

ニチアス 技術時報

No.385

2019 2号

Contents

【寄稿】

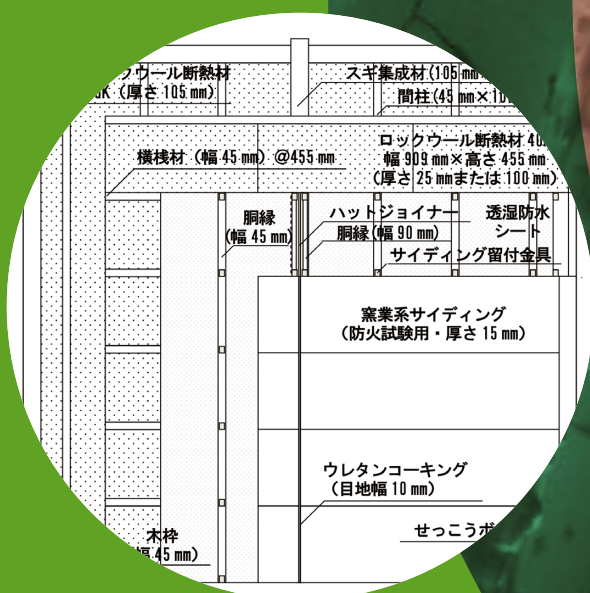
木造外壁の断熱工法と防火性能(上)
～ロックウール断熱材を用いた木造外壁による実験的検討～

【製品紹介】

TOMBO™ No.5520-D
「マキベエ® ダンネツ」採用事例

【技術レポート】

ニチアスにおける断熱材の高温熱伝導率測定
遊合形フランジ-ガスケットのCAE解析



ニチアス

目 次

【寄稿】

◆木造外壁の断熱工法と防火性能（上）

～ロックウール断熱材を用いた木造外壁による実験的検討～ 1

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 建築研究本部

北方建築総合研究所 建築研究部 建築システムグループ 主査（建築技術）

兼 建築性能試験センター 安全性能部 評価試験課 主査（防耐火） 糸毛 治

【製品紹介】

◆TOMBOTM No.5520-D「マキベエ[®] ダンネツ」採用事例 7

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高温熱伝導率測定 11

研究開発本部 浜松研究所 阿部 直毅

【技術レポート】

◆遊合形フランジ-ガスケットのCAE解析 17

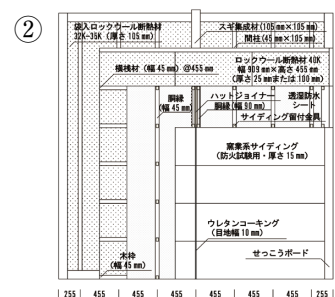
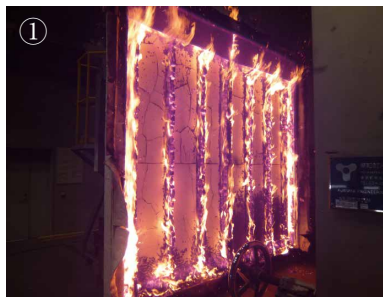
工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部 衣川 公彦

表紙写真：

木造外壁の防火試験で用いる試験体は、実際の外壁に使用される材料を用い、幅、高さがともに3mを超える大きさです。試験には専用の壁炉があり、火炎による加熱で試験を行います。

①炎に包まれる試験体

②試験体の設計図面



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桁のお客様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/>

木造外壁の断熱工法と防火性能（上）

～ロックウール断熱材を用いた木造外壁による実験的検討～

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 建築研究本部
北方建築総合研究所 建築研究部 建築システムグループ 主査（建築技術）
兼 建築性能試験センター 安全性能部 評価試験課 主査（防耐火）

糸 毛 治

1. は じ め に

住宅や建築物の断熱化は、建築物のエネルギー消費量を削減し、室内の温度環境の向上を実現する上で欠かせない技術であり、今や寒冷地のみならず全国的な基盤技術と言えます。

木造軸組構法や枠組壁工法など、日本で建築される木造外壁の断熱工法には、主に軸間に断熱材を充填する充填断熱工法、木造躯体の屋外側に断熱材を張る外張断熱工法、これらを組み合わせた付加断熱工法の3つがあります。また用いられる断熱材には、高い耐熱性を持つロックウール断熱材をはじめ、グラスウール断熱材や可燃性を有する各種発泡プラスチック断熱材などがあります。これら断熱材と断熱工法の組合せは多岐にわたり、木造外壁の断熱仕様は実に多様性に富んでいます。

一方、建築基準法では、建設地、規模、用途に応じて、建築物の主要構造部を防火構造や準耐火構造、耐火構造等とするよう定めており、主要構造部に該当する外壁は、断熱性能と防火性能の両方を兼ね備えることが求められます。鉛直荷重を支える外壁に必要な防火性能は、火災による加熱に対し、所定の時間、遮炎性、遮熱性、非損傷性の3つを保持し続けることです。遮炎性は外壁が火災を通さないこと、遮熱性は外壁越しに燃え移るような熱を通さないこと、非損傷性は外壁内の柱が座屈しないことをそれぞれ指します。

断熱された木造外壁が火災による加熱を受けた場合、壁内の断熱材は非加熱側への放熱を妨げて壁内の温度分布を大きく変化させます。特に、断

熱材の加熱側では高温となるため、柱や断熱材等の構成材料の性質や位置関係によっては、材料自体の燃焼や溶融が起これると想定されます。

従って、木造外壁では、断熱材と断熱工法の多様な組合せを持つに加えて、壁内の断熱材の設置位置・種類・厚さのそれぞれが防火性能に影響を及ぼし、その影響は複雑に重なり合います。

しかし、この木造外壁における断熱材や断熱工法と防火性能との関係は解明できておらず、木造外壁の断熱仕様と防火性能を関連付ける明確な指針は整備されていません。

そのため、防火性能を付与した木造断熱外壁の開発・評価は、断熱仕様ごとに個別に行われる状況にあり、多数の認定・試験が必要となっており、膨大な時間と費用を要しています。この問題は、新規壁体開発の停滞を招き、住宅・建築物の省エネルギー化の推進に向けて、外壁の高断熱化を図っていく上で障害となっています。

この問題の解決に向けて、断熱材や断熱工法が外壁の防火性能に及ぼす影響を明らかにするため、これまでロックウール断熱材メーカーであるニチアスをはじめ各断熱材メーカーの方々の協力を得ながら、実験的検討を積み重ねてきました。断熱材や断熱工法が防火性能に及ぼす影響は、断熱工法による断熱材の位置や厚みなど壁体構成に起因する影響と、断熱材自体の溶融や熱分解、燃焼など、断熱材の材料特性に起因する影響の2つに大別できます。本報では前者について、次報では後者について、それぞれこれまでに分かってきたことを報告します。

材より加熱側では高く、非加熱側では低く推移します（図3）。防火性能のうち、遮熱性・遮炎性は、壁内のロックウール断熱材が厚く、断熱性が増すほど向上します。しかし柱の座屈（非損傷性）に直結する柱の燃え進み方は、加熱方向に対する柱とロックウール断熱材との位置関係により異なります。

従って、ロックウール断熱材を用いた木造外壁の防火性能は、ある程度以上の断熱性能があれば、柱の座屈（非損傷性）で決まります。そこで柱の燃え進み方に着目して断熱工法との関係をみていきます。

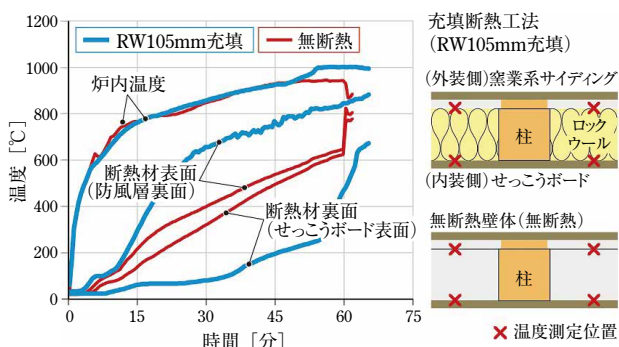


図3 断熱材の有無と各層の温度推移（屋外加熱）

2) 柱の座屈（非損傷性）

(1) 充填断熱工法と無断熱壁体

断熱材を軸間に充填すると、断熱材より加熱側では温度が高くなり、加熱側に位置する柱正面や柱角部が燃え進みます。一方、断熱材により被覆される柱側面では、柱の燃え進みが抑制されます。このように充填断熱材が非損傷性に及ぼす影響は、有利に働く面と不利に作用する面の二面性があります。

充填断熱工法における試験終了後の柱断面の形状は、この充填断熱材の作用により、無断熱壁体に比べて扁平な形状になります（図4）。柱断面の形状だけを見ますと、加熱側が燃え進んだ扁平な柱の方が、柱の断面二次モーメントは小さくなり、座屈しやすい形状です。しかし今回の試験では、充填したロックウール断熱材は、外装材を高温に曝し、外装材の脱落開始時間を早

め、さらに柱加熱側の損傷を促進させたにもかかわらず、柱側面を被覆することにより非損傷性を向上させる結果となりました。

この理由として、充填断熱工法では、柱が直接、熱を受ける無断熱壁体に比べて、ロックウール断熱材が柱側面を被覆することで、柱内部の温度上昇を抑えて、柱のヤング率低下および強度低下を抑制した可能性などが考えられます。

