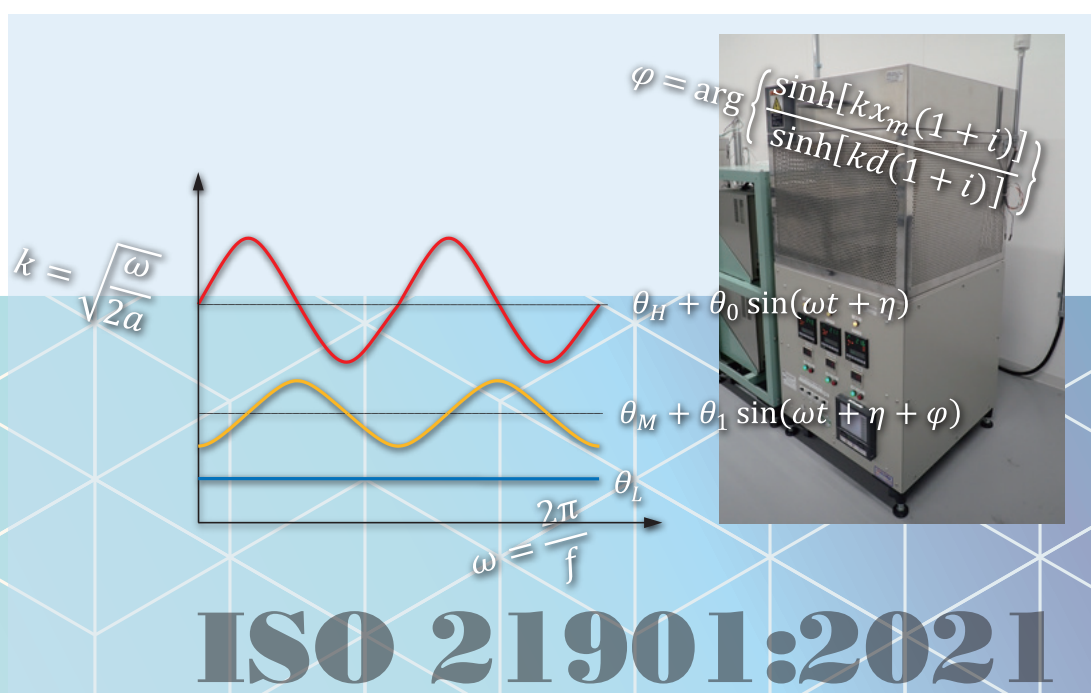


ニチアス 技術時報

No. 396

2022年 1号



Contents

【巻頭言】

新年雑感

【製品紹介】

触媒担体保持材

TOMBO™ No.5350「エコフレックス™」

【技術レポート】

周期加熱法による断熱材の熱拡散率測定における
試験片サイズおよび周期の影響

耐熱・断熱製品の湿式脱水成形技術(後編)
～分散凝集技術の製品への応用～

目 次

【巻頭言】

- ◆新年雑感 1
執行役員 自動車部品事業本部長 浅田 啓起

【製品紹介】

- ◆触媒担体保持材
TOMBO™ No.5350「エコフレックス™」 2
自動車部品事業本部 第二技術開発部

【技術レポート】

- ◆周期加熱法による断熱材の熱拡散率測定における試験片サイズおよび周期の影響 6
ニチアス株式会社 阿部 直毅 他
一般財団法人 日本建材・住宅設備産業協会 藤本 哲夫
一般財団法人 建材試験センター 萩原 伸治
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 阿子島めぐみ

【技術レポート】

- ◆耐熱・断熱製品の湿式脱水成形技術（後編）～分散凝集技術の製品への応用～ 12
研究開発本部 浜松研究所 堀内 修

【トピックス】

- ◆清水建設(株)殿と共同で、建設ロボットで施工可能なフリーアクセスフロアを開発 16

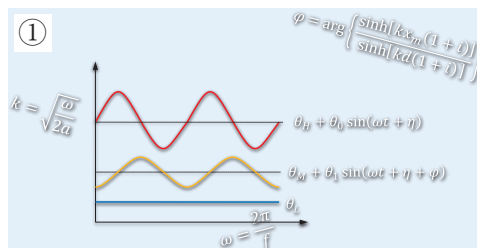
表紙写真：

一般財団法人建材試験センターが弊社の用いていた周期加熱法に着目し、2014年より経済産業省の委託事業を受託して「断熱材の熱拡散率測定方法（周期加熱法）」の国際標準化に国立研究開発法人産業技術総合研究所や弊社など共同で取り組みました。国内外で技術的な検証が行われ、2021年2月に ISO 21901 Thermal insulation – Test method for thermal diffusivity – Periodic heat method として規格発行に至っています。

詳細は p6【技術レポート】をご覧ください。

①周期加熱法の原理の一部

②周期加熱法に用いる弊社独自開発の装置



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。

〈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。
<https://www.nichias.co.jp/>

新年雑感

執行役員 自動車部品事業本部長 浅田 啓 起



明けましておめでとうございます。

2021年は、全世界が一昨年から続いている新型コロナウイルス感染症への対応と自然災害の影響、環境問題への対応に直面した1年となりました。特に環境問題につきましては、カーボンニュートラルに関するニュースが毎日のように飛び交い、全世界の人々が本格的に「地球温暖化」、「脱炭素」に関心を持ち、取り組みが活発化した1年だったと思います。4月には気候サミット、11月にCOP26が開催され、気候変動抑制に向けた脱炭素の協議が行われました。日本も2050年カーボンニュートラル宣言に加えて、2030年度温室効果ガス削減を46%削減（2013年度比）と目標を高く修正し、それに伴い取り組みも活発化してきました。

弊社も2021年4月に「ニチアスグループカーボンニュートラル宣言」を発表し、全事業場が排出する二酸化炭素排出量を2050年までに実質ゼロとすることを宣言しました。この重点施策の中で、技術開発による「脱炭素につながるものづくりへの転換」として、低炭素で製造できる製品の開発、移行を、創業125年の歴史のなかで深化させてきた「断つ・保つ」[®]技術で進めております。「断つ・保つ」[®]の技術は、漏れを「断つ」、熱を「断つ・保つ」、音・振動を「断つ」、火を「断つ」、腐食を「断つ」、クリーンを「保つ」という6つの技術から成り立っております。私たちの生活や社会になくてはならない技術であり、この技術で地球温暖化防止に貢献する使命を改めて感じております。

昨年も北米の大寒波、ヨーロッパの洪水、九州の豪雨などの社会生活や経済に影響を及ぼす自然災害が発生しました。その要因の一つと考えられる地球温暖化の対策は弊社も急務と捉えております。弊社は、これからも地球温暖化対策、持続的な社会や経済の実現に貢献していくために、「断つ・保つ」[®]技術を深化させていく所存です。

本年も「ニチアス技術時報」で、地球温暖化防止に役立つニチアスの新技術、新製品を皆さまにお伝えしてまいりますので、今後とも愛読いただきますとともに、引き続き弊社製品をご愛顧賜りますようお願い申し上げます。

触媒担体保持材 TOMBO™ No.5350「エコフレックス™」

自動車部品事業本部 第二技術開発部

1. はじめに

昨今、自動車業界を取り巻く環境は、大きな変革期を迎えています。内燃機関搭載車から電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）等電動車への切り替えに向けた開発が加速しています。長期的には内燃機関車は減少していくと考えられますが、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車を含むとしばらくは、引き続き使用されると予想されます^{1)～3)}。また、自動車の排出ガス規制はますます厳しくなっており、そのため、より高性能な排気ガス浄化システムの開発が求められています。

