

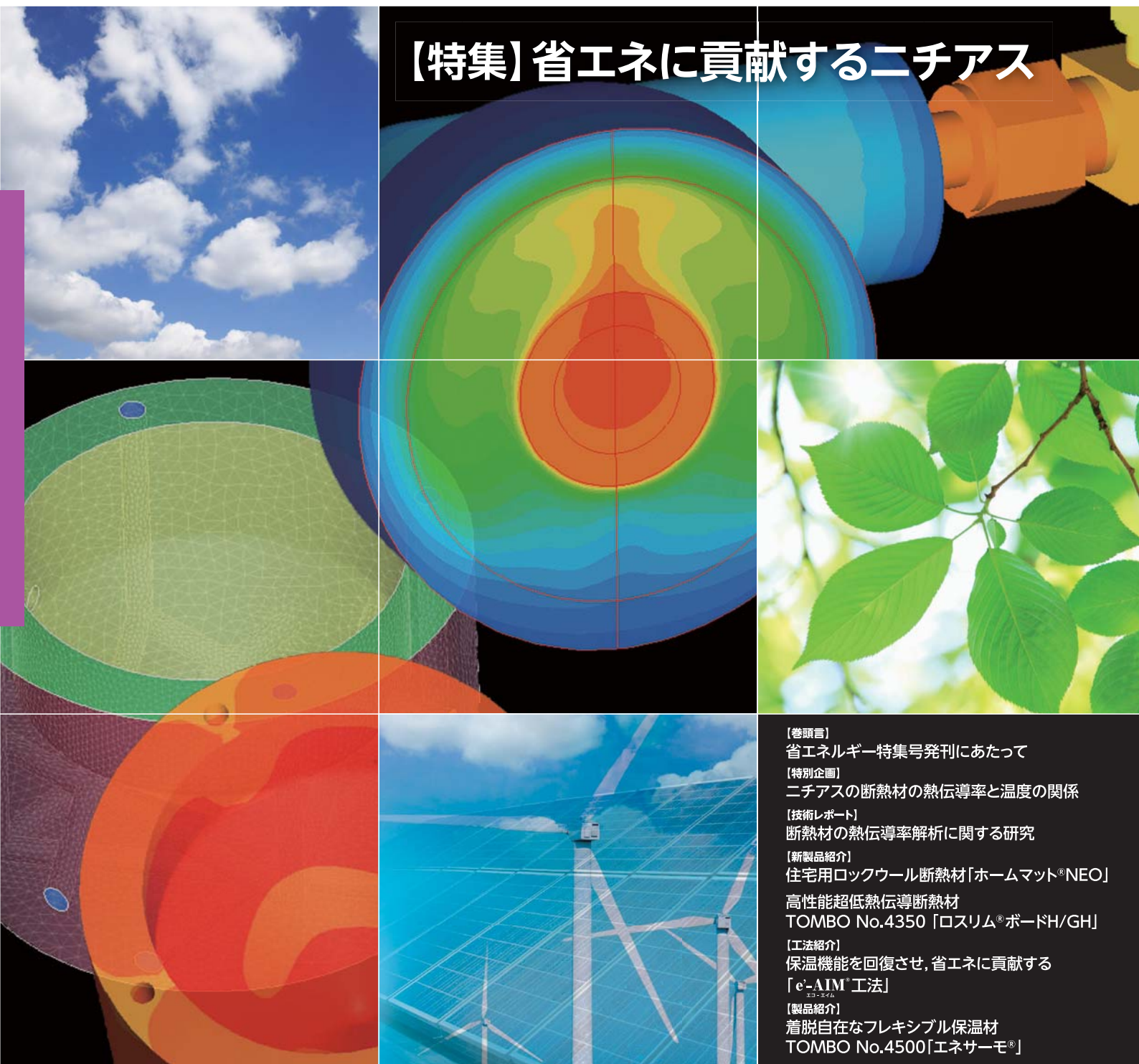
ニチアス 技術時報

2012

No.358

2号

【特集】省エネに貢献するニチアス



【巻頭言】
省エネルギー特集号発刊にあたって

【特別企画】
ニチアスの断熱材の熱伝導率と温度の関係

【技術レポート】
断熱材の熱伝導率解析に関する研究

【新製品紹介】
住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®NEO」
高性能超低熱伝導断熱材
TOMBO No.4350 「ロスリム®ボードH/GH」

【工法紹介】
保温機能を回復させ、省エネに貢献する
「e-AIM®工法」

【製品紹介】
着脱自在なフレキシブル保温材
TOMBO No.4500「エネサーモ®」

目次

【巻頭言】

- ◆省エネルギー特集号発刊にあたって 1
工業製品事業本部
省エネ製品技術開発部 部長 中山 正章

【特別企画】

- ◆ニチアスの断熱材の熱伝導率と温度の関係 2

【技術レポート】

- ◆断熱材の熱伝導率解析に関する研究 4
浜松研究所 研究開発部門 大村 高弘
内容) 断熱材の熱伝導率の温度およびかさ密度依存性から、その熱伝導率を固体・ふく射・気体に寄与する伝熱に分離し、精度の高い熱伝導率推定式を提案します。それを用いて断熱材の伝熱メカニズムを解明する試みを紹介します。

【新製品紹介】

- ◆住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®NEO」..... 11
建材事業本部 技術開発部
内容) 住宅用ロックウール断熱材ホームマット®NEOは、ホームマット®の次世代省エネルギー基準対応の新製品として開発され、このたび発売します。その特徴・性能等概要を紹介します。

- ◆高性能超低熱伝導断熱材
TOMBO No.4350「ロスリム®ボード H/GH」 14
工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 省エネ開発課
内容) 静止空気を超える超低熱伝導特性を有し、従来にない優れた加工性とハンドリング特性を有し、施工環境に配慮した低発塵の高性能断熱材を開発しました。このたび新発売しましたので、その製品概要を掲載します。

【工法紹介】

- ◆保温機能を回復させ、省エネに貢献する
「e-AIM®工法」 17
工事事業本部 エアロジェル事業推進チーム
内容) 保温材が施工された配管の上から高性能保温材を巻き付けて保温機能を回復させる工法を、当該高性能保温材の特長と施工実例を交えて紹介します。

【製品紹介】

- ◆着脱自在なフレキシブル保温材
TOMBO No.4500「エネサーモ®」 22
工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部
内容) 複雑な形状をした放熱部位からのエネルギーロスを防ぐことのできる着脱自在な保温材として、幅広い用途で従来より使用されているTOMBO No.4500 エネサーモ®を紹介いたします。

- 【2012年度目次総録】 25

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 : 03-3433-7244
E-mail : info@nichias.co.jp
FAX : 03-3438-0600

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〉

省エネルギー特集号発刊にあたって

工業製品事業本部
省エネ製品技術開発部 部長 中山正章



ニチアス技術時報をご愛読いただきありがとうございます。

今号では、ニチアス技術時報初めての試みとして『省エネルギー特集』とさせていただきました。

弊社製品の機能は「断つ・保つ」をキーワードとしており、中でも熱を断つ（断熱）、熱を保つ（保温・保冷）技術から生み出される製品、サービスの多くは、省エネルギーに関するものです。

昨年の東日本大震災以降、わが国を取り巻く電力事情は大きく変貌しました。これまでの火力発電に取って代わる低炭素社会実現の切り札的存在であった原子力発電は、ごくわずかのみが稼動する状況であり、ふたたび化石燃料を燃やす火力発電に頼らざるをえない状況となっております。電力逼迫期である夏と冬は、さまざまな省エネルギーへの努力が特に必要とされています。わが国はエネルギーを輸入に頼らざるをえない少資源の工業国であるため、古くから省エネルギーに熱心に取り組んできました。そして今、乾いた雑巾をさらに絞るような努力が求められており、省エネルギーの重要性がより一層クローズアップされております。

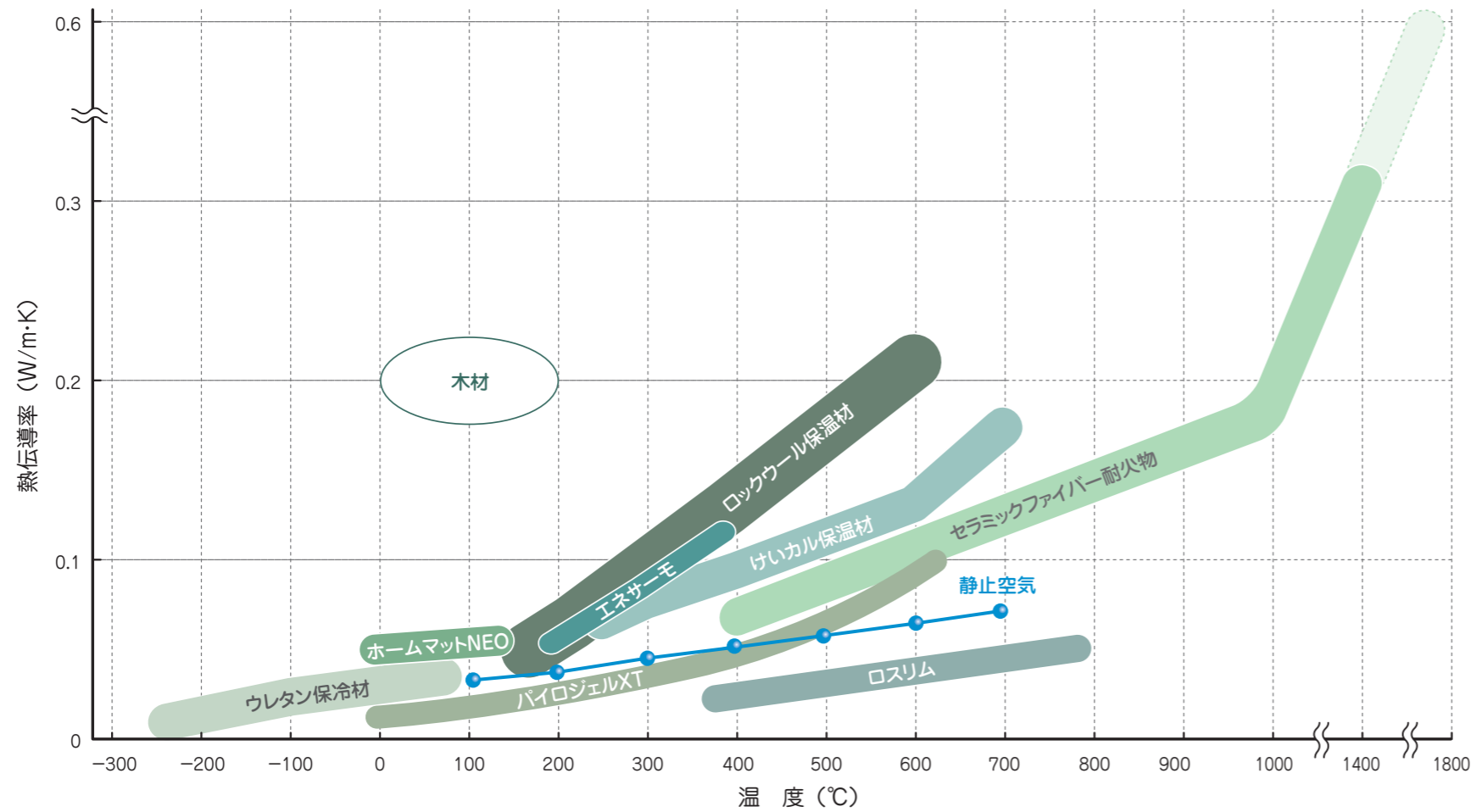
弊社は、マイナス250℃の極低温から1800℃の超高温域に至る幅広い温度領域で必要不可欠とされる保温、保冷、断熱、耐火というキーワードで表現される製品を取り揃えております。また取り扱う素材もウレタン、ロックウール、けい酸カルシウム、セラミックファイバー、アルミナ繊維など多岐にわたっております。弊社が1896年の創業以来110余年の間に培ってきた熱のコントロールとその素材に関する技術が、省エネルギーに役立ち、引き続き社会の発展に貢献できるものと考えております。

