

ニチアス 技術時報

No. 410

2025年 3号

CONTENTS

- 【製品・サービス紹介】
ニチアスの防音対策事業の概要について
- 【技術レポート】
幅広い温度域で使用可能かつ圧縮復元特性に優れた断熱材
～独自技術により開発した無機/有機複合スポンジ状素材～
- 【技術レポート】
マキベエ®の耐火被覆2.5時間認定取得
- 【技術レポート】
ニチアスにおける断熱材の低温熱伝導率測定

ニチアス 技術時報

No.410 2025年 3号

目 次

【製品・サービス紹介】

- ◆ニチアスの防音対策事業の概要について 1
基幹産業事業本部 プラント技術部

【技術レポート】

- ◆幅広い温度域で使用可能かつ圧縮復元特性に優れた断熱材
～独自技術により開発した無機/有機複合スポンジ状素材～ 5
研究開発本部 浜松研究所 研究部門 鈴木 律

【技術レポート】

- ◆マキベエ®の耐火被覆 2.5 時間認定取得 9
建材事業本部 技術開発部

【技術レポート】

- ◆ニチアスにおける断熱材の低温熱伝導率測定 12
研究開発本部 試験解析室 熱・耐火試験課 福代壮二郎

【連載】

- ◆ニチアスの「断つ・保つ」® 技術を支える CAE (第7回) 16
◆「断つ・保つ」® 技術を支える分析 (第4回) 18

送り先ご住所の変更, 送付の停止などにつきましては, 下に記載のフォームよりご連絡ください。
なおその際は, 宛て名シールに記載されている7桁のお客さま番号を必ずお知らせくださいますよう, お願いいたします。

〈技術時報定期購読の宛先変更・停止 申し込みフォーム〉



ニチアス 技術時報 宛先

検索



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。
<https://www.nichias.co.jp/>

〈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
E-mail : info2@nichias.co.jp

ニチアスの防音対策事業の概要について

基幹産業事業本部 プラント技術部

1. はじめに

騒音は典型7公害の一つとして最大の苦情件数となっています。また労働者にとっても有害な作業環境の一つとして、厚生労働省は2023年に騒音障害防止のためのガイドラインを改訂するなど引き続き問題となっています。

ニチアスでは「断つ・保つ」®のスローガンのもと、音を断つ事業の一つとして「プラント向け工事・販売事業」にてプラントにおける防音対策に関する事業を行っています。本稿では弊社にて行っている防音対策事業の概要について紹介します。

2. 防音プロセス

弊社では主にプラント設備における防音対策として防音装置の製造・設置工事のみならず、設置前における騒音予測や現場における音源探査を含めた総合的な防音コンサルティングを行っていることが特徴です。

一般的な防音のプロセスは以下のようなステップで行っており、以下それぞれのステップについて紹介します。

現場調査/騒音測定 → 対策立案/効果予測 → 防音工事 → 効果確認

2.1 現場調査/騒音測定

防音対策が必要な現場において、環境計量士を中心とした弊社技術員が現場にて音源となっている機器や部位を探査します。音源探査を行う際には、音源の種類やその周波数特性、また、サイズによる影響範囲や各音源の位置関係など多様な必要項目を考慮しながら実施します。

基本的には計量法に基づいた騒音計を用いての測定となりますが、現在は音響粒子速度センサーによる音源を可視化する技術も併用し、音響マッピングを行いながら効果的な音源探査の測定を行っています。図1に音響マッピング画像例を示します。騒音レベルが大きい箇所を赤く示すことができ、対策すべき箇所を明確にすることが可能です。

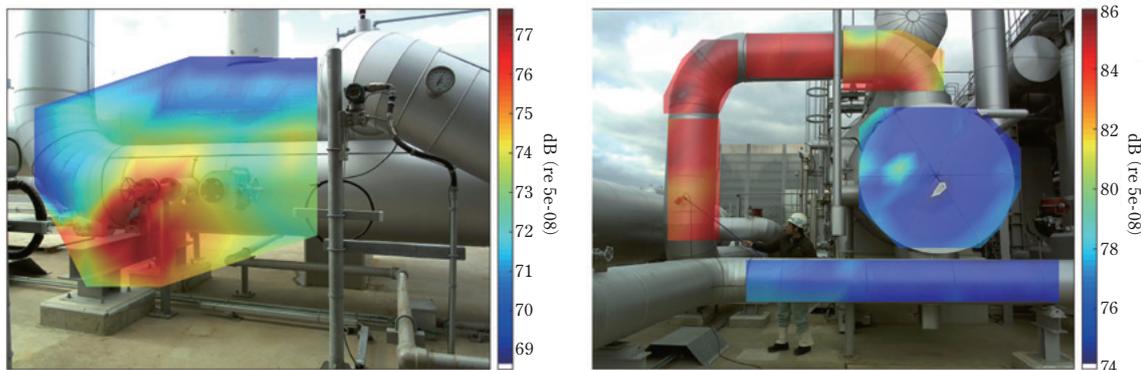


図1 音響マッピング画像例

2.2 対策立案/効果予測

音源の探査が完了し、特定の位置（敷地境界点や作業範囲内特定点等）での各音源からの寄与度の確認の次にその位置での必要減音量から対策案の検討を行います。

主な対策は以下のとおりです。

2.2.1 配管・ダクトからの騒音

配管・ダクト表面から発生している騒音に対しては防音ラギングによる対策を行うことが多いです。

防音ラギングとは断熱に用いるロックウールなどの吸音材料と鉛板、遮音シートなどの遮音材料と外装材を組み合わせた工法を示します（図2）。

なお、必要な減音量により、材料構成（ロックウール、鉛板の厚み等）を変更して設計を行います。

防音ラギングにて対応できる減音量はおおよそ30dB程度までが限度であることに注意が必要で、これ以上の減音量が必要な場合は後述するサイレンサーの設置などが必要になります。

配管での騒音発生原因は、減圧弁やオリフィスなどの圧力変化や粉体などの内部移動する物質の配管接触が原因で発生していることが多く、ダクトでは内部流体を通気させるためのファン等の回転機器から発生している騒音がダクト内に伝搬しダクト表面から発生していることが多いです。

2.2.2 機器からの騒音

ファン・ポンプ・ブロワ等の騒音を発生させる機器に対しては、防音カバー等を設置して対応する場合があります（図3）。

弊社では防音性能のみならず、美観を特に配慮し、かつ軽量化を図ったTOMBO™ No.6900「ニチアス防音パネル™」（図4）を用いて各現場に応じた扉の設置やメンテを考慮したパネルの取り外し部分の設計などを行い設置工事までを行うことが可能です。

なお、必要とされる減音量が小さく、かつ、吸音材などの材料を機器本体へ設置できる場合であれば、前述した防音ラギングによる防音対策を行うことも可能です。

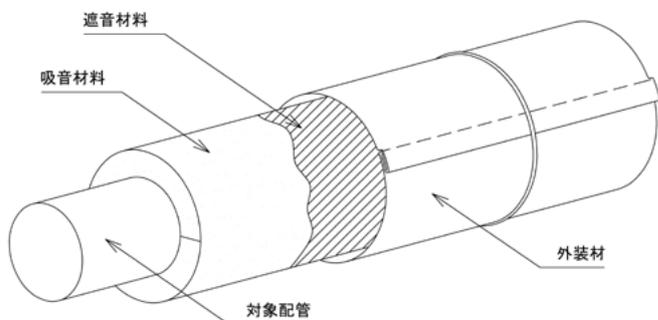


図2 防音ラギングの施工例



図3 防音カバー施工例



図4 ニチアス防音パネル™

2.2.3 吸気・排気・放散口からの騒音

ファン・ブロウ等の吸排気口や蒸気・ガスの放散口、建屋の換気口などの流体を通過させる必要のある部分への対策は、サイレンサーを設置して対応します（図5）。

弊社では内部にロックウール等の吸音材料を用いたタイプのもので、蒸気放散などの高温・大流量のものから建屋換気用など用途に応じた多様な種類のサイレンサーの設計・製作を行うことが可能です。

サイレンサーを設計する場合には、必要減音量の他に内部流体の温度などの性状や流量、許容圧力損失などの情報が必要になります。一般的に許容できる圧力損失が大きいとサイレンサーを小さくすることができるが、許容できる圧力損失が小さくなるとサイレンサーが大きくなるトレードオフの関係にあることに留意する必要があります。

2.2.4 その他 複数騒音源や大型機器への防音対策

工場設備においては一つの音源の影響だけでなく複数の音源の影響で、例えば敷地境界点などで規制値を超過する場合も多くあります。また、大型の冷却塔など防音カバーで全体を囲うことが困難な場合もある。そのような場合は、騒音値を低減しなければいけない地点と騒音源の間に防音壁を設置して対応を行います。弊社ではボルト・ナットでの固定を必要としない低価格で高耐候性能をもつTOMBO™ No.6930-JH「エコスリット® JH」(図

6) を利用した防音壁を設置することが可能です。

当然ながら必要な減音量を得るために騒音源と特定地点との距離、位置関係による必要な防音壁の高さや範囲の設計だけでなく、防音壁の高さに応じた鉄骨の構造設計・製作・据え付け工事まで実施することが可能です。