排気ガスを浄化する触媒コンバーター（図1）は中核部品であるセラミックス製触媒担体を振動や衝撃から守り、保持する必要があります。これに対応すべく弊社では触媒担体保持材TOMBO™ No.5350「エコフレックス™」（以下、「エコフレックス」）（図2）をラインアップしています。この「エコフレックス」は、触媒担体に巻き付けてからコンバーターケースに納められて使用されます。

弊社は、Unifrax I LLC（米国）と業務提携しており、無機繊維を使用し「エコフレックス」を製造・販売しています。

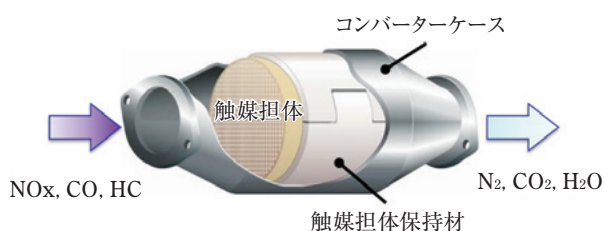


図1 触媒コンバーター



図2 「エコフレックス™」外観

本稿では、この「エコフレックス」について紹介いたします。

2. 製品の概要

2.1 構成

「エコフレックス」は吸引脱水成形法と呼ばれる湿式製法により耐熱性に優れる無機繊維に各種バインダーを添加し、マット状に成形し部品形状に打ち抜き加工した製品です。「エコフレックス」は無機繊維の種類と有機分量の組み合わせ等により、現在7つのグレードをラインアップしており

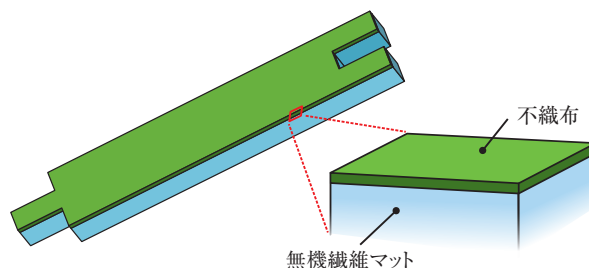


図3 「エコフレックス」構成図

表1 「エコフレックス」グレードおよび特長

グレード	200S	200S-LB	200M	200M-LB	200M-LB (H)	200M-ULB	300H-LB
繊維種類	ハイアルミナ質繊維		ムライト質繊維				
繊維に含まれるアルミナ成分割合	90%以上		70%以上				
有機分量*	10%	3%	10%	3%	3%	1%	3%
耐熱性	◎	◎	○	○	○	○	○
耐久性	○	○	○	○	○	○	◎
柔軟性	◎	○	◎	○	○	○	○
特長	高耐熱		バランス型		高坪量	超低有機	高保持耐久

※有機分量は不織布を除いた繊維に対する有機分量の割合

ます。「エコフレックス」表面には、触媒担体への巻き付け性およびコンバーターケースへの挿入性を向上させるために不織布を貼り合せています(図3)。表1に「エコフレックス」のグレードおよびグレード毎の特長を示します。『○』は触媒担体保持材として使用するために必要な特性を有していることを示し、『◎』はより優れた特性であることを示しています。

2.2 製造フロー

「エコフレックス」の製造フローを図4に示します。「エコフレックス」は図4の①解繊から④乾

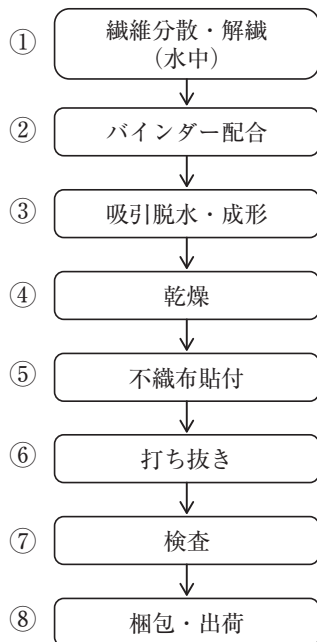


図4 「エコフレックス」製造フロー

燥までの工程を弊社の湿式脱水成形技術の吸引脱水成形法を用いて製造しています。

3. 特 長

「エコフレックス」の特長について以下に記載します。

3.1 無機繊維の選択性

材料である無機繊維について、使用される環境や要求特性に応じて選択することが可能です。一例として保持材としての耐熱温度(目安)に対して無機繊維毎の使用可能範囲を図5に示します。無機繊維内のアルミナ成分の割合が多いほど耐熱温度は上昇します。よって、アルミナ分の多い200Sシリーズが最も耐熱性が高いグレードとなります。

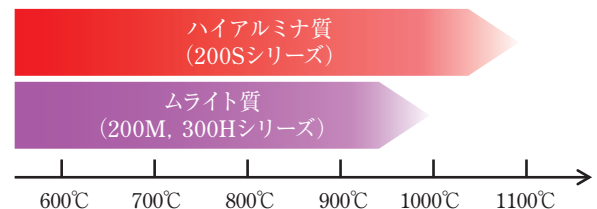


図5 各無機繊維に対する保持材としての耐熱温度(目安)

また、繊維強度、繊維組成、平均繊維径等に応じてマットにした際のGBD(Gap Bulk Density, 一定の隙間に挟まれた状態での充填密度)に対する初期面圧を変化させることが可能です。初期

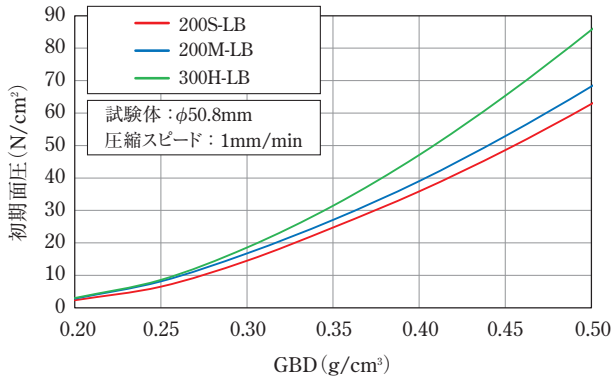


図6 無機繊維の種類による初期面圧

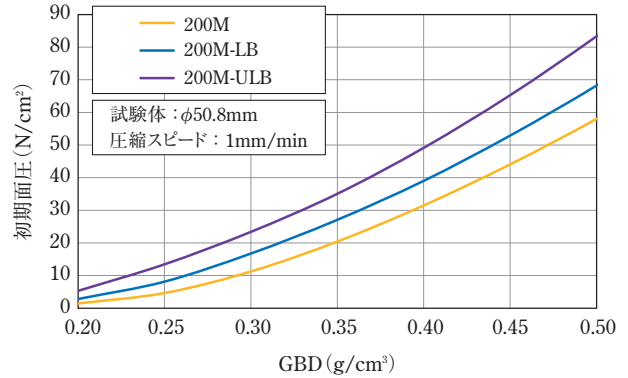


図7 有機分量違いによる初期面圧

面圧とは、触媒担体とコンバーターケースの間に挟まれた際の最初に触媒担体保持材が発生する単位面積あたりの圧力になります。この初期面圧が低すぎると触媒担体が保持できず、高すぎると触媒担体を破壊してしまいます。よって、使用環境や使用される触媒担体に応じて適切な初期面圧が発生するGBD領域で使用することが重要となります。その一例を図6に示します。高強度繊維を使用した300H-LBが最も高い面圧を発生します。そのため排気ガスによる圧力やエンジンからの振動が厳しい環境においても使用可能です。一方で、初期面圧が高すぎると触媒担体の強度によっては、触媒担体を破壊してしまう可能性があります。その点において、200S-LBについては、GBDに対しての初期面圧の傾きが緩やかなため、広範囲のGBDで使用可能という特長があります。

