられる。そこで、 $1200^{\circ}\text{C} \times 24\text{hr}$ 加熱後の結晶構造を粉末X線回折法で調べた。粉末X線回折チャートを図7に示す。粒成長したシリカ成分無添加成形体は、完全にコランダムに結晶転移しているのに対し、粒成長していないシリカ成分添加成形体は、ブロードなピーク形状をしており、遷移アルミナの形態を保っていた。

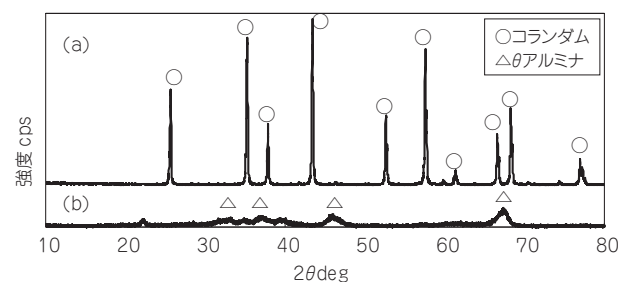


図7 粉末X線回折チャート
($1200^{\circ}\text{C} \times 24\text{hr}$ 加熱後)
(a) シリカ成分無添加成形体
(b) シリカ成分添加成形体

6. シリカ成分添加量の収縮に及ぼす影響

シリカ成分添加量が成形体の収縮に及ぼす影響について調査した。なお、使用した成形体は最終開発品と補強繊維の種類が異なっているため、開発品と比較し収縮率が大きくなっている。シリカ成分の添加量を変えた成形体を1200℃で加熱した後の収縮率を図8に示す。シリカ成分無添加成形体は24hr加熱後の収縮率が約18%であるのに対し、シリカ成分添加成形体はそれよりも小さくなった。シリカ成分の添加量で比較すると、添加量6wt%の収縮率が最も小さく、添加量3wt%においては、遷移アルミナの欠陥に入るSi原子の量が足りずに粒成長抑制が不十分となり大きくなった。すなわち、Si原子の量が少なく不動化した空孔の量が足りないため、キンク原子の離脱を十分に抑えられなかったと考える。また、反対に添加量の多い10wt%においても収縮率は大きくなった。この理由は、遷移アルミナの欠陥に入りきらなかった耐熱性の低いシリカ成分が余ってしまい、焼結助材として働き、シリカ成分の収縮によって緻密な構造になったためと考えられる。

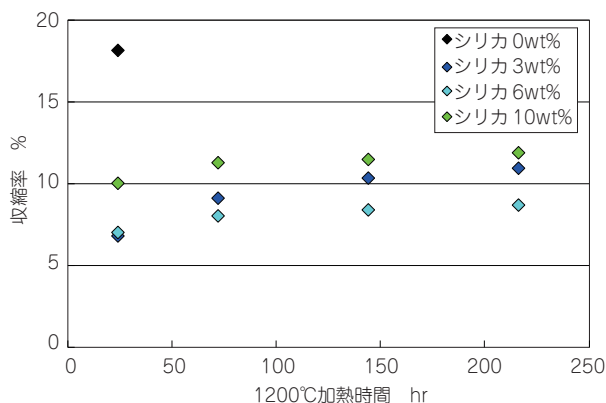


図8 シリカ添加量の加熱収縮率に及ぼす影響

加熱時間とコランダム転移率の関係を図9に示す。コランダム転移率とは、粉末X線回折法におけるシリカ成分無添加成形体のコランダムピーク強度に対するシリカ成分添加成形体のコランダムピーク強度の割合である。コランダム転移率が大きいほど、粒成長が進んでいること

を意味する。シリカ添加量が多いほどコランダム転移率は小さく粒成長が抑制された。

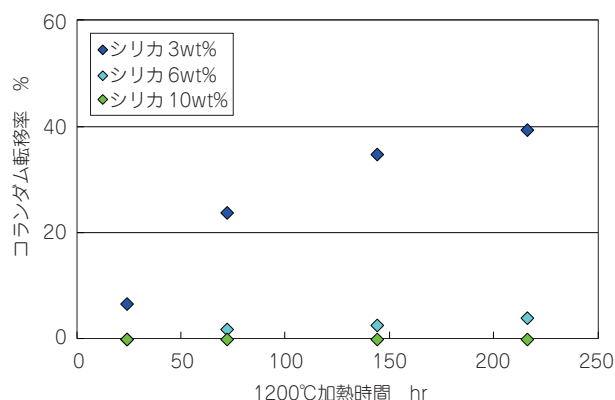


図9 シリカ添加量の結晶転移に及ぼす影響

7. 開発品の性能評価

アルミナナノ粒子を主原料とした開発品の性能を以下に述べる。

7.1 熱伝導率

各種断熱材の熱伝導率を図10に示す。開発品の1000℃の熱伝導率は、繊維質断熱材のFFハードボードの1/2以下であり、静止空気よりも低い値となっている^{注5)}。

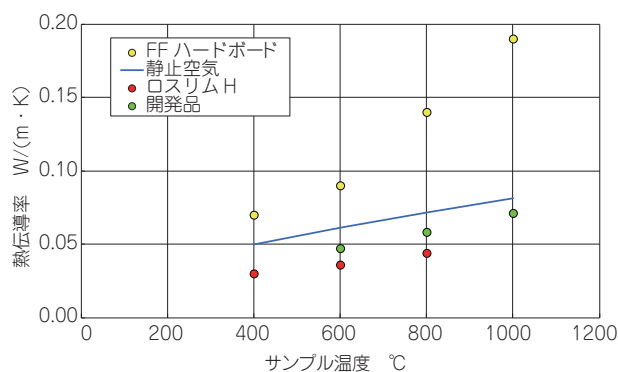


図10 各種断熱材の熱伝導率

7.2 開発品の強度と耐熱性

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® Hと同等であり、十分なハンドリング強度を有している。加熱収縮率においてもロスリム® Hや繊維質断熱材である当社製品「ファイフレックス® ハードボード 1300」と比較し小さく、1200℃におけ

る耐熱性は十分である。1200℃×24hr加熱後の開発品の外観を図11に示す。開発品の外観はほとんど変化していない。

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℃×24hr at 1200℃×24hr	0.0 1.0	2.5 —	2.2 2.8*
最高使用温度 (℃)	1200	1000	1300

※ 1200℃×8hrの値



開発品 加熱前



開発品 1200℃×24hr 加熱後

図11 1200℃×24hr加熱後の開発品の外観

8. おわりに

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熱伝導率と十分なハンドリング性を示す。本製品に関する特許は3件出願済みであり、幅350mm×長さ350mm×厚さ25mmのサンプルを提供可能であるので、ぜひ各社で評価していただきたい。

今後もより耐熱性が高い低熱伝導断熱材の研究に励み、社会に貢献する製品を開発していく所存である。

また、本研究を進めるにあたり、適切、丁寧な助言を賜り、ご教授いただいた名古屋大学（当時、名古屋工業大学）の小澤正邦教授に感謝の意を表する。

なお、本開発品に係る問い合わせ先は、研究開発本部企画開発部（TEL：03－4413－1181）までお願いいたします。

参考文献

- 1) 細川，野城：ナノパーティクル・テクノロジー，日刊工業新聞社（2003）.
- 2) 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，NEDO，平成15年～平成16年度エネルギー使用合理化技術戦略開発，エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発（2005）.
- 3) H. Gleiter：THEORY OF GRAIN BOUDARY MIGRATION RATE, ACTA METALLURGICA, 17, pp.853-862 (1969).
- 4) 伊賀：高純度アルミナの焼結と粒成長に及ぼす微量 Si の影響，名古屋工業技術研究所報告，pp.69-78（1994）.
- 5) 日本熱物性学会：新編熱物性ハンドブック（2008）.