2.2.5 効果予測

弊社では以上に述べたさまざまな防音対策を施工することができますが、その際は機器近傍における施工後の騒音レベルを予測するだけではなく、敷地境界点にて予想される騒音レベルを併せて提示することも可能です。

また、対策前と対策後における騒音分布状況をコンター図として作成することも可能です（図7）。対策前後にて予想される騒音の分布状況を事前に把握することにより、目標値をクリアするために必要な対策施工範囲を適切に設計できます。

また、弊社では設備設計の段階における防音対策の検討も可能です。

設備に設置する各種音源の予想騒音値や弊社での豊富な防音対策の実績より影響の大きな騒音源の予想を行い、配置の最適化や最善な防音対策を計画することで設置後の騒音問題の発生リスクを抑えた設備の建設を行うことも可能です。

2.3 防音工事

弊社では断熱工事各種での足場架設や重機対応などの経験も含めて現場対応を数多く行ってい



図5 送風機排気サイレンサー



図6 エコスリット® JH

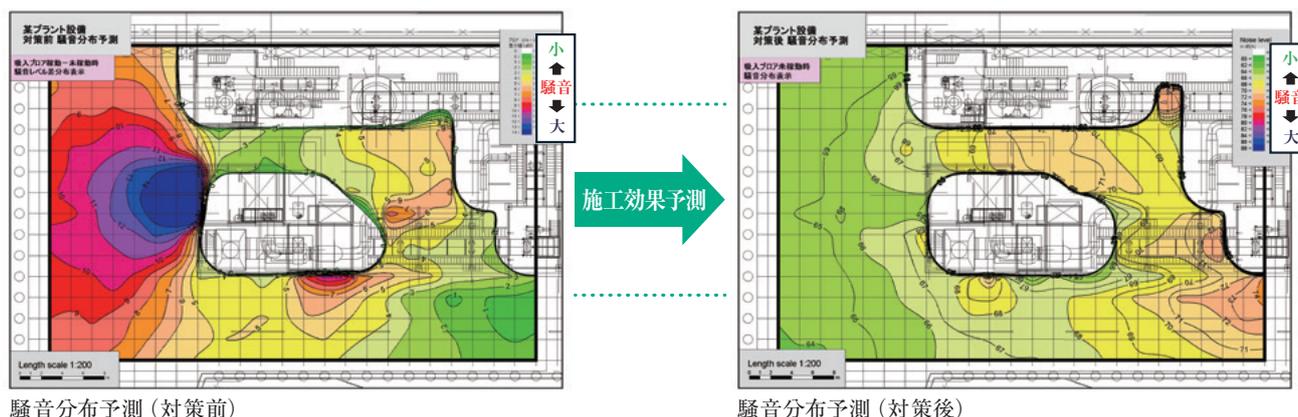


図7 対策前後における騒音分布予測コンター図作成例

ます。2.2で示した防音カバー、防音ラギングといった防音対策工事についても多くの実績・経験があり、安全安心な施工が可能です。

2.4 効果確認

現場調査/騒音測定の項(2.1)でも記述したように環境計量士を中心にした正確な測定にて効果確認が実施できます。また、弊社にて計量証明事業所の登録もしているため計量証明書の発行も可能です。

2.5 まとめ

防音対策は音源の騒音レベルのみならず周波数や騒音源の位置やサイズによる影響など多様なことを考慮する必要があります。非常に煩雑です。

また、現場での対策を行う場合に必要な減音量を得るためには各音源の影響度を考えた対策範囲の設定が非常に重要になります。

ご紹介しましたとおり、弊社では、現場調査から騒音測定、対策立案や効果予測、防音工事、お

よび対策後の効果確認まで一貫した総合的な防音コンサルティングを行っていますので、そのようなさまざまな状況にも柔軟に対応することが可能です。

3. おわりに

弊社は断熱のみならず防音材料として優れた特性を持つロックウールMG製品を製造・販売・設置工事を行っている中で、長年防音技術も磨いています。各位の設備での音環境を改善するために弊社の技術・製品がお役に立てれば幸いです。なお、本稿に関するご質問・お問い合わせは、基幹産業事業本部 プラント技術部までお願いいたします。

- * ®が付されている名称はニチアス(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。
- * TMが付されている名称はニチアス(株)の商標です。

幅広い温度域で使用可能かつ 圧縮復元特性に優れた断熱材

～独自技術により開発した無機/有機複合スポンジ状素材～

研究開発本部 浜松研究所 研究部門 鈴木 律

1. はじめに

断熱材は主に無機系断熱材と有機系断熱材に分類される。無機系断熱材を材料の構成要素で大別するとロックウールやグラスウールに代表される無機繊維質断熱材、けい酸カルシウムやエアロゲル系断熱材に代表される粒子系断熱材に分類される。これら無機系断熱材はその優れた耐熱性ゆえに幅広い温度領域で用いられている。一方、有機系断熱材はスポンジ状構造を持つ発泡プラスチック系断熱材や発泡ゴム断熱材、セルローズファイバーやPET繊維に代表される有機繊維質断熱材等に分類される。これら有機系断熱材はその優れた柔軟性・圧縮復元特性を生かし幅広い領域で使用されるが、高温環境下では有機材料が焼失するため使用温度が制限される。

近年、断熱材がその用途を広げ、無機系断熱材と有機系断熱材両方の特性を兼ね備えた断熱材が要求されるケースが増えている。そこで、当社では幅広い温度域で断熱材として使用可能で、圧縮復元特性に優れた新素材を目指し、独自の技術により無機材料と有機材料からなるスポンジ状素材(図1, 以下無機/有機複合スポンジ)を開発した。本稿ではその概要について紹介する。

2. 無機/有機複合スポンジの概要と特徴

2.1 無機/有機複合スポンジの概要

無機/有機複合スポンジは無機材料で骨格部分を形成し、無機材料の周囲を有機材料で被覆した

構造を持つ(図2)。そして、無機材料と有機材料が複合化した構造がセル状の空隙を形成し、いわゆるスポンジ状構造を持つ(図3)。この構造によって、無機系断熱材と有機系断熱材両方の特性を兼ね備える。

無機材料にはガラス繊維、シリカ粒子など、繊維や粒子などの形態を問わず使用することができ、有機材料にはアクリル樹脂、シリコンゴムなどさまざまな材料が使用可能である。また、か



図1 無機/有機複合スポンジ

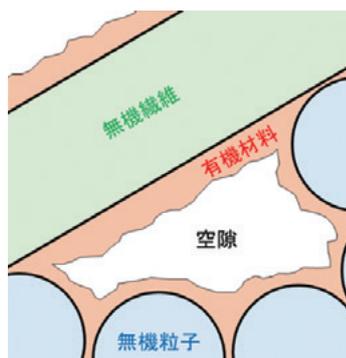


図2 スポンジ骨格部分の模式図

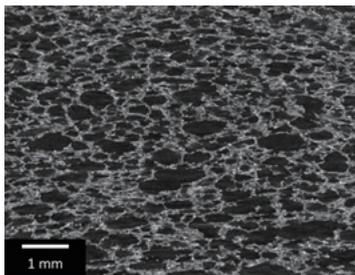


図3 無機/有機複合スポンジの内部構造 (X線CT)
白色部：スポンジ骨格 黒色部：空隙

かさ密度を 80 ～ 400kg/m³ の範囲で任意に調整できる。これらにより用途に応じたさまざまなスポンジ状素材を提案可能と考える。

2.2 無機/有機複合スポンジの特徴

無機/有機複合スポンジの特徴は有機材料により圧縮復元特性を持ちつつ、高温環境下で有機材料が焼失しても無機材料がスポンジ状構造を保持することで幅広い温度域で断熱材として機能する点である。本稿では無機/有機複合スポンジの圧縮復元性、加熱後の保形性・断熱性について評価した結果を紹介する。評価に使用した無機/有機複合スポンジと比較に使用した試験体の詳細を表1に記載する。

2.2.1 無機/有機複合スポンジの圧縮復元特性

圧縮復元特性の評価にあたり試験体を合計30回繰返し圧縮復元した。繰返し条件としてひずみ60%まで圧縮し、ひずみ54%まで復元する操作を30回実施した(図4)。繰返し圧縮復元を行うことで試験体にへたりが生じるため、復元時の面圧は繰返し圧縮回数に比例し減少していく(図5)。そこで、圧縮復元特性は復元面圧の保持率と試験後の長さ復元率より評価した。

復元面圧の保持率は、最もへたりの影響が顕著な30回目圧縮復元時の復元面圧と1回目圧縮復元時の復元面圧を基に式(1)で算出した。

$$S = (P_{30} / P_1) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

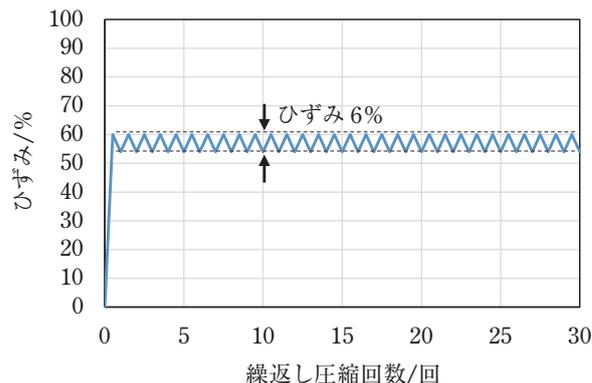
S : 復元面圧の保持率 [%]