3.2 配合材、配合量の調整による機能付加が可能

図4の②配合でのバインダーの種類や量を調整することで、さまざまな機能の付加や特性をコントロールすることが可能です。

一例として、初期面圧をコントロールするために、有機分量を調整した結果を図7に示します。200M-ULBのように有機分量約1%と少なければ低GBDから初期面圧は高くすることが可能です。一方200Mのように有機分量約10%と多くすることにより初期面圧の上昇を抑制することも可能です。

3.3 坪量、厚さのコントロールが可能

表2に「エコフレックス」の各グレードの坪量と厚さの仕様について示します。幅広い坪量と厚さについてラインアップしております。それにより、

表2 エコフレックス製品仕様（坪量、厚さラインアップ）

200S		200S-LB		200M		200M-LB		200M-LB (H)		200M-ULB		300H-LB	
BBW* g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm	BBW g/m²	厚さ mm
1200	7.3	1159	7.5	1200	7.5	1159	7.7	2507	14.9	1104	9.0	1168	7.5
1240	7.5	1196	7.7	1240	7.5	1196	7.7	2610	14.9			1271	8.2
1320	8.0	1271	8.2	1320	7.5	1271	7.7	2713	14.9			1364	8.8
1450	8.8	1299	8.4	1450	7.5	1299	7.7	2919	15.0			1477	9.5
1540	9.3	1393	9.0	1540	7.5	1393	7.7	3125	16.0				
						1477	7.7	3434	17.6				

※ BBW (Bonded Basis Weight) は、不織布や有機バインダーなどの有機成分を全て含んだ状態でのマット坪量を示します。

※ 200Sと200Mは不織布を含まないBBWと厚さとなります。不織布の有無が選択可能です。

※ 200S-LB, 200M-LB, 200M-ULB, 300H-LBは、不織布付き仕様となり、不織布を含むBBWと厚さとなります。

触媒コンバーターへの組付け方法や、使用環境に応じた最適な仕様を選択することが可能です。

3.4 環境へ配慮した製品

図4の⑥打ち抜き時に製品にならない端材が発生します。「エコフレックス」の製造方法では端材について、再利用するために製造フローの①繊維分散・解繊工程に投入できる状態に処理する技術を保有しています。そのため、ほぼ廃棄物がなく、環境に配慮した製品となっています。

4. 用 途

「エコフレックス」はガソリンエンジン直下の三元触媒やガソリン・パーティキュレート・フィルター（GPF）、ディーゼルエンジン用酸化触媒等の内燃機関に使用される触媒担体の保持材として幅広く使用可能です。

お客さまの使用環境、ご要望に応じて最適な仕様を検討、提案させていただきます。ご使用を検討の際には弊社へお問い合わせください。

5. お わ り に

本稿では、自動車に使用される触媒担体保持材 TOMBO™ No.5350「エコフレックス™」のラインアップ、特長についてご紹介しました。

本製品以外にも、音、熱、シールに関わる自動車部品メーカーとして、次世代車も含めた形で今後も材料から製品まで幅広く開発、改良に努める所存です。本製品および自動車関連の音、熱、シールに対するお問い合わせは自動車部品事業本部までお願いいたします。

参 考 文 献

- 1) 日経 Automotive2021年3月号 p42.
- 2) 経済産業省 自動車新時代戦略会議（第1回）資料 平成30年4月.
- 3) 自動車産業ポータル MARKLINES ホームページ <https://www.marklines.com/ja/forecast/index>

*「エコフレックス」は、Unifrax I LLCの商標です。

*「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、保証値ではございません。

ニチアスの自動車部品



シール関連部品

- ゴム／金属複合ガスケット
- メタコート®
- メタフォーム®
- 排気系&軟質ガスケット
- CR ボルテックス®
- ジョイントシート
- 摺動材
- エクセライド®

熱関連部品

- 遮熱・保温材
- インサルカバー™
- N-フレチューブ™
- 熱制御
- ウォータージャケットスパーサー
- 触媒担体保持材
- エコフレックス™

音関連部品

- ブレーキシム材
- メタプラス™積層シム
- 防音カバー
- エアトーン®

※⑥が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。
※TMが付されている名称はニチアス(株)の商標です。
ただし「エコフレックス」は英国Saffil Ltdの商標です。

周期加熱法による断熱材の熱拡散率測定における 試験片サイズおよび周期の影響

ニチアス株式会社	阿部直毅
一般財団法人 日本建材・住宅設備産業協会	藤本哲夫
一般財団法人 建材試験センター	萩原伸治
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	阿子島めぐみ
元ニチアス株式会社	和田迫三志
ニチアス株式会社	安藤大介
	三木達郎
	小野寺正剛

はじめに

2021年2月に、Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic heat methodが、国際規格(ISO 21901:2021)として発行された。

そこで本レポートでは、まず【解説】として、国際標準化の背景や経緯、測定原理、国際標準化による効果について、当社の阿部による説明を記す。次に、【本文】として、国際標準化に取り組んだ際に、国内外で行われた技術的な検証事項の一部を記す。具体的には、試験片サイズおよび加熱周期の熱拡散率測定値に対する影響を確認し、適切な測定条件を検証した。

なお【本文】は、共著で発表した第42回日本熱物性シンポジウム（2021年10月）からの転載である。

【解説】

1. 背景

断熱材の最も重要な特性として熱伝導率があり、その代表的な測定方法として「JIS A 1412-1 熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法－第1部：保護熱板法（GHP法）」がある。しかしながら、市販のGHP法装置の多くは測定温度範囲が常用

600℃までとなっている。高温域で用いられる測定方法としては「JIS R 2251-1 耐火物の熱伝導率の試験方法－第1部：熱線法（直行法）」があるが、熱線法は熱的に等方性で熱伝導率が高い材料の測定に適している。つまり、熱線法は繊維質断熱材など異方性の高い断熱材の評価には不向きである。

そこで当社は、金属の熱拡散率測定に古くから用いられてきた周期加熱法の原理を応用して、断熱材を測定できる装置を独自開発することにより、1990年代から高温域における断熱性能を評価してきた。

2. 国際標準化に至る経緯

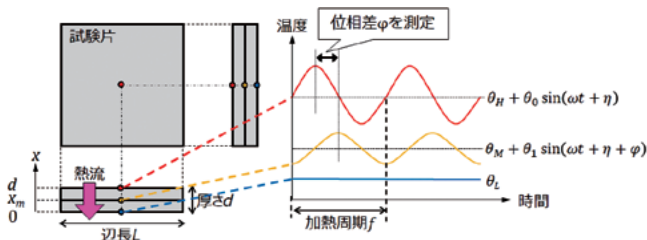
高温域における断熱材の断熱性能評価について、標準化された測定方法や、100℃以上で使用できる標準物質は存在しなかった。そこで、一般財団法人建材試験センターが当社の用いていた周期加熱法に着目し、2014年より経済産業省の委託事業を受託して「断熱材の熱拡散率測定方法(周期加熱法)」の国際標準化に、国立研究開発法人産業技術総合研究所や当社などと共同で取り組んだ。国内外で技術的な検証が行われ、検証結果を規定に反映することにより、2021年2月にISO 21901 Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic heat methodとして規格