*「ロスリム」，「ファインフレックス」はニチアス(株)の登録商標です。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*本稿の数値は参考値であり保証値ではありません。

筆者紹介



福代壮二郎

研究開発本部 浜松研究所
無機粉体断熱材の開発に従事

〈解説〉

硬質ウレタンフォームの発泡剤をめぐる 環境問題対策の動向について

基幹産業事業本部 工事事業部 工事技術部 服 部 泰 紀

1. はじめに

硬質ウレタンフォームの発泡剤として使用されてきた“フロン”にまつわる環境問題を解決する切り札として新しい発泡剤が開発され、実用化に向けた取り組みがなされはじめている。また“フロン”対策に関する環境行政も法改正がなされたことで新たな段階に入りつつある。これらの動向は複数の法律や国際状況が関与している上に、一元的にまとめられた資料が乏しく、理解しにくい。本稿においては硬質ウレタンフォームの発泡剤における規制の経緯と最新の動向について解説する。

2. 硬質ウレタンフォームについて

2.1 硬質ウレタンフォームとは

ウレタンフォームは一般に軟質ウレタンフォームと硬質ウレタンフォームに大別される。

軟質ウレタンフォームは身の回りでは家具や寝具、自動車シートのクッション、台所用品、食品トレイなどによく使われる材料である。

一方、硬質ウレタンフォームは通常、目に触れる機会がないため、馴染みのない読者も多いことと思われるが、民生用、産業用の断熱材として広く使用され、ややおおげさに言えば現代の社会を支える重要な役割を果たしている。

2.2 硬質ウレタンフォームの特徴と用途

硬質ウレタンフォームはウレタン樹脂で形成された直径0.5mm未満の微小な独立気泡から構成され、気泡内部には発泡剤由来のガスが封入

されている（図1）。そのガスにフロン類など熱伝導率が低いものを使用することにより、硬質ウレタンフォームは他の断熱材に比べて高い断熱性能を得ることができる。

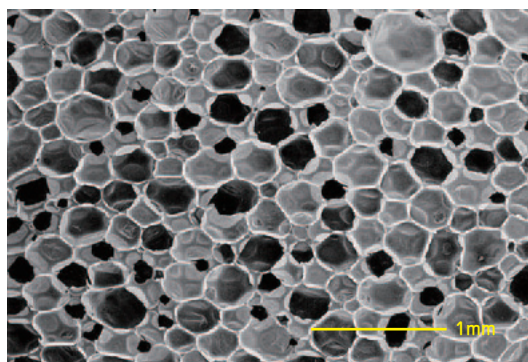


図1 硬質ウレタンフォーム気泡の拡大写真（SEM）

また、ウレタン樹脂は比強度が高く、耐低温性や寸法安定性も良好なため、この特徴を活かして硬質ウレタンフォームは主に常温やそれ以下の温度領域における断熱材として利用されている。

主要な断熱用途は住宅、冷凍・冷蔵倉庫、冷蔵庫、自動販売機、LNGを始めとする低温流体を扱うプラント、LNG・LPG船、大型ロケットの液体酸素・液体水素推進薬タンクなどである。

当社では硬質ウレタンフォームを主材料としたプラント用保冷材製品として「フォームナート®」製品の製造およびこれを用いた断熱工事を事業の一つとしている。

2.3 硬質ウレタンフォームの製造法と原料

硬質ウレタンフォームは液体原料が化学反応

により樹脂状に固化する過程で、発泡剤に由来する気体により原液を発泡させて製造される。硬質ウレタンフォームを生成する方法は型内に注入、発泡して成形品を製造したり、ベルトコンベア上に原液を供給して連続的にボードやブロックを製造する方法のほかに、施工対象物に直接原液を注入またはスプレーして断熱層を形成することが可能であり、このことが硬質ウレタンフォームの際立った特徴となっている。

例えば集合住宅などでは硬質ウレタンフォームのスプレー発泡による断熱工事が広く行われており、LNGプラントの断熱工事においては硬質ウレタンフォームの成形保温材を配管に取り付け、その目地に硬質ウレタンフォーム原液を注入発泡して一体化する施工法が一般的に行われる。

硬質ウレタンフォームの原料は芳香族ポリイソシアネートとポリオール類とを主として、これに触媒、発泡剤、整泡剤（気泡安定剤）、難燃剤などを併用する。発泡方法としては原液中に予め発泡剤を溶解しておき、イソシアネートとポリオールの反応熱により発泡剤が気化することにより液状の樹脂原料を発泡させる。あるいは、水とイソシアネートが反応した際に発生す

る炭酸ガスを発泡に利用する方法などもある。

2.4 発泡剤の役割

硬質ウレタンフォームの発泡方法としては、発泡剤を反応熱によって気化させる方法が主流であるが、これに使用する発泡剤はそのガスの熱伝導率が小さいことと常温付近に沸点があることが必須要件である。また、それ以外にもウレタンの原料に適度な溶解性をもっていること、化学的に安定で毒性がないこと、不燃性であることなど発泡剤が具備すべき特性には多くの要求がある。また発泡剤には、気化する際の蒸発潜熱によりウレタン原料の反応熱による硬質ウレタンフォーム生成時の内部の過剰な発熱を抑制する効果もある。

これらの要求を満たす発泡剤の選択肢は非常に少なく、従来クロロフルオロカーボン（CFC）、ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）、ハイドロフルオロカーボン（HFC）のようなフルオロカーボン類が使用されてきた。かつて用いられたCFC-11は前述の要求を満たす優れた発泡剤であり、CFC-11があったがゆえに硬質ウレタンフォームが開発され、広く利用されるようになったともいえる。表1に硬質ウレタンフォームに用

表1 硬質ウレタンフォームの主な発泡剤

名 称	CFC-11	HCFC-141b	HFC-245fa	HFC-365mfc	シクロペンタン	炭酸ガス
物質名	Trichlorofluoromethane	1,1-Dichloro-1-fluoroethane	1,1,1,3,3-Pentafluoropropane	1,1,1,3,3-Pentafluorobutane	Cyclopentane	二酸化炭素
化学式	CCl ₃ F	CCl ₂ FCH ₃	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	C ₅ H ₁₀	CO ₂
沸点（1気圧）℃	23.8	32.2	15.3	40.2	49.3	—
気体の熱伝導率 W/(m・K) (温度)	0.0084 (25℃)	0.0097 (25℃)	0.0127 (25℃)	0.0106 (25℃)	0.013 (25℃)	0.0145 (0℃)
燃焼範囲 vol %	なし	7.6～17.7	なし	3.6～13.3	1.1-8.7	なし
引火点 ℃	なし	なし	なし	< -27	-25	なし
大気寿命	45年	9.3年	7.6年	8.6年	3日	—
オゾン層破壊係数 ODP ^{注1}	1	0.11	0	0	0	0
地球温暖化係数 GWP ^{注2}	4750	725	1030	794	11	1
モントリオール議定書（オゾン層破壊物質）	対象物質（附属書A Group I）	対象物質（附属書C Group I）	非該当	非該当	非該当	非該当
京都議定書（温暖化ガス）	非該当	非該当	対象物質	対象物質	非該当	対象物質
地球温暖化対策推進法	非該当	非該当	非該当	非該当	非該当	対象物質
オゾン層保護法	対象物質	対象物質	非該当	非該当	非該当	非該当
大気汚染防止法（VOC規制）	非該当	非該当	非該当	非該当	対象物質	非該当
グリーン購入法	非該当	非該当	非該当（JIS A9511 B種）	非該当（JIS A9511 B種）	対象（JIS A9511 A種）	対象（JIS A9511 A種）
備 考	1996年以降 使用禁止	2004年以降 発泡用途は全廃	2011年COP17において京都議定書の温暖化ガスに指定	2011年COP17において京都議定書の温暖化ガスに指定		

*表の数値は各メーカーの発表値およびIPCC Assessment Reportによる。

いられる主要な発泡剤を示す。

注1：ODP（Ozone Depletion Potential）オゾン破壊係数。気体のオゾン層破壊能力を表す、CFCを1とした指数。基本的には塩素を含まない物質のODPは0である。

注2：GWP（Global Warming Potential）地球温暖化係数。気体の地球温暖化能力を示す二酸化炭素を1とした係数。多くの場合、その影響度合を100年間に渡り積分した値が使われる。

3. 発泡剤をめぐる環境問題と関連法規

前項で述べたように、CFCは優れた発泡剤として利用されてきた。しかし、CFCは化学的に安定であったことがかえって災いし、大気中に拡散して地球の成層圏にまで到達した結果、オゾン層を破壊する環境問題を引き起こしたのは周知の事実となっている。このため、CFCはODPがCFCの10分の1となるHCFCに代替された。

さらに、現在ではODOがゼロのHFCが開発

された結果、HFC-245faおよびHFC-365mfcが硬質ウレタンフォームの主要な発泡剤となっている。CFCがHFCに置き換わったことで、オゾン層破壊問題はひとまず対処がなされたが、一方でHFCは一般に強力な地球温暖化ガスであり、現在はむしろこちらのほうが大きな問題となっている。









表2に環境問題への対策の動向の概要をまとめた。

3.1 オゾン層破壊問題

3.1.1 モントリオール議定書

1985年に採択された「オゾン層の保護のためのウィーン条約」に基づいて1987年に「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」（以下「モントリオール議定書」）が採択された。規制すべきオゾン層破壊物質を定義し、その削減に関する国際的な枠組みが決められた。

