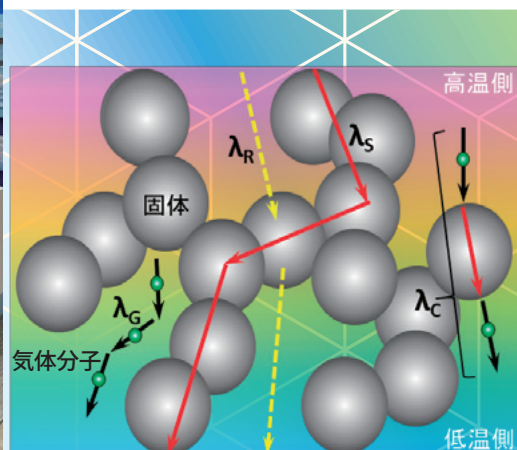


ニチアス 技術時報

No. 398

2022年 3号



Contents

【製品紹介】

サニタリー配管ガスケット
TOMBO™ No.9014-C「サニクリーン® ガスケット」

【新製品紹介】

自動車用シリンダーヘッドガスケット
TOMBO™ No.1600「メタコート® L2N3-2520(ふっ素ゴムタイプ)」

【サービス紹介】

エアロジェル保温材による「増し保温® 工法」の紹介

【技術レポート】

断熱材における熱伝導率の伝熱要素
～実用的な伝熱モデルと解析事例～

目 次

【製品紹介】

- ◆サニタリー配管ガスケット
TOMBOTM No.9014-C「サニクリーン[®]ガスケット」…………… 1
工業製品事業本部 ゴム事業推進室

【新製品紹介】

- ◆自動車用シリンダーヘッドガスケット
TOMBOTM No.1600「メタコート[®] L2N3-2520（ふっ素ゴムタイプ）」…………… 5
自動車部品事業本部 第一技術開発部 開発課

【サービス紹介】

- ◆エアロジェル保温材による「増し保温[®]工法」の紹介…………… 7
基幹産業事業本部 プラント営業部 黒坂 和弥

【技術レポート】

- ◆断熱材における熱伝導率の伝熱要素 ～実用的な伝熱モデルと解析事例～ …… 12
研究開発本部 試験解析室 熱・耐火試験課 阿部 直毅

【連載】

- ◆ニチアスの「断つ・保つ」[®] 技術を支える CAE（第4回）…………… 18

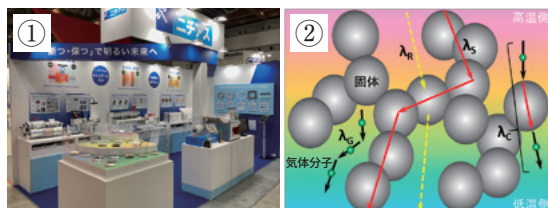
【トピックス】

- ◆「サーモテック 2022」に出展しました …… 20

表紙写真：

弊社の断熱製品はカーボンニュートラル社会の実現に貢献できる製品です。伝熱モデルによる解析，材料の種類・形状・サイズの選定により，耐熱性・断熱性・強度などのさまざまな要求特性を満たす断熱材の製品開発を行っております。
詳細は p12～20 【技術レポート】 【連載】 【トピックス】 をご覧ください。

- ① 断熱製品の展示品（サーモテック2022）
各温度域に対応する断熱材のラインアップです。0℃から1800℃まで，さまざまな断熱製品を取り揃えています。
- ② 粒子系断熱材における伝熱要素のイメージ図
 λ_g （気体伝熱成分）， λ_c （気体伝導と固体伝導の混合伝熱成分）， λ_s （固体伝熱成分）， λ_r （ふく射伝熱成分）に分離した伝熱モデルの一例です。



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/>

サニタリー配管ガスケット TOMBO™ No.9014-C 「サニクリーン® ガスケット」

工業製品事業本部 ゴム事業推進室

1. はじめに

医薬・食品業界において、安全かつ衛生度の高い製品を提供することは重要な課題です。そのため、製品の製造ラインの配管部分には衛生管理を目的として着脱や洗浄が容易なサニタリー配管継手が使用されています。弊社ではこのサニタリー配管用のガスケットとしてTOMBO™ No.9014「サニクリーン® ガスケット」（以下、「サニクリーンガスケット」）をラインアップしています。