発行に至った。これにより、周期加熱法によって熱拡散率を国際規格に準じて測定できるようになった。

3. 周期加熱法とは

周期加熱法は、試験片を加熱した際の温度変化から熱拡散率を測定する方法であり、非定常法に分類される。原理を簡単に説明するため、周期加熱法の試験片と温度変化を図Aに示す。

試験片の上面から時間で変化する周期加熱を行うと、試験片の厚さ方向に熱が伝わる際に位相差 φ （時間遅れ）が生じる。1次元の非定常熱伝導方程式の解である式（A）を用いて減衰係数 k を求め、式（B）および式（C）を用いて熱拡散率 a を算出する方法が周期加熱法である。



図A 原理

$$\varphi = \arg \left\{ \frac{\sinh[kx_m(1+i)]}{\sinh[kd(1+i)]} \right\} \quad \text{..... (A)}$$

$$k = \sqrt{\frac{\omega}{2a}} \quad \text{..... (B)}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{f} \quad \text{..... (C)}$$

ここで、 φ は位相差、 k は減衰係数、 x_m は放熱面を原点としたときの試験片部における温度測定点の位置、 i は虚数単位、 d は試験片厚さ、 ω は角振動数、 f は周期、 η は任意の位相、を示す。

なお、試験片の下面に周期的な温度変動がある場合についても、ISO 21901に記載された別の式を用いて求めることができる。

さらに、別途求めたかさ密度 ρ と比熱 c 、熱拡散率を用いて式（D）により熱伝導率 λ を求められる。

$$\lambda = \rho c a \quad \text{..... (D)}$$

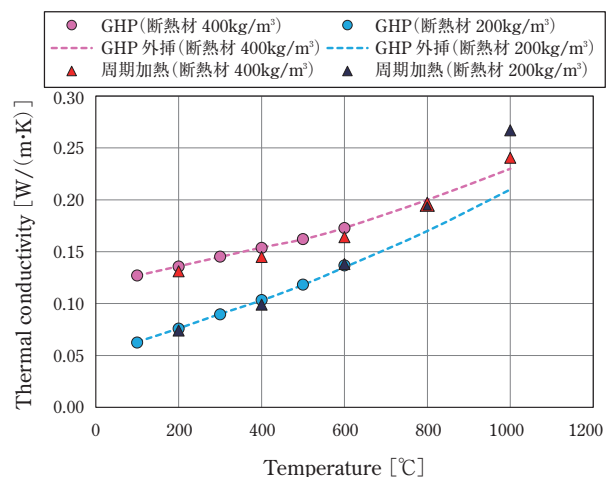
GHP法では、加熱板のヒーター出力を熱伝導率の算出に使うので、測定原理に基づいた1次元熱流を実現させるために繊細な温度制御が求められる。高い均熱性を求められ、加熱板が金属製になっているため常用600℃までとなる。一方、周期加熱法では、位相差および振幅比を熱拡散率の算出に使うので、GHP法と比較して単純な装置構成となっており、セラミックス製のパネルヒーターを使用できるため高温測定が可能となる。

4. 周期加熱法の国際標準化の効果

かさ密度が異なる2種類の断熱材の熱伝導率評価例を図Bに示す。今回国際標準化された周期加熱法による熱伝導率は、実測した熱拡散率から式（D）を用いて求めた結果である。

図Bから、周期加熱法とGHP法の600℃までの熱伝導率が同等であることを確認できた。また、周期加熱法ではGHP法よりも高い温度域まで評価可能である。そのため、周期加熱法では2種類の断熱材の熱伝導率が800℃を境に高低逆転する事象を確認できた。これは600℃までのGHP法による外挿結果からでは予測が難しいところである。このように、周期加熱法を用いることにより、高温域の予測が難しい断熱材の熱拡散率を国際規格に準じて実測できるようになった。

さらに、断熱材の比熱測定方法（DSC法）につ



図B 評価例

いても、建材試験センターが経済産業省の委託事業を受託し、産業技術総合研究所や熱分析装置メーカー、当社などと共同で国際標準化（ISO/CD 24144）に取り組んでいる。比熱測定方法（DSC法）も国際標準化されれば、熱伝導率を国際規格に準じて求めることができるようになる。

5. 転載情報

阿部、藤本、萩原、阿子島ら、第42回日本熱物性シンポジウム講演論文集、講演No.A315（2021）

【本 文】

ABSTRACT

The International Organization for Standardization (ISO) published “Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic heat method” in February 2021 as an international standard (ISO 21901: 2021). The issuance of this international standard will contribute to global energy conservation by properly evaluating the thermal insulating performance of thermal insulation materials in the high temperature range. In this study, we verified the effects of the specimen size and the measurement conditions on the measured thermal diffusivity. The thermal diffusivity measurements by the periodic heat method were affected by the specimen size and the period of temperature change. However, in period range of 900 s to 5400 s, effect of the specimen size and the period could be ignored by setting the ratio L/d of side length to thickness to 6 or more.

1. 緒言

国際標準化機構（ISO）において、Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic heat method「断熱材の熱拡散率測定方法（周期加熱法）」が、2021年2月に国際規格（ISO 21901:2021）として発行された¹⁾。この国際規格の発行により、断熱材の高温域における断熱性能を適正に評価でき、世界的な省エネルギー化に貢献できる。

当該規格の基盤となる技術は、大村氏（和歌山工業高等専門学校）がニチアス株式会社が在籍中に断熱材の熱拡散率測定用に応用した周期加熱法である^{2)～4)}。この周期加熱法を国際規格とすべく、2014年から国際標準化委員会（委員長：富村氏〔元熊本大学、TC163/SC1/WG19 コンビーナ〕）で技術的な検証や規格開発、国際提案等に取り組んできた。

本研究では当該事業における技術的な検証⁵⁾の一部として、熱拡散率測定値に対する試験片サイ

ズおよび測定条件の影響について確認した。断熱材の熱拡散率測定において、高温域で利用できる標準物質が存在しないため、実測結果とシミュレーションによる計算結果の両面から検証した。

2. 周期加熱法装置の概要

熱拡散率測定装置の概略を図1に示す。装置は、試験片の加熱面（上側）に周期的な温度変化を発生させるための周期ヒーター①、試験片の放熱面（下側）の温度を制御するための下部ヒーター②、試験片周辺の雰囲気温度を制御するための雰囲気ヒーター③等から構成される。試験片の加熱面、中央、放熱面の温度測定には直径0.3 mmのR型熱電対を使用した。また、試験片④を2枚積層して設置し、その間に挿入した熱電対⑤で試験片内部の温度を測定した。各ヒーターの外側には断熱材⑥を設置した。

本研究では試験片の辺長 L および厚さ d を変更し、その影響を確認した。本研究で用いた装置で

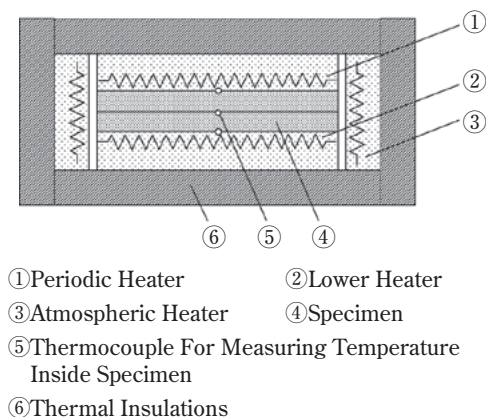


Fig. 1 Schematic of thermal diffusivity measuring apparatus

は、試験片の辺長と同じサイズの周期ヒーターおよび下部ヒーターが必要となる。したがって、厚さを変更した試験片の測定は同じ装置で実施できるが、辺長を変更した試験片の測定は同じ装置では実施できない。そのため本研究では、ニチアスで自作したヒーターサイズの異なる2台の装置を使用した。さらに、製作者（設計）の違いによる影響を確認するため、当該事業で（一財）建材試験センターに導入した英弘精機株式会社製の装置も使用し、合計3台を用いて検証した。