(2) 外張断熱工法と無断熱壁体

外張断熱工法では、断熱材と柱の位置関係が加熱方向により異なります。屋外側から加熱される場合、外張断熱材は柱より手前（加熱側）に位置し、屋内側から加熱される場合は柱の背後（非加熱側）に位置します。

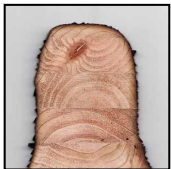
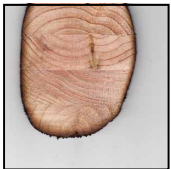
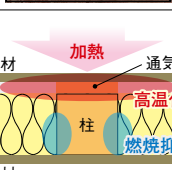
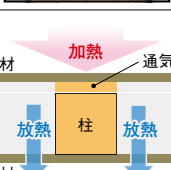
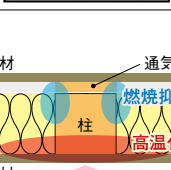
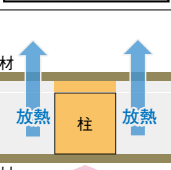
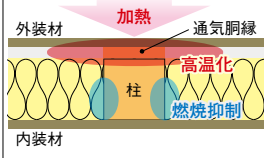
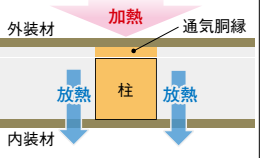
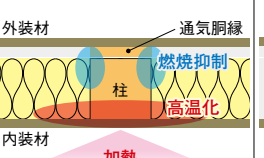
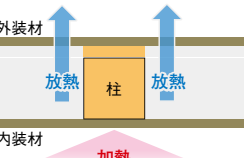
ロックウール断熱材を外張断熱材として用いますと、屋外加熱に対しては柱を被覆するとともに中空層温度を低く保って、柱の燃え進みを抑制して非損傷性を向上させます。

一方、屋内加熱に対しては、ロックウール断熱材は、柱・中空層から非加熱側への放熱を妨げるため、柱周辺部は柱側面を含めて高温となり、柱の燃え進みを促進させて、非損傷性上、不利側に作用します。なお、屋内加熱終了後の柱断面を見ますと、無断熱壁体に比べ小さく、柱はより燃え進んでから座屈していることがわかります。ロックウール断熱材を外張断熱材として用いる場合に配される横桟材が柱を背後から支えたとみられます。従って、屋内加熱時の防火性能は、断熱材による柱の燃え進みと横桟材による柱を支える働きの2つから説明できます（図5）。

(3) 付加断熱工法と充填断熱工法

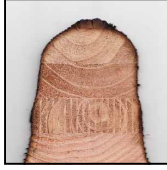
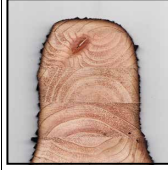
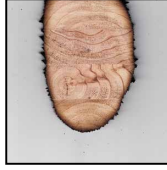
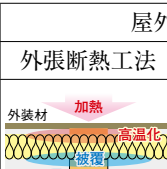
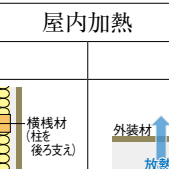
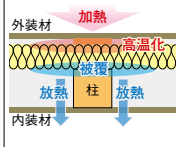
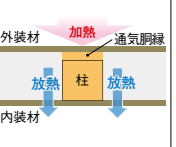
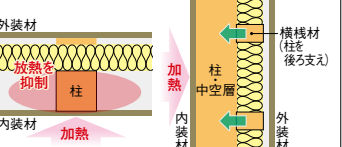
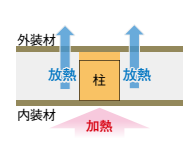
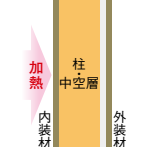
付加断熱工法における防火性能の特徴は、これまで見てきた充填断熱材と外張断熱材（付加断熱工法の場合、外張断熱材を付加断熱材と言います。）の働きから説明できます。

充填断熱工法の外壁に、付加断熱材としてロックウール断熱材を付加しますと、屋外加熱に対しては、付加断熱材が柱の被覆材となるため、ロックウール断熱材が厚いほど非損傷性は向上します。

	屋外加熱		屋内加熱	
	充填断熱工法	無断熱壁体	充填断熱工法	無断熱壁体
	105mm 充填		105mm 充填	
加熱時間	65.0 分	61.5 分	65.3 分	65.0 分
遮炎性を失った時間	—	—	—	61.2 分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	64.0 分	61.0 分	65.0 分	64.5 分
内外装材が脱落し始めた時間	46.1 分	60.0 分	40.0 分	55.0 分以降
屋外(外装材)側 試験終了後の柱断面*				
屋内(内装材)側				
模式図				

※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図4 充填断熱工法と無断熱壁体

	屋外加熱		屋内加熱		
	外張断熱工法	無断熱壁体	外張断熱工法		無断熱壁体
	25mm 外張		100mm 外張	25mm 外張	
加熱時間	75.5 分	61.5 分	60.5 分	58.0 分	65.0 分
遮炎性を失った時間	—	—	—	—	61.2 分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	75.0 分	61.0 分	59.8 分	57.0 分	64.5 分
内外装材が脱落し始めた時間	41.0 分	60.0 分	40.0 分以降	42.0 分以降	55.0 分以降
屋外(外装材)側 試験終了後の柱断面*					
屋内(内装材)側					
模式図					

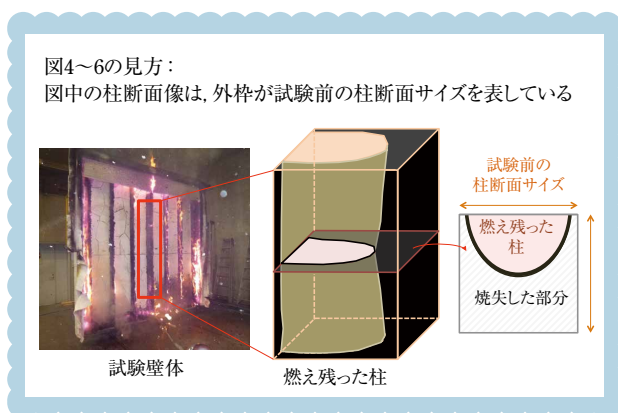
※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図5 外張断熱工法と無断熱壁体

	屋外加熱		屋内加熱		
	付加断熱工法	充填断熱工法	付加断熱工法		充填断熱工法
	25mm 付加	105mm 充填	100mm 付加	25mm 付加	105mm 充填
加熱時間	85.0分	65.0分	76.0分	73.0分	65.3分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	84.0分	64.0分	75.8分	72.4分	65.0分
内外装材が脱落し始めた時間	48.0分	46.1分	38.0分	45.0分	40.0分
試験終了後の柱断面*	屋外(外装材)側		屋内加熱		
	屋内(内装材)側		付加断熱工法		
模式図	屋外加熱		屋内加熱		
	付加断熱工法		付加断熱工法		充填断熱工法
		充填断熱工法			

※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図6 付加断熱工法と充填断熱工法



また屋内加熱に対しても、付加断熱層の横桟材が柱を支えて非損傷性が向上します。この時、付加断熱層の横桟材は充填されたロックウール断熱材によって被覆・保護されるため、外張断熱工法の時より断面欠損が進まず、柱を支える働きは持続します。その一方で、屋内加熱に対し、付加断熱材を設置しても柱の温度はあまり変化しません。充填断熱材だけで十分な断熱効果があり、付加断熱材が柱へ及ぼす伝熱的な影響は小さいと言えます（図6）。

4. ま と め

本報では、防火性能を付与した木造断熱外壁の開発・評価における負担低減を目指し、木造外壁の断熱仕様と防火性能との関係性を明らかにするため、高温下で溶融・燃焼等が生じないロックウール断熱材を用いた木造準耐火外壁を対象に、断熱工法が外壁の防火性能に及ぼす影響について報告しました。

防火性能のうち、遮熱性および遮炎性は、ある程度の断熱性能があれば確保できますが、柱の座屈（非損傷性）は加熱方向に対する柱と断熱材との位置関係に依存します。

断熱材と柱の座屈（非損傷性）との関係性について、充填断熱材は、断熱材より加熱側では柱の燃え進みを促進しますが、柱側面では柱を被覆・保護する二面性があり、ロックウール断熱材を用いた場合は、非損傷性は向上する結果となりました。一方、外張（付加）断熱材は、屋外加熱に対しては柱を被覆・保護して、非損傷性を向上させますが、屋内加熱に対しては、充填断熱材がない

場合、非加熱側への放熱を妨げて非損傷性を低下させます。また屋内加熱時、外張（付加）断熱層の横桟材は柱を支えて性能向上に寄与することがわかりました。次報では、グラスウール断熱材や発泡プラスチック断熱材を用いた場合として、断熱材の溶融や熱分解、燃焼等が防火性能に及ぼす影響について報告します。

なお、本稿は、（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所と断熱材メーカー 6 団体（ウレタンフォーム工業会、押出発泡ポリスチレン工業会、硝子繊維協会、発泡スチロール協会、フェノールフォーム協会、ロックウール工業会）との共同研究「木造高断熱壁体の防耐火性能の実大試験検証と評価手法の提案」（2014 ～ 2016 年度）の成果を中心に、これまでの北方建築総合研究所における防火研究の成果をまとめたものです。

参 考 文 献

- 1) （地独）北海道立総合研究機構：防火性能試験・評価業務方法書。

筆 者 紹 介

糸 毛 治

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
建築研究本部 北方建築総合研究所
建築研究部 建築システムグループ 主査（建築技術）
兼 建築性能試験センター 安全性能部
評価試験課 主査（防耐火）