このたび、耐熱・耐薬品性向上を目的に「サニクリーンガスケット」の母材ゴムをエチレンプロピレンゴム（以下、EPDM）からフッ素ゴム（以下、FKM）へ変更した製品TOMBO™ No.9014-C「サニクリーン® ガスケット」（以下、「9014-C」）をラインアップし、一部のお客さまへ提供を開始しましたので本稿にてご紹介します（図1）。



図1 9014-C「サニクリーンガスケット」

2. サニタリー用ガスケットに求められる性能

医薬・食品製造ラインでは、配管内をクリーンな状態に保つために、熱苛性液や塩素水といったアルカリや酸、蒸気により洗浄が行われます。これらの薬品はガスケットに使用されているゴムの劣化を速め、劣化したゴムが異物として食品へ混入するリスクがあることから、ガスケットには耐薬品性が求められます。

また、清涼飲料製造工場では飲料の充填ラインには複数の飲料水が流れます。飲料水Aから飲料水Bに切り替える際には洗浄工程を挟みますが、ガスケットにAの香りが残留していた場合、BにAの香りが混入する「フレーバー汚染」が起きます。そこで匂い成分が付着しづらい、もしくは付着したとしても洗浄工程によって匂いが落ちやすいガスケットが求められます。

3. 「サニクリーンガスケット」とは

現在市場で最も広く使用されているサニタリー用ガスケットの材質としてはEPDMやシリコンゴムがあげられますが、耐薬品性や低着香性に課題が残ります。また、これら特性に優れたものとしてポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）も広く使用されておりますが、PTFE単体ではシール性に劣るため、漏れなどのリスクが伴います。これらを解決する手段として耐薬品性・シール性ともに優れるパーフルオロエラストマー（以下、

FFKM)も存在しますが、価格が非常に高く、医薬・食品業界においては現実的ではありません。

「サニクリーンガスケット」は母材ゴムの接液表面をPTFEフィルムで被覆したサンドイッチ型複合ガスケットです(図2)。ゴムの弾力性によるシール性能とPTFEの耐薬品性、耐汚染性、低異物混入、低着香性とを併せ持ち、価格もFFKMより安価です。

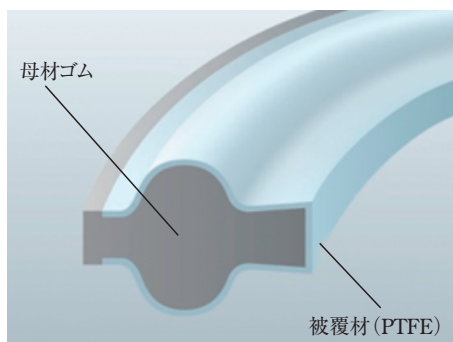


図2 「サニクリーンガスケット」断面(一例)

4. 製品「TOMBO™ No.9014-C」のご紹介

近年では安全衛生志向の高まりから、医薬・食品の製造ラインに使用する部材に対し、性能や品質に加え、リスク対策も重要視されつつあります。例えば、洗浄工程の薬剤が「サニクリーンガスケット」の被覆材を透過した場合、ゴムの劣化が起こり、シール性が悪化するリスクがあります。透過しない薬剤においても、シール凸部(図2上下面)のひずみが原因となり、薬剤が外周面ゴムへ回り込むことで劣化につながるリスクも考えられます。そのため、使用条件によっては母材ゴムへの耐薬品性が求められます。また、近年は洗浄工程高温化の動きもあり、150℃以上の耐熱性が求められることもあります。そこで、「サニクリーンガスケット」の母材ゴムをEPDMからFKMへ変更した製品「9014-C」を新たにラインアップとして加えました。「9014-C」は耐薬品性に優れ、耐熱性も従来の150℃から200℃と向上し、洗浄工程の高温化にも対応可能な仕様となっております。

4.1 形状について

「サニクリーンガスケット」は標準用途としてネジ継手用・フェルール用の2種類をラインアップしておりますが、「9014-C」はフェルール用の形状のみ新規ラインアップしております(図3)。

用途	断面	品番	母材ゴム	色
ネジ継手用		9014-A	EPDM	黒
フェルール用		9014-B	EPDM	黒
		9014-BW	EPDM	白
		9014-C	FKM	黒