P₁ : 1回目圧縮復元時の復元面圧 [MPa]

P₃₀ : 30回目圧縮復元時の復元面圧 [MPa]

表1 試験体の仕様

	無機/有機複合スポンジ	グラスウールマット	エアロゲル系断熱材
かさ密度 [kg/m ³]	220	40	210
厚さ [mm]	4	4	4
無機/有機複合スポンジは湿式シリカ, ガラス繊維, 有機バインダーからなり, 構成重量割合は無機/有機が60/40である			



※ひずみは試験体厚みに対するパーセンテージで示している

図4 繰返し圧縮復元試験条件

長さ復元率は試験前後の長さの比より式(2)で算出した。

$$R = (t_{30} / t_0) \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

R : 長さ復元率 [%]

t₀ : 圧縮前の試験体厚さ [mm]

t₃₀ : 30回目圧縮復元後の試験体厚さ [mm]

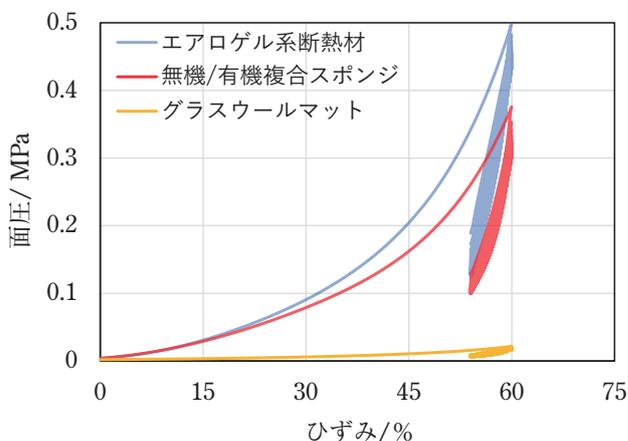


図5 繰返し圧縮復元試験結果

表2 復元面圧の推移と保持率

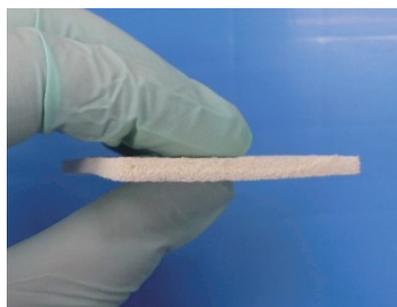
繰返し 圧縮回数 [回]	無機/有機複合スポンジ		グラスウールマット		エアロゲル系断熱材	
	復元面圧 [MPa]	保持率 [%]	復元面圧 [MPa]	保持率 [%]	復元面圧 [MPa]	保持率 [%]
1	0.129		0.009		0.191	
30	0.100	78	0.006	67	0.125	65

試験の結果、復元面圧の保持率は無機/有機複合スポンジは78%であり、グラスウールマットは67%、エアロゲル系断熱材では65%であった(表2)。厚さ復元率は無機/有機複合スポンジが96%であり、グラスウールマットでは87%、エアロゲル系断熱材では84%であった。以上より、無機/有機複合スポンジは無機系断熱材と比較し圧縮復元特性に優れていることがわかった。

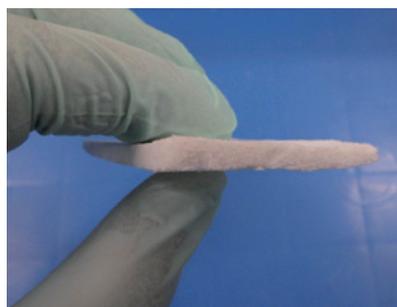
2.2.2 無機/有機複合スポンジの加熱後の保形性と断熱性

無機/有機複合スポンジの加熱後の保形性は試験体を800℃で5分間全面加熱した後のハンドリングの可否で判断した。全面加熱後、ハンドリング可能であり保形性があることを確認した(図6)。無機/有機複合スポンジは有機材料を多量に含む材料であるが、スポンジ状構造の骨格部分は無機材料で構成されている。そのため加熱後、有機材料が焼失しても無機材料からなるスポンジ状構造体となり断熱材として機能する。

無機/有機複合スポンジの断熱性は600℃の片面加熱試験で評価した。比較としてグラスウールマット、エアロゲル系断熱材の試験結果を記載する。試験では加熱したヒーターを試験体に接触させ3分後にヒーターの電源を切った。ヒーター接触時からの試験体温度を加熱面とは反対側の面で測定した(図7)。無機/有機複合スポンジはエアロゲル系断熱材と比較すると裏面温度が高く、断熱性は劣った。一方、グラスウールマットと比較すると裏面温度が低く、断熱性は同等以上であった。



加熱試験前



加熱試験後(800℃)

図6 無機/有機複合スポンジの全面加熱試験結果

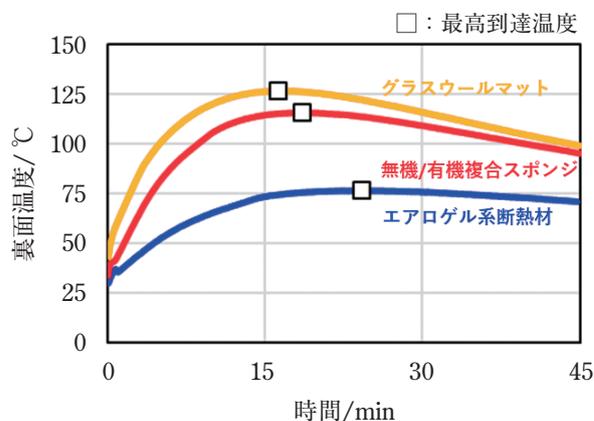


図7 片面加熱試験における裏面温度の推移

3. おわりに

本稿では有機材料により圧縮復元特性を持ちつつ、高温環境下で有機材料が焼失しても無機材料がスポンジ状構造を保つことで幅広い温度域で断熱材として機能する無機/有機複合スポンジ状素材について紹介した。現在開発継続中の素材・技術のため、製品化時期は未定であるが、少量のサンプル提供は可能である。今後、お客さまのご要望を積極的に取り入れつつ、本技術のさらなる深化と開発に努めていく所存である。

本開発品に関するご質問、お問い合わせは研究開発本部 研究部門まで願いたい。

*本稿の測定値は参考値であり、保証値ではございません。

筆者紹介



鈴木 律

研究開発本部 浜松研究所 研究部門
断熱材の開発に従事
修士（工学）

省エネに貢献する ニチアスの断熱材・保温材

- アルカリアースシリケート(AES)ウール ファインフレックスBIO®
- ロックウール製品 ロックウールMG製品
- アルミナ繊維製品 RFボード®
- 高性能断熱材 ロスリム® ボード / パイロジェル™ XTE
- 保冷材 フォームナート® カバーTN

※®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。「パイロジェル」は、Aspen Aerogels社の製品であり商標です。

マキベエ[®]の耐火被覆2.5時間認定取得

建材事業本部 技術開発部

1. はじめに

建築物の主要構造部に施される耐火被覆は、火災時の高温から鉄骨を保護し、建築物の倒壊や延焼防止を担保するための重要な構成材料になります。従来から耐火建築物を構成する耐火構造の柱や梁には耐火性能を付与するため、建築基準法に基づく耐火時間や耐火構造に応じた厚さの耐火被覆を必要とします。

TOMBOTM No.5520「マキベエ[®]」(以下、マキベエ)は耐熱性の高い無機繊維をフェルト状に成形したもので、不織布等の表面材を施した巻付け耐火被覆材です。1996年の発売以来、鉄骨柱や梁の耐火被覆材として、数多くの事務所ビルや物流倉庫などの耐火建築物に用いられています。マキベエの外観と施工イメージを図1に示します。

本誌408号の技術レポートにて、令和5年4月1日の建築基準法改正に伴い、マキベエの梁1.5時間の耐火認定取得したことをご報告しました。本

稿では、梁1.5時間耐火認定に続いて梁2.5時間耐火認定を取得しましたのでご紹介します。

2. 令和5年の建築基準法改正の概要

柱、梁、壁、屋根および階段などの主要な構造部分は、通常起こりうる火災時の加熱時間に対して建物が倒壊、他に延焼しない性能が必要とされています。建築物の階数に応じて耐火時間が定められています。耐火時間とは、耐火構造を必要とする建築物の主要な構造部分が、通常起こりうる火災による火熱が加えられた場合に、構造耐力上支障のある、変形、溶融、破壊、その他損傷を生じることなく性能を保持する必要がある時間のことを意味します。

令和5年4月1日より、脱炭素社会の実現に資するため、階数に応じて要求される耐火性能基準の合理化が図られ、1.5時間、2.5時間の耐火性能が新たに設定されました。改正前後の規定耐火時間を表1、2および図2、3に示します。