表2 発泡剤に関する環境対策年表

国際動向	年	国内動向	主な硬質ウレタンフォーム発泡剤			
			第1世代 CFC11	第2世代 HCFC141b	第3世代 HFC245fa HFC365mfc	第4世代 HFO1233zd HFO1336mzz
オゾン層の保護のためのウィーン条約採択	1985	オゾン層保護法公布、CFC類の規制開始				
モントリオール議定書採択	1987					
気候変動枠組条約採択	1992					
気候変動枠組条約発効	1994					
	1996	化学品審議会がHCFC類の削減日程決まる	1996年 全廃	2004年 発泡用全廃		
京都議定書採択	1997	地球温暖化対策推進法公布				
	1998	フロン回収破壊法公布				
	2001	発泡用HCFC-141bの生産、輸入全廃				
	2003					
京都議定書発効	2005					
IPCC第4次報告書発行	2007					
COP17 京都議定書対象ガスにHFCを追加 第二約束期間設定の合意、日本不参加	京都第一約束期間 2008	新フロン法（改訂フロン回収破壊法）公布 新フロン法にもとづく省政令公布予定				
	2011					
	2012					
COP21 第二約束期間以後の枠組みへの合意期限	京都第二約束期間 2013 - 2015 - 2020					

「モントリオール議定書」では対象となるオゾン層破壊物質を2020年までに原則全廃することを求めている。

3.1.2 オゾン層保護法

「モントリオール議定書」に基づき、「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」（以下「オゾン層保護法」）が1988年に公布された。「オゾン層保護法」は「モントリオール議定書」の対象となったCFC, HCFCその他のオゾン層破壊物質の輸出入、製造と使用を管理する法律で、オゾン層破壊物質を削減、廃止する上で重要である。硬質ウレタンフォームの発泡剤ではCFC-11, CFC-12, HCFC-141b, HCFC-22などが該当する。

この法律に基づいてCFC-11およびCFC-12は1996年に全廃され、HCFC-141b, HCFC-22にそれぞれ転換された。

しかし、HCFC類もODPがゼロではないため、過渡的な位置づけとされ、1996年に化学品審議会オゾン層保護対策部会（当時）の答申において種類、用途ごとの削減、廃止スケジュールが定められた。

この結果、HCFC-141bは発泡用途の製造、輸入は2003年末に全廃され、代替物質として新たに開発されたHFC-245faおよびHFC-365mfcへの転換が2004年以降進んだ。また、HCFC-22もHFC-134aへ転換された。

3.2 地球温暖化問題

オゾン層破壊問題とは別に、地球温暖化が国際的問題としてクローズアップされるようになると、HFC-134aやHFC-245fa, HFC-365mfcなどを含むHFC類はオゾン層を破壊しない一方で、強力な地球温暖化ガスであったため、「気候変動に関する国際連合枠組条約」のもとで製造と使用の管理、削減が進められることとなった。

3.2.1 京都議定書と地球温暖化対策推進法

地球温暖化問題に対する国際的な取り組みは、1992年に採択された「気候変動枠組条約」に始まり、1997年に第3回気候変動枠組条約締約国会合（COP3）において採択された「京都議定書」によりその具体的内容が定められた。

「京都議定書」では2008年から2012年までを第

一約束期間として、この間に達成すべきHFC類を含む温暖化ガスの排出量の上限を国ごとに定め、排出量の削減を義務付けた。また、国家間の排出権取引やクリーン開発メカニズムなど温暖化ガスの排出量削減のための仕組みも合わせて作られた。

国内では「京都議定書」の批准を受けて「地球温暖化対策の推進に関する法律」（以下「地球温暖化対策推進法」）が1998年公布され、温室効果ガスの排出の抑制目標とこれを実施するための基本的事項が定められた。

3.2.2 京都議定書第二約束期間

さらに、京都議定書第一約束期間後の2013年から2020年までを第二約束期間として、その間の温暖化防止対策が第一約束期間中に締約国会合で繰り返し協議され、2011年に南アフリカダーバンで開催された第17回気候変動枠組条約締約国会合（COP17）において第二約束期間における「京都議定書」の運用ルールが合意された。

日本は世界の排出量の40%以上を占める米中をはじめとする主要国が不参加の状態で「京都議定書」を継続することは温暖化防止には資するところがないとしてCOP17において第二約束期間から離脱し、新たな国際的枠組みの構築に向けて活動することとなった。

HFC-245faとHFC-365mfcの2種の発泡剤は「京都議定書」が発効した後に開発されたため、京都議定書第一約束期間では規制対象とはなかったが、このCOP17でこれらの発泡剤はIPCC^{注)}第4次報告書で温暖化ガスに追加された他の物質とともに「京都議定書」の規制対象とされることが決定した。

注：IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）気候変動に関する政府間パネル。人為起源による気候変動の社会、経済的影響の評価を目的として国連環境計画と世界気象機関により設置された組織。その成果は定期的に評価報告書（Assessment Report）としてまとめられ、政策決定のよりどころとされる。

3.2.3 フロン回収破壊法

2001年公布、2002年に施行された「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」（以下「フロン回収破壊法」）は「地球温暖化対策推進法」に基づき、空調機、冷凍機、

カーエアコンなどに使用される冷媒について、機器の保守、廃棄における回収と破壊を義務づけた法律である。

この法律で回収と破壊が義務付けられているのは空調冷凍機器などに使用されている冷媒が対象であり、一般の断熱材を廃棄する際に中に含まれている発泡剤の回収は経済上の理由により義務付けられてはいない。

なお、廃冷蔵庫などの断熱材に含まれる発泡剤は「家電リサイクル法」で回収・破壊もしくは再生が義務付けられており、リサイクル工場で処理がなされている。

3.2.4 フロン回収破壊法の改正

国内でのフロン類の削減政策は関連産業界の自主行動計画および、冷凍空調機器の廃棄時などにおける冷媒用フロン類の回収・破壊に限定されてきたが、「京都議定書」に続く今後のフロン類をめぐる行政のあり方に関して環境省中央環境審議会フロン類等対策小委員会と経済産業省産業構造審議会地球温暖化防止対策小委員会との合同会議において審議され、その成果が2013年3月に「今後のフロン類等対策の方向性について」として取りまとめられ、環境大臣に対して意見具申された。

これは業務用冷凍空調機だけでなく断熱材を含めたHFCなどフロン類使用製品について、以下のようにノンフロン化、低GWP化を促進し、フロン類のフェーズダウンを促す内容となっている。

- ①フロン類使用製品などの製造・輸入業者に対して、ノンフロン・低GWP化により、一定の目標年度における基準値達成を求める。
- ②ユーザーや消費者に対してフロン類による温室効果に対する認識を高め、低GWP製品の導入を啓発する。
- ③ノンフロン・低GWP化を推進する技術開発・導入、機器設置、普及啓発などの施策を実施する。

この意見具申の結果、「フロン回収破壊法」は2013年6月に改正され、法律名が「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」（以下「新フロン法」）に改定された。これにより、法の目的が冷媒の回収・破壊から、これにとど

まらずフロン類の主要な用途について管理を合理化するよう大きく修正された。冷凍空調機器だけでなく断熱材についても管理対象とされる見通しであり、フロン類とフロン類使用製品の製造、輸入、および使用の各段階についてノンフロン化、低GWP化を推進する方針となった。

従来、「オゾン層保護法」のもとでは対象物質の輸入が規制される一方で対象物質を発泡剤に使用した断熱材製品の輸入は規制されないとの片手落ちが問題として指摘されていたが、「フロン回収破壊法」が改正されたことで、規制対象物質を使用した製品の輸入もようやく法的に規制される見通しとなった。

「新フロン法」では現在のところ、前記意見具申に沿ったフロン類の使用に関する施策の骨組みが定められたのみに留まるが、具体的な施策内容については今後審議がなされ、2015年4月から施行されることとなっている。

4. 新規発泡剤の開発動向

国際的規模での地球温暖化防止対策が議論されている中で、硬質ウレタンフォームの製造において待ち望まれていたオゾン層破壊と地球温暖化の2大問題を解決する新しい発泡剤が近年開発され、一部は商業生産がスタートした（表3）。

1) HCFO-1233zd^{注)}

米国Honeywell[®]社がSolstice[®]（ソルステイス[®]）LBAという商品名で発表した。既に小規模生産が開始されている。また、Arkema社もこれに続いて2013年10月にHCFO-1233zdを2014年に商業化することを明らかにした。