図3 「サニクリーンガスケット」のラインアップ

4.2 「9014-B」「9014-C」の識別管理について

従来品である「9014-B」(EPDM品)と「9014-C」(FKM品)は見た目では区別が付きにくく、取り違えの懸念があります。そのため「9014-C」は図4に示すように、外周面ゴムに識別管理用の面取りを追加しております。

9014-B	9014-C
EPDM	FKM

図4 「9014-C」の外周面の識別管理について

4.3 物性

「9014-C」は母材ゴムとして耐熱・耐薬品性に優れるFKMを使用し、被覆材として低着香性に優れるPTFEを使用しています。母材ゴム、被覆材の物性を評価した結果を示します。

4.3.1 耐熱性

表1に「サニクリーンガスケット」各種ゴム材質の特性を示します。FKMはEPDMと比較して耐熱目安が200℃と優れており、機械特性も同等以上を示します。

表1 ゴム材質の耐熱性と機械特性

TOMBO No.9014-	A, B	BW	C
材質	EPDM	EPDM	FKM (3元系)
色調	黒	白	黒
耐熱目安	150℃	150℃	200℃
硬度 (DuroA)	81	80	70
引張り強さ [MPa]	19.8	13.7	21.1
伸び [%]	160	140	340
比重	1.12	1.15	1.83
圧縮永久ひずみ 150℃×72時間[%]	10	12	10

※表中の数値は実測値であり、規格値ではありません。

4.3.2 耐薬品性

各材質の耐薬品性を表2に示します。接液面は被覆材であるPTFEで被覆されているため、耐薬品性に優れます。母材ゴムについても、「9014-C」で使用しているFKMは従来品のEPDMよりも耐薬品性が優れていることがわかります。今回採用したFKMは特に耐薬品性に優れる3元系のFKMを使用しており、外周面ゴムに薬液が接触した場合もゴムの劣化が進行しづらく、長期シール性が期待できます。

表2 各材質の耐薬品性

		被覆材	母材ゴム		参考
			9014-C以外	9014-C	
薬品名	温度 (℃)	PTFE	EPDM	FKM (3元系)	FKM (2元系)
塩酸 (37%)	25	A	A	A	A
	80	A	C	A	C
硝酸 (60%)	25	A	D	A	A
	80	A	D	A	D
水酸化ナトリウム (50%)	25	A	A	A	A
	80	A	A	A	D
次亜塩素酸ナトリウム (10%)	25	A	A	A	A
水蒸気	150	A	-	A	B

※すべて7日間の浸漬結果

【評価記号】体積変化率
 A : 0 ~ 5% 未満
 B : 5 ~ 10% 未満
 C : 10 ~ 20% 未満
 D : 20% 以上 (または著しい外観上の劣化)

4.3.3 低着香性

各材質の着香評価を実施しました。飲料として、匂いの移りやすいリモネンを多く含有するオレンジジュースを用いました。試験は飲料の殺菌工程を模擬した条件における、検体を取り付けたフランジでの浸漬試験を行いました。分析は使用温度である80℃、150℃におけるアウトガス発生量を測定しました。以下に評価方法と結果を示します (図5、図6)。