図1 マキベエ[®]の外観と施工イメージ

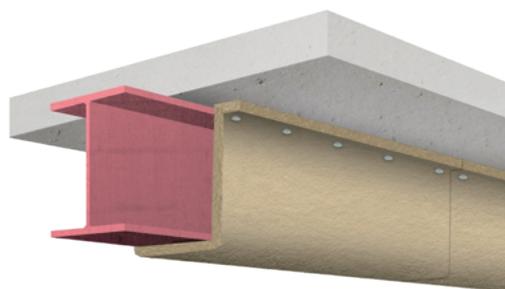


表1 改正前の規定耐火時間

建築物の階 建築物の部分		最上階および最上階から数えた階数が2以上で4以内の階	最上階から数えた階数が5以上で14以内の階	最上階から数えた階数が15以上の階
壁	間仕切り壁	1時間	2時間	2時間
	外壁	1時間	2時間	2時間
柱		1時間	2時間	3時間
床		1時間	2時間	2時間
梁		1時間	2時間	3時間
屋根		30分間		
階段		30分間		

表2 改正後（令和5年4月1日以降）の規定耐火時間

建築物の階 建築物の部分		最上階および最上階から数えた階数が2以上で4以内の階	最上階から数えた階数が5以上で9以内の階	最上階から数えた階数が10以上で14以内の階	最上階から数えた階数が15以上で19以内の階	最上階から数えた階数が20以上の階
壁	間仕切り壁	1時間	1.5時間	2時間	2時間	2時間
	外壁	1時間	1.5時間	2時間	2時間	2時間
柱		1時間	1.5時間	2時間	2.5時間	3時間
床		1時間	1.5時間	2時間	2時間	2時間
梁		1時間	1.5時間	2時間	2.5時間	3時間
屋根		30分間				
階段		30分間				

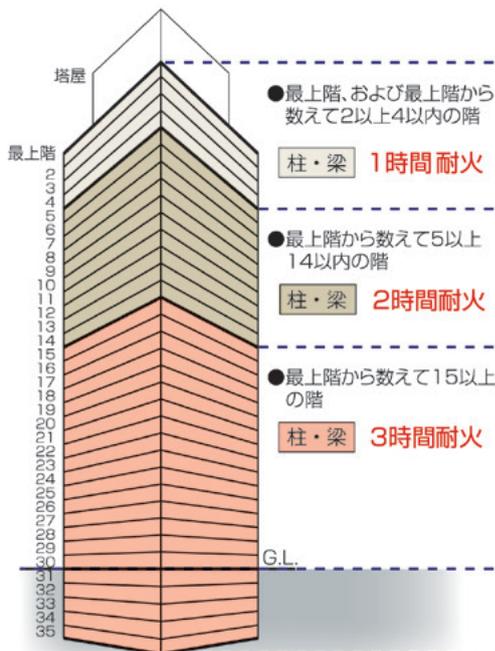


図2 改正前の規定耐火時間

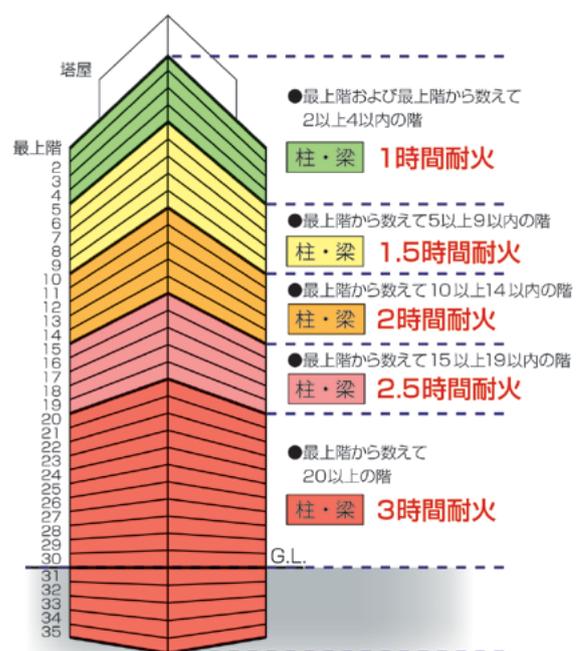


図3 改正後（令和5年4月1日以降）の規定耐火時間

3. マキベエ® の 2.5 時間耐火認定の取得

令和5年の建築基準法改正に伴い、弊社ではマキベエの梁 2.5 時間耐火認定を 2 種類新規取得しました。取得した耐火認定構造を表3に示します。

表3 2.5 時間耐火認定取得仕様

認定番号	製品厚さ	鋼材寸法
FP150BM-0836	40mm	H-300x200x12x16 以上
FP150BM-0837	65mm	H-350x175x7x11 以上

4. 2.5 時間耐火認定採用時のメリット

過去取得済みの梁 3 時間耐火認定の仕様と今回取得しました梁 2.5 時間耐火認定の仕様比較を表4および図4、5に示します。

表4に示すとおり、3 時間耐火認定と比較して 2.5 時間耐火認定を使用することにより耐火被覆の厚さを薄くすることが可能です。事務所ビルなどの梁に施工する場合、天井裏の有効スペースを広げることができます。また、2 層張り仕様から 1 層張り仕様が可能になりますので施工性向上にも貢献します。

加えて、全てのマキベエ製品は輸送時に厚さや密度によらず同一サイズのロール梱包としている

表4 3 時間と 2.5 時間の耐火認定仕様比較

鋼材寸法	製品厚さ		効果
	3 時間耐火	2.5 時間耐火	
H-300x200x12x16 以上	高密度仕様 40mm*	40mm	施工性の向上、 輸送コスト削減
H-350x175x7x11 以上	105mm (40mm+65mm)	65mm	厚さ 40mm 削減 (約 40%) 施工性の向上、 輸送コスト削減

※高密度仕様：製品密度を上げ、耐火性能を向上させた製品
(通常仕様：密度 80 ~ 120kg/m³ 高密度仕様：密度 100 ~ 140kg/m³)

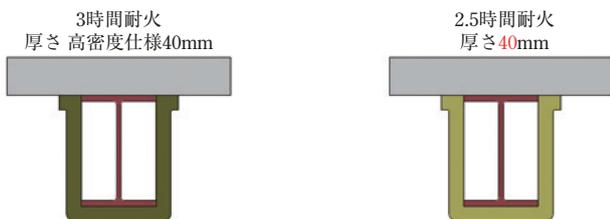


図4 耐火認定仕様比較 (鋼材寸法：H-300x200x12x16 以上)

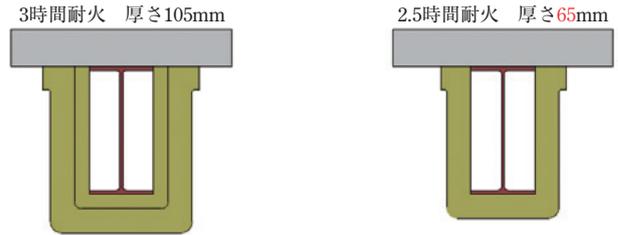


図5 耐火認定仕様比較 (鋼材寸法：H-350x175x7x11 以上)

表5 マキベエ® の製品仕様

厚さ (mm)	幅 (mm) / 働き幅* ¹ (mm)	長さ (mm)	被覆面積** ² (m ² /袋)
40	925/895	6000	5.37
65	925/895	3300	2.95
高密度仕様 40	925/895	5000	4.48

※1 働き幅：施工後の有効幅

※2 [被覆面積] = [働き幅] × [長さ]

ため薄い製品ほど 1 袋当たりの被覆面積が多くなります (表5)。このため、3 時間耐火認定でなく、2.5 時間耐火認定を採用することで被覆厚を低減して必要なロールの数が抑えられますので、輸送コスト削減、輸送による CO₂ 排出量削減効果も得られます。

5. おわりに

TOMBO™ No.5520 「マキベエ®」は、建築基準法に基づく耐火時間や耐火構造に応じた耐火被覆材として、多くの耐火建築物に採用されている実績があります。今回は 2.5 時間の耐火認定取得についてご紹介させていただきました。今後も法改正に伴う新たな耐火認定があれば取得を検討してまいります。これまで以上にご採用の検討をいただければ幸いです。

本製品に関するお問い合わせは、建材事業本部 技術開発部までお願いいたします。

* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

* ®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。

ニチアスにおける断熱材の低温熱伝導率測定

研究開発本部 試験解析室 熱・耐火試験課 福代 壮二郎

1. 背景

近年、持続可能なエネルギー源としての水素が注目を集めており、水素社会の実現へ向けた動きが進んでいる。水素は、燃焼時に二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーであり、環境保護に大きく貢献することが期待されている。そのため、効率的な水素貯蔵および輸送技術の開発が急務となっている。水素を輸送・貯蔵する方法として各種方式があるが、大量の水素を輸送・貯蔵する場合、輸送効率、コスト面から液体水素が有利となる¹⁾。しかし、液体水素は低沸点（ -253°C ）、低蒸発潜熱（ 31.4kJ/L ）という特性を持つため、液化天然ガス（沸点 -161°C 、蒸発潜熱 225.9kJ/L ）より蒸発しやすく、安定した輸送・貯蔵のためには高い断熱性能が必要となる。そこで、当社はこのような過酷な環境下で使える高性能な断熱材を開発するため、低温における熱伝導率測定技術を整備してきた。本稿では、低温熱伝導率測定技術の概要とその測定事例について紹介する。