今後も引き続きニチアス技術時報のご愛読をお願いするとともに、ニチアス製品の一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

なお、読者のみなさまの読みやすさを考慮いたしまして、今号から従来のB5サイズからA4サイズへと誌面の大きさを変更いたしました。

ニチアスの断熱材の熱伝導率と温度の関係

ニチアスは、1896年保温・断熱分野のパイオニアとして誕生し、以来今日まで極低温から超高温まで、温度に対応した各種断熱材を提供しております。主な製品および主要素材の熱伝導率と温度との相関関係をご紹介します。



セラミックファイバー耐火物

アルミナ・シリカを主成分とした人造無機繊維で、けいカル保温材と比較して耐熱温度が高く、1000℃以上の超高温用耐火物として使用されます。



ロスリム®

ナノボ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・ハンドリング特性を有する高性能断熱材です。



けいカル保温材

けい酸カルシウム水和物でできた保温材で、ロックウール保温材より高温になる箇所の保温材として広く使われています。



ウレタン保冷材

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、極低温から常温までの断熱に使用されます。



ホームマット®NEO

ロックウールをフェルト状に成形したものを防湿フィルムで被覆した次世代省エネ基準対応の住宅用断熱材です。



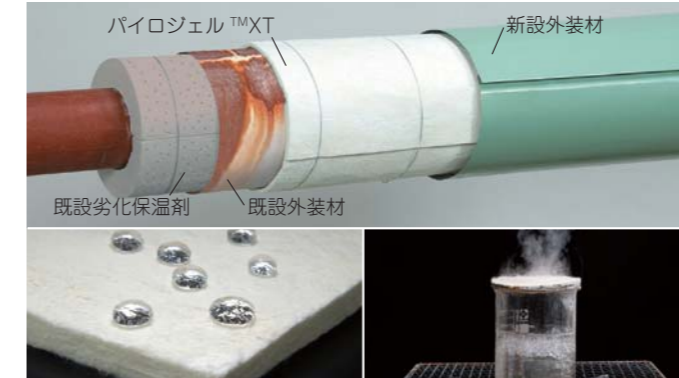
エネサーモ®

フェルト状のガ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保温材です。



パイロジェル™XT

静止空気より低い熱伝導性・はっ水性・水蒸気透過性に優れた高性能保温材で、既設保温材の上に巻くだけで機能を回復するe-AIM工法に使われています。



ロックウール保温材

天然石やスラグなどを高温で溶解し生成される人造の鉱物繊維で、耐火性・吸音性に優れた断熱材で、火力発電所をはじめ各種プラントなどの保温材として広く使われています。



〈技術レポート〉

断熱材の熱伝導率解析に関する研究

浜松研究所 研究開発部門 大村 高弘

1. はじめに

近年の断熱材の性能向上には目覚ましいものがある。特に、真空断熱材やナノ粒子を使った断熱材など、従来の断熱材の十倍程度の性能を持つものさえ商品化されている。そのため、今後新たに計画される建造物や保温保冷を必要とする設備などに、これらの新しい断熱材がより積極的に利用されることが期待されている。ところが、このような断熱材の高性能化の一方で、断熱材内部の微構造が断熱性能にどのような影響を与えるかについては、十分に把握できていない。断熱材を構成する材料、すなわち繊維や粒子、バインダーなど、さまざまな材料と熱伝導率との関係や、空隙のサイズあるいはかさ密度と熱伝導率の関係など、定性的な側面からは多くの考察がなされてはいるが、定量的な観点からの十分な検討がなされてきたとはいえない。

当社では、断熱材の熱伝導率の温度およびかさ密度依存性から、その熱伝導率を固体・ふく射・気体に寄与する伝熱に分離し、精度の高い熱伝導率推定式を考案した¹⁻³⁾。そして、その推定式を使って、断熱材の伝熱メカニズムを解明する試みを行ってきた。

本稿では、断熱材開発を支える基礎技術として断熱材の熱伝導率の解析事例を紹介する。

2. 熱伝導率推定式

断熱材の熱伝導率 λ と、そのかさ密度 ρ および絶対温度 T の推定式として、次式を提案する¹⁻³⁾。

この式は、断熱材の熱伝導率が固体、ふく射、気体のそれぞれが寄与する熱伝導率の和であることを仮定して導かれたものである。

$$\lambda = A\rho + \frac{B}{\rho} T^3 + \lambda_g \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 λ は熱伝導率 [W/(m・K)]、 ρ はかさ密度 [kg/m³]、 T は絶対温度 [K] であり、係数 A 、 B は実験結果から決定される。この推定式 (1) の右辺第1項および第2項は、それぞれ固体とふく射が寄与する熱伝導率を表しており、第3項の λ_g は気体が寄与する熱伝導率を表している。

ここで、式 (1) の右辺第1項の固体による熱伝導率が温度に依存しないとしたのは、断熱材は高い空隙率を持つため、固体による伝熱の占める割合が非常に小さいためである。また、固体による熱伝導率がかさ密度 ρ に比例するとしたのは、かさ密度が増加すれば、固体部分が増えると共に、固体同士の接点数も増加し、熱伝導率が大きくなるためである。

一方、かさ密度が増加すれば、ふく射を遮蔽する効果が増すため、ふく射による伝熱は減少する。そこで第2項のふく射による熱伝導率はかさ密度に反比例するとした。

気体が寄与する熱伝導率 λ_g は、次式のように近似した。

$$\lambda_g = (C \cdot T + D) \lambda_f \dots\dots\dots (2)$$

ここで、係数 C と D は実験結果から決定され、 λ_f は静止気体の熱伝導率 [W/(m・K)] を表している。

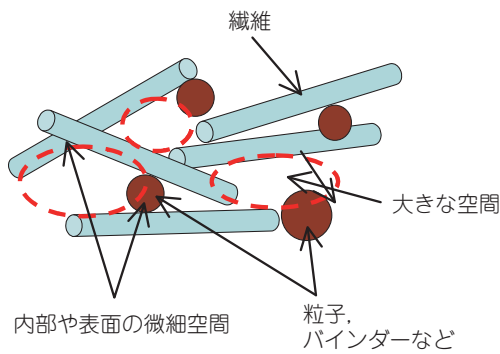


図1 断熱材内部の空隙(大きな空間と微細空間)のイメージ図

係数CとDは断熱材内部の空隙に関係する。この断熱材内部の空隙は、図1に示すように次の二つに分類できる。一つは、断熱材のほとんどを占める非常に大きな空間であり、もう一つは固体同士の接触部分に生じる微細な空間、あるいは固体表面の凹凸によって作り出される空間や、固体内部の微細な空間である。大きな空間における伝熱は、主に気体の伝導伝熱に支配されており、その熱伝導率は静止気体の熱伝導率 λ_f と一致する。一方、微細空間に存在する気体は、固体の接触熱抵抗に影響を及ぼす。したがって、気体に寄与する熱伝導率 λ_g は、各種断熱材の空隙の様子を反映させた式にしなければならないため、常に同じ形の式で近似できるわけではない。式(2)は絶対温度 T の一次式で近似したが、後述するナノ多孔質断熱材では、ナノ粒子が作り出す特殊な空隙により気体の熱伝導率が温度によらず一定となってしまうため、 λ_g を定数としている^{4, 5)}。

式(2)では、断熱材中における気体の熱伝導率 λ_g と静止気体の熱伝導率 λ_f の比を、絶対温度 T の一次関数で近似している。したがって、もし断熱材中に微細空間が無く、大きな空間のみであれば、断熱材内部の熱伝導率は静止気体の熱伝導率と一致するため、 $\lambda_g/\lambda_f = CT + D = 1$ となり、 $C = 0$ 、 $D = 1$ となる。一方、微細空間が存在する場合は、その空間サイズや数、形状などに依存して温度の関数となるため、 $C \neq 0$ 、 $D \neq 1$ となる。

次に係数A, B, C, Dの決定方法について述べる。係数A, B, C, Dの決定には、真空下での熱伝導率測定が必要となる。真空下での熱伝導率を λ_v とすると、 λ_v は、式(1)から気体が寄与す

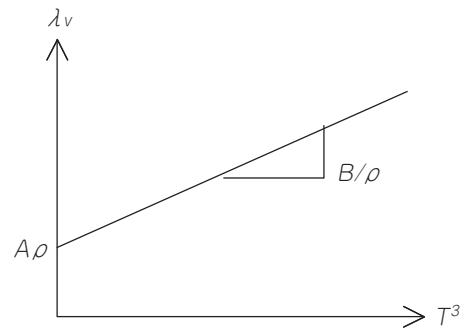


図2 (a) 絶対温度 T の3乗と真空下の熱伝導率

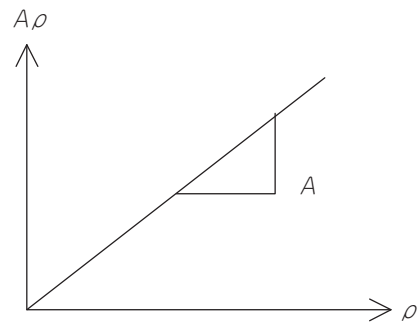


図2 (b) かさ密度 ρ と切片 $A\rho$ の関係

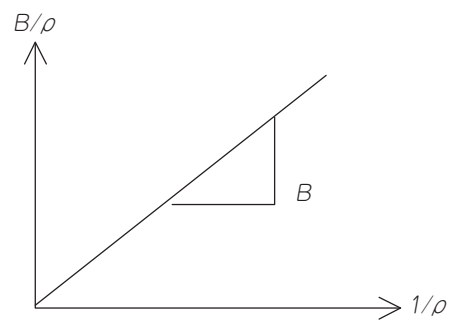


図2 (c) かさ密度の逆数 $1/\rho$ と傾き B/ρ の関係

る熱伝導率を差し引くため、固体部分が寄与する熱伝導率とふく射が寄与する熱伝導率の和となる。したがって、

$$\lambda_v = A\rho + \frac{B}{\rho} T^3 \dots\dots\dots (3)$$

と表される。よって、図2 (a) に示すように、 λ_v を絶対温度 T の3乗を横軸としてプロットすれば直線が得られ、その切片が $A\rho$ 、傾きがふく射成分 B/ρ となる。そして、さらに数種類のかさ密度 ρ の試験体に対して λ_v を測定し、得られた切片 $A\rho$ を、 ρ を横軸としてプロットすれば原