〈試験方法〉

- ①検体付フランジにオレンジジュースを注入
(80℃×24時間加熱)
- ②検体付フランジに純水を注入
(90℃×60分加熱)
- ③検体を純水で洗浄

〈分析方法〉

P&T-GC/MSを用いて、各々の加熱条件において検体から発生したアウトガスの成分と量を測定しました。

加熱条件：80℃×15分、150℃×15分

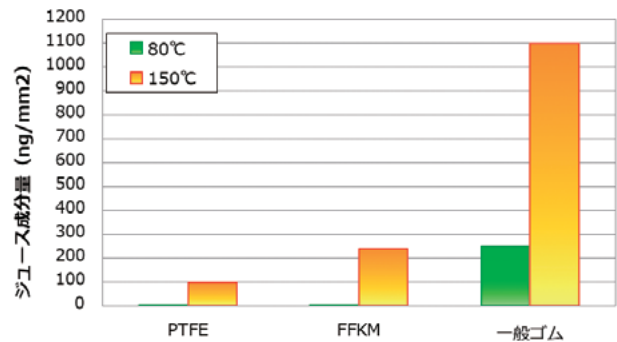


図5 オレンジジュース成分測定量

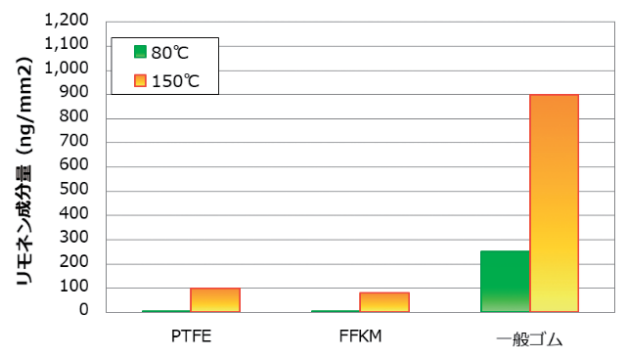


図6 リモネン成分測定量

評価結果から、FFKM以外の一般ゴムと比較してPTFEとFFKMは低着香性に優れていることがわかります。しかし、FFKMは価格が非常に高く、PTFE単体ではシール性に劣るという課題があります。「サニクリーンガスケット」はゴム母材の接液表面をPTFEによって被覆することで、優れた低着香性とシール性を両立する製品となっております。そのため、長寿命化につながり、ガスケット交換頻度低減によるコスト削減が期待できます。

4.4 適合規格

「9014-C」は以下の規格に適合しています(表3)。これらの規格は人体にとって有害な物質が溶出しないことを判断するための重要な指標となります。

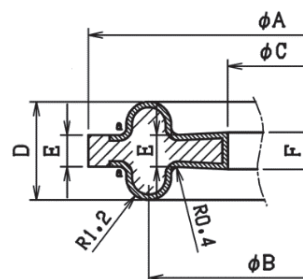
表3 適合規格一覧

規格	項目
食品衛生法	第3のDの2 合成樹脂製の器具または容器包装 第3のDの3 ゴム製の器具（は乳瓶を除く） または容器包装
FDA	§ 177.1550 Perfluorocarbon resins § 177.2600 Rubber articles intended for repeated use
USP (米国薬局方)	<87> Biological Reactivity Tests, In Vitro <88> Biological Reactivity Tests, In Vitro (USP Class VI)

4.5 標準寸法

フェルール用「サニクリーンガスケット」の標準寸法を表4に示します。一部、「9014-C」ではまだ取り扱いのない寸法もありますが、今後追加ラインアップも検討いたします。

表4 標準寸法一覧表



[mm]

呼称寸法 サイズ	φ A	φ B	φ C	D	E	F	対応品名
8A	34.0	27.5	10.5	5.0	1.7	2.0	-B, BW
10A	34.0	27.5	14.0				
15A	34.0	27.5	17.5				
1B	49.5 (49.0)	43.5	23.1	5.3			-B, BW, C
1・1/2B	49.5 (49.2)	43.5	35.8				-B, BW, C
2B	63.0 (62.5)	56.5	48.0				-B, BW, C
2・1/2B	76.5	70.5	59.7				-B, BW, C
3B	90.0	83.5	72.3				-B, BW, C
3・1/2B	105.0	97.0	85.2				-B
4B	118.0	110.0	97.8				-B, BW, C

※B、CタイプとBWタイプで基準寸法が異なるサイズについては、() 数値でBWタイプの基準寸法を表示しています。

5. おわりに

本稿で紹介いたしましたTOMBO™ No.9014-C「サニクリーン® ガスケット」は医薬・食品業界で使用されるサニタリー配管への使用に最適な製品です。今後もより良い製品をご使用いただきたく、新製品の開発・改良を行ってまいります。ご意見、ご要望がございましたら、ぜひお聞かせください。

本製品に対するお問い合わせは工業製品事業本部ゴム事業推進室 技術企画課までお願いいたします。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「サニクリーン」はニチアス(株)の登録商標です。

*本稿の測定値は参考値であり、保証値ではありません。

自動車用シリンダーヘッドガスケット TOMBO™ No.1600 「メタコート® L2N3-2520（ふっ素ゴムタイプ）」

自動車部品事業本部 第一技術開発部 開発課

1. はじめに（製品の目的・開発の経緯等）

自動車用シリンダーヘッドガスケットは、シールを目的としてエンジンプロックとシリンダブロックの間に挟みこまれる形で使用され、エンジン稼働時の燃焼ガス、潤滑油、冷却水（以下、不凍液）など一つの部品でさまざまな流体のシール機能を必要とされる部品です（図1参照）。その素材として金属とゴムを接着させた「TOMBO™ No.1600 メタコート®」を使用し、ゴムと金属の優れた接着耐久性において高い評価を得ています。