防火構造・防火材料の性能評価機関のひとつとして性能評価業務に携わるとともに、主に、木造住宅の高断熱外壁と防火に関する研究に取り組む。

TOMBO™ No.5520-D

「マキベエ® ダンネット」 採用事例

建材事業本部 技術開発部

1. はじめに

不燃断熱材TOMBO™ No.5520-D「マキベエ® ダンネット」は、鉄骨柱・はりの耐火被覆材TOMBO™ No.5520「マキベエ®」の優れた断熱性、不燃性を生かし、断熱用途向けに開発した製品です。主に事務所ビルや店舗などの非住宅建築物において、防火上・火災安全上の観点から、可燃物である現場発泡ウレタンが使用できない部位に使用されています。ニチアス技術時報No.367(2014)では、「マキベエダンネット」の製品仕様・用途をご紹介いたしましたが、販売開始から5年が経過し、当初想定しておりました防火性が要求される部位の断熱用途以外でもご採用いただくことが多くなりました。そこで本稿では、「マキベエダンネット」の防火性が要求される部位での採用事例と防火用途以外での採用事例について、採用理由を交えてご紹介いたします。

2. 製品の概要

「マキベエダンネット」は、不織布補強アルミポリエステルフィルム（以下、不織布貼りALP）、

耐熱ロックウール、不織布の3層から構成されています。3層はそれぞれ異なる機能を有しており、不織布貼りALPは防湿性、耐熱ロックウールは断熱性、不織布は施工性を担っています。図1に製品外観を、表1に製品仕様を示します。

「マキベエダンネット」の物性値を表2に、吸音特性を図2に示します。



図1 製品外観

表1 製品仕様

厚さ (mm)	幅×長さ (mm)	梱包形態	不燃認定	ホルムアルデヒド放散等級
25	925 × 8000	ロール	NM-4117	MFN-2898 (F☆☆☆☆*)
50	925 × 4000			

※ホルムアルデヒド放散建築材料の放散速度に応じて分類される等級。F☆☆☆☆はホルムアルデヒドの放散量が少なく内装仕上の面積制限を受けることなく使用できます。

表2 物性値

項目	規格値
熱伝導率* (W/(m・K))	0.034 以下
不織布貼り ALP の透湿抵抗 ($\times 10^3 \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/ng}$)	82 以上 (JIS A6930 相当)

※ 25℃ ± 2℃, 25mm 品にて測定

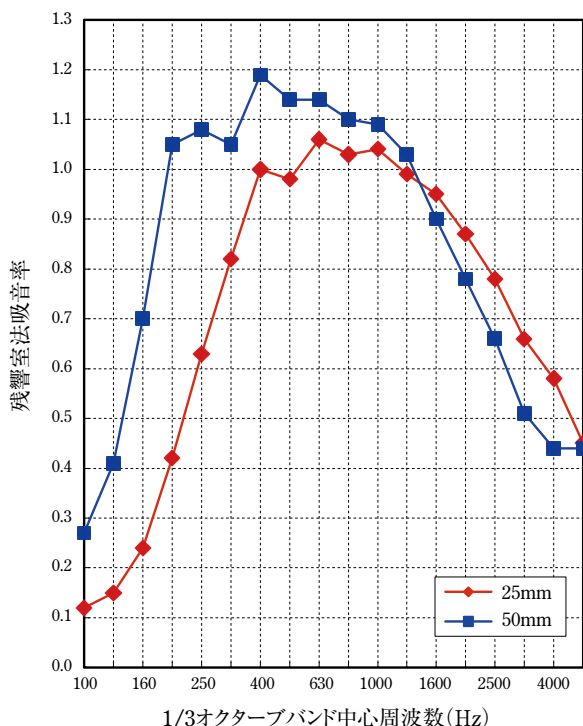


図2 吸音特性

3. 防火性が要求される部位での採用事例

地下駐車場やエレベータシャフトのように断熱性と防火性の両方が求められる部位では、現場発泡ウレタンを施工した後に表面に不燃処理を施す工事（以下、ウレタン不燃コート）を行うことが一般的です。ウレタン不燃コートでは、現場発泡ウレタン施工用の専用機械の準備やその設置場所の確保が必要なこと、専用機械の搬入・搬出に手間がかかることに加え、仕上げの不燃処理も行わなければならないため、工程が複雑になるという問題があります。

一方、「マキベエダンネット」は、素材自体が不燃材料であるため、不燃処理は不要です。また、

専用の機械が不要で施工が容易であること、吹付け作業がなく現場を汚さないことが評価され、ウレタン不燃コートに代わりご採用いただくことが増えています。

4. 防火用途以外での採用事例

4.1 機械室の断熱吸音用途

オフィスビルでは、機械室の壁や床の断熱吸音用途でよくご採用いただいています（図3）。



図3 機械室の断熱吸音用途での施工例

断熱吸音用途には一般的にグラスウール吸音板が使用されておりますが、グラスウール吸音板の表面は意匠目的でガラスクロスが施されており、防湿性は考慮されていません。このため、使用箇所によってはコンクリートと吸音板の界面で内部結露が生じることがあり、吸音板が吸水することによる性能劣化や表面にシミが広がることによる意匠性の低下が問題となります（図4）。

これに対し、「マキベエダンネット」の表面材は防湿層となっているため、断熱材内部への湿気の流入を防止し、内部結露の発生を抑制することができます。防湿層の有無による内部結露発生有無のイメージを図5に示します。

グラスウール吸音板で結露を防止するには、コンクリートに断熱層となる現場発泡ウレタンを施工した上から、グラスウール吸音板を施工する方法がありますが、複数工程の工事を要するためコスト増につながります。また、ウレタン上にグ

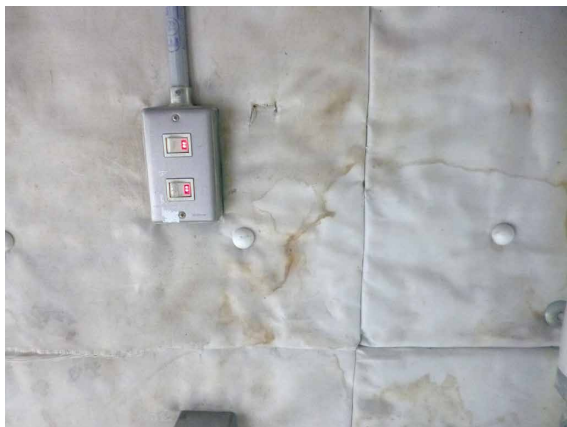


図4 グラスウール吸音板の内部結露によって発生した表面シミ

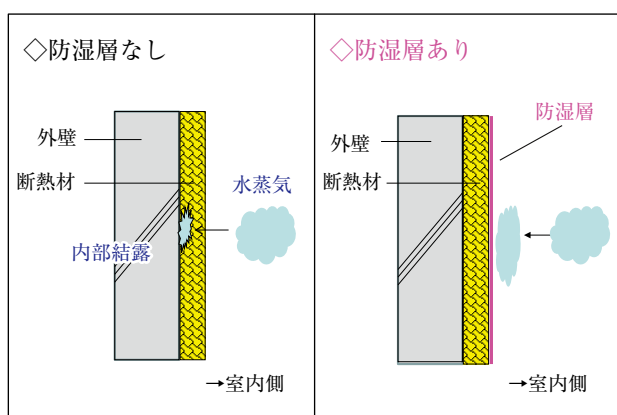


図5 内部結露発生有無のイメージ（防湿層なし、防湿層あり）

ラスウール吸音板を施工する方法では、コンクリートに直接固定できないため、吸音板を壁に留め付ける保持力が低下する問題があります。

そこで、断熱層と防湿層が一体で施工が容易な

「マキベエダンネット」を用いることにより、上記の問題が解決される上、断熱層の厚みを薄くできることから室内空間の確保にもつながるという利点もあり、ご好評をいただいています。実際に、グラスウール吸音板仕様から「マキベエダンネット」仕様にご変更いただいた例を図6に示します。

4.2 フリーアクセスフロア下の断熱用途

フリーアクセスフロアとは、オフィスでの配線を格納できるように床下に空間を設けた二重床構造のフロアシステムです。弊社では製造・販売・施工までを一貫して行っております。