2) HFO-1336mzz^{注)}

デュポン[™]社がFormacel[®] 1100との商品名で発表した発泡剤である。現在サンプル供給が行われており、量産化に向けた準備が進められている。

注) ハイドロクロロフルオロオレフィン（HCFO）はHCFCに代表される地球温暖化ガスと同種との誤解を避けるために、HCFCと区別する意図で主鎖に二重結合を含むハイドロカーボンと意図的に表している。ハイドロフルオロオレフィン（HFO）も同様に地球温暖化ガスであるHFCと区別する意図で主鎖に二重結合を含むハイドロカーボンをHFOと意図的に表している。

これらの発泡剤の特色として、炭素の主鎖に二重結合を含んでいることから大気中での寿命が短く、地球温暖化への影響が非常に小さいことと、ガスの熱伝導率が旧来のフロン類並みに低いため、これを用いた断熱材の断熱性能の向上が期待できる。

フロン類を使用しない硬質ウレタンフォーム製品のうち、炭酸ガス発泡品ではフロン類を発泡剤とする製品に比べて熱伝導率がやや大きい、一部成形性あるいは施工性が劣るなどの問題があり、また炭化水素系発泡剤を使用する場合はその引火性のために製造設備に大きな制約がある問題を抱えていたため、これを克服する技術上のハードルがあったが、新規発泡剤の登場によりこれらの問題が解決されることと期待される。これらの新規発泡剤は環境大臣へ意見具申された前述の「今後のフロン類等対策の方向性について」において炭酸ガス、炭化水素系発泡剤とともに、従来のHFC発泡剤の代替物質と位置づけられ、これらへの転換を推奨することとされている。

これらの発泡剤以外に、従来フロン類が使用されてきた冷媒やエアゾール用噴射剤に関して

もHFO1234yf, HFO1234zeなど主鎖に二重結合をもつ物質が同様に開発、実用化されており、これらの物質への転換が進められているところである。

5. 環境問題への取り組み

5.1 ウレタン業界の取り組み

5.1.1 JIS 規格と製品

硬質ウレタンフォームの日本工業規格はJIS A9511 (発泡プラスチック保温材) とJIS A9526 (建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム) とがあり、前者はフォーム製品、後者は現場発泡用スプレー原液の規格である。いずれも発泡剤の環境対策が進んできたことから、それぞれ2006年に改正され、HFCを発泡剤に使用しない製品はA種、使用した製品をB種とそれぞれ区分を明確にすることによりグリーン購入におけるユーザーの材料選定の一助とできるように修正された。A種製品はグリーン購入法の対象製品であり、公共建築工事標準仕様書、公共建築改修工事標準仕様書における断熱工事における指定材料となっている。

A種製品の発泡剤はフォーム製品 (JIS A9511) では炭酸ガス、シクロペンタンなどの炭化水素が使用されており、現場発泡用スプレー原液 (JIS A9526) では発泡剤として水とイソシアネートの反応に由来する炭酸ガスの他に超臨界炭酸ガスも用いられている。B種製品の発泡剤にはHFC-245fa, HFC-365mfc単体、またはその混合物が使用される。

5.1.2 日本ウレタン工業協会とノンフロン宣言

国内における硬質ウレタンフォームの発泡剤の対策は国の施策に基づき、ウレタン原料メーカーおよびウレタンフォームメーカーの業界団体である日本ウレタン工業協会 (JUII) が主導して自主行動計画に従った削減と代替化が進められている (図2)。

さらにJUIIでは発泡剤のフロン対策を促進するため、国内における硬質ウレタンフォームの需要の過半を占める住宅用吹付け発泡ウレタンフォームに関して「ノンフロン宣言」を2010年1月に発表した。これは発泡剤としてHFCを使

表3 硬質ウレタンフォームの代替発泡剤

名称	HCFO1233zd	HFO1336mzz
物質名	(E)-1-Chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ene	(Z)-1,1,1,4,4,4-hexafluorobut-2-ene
化学式	CHClCHCF ₃	CF ₃ CHCHCF ₃
メーカー 商品名	Honeywell Solstice™ LBA	Dupont Formacel® 1100
沸点 (1気圧)	19	33
気体の熱伝導率 W/(m・K)	0.0102 (20℃)	0.0107 (25℃)
燃焼範囲 vol %	なし	なし
引火点 ℃	なし	なし
大気寿命	26日	22日
ODP	0	0
GWP	<5	8.9
モントリオール議定書 (オゾン層破壊物質)	非該当	非該当
京都議定書 (温暖化ガス)	非該当	非該当
地球温暖化対策推進法	非該当	非該当
オゾン層保護法	非該当	非該当
大気汚染防止法 (VOC規制)	非該当	非該当

用しない製品への転換を促進し、二酸化炭素換算145万トン／年の排出量削減を目指すという趣旨であり、2010年の「オゾン層保護・地球温暖化防止大賞」において環境大臣賞を受賞した。

現在ではさらに前述のGWPが小さい新規発泡剤への転換に向けて、技術評価やJIS改正などの活動が鋭意なされているところである。

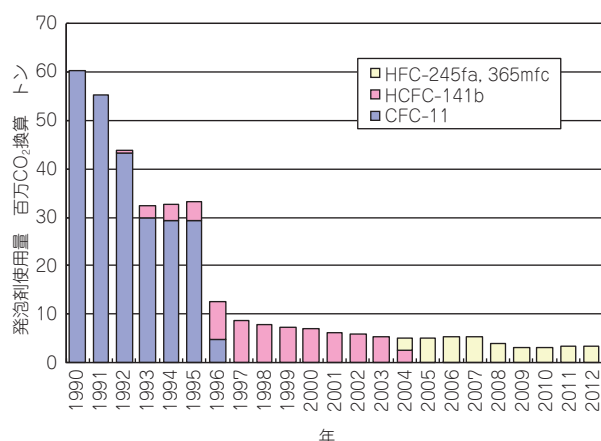


図2 硬質ウレタンフォームの発泡剤の変遷によるCO₂換算排出量の推移⁷⁾

5.2 当社の取り組み

当社では2003年中に発泡剤にHCFC-141bを使用した製品を廃止し、東京ガス株式会社殿との共同研究⁹⁾の成果として炭酸ガスを発泡剤とした「フォームナート® TN」シリーズを開発し、これに置き換えた。特にLNGプラント向けに最適化した設計、技術開発を行い、気泡の微細化などにより旧来のHCFC-141b発泡製品と断熱性能が遜色ない製品として現在に至っている（図3）。TOMBO No.5001-TN「フォームナート® カバーTN」はJIS A9511 A種保温筒2種認証品である。

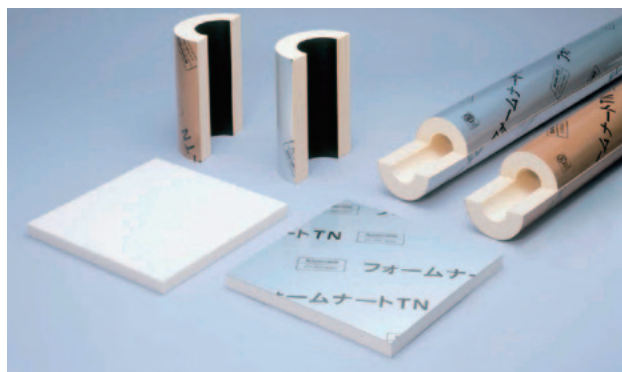


図3 フォームナートTNシリーズ

「フォームナート® TN」は2004年に日刊工業新聞社主催（経済産業省および環境省後援）オゾン層保護・地球温暖化防止大賞優秀賞を受賞した。これ以後当社は、プラント用硬質ウレタンフォーム保冷材製品はすべて炭酸ガス発泡を採用しており、LNGプラントでは保冷材として炭酸ガス発泡の硬質ウレタンフォームを使用することが業界標準となった。

6. “フロン” について

6.1 “フロン” と環境問題の関係

従来“フロン”あるいは“フロンガス”という名称が一般的によく用いられるが、もともとはデュポン™社が開発したフルオロカーボン製品の“フレオン®”，“FREON®”という商標^{注1)}に由来しているといわれている。語呂の良さゆえに“フロン”という言葉は一般的にフルオロカーボン類の総称として用いられることが多いようであるが、あくまでも通称であって、明確な定義があるわけではない。工業的に実用化され、利用されてきたフルオロカーボン類には現在の環境問題の原因物質が多数含まれていることから、“フロン”はオゾン層破壊物質、温暖化ガスの代名詞となった。