2. 当社における熱伝導率測定

熱伝導率とは材料内部の熱の伝わりやすさを示す材料特性であり、熱伝導率が低いものほど熱が伝わりにくい、つまり断熱性能が高いことを示す。断熱材の伝熱モデルは主に、気体伝導伝熱、固体伝導伝熱、ふく射伝熱の3つの要素から成り立つ²⁾。そのため、熱伝導率も気体、固体、ふく射の成分に分離できる。例えば、温度が高くなるほどふく射の熱伝導率が大きくなる場合は、断熱材のかさ密度を高くしてふく射を遮蔽する効果を高めるなどの熱伝導率を低減する対策が明らかとなるため、熱伝導率を分離することで効率的な材料開発が可能となる。

当社の熱伝導率測定には、保護熱板法（Guarded Hot Plate method, 以下GHP法）、熱流計法、熱線法、周期加熱法の主に4種の手法を用いている。保有する熱伝導率測定装置を測定温度域ごとに表1にまとめて示す。

2.1 高温域における熱伝導率測定

GHP法は熱伝導率を直接測定できる絶対法であり、最も標準的な方法である。測定温度範囲は

表1 当社の主な熱伝導率測定装置

測定温度域		低温		常温		高温	
測定方法		GHP法	熱線法	GHP法	熱流計法	GHP法	周期加熱法
温度範囲	℃	$-160 \sim 250$	$-160 \sim 50$	$20 \sim 70$	$-10 \sim 60$	$100 \sim 600$	$100 \sim 1000$
試験体サイズ	mm	□ 300×300	□ 195×100	□ 300×300	□ 200×200	φ 300	□ 125×125 □ 300×300

常用600℃までとなっている。600℃を超える温度においては、周期加熱法を用いた装置を使用する。この装置は当社が独自に開発した装置であり、2021年にISO³⁾、2022年にJIS⁴⁾の規格として制定され、常用1000℃までの測定が可能である。

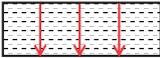
2.2 常温域における熱伝導率測定

GHP法および熱流計法を用いた装置を保有している。熱流計法は熱伝導率が既知の標準物質を用いる比較法であり、GHP法よりも単純な構造で測定も簡便という特徴がある。

2.3 低温域における熱伝導率測定

低温向け断熱材であるポリウレタンフォームの熱伝導率測定を熱線法（直交法）で行っている。熱線法は主に煉瓦などの耐火物の高温域における熱伝導率を測定するための方法であるが、当社では熱線法による低温域における熱伝導率測定をポリウレタンフォームに限定して行っている。表2に示すように、熱線法はその測定原理上、断熱材の全方向の平均的な熱伝導率が得られるため、ポリウレタンフォームのような等方性材料には向いているが、方向によって伝熱特性が異なる異方性材料には不向きである。しかし、液体水素用断熱材を開発する上で、等方性材料ばかりでなく、繊維質断熱材などの異方性を持った材料も候補となり得る。また、断熱材の性能としては、実際に使用する時に熱が流れる方向の熱伝導率が重要となる。そのため、一方向の熱伝導率を評価する低温GHP法装置を整備した。低温GHP法装置は-160℃～250℃の任意温度で測定でき、熱伝導率の温度依存性を評価できることから、液体水素用断熱材の開発に活用している。

表2 GHP法と熱線法の測定方向の比較

測定方法		GHP法	熱線法
測定方向			
		一方向	全方向
測定の適性	等方性材料	○	○
	異方性材料	○	×

3. 低温熱伝導率測定

3.1 低温GHP法装置の測定原理

GHP法は、平板試験体の厚さd [m] 方向に一次元定常熱流を与え、その時の熱流量Q [W]、熱流面積S [m²]、試験体の厚さ方向の温度差Δθ [°C] から熱伝導率λ [W/(m・K)] を(1)式より求める方法である。

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \Delta \theta} \dots\dots\dots (1)$$

GHP法の模式図を図1に示す。(1)式に示した熱流量Qは、主熱板の発熱量から求めるため、ここで発生した熱は、冷却熱板方向への一次元熱流であることが求められる。主熱板から側面方向への熱流の拡散を防ぐために、主熱板の周囲に同じ温度に制御された保護熱板を配している。

3.2 低温熱伝導率測定の留意点および課題

保有している低温GHP法装置の外観を図2に示す。測定雰囲気は大気、真空のほか、N₂やHeなどの不活性ガスに置換することもできる。また、

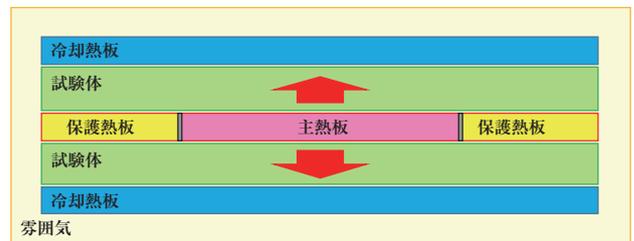


図1 GHP法の模式図



図2 低温GHP法装置の外観

液体窒素を使って測定室および冷却熱板を冷やす。以下に低温熱伝導率測定の留意点および課題について述べる。

0℃以下の測定においては、大気中の水蒸気や試験体の吸着水の固化が測定結果に影響を及ぼすため、N₂フローにより測定室内の水蒸気を除去することや、試験体をあらかじめ加熱処理して吸着水を脱着してから測定するなどの前処理が必要である。

液体窒素による冷却操作においては、真空下では熱が伝わり難くなることで測定室内全体が均一に冷却するまでに時間が掛かるため、不活性ガスの伝熱を利用して冷却した後真空引きを行うという操作手順を取っている。

粉体を測定する場合は、□300mm×300mmの枠に粉体を充填して測定を行う。測定における留意点は、粉体を枠の外に漏らさないこと、粉体の充填形状・厚みを維持すること、枠内部を真空もしくはガスパージするために枠内外の気体の移動が可能なこと、枠を介する熱流の影響が少ないことである。そのため、枠の上下には蓋をして密閉性を高め、枠の側面からのみ気体が移動できるようにすることや、枠の材質は粉体と同程度の熱伝導率のものにするなどの工夫が必要である。

ポリウレタンフォームは内部に気泡を有しており、それぞれの気泡がウレタンの壁で区切られた独立気泡となっているものがある。そのため、真空下および不活性ガス雰囲気における測定においては、気泡内部まで雰囲気の制御が行き届いているのかを把握することが課題である。

3.3 低温GHP法装置による測定例

3.3.1 標準物質の測定例

標準物質であるグラスファイバーボード(129kg/m³, 図3)の-160℃~-50℃における熱伝導率を測定した結果を図4に示す。標準値と比較して5%以内で一致し、高い測定精度であることを示した。

3.3.2 フォームナート® ボードTNの測定例

当社のポリウレタンフォーム製品であるフォームナート® ボードTN(45kg/m³, 図5)の-145℃~20℃における熱伝導率を測定した結果を図6に

示す。比較として熱線法で測定した結果も併記する。GHP法による測定結果は熱線法による測定結果とおおよそ10%の範囲内で一致した。フォームナート® ボードTNは等方性材料であるため、両装置で同様の結果が得られたと考えられる。

3.3.3 ロスリム® ボードGHの測定例

当社の断熱材製品であるロスリム® ボードGH(246kg/m³, 図7)の-160℃~-80℃における熱伝導率を測定した結果を図8に示す。常温GHP法装置を用いて20℃で測定した結果も併記する。低温GHP法装置で測定した結果の延長線上に常温GHP法装置で測定した結果があることから、低温域と常温域で整合性のある結果が得られていると考える。

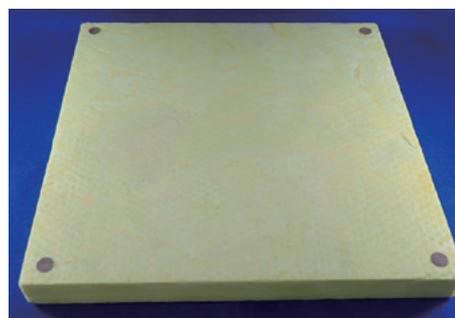


図3 標準物質の外観

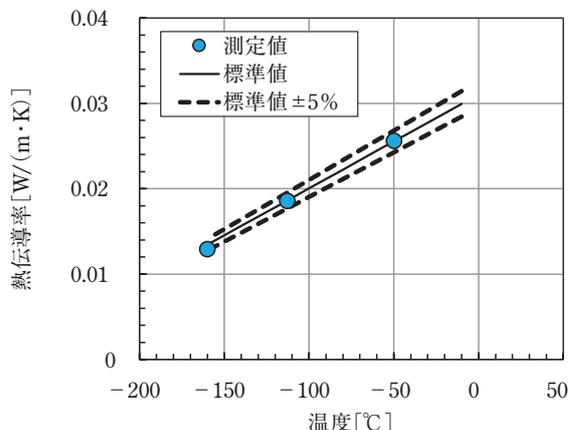


図4 標準物質の熱伝導率



図5 フォームナート® ボードTNの外観

4. 液体水素温度における熱伝導率測定

保有している低温GHP法装置は -160°C から測定可能であるが、液体水素用断熱材として実際に使用するのにはさらに温度が低い液体水素温度(-253°C)付近であるため、実使用温度における熱伝導率を評価することが望ましい。液体水素温度における断熱材の熱伝導率を評価する方法