近年のビル建築においては、図7に示すような床下空調を設置してこのフリーアクセスフロア下を空調し、室内温度を制御する建物が増えていま

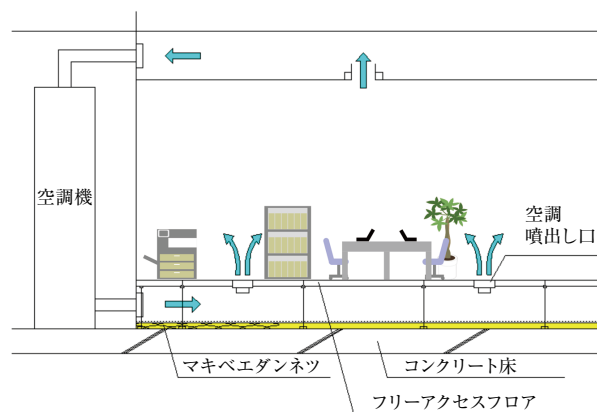


図7 床下空調

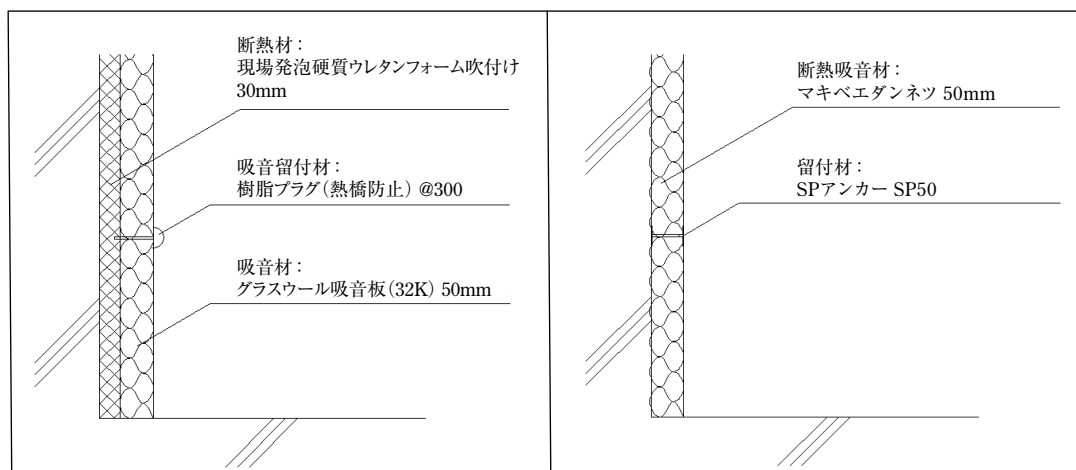


図6 現場発泡ウレタン+グラスウール吸音板（左）から、マキベエダンネット（右）に仕様変更した事例

す。床下空調の建物では空調の熱が躯体側へ逃げないように断熱処理を行う必要があります。

これまで実際の施工現場では、弊社がフリーアクセスフロアの敷設工事を完了させた後に、断熱工事業者がフリーアクセスフロアを一度外して断熱工事を行い、再びフリーアクセスフロアを敷設し直す工程の手戻りが施工上の問題点となっていました。しかし、「マキベエダンネット」の上市により、弊社がフリーアクセスフロア工事と同時に、断熱工事もセットで行うことが可能になりました。これにより、工程の分断による手戻りがなくなるだけでなく、お客様には弊社1社でフリーアクセスフロア工事と断熱工事をご依頼いただけるようになったため、施工管理が容易で、現場担当者様の負担も軽減されるというメリットも生まれ、ご好評いただいています。図8には「マキベエダンネット」を断熱材に用いたフリーアクセスフロアの施工例を示します。



図8 「マキベエダンネット」を断熱材に用いたフリーアクセスフロアの施工例

5. 今後の展望

現在、建築業界全体が施工者不足であり、特に施工技量を持ったベテランの技能工は減少傾向にあります。現場発泡ウレタンは、施工時に性能が決まる製品のため、被施工面であるコンクリートの温度管理、施工時の発泡倍率管理、均一に吹き付けられる技量などが総合的に求められます。「マキベエダンネット」のような工場生産で性能・品質が安定しており、施工技量に頼らない製品の需要はますます増加すると考えられます。また、今後も吸音性を生かした断熱吸音用途、工程管理の容易さを生かした他工事とのセット工事のように、「マキベエダンネット」の使い勝手の良さを生かした新たな用途開発も進めていく所存です。

6. おわりに

本稿では、不燃断熱材「マキベエダンネット」の採用事例を中心にご紹介しました。本稿が非住宅建築物における不燃断熱材普及と新たな用途開発の一助となれば幸いです。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)の商標または登録商標です。

*「マキベエ」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高温熱伝導率測定

研究開発本部 浜松研究所 阿 部 直 毅

1. は じ め に

ニチアスの「断つ・保つ」技術要素のひとつである「断熱」技術は、世界規模で高まりをみせる省エネルギー化やCO₂排出量削減などの課題に対して大きな役割を担う技術である。当社は断熱材メーカーとして図1に示す通り、極低温から1500℃を超える高温域で使用される断熱材をラインアップし、幅広い業界で「断熱」技術を支え

てきた。本稿の主題である熱伝導率はこれら製品の性能を示す指標である。

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難い、つまり断熱性能が高いことを示す。断熱材メーカーだけでなく、ユーザーにとっても製品評価や熱設計を行う場面において、熱伝導率はなくてはならない材料特性である。

熱伝導率は断熱材を構成する材質が同じであっ



図1 当社の主な断熱材製品

でも、骨格となる材料の形状や結晶状態、空隙の占有比率やサイズなど、構造の微細な違いによって変化する。また、温度などの使用環境にも大きな影響を受けるため、製品や仕様ごと、使用環境に合わせた適切な測定が求められる。

幅広い断熱材ラインアップを持つ当社では、研究開発から品質管理まで、すべてのステージで重要な材料特性となる熱伝導率に関して、その測定環境を拡充してきた。当社には、プラントや工業炉など、高温域で使用される断熱材の要求が多くよせられる。また、航空宇宙分野などからは真空中で使用する断熱材の要求もあるため、さまざまな熱伝導率測定環境に対応できる体制を整えている。

本稿では、当社における高温熱伝導率測定に関して測定事例を添えて紹介する。

2. 高温熱伝導率測定方法と原理

2.1 当社における高温熱伝導率測定

熱伝導率の測定方法は、定常法と非定常法に大別される。一般的な測定方法を図2に示す¹⁾。

定常法とは、試験体に一次元方向の定常熱流を与え、試験体の温度勾配から熱伝導率を直接求める方法である。これに対して非定常法は、試験体を加熱した際の温度変化から主に熱拡散率を求める。試験体の比熱と密度と熱拡散率の積から熱伝導率を間接的に求める方法である。

当社の熱伝導率測定は、保護熱板法（Guarded

Hot Plate method, 以下GHP法）、熱流計法、周期加熱法、熱線法の4種の手法を用いている。それぞれ、特徴に合わせて使い分けをしているが、特に高温での熱伝導率測定に広く活用されているGHP法と周期加熱法について、その利用法と簡単な測定原理を説明する。

2.2 保護熱板法（GHP法）

GHP法は断熱材の熱伝導率測定方法として国際的に規格化されている絶対法である。当社でも、ロックウールやけい酸カルシウム板といった汎用断熱材をはじめとした、幅広い高温断熱材製品の測定に利用している。しかしながら、当社の装置では試験体サイズが大きい（300mmφ）、常用の測定上限温度が600℃であるなど制約も多く、製品の品質管理には好適だが、研究開発用途には不向きな面もある測定法である。

〔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 $\Delta\theta$ [℃] から、熱伝導率 λ [W/(m・K)] を(1)式より求める方法である。

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

GHP法には試験体2枚方式と1枚方式があるが、標準的な2枚方式の模式図を図3に示す。(1)式に示した熱流量 Q は、加熱板（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

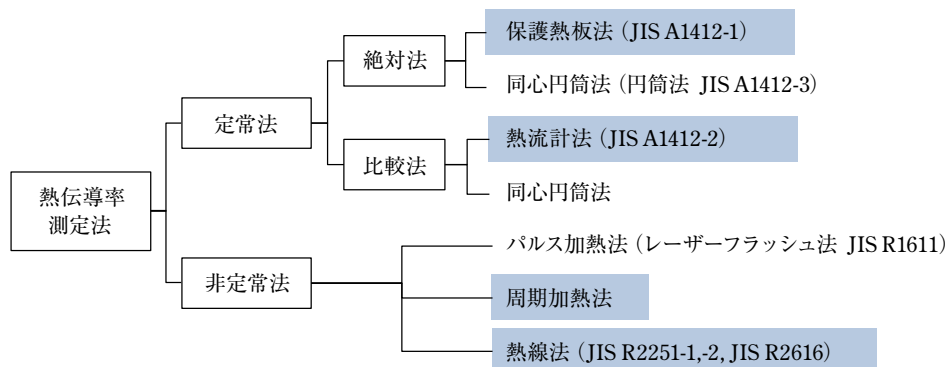


図2 一般的な熱伝導率測定方法

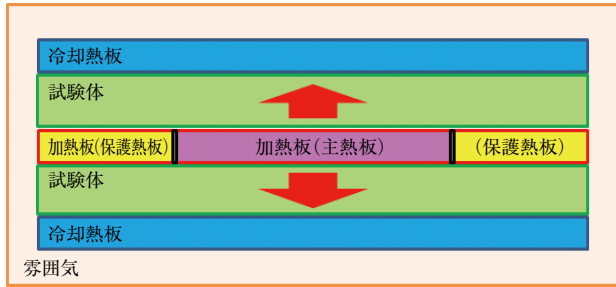


図3 GHP法の模式図（2枚方式）

方向への一次元熱流であることが求められる。加熱板（主熱板）から側面方向への熱流の拡散を防ぐために、加熱板（主熱板）の周囲に同じ温度に制御された加熱板（保護熱板：Guarded Hot Plate）を配しているのが本装置の特徴である。

2.3 周期加熱法

金属の熱物性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、当社は断熱材のような多孔質材料の測定ができる装置を独自開発した。本装置では、GHP法の測定限界を超えた高温域の測定や、研究開発用途に適した小サイズの試験体の測定も可能とした。また、装置構造を単純化することにより、真空下における測定など、拡張性も高い装置となっている。次章では本測定法の測定事例についても紹介する。

[測定原理]

周期加熱法の模式図と温度波形を図4に示す。

周期加熱法では、試験体の上下面にヒーターを

設置し、上部ヒーターにより厚さ方向に周期的な温度変動を与え、下部ヒーターにより下面を一定温度に制御する。この時、試験体上面から中間面に温度変動が伝播する際、位相差（時間差）を生じる。周期加熱法では、この位相差から熱拡散率を求め、別途求めた比熱と密度との積から熱伝導率を算出する。