6.2 新規発泡剤の位置づけ

新たに開発された発泡剤はふっ素原子を含む炭化水素であるという点でフルオロカーボン類に該当する。このため、従来からの“フロン”＝“オゾン層破壊物質”あるいは“地球温暖化ガス”という見方に縛られることにより、新規発泡剤の普及が阻害されるのではないかと危惧がある。新規発泡剤はHCFC類あるいはHFC類に区分けされたとしても、そのGWPは従来のHFC類の千から数千という数値に比べて10未満（最新の情報では1～2ともいわれる^{注2)}）と格段に低く、もはや従来のような著しい温暖化効果はないといってよい。従って“フロン”の全てがオゾン層破壊あるいは地球温暖化の原因物質であるということではなくなってきた。それゆえに前述の通り行政の方針もこれらの新発泡剤を代替物質と位置づけている。

従って今後は、温暖化を抑制する対策を推進

するため、特に公にされる文書などにおいては“フロン”という言葉の乱用を慎み、もし使用する場合でもどの物質を指しているかの定義を具体的に示した上で使用するべきであろう。

注1) “フレオン”, “FREON”, “Formacel” は米国 Dupont 社の登録商標である。

注2) IPCC 第5次報告書 Final Draft Appendix 8.A による。

7. おわりに

硬質ウレタンフォーム業界は発泡剤メーカーともども、この20年の間、発泡剤にまつわる環境問題への対応に明け暮れた感があるが、最近になってようやく切り札といえる新しい発泡剤が開発され、発泡剤メーカーとウレタン業界の双方の協力により実用化への取り組みがなされているところである。これらの新規発泡剤の導入はまだ緒についたばかりであるが、地球温暖化防止政策にも採り入れられたことで、新規発泡剤を使用した製品が普及し、断熱性能の向上による省エネルギー化と環境問題の解消がより一層促進されることが望まれる。保温保冷材のユーザー各位には是非とも温暖化対策行政の趣旨に沿って環境影響へご配慮の上、今後ともA種硬質ウレタンフォーム製品の普及にお力添えを頂きたいところである。

参考文献

- 1) 経済産業省報道資料
- 2) 環境省報道資料
- 3) Honewell 社およびハネウエルジャパン株式会社 発表資料ほか
- 4) Dupont 社および三井デュボンフロロケミカル株式会社 発表資料ほか
- 5) Solvay 社 技術資料
- 6) Arkema 社 発表資料
- 7) 日本ウレタン工業協会資料
- 8) IPCC 第4次報告書
- 9) 技術時報 2002 年 1 号 (No.329)

* 「SOLSTICE」は米国ハネウエル社の登録商標です。

* 「ソルティス」は米国ハネウエル社の商標です。

* 「フォームナート」はニチアス(株)の登録商標です。

* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

筆者紹介



服部泰紀

基幹産業事業本部 工事事業部 工事技術センター長 兼 工事技術部 技術開発課長
硬質ウレタンフォームその他保冷材料、および保冷工法の開発に従事

〈製品紹介〉

着脱自在な発じんの少ないクリーンルーム向け保温材 TOMBO No.4500-CR 「エネサーモ® CR」

高機能製品事業本部 無機断熱材技術開発部

1. はじめに

半導体関連の設備や食品、医薬品プラントなどの配管や機器に用いられる保温材は高いクリーン度が求められ、発じんによる汚染を嫌い、粉じん量の管理を必要とします。よって、ロックウールやけい酸カルシウムといった従来型の保温材は、クリーン度において必ずしも満足するものではありませんでした。このため、これらの設備では運転温度がさほど高くないことからクリーン度を優先し、保温をしないケースが多くみられましたが、近年、環境問題から保温の必要性が高まり、保温材の低発じんに対する要望が増加しています。

弊社ではバルブ・フランジ類や放熱機器など、定期的なメンテナンスを必要とする部位に用いられる保温材として、着脱自在なガラスクロス縫製保温材である「エネサーモ®」を製品化しております。本稿では、この応用製品であるふっ素樹脂コーティングガラスクロスを表面に被覆することにより、極力発じんを抑えた保温材「TOMBO No.4500-CRエネサーモ® CR」（以降、エネサーモCRという）を紹介します。

2. 製品の概要

「エネサーモCR」は放熱機器からのエネルギーロスを防ぐばかりではなく、着脱可能で繰り返し使用できるフレキシブルで、かつ断熱性に優れた低発じんの保温材です。

粉じんの防止対策として、外被材および内被

材にふっ素樹脂コーティングガラスクロスを使用し、芯材であるガラスマットからの発じんを極力抑えているため、周囲環境からの発じんによる汚染を嫌うクリーンルーム内の配管、バルブ、放熱機器関係など頻繁な脱着を行う部位に用いられる保温材として適しています。製品外観を図1に示します。

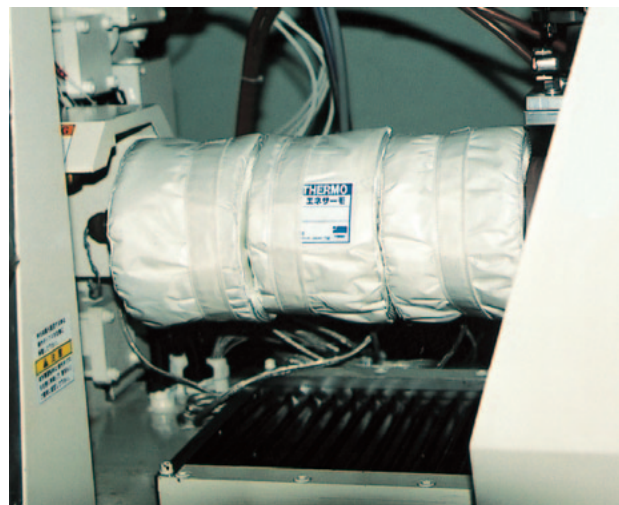


図1 エネサーモ外観

2.1 特長

- ①低発じんのため、クリーンルーム内で使用できる
- ②着脱自在で繰り返し使用ができる
- ③施工時間が大幅に短縮できる
- ④断熱性、耐熱性に優れる（最高使用温度 250℃）
- ⑤火傷防止などの作業環境の改善に役立つ

2.2 構成材料および断面構造

エネサーモCRは表面材にふっ素樹脂コーティングガラスクロス、断熱材としてガラスマットを用いた保温材です。

2.2.1 構成材料

エネサーモCRの断面構造を図2に示します。構成材料および断面構造は次の通りです。

①外被材および内被材

外被材および内被材にはガラスクロスの表面にふっ素樹脂コーティングした低発じんのクロスを用いています。

②断熱材

断熱材にはTOMBO No.4517-GE「ガラスマット GE」（標準保温厚さ：10mm）をニードルパンチ加工したものをしています。バインダーがなく耐熱性、断熱性および耐柔軟性に優れています。

熱伝導率 λ を以下に示します。

$$\lambda = 0.046 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (100^\circ\text{C})$$

$$\lambda = 0.057 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (200^\circ\text{C})$$

※ただし、() 内は平均温度 (°C)