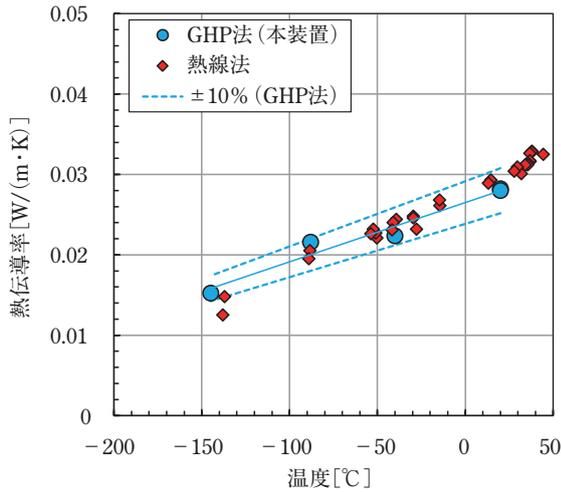


図6 フォームナート® ボードTNの熱伝導率



図7 ロスリム® ボードGHの外観

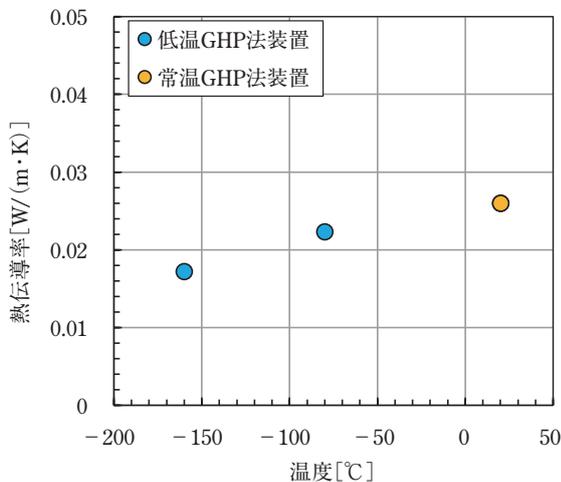


図8 ロスリム® ボードGHの熱伝導率

として、ボイルオフカロリメーターが知られている^{5), 6)}。この方法は、試験体を介する入熱による液体水素の蒸発量から熱伝導率を求めるものである。しかし、この方法では一般的に、液体水素温度である -253°C と加熱面である特定温度との平均温度1点における熱伝導率しか評価できない。断熱材の熱伝導率の温度依存性を評価することは、断熱材開発において有用な知見となるため、任意温度で熱伝導率を評価できる装置が求められる。そのため、現在、当社では -253°C から任意温度で測定できる装置の開発に取り組んでいる。

5. おわりに

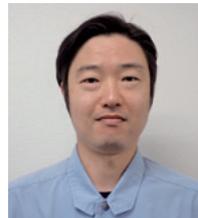
低温の熱伝導率測定において、試験体の前処理や効率的に測定を行うための操作手順などに留意して、精度よく測定できる環境を整備してきた。測定例として、標準物質、フォームナート® ボードTN、ロスリム® ボードGHの結果を紹介した。今後は粉体の測定や真空雰囲気における測定などを行い、低温における熱伝導率測定技術のさらなる構築および -253°C の環境下で使用される断熱材の開発に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 神谷：水素輸送技術，日本造船学会誌，Vol.87，pp.169-172 (2004)。
- 2) 「断熱材における熱伝導率の伝熱要素～実用的な伝熱モデルと解析事例～」ニチアス技術時報，No.398，pp.12-17 (2022)。
- 3) 「周期加熱法による断熱材の熱拡散率測定方法のISO規格が発行されました」ニチアス技術時報，No.394，pp.18-19 (2021)。
- 4) 「周期加熱法による断熱材の熱拡散率試験方法のJIS規格が発行されました」ニチアス技術時報，No.400，pp.16-17 (2023)。
- 5) 神谷，大西，川越，西垣：液体水素貯槽用断熱性能試験装置の開発，低温工学，Vol.35，No.9，pp.10-19 (2000)。
- 6) Quan-Sheng Shu, James E. Fesmire, Jonathan A. Demko, CRYOGENIC HEAT MANAGEMENT, pp.215-242(2022)

*®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。
*本稿の測定値は参考値であり、保証値ではございません。

筆者紹介



福代 壮二郎

研究開発本部 試験解析室
熱・耐火試験課
断熱材の熱伝導率測定に関する研究に従事

ニチアスの「断つ・保つ」[®] 技術を支えるCAE

CAE (Computer Aided Engineering) は製品・工程をコンピュータ上で擬似的に再現し、さまざまな検討を支援する技術です。ニチアスでは、研究・開発、設計および製造までのあらゆる工程で CAE を取り入れ、品質やサービスの向上に努めています。ここでは、弊社の CAE 技術について事例を通してご紹介します。

第7回

金属保温材の断熱設計で活用される熱流体CAE

金属保温材は発じん性、施工性、機械的強度および耐食性に優れた断熱材であり、その特徴的な断熱特性から、施工時の放射線被ばく低減や放射性廃棄物低減が要求される原子炉発電所において長年にわたって採用されています。

ごく稀ではありますが、標準仕様品では対応できない特殊仕様品をお客さまから求められることがあります。その際は、再度、断熱設計をやり直すこととなります。断熱設計には設計→試作→検証のサイクルが必須となりますが、費用と時間を要します。

そこで弊社では、熱流体CAE技術を用いて金属保温材の熱伝導率を短時間で予測し、お客さまの要求性能に合わせた改良・開発に活用しております。

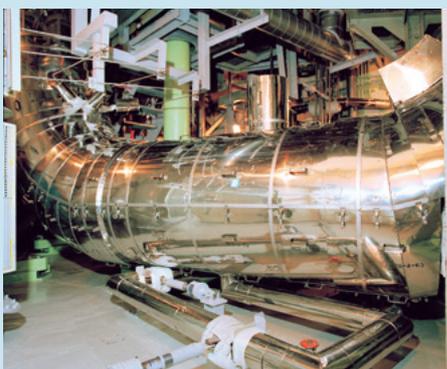
対象製品概要

「金属保温材」

金属保温材は、鏡面仕上げの外板と内部の金属箔によりふく射熱を反射するオール金属製の保温材です。ワンタッチ式バックルで着脱が容易にできることで取り付け時間の短縮が可能になります。原子炉圧力容器をはじめとする、さまざまな装置、配管に使われ、発じんもなく長期に使用できます。

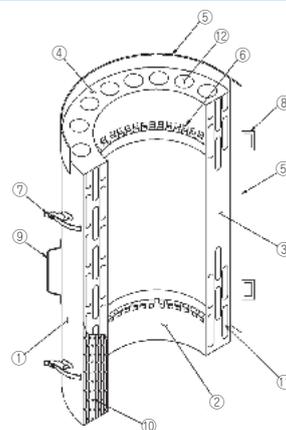


配管用金属保温材

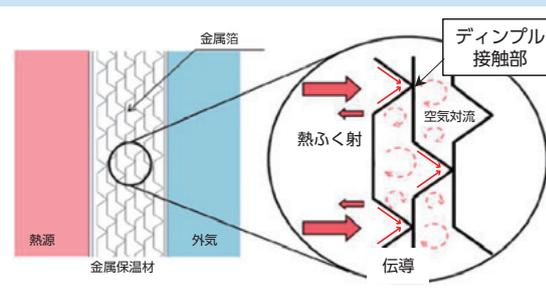


金属保温材の施工例

No.	品名
1	アウタープレート (外板)
2	インナープレート (内板)
3	サイドクロージャ (側板)
4	エンドクロージャ (端板)
5	オーバーラップ
6	Zスペーサー
7	バックル (オス)
8	バックル (メス)
9	ハンドル
10	ステンレス箔
11	ステンレス箔 (千鳥穴閉止用)
12	ステンレス箔 (丸穴閉止用)