試験体の全体厚さを d [m]、下側の試験体厚さを x [m] とすると、位相差 ϕ [rad] は、次式で表される。

$$\phi = \arg \left\{ \frac{\sinh \kappa x (1+i)}{\sinh \kappa d (1+i)} \right\} \quad (2)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{\omega}{2a}} \quad (3)$$

ここで、 κ [m^{-1}] は減衰係数、 i は虚数であり、 ω [s^{-1}] は角振動数、 a [m^2/s] は熱拡散率である。 f [s] を周期とすると、 ω は次式で表される²⁾。

$$\omega = \frac{2\pi}{f} \quad (4)$$

以上から、測定した位相差を (2) 式に代入することで減衰係数を求め、(3) 式に代入して熱拡散率を得る³⁾。さらに熱伝導率 λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] を (5) 式から求める。 c [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] は比熱、 ρ [kg/m^3] は密度である。

$$\lambda = \rho \cdot c \cdot a \quad (5)$$

当社が保有するGHP法装置と周期加熱法装置の特徴を表1にまとめて示す。測定の目的や用途、材料などから適切な測定方法を選定している。

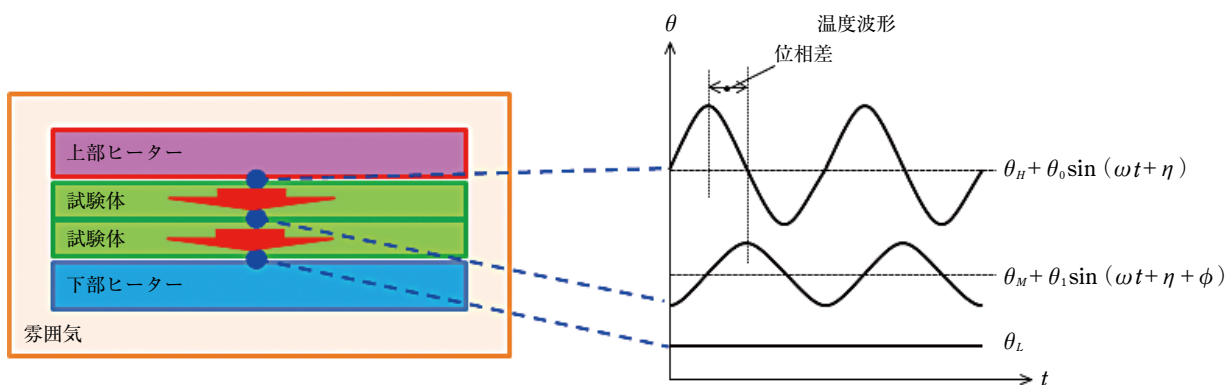


図4 周期加熱法の模式図と温度波形

表1 当社のGHP法装置と周期加熱法装置の特徴

測定方法		GHP法	周期加熱法
規格	JIS	A 1412-1	—
	ISO	8302	ISO/WD21901*
	ASTM	C177	—
測定温度範囲（常用）	[℃]	～ 600	～ 1000
雰囲気圧力	大気圧下	○	○
	真空下	×	○
試験体サイズ	[mm]	300 φ	□ 125 × 125 □ 300 × 300
測定熱伝導率範囲	[W/(m・K)]	～ 0.2	～ 2.0
主に適用される試験体		ロックウール製品 けい酸カルシウム板	高温耐熱ボード 低熱伝導ボード

※（一財）建材試験センターが中心となり測定方法の国際標準化を推進中

3. 当社における高温熱伝導率の測定例

本章では独自開発した周期加熱法装置による測定例を紹介する。GHP法では測定範囲外となる1000℃までの高温域における測定と、拡張事例として真空下での測定結果を示し、そこから得られる情報の有用性について解説する。

3.1 高温耐熱ボードの測定例

高温熱伝導率の測定例で使用した、当社の高温耐熱ボードXおよびY（以下、ボードXおよびボードY）の概要を表2に示す。

2種類の試験体は構成材料が同じであるが、配合比率を変えることで異なる密度になっている。本試験体の100～600℃におけるGHP法および200～1000℃における周期加熱法による熱伝導率測定結果を図5に示す。

各試験体について、GHP法と周期加熱法による

測定結果を比較すると、GHP法の上限温度である600℃までは両装置による熱伝導率はほぼ一致している。周期加熱法でさらに高温まで測定した結果を見ると、試験体2種類の熱伝導率が800℃以上で高低逆転していることが観察できる。

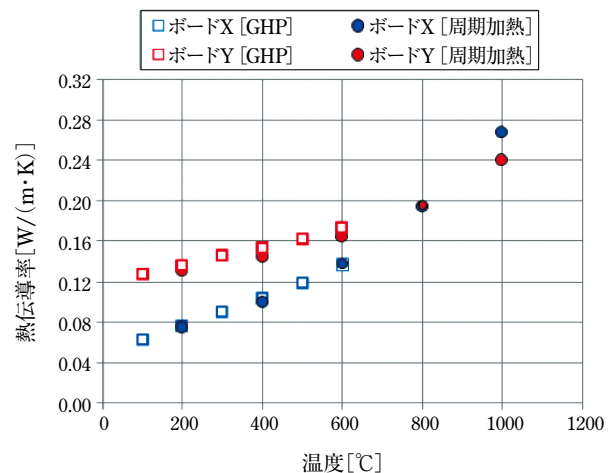


図5 高温耐熱ボードの熱伝導率

表2 試験体の概要

名称		ボードX	ボードY
構成材料		アルミナファイバー アルミナ粉末 有機および無機バインダー	同左
高密度 [kg/m ³]		200	400
空隙／固体の体積比率 [%]		95 / 5	90 / 10
サイズ [mm]	GHP法	300 φ, 25 ^t (2枚)	同左
	周期加熱法	300 × 300, 25 ^t (2枚)	同左

これは2つの耐熱ボードの密度差から、ふく射伝熱の上昇傾向に差異を生じたことによる現象であるが、断熱材では、このような温度域で熱伝導率が逆転する事例は多く見受けられる。本装置を用いて広い温度域を測定できることは、温度で変化する熱伝導率の挙動を的確に捉え、確度の高い製品選定や熱設計につながる有用な情報が得られる。当社ではさらなる高温域の測定を目指して測定法の研究を進めている。

3.2 周期加熱法による真空下における測定例

近年、航空宇宙に代表される特殊な産業分野から、真空下における高温熱伝導率の測定要求がよせられている。この要求に応えることは、単にお客様からの直接的なニーズに応えるだけでなく、当社の断熱材開発に大きな役割を果たしていることを紹介する。

測定例として、前述のボードXの大気圧下および真空下（10Pa）における熱伝導率測定結果を図6に示す。本測定では、前述した装置とは異なり、125×125×10⁴mmの試験体を2枚使用し、同一試験体で圧力条件のみを変更している。

ボードXの真空下の熱伝導率は、大気圧下に比べ200℃で70%、1000℃では40%低下している。

このように、真空下では気体伝導伝熱が排除されるため大気圧下に対して熱伝導率が低下することは一般的にもよく知られた現象である。当社ではこの測定結果をもとに、断熱材の各伝熱要素を

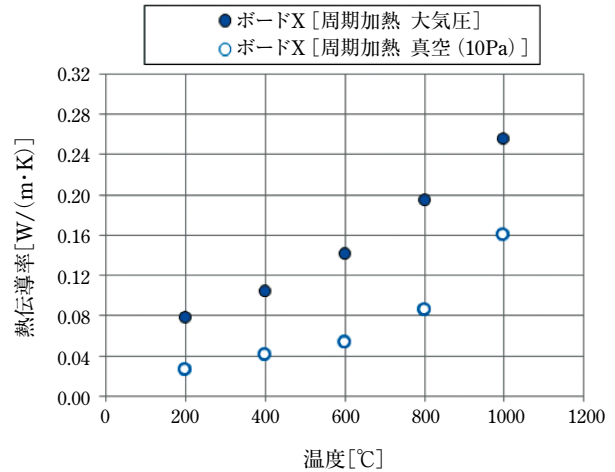


図6 大気圧下および真空下における熱伝導率の測定例

切り分けて近似式化することにより、断熱材の設計に活用している。

まず、断熱材における伝熱要素を図7に示す⁴⁾。

断熱材の伝熱は、固体伝導、気体伝導およびふく射による伝熱の総和である。したがって、断熱材の熱伝導率 λ は次式で表される。

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_g + \lambda_r \quad (6)$$

ここで、 λ_s は固体伝導、 λ_g は気体伝導、 λ_r はふく射による伝熱に由来する熱伝導率を示している。当社では、固体伝導とふく射の伝熱要素のみを抽出した真空下の熱伝導率測定データから(6)式を基に、断熱材の熱伝導率の近似式を導出している⁵⁾。

$$\lambda = A\rho + \lambda_g + \frac{B}{\rho} T^3 \quad (7)$$

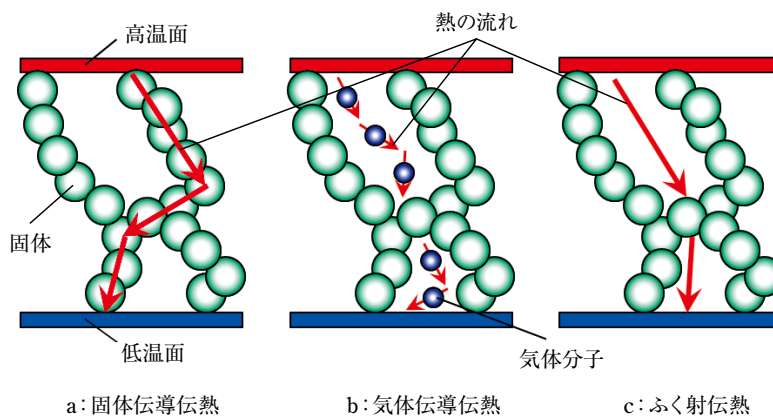


図7 断熱材における伝熱要素

(7) 式の右辺第1項、第2項および第3項は、(6) 式の各項に対応する熱伝導率を表す。Aは固体伝導熱に関する係数、Bはふく射伝熱に関する係数、 ρ は密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、 T は絶対温度 $[\text{K}]$ である。