近年、自動車の燃費改善によりエンジンルーム内の高温化が進んだため、シリンダーヘッドガスケットに対して過酷な使用環境になり、より接着耐久性（ゴム層の剥離やブリストア対策）を求められる事例が増えました（図2）。

このたび弊社では、従来製品と比べ、不凍液に対して接着耐久性を向上させた製品TOMBO™ No.1600「メタコート® L2N3-2520（ふっ素ゴムタイプ）」（以下、L2N3）を新製品として上市しましたのでご紹介いたします。

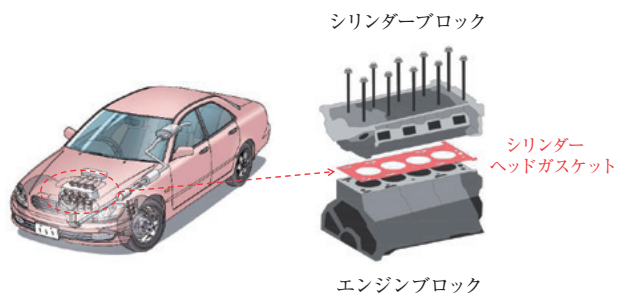


図1 シリンダーヘッドガスケットの装着部位

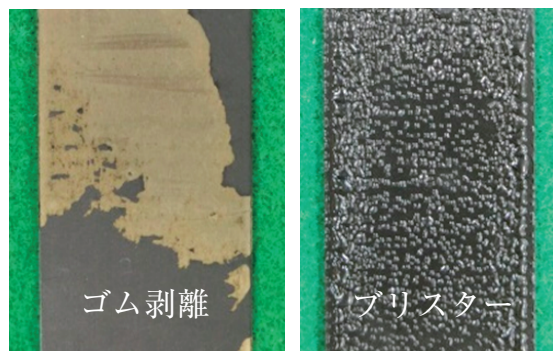


図2 不凍液接触部のゴム剥離やブリストアの一例

2. メタコート® の概要

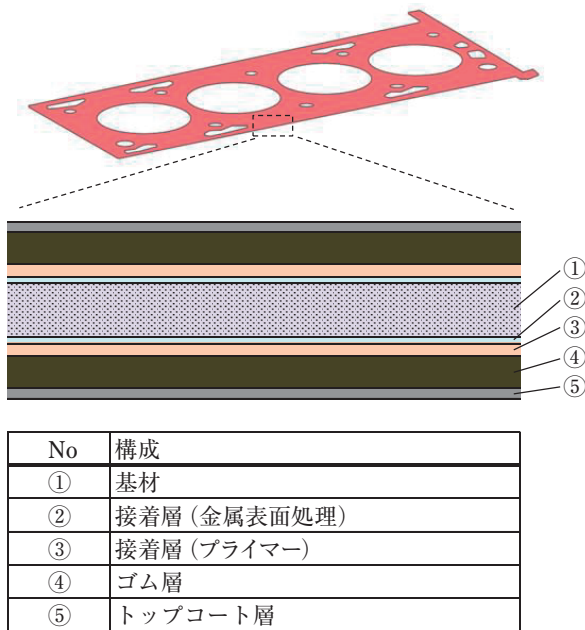
製品の構造は、ステンレス基材の両面に金属表面処理を施し、その上に順次プライマー層、ゴム層、トップコート層を形成した断面構成となっております（図3）。

製品仕様を表1に示します。新製品は従来品と比べ、金属表面処理/プライマー/ゴム層の成分を抜本的に改良し、不凍液に対して接着耐久性を向上させた仕様です。

3. 特 長

表2にシリンダーヘッドガスケットとして要求される密着性の評価結果を示します。

新製品であるL2N3は、従来品と同様に燃焼ガスや潤滑油に対して同等の密着性を有しており、不凍液に対しては大幅に密着性が向上しています。



②～⑤は基材に対して両面処理

図3 製品構成（断面構成）

表1 製品仕様

No	項目		新製品	従来品
			L2N3-2520	LZ-2520
製品厚さ（mm）			0.25	0.25
①	基材	種類	SUS301H	SUS301H
		厚さ（mm）	0.20	0.20
②	接着層	金属表面処理	N3 タイプ（新規）	Z タイプ
③		プライマー	N3 タイプ（新規）	Z タイプ
④	ゴム層	種類	L2 タイプ（新規）	L タイプ
		片面厚さ（mm）	0.025	0.025
⑤	トップコート層		グラファイト＋樹脂	グラファイト＋樹脂