反射型金属保温材の構造



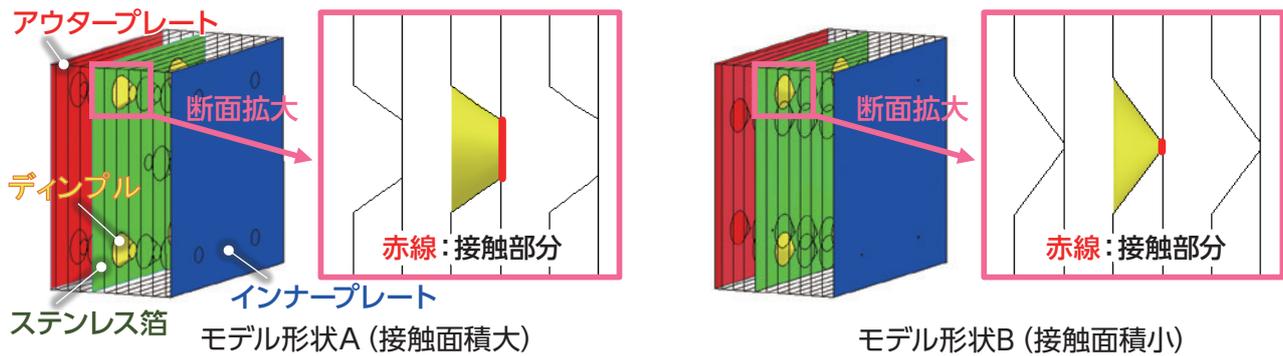
金属保温材内部の伝熱イメージ

解析の目的

金属保温材の断熱設計のために、保温材の充填材（ステンレス箔）のディンプル（保温材構造を維持するための凹凸形状）の接触面積を変更したことによる伝熱量を予測すること。

解析対象の形状と条件

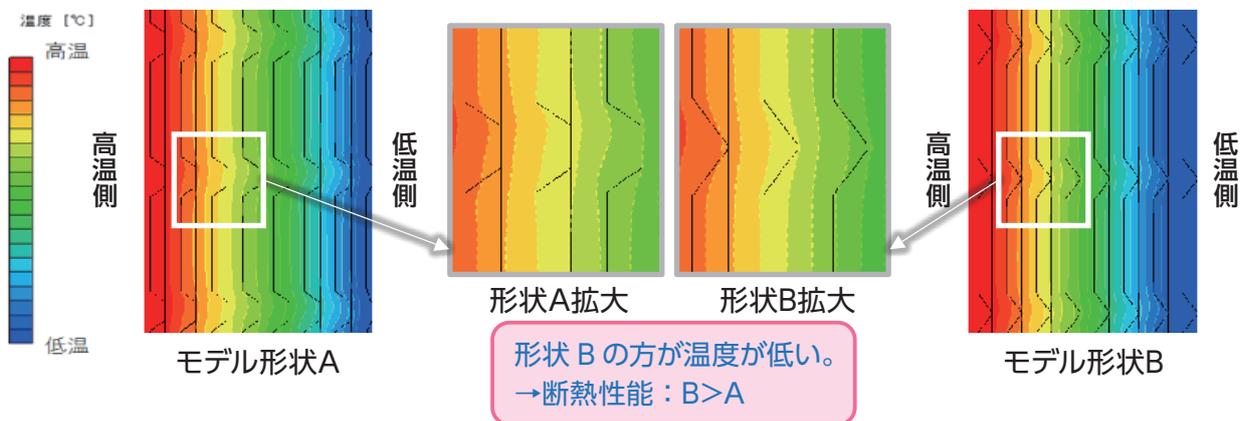
- 検討する金属保温材は平板形状とし、構成部品はアウタープレート、インナープレート、ステンレス箔のみとする
- 加熱面および冷却面をそれぞれ所定温度に設定
- 金属保温材の内部は形状以外に熱ふく射と対流による伝熱を考慮



解析結果

ディンプルの形状と位置を設定し、CAEによる熱流体解析を実施しました。解析結果の一例として、2種類のディンプル形状における断面の温度コンター図*を示します。

*コンター図：温度の高低の分布を色で示した図



ディンプル接触面積を変化させた場合の所定温度における伝熱挙動を可視化し、予測しました。伝熱量で比較すると、接触面積が小さい形状Bの方が約10%小さくなりました。

まとめ

特殊仕様の保温材の熱伝導率を測定するには時間と労力がかかります。また、性能のマーゲンを取るために過剰な設計になることもあります。

熱流体CAEを用いることで、さまざまな構造による性能予測が容易となり、金属保温材の断熱設計が短時間でできます。

* ®が付されている名称はニチアス株の登録商標です。

「断つ・保つ」[®] 技術を支える分析

ニチアスにおける分析は、研究・開発部門および製造部門でそれぞれ特化した技術を保有し、新製品の開発や品質の維持管理に役立っています。ここでは、弊社の分析技術について事例を通してご紹介します。

第4回 電子顕微鏡 (SEM) による微小観察

弊社の製品は、樹脂・ゴム・有機繊維・添加剤などの有機物、無機繊維・充填材・カーボンなどの無機物といった多種多様な材料から構成されています。これらを評価するにあたり、観察評価は欠かせません。

ヒトの目の解像力はおよそ0.1mmであるため、表面状態の微小部観察にあたっては光学顕微鏡や走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) が使用されます。中でもSEMはnmオーダーまで拡大観察することが可能です (図1)。本稿では、弊社製品の微細構造を観察した事例について紹介いたします。

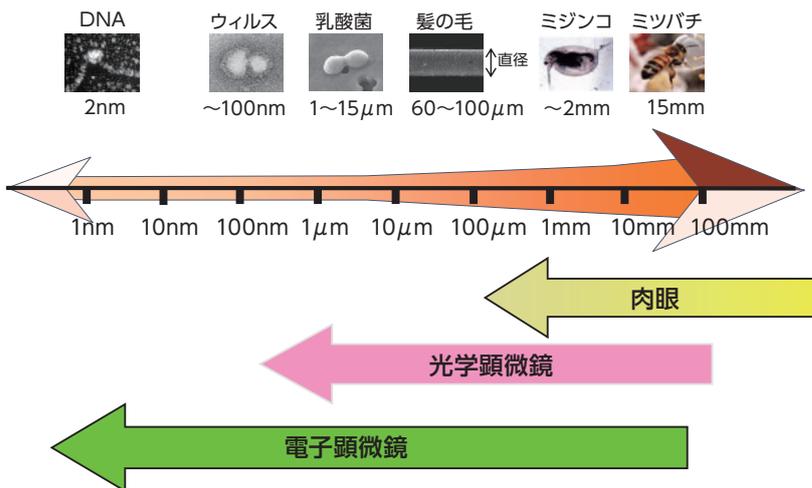


図1 各種観察手段の分解能
(引用：株式会社日立ハイテク刊, SEMと友だちになろう, URL: biz.hitachi-hightech.com/)

SEMとは

SEMは、真空中で細く絞った電子ビームを試料表面に照射し、試料から生じる情報 (二次電子や反射電子) を検出することで、試料表面形状を観察するための顕微鏡です (図2)。

二次電子は試料表面近くから発生する電子であり、それを検出して得られる二次電子像は試料の微細な凹凸を反映します。

一方反射電子は、試料を構成している原子に当たって跳ね返された電子です。反射電子像は組成に依存することから、試料表面の組成分布を反映した像となります (図3)。



図2 SEM外観

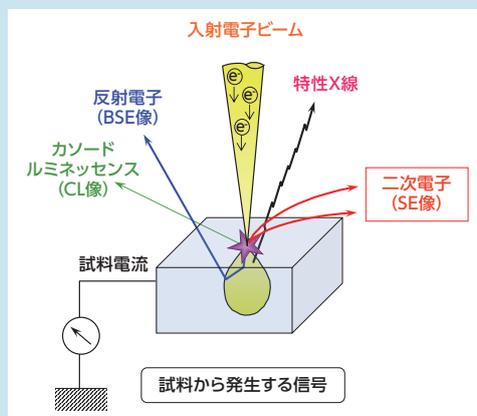


図3 SEMの原理
(引用：株式会社日立ハイテク刊, SEMと友だちになろう, URL: biz.hitachi-hightech.com/)

二次電子像の評価事例

弊社製品であるTOMBO™ No.9082 ナフロン® シールテープ (以下、ナフロンシールテープ) (図4)は、未焼成PTFE (図5)を圧延してテープ状にしてあります。柔軟性に富んでいるため、複雑形状部のシールが簡単に行えて、流体を汚染せず、着脱も簡単で、作業性に優れております。

未焼成PTFEパウダーの二次電子像を図6に示します。肉眼で1粒と認識していたPTFEパウダーは、サブミクロンサイズの微細粒子が集合した凝集体であることが確認されました。さらに微細粒子間は糸を引くようにつながっており、その独特な結合状態(フィブリル)も見られました。

ナフロンシールテープの二次電子像を図7に示します。図6で観察した粒子が製造により潰され変形している様子や、柔軟性を持たせるための空隙が空いていることがわかります。