点を通る近似直線が得られ、その傾きが係数Aとなる(図2(b))。同様に、得られた傾き B/ρ を、 $1/\rho$ を横軸としてプロットすれば原点を通る近似直線が得られ、その傾きが係数Bとなる(図2(c))。

次いで係数C, Dを決定する。式(1), (2), (3)より、大気圧下の熱伝導率 λ から真空下の熱伝導率 λ_v を差し引き、静止空気の熱伝導率 λ_f で除することで、次式が得られる。

$$\frac{\lambda - \lambda_v}{\lambda_f} = C \cdot T + D \dots\dots\dots (4)$$

そこでTに対して $(\lambda - \lambda_v) / \lambda_f$ をプロットし、一次式に近似することで係数CとDが求まる。

実際の例として、ロックウール断熱材の熱伝導率を示す。

図3に、周期加熱法⁹⁾により真空下で測定した

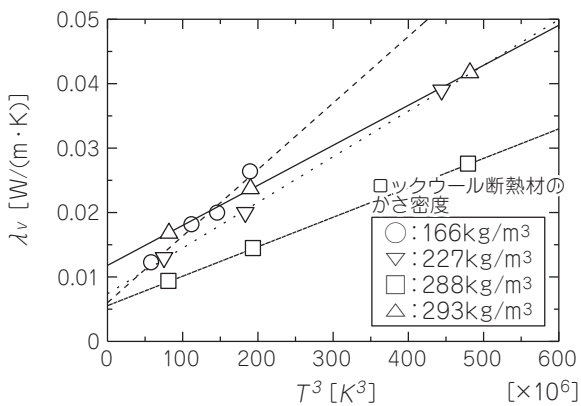


図3 絶対温度の3乗 T^3 に対する真空下の熱伝導率 λ_v

熱伝導率 λ を、絶対温度Tの3乗に対してプロットした結果を示す。使用したロックウール断熱材のかさ密度は、166, 227, 288, 293 kg/m^3 の4種類である。図3中の直線は、上記の結果から最小自乗法により求めたものである。

図4に、横軸にかさ密度 ρ 、縦軸に図3中の直線の切片 $A\rho$ をプロットした結果を示す。直線は、最小自乗法により求めた原点を通る直線である。この直線の傾きが、係数Aとなる。

図5に、かさ密度の逆数 $1/\rho$ に対する図3に示す直線の傾き B/ρ をプロットした結果を示す。直線は、最小自乗法により求めた原点を通る直線である。この直線の傾きが、係数Bとなる。

図6に、絶対温度Tに対する、式(4)に示す左辺 $(\lambda - \lambda_v) / \lambda_f$ の関係を示す。ここで、 λ_f は静止空気の熱伝導率である。直線は、最小自乗

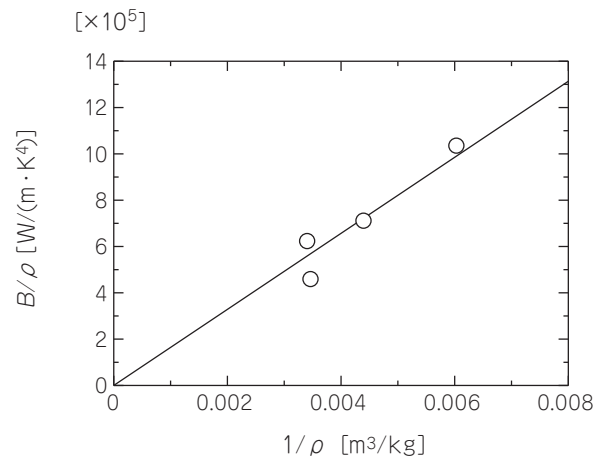


図5 かさ密度の逆数 $1/\rho$ に対するふく射に寄与する成分 B/ρ

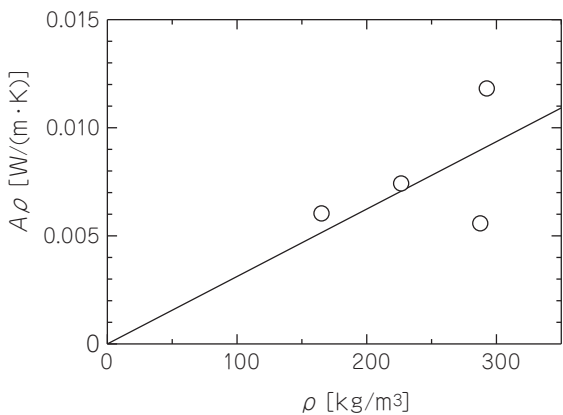


図4 かさ密度 ρ に対する固体に寄与する熱伝導率 $A\rho$

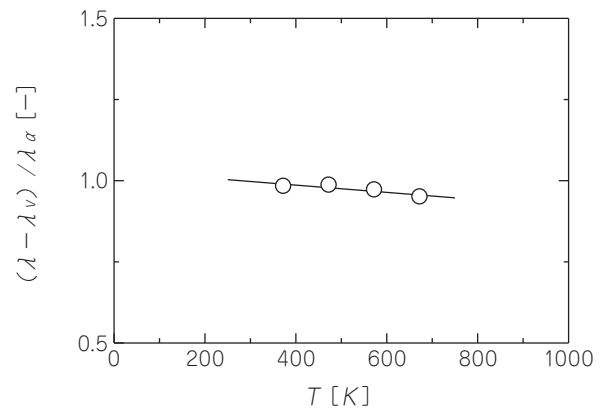


図6 絶対温度Tに対する、試験体内部における空気の熱伝導率と静止気体の熱伝導率の比

法により求めた直線であり、傾きが係数C、切片が係数Dである。

以上の結果から得られたロックウール断熱材の熱伝導率推定式は、

$$\lambda = 3.1 \times 10^{-5} \rho + \frac{1.6 \times 10^{-8}}{\rho} T^3 + (-1.1 \times 10^{-5} T + 1.0) \lambda_f \dots (5)$$

となる^{2, 3)}。

式(5)を使って熱伝導率を推定した結果と、GHP法により測定した結果との比較を図7と図8に示す。ただし、図中には係数を決定するために使った4つの試験体の熱伝導率は含まれていない。図7と8より、測定結果と推定結果が、広いかさ密度範囲で非常に良く一致しているのが分かる。特に、高かさ密度側(166~293kg/m³)の熱伝導率を使って作った推定式が、100kg/m³以下

の低かさ密度側の値を精度よく推定しているのが分かる。

この式が、かさ密度が低い側の熱伝導率を精度よく推定する理由は、測定結果に対する単なる近似式ではなく、大気圧下と真空下の熱伝導率を使って固体、ふく射、気体が寄与する熱伝導率に分離し、それぞれ独立な係数として求めているためである。それ故、例えば図4に示すように、固体が寄与する係数Aを求める際のAρに比較的大きなばらつきがあったとしても、図5に示すようにふく射が寄与する係数Bのばらつきが小さければ、ふく射伝熱の占める割合が大きいかさ密度が低い側の熱伝導率を精度よく推定できるのである。したがって、この推定式を利用すれば、測定した温度範囲や使用した試験体のかさ密度の範囲外における熱伝導率を外挿により推定することが可能である³⁾。

3. 熱伝導率から推定できること

3.1 ふく射の減衰係数

高温下で断熱材を使用する場合、熱ふく射を如何に減衰させるかが課題となる。その際、ふく射の減衰係数を知ることが重要となる。

空隙率が高い多孔質体におけるふく射の等価熱伝導率λ_rは、γを厚さに対する減衰係数、nを屈折率、σをステファン・ボルツマン定数とすると、

$$\lambda_r = \frac{16n^2\sigma}{3\gamma} T^3 \dots (6)$$

となる⁶⁾。従って、式(1)の第2項と式(6)より次式が求まる⁷⁾。

$$\frac{\gamma}{\rho} = \frac{16n^2\sigma}{3} \frac{1}{B} \dots (7)$$

式(7)の左辺のγ/ρは、単位かさ密度あたりの厚さに対する減衰係数であり、すなわち面重量当たりの減衰係数を表している。よって、式(7)を使うことで、材料自身の熱伝導率から、その減衰係数を求めることができる。

つまり、式(1)で定義した係数Bを使うと、断熱材のかさ密度とは無関係に、材料内部におけるふく射の散乱や吸収の様子を表現できるが、減

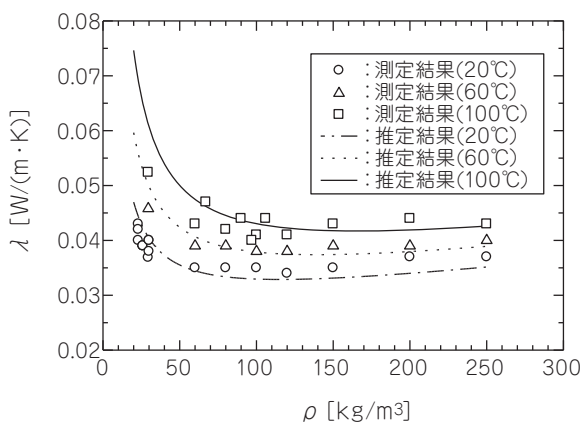


図7 ロックウール断熱材の熱伝導率 (測定結果と推定結果の比較)^{2, 3)}

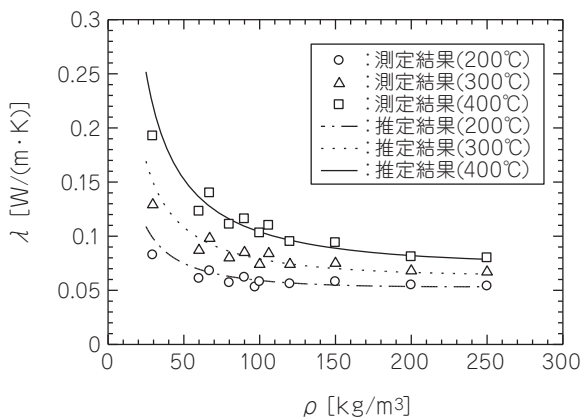


図8 ロックウール断熱材の熱伝導率 (測定結果と推定結果の比較)^{2, 3)}

表1 断熱材の減衰係数 γ / ρ ⁵⁾

	推定式	透過率測定装置
ロックウール断熱材	18	24
アルミナ-シリカ系 繊維質断熱材	23	14, 40 14~19 ⁸⁾
グラスウール断熱材	23	8.7~11 ⁸⁾

(単位: m²/kg)