金属表面処理：クロムフリー ゴム：FKM（ふっ素ゴム）
（新規）：耐不凍液性向上

4. 実車での検証

本製品を用いて、実際のエンジンに組付けた走行試験を行い、シール機能を検証しました。あわせて走行後にエンジン分解を行い、ゴム剥離やゴム層に膨れが発生するブリスター現象の有無について実物確認しました。その結果を表3に示します。

本製品は24万km走行後もエンジンからの漏れは発生せず、ゴム剥離やブリスターが無いことを確認でき、実際の環境下でも密着性が向上してい

ることを確認できました。現在、一部のお客さまにご採用いただいております。

表2 密着性の評価結果

項目		評価項目	新製品	従来品
			L2N3-2520	LZ-2520
耐熱性	200℃×500h	碁盤目試験	100	100
		屈曲試験	剥離なし	剥離なし
耐油性	150℃×500h	碁盤目試験	100	100
		屈曲試験	剥離なし	剥離なし
耐不凍液	120℃×500h	碁盤目試験	100	100
		屈曲試験	剥離なし	剥離なし
	170℃×72h	描画試験	5	1

不凍液：50vol%水希釈不凍液

碁盤目試験：JIS K5400 碁盤目試験法に準拠

（試験面にカッターで2mm間隔で縦横切込み線を入れて、100個の碁盤目を作製し、その表面からセロテープで剥離させ、残存数を評価）

屈曲試験：JIS K5400 耐屈曲試験試験法に準拠

（試験サンプルにφ6mmの丸棒を用いて折り曲げ、その折り曲げ部のゴム層の剥離有無を評価）

描画試験：JIS K5400 付着性試験試験法に準拠

（試験サンプルに描画針で500gの荷重で直径9mmの円弧を螺旋状に30個描き、そのゴム層の剥離度合いを5段階評価。評点5点が最良）

表3 TOMBO™ No.1600 メタコート® L2N3-2520の実車走行試験結果

項目		シール機能	試験後のガスケットの外観		
			燃焼室周り	潤滑油周り	不凍液周り
実車による走行試験	24万km	漏れなし	ゴムの剥離やブリスター発生無し	ゴムの剥離やブリスター発生無し	ゴムの剥離やブリスター発生無し

5. おわりに

今回紹介した「L2N3」は、従来品と比べて大幅に不凍液に対しての接着耐久性を向上させた製品となっております。あわせて実際の走行試験においても良好な結果であることが確認できました。

今後もお客さまのニーズに応えられる機能性に富んだ新たな製品を開発していく所存であり、みなさまのご意見・ご要望をご頂戴いただければ幸いです。本製品に関わるお問い合わせは、自動車部品事業本部までお願いいたします。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「メタコート」はニチアス(株)の登録商標です。

エアロジェル保温材による「増し保温[®] 工法」の紹介

基幹産業事業本部 プラント営業部 黒坂和弥

1. はじめに

我が国のプラントは、建設から30年以上経過した設備の老朽化が進んでいる。プラントに施工されている保温材は、プラント建設以来そのままの状態になっている。その代表的なものが、蒸気配管用の保温材であり、保温材から熱ロスが発生している。

また、1973年の第一次オイルショック以降、それまで内部温度149℃以上の機器、配管等の箇所で使用されていた保温材が、省エネルギーの観点から100℃以下の温度領域まで保温されたことで、保温材に水が長期にわたって滞留し易くなり、新たにCUI (Corrosion under Insulation) といわれる保温材下配管外面腐食の発生も問題になっている。