3. 試験片

検証には、かさ密度 $174 \sim 178 \text{ kg/m}^3$ の全て同じ製造ロットのアルミナ繊維質断熱材の試験片を使用した。厚さの影響の検証には、同等の辺長で異なる厚さの試験片を用いた。辺長の影響の検証には、同等の厚さで異なる辺長の試験片を用いた。なお、辺長サイズ毎に厚さ 10 mm と厚さ 20 mm の試験片を複数枚用意し、狙い厚さとなるように組み合わせて積層し、1組の試験片とした。測定値に対して、積層による影響がないことを事前に確認済である。

4. 結果および考察

4.1 厚さの影響

試験片の厚さと熱拡散率測定値の関係を確認した。結果を図2に示す。各プロットは、全て辺長 125 mm 試験片で、厚さだけが異なる試験片の熱拡散率測定結果である。なお、試験片の加熱面と

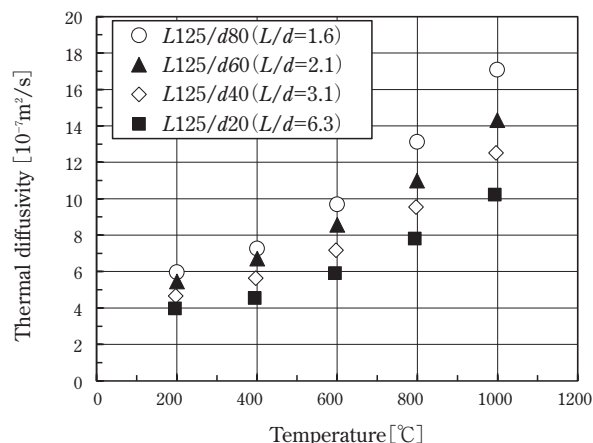


Fig. 2 Effect of thickness
($f = 3600 \text{ s}$, $L = 125 \text{ mm}$, apparatus: Nichias)

放熱面の平均温度を試験温度とした。図2より、試験片が厚くなるほど、各温度における熱拡散率測定値は高くなることが確認された。

4.2 辺長の影響

試験片の辺長と熱拡散率測定値の関係を確認した。結果を図3に示す。各プロットは、全て厚さ 40 mm の試験片で、辺長だけが異なる試験片の熱拡散率測定結果である。図3より、試験片の辺長が短くなると、各温度における熱拡散率測定値は高くなることが確認された。

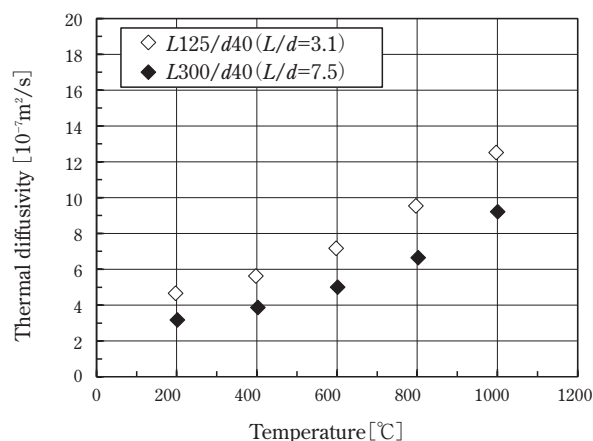


Fig. 3 Effect of side length
($f = 3600 \text{ s}$, $d = 40 \text{ mm}$, apparatus: Nichias)

4.3 厚さと辺長の影響の検証

図2および図3より、熱拡散率測定値に対する試験片の厚さと辺長の影響は大きいことが確認さ

れた。そのため、信頼できる測定値を得られる試験片サイズ範囲の規定が必要と考えた。そこで、試験片サイズを L/d （辺長 L と厚さ d の比率）で規定できると考え、 L/d と熱拡散率測定値の関係を検証した。

最初に、 L/d と熱拡散率測定値の関係をシミュレーションで確認した。シミュレーション条件を以下に示す。

- ・ソフトウェア：有限体積法 熱流体解析ソフトウェア SCRYU/Tetra®（株式会社ソフトウェアクレイドル製）
- ・解析方法：非定常伝熱解析
- ・解析領域：直方体の試験片
- ・加熱面の面内温度： $410+5\sin(\omega t)$ °Cで時間変化
- ・放熱面の面内温度：390°Cで固定
- ・側面温度：代表温度400°C，熱伝達率 $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- ・試験片の熱拡散率 a ： $5.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- ・試験片のかさ密度： $200 \text{ kg}/\text{m}^3$
- ・試験片の比熱： $1000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

シミュレーションによる計算結果を図4に示す。図の縦軸は真の熱拡散率（入力値：シミュレーションで計算をする際に設定した値）と公称熱拡散率（計算値：ある条件下でシミュレーション計算して得られた値）との差を示す。図4より、 L/d が高くなるほど、熱拡散率の計算値は入力値に近づき、 $L/d \geq 6$ で計算値は入力値と同等になるこ

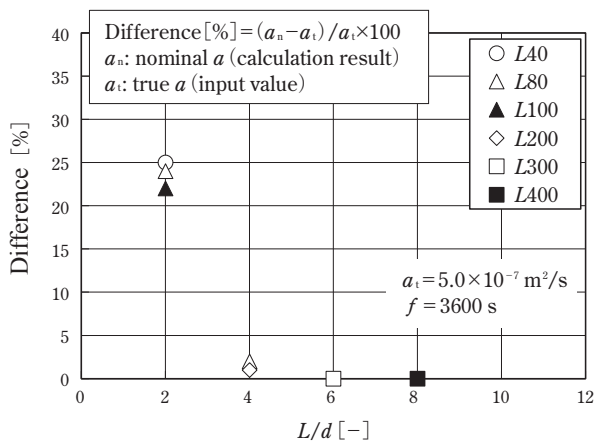


Fig. 4 Effect of L/d (calculation result)

とが確認された。

次に、 L/d と熱拡散率測定値の関係を実測で確認した。実測による検証結果を図5に示す。図5の実測による検証結果は、シミュレーションの検証結果と同じ傾向を示した。つまり、 L/d が高くなるほど熱拡散率測定値は低下し、 $L/d \geq 6$ で熱拡散率測定値はおおよそ一定になった。辺長が長く厚さが薄いほど、熱拡散率測定値に対する試験片側面部からの熱入出による影響を無視できると考えられる。

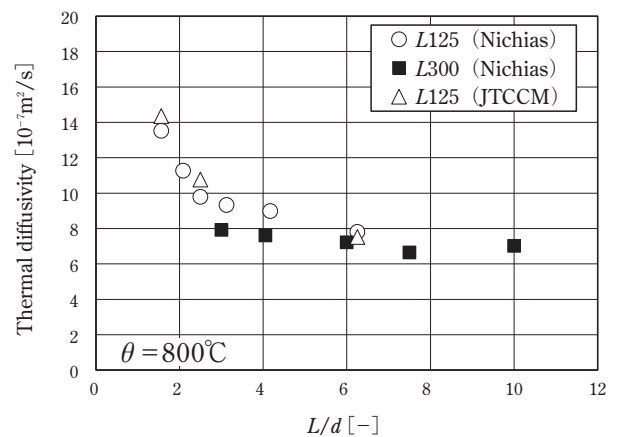


Fig. 5 Effect of L/d (measured result at $f = 3600 \text{ s}$)