表2 熱伝導率推定式の係数

	A	B	C	D
ロックウール 断熱材	3.6×10^{-5}	1.7×10^{-8}	-1.1×10^{-5}	1.0
アルミナ系 断熱材	6.9×10^{-5}	1.5×10^{-8}	-2.1×10^{-5}	2.0
ナノ多孔質 断熱材	5.1×10^{-5}	4.7×10^{-9}	9.3×10^{-3}	

衰係数 γ / ρ を評価することで、かさ密度や重量の増減効果、あるいは試料厚さの違いによる効果が検討できる。

一般的に、ふく射の減衰係数を測定するには、透過率測定装置が用いられる。そこで、各種断熱材に対して、式(7)を使って得られた減衰係数と、当社で開発した透過率測定装置で測定した結果を表1に示す^{7, 8)}。両者には多少のずれはあるが、比較的良好一致しているのが分かる。

3.2 断熱材の伝熱解析

表2に、三種類の断熱材(ロックウール断熱材、アルミナ系断熱材、ナノ多孔質断熱材)に対する推定式(1)の係数A, B, C, Dを示す。ただし、ナノ多孔質断熱材では、空気分子がその平均自由行程よりも小さな空間に閉じ込められるため、気体に寄与する熱伝導率は一定となり、推定式は次式のようになる。

$$\lambda = 5.1 \times 10^{-5} \rho + \frac{4.7 \times 10^{-9}}{\rho} T^3 + 9.3 \times 10^{-3} \dots\dots (8)$$

表2のCとDの欄には式(8)の右辺第3項を記した。

これらの推定式から得られる熱伝導率を図9に示すとともに、以下に、これらの断熱材の固体、ふく射、気体の伝熱に関する考察を述べる。

(1) 固体伝熱

固体伝熱は、試験体を構成する素材(繊維や粒

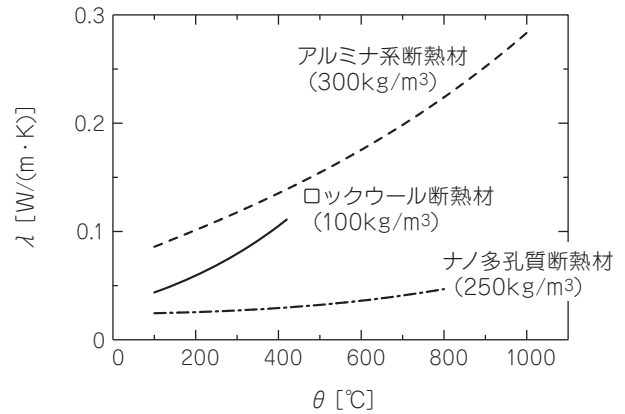


図9 各種断熱材の熱伝導率(推定式)

子など)の熱伝導率や素材同士の接触熱抵抗、さらには素材の凝集状態や大きさなど、固体に関連するさまざまな要因を反映している。

表2に示すように、アルミナ系断熱材の係数Aが、最も大きな値を示している。したがって、係数Aの比較から、他の二つの断熱材に比べてアルミナ系断熱材を構成している素材の熱伝導率が高い、あるいは素材同士の接触が強固で接触熱抵抗が小さいなどと推測できる。

また、図9に示すようにナノ多孔質断熱材の熱伝導率は非常に低いにもかかわらず、その係数Aは、ロックウール断熱材のそれよりも高く、むしろアルミナ系断熱材の係数に近い値となった。したがって、ナノ多孔質断熱材を構成する固体の熱伝導率や接触熱抵抗は、他の断熱材のそれらとほとんど差は無く、低熱伝導率化にはほとんど寄与していないと推定できる。

(2) ふく射伝熱

表2に示すように、ロックウール断熱材とアルミナ系断熱材の係数Bは、ほぼ同じ値であった。したがって、見た目も硬さも全く違う断熱材であるにもかかわらず、内部を伝播するふく射の減衰効果は、ほぼ同等であると言える。

一方、ナノ多孔質断熱材の係数Bは、他の二つに比べて約1/3程度になっている。これは、断熱材中に含まれているふく射散乱材(SiC粒子)が、ふく射の散乱効果に大きく寄与しているためである。

(3) 気体伝熱

表2に示すように、ロックウール断熱材とアルミ

ナ系断熱材については、係数 C は D に対して 10^{-5} 倍程度であり、温度の対する依存性の項は非常に小さく、ほとんど無視できることがわかる。したがって、断熱材内部の空気と静止空気の熱伝導率比に温度依存性はほとんど無く、よって、大きな空間はもとより、微細空間における空気の熱伝導率の温度依存性も、静止空気のそれとほぼ同じであることが分かる。

係数 D は、ロックウール断熱材とアルミナ系断熱材では2倍ほどの差がある。ロックウール断熱材の係数 D は1であるから、気体が寄与する伝熱は、大きな空間内にある静止空気の熱伝導率に依存していると推測できる。一方、アルミナ系断熱材では係数 D が2であり、静止気体による伝導伝熱とは別に、熱伝導に寄与している要因があることが予想される。その一つとして、固体同士の接触部分やバインダーに存在する微細空間内の空気の影響が考えられる。図10 (a) と (b) に、そ

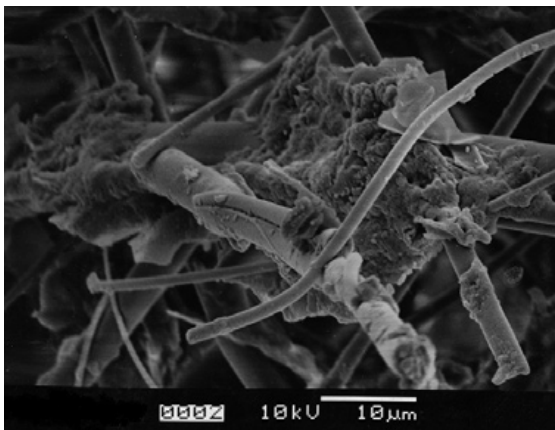


図10 (a) アルミナ系断熱材の電子顕微鏡写真

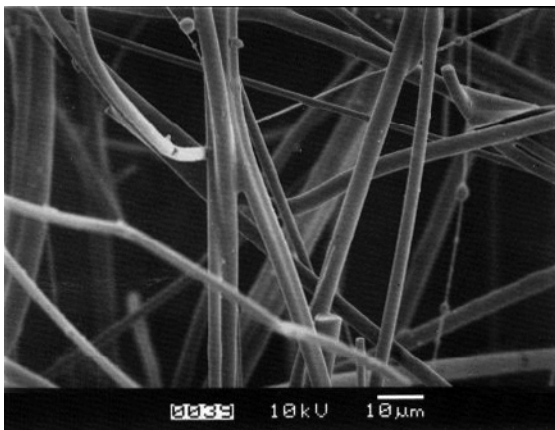


図10 (b) ロックウール断熱材の電子顕微鏡写真

れぞれアルミナ系断熱材とロックウール断熱材における固体同士の接触部分の写真を示す。アルミナ系断熱材では、繊維同士の間には存在するバインダーが多孔質体であるため、気体が内部に入り込める微細な空間が多数存在する。それ故、繊維-バインダー間の熱伝導に気体が大きく影響しているものと考えられる。一方、ロックウール断熱材では、バインダーが、繊維を全面的に被覆しており、繊維同士の接触部分に空気がほとんど関与していない状態と考えられる。

このように、固体同士の接触状況やバインダーの様子、その他、接触熱抵抗に関する事象を係数 D を使って推測することができる。

一方、ナノ多孔質断熱材の場合は、気体分子が、その平均自由行程よりも小さな空間に閉じ込められるため、気体が寄与する熱伝導率は一定となり、温度に依存せずに低熱伝導率を保つことができる。

また、逆に未知の材料に対して、その内部の気体の熱伝導率がもし一定であれば、気体はその平均自由行程よりも小さな空間に閉じ込められている可能性があるかと推定できる。

3.3 固体、ふく射、気体の伝熱成分比

推定式 (1) を使って、断熱材の熱伝導率を固体、ふく射、気体に寄与する要素に分離できることから、各要素が全体の熱伝導率に対してどの程度の割合を占めているかを簡単に推定できる。ロックウール断熱材の例を以下に示す。

ロックウール断熱材の推定式は、式 (5) に示す通りである。仮に、かさ密度 ρ が 100kg/m^3 、温度が 100°C 、 400°C で計算すると、表3 のようになる。

100°C の場合に比べて、 400°C ではふく射伝熱の比率がかなり高くなっているのが分かる。

このように、熱伝導率の推定式を使った解析方法を述べたが、この解析では、先にも触れたように、熱伝導率は、固体、ふく射、気体のそれぞれが寄与する熱伝導率の和であることを仮定してい

表3 ロックウール断熱材の各要素の割合 [%]

	固体伝熱	ふく射伝熱	気体伝熱
100°C	7	20	73
400°C	3	48	49

(かさ密度: 100kg/m^3 , 湿度: 100%)

る。すなわち，固体，ふく射，気体を並列とした等価回路が想定できる断熱材を対象としている。そのため，例えば，閉気孔で構成される断熱材（ウレタンや発泡スチロールなど）は固体，ふく射，気体それぞれ単独に熱が伝わると仮定できず，むしろ並列と直列を組み合わせたような等価回路となるため，推定式（1）は，適用できない。したがって，断熱材の構造の推定や，熱伝導率の予測には，断熱材の内部構造に十分な注意を払って，推定式を使用する必要がある。

4. おわりに

ここで示した推定式（式（1））は，各物質に対する固有の式ではなく，断熱材の構造体としての式である。そのため，同じ種類の材料を使った断熱材だとしても，繊維径や粒子径，バインダーなどが違う場合や，配合比率が異なる場合など，それぞれの場合に応じて式中の係数が変わる。それ故，この係数を比較することで，その断熱材における固体，ふく射，気体の熱伝導率に与える影響を定量的に知ることが可能となる。

熱伝導率測定に基づく断熱材の伝熱解析は，断熱材の性能向上の一助となる。当社では，時代のニーズに応える断熱材の開発に，熱伝導率の測定・解析技術を活用していく所存である。

参考文献

- 1) 大村：断熱材の熱伝導率測定，伝熱 48 [205] 20-25 (2009)。
- 2) 大村，坪井，小野寺，富村：繊維質断熱材の有効熱伝導率に関する研究，九州大学機能物質科学研究書報告，16，13-17 (2002)。

- 3) T. Ohmura, J. Nyumura, K. Tsukahara: Study on Improvement of Reliability for Effective Thermal Conductivity of Thermal Insulation with Low Bulk Density, *Proceedings of the 8th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC)*, Paper No.038 (2007).
- 4) 大村，阿部，伊藤，佐藤，阿部，内藤：ナノ粒子／繊維複合粒子による多孔質材料の作製とその特性評価，粉体工学会誌 Vol. 46, No.6, 57-62 (2009)。
- 5) 大村，伊藤，阿部，阿部，内藤：ナノ粒子／繊維複合粒子による高温断熱材の作製とその特性評価，粉体工学会誌 Vol. 46, No.11, 4-10 (2009)。
- 6) 円山，光エネルギー工学，養賢堂，第1版 (2004)，122。
- 7) T. Ohmura, M. Onodera, and M. Naito: Estimation Method for Attenuation Coefficient of Thermal Radiation in Thermal Insulators by Using Thermal Conductivity, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 11RE03.
- 8) H. Reiss, *Springer Tracts in Modern Physics*, Vol. 113, P.147 (1988)。
- 9) T. Ohmura: Study on Comparison of Thermal Conductivities of Thermal Insulations Using Different Measurement Methods in Wide Range of Temperature, *Proceedings of the 7th ASME-JSME Thermal Engineering Conference and the ASME Summer Heat Transfer Conference (7th AJTEC-SHTC07 Symposium)*, Paper No. HT2007-32746 (2007)。