本稿では、こういった熱ロス・CUIの問題解決や脱炭素化へ貢献が期待できる工法として、増し保温工法について紹介する。

2. 保温材の劣化

保温材の劣化は、雨水などが浸入し含水によることが知られている。

保温材は、『JIS保温』に熱伝導率の低い空気を閉じ込めて断熱している材料、空隙率90%以上、常温において、熱伝導率0.065W/(m・K)以下の材料と定義されている。

常温20℃で測定した、含水率が0vol% (絶乾状態)のけい酸カルシウム保温材熱伝導率は0.05W/(m・K)、10vol%含水すると熱伝導率は2倍の0.1W/

(m・K)となり、20vol%含水で3倍となる。

『JIS保温』の定義から、10vol%含水したけい酸カルシウム保温材は、既に保温機能が喪失しており、含水は保温材劣化の一因である。

3. 保温材パイロジェル[™] XTEの紹介

従来の保温材であるけい酸カルシウム保温材、ロックウール保温材などが含水状態から乾燥させ保温機能維持に使用するエアロジェル保温材を紹介する。

エアロジェルは、ゲル中に含まれる溶媒を超臨界乾燥により気体に置換した多孔性の物質の総称である。

代表的なエアロジェル保温材として米国Aspen Aerogels, Inc.製のパイロジェル XTEがある。パイロジェル XTEは、ガラスマットを基材としエアロジェルを含浸させた保温材である。特長は、従来の保温材と比較して低熱伝導率で、フレキシブル、はっ水性、水蒸気透過性を有する(図1、2)。

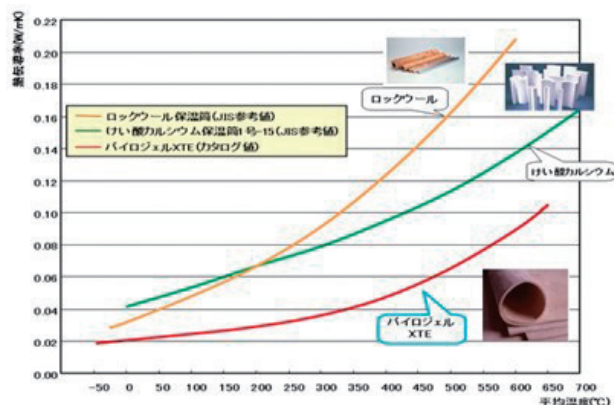


図1 他保温材とパイロジェルXTEの熱伝導率比較

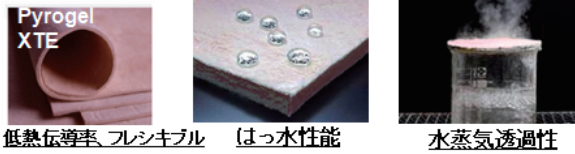


図2 パイロジェルXTEのその他特長

4. 増し保温® 工法の紹介

増し保温工法には、省エネ対策に重点を置いた工法(概要Ⅰ)と、CUI対策に重点を置いた工法(概要Ⅱ)がある。

4.1 増し保温® 工法(概要Ⅰ)

概要Ⅰにおける施工は、いたって簡単である。施工は、劣化した既設従来の保温材と既設外装材の外周にパイロジェル XTEを巻き付け、新規外装材を取り付けて完成する。熱ロスの問題を解決する省エネ対策として有効な工法である。

増し保温工法(概要Ⅰ)を図3に示す。

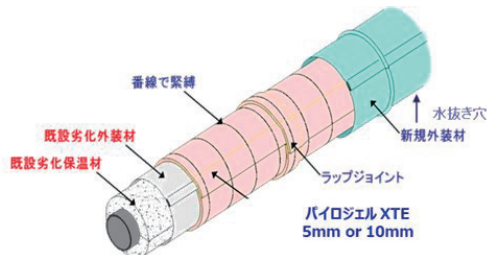


図3 増し保温® 工法(概要Ⅰ)

4.2 増し保温® 工法(概要Ⅱ)

概要Ⅱは、従来の保温材+パイロジェル XTEを1層巻き付けて複合構造とする工法である。配管内部温度が常温程度から150℃以下の温度用域に採用するCUI予防に重点を置いており、メンテナンスおよび建設時に省エネ対策、CUI対策の予防保全として推奨する工法である。即ち、従来工法の含水防止と保温機能維持を図った工法である。