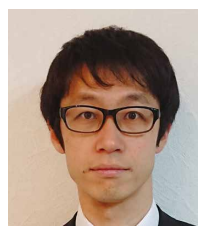
(7) 式の近似式を使って各伝熱要素それぞれの温度依存性を把握することは、断熱材の最適な材料や構造を決定する上で有益な情報を与えてくれるものである。当社における熱伝導率測定は、断熱材の設計や開発を下支えする役割も果たしている。

4. お わ り に

当社では、熱伝導率測定に関して、測定精度の向上、測定範囲の拡大などの研究に継続的に取り組んできた。今後もこの研究を加速させ、熱伝導率測定を通して当社の断熱材開発や生産に寄与し、さらにお客様の断熱技術をサポートしていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 熱物性値測定法, 養賢堂, 日本機械学会, 1991, P2.
- 2) H. S. Carslaw, J. C. Jaeger: Conduction of Heat in Solids, OXFORD 105-106 (1959).
- 3) 大村: 周期加熱法の低温下における熱伝導率測定への応用, ニチアス技術時報, 365, 20-24 (2014).
- 4) 安藤, 大利: 断熱材低熱伝導化のためのふく射散乱材設計技術, ニチアス技術時報, 371, 5-8 (2015).
- 5) 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).



阿部 直毅

研究開発本部 浜松研究所
断熱材の熱伝導率測定に関する研究に従事

特化則※適用対象外の耐熱性に優れたウール

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®

ファインフレックスBIO®バルク	ファインフレックスBIO®紡織品
ファインフレックスBIO®ブランケット	(クロス、テープ、コード、ツイストロープ、ブレードロープ)
ファインフレックスBIO®LTブランケット	ファインフレックスBIO®ボード
ファインフレックスBIO®ペーパーA/R/M	ファインフレックスBIO®モールド
ファインフレックスBIO®キャスト	



※特化則: 特定化学物質障害予防規則
※「ファインフレックスBIO」はニチアス(株)の登録商標です。

遊合形フランジ-ガスケットのCAE解析

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部 衣川 公彦

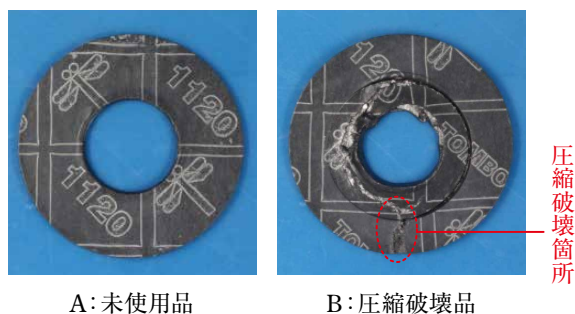
1. はじめに

ガスケットは流体の漏れを防ぐため配管・機器部品に使用されるシール材であり、石油精製・石油化学、造船、電力、鉄鋼などあらゆる産業分野で重要な役割を担っている。

漏れを防ぐためには適正にボルトを締付け、ガスケットに必要な応力をかけることが重要である。応力が高すぎる場合、ガスケットが圧縮破壊し、漏れにつながる危険がある（図1）。

ガスケットにかかっている応力（以降ガスケット応力）を実測することは難しく、ガスケット応力の把握に近年ではCAE（Computer Aided Engineering：コンピュータ支援工学）による解析を活用している。

そこで本稿ではCAE解析を使ったシミュレーションにより、どのような場合にガスケットの圧縮破壊が起きやすく、何に注意すべきかを検討した。



A: 未使用品

B: 圧縮破壊品

図1 圧縮破壊したガスケット

2. ガスケットとフランジ

ガスケットはフランジに挟みボルト、ナットなどで締付けて使用される。

フランジにはJIS規格、JPI規格をはじめ各種規格がありフランジの種類も溶接式フランジや遊合形フランジなどがある（図2）。さらに圧力ごとにさまざまな寸法があり、各種用途に応じて適宜選定されている。

フランジは、ボルトの締付けにより、図3のように若干のたわみが生じている。これをフランジローテーションという。そのため、図の赤矢印で示すガスケット応力は、外径側が高く、内径側が低くなる。



A: 溶接式フランジ



B: 遊合形フランジ

図2 フランジ各種

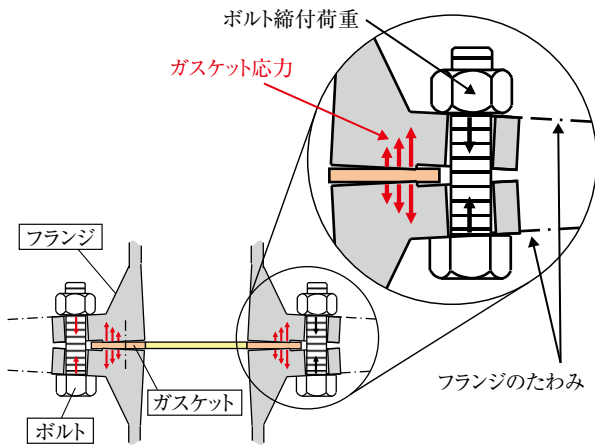


図3 フランジローテーション

本稿では遊合形フランジを使用する際、どのような場合に圧縮破壊が起きやすいか、また使用の注意点はどのようなことがあるかCAE解析を用いて検討することとした。

3. 遊合形フランジの特徴

遊合形フランジの構造を図4に示す。遊合形フランジは座面を形成する管継手と組み合わせて使用される。フランジと管継手が分離する構造であり、フランジが自由に回転するため施工性が良い。また両部材間にはクリアランスが存在する。

フランジの材質を変えることもでき、経済的なメリットもある。

この遊合形フランジで使用される管継手には石油精製や石油化学などのプラントで使用されるスタブエンドとビル設備などの建築業界で使用されるつば出し配管の2種類があり、構造が異なる(図5)。

スタブエンドは座面まで切削加工で作製されるので、寸法精度などは高い。つば出し配管は配管端部をつば出し加工し座面を作製するため、内径側にRが存在する。また寸法精度が低く、座面に角度がつきやすく、座面角度には許容差が設定されている(図6)。

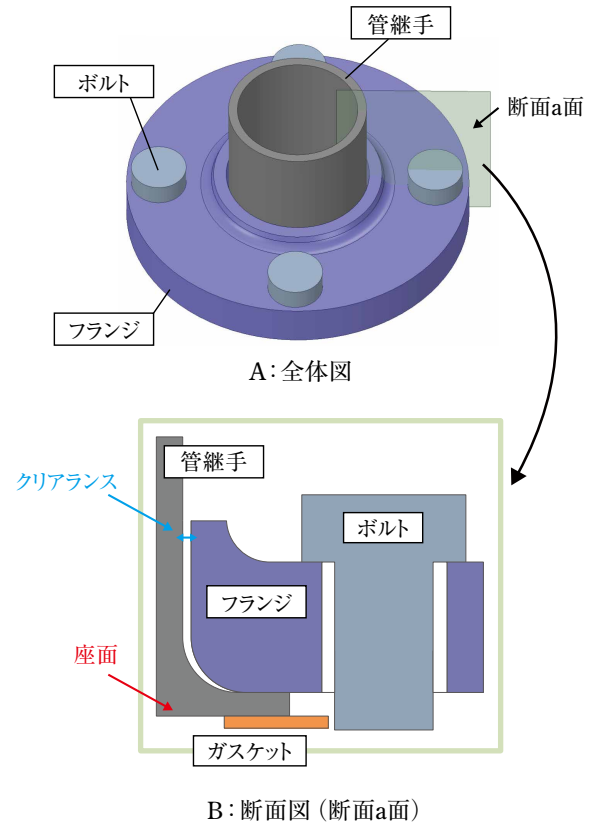


図4 遊合形フランジの構造

座		スタブエンド	つば出し配管
規格		JIS B 2220, JPI-7S-15	SAS 363
図	全体		
	座		
座の加工方法		切削加工	つば出し加工
規格値	管継手内径側のR	—	1 ~ 4
	座面角度	0°	±1°

図5 遊合形フランジの管継手種類

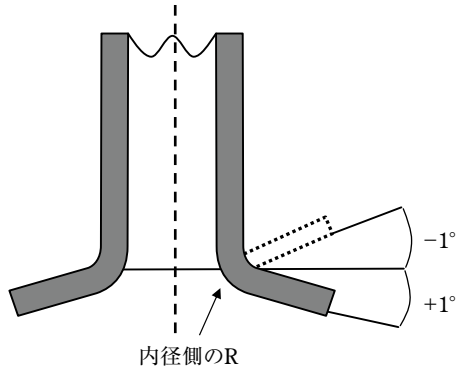


図6 つば出し配管の構造と座面角度の許容差

4. CAE解析モデル

一般的に使用される溶接式フランジと遊合形フランジについてガスケット応力およびフランジ、管継手の応力、変形挙動をCAEで解析した。

遊合形フランジにおいては、管継手の内径側にRがなく、座面に角度がつかない「スタブエンド」、管継手内径側にRがあり座面に角度がつきやすい「つば出し配管」の管継手について解析を行った。解析したフランジと管継手の組み合わせを表1に示す。