③縫製糸

縫製には耐熱性に優れるガラスヤーンを使用しています。

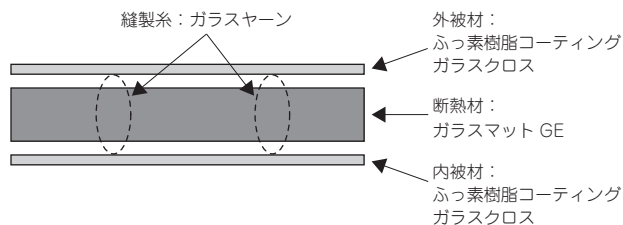


図2 エネサーモCRの断面構造

2.3 発じん量の評価

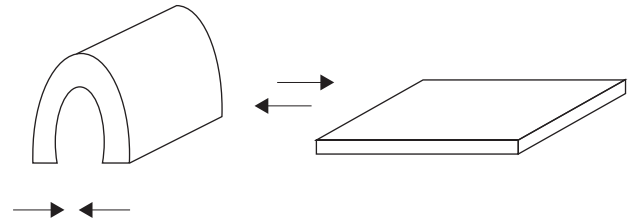
2.3.1 測定方法

発じん量は「クリーンルームに使用する機器の運動機構からの発塵量測定方法」（JISB9926）に準じ、クリーンチャンバ内の試料の粒子発生量を測定します。

2.3.2 試料の状態

測定は次の2条件で行いました。

- ①屈曲なし（静止状態で測定。）
- ②屈曲あり（5回折りたたみを繰り返しながら測定。図3参照。）



5回折りたたみを繰り返しながら測定

図3 試料の状態（②屈曲ありの場合）

2.3.3 試料寸法

200 × 300 × 25mm

2.3.4 測定装置

測定装置の概要を図4に示します。

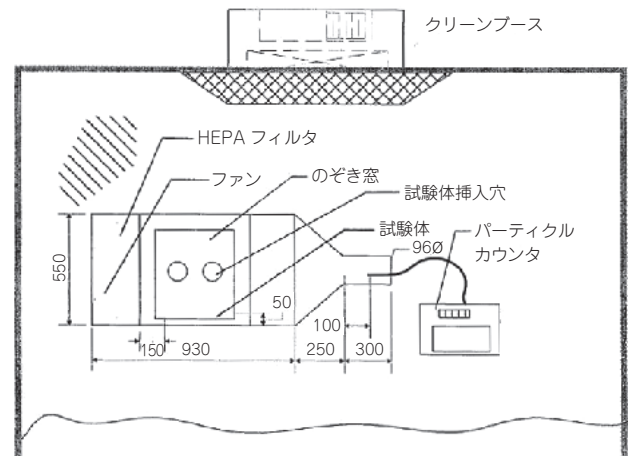


図4 測定装置概要図

2.3.5 発じん量の規格

ISO14644-1 クラス6対応

対象粒径0.5 μm では、35,200個/ m^3

2.3.6 測定結果

測定結果を表1に示します。

表1 測定結果

測定条件	対象粒径 (μm)	3回測定の平均値 (個/ m^3) n=5	
		測定値	平均
屈曲なし	0.5以上	0,0,0,0,0	0
屈曲あり		0,0,0,0,0	0

測定結果より発じん量の規格 クラス6を十分に満足していることが確認できました。

3. 主な用途

- ①半導体装置内の配管，バルブ，フランジ類の保温
- ②食品，医療関連でクリーン度が要求される設備，配管，バルブ，フランジ類の保温

4. おわりに

今後，半導体関連をはじめとする生産現場の清浄化は一段と進む方向にあり，断熱材についてもクリーン度の要求はさらに厳しくなると思われます。

ユーザ各位のご意見をお聞かせいただき，製品の改良開発に努める所存です。

* 「エネサーモ」はニチアス(株)の登録商標です。

* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

* 本稿の測定値は参考値であり保証値ではありません。

〈製品紹介〉

金属保温材

基幹産業事業本部 工事業部 工事技術部

1. はじめに

金属保温材^{注1)}は原子力発電所向けの保温材として1974年、米社からの技術導入以来、今日まで長年にわたり採用されてきた製品です。近年ではECCS（非常用炉心冷却系統）閉塞事象^{注2)}の対策保温材として反射型金属保温材が各原子力発電所に採用されてきました。金属被覆保温材についても同様に原子力発電所に採用されてきましたが、ECCS閉塞事象防止の観点から施工区域の制限、反射型金属保温材への交換がされてきています。

反射型金属保温材、金属被覆保温材とも長年にわたって原子力発電所向けに採用されてきましたが、その間に数々の改良が加えられ現在に至っています。特に改良型金属被覆保温材については火力発電所でも採用されるようになってきました。本稿では改良型金属保温材、改良型金属被覆保温材について紹介します。

注1) 本稿記載の「金属保温材」は弊社製品を示します。

注2) ECCS（非常用炉心冷却系統）閉塞事象：

原子炉廻りの主要配管が破断したなどで原子炉水位が低下した時、炉心が露出することを防止し冷却を継続するための系統で、ポンプに設置されているストレーナが断熱材、塗料、ラベルなどにより目詰りを起こし、炉心に冷却水の供給ができなくなる事象。

2. 製品の概要

2.1 金属保温材の種類

金属保温材は、大別すると、内部構造により反射型金属保温材と金属被覆保温材に分類され、さらに使用材質、充填材ほかの仕様により標準型、改良型、付加機能型に分類されます。（図1参照）

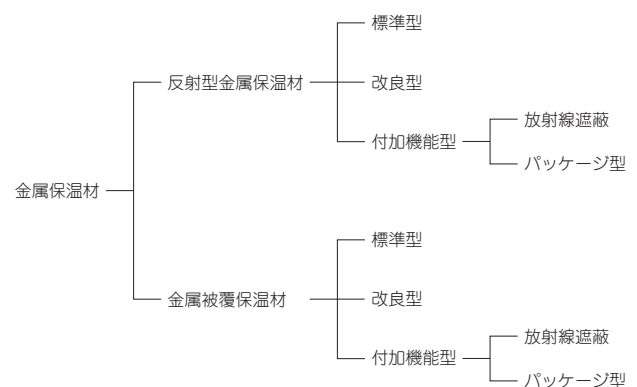


図1 金属保温材の体系

ほとんどが原子力発電所向けですが、改良型金属被覆保温材については火力発電所にも採用されています。

2.2 構造

2.2.1 反射型金属保温材

熱の伝わり方には伝導、対流、ふく射があります。反射型金属保温材はケース内の空気層の伝導と対流による伝熱量を小さくすると共に、金属箔によりふく射伝熱を制限（ n 枚の遮蔽板で $1/(n+1)$ に減少する）することによって断熱性能を発揮する保温材です。

反射型金属保温材の構造を図2に示します。ステンレス鋼板で構成されたケースに特殊加工した金属箔を積層した構造です。特殊加工した金属箔の材質もステンレス鋼です。

改良型は図2③サイドクロージャー、④エンドクロージャーに低熱伝導鋼板を使用した製品であり、付加機能型は標準型、改良型の製品に放射線遮蔽材である鉛板など、あるいはヒータを組み込み、放射線遮蔽、加熱など複数の機能を

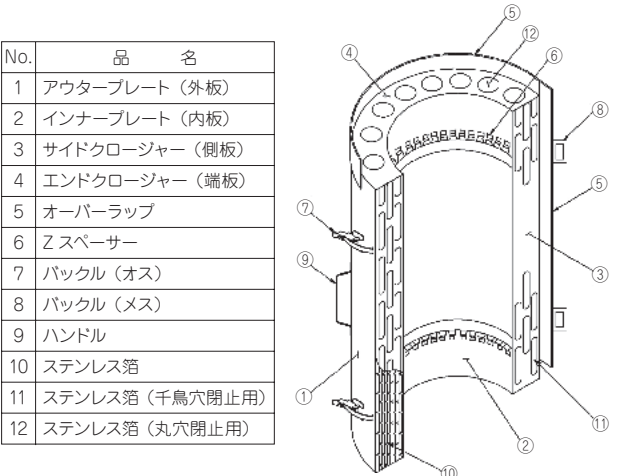


図2 反射型金属保温材の構造

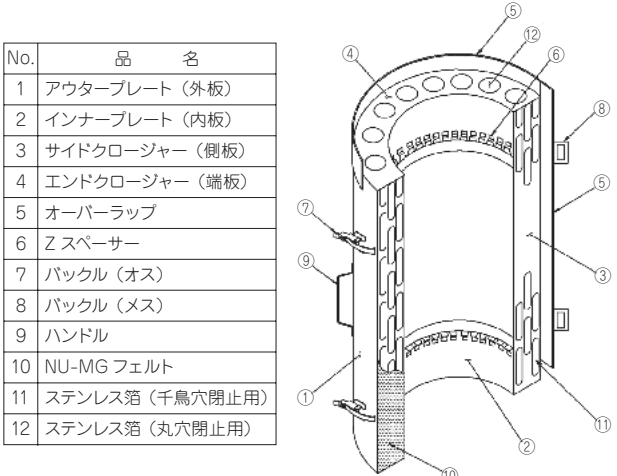


図3 金属被覆保温材の構造

持たせた製品です。

2.2.2 金属被覆保温材

金属被覆保温材の構造を図3に示します。ステンレス鋼板で構成されたケースにNU-MGフェルト™（ロックウール保温材）などの繊維質保温材を充填した構造です。改良型は反射型金属保温材と同様に③サイドクロージャー、④エンドクロージャーに低熱伝導鋼板を使用し、充填材にパイロジェル™ XTを単独あるいはNU-MGフェルト™などの繊維質保温材と併用した製品

です。付加機能型は反射型金属保温材と同様に、鉛板などあるいはヒータを組み込み、複数の機能を持たせた製品です。

3. 金属保温材の断熱性能

3.1 標準型金属保温材の性能

標準型反射型金属保温材の大きさの違いによる放散熱量を表1に示します。

表2に金属被覆保温材の違いによる放散熱量の変化を示します。

表1 標準型反射型金属保温材の放散熱量

項目		単位	□1000	□500
内部温度		℃	302	302
外気温度		℃	57	57
風速		m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7	12.7
	保温材	mm	100	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000	500
	縦	mm	1000	500
保温材			SUS箔	SUS箔
ジョイント			長穴、丸穴	長穴、丸穴
パネルの位置			水平	水平
放散熱量	一般	W/m ² (パネル)	139.3	34.8
	エンドクロージャー	W/m ² (パネル)	14.0	7.0
	サイドクロージャー	W/m ² (パネル)	18.3	9.2
	全体	W/m ² (パネル)	171.7	51.0
		W/m ²	171.7	204.1