また、異なる装置でも同様の結果を得られることが確認できたため、製作者（設計）の違いよりも L/d による影響の方が大きいことを確認できた。これらのことから、「試験片サイズとして $L/d \geq 6$ を推奨」と国際規格に規定した。

4.4 周期の検証

温度変化の周期についても、信頼できる測定値を得られる周期範囲があると考えられたため、周期と熱拡散率測定値の関係をシミュレーションで確認した。試験片サイズのシミュレーションによる検証と同様の条件で計算した。周期と熱拡散率測定値の関係に対する真の熱拡散率（入力値）と公称熱拡散率（計算値）の差を、試験片の L/d 毎に図6に示す。図6は熱拡散率と厚さを変更した検証の一例である。

図6より、周期が短く L/d が高くなるほど、熱拡散率の計算値は入力値に近づき、900 ~ 5400 s

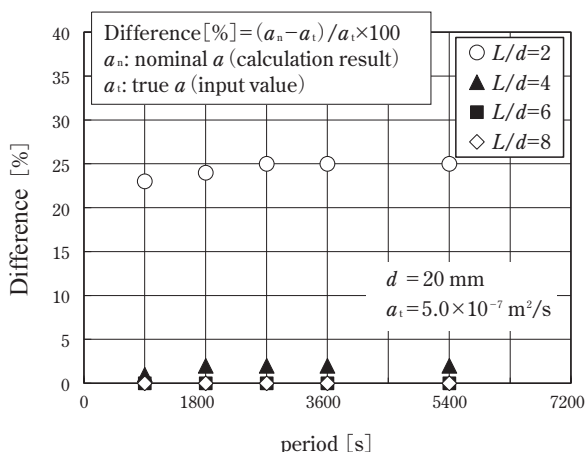


Fig. 6 Effect of period (calculation result)

の周期範囲であれば $L/d \geq 6$ で計算値は入力値と同等になることが確認された。

なお、シミュレーションによる検証と同様に実験による検証においても周期が短いほど測定条件として適切であることを確認できたが、実際の測定においては温度変化の周期が短すぎると時間の測定誤差が生じる。これらのことから、「周期を通常 3600 s」と国際規格に規定した。

5. 結言

周期加熱法による熱拡散率測定値は、試験片サイズおよび温度変化の周期に影響された。しかし、900 ～ 5400 s の周期範囲であれば辺長と厚さの比率 L/d を 6 以上とすることで、試験片サイズや周期の影響を無視できた。なお、熱拡散率から熱伝導率を求めるには比熱が必要である。断熱材の高温比熱を国際標準に基づき測定可能にすべく、

TC163/SC1/WG21（コンビーナ：阿部氏〔産業技術総合研究所〕）で断熱材の比熱測定方法（DSC 法）の国際標準化に取り組んでいる。

6. 謝辞

本研究に終始ご指導頂いた富村委員長（国際標準化委員会, 元 熊本大学, TC163/SC1/WG19 コンビーナ）に謝意を表す。実験にご協力頂いた高木氏（建材試験センター）に謝意を表す。本研究は「経済産業省平成 29 ～ 31 年度省エネルギー等に関する国際標準の獲得・普及促進事業委託費（省エネルギー等国際標準開発（国際標準分野）」の一環として実施した。記して謝意を表す。

NOMENCLATURE

- a : thermal diffusivity, m^2/s
- d : specimen thickness, mm
- f : period, s
- L : specimen side length, mm
- θ : temperature, $^{\circ}\text{C}$
- t : time, s
- ω : angular frequency, $1/\text{s}$

REFERENCES

- 1) ISO 21901:2021 Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic heat method
- 2) Carslaw H. S., Jaeger J. C., Conduction of Heat in Solids, Oxford (1959), 105-106.
- 3) T. Ohmura, Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour. Vol. 9, No. 1/2, Sept. (2001), 17-22.
- 4) T. Ohmura, M. Tsuboi and T. Tomimura, Int. J. Thermophysics, Vol. 23, No. 3, May (2002), 843-853.
- 5) JTCCM Achievement Report [Ministry 03] 'International Standardization of Methods for Measuring the Specific Heat of Thermal Insulations', (2020), 29-50.

耐熱・断熱製品の湿式脱水成形技術（後編）

～分散凝集技術の製品への応用～

研究開発本部 浜松研究所 堀 内 修

1. はじめに

当社では、用途に合わせさまざまな特性・機能を有する耐熱、断熱製品を製造・販売している。それら製品の一部は、製造工程において湿式で脱水成形を行っている。

製品特性は、その製品を構成する原材料と製品形態だけでなく、製造技術（成形技術、熱処理技術など）によって決定されるものも多い。

前稿（2021年4号）と本稿で、湿式成形におけるスラリー作製から脱水成形における当社の技術的アプローチについて紹介する。前稿では、耐熱・断熱製品の湿式脱水成形技術におけるゼータ電位について報告した。本稿では、湿式脱水成形でキーとなる、高分子凝集剤の選定におけるゼータ電位の活用例を紹介する。

2. 湿式脱水成形における高分子凝集剤の役割

湿式脱水成形製品においては、耐熱性や強度など必要な特性を発揮できるように原材料やその配合量を設計する。設計した配合の原材料を水中で混合し、メッシュを用いて脱水ろ過を利用して成形を行うが、その際、メッシュの目開きよりも小さい原材料はメッシュを通過してしまいろ過できない。そのため、高分子凝集剤を添加し、ろ過成形できるサイズの凝集フロックを形成する必要がある。

原材料を水中で混合（以降スラリーと表記する）した場合、原材料により異なる表面電荷（ゼータ

電位）を有する。正電荷同士または負電荷同士のよう同じ電荷を有する材料同士は反発しあい、正と負、逆の電荷を有する材料同士は凝集することが知られている。凝集フロックを形成するためにはスラリー中の原材料の電荷の総和をゼロとすることが理想であり、その役目を担うのが高分子凝集剤である。

高分子凝集剤を大別すると、正の電荷を持ったカチオン基を有するカチオン系、負の電荷を持ったアニオン基を有するアニオン系、カチオン基とアニオン基の両方をあわせ持つ両性、電荷を持たないノニオン系の4種類がある。適切な高分子凝集剤を選定するためには、各原材料や混合原材料のゼータ電位は欠くことのできない情報である。

次章から、無機繊維質成形品の検討用モデル配合を例に、高分子凝集剤の選定プロセスを解説する。第3章で、配合する原材料それぞれのゼータ電位測定結果、第4章で、原材料の投入過程におけるスラリーのゼータ電位測定結果、第5章では、取得したゼータ電位のデータを基にした高分子凝集剤の選定とそれを用いて湿式脱水成形した際の凝集フロック作製結果を記す。