表1 フランジと管継手の組み合わせ

モデル名称	溶接式	遊合形①	遊合形②	遊合形③
フランジ	溶接式	遊合形		
管継手	－	スタブエンド	つば出し配管	
管継手 内径側のR	－		あり	
座面角度	－	なし		あり

解析は、ジョイントシートの標準グレードであるTOMBO™ No.1995で、締付けはガスケット応力34.3N/mm²になる荷重をボルトに負荷させたモデルで行った。管継手およびガスケットの位置は遊合形フランジの中央とした。つば出し配管の座面角度は、規格値を越えてつば出し加工がされる可能性があることを想定し5°と設定した。詳細な解析条件を表2に示す。

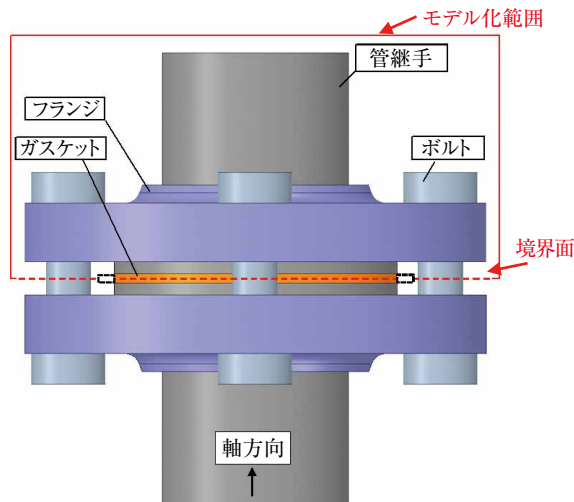
図7にCAE解析モデルを示す。

解析モデルは、軸方向の対称性を考慮し半分のみモデル化し（図7A）、ガスケットは管継手と接触する部分だけをモデル化した（図7B）。以降、この部分を解析部位と呼ぶ。解析結果で示すガスケット応力はすべてこの解析部位の応力である。

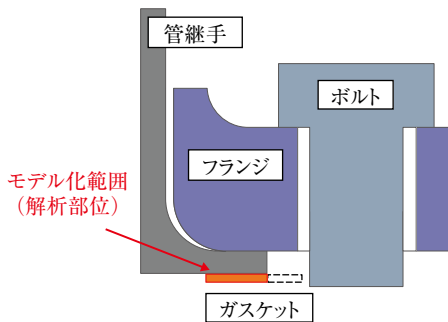
また、周方向に360°モデル化した三次元モデルとした（図7C）。

表2 CAE解析条件

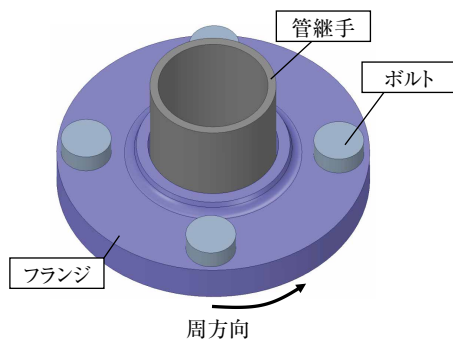
モデル名称		溶接式	遊合形①	遊合形②	遊合形③
フランジ	種類	溶接式	遊合形		
	材料	SFVC2A			
管継手	種類	－	スタブエンド	つば出し配管	
	材料	－	SUS 304		
	厚さ	－	Sch40		
	内径側の R	－	－	5.9	
	座面角度	－	0°		5°
ボルト	サイズ	M16 × 4pc			
	材料	SNB7			
ガスケット	製品	TOMBO™ No.1995			
	厚さ	3mm			
フランジと管継手のクリアランス		－	1.1		
サイズ		JPI Class150 2B		JIS 10K 50A	
締付方法		ボルト 4 本を同時に締付け			
ボルト総締付荷重 [kN]		84.8		80.8	
CAE 解析ソフト		ANSYS			



A: 遊合形フランジ締結体の構造



B: ガスケットのモデル化部分



C: CAE解析モデル

図7 CAE解析モデル

モデル 名称	ガスケット応力 N/mm ²		ガスケット応力分布
	最大	最小	
溶接式	36.7	32.5	
遊合形①	36.9	30.2	
遊合形②	43.9	0.0	
遊合形③	126.6	0.0	

※遊合形③のみコンター図のレンジを変更しています。

図8 CAE解析結果

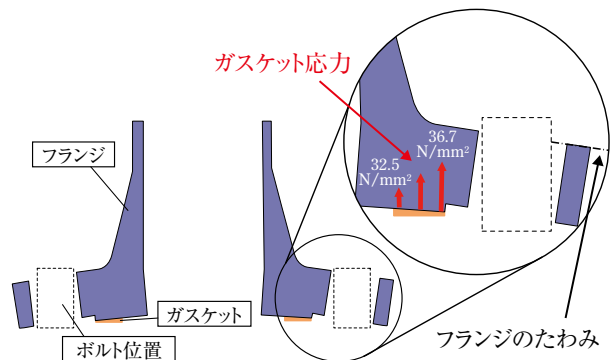


図9 溶接式フランジの変形図 (変形倍率100倍)

5. CAE解析結果

CAE解析結果を図8に示す。

ガスケットにかかる最大応力は、以下の順であった。

溶接式<遊合形①<遊合形②<遊合形③

いずれもガスケットの最大応力部は、座面の外周側であり、ガスケットに均一に締付け応力がかかっていない。

溶接式フランジの変形図を図9に示す(ガスケットは解析による変形図ではなく模式図として表示

している)。図3で示した通り、ボルトの締付けにより、フランジがたわむ、フランジローテーションが起こっていることが分かる。フランジローテーションが起こることによりガスケットの外径側がより強い圧縮を受けるためガスケット応力が最大 (36.7N/mm^2) となり、逆に内径側は最小 (32.5N/mm^2) となっている。

座面外周側のガスケット応力が高くなっていたのは、このフランジローテーションの影響を受けていたためといえる。

また、遊合形②、③では、最小ガスケット応力が 0.0N/mm^2 であり、応力が全くかかっていない部位があり、溶接式や遊合形①よりも最大ガスケット応力が高くなっている。特に遊合形③では、最大ガスケット応力が 126.6N/mm^2 となっている。

遊合形①と②の解析部位とガスケット応力の関係を図10に示す。

遊合形②の解析部位における内径側のガスケット応力が低い部位を範囲A、外径側のガスケット応力が高い部位を範囲Bと呼ぶ。

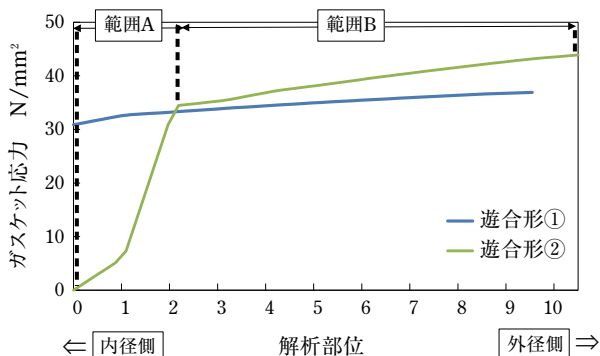


図10 解析部位とガスケット応力の関係 (遊合形①, ②)

遊合形②は外径側の範囲Bに比べ、内径側の範囲Aでガスケット応力が低くなっている。

遊合形②の解析部位と座面との位置 (図11) をみると、範囲Aは、ガスケットがつば出し加工時にできる内径側のRの部位と接触する位置であった。

ガスケット-座面間でガスケット応力の小さい部位があると、その分直線で接触している部位のガスケット応力が高くなる。

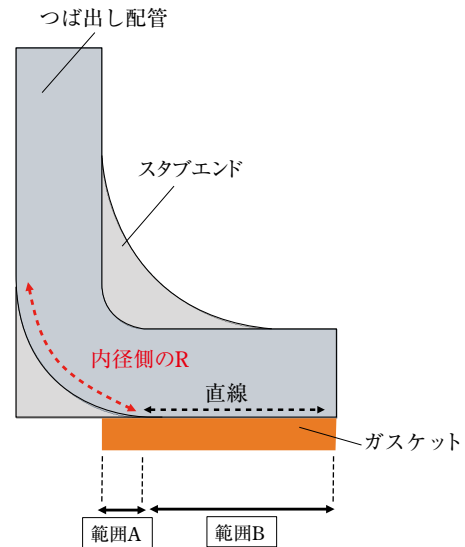


図11 解析部位と座面の位置

遊合形フランジでは、フランジと管継手の間にもクリアランスがある。また同様にガスケットおよびフランジがボルトとクリアランスがある分、施工時の位置に自由度がある (図12)。