筆者紹介



大村高弘

浜松研究所 研究開発部門

〈新製品紹介〉

住宅用ロックウール断熱材 「ホームマット®NEO」

建材事業本部 技術開発部

1. はじめに

地球規模の温暖化問題への対応を図るため、我が国では、京都議定書の採択以降、温室効果ガスを6%削減するための対策として、産業、運輸、家庭部門などでさまざまな対策が講じられてきました。しかし、2005年度の温室効果ガスの総排出量は1990年比で7.8%の増加となっており、削減目標との差は13.8%とさらに広がっている状況です。

これらを受けて2008年5月、エネルギーの使用の合理化に関する法律（以下、「省エネ法」と略す）が改正されました。住宅分野では、大規模建築物（床面積2000m²以上の住宅）を対象とした省エネ措置の届出義務化や、年間150戸以上の建売住宅を供給する事業者に対する、「一定の省エネ基準（トップランナー基準）の達成」などの対策が講じられています。

また、「長期優良住宅普及促進法」の施行や金利優遇制度「フラット35S」、そして「住宅エコポイント制度」など省エネ基準を平成11年基準（次世代省エネルギー基準）とした住宅に対する支援制度も開始されました。

さらに東日本大震災以降の節電意識の向上により、住宅の省エネルギー化への関心が急速に高まってきています。

このような環境の中、住宅用ロックウール断熱材ホームマット®の次世代省エネルギー基準対応製品としてホームマット®NEOをこのたび新発売



写真1 製品外観

いたしました（写真1）。

2. ロックウールの特長

ホームマット®NEOの素材であるロックウールには、以下の特長があります。

①省エネ性

優れた断熱性能が求められる、次世代省エネルギー基準に対応できます。

②耐火、耐熱性

700℃で加熱しても形状を保持。万一の火災が発生しても延焼や類焼に強く、耐熱温度は住宅用断熱材の中でトップです。

③防音性

ロックウールは繊維系断熱材の中でも密度が高いため遮音性能に優れます。

④耐水、耐久性

ロックウールは水をはじき、水分を吸いにくい

*ホームマットはニチアス(株)の登録商標です。

特性を持っていますので、結露の心配が少ない丈夫な素材です。また無機質の断熱材ですので、長期間使用しても腐食したり風化したりすることはありません。

3. 製品概要

製品に一体となっている防湿フィルムは「次世代省エネルギー基準」で求められるJIS A 6930と同等の防湿性能を有していることから、壁、屋根に使用する場合は別張りとなる防湿フィルムの施工が不要になり、施工性が向上します。また耳幅30mm以上とすることで、防湿層の連続性を確保しています(図1, 写真2)。

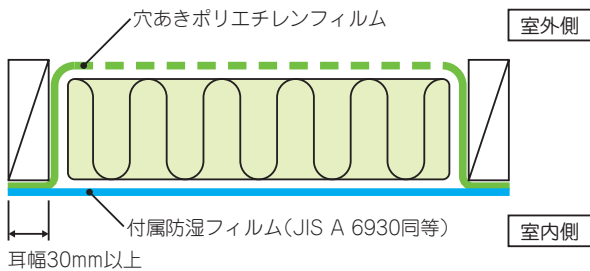


図1 構造断面図



写真2 製品施工写真

またホームマット®NEOの厚みは、屋根、天井のトレードオフ^(注1)に対応できる90mm厚、105mm厚をご用意しております(表1)。

表1 ホームマットNEOの製品寸法

寸法 (mm)			入数 (枚)
厚さ	幅	長さ	
90	395	1360	13 [約2.5坪]
	425	1360	13 [約2.5坪]
105	395	1360	10 [約1.9坪]
	425	1360	10 [約1.9坪]

(注1) トレードオフとは、特定の部位の断熱性能を向上させることにより、天井や屋根の省エネ基準値を緩和させることができる規定です。①外壁の熱抵抗を増やす(適用地域:全地域)、または②開口部の性能を上げる(適用地域:Ⅲ地域以南)ことで、天井、または屋根の熱抵抗を最大1/2まで減らすことが可能です。

4. 用途

- ・木造住宅の外壁、天井、屋根の充填断熱。

5. 性能

ホームマット®NEOの特性は次の通りです(表2)。またJIS A 9521「住宅用人造鉱物繊維断熱材」適合製品です。

表2 ホームマットNEOの特性

	厚さ 90mm	厚さ 105mm
熱抵抗 [m ² ・K/W]	2.4以上	2.8以上
防湿面の透過湿気抵抗 [m ² ・s・Pa/ng]	82 × 10 ⁻³ 以上	
ホルムアルデヒド放散速度 [μg/m ² h]	5以下 (F☆☆☆☆)	

6. 次世代省エネルギー基準(等級4)適合仕様

次世代省エネルギー基準に適合するホームマット®/ホームマット®NEOの部位別の組み合わせをご紹介します。なお、一般推奨仕様と二種類のトレードオフ仕様があります。

6.1 一般推奨仕様【木造軸組・枠組工法（Ⅱ～Ⅵ地域）】

部位	Ⅱ地域	Ⅲ地域	Ⅳ地域	Ⅴ地域	Ⅵ地域
屋根	熱抵抗値：4.6				
	ホームマットNEO 90mm + 90mm				
天井	熱抵抗値：4.0				
	ホームマット 100mm + 55mm				
壁	熱抵抗値：2.2（2.3）				
	ホームマットNEO 90mm				
床	外気に接する床	熱抵抗値：5.2（4.2）	熱抵抗値：3.3（3.1）		
	その他の床	熱抵抗値：3.3（3.1）	熱抵抗値：2.2（2.0）		

（ ）内は枠組壁工法の熱抵抗値

*天井施工は野縁の室内側に防湿フィルム（JIS A 6930に適合）の施工が必要となります。

6.2 トレードオフ仕様

●外壁の熱抵抗を増やす場合【木造軸組工法（Ⅱ～Ⅵ地域）】

部位	Ⅱ地域	Ⅲ地域	Ⅳ地域	Ⅴ地域	Ⅵ地域
屋根	熱抵抗値：2.8				
	ホームマットNEO 105mm				
天井	熱抵抗値：2.6				
	ホームマットNEO 105mm or ホームマット 100mm				
壁	熱抵抗値：2.8				
	ホームマットNEO 105mm				
床	外気に接する床	熱抵抗値：5.2	熱抵抗値：3.3		
	その他の床	熱抵抗値：3.3	熱抵抗値：2.2		

*天井施工はホームマットNEOをご使用の場合でも、野縁の室内側に防湿フィルム（JIS A 6930に適合）の施工が必要となります。（Ⅲ地域以南で、内装下地面材の端部に木下地がくるように野縁を組めば、防湿気密シートの施工は省略することができます。）

●開口部の性能を強化する場合【木造軸組・枠組工法（Ⅲ～Ⅵ地域）】

開口部の性能は、熱貫流率または建具仕様どちらかの性能を強化する必要があります。

部位	Ⅲ地域	Ⅳ地域	Ⅴ地域	Ⅵ地域
開口部	熱貫流率	2.91W/m ² ・K以下	4.07W/m ² ・K以下	4.65W/m ² ・K以下
	建具使用	I, II地域基準	Ⅲ地域基準	Ⅳ, V地域基準
屋根	熱抵抗値：2.3			
	ホームマットNEO 90mm			
天井	熱抵抗値：2.0			
	ホームマットNEO 90mm or ホームマット 75mm			
壁	熱抵抗値：2.2（2.3）			
	ホームマットNEO 90mm			
床	外気に接する床	熱抵抗値：3.3（3.1）		
	その他の床	熱抵抗値：2.2（2.0）		

（ ）内は枠組壁工法の熱抵抗値

*天井施工はホームマットNEOをご使用の場合でも、野縁の室内側に防湿フィルム（JIS A 6930に適合）の施工が必要となります。（Ⅲ地域以南で、内装下地面材の端部に木下地がくるように野縁を組めば、防湿気密シートの施工は省略することができます。）

7. おわりに

近年、住宅の高断熱化は省エネルギー以外にも健康面からも関心が高くなってきております。また、政府は2020年までに省エネルギー化を義務付ける方向で取り組みを進めており、今後ますます増えると思われる省エネルギー住宅の断熱材にホームマット®NEOをご採用いただければ幸いです。

なお、本製品に関するお問合せは、建材事業本部技術開発部（TEL：03-3433-7256）までお願いいたします。

〈新製品紹介〉

高性能超低熱伝導断熱材

TOMBO No.4350 「ロスリム®ボードH/GH」

工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 省エネ開発課

1. はじめに

地球温暖化に伴い、排熱量や二酸化炭素排出量の削減に向けて資源やエネルギーの利用効率を見直すさまざまな取り組みが近年行われています。こうした省エネ需要の高まりから、弊社では静止空気を上回る超低熱伝導特性を有し、従来にない優れた加工性とハンドリング特性、加えて施工環境に配慮した低発塵の高性能断熱材を開発しました。

本稿では、省エネかつ環境にやさしい高性能断熱材TOMBO No.4350ロスリム®ボードH/GHをご紹介します。



写真1 ロスリムボードGHの加工品
(厚さ50mm×幅300mm×長さ300mm)

2. 製品説明

ロスリム®ボードHは、ナノポア構造を有するシリカ質に耐熱補強繊維およびふく射散乱材を含ませた高性能断熱材です。

断熱材の内部には、静止空気の平均自由行程よりも小さい空隙が形成されており、これらが気体による伝熱を抑制することで極めて高い断熱性能を発現します。また、高温域ではふく射散乱材の効果によりふく射伝熱を散乱させ、600℃における熱伝導率が静止空気の約1/2という優れた低熱