3. 検討用モデル配合とゼータ電位測定結果

当社の高温用無機繊維質断熱材で使用する原材料を用いたモデル配合を使って、その活用例を以下に記す。表1にモデル配合に使用した原材料とおおよその重量比を示す。

表1 モデル配合

原材料	重量比
無機繊維	50
無機粒子	50
無機バインダA	20
無機バインダB	

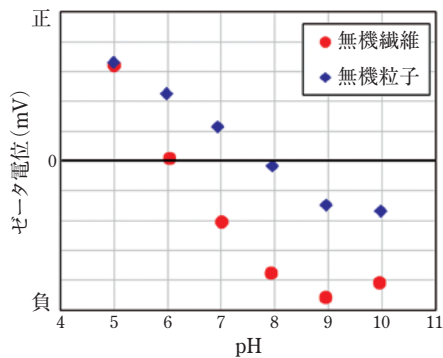


図1 無機繊維と無機粒子のゼータ電位

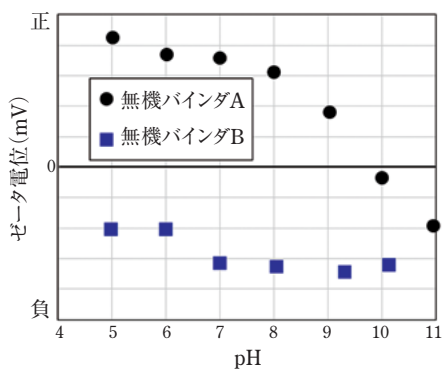


図2 無機バインダAと無機バインダBのゼータ電位

それぞれの原材料のゼータ電位測定結果を図1、2に示す。

無機繊維については、pH6にゼータ電位が0となる等電点があり、無機粒子については、pH7.9付近に等電点があることが分かる。また、無機バインダAはpH9.8付近に等電点があり、無機バインダBはpH4～11の範囲に等電点はなく、そのpH域では負のゼータ電位を持つことが分かる。

4. モデル配合のスラリー評価

前章で示した各原材料の投入過程においてスラリーのゼータ電位を測定した結果を図3に示す。グラフの第1軸は原材料投入過程におけるゼータ電位を棒グラフで、第2軸はpHをプロット（青）で

示す。投入は無機繊維、無機粒子、無機バインダA、無機バインダBの順で行った。また、それぞれの過程において、未定着で溶液中に分散している原材料を把握するために、ろ過液のカチオン・アニオン要求量をコロイド滴定装置で測定した結果を図4に示す。なお、カチオン・アニオン要求量とは、スラリーを等電点にするために必要なカチオンまたはアニオンの当量を示した値である。グラフの第1軸は図3と同様にゼータ電位を棒グラフ（赤）で、第2軸は原材料投入過程におけるろ過液のカチオン・アニオン要求量をプロットで示す。ここでは、黒塗りのプロット（■）はカチオン要求量、白抜きのプロット（□）はアニオン要求量である。

図3、図4を見ると、ゼータ電位やカチオン・アニオン要求量に変化が現れるのは、③の無機バインダAを添加した点である。無機バインダAを添加すると、無機バインダAがpH6.7で正のゼータ電位を示す。

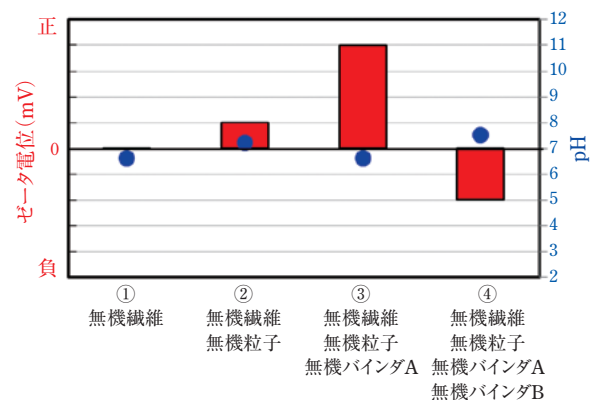


図3 原材料投入過程におけるスラリーのPHと原材料混合物のゼータ電位

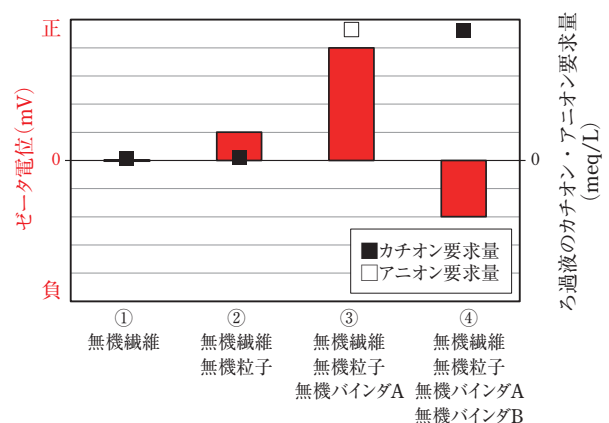


図4 原料投入過程におけるスラリー中原材料混合物のゼータ電位とろ過水のカチオン・アニオン要求量

タ電位を持つため、無機繊維または無機粒子に部分的に吸着することでゼータ電位が正となる。また、水中のアニオン要求量が増大している(図4)ことから未定着の無機バインダAが水中に存在していることが示唆される。

無機バインダBを添加すると、無機バインダBはpH7.6で負のゼータ電位なので、無機バインダAとBが極性的に引き合い凝集するとともに、正のゼータ電位を持つ無機繊維、無機粒子に定着していることが考えられる。しかし水中のカチオン要求量が増大している(図4の④)ことから、未定着の無機バインダBが水中に存在することが示唆される。

以上のように、原材料をすべて投入したスラリーはpH7.6であり、そこに負のゼータ電位を持つ無機繊維、わずかに正のゼータ電位をもつ無機粒子、正のゼータ電位の無機バインダAと負のゼータ電位の無機バインダBが引き合い凝集して無機繊維と無機粒子に定着している状態であるとともに、水中には無機バインダBが分散している状態が示唆される。

以上の評価結果を基に、湿式脱水成形に適した凝集フロックを形成するための高分子凝集剤の選定を次章で解説する。

5. 高分子凝集剤の選定と凝集フロック形成結果

今回のモデル配合におけるスラリーは原材料添加毎にpHが7前後を推移しており、原材料は正と

負のゼータ電位を持つものが混在している。そのため高分子凝集剤は、カチオン基・アニオン基を有する両性型を選定した。また、全ての原材料を配合した状態におけるゼータ電位は負である(図3)とともに、カチオン要求量(図4)から負のゼータ電位を持つ無機バインダBが水中に多く残っていることが分かるため、カチオン基がアニオン基よりも多い(=カチオンリッチ)高分子凝集剤を選定した。

高分子凝集剤の種類の決定とともに、高分子凝集剤の添加量の決定も重要な要素である。次に、添加量を3水準振った場合の効果の差異について説明する。添加量は、2Xは1Xに対して2倍、4Xは4倍量を示している。それぞれの添加量を配合し凝集フロックを形成、ゼータ電位を測定した。結果を図5に示す。またスラリーの外観を図6に示す。

図5より、高分子凝集剤添加量が多いほど、ゼータ電位はゼロに近づき、凝集しやすい状態になっていることが分かる。このスラリーを使った成形における成形歩留りに着目すると、高分子凝集剤量

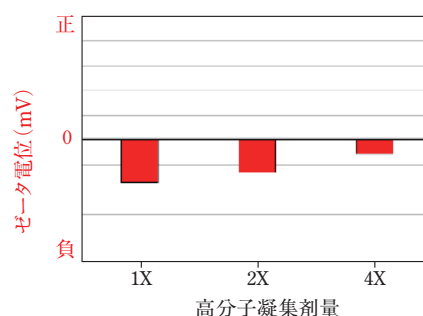


図5 高分子凝集剤添加時のゼータ電位

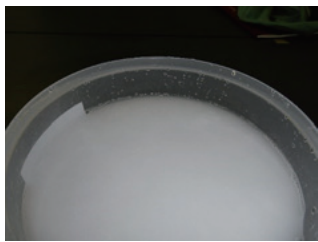
	高分子凝集剤量		
	1X	2X	4X
凝集フロックの状態			
	凝集弱め。無機粒子が凝集フロックから外れている	大きな凝集フロックが形成	2Xの凝集フロックがすこし細かくなった状態
成形歩留り	96%	100%	100%