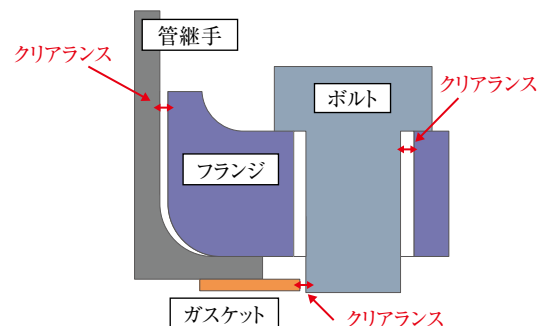


図12 遊合形フランジ締結体のクリアランス

管継手、ガスケットが遊合形フランジの中心の位置にある場合および位置がずれた場合の座面とガスケットの接触部位を示す (図13B, C)。なおこれらの図は図13Aに示す視点から見た図を示している。

今回の解析では、管継手およびガスケットを遊合形フランジの中心位置にして行っており、この場合、座面とガスケットは均等に接触する (図13B)。一方で施工時に管継手、ガスケットがフランジの中心からずれる場合 (図13C) には、ガスケッ

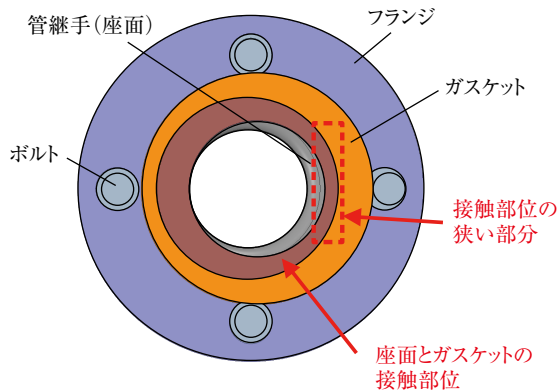
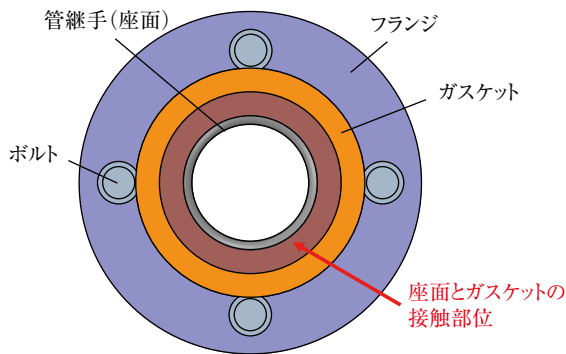
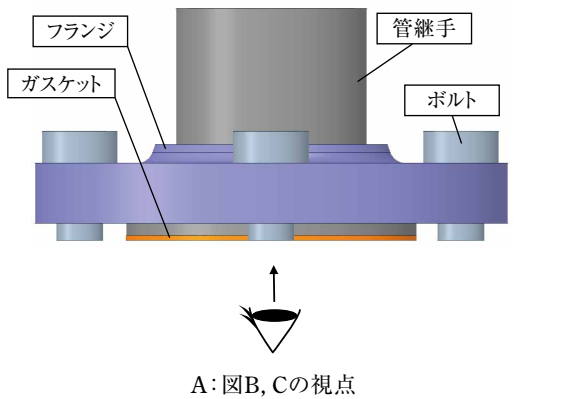


図13 ガスケットと座面の接触部位

ト-座面間の接触部位に狭い部分が発生し、極端にガスケット応力が高い部位が発生することが推測される。このため、遊合形フランジでは、圧縮破壊が起こりやすい傾向があるものと推測される。

遊合形②と③の解析部位とガスケット応力の関係を図14に示す。

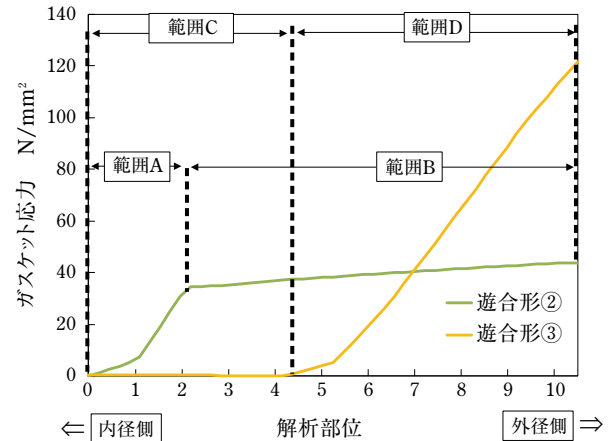


図14 解析部位とガスケット応力の関係 (遊合形②, ③)

遊合形②の範囲A,Bと同様に遊合形③の解析部位における内径側のガスケット応力が低い部位を範囲C、外径側のガスケット応力が高い部位を範囲Dと呼ぶ。

つば出し配管の座面に角度のついた遊合形③は、内径側にガスケット応力が 0.0N/mm^2 の範囲Cがみられ、外径側の範囲Dでは外径側ほど応力は高くなり、最大応力は 126.6N/mm^2 であった。

座面に角度がついていると、ガスケットに均一に応力がかからず、片当たりしてしまうため、このような極端なガスケット応力の差が発生する(図15)。

つば出し配管を使用する場合には、座面角度に注意する必要がある。

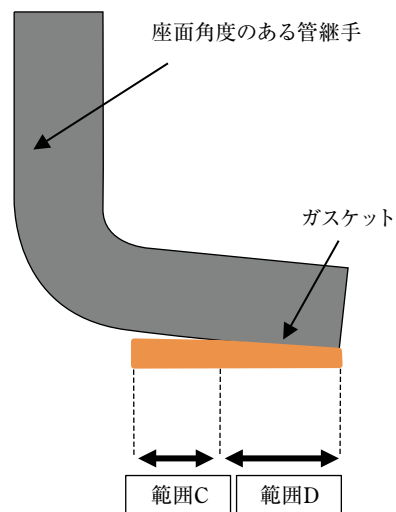


図15 座面角度のある管継手とガスケットの接触

以上の結果からCAE解析を使ったシミュレーションにより、ガスケットが圧縮破壊しうる場合、そしてその際の注意点について以下のことが分かった。

- ・遊合形フランジはガスケット位置が偏りやすく、ガスケット応力が高くなり、圧縮破壊が起こりやすい。
- ・遊合型フランジを管継手の座面に角度がつきやすいつば出し配管と組み合わせて使用する場合、座面角度に注意が必要である。

筆者紹介



衣川 公彦

工業製品事業本部
配管・機器部品技術開発部
シール材の構造解析業務に従事

6. お わ り に

本稿ではCAE解析を使ったシミュレーションによりフランジ変形やガスケット応力を可視化することで、どのような場合にガスケットの圧縮破壊が起きうるかを推定し、またその場合の注意点を提示した。

今後も漏えいにつながる危険の高い条件として今回は取り扱わなかった高温・低温下におけるフランジの変形やガスケット応力の挙動を明らかにするなどし、漏れのない安全な操業をするためにはどのような注意が必要かガスケットメーカーの視点で研究を進めていきたい。

ニチアスの建材製品は、 人と環境の調和をめざし、 安心・安全・快適を 提供しています。



断熱材

ホームマット®、ホームマットNEO®
MG ビルパック®, MG ボード™
マキベエ® ダンネツ, スーパーフェルトン® II, III

耐火被覆材

マキベエ®, マキベエ® WTA, CLA, BL

煙突材

セラスタック®

内装材

エコラックス®, エコラックス® エンボス
エコラックス® のき天
エコラックス® エンボスのき天
NPラックス® L, NPラックス® H

化粧板

アスラックス® 200R, アスラックス® 600R

フリースペース フロア

ニチアスシグマフロア®
ニチアス オメガフロア®
ニチアス パットフロア®
ニチアス デルタフロア® V

免震耐火材

メンシングード® S, メンシンメジ®

その他

ニチアスカグスベール®



※®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。

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

2019/1 号 通巻 No. 384



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈寄稿〉 フッ素原子の特性が含フッ素化合物に与える影響
- 〈技術レポート〉 ロックウール製品の化学特性評価
- 〈技術レポート〉 ニトリルゴムの常温架橋技術に関する研究
- 〈新サービス紹介〉 ガasketでの困りごとを解決する「ガasket Labo™」

2018/4 号 通巻 No. 383



- 〈工事实績紹介〉 国内最大の冷蔵倉庫
東京団地冷蔵再整備事業における巻付け耐火被覆工事および防熱工事
- 〈技術レポート〉 ロックウールの優れた耐熱性について
- 〈製品紹介〉 配管加熱用ヒータ
TOMBO™ No.4500-PH-PA「プレノ®ヒータ A」
TOMBO™ No.4500-PH-PB-UL「プレノ®ヒータ B-UL」
TOMBO™ No.4500-PH-PT「プレノ®テープ」

2018/3 号 通巻 No. 382



- 〈技術レポート〉 けい酸カルシウム材料の技術紹介 ～特長と製造方法、応用製品について～
- 〈製品紹介〉 ニチアスのけい酸カルシウム製品
- 〈解説〉 人造鉱物繊維の概要

2018/2 号 通巻 No. 381



- 〈寄稿〉 高温多湿気候下の都市住宅を対象としたパッシブクーリングによる
省エネ改修手法の開発
－ニチアス・エコハウスによる実証研究－
- 〈製品紹介〉 厨房排気ダクト用防火材
TOMBO™ No.4520-S「セラカバー® S」
- 〈製品紹介〉 TOMBO™ No.9014「サニクリーン® ガasket」
- 〈解説〉 ガasketの締付管理について
- 〈連載〉 シール材 Q&A（最終回）

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 2019/3 号 通巻 No. 386 は 2019 年 7 月発行予定です。



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 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 ・ドイツ ・イギリス ・チェコ
・メキシコ