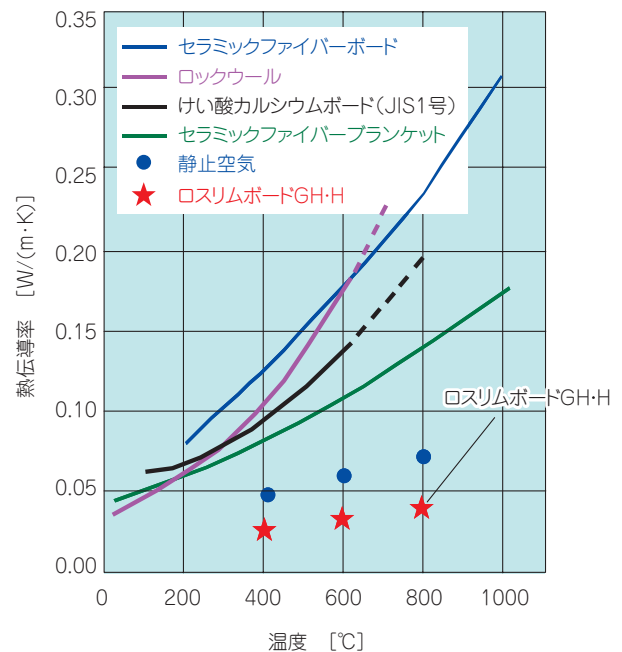


図1 各種断熱材の熱伝導率比較

*ロスリムはニチアス(株)の登録商標です。

伝導特性を示します。

また、ロスリム®ボードGHは、ロスリム®ボードHのナノポア構造を変えずに特殊な技術を用いて粒子接点間の強度を向上させ、ロスリム®ボードHよりも優れた加工性とハンドリング特性を付加した従来にない高強度な高性能断熱材です。

2.1 特長

ロスリム®ボードH/GHの特長は以下のとおりです。

- ①静止空気を上回る優れた断熱性を示します。
- 加えて、ロスリム®ボードGHは、
- ②低熱伝導材料の中では極めて優れたハンドリング性を示します。
- ③特殊工具を必要とせず、優れた加工性を示します。

2.2 品質特性

ロスリム®ボードH/GHの主な特性値一覧を表1に、各種断熱材の熱伝導率比較を図1に示します。また、写真1にロスリム®ボードGHの加工例を、写真2にロスリム®ボードGH加工品のハンドリングを、写真3にロスリム®ボードGH大板の

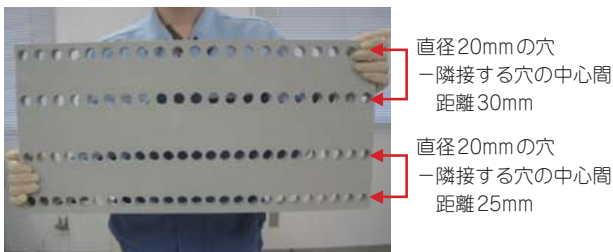


写真2 ロスリムボードGH加工品のハンドリング
(厚さ25mm×幅300mm×長さ600mm)



写真3 ロスリムボードGH大板のハンドリング
(厚さ25mm×幅820mm×長さ850mm)

ハンドリングを示します。

熱伝導率は、600℃において静止空気の約1/2、セラミックファイバースランケットの1/3以下という優れた断熱性能を示します。また、ロスリム®ボードGHの強度は、けい酸カルシウム(ボードJIS1号)と同等であり、良好なハンドリング性と加工性を発現します。

2.3 製品寸法

ロスリム®ボードH/GHの標準寸法は、以下のとおりです。

- ・厚さ25mm×幅600mm×長さ900mm
- ・厚さ50mm×幅600mm×長さ900mm

上記以外の寸法や加工品については、弊社にお問い合わせください。

表1 物性値一覧表

	TOMBO No.4350-H ロスリムボードH	TOMBO No.4350-GH ロスリムボードGH	(参考) けい酸カルシウム (ボードJIS1号)
密度 (kg/m ³)	250	250	155
熱伝導率 (W/(m・K))			
at 400℃	0.029	0.030	0.095
at 600℃	0.035	0.036	0.137
at 800℃	0.044	0.044	(0.195)
圧縮強度 (MPa) (10%圧縮歪)	0.54	1.02	1.10
加熱収縮率 (%)			
at 800℃×24hr	0.6	0.6	—
at 1000℃×24hr	2.5	2.5	—
最高使用温度 (℃)	1000	1000	1000

3. 用途

主な用途は、工業炉用断熱材（バックアップ材）をはじめ燃料電池用断熱材や高温燃焼器用断熱材といった複雑、特殊形状でコンパクト化を要求される断熱部材に幅広く使用することができます。

4. おわりに

TOMBO No.4350ロスリム[®]ボードH/GHについてご紹介させていただきましたが、静止空気の熱伝導率を凌ぐ超低熱伝導性は、断熱材の薄肉化による省スペース設計を実現し、断熱材が同じ厚さ場合には放散熱量の大幅な低減による優れた省

エネルギー効果が得られます。まさに炉（“ロ”）が“スリム”になるほか、炉（“ロ”）の消費エネルギーも“スリム”ダウンする画期的な断熱材です。

弊社は、今後ますます進む省エネ社会のニーズに合った高性能断熱材について一層の技術開発、製品開発につとめ、社会に貢献する製品を提供していく所存であります。

なお、本製品に係るお問い合わせは、工業製品事業本部省エネ製品技術開発部（TEL：03－3433－7237）、または浜松テクニカルセンター省エネ開発課（TEL：053－428－6858）までお願いいたします。

〈工法紹介〉

保温機能を回復させ、省エネに貢献する

「e'-AIM®工法」

エコ-エイム

工事事業本部 エアロジェル事業推進チーム

1. はじめに

当社は、「断つ・保つ」をキーワードに、保温・断熱分野のパイオニアとして、各種プラント・発電所・工場など、産業界のあらゆるお客様に、熱を「断つ・保つ」技術を通して「省エネ」を提供しています。

e'-AIM®工法は、既に保温材と外装材（通常、金属製）が施工された配管の上に高性能保温材を巻き付けて既設保温材の機能を回復させる工法です。e'-AIM®工法は、保温性能の回復・向上だけではなく、配管の外面腐食を低減させる効果もあり、さらには既設保温材を撤去する必要がないため、産業廃棄物の削減やトータルメンテナンスコストの低減が図れる工法です。

本稿では、このe'-AIM®工法に使用する高性能保温材パイロジェル™XTの紹介とe'-AIM®工法の特徴、効果などについて、施工実例を交えて紹介します。

2. 高性能保温材パイロジェル™XT

パイロジェル™XTはガラス繊維製マットの内部にナノレベルの細孔を有するシリカ質エアロジェルを含有した製品です。その特徴の一つは、表1および図1に示すように、従来の保温材（けい酸カルシウム保温材、ロックウール保温材など）に比べ、およそ1/2～1/4と熱伝導率が低いことです。パイロジェル™XTの外観を写真1に示します。

低熱伝導率であるという特徴の他に、パイロ

表1 パイロジェルXTの基本特性表

製品名	パイロジェルXT
主用途	常温から高温までの保温
厚さ	5mm, 10mm
使用温度*1	-40℃～650℃
色調	ベージュ
密度*2	180kg/m ³
熱伝導率*3	0℃：0.020W/mK
	300℃：0.035W/mK
	600℃：0.089W/mK
はっ水性*4	あり

*1：パイロジェルXTは使用方法により、自己発熱する場合があります。施工対象の温度が400℃以上の場合は当社にご相談ください。

*2：密度は代表値です。

*3：ASTM C177に準拠して1.41N/cm²載荷状態での熱伝導率です。実際に保温厚さを決定する際は、10%の安全率を見込むことを推奨します。

*4：230℃以上での使用時には、内面側（配管側）のはっ水剤が高温のため熱分解されますが、外面側は外気に接しており、高温にならないため、はっ水性は維持されます。なお、はっ水剤（シリカ化合物）が熱分解される際に、多少の分解ガスが発生します。

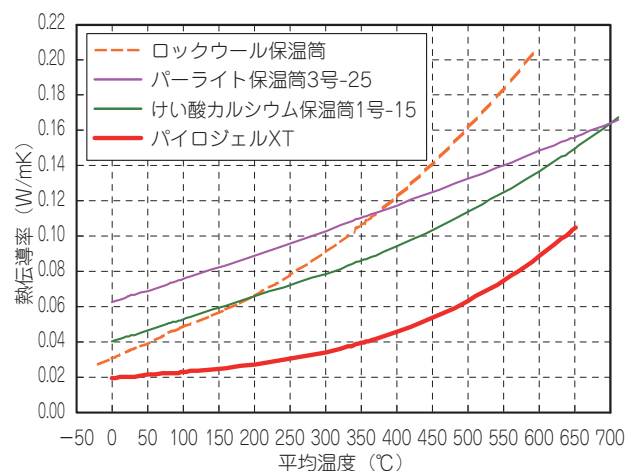


図1 パイロジェルXTと従来保温材の熱伝導率比較

* e'-AIM®は、ニチアス(株)の登録商標です。

* パイロジェルは、米国 aspen aerogels 社の商標です。

ジェルTMXTがもつ特徴は、「はっ水性」と「水蒸気透過性」です（写真2、写真3参照）。

この、「低熱伝導率」、「はっ水性」、「水蒸気透過性」をもつパイロジェルTMXTを既設保温材の上から巻きつけることで実現した工法がe'-AIM[®]工法です。



写真1 パイロジェルXTの外観



写真2 パイロジェルXTのはっ水性を示す例



写真3 パイロジェルXTの水蒸気透過性を示す例

3. e'-AIM[®]工法

3.1 保温材の含水によるリスク

屋外配管へ施工されている保温材は、外装材の隙間や腐食箇所から雨水が浸入し、保温材が含水してしまう場合があります。保温材の含水は、次の二つの観点から非常に大きな影響があり、好ましいものではありません。

一つ目は、保温性能の大幅な低下です。けい酸カルシウムなどの保温材は、気体である空気を閉じ込めており、保温材の空隙率が90%を超えるような構造を保つことにより保温性能が確保されています。空気の熱伝導率に比べ、水の熱伝導率はおよそ20倍であるため、水分が保温材中に浸入し保持されている空気が水に置換されると、保温性能が大幅に低下します。一般的に熱伝導率が常温で0.065W/(m・K)を超えると保温材の機能を成さないといわれています。保温性能の大幅な低下は、保温された配管からのエネルギーロス（放散熱量）が（設計上の数値から）大幅に増加することを意味するため、省エネルギーの観点から対策が必要となります。

二つ目は、保温材下配管外面腐食（CUI：Corrosion Under Insulation）のリスクの増大です。保温材が含水し、配管表面が湿潤状態におかれることは、配管外面腐食の大きな要因です。日本国内の各種プラントは、高度成長期に建設されたものが多く、建設後数十年経過していることから、今後も配管外面腐食への対策が一層重要になると思われます。

これらの対策として有効であるのがe'-AIM[®]工法です。

3.2 e'-AIM[®]工法の効果

通常、含水などにより劣化した保温材の補修は既設の外装材および保温材を撤去し、新しく保温材と外装材を施工しますが、撤去した外装材、保温材が産業廃棄物となります。また、蒸気などの高温流体配管では、作業の安全上の問題から、プラント稼動中には保温材撤去、再施工が出来ません。加えて、既設の外装材、保温材を全て新たに交換することになるため、相当のコストが必要となります。

これに対して、パイロジェル™XTによるe'-AIM®
工法は、図2のように既設の外装材の上にパイロ
ジェル™XTと新規外装材を追加施工し、含水し
た保温材を乾燥・機能回復させる補修工法です。