図4 ナフロン® シールテープ



図5 未焼成PTFEパウダー

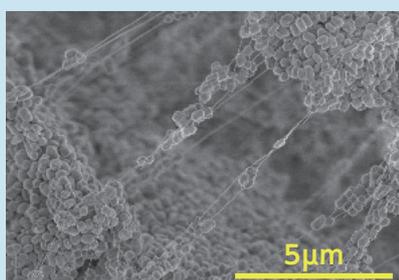


図6 未焼成PTFEパウダーの二次電子像

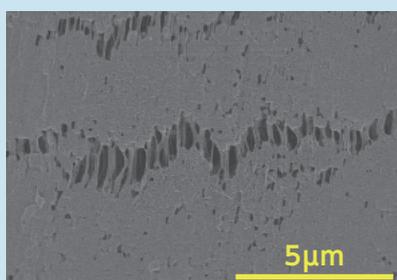


図7 ナフロン® シールテープの二次電子像

反射電子像の評価事例

弊社ではロックウール製品を多く取り揃えております(図8)。これらはロックウールと呼ばれる無機繊維に対して、保形目的で有機質のバインダを添加しています。このように材料間での組成差がある場合、反射電子での観察が有効です(図9)。

二次電子像ではわかりにくいバインダの状態が、観察方法を変更することで明瞭に確認できるようになります。



図8 弊社ロックウール製品

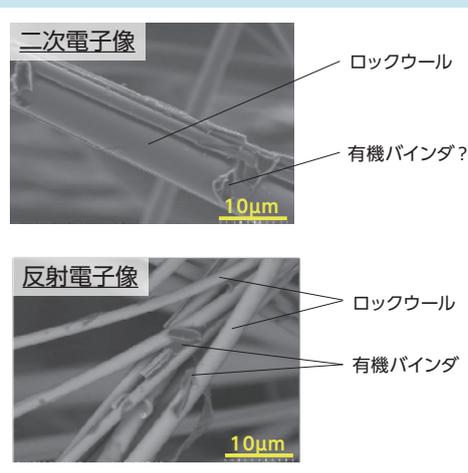


図9 ロックウールの二次電子像と反射電子像

まとめ

SEMを用いた微小観察について、今回はナフロンシールテープ、ロックウール製品を分析した事例をご紹介しました。SEMは開発品や製品のミクロ構造を視覚的に得るために重要な装置です。弊社は他にもさまざまな分析技術を保有しております。今後も弊社の保有する分析技術を用いてお客さまのご要望にお応えしていく所存です。

* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

* ®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。

「断つ・保つ」[®] で明るい未来へ

さまざまな地球環境負荷の低減が求められています。

私たちはいろいろなステージで、
安全で快適な暮らしを作り出す製品・サービスを提供します。
ニチアスは、そんな明るい未来の実現に貢献していきます。



1896年、断熱分野のパイオニアとしてスタートしたニチアスグループは、120余年の歴史のなかで、電力、ガスをはじめ、石油精製・石油化学、化学、造船、鉄鋼、自動車、建築などの基幹産業からエレクトロニクス、環境関連などの成長産業分野へと活動領域を広げてきました。ニチアスはこれからも「断つ・保つ」[®] の技術で、社会に貢献し続けてまいります。



「ニチアス技術時報」 バックナンバー

No.409 2025/2号



- 〈寄稿〉 ナノ断熱材の概要と開発, 実用化動向
- 〈新製品・新サービス紹介〉 環境配慮型マンホールガスケットシリーズ
- 〈新製品・新サービス紹介〉 自動車用摺動シール材の紹介
- 〈技術レポート〉 メタコート®の電動コンプレッサー用ガスケットとしての適用評価

No.408 2025/1号



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈製品・サービス紹介〉 半導体市場向けプレイザーシリーズ
- 耐熱・耐腐食ガス・耐プラズマ・耐蒸気・耐薬品 パーフルオロエラストマー
- 〈製品・サービス紹介〉 「Thermofit®」省エネ診断システムの概要と Thermofit 診断 Pro & Thermofit 診断 Lite の紹介
- 〈技術レポート〉 温度依存性を考慮した, 積層防音材設計の音響特性最適化に関する研究
- 〈技術レポート〉 マキベエ®の耐火被覆 1.5 時間認定取得

No.407 2024/4号



- 〈製品・サービス紹介〉 半導体産業向け TOMBO™ No.9003-PFA 「ナフロン® PFA チューブ」
- 〈製品・サービス紹介〉 医療用向け PTFE チューブの紹介
- 〈技術レポート〉 TOMBO™ No.1839R 「グラシール® ボルテックス® ガスケット-L」の液化水素輸送配管の口径拡大への適用性評価
- 〈特別企画〉 フリーアクセスフロア製品で「SuMPO EPD」を取得

No.406 2024/3号



- 〈寄稿〉 NanoTerasu (ナノテラス) 産学共創を革新する先端放射光実験施設
- 〈特別企画〉 NanoTerasu (ナノテラス) を活用したニチアスの創造型研究開発の展望
- 〈新製品紹介〉 溶剤吸着用ハニクル TOMBO™ No. 8800-HZ 「ハニクル® HZ-BO」 TOMBO™ No. 8804-HZ 「ハニクル® HZ-BX」
- 〈新製品紹介〉 巻付け耐火被覆貫通孔部用材料 TOMBO™ No.5520-SN 「マキベエ® スリーブ N」

バックナンバーは当社のホームページ (<https://www.nichias.co.jp/>) でもご紹介しております。

次号 No.411 2025/4号は 2025年10月発行予定です。

* 本号に記載のTMおよび®を付したものはニチアス(株)の商標または登録商標です。

ニチアス株式会社

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

安全データシート (SDS) はこちらから

ニチアス SDS



<https://sds.nichias.co.jp>

お問合せは最寄りの営業拠点までお願いします。

【東日本地区】

北海道支店	TEL (0144) 38-7550
北上営業所	TEL (0197) 72-8020
仙台支店	TEL (022) 374-7141
日立営業所	TEL (0294) 22-4321
鹿島支店	TEL (0479) 46-1313
宇都宮営業所	TEL (028) 610-2820
高崎営業所	TEL (027) 386-2217
千葉支店	TEL (0436) 21-6341
東京支社	TEL (03) 4413-1191
横浜支店	TEL (045) 508-2531
神奈川支店	TEL (046) 262-5333
新潟営業所	TEL (025) 247-7710
山梨営業所	TEL (055) 260-6780

【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
神戸営業所	TEL (078) 381-6001
姫路支店	TEL (079) 289-3241
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) 739-3621
長崎支店	TEL (095) 801-8722
熊本支店	TEL (096) 292-4035
大分営業所	TEL (097) 551-0237

【中部地区】

富山営業所	TEL (076) 424-2688
若狭支店	TEL (0770) 24-2474
静岡営業所	TEL (054) 292-5320
浜松支店	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

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
- ・工業製品事業本部 TEL (03) 4413-1131
- ・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
- ・建材事業本部 TEL (03) 4413-1161

研究所 ・鶴見 ・浜松

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 ・チェコ ・メキシコ

⚠️ カタログについてのご注意

本カタログを参照する場合、以下の点に注意してください。

- このカタログに記載の製品は、カタログに記載の用途をはじめとする一般的な用途での使用を意図しています。きわめて高度な品質・信頼性が要求され、本製品の不具合が直接人命に関わるような用途で使用される場合は、事前に必ず当社にご相談のうえ、お客様の責任で必要な対策を実施してください。
- 記載の物性値は、実際の使用環境や使用状況などにより変化しますので、あくまで目安としてご覧ください。
- 記載の内容は、製品単体での特性を表したものです。実際のご使用に際しては、必ず実条件での使用確認を行ったうえでご使用ください。
- 記載の内容は予告なく変更あるいは製造を中止することがあります。カタログの最新版を入手いただき内容をご確認ください。本カタログの発行時期は本頁に記載しております。当社ホームページのカタログダウンロードページにて最新版カタログの発行時期をご確認ください。なお、最新版ではないカタログの記載内容については保証致しかねますので、あらかじめご了承ください。
- 記載の規格、認定、法律などの条文は最新のものに準拠していない場合があります。
- 記載の情報について、複写、模倣、流用、転載などの著作権法によって保護されている権利を侵害する行為は固くお断りします。
- 記載の製品を使用したことにより、第三者の工業所有権に関わる問題が発生した場合、専ら当該製品

- に原因を有するもの以外につきましては、当社はその責任を負いませんので、あらかじめご了承ください。
- 記載されている製品のうち、外国為替及び外国貿易法にて規制される貨物の輸出、技術の提供に際しては、同法に基づく輸出許可が必要です。
- 当社は、当社製品に係る以下の損害については、一切の責任を負いませんのでご注意ください。
 - ・天災地変・災害および当社の責に帰すべからざる事故により生じた損害
 - ・当社以外の第三者による当社製品の改造・修理・その他の行為により生じた損害
 - ・お客様およびご使用者様の故意・過失ならびに当社製品の誤使用・異常条件下での使用により生じた損害
 - ・当該製品の使用条件・使用環境・使用期間等の諸条件を考慮した定期的な点検と適切な保守・メンテナンス・交換を怠ったことにより生じた損害
 - ・当社製品の使用または使用不能に起因して生じた間接損害(営業上の損害、逸失利益および機会損失などを含みます)
 - ・当社製品の出荷時の技術水準では予見不可能な事態により生じた損害
 - ・その他当社の責に帰すべからざる事由により生じた損害