表2 標準型金属被覆保温材の放散熱量

項目		単位	□1000	□500
内部温度		℃	302	302
外気温度		℃	57	57
風速		m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7	12.7
	保温材	mm	100	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000	500
	縦	mm	1000	500
保温材			ロックウール2号	ロックウール2号
ジョイント			長穴、丸穴	長穴、丸穴
パネルの位置			水平	水平
放散熱量	一般	W/m ² (パネル)	124.9	31.2
	エンドクロージャー	W/m ² (パネル)	14.0	7.0
	サイドクロージャー	W/m ² (パネル)	18.3	9.2
	全体	W/m ² (パネル)	157.2	47.4
		W/m ²	157.2	189.6

一般保温の熱計算では断熱材のブロックのサイズには関係なく一定の断熱性能です。しかし金属保温材ではパネルのサイズが小さくなると、エンド、サイドクロージャーからの放熱量の比率が大きくなり断熱性能は低下（放散熱量が増大）します。エンド、サイドクロージャーからの放熱量の割合は実機サイズに近い500×500のサイズでは反射型金属保温材、金属被覆保温材とも30%を超えています^{注3)}（ただし、要求される断熱性能は有しています）。この割合はエンド、サイドクロージャーからの放熱を極力少なくするよう穴あけ加工を施した製品の場合ですが、穴あけ加工なしのステンレス板を使用した場合、この比率はさらに増加します。

注3)

標準型反射型金属保温材： $(7.0+9.2) \div 51.0 \times 100 = 31.7\%$

標準型金属被覆保温材： $(7.0+9.2) \div 47.4 \times 100 = 34.1\%$

3.2 改良型の放熱量低減対策

前項のように、実機形状のパネルではエンドクロージャー、サイドクロージャーからの放熱量は約30%を占めます。この部分からの放熱を低減するためにステンレス材でありながら熱伝導率の低い低熱伝導鋼板を採用したものが改良型の製品です。

低熱伝導鋼板は表3に示すよう熱伝導率がステンレス板に比べ約1/20であり当該材料の使用箇所からの放熱量の抑制に寄与します。

表3 低熱伝導鋼板の物性値

項 目	物性値他
材質	SUS316K
熱伝導率 W/(m・K)	0.75
厚さ mm	1.0
見掛け密度 kg/m ³	2600

改良型金属被覆保温材はエンドクロージャー、サイドクロージャーへの低熱伝導鋼板の採用に加え、一般部分からの放熱を低減するためにパイロジェル™ XTを採用し、さらに断熱性能を高めた改良型金属被覆保温材もあります。パイロジェル™ XTの物性値を表4に示します。

表4 パイロジェルXTの物性値

項目	物性値
熱伝導率参考式 W/(m・K)	$0.02189+3.79E-5 \times \theta - 3.54E-8 \times \theta^2 + 3.06E-10 \times \theta^3$
密度 kg/m ³	180（代表値）

3.2.1 改良型反射型金属保温材の断熱性能

改良型反射型金属保温材の熱計算結果を表5に示します。

標準型反射型金属保温材と比べると、放散熱量は□1000のサイズで84.9%，実機サイズに近い□500のサイズで74.7%となると同時にエンド、サイドクロージャーからの放熱割合は10%以下に抑えられています。実機サイズでは標準型金属保温材の厚さの75%前後で要求される断熱性能を発揮することから保温厚さの低減が可能となります。

表5 改良型反射型金属保温材の放散熱量

項目	単位	□1000	□500
内部温度	℃	302	302
外気温度	℃	57	57
風速	m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7
	保温材	mm	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000
	縦	mm	1000
保温材		SUS箔	SUS箔
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板
パネルの位置		水平	水平
放散熱量	一般	W/m ² (パネル)	139.3
	エンドクロージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	サイドクロージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	全体	W/m ² (パネル)	145.9
		W/m ²	145.9

3.2.2 改良型金属被覆保温材の断熱性能

改良型金属被覆保温材の計算結果を表6、7に示します。

標準型金属被覆保温材と比べると放散熱量は□1000で低熱伝導鋼板使用の場合83.6%，□500では72.8%，低熱伝導鋼板+パイロジェル™ XT

表6 改良型金属被覆保温材の放散熱量
(低熱伝導鋼板)

項目	単位	□1000	□500
内部温度	℃	302	302
外気温度	℃	57	57
風速	m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7
	保温材	mm	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000
	縦	mm	1000
保温材		ロックウール2号	ロックウール2号
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板
パネルの位置		水平	水平
放散熱量	一般	W/m ² (パネル)	124.9
	エンドクロージャージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	サイドクロージャージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	全体	W/m ² (パネル)	131.4
		W/m ²	131.4

表7 改良型金属被覆保温材の放散熱量
(低熱伝導鋼板+パイロジェルXT)

項目	単位	□1000	□500
内部温度	℃	302	302
外気温度	℃	57	57
風速	m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7
	保温材	mm	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000
	縦	mm	1000
保温材		パイロジェルXT	パイロジェルXT
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板
パネルの位置		水平	水平
放散熱量	一般	W/m ² (パネル)	63.1
	エンドクロージャージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	サイドクロージャージャー	W/m ² (パネル)	3.3
	全体	W/m ² (パネル)	69.7
		W/m ²	69.7

併用（保温厚さは変更しない場合）で□1000の場合44.3%，□500の場合40.2%まで低減されます。このことから火力発電所のように運転温度の高いプラントでも保温厚さを制限されることなく採用が可能となってきています。

以上述べてきた金属保温材の施工例を図4に示します。

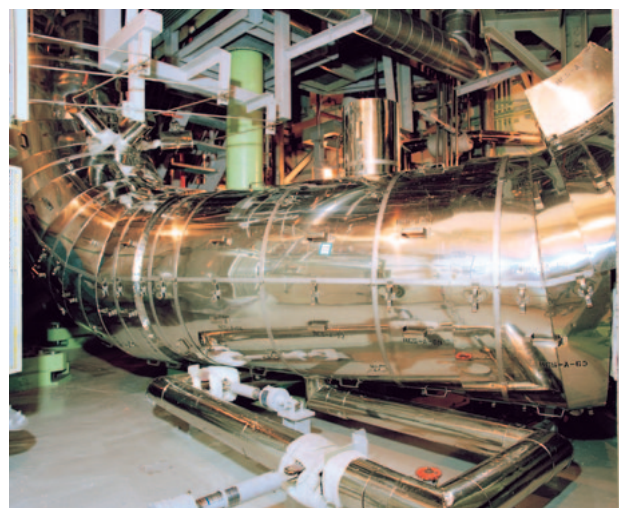


図4 金属保温材の施工例

4. おわりに

改良型金属保温材や改良型金属被覆保温材の採用により原子力発電所では空間を広く取ることができ、定期検査時の作業性改善の面から非常に有効です。また、従来は断熱性能に不足があり使用できなかった火力発電所への使用も出来るようになりました。特に着脱の必要なタービン水平継手部の断熱材として実績を伸ばしています。このように弊社の金属保温材は原子力発電所に限らず、火力発電所でもご採用いただいています。

本製品に対するお問い合わせは基幹産業事業本部 工事事業部 工事技術部 火力原子力課までお願いいたします。

* 「パイロジェル」は aspen aerogels 社の商標です。

* 「MU-MG フェルト」はニチアス(株)の商標です。

* 本稿の数値は保証値ではありません。

技術時報363（2013年4号） 誤記に関するお詫びと訂正

ニチアス技術時報No.363（2013年4号）において誤記がありましたので以下のように訂正させていただきます。関係するみなさまにご迷惑をおかけしましたことをお詫び申し上げます。

■シール材の概要とニチアス製品の紹介…………… P12

誤		正	
表1 標準推奨マンホールガスケット		表1 標準推奨マンホールガスケット	
最高使用温度	マンホールガスケットの種類	最高使用温度	マンホールガスケットの種類
400℃	TOMBO No.1400-TH スーパーマンホールガスケット TH	400℃	<u>TOMBO No.1374</u> <u>NA マンホールガスケット</u>
600℃	TOMBO No.1374 NA マンホールガスケット	600℃	<u>TOMBO No.1400-TH</u> <u>スーパーマンホールガスケット TH</u>
800℃	TOMBO No.1400-ST スーパーマンホールガスケット ST	800℃	TOMBO No.1400-ST スーパーマンホールガスケット ST