従来の補修工法と比較して、既設保温材、外装
材の撤去・処理費用が不要となり、補修費用を削
減できるメリットもあります。

配管からの熱により、含水した既設保温材が加
温されて発生する水蒸気は、パイロジェル™XT
を透過し、新規外装材下部に設置された水抜き孔
(※)を通じて外部へ排出されます。また、新た
に雨水が新規外装材内部に浸入したとしても、パ
イロジェル™XTのはっ水性により、パイロジェ
ル™XTおよび既設保温材が含水することはなく、
既設の保温材は乾燥状態が保たれます。

(※) 新規外装材1枚につき最低1ヶ所の間隔で、φ10~20mm程度の
孔を設けます。

既設の保温材が乾燥状態となることにより、保
温性能の回復(省エネルギー対策)、および、保
温材下配管外面腐食(CUI)のリスクを低減する
ことが可能となります。

弊社ではこの工法をe'-AIM®工法(Eco-Advanced
Insulation Method)として2009年に商標登録を
行い、2012年には特許(特許第4897858号『保温
構造の補修方法及び保温構造』)を取得しています。

3.3 e'-AIM®工法による既設保温材乾燥確認実験

当社内で実施した、e'-AIM®工法の乾燥確認実
験の結果を紹介します。

含水した保温材にパイロジェル™XTでe'-AIM®
工法を行った際の含水率の推移を図3に示します。
実験条件は次の通りです。

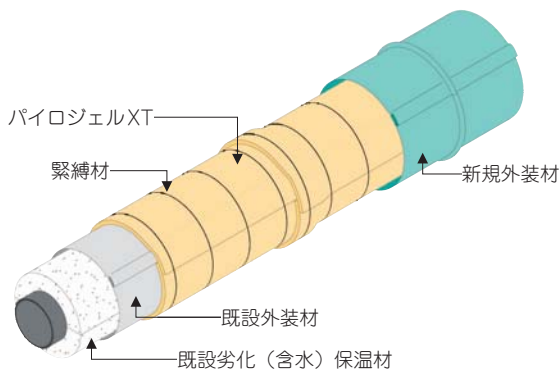


図2 e'-AIM工法施工概略図

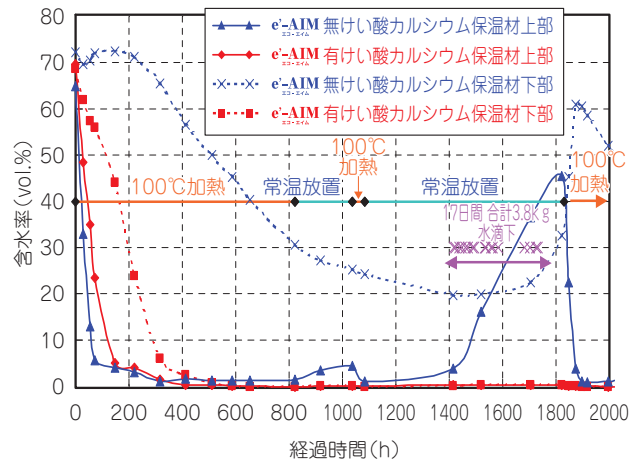


図3 e'-AIM工法によるけい酸カルシウム保温材の含水率推移

- ・保温材：けい酸カルシウム保温材1号(上下2つ割り形状)
- ・保温材厚さ：40mm
- ・保温材長さ：610mm
- ・保温材初期含水率：約70vol%
- ・配管サイズ：100A
- ・配管温度：100°C⇒常温⇒100°C(図3参照)
- ・含水率の測定：上下2つ割りの保温材サンプルの乾
燥時体積重量変化を測定し、増減した水分量から下
式のように体積含水率(vol.%)で算出した。
体積含水率(vol.%) = [保温材サンプルに含まれている
水分(cm³) / 保温材サンプルの体積(cm³)] × 100
- ・外気温度：20°C
- ・外部からの給水：実験開始後約1400時間~1800時間
に約3.8kgを上部から滴下

図3に示すように、e'-AIM®工法を施していない
けい酸カルシウム保温材は1000時間以上経過し
ても下側は25(vol.%)程度までしか乾燥が進まず、
更に上部から給水を行うと、はっ水性がないため
再度含水率が急激に上昇します。

これに対してパイロジェル™XTを周囲に巻きつ
けたe'-AIM®工法の試験体ではパイロジェル™XT
の優れた保温性と水蒸気透過性により内部の含水
したけい酸カルシウム保温材が上下共に400時間
程度でほぼ完全に乾燥します。これは、保温性能
の高いパイロジェル™XTを既設保温材の外側に
施工したことにより、既設保温材表面の温度が上
昇(図4参照。θ1→θ2)し、水分の乾燥を促進
させた効果によるものです。

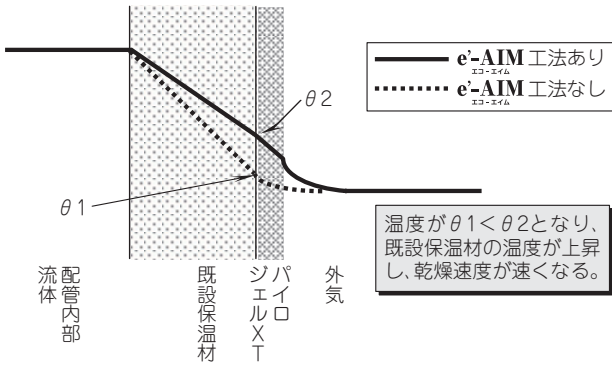


図4 e'-AIM工法実施時の温度勾配概念図

また、上部から水分を供給してもパイロジェル™XTのはっ水性によりけい酸カルシウム保温材の再含水を抑制している様子が分かります。これにより既設保温材の保温機能が回復し、再劣化を抑制することが可能となります。

4. e'-AIM®工法施工事例の紹介

e'-AIM®工法の施工事例を紹介します。

①化学工場蒸気配管への施工例

この工場では化学薬品や樹脂製品を製造する際の熱源として、重油焚きのボイラで蒸気を発生させて各製造ラインに供給しています。蒸気輸送配管途中の熱エネルギーロスがエネルギーコストを増大させるという問題がありました。

この蒸気輸送配管の内、700mの配管に対してパイロジェル™XT (10mm厚)を既設保温材 (けい酸カルシウム保温材) の上から1層巻きつけるe'-AIM®工法を実施し、エネルギーコストの削減を図りました。

- ・ 施工対象の配管径：80Aから125Aの各サイズ
- ・ 施工対象の配管長：約700m
- ・ 既設保温材の仕様：けい酸カルシウム保温材 厚さ50mm～75mm (配管径による)
- ・ e'-AIM®工法仕様：既設保温材の外側に、パイロジェル™XT (10mm厚さ) を施工後、新規外装材を施工。
- ・ 効果確認方法：施工前後の熱画像から表面温度、放散熱量の比較をおこなう。

施工箇所のうち一箇所を例として、施工前の外観を写真4に、施工後の外観を写真5に示します。また、施工中の様子を写真6に示します。

e'-AIM®工法を施工する前の配管の外観は既設の



写真4 e'-AIM工法施工前における蒸気配管の外観



写真5 e'-AIM工法施工後における蒸気配管の外観



写真6 e'-AIM工法施工状況

保温材を保護している外装板に錆が発生しており、この腐食部分から雨水などの水分が保温材の内部に浸透している可能性は十分に考えられました。

このような状態の配管に、e'-AIM®工法を施工しました。その結果、外径で20～30mm程度の寸法増加はありますが、外観の変化が無い状態で施工が完了しました(写真5)。また、この施工箇所における、e'-AIM®工法による表面温度と放散熱量の変化を表2に示します。

表2に示すように、保温性の優れたパイロジェル™XTを既設保温材の外周に施工するだけで表面温度を6℃以上、放散熱量を1/4以下に低減できました。

表2 e'-AIM[®]工法施工前後の保温特性変化

	施工前	施工後
表面温度 (°C)	40.5	34.1
放散熱量 (W/m)	269	64

配管径：125A

施工前：けい酸カルシウム保温材厚さ75mm（既設保温材）

施工後：既設保温材+パイロジェルXT厚さ10mm

施工前測定時周囲温度：27°C

施工後測定時周囲温度：30°C

施工前の試算では1kWh当たり5円（JIS参考値）の燃料費で年間約600万円の熱量コストを削減する効果が期待できました。実際には、年間約500万円～600万円の燃料費の削減とそれに応じたCO₂排出量の削減が実現できました。

また、雨天時における内部流体の温度低下の抑制、トラップから蒸気のオーバーフローの減少、ボイラー出力が天候や気温に左右されずに平準化されたことなど、e'-AIM[®]工法施工の効果が現場でも実感できる事例が確認されました。

②地熱発電所蒸気配管への施工例

再生可能エネルギーの一つである地熱発電の主流は、井戸（生産井）から蒸気・熱水を取り出し、地上に設置された汽水分離プラントまで配管（二相流輸送管）にて移送後、蒸気のみを取り出し、タービンに送り、発電を行います。

汽水分離プラント、タービンは平坦部に設置する必要があることや、生産井の配置の関係上、山間部に立地された地熱発電所では、生産井から汽水分離プラントまで蒸気・熱水を移送する二相流輸送管の配管長が数kmとなる場合もあります。この二相流配管の保温性を高め、また、雨水による影響を少なくすることにより、発電効率の向上や、雨天時や冬季などに蒸気の圧力が低下することを防ぎ、発電効率の安定性を高めることに寄与できます。

地熱発電所への施工実績例としては、1000Aの配管：約100m、750Aの配管：約200mがあり、既設の外装板を撤去することなくその上からパイロジェルTMXTを1層巻きつけるe'-AIM[®]工法を行っています。施工時の写真を次の写真7、写真8に示します。



写真7 水平配管への施工（パイロジェルXTを施工中）



写真8 エルボ部への施工状況（外装板施工前）

5. おわりに

当社は、米国aspen aerogels社製パイロジェルTMXTの国内総代理店として、各産業分野への普及促進を図っています。

本製品は従来の保温材にない「低熱伝導率」、「はっ水性」、「蒸気透過性」といった特長を有しており、本稿で取り上げたe'-AIM[®]工法に適用することにより、効率的に既設保温設備の省エネルギー化に貢献できるとともに、保温材の含水状態を解消することにより、保温材下配管外面腐食（CUI）の対策としても有効です。

また、e'-AIM[®]工法のみならず、パイロジェルTMXTを使用した保温工事全般についても、普及を促進しています。

詳細については、工事業本部エアロジェル事業推進チーム（TEL：03-3433-7825）へ、エアロジェル保温材の製品販売については、工業製品事業本部省エネ製品技術開発部（TEL 03-3433-7237）までお問合せください。