図6 高分子凝集剤添加後の凝集フロック形成状態

が1Xの場合は、成形歩留りが96%程度と低い。なお、成形歩留りは、成形後のろ過水を乾固してメッシュを通過した原材料量を求め、投入原材料量から差し引いて算出した。図6の外観写真でもスラリーは白濁しており、凝集しきれていない無機粒子や無機バインダが脱水成形時、メッシュでろ過されずに成形体から抜けてしまったと考えられる。

高分子凝集剤量が2X、4Xの場合は、どちらも成形歩留りがほぼ100%であり、原材料のほぼ全てが含まれる設計どおりの凝集フロックができていることが示唆された。なお、この両者の凝集フロックサイズは異なり、成形体のかさ密度は凝集フロックサイズが小さいほど大きくなる傾向がある。凝集フロックの良し悪しは、2X、4Xのどちらが良いというものではなく、製品に必要なかさ密度に応じて高分子凝集剤量をその範囲で選ぶのが好ましい。

6. ま と め

本稿では、当社の湿式脱水成形製品におけるゼータ電位の活用例を紹介した。

使用する原材料のゼータ電位や等電点、さらにそれを混合したスラリーでのゼータ電位、ろ過液のカチオン・アニオン要求量を調べることで、適切な高分子凝集剤の選定するための有用な情報を得ることができることを示した。

当社では、今後もさらに本技術を探求し、新製品開発に活かしていく所存である。

参 考 文 献

- ・ゼータ電位 微粒子界面の物理化学
北原文雄, 古澤邦夫, 尾崎正孝, 大島広行
(株)サイエンティスト社
- ・【分野別】ゼータ電位利用集 ～基礎／測定／解釈・濃厚／非水系・分散安定等～
(株)情報機構
- ・翻訳 応用界面・コロイド科学ハンドブック
辻井薫, 高木俊夫, 前田悠 (株)エヌ・ティー・エス

筆者紹介



堀内 修

(執筆時) ニチアス株式会社
研究開発本部 浜松研究所
(現職) 国分工業株式会社

「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。



清水建設(株)殿と共同で、建設ロボットで施工可能なフリースアクセスフロアを開発

清水建設株式会社殿開発の双腕多機能ロボット「Robo-Buddy」で施工可能なフリースアクセスフロアを共同開発し、新大阪第5ドイビル建設工事（発注者：ドイ不動産株式会社）において採用され、現場で施工しました。現場での適用は今回が初めての試みとなります。

◇従来工法との違い

従来のフリースアクセスフロア施工では、技能工（職人）が100%手作業にて行います。1枚約10kgのパネルを中腰状態で何百枚も敷設するため、非常に体に負担のかかる工法になっています。

今回の工法は、ロボットが負担のかかる繰り返し作業を代替し、職人がロボットの対応できない部分を施工する【人・ロボットがお互いに苦手とする部分を補い合う工法】で、従来にはない新たな工法です。

◇将来の建設工事への適応に向けて

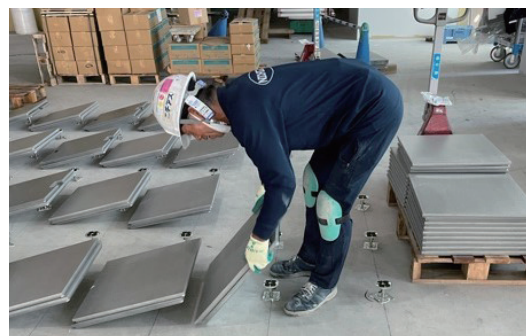
建設業界では、職人の高齢化が進み、深刻な人手不足時代の到来が懸念されています。

フリースアクセスフロアの施工省力化は、将来を見据えた重要な課題です。弊社では、今後も清水建設(株)殿とさらなる施工法の簡素化を進め、広く建築工事に適用できるよう、改良を進めていく所存です。

※「Shimizu Robo-Buddy」は、清水建設(株)の登録商標です。



ロボットによるフリースアクセスフロア施工
(写真提供：清水建設(株))



中腰状態での施工

フリースアクセスフロアとは

オフィス等で配線や空調機器を収納するために施工するフロアを指す。
フロア上には配線や空調機器が存在しないため、歩行や内装設備の設置が容易になる効果がある。



TOMBO™ No.6473 ニチアスオメガフロア®

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

No.395 2021/4号



- 〈新製品紹介〉 高温ユーティリティ用シートガasket
TOMBO™ No.1155「クリンシルネクスト™」
- 〈技術レポート〉 液化水素使用条件における当社シール材の評価
極低温シール試験と液化水素流通シール試験の検討
- 〈技術レポート〉 ファインフレックス BIO® 応用製品 ファインブロック® の高温加熱試験
- 〈技術レポート〉 耐熱・断熱製品の湿式脱水成形技術（前編）～分散と凝集の基礎～
- 〈製品紹介〉 非金属製伸縮継手
TOMBO™ No.9999-NA「NA ベロー Q®」

No.394 2021/3号



- 〈寄稿〉 化学反応から見たフッ素の特異性
- 〈技術レポート〉 ロックウールを使用した木造高断熱外壁の認定取得
- 〈製品紹介〉 ニチアスの建材分野におけるロックウール製品
- 〈製品紹介〉 耐火工事向け補助材料の紹介
～繊維質断熱材用の接着剤，表面処理材，目地埋め材～
- 〈受賞のお知らせ〉『エンジニアリング功労者賞』を受賞しました
- 〈特別企画〉 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

No.393 2021/2号



- 〈技術レポート〉 ユニオン継手の締付面圧とシール性の評価
- 〈技術レポート〉 ふっ素樹脂の結晶性の評価 ～ラマン分光法の適用～
- 〈新製品紹介〉 耐腐食ガス性・耐熱性 パーフルオロエラストマー
TOMBO™ No.2670-BNX-E「ゴム O リング プレイザー® ネクスト-E」
- 〈製品紹介〉 溶接火花受けクロス
TOMBO™ No.8300-S「耐火クロス S」
TOMBO™ No.8300-SW「耐火クロス SW」

No.392 2021/1号



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈寄稿〉 高温多湿気候下のインドネシアにおける低炭素アフォーダブル集合住宅の社会実装
－省エネ・低炭素と健康・快適性の両立－
- 〈製品紹介〉 高意匠けい酸カルシウム板
TOMBO™ No.6458「エコラックス® エンボス」「エコラックス® エンボスのき天塗装品」
- 〈製品紹介〉 断熱材付き遮熱カバー
TOMBO™ No.6600「インサルカバー®」断熱材付き仕様
- 〈製品紹介〉 ファインフレックス BIO® 応用製品
TOMBO™ No.5635「ファインフレックス BIO® ペーパー」

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.397 2022/2号は 2022 年 4 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/>

【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
宇都宮営業所	TEL (028) 610-2820
前橋営業所	TEL (027) 224-3809
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

【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

【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

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
海外営業部	TEL (03) 4413-1155
・建材事業本部	TEL (03) 4413-1161
・研究開発本部	TEL (03) 4413-1181

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 ・ドイツ ・チェコ ・メキシコ

- ・記載の内容は予告なく変更することがありますので、当社製品をご使用の際は、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。
- ・本冊子作成にあたっては内容の正確性に最大限の注意を払っておりますが、本冊子内のすべての情報、説明、推奨事項が、何らかの保証を行うものではないことをご承知ください。
- ・本冊子に記載の使用方法等が第三者の知的財産権を侵害しないことを保証するものではありません。
- ・本冊子に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。