■シール材の概要とニチアス製品の紹介…………… P18

ガスケット係数と最小設計締付圧力

誤					
ガスケットの種類		ガスケット 係数 ⁽¹⁾ m	最小設計 締付圧力 ⁽¹⁾ y N/mm ²	最小締付面圧 σ_3 ⁽²⁾	
				水・油系流体 N/mm ²	ガス系流体 N/mm ²
P T F E 打抜ガスケット	(3.0t) TOMBO No.9007-GL/-FD	2.50	19.6	19.6	-GL 14.7 -FD -
	(2.0t) TOMBO No.9007-LP	3.00	19.6	19.6	14.7

正					
ガスケットの種類		ガスケット 係数 ⁽¹⁾ m	最小設計 締付圧力 ⁽¹⁾ y N/mm ²	最小締付面圧 σ_3 ⁽²⁾	
				水・油系流体 N/mm ²	ガス系流体 N/mm ²
P T F E 打抜ガスケット	(3.0t) TOMBO No.9007-GL/-FD	2.50	19.6	<u>14.7</u>	-GL 14.7 -FD -
	(2.0t) TOMBO No.9007-LP	3.00	19.6	<u>14.7</u>	<u>19.6</u>

■PC構造の防波堤を有したLNGタンク〔PCLNGタンク〕の保冷構造と施工…………… P52

誤			正		
表6 当社のPCLNGタンク保冷施工実績			表6 当社のPCLNGタンク保冷施工実績		
設備名称	運転開始	貯槽容量	設備名称	運転開始	貯槽容量
東北電力株殿 仙台火力発電所	建設中	160,000KL×3基	東北電力株殿 新仙台火力発電所	建設中	160,000KL× <u>2</u> 基

*側部冷熱抵抗緩和部（ポリウレタンフォームパネル工法）のみ

*側部冷熱抵抗緩和部（ポリウレタンフォームパネル工法）のみ

Note



「ニチアス技術時報」《2013 年度目次総録》

2013/1 号 通巻 No. 360

- 〈巻頭言〉 建材特集号発刊にあたって
- 〈News〉 エコラックス®の製造技術で平成24年度資源循環技術・システム表彰「経済産業省産業技術環境局長賞」を受賞しました
- 〈特別企画〉 建築物の安全・省エネ・快適性に貢献するニチアスの建材
- 〈解説〉 省エネルギー基準の変遷と今後の法制化の動き
- 〈製品紹介〉 住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®」「ホームマット® NEO」
けい酸カルシウム板 TOMBO No.6458「エコラックス®」
化粧けい酸カルシウム板 TOMBO No.6462「アスラックス®」シリーズ
巻き付け耐火被覆材 TOMBO No.5520「マキベエ®」
芯材付繊維積層煙突ライニング材 TOMBO No.6491「カポスタック® スーパー」
耐熱性ゾノトライト系煙突ライニング材 TOMBO No.6496「セラスタック®」
ニチアスのフリーアクセスフロアシステム
免震構造の耐火材 TOMBO No.5540「メンシンガード®」 TOMBO No.5550「メンシンメジ®」
折板屋根用断熱材 TOMBO No.4513「スーパーフェルトン® II, III」

2013/2 号 通巻 No. 361

- 〈巻頭言〉 自動車部品特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 環境にやさしく安全な車づくりに貢献する「音」「熱」「シール」部品
- 〈製品紹介〉 排出ガス規制の動向とニチアスの自動車部品
- 〈新製品紹介〉 触媒担体保持材 TOMBO No.5350「エコフレックス™ 高面圧品」
高剛性軽量遮熱カバー TOMBO No.6600-PA「インサルカバー™ プロカール®」
- 〈技術紹介〉 Biot 理論（弾性多孔質振動伝搬理論）の自動車用防音材への応用
- 〈評価技術〉 自動車部品開発における当社評価技術
- 〈施設紹介〉 自動車部品テクニカルセンターの評価施設

2013/3 号 通巻 No. 362

- 〈巻頭言〉 半導体装置関連製品特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 半導体製造設備で活躍するニチアス製品
- 〈技術レポート〉 FFKM のトリアジン架橋触媒に関する研究
クリーン性評価の取り組み
ふっ素樹脂の帯電と絶縁破壊事例
- 〈製品紹介〉 クリーン・導電性チューブ TOMBO No.9003「ナフロン® チューブ」
- 〈新製品紹介〉 ビードレス配管部品 TOMBO No.9023「ナフロン® 溶着チューブ」
耐薬品性 FFKM TOMBO No.2675-A「ブレイザー® Oリング-A」
半導体・FPD 製造装置向け配管ヒーター TOMBO No.4500-PH-P「エネサーモ®-PH プレノヒータ®」
分子状汚染物質除去 ケミカルフィルター TOMBO No.8803 ケミカルガード®

2013/4 号 通巻 No. 363

- 〈巻頭言〉 プラント向け販売・工事業特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 プラント設備で活躍するニチアス製品・工法
- 〈技術レポート〉 ふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体におけるボルトの増締め効果（常温における長期特性）
- 〈製品紹介〉 シール材の概要とニチアス製品の紹介
充填材入ふっ素樹脂シートガスケット TOMBO No.1133「クリンシル® クリーン」
溝付メタルガスケット TOMBO No.1891「カンプロファイルガスケット」
ふっ素樹脂ライニング配管材料 TOMBO No.9940「ベントスプール」
- 〈解説〉 PFA ライニング配管の寿命診断
プラントにおけるサーモグラフィによる熱診断
- 〈技術レポート〉（寄稿）屋外配管の外表面腐食診断法について
- 〈解説〉 PC 構造の防液堤を有した LNG タンク [PCLNG タンク] の保冷構造と施工

次号 2014/2 号 通巻 No. 365 は 2014 年 3 月発行予定です。



ニチアス株式会社

<http://www.nichias.co.jp/>

【東日本地区】

札幌支店	TEL (011) 261-3506
苫小牧営業所	TEL (0144) 38-7550
仙台支店	TEL (022) 374-7141
福島営業所	TEL (0246) 38-6173
日立営業所	TEL (0294) 22-4321
鹿島支店	TEL (0479) 46-1313
前橋営業所	TEL (027) 224-3809
大宮営業所	TEL (048) 658-2112
千葉支店	TEL (0436) 21-6341
東京支社	TEL (03) 4413-1191
横浜支店	TEL (045) 508-2531
山梨営業所	TEL (055) 260-6780
新潟営業所	TEL (025) 247-7710

【中部地区】

富山営業所	TEL (076) 424-2688
若狭支店	TEL (0770) 24-2474
静岡支店	TEL (054) 283-7321
浜松営業所	TEL (053) 450-2200
名古屋支社	TEL (052) 611-9200
豊田支店	TEL (0565) 28-0519
四日市支店	TEL (059) 347-6230

【西日本地区】

京滋支店	TEL (0749) 26-0618
大阪支社	TEL (06) 6252-1371
堺営業所	TEL (072) 225-5801
姫路支店	TEL (0792) 89-3241
岡山支店	TEL (086) 424-8011
広島支店	TEL (082) 506-2202
宇部営業所	TEL (0836) 21-0111
徳山支店	TEL (0834) 31-4411
四国営業所	TEL (0897) 34-6111
北九州営業所	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3639
長崎支店	TEL (095) 801-8722
大分営業所	TEL (097) 551-0237
熊本支店	TEL (096) 292-4035
鹿児島営業所	TEL (099) 257-8769

本 社 〒104-8555 東京都中央区八丁堀1-6-1

・基幹産業事業本部	TEL (03) 4413-1121
工事業部	TEL (03) 4413-1124
基幹製品事業部	TEL (03) 4413-1123
プラント営業部	TEL (03) 4413-1126
・工業製品事業本部	TEL (03) 4413-1131
海外営業部	TEL (03) 4413-1132
・高機能製品事業本部	TEL (03) 4413-1141
・自動車部品事業本部	TEL (03) 4413-1151
海外営業課	TEL (03) 4413-1155
・建材事業本部	TEL (03) 4413-1161

研 究 所

・浜松 ・鶴見

工 場

・鶴見 ・王寺 ・羽島 ・袋井 ・結城

海外拠点

・インドネシア ・マレーシア ・シンガポール ・ベトナム
・タイ ・中国 ・インド ・カタール ・チェコ ・メキシコ