参考文献

ニチアス技術時報 2010 No.1 P9-14

〈製品紹介〉

着脱自在なフレキシブル保温材

TOMBO No.4500 「エネサーモ®」

工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部

1. はじめに

近年、持続可能な社会の実現を目指して多くの再生可能エネルギーや省エネルギーのための研究および開発が進められています。さらに2011年3月11日に発生した東日本大震災に端を発する電力不足問題、中東地域の政情不安によるエネルギーコストの値上がりなどの影響で、ユーザーの省エネルギーに対する意識が一層高まっています。

このような流れの中で企業もCO₂排出量を減らすため、省エネルギー化を積極的に進めていく必要があります。

本稿では、メンテナンスを必要とする部位に着脱自在な保温材として、従来から幅広い用途で使用されているTOMBO No.4500 エネサーモ®をご紹介します。

2. 製品の概要

TOMBO No.4500 エネサーモ®は断熱性に優れたフレキシブルな保温材で、放熱部位（特に形状の複雑な部位、メンテナンスのために着脱を要する部位）からのエネルギーロスを防ぐことができます。熱エネルギーの放散、CO₂排出、エネルギーコストを削減することができます。環境保全に貢献します。

一例として施工前後のバルブの状態を写真1、2に示します。

3. 特長

- 1) 着脱自在で繰り返し使用できる。
- 2) 着脱が容易なため、施工時間が大幅に短縮で



写真1 エネサーモ取付前のバルブ



写真2 エネサーモ取付後のバルブ

きる。

- 3) 従来のメンテナンス毎の断熱材施工費が発生しない。
- 4) 施工時に廃棄物が発生しない。
- 5) 火傷防止などの作業環境の改善に役立つ。

4. 使用部位

- 1) バルブ、フランジ類
- 2) 熱交換器、搭槽類

*エネサーモは、ニチアス(株)の登録商標です。

- 3) タービン, ポンプ, ボイラー
- 4) 射出成型機, 加熱プレス機, 燃焼炉
- 5) その他放熱機器

射出成型機への取付例を**写真3**, 熱交換器外周への施工例を**写真4**に示します。

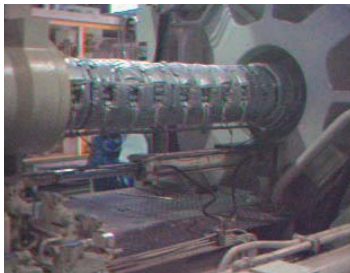


写真3 射出成型機への取付例



写真4 熱交換器外面への取付例

5. 種類

エネサーモ®の種類を表1に示します。

表1 エネサーモの種類

種類	用途	製品概要
エネサーモ-R	屋内用	標準的な製品。
エネサーモ-W	屋外用	防水加工を施した製品。耐水性に優れたシリコンコーティングガラスクロスを使用し、縫製部を特殊コーティングで処理している。
エネサーモ-CR	クリーンルーム用	クリーンルーム内で使用可能な製品。発塵の少ないフッ素樹脂コーティングガラスクロスを使用している。耐薬品性にも優れる。(クリーン度1000クラスに対応)

6. 仕様

6.1 構造

図1に示すように、内被材, 外被材, 保温材,

を縫製することで一体化させて構成されています。(その他, 必要に応じてベルトやマジックテープ, ハトメなどの固定具が付属します。)

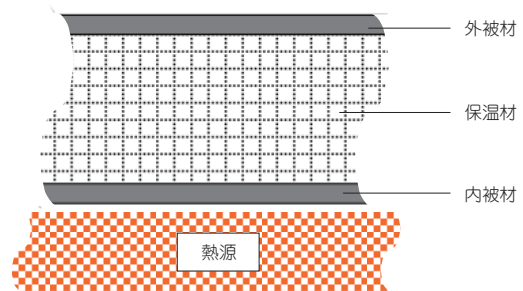


図1 エネサーモの断面図

6.2 構成材料

使用用途や条件によって、内被材, 外被材, 保温材, 縫製糸は最適なものを選定します。参考として代表的な構成素材を表2に示します。

表2 素材の選定

最高使用温度	内被材, 外被材	保温材	縫製糸
1300°C	アルミナファイバークロス	セラミックファイバークロス	シリカファイバークロス
↑	シリカファイバークロス	セラミックファイバークロス	シリカファイバークロス
	ロックウールブランケット	セラミックファイバークロス	シリカファイバークロス
↓	ロックウールブランケット	ロックウールブランケット	ロックウールブランケット
	ロックウールブランケット	ロックウールブランケット	ロックウールブランケット
180°C	特殊コーティングガラスクロス	ロックウールブランケット	ロックウールブランケット

6.3 形状

- 1) 複雑形状の放熱機器および特殊な使用箇所についても、図面や実測寸法などから個別で設計します。熱源, 放熱部の形状によって最適な形状および素材を選定いたします。
- 2) JIS10~20Kのバルブには標準品を取り揃えており、寸法測定や個別設計を省略することができます。

7. 放散熱量の測定とエネサーモ®の設計

7.1 熱診断

サーモグラフィー(熱画像分析)や現場での温度の実測によって表面温度が高く放散熱量(熱エ

エネルギーロス)の大きい部分を診断し、保温施工により放散熱量を抑える設計を提案いたします。

7.2 保温材の厚さ検討

保温材を厚くするほど放散熱量は小さくなりますが、その分コストはアップします。保温材の必要厚さをシミュレーションし、取付前の表面温度から取付後の表面温度や放散熱量を算出し、無駄のない保温厚さを提案いたします。

7.3 省エネルギー計算

ユーザー様のエネルギーの使用条件を確認し、エネサーモ[®]を取り付けた場合の熱エネルギー、CO₂、コストの削減量を算出します。

7.4 計算事例

[使用条件]

- 取付箇所：配管
- 取付面積：5m²
- 外気温：25℃
- 表面温度：250℃（放散熱量4890 [W/m²]）
- 使用燃料：A重油（発熱量：39.1 [MJ/ℓ]）
- 燃料単価：75 [円/ℓ]
- エネルギー使用料：8.6 [円/kWh] ^{※1}

※1：ボイラー効率80%と仮定すると8.6 [円/kWh] = 75 [円/ℓ] × 3.6 [MJ/kWh] ÷ (39.1 [MJ/ℓ] × 0.80)

年間稼働時間：5000 [h/年]

エネサーモ[®]仕様：TOMBO No.4500-R エネサーモ[®]-R（内被材：ガラスファイバークロス、保温材：ガラスファイバーマット、外被材：シリコンコーティングガラスクロス）

[計算条件]

JIS A9501保温保冷工事施工標準に準拠する。

対流：自然対流

放射率：0.9

施工方向：垂直平面

①保温材の厚さの算出

上記の条件に従って、施工厚さ別の表面温度および放散熱量の計算結果を表3に示します。

②省エネルギー計算

表3の結果から、保温材の厚さを20mmとした場合の省エネルギーコスト削減効果を以下に示します。（放散熱量削減効果）

$$= 4890 [W/m^2] - 559 [W/m^2] = 4331 [W/m^2]$$

（A重油削減効果）

表3 保温材の厚さ別の表面温度と放散熱量

保温材の厚さ [mm]	取付後表面温度 [°C]	取付後放散熱量 [W/m ²]
なし	250	4890
10	92	994
20	67	559
30	56	390
50	46	244

$$= 4331 [W/m^2] \div 1000 \times 5 [m^2] \times 3.6 [MJ/kWh] \div (39.1 [MJ/\ell] \times 0.8) \times 5000 [hr/年] \div 1000 = 12.46 [k\ell/年]$$

（CO₂削減効果）

$$= 4331 [W/m^2] \div 1000 \times 5 [m^2] \times 3.6 [MJ/kWh] \div (39.1 [MJ/\ell] \times 0.8) \times 5000 [hr/年] \times 2.71 [ton/k\ell]^{*2} \div 1000 = 33.77 [ton-CO_2/年]$$

（コスト削減効果）

$$= 4331 [W/m^2] \div 1000 \times 5 [m^2] \times 5000 [hr/年] \times 8.6 [円/kWh] = 933100 [円/年]$$

※2：CO₂排出量算定係数（経済産業省データ）を用いた。

上記の計算と同様に、保温材の厚さ別のエネルギーコスト削減効果を表4に示します。

表4 エネルギーコスト削減効果

保温材の厚さ [mm]	放散熱量削減効果 [W/m ²]	A重油削減効果 [kℓ/年]	CO ₂ 削減効果 [ton/年]	コスト削減効果 [千円/年]
10	3896	11.21	30.38	841
20	4331	12.46	33.77	933
30	4500	12.95	35.09	971
50	4647	13.37	36.23	1003

表中の数字は仮定条件に基づいた計算値です。実際の使用条件での数値とは異なります。

8. おわりに

コスト削減や環境保護などの観点から、今後とも省エネルギー化に対する社会的な要求は高まると考えられます。

当社といたしましても、今後ともユーザー各位のニーズに対応した製品の開発・改良に努める所存ですので、皆様の忌憚ないご意見、ご要望をお聞かせ頂ければ幸いです。

本製品に関するお問い合わせは、工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 省エネ技術課（TEL：053 - 428 - 5337）までお願いいたします。

「ニチアス技術時報」《2012年度目次総録》
(2012/1号 通巻 No. 357)

2012/1 1号 通巻 No. 357

〈巻頭言〉 新年雑感 …ニチアス株式会社 執行役員 研究開発本部長 ニチアス技術時報編集委員長 米澤昭一…(1)

〈技術レポート〉 マイクロ波試料分解法によるケイ酸塩試料中のケイ素およびホウ素の定量分析

…………… 研究開発本部 分析解析室 微量分析課 矢嶋一仁…(2)

自動車部品の評価技術(シール性) – 評価装置と設計技術の紹介 –

… 自動車部品事業本部 技術開発部 シール材設計課(自動車部品テクニカルセンター駐在) 新井正史…(7)

〈新製品紹介〉 自動車, 二輪車用ガスケット T/#1608-MV 「メタフォーム® (MV シリーズ)」

…………… 自動車部品事業本部 技術開発部…(12)

触媒担体用保持材 T/#5350-MU 「エコフレックス™200M-ULB」

…………… 自動車部品事業本部 技術開発部…(14)

耐熱性パーフロロエラストマー T/#2670-B 「ゴム O リング プレイザーネクスト®」

…………… 高機能製品事業本部 樹脂技術開発部…(17)

〈2011年度目次総録〉……………(21)



ニチアス株式会社

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

お問い合わせは最寄りの営業拠点までお願いします。

【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) 3438-9711
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
北九州支店	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 〒105-8555 東京都港区芝大門1-1-26

・工業製品事業本部	TEL (03) 3433-7200
海外営業部	TEL (03) 3433-7261
・高機能製品事業本部	TEL (03) 3433-7204

〒105-0011 東京都港区芝公園1-3-1

・自動車部品事業本部	TEL (03) 3433-7240
海外営業課	TEL (03) 3433-7247

〒105-0012 東京都港区芝大門1-10-11

・建材事業本部	TEL (03) 3433-7256
設計開発課	TEL (03) 3433-7207
・工事業本部	TEL (03) 3433-7201
プラント営業部	TEL (03) 3433-7825

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

〒105-8555 東京都港区芝大門1-1-26