増し保温工法(概要Ⅱ)を図4に示す。

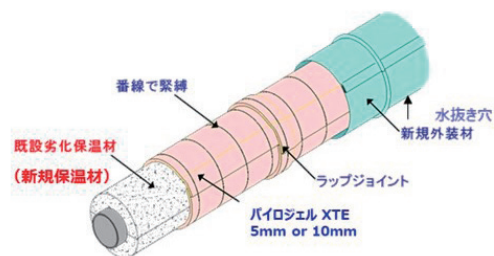


図4 増し保温® 工法(概要Ⅱ)

5. 増し保温® 工法の効果

5.1 増し保温® 工法(概要Ⅰ)の省エネおよび脱炭素効果

某化学工場の蒸気配管、配管長：約650m、配管径：80A～200A、けい酸カルシウム保温材75mmが施工されていた配管を対象に、増し保温工法を施工した実施例を紹介する。

対象の内部温度175℃の蒸気配管、設計時正常な保温材が施工された状態の放散熱量は、約40万kWh/年と推測される。施工前のサーモグラフィにより保温材の放散熱量は、設計時の約3倍の112万kWh/年に増加していた。増し保温工法を施工し約1ヵ月後の測定結果は、放散熱量44万kWh/年と低減され68万kWh/年の熱ロス回収となり省エネ効果の高さが証明された。これは、増し保温工法による既設保温材の機能回復と、パイロジェル XTEの保温性能と外部へ水分排出する蒸気透過性能が発現した結果と考えられる。

熱ロス削減の5年後、10年後の追跡調査の結果の放散熱量は、約39万kWh/年と改善された効果を維持され、継続的に安定した省エネ効果が確認された。追跡調査を実施した結果を図5に示す。

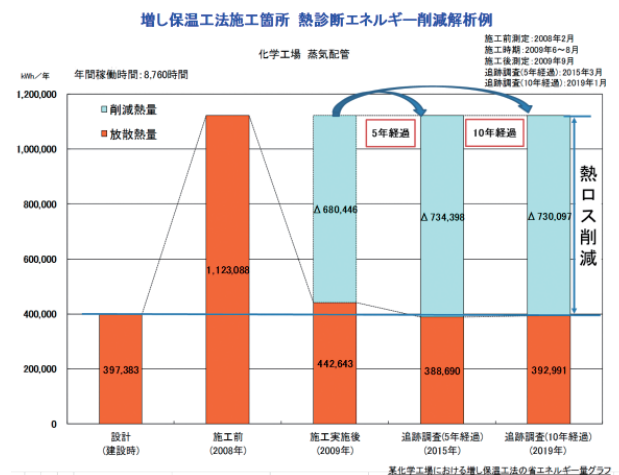


図5 増し保温® 工法(概要Ⅰ)エネルギー削減解析

また、図5の結果から原油換算削減量、CO₂換算削減量を計算し表1に示す。

表1 増し保温施工後の原油換算CO₂換算削減量

項目	設計時 (建設時)	増し保温 施工前 (2008年)	増し保温 施工後 (2009年)	追跡調査 (5年経過) (2015年)	追跡調査 (10年経過) (2019年)	増し保温 施工後 (10年平均)
エネルギー 使用量 (kWh/年)	397,383	1,123,088	442,643	388,690	392,991	408,108
年間放熱 削減量 (kWh/年)	—	—	△680,445	△734,398	△730,097	△714,980
年間原油 換算削減量 (kl)	—	—	△64.5	△69.6	△69.2	△67.8
年間CO ₂ 削減量 (ton)	—	—	△147.0	△158.6	△157.7	△154.4

5.2 増し保温® 工法（概要Ⅱ）のCUI抑制効果

梅雨の降雨時期に、保温されている屋外実機プラント配管を試験に供し、各種保温構造における屋外暴露試験を実施した。CUIの抑制効果をACM（Atmospheric Corrosion Monitor）腐食センサ、温湿度センサのデータより評価しCUI抑制効果の保温構造を検討した。

【試験条件】

○測定期間：2020年5月27日～8月3日

（日数：69日、降雨日37日）

○配管径：300A

（現状の保温仕様：ロックウール50mm）

○内部温度：55℃（化学薬品設備配管）

【試験体の保温構造】

- ①けい酸カルシウム保温材 50mm
- ②ロックウール保温材 50mm
- ③パイロジェルXTE 20mm
- ④けい酸カルシウム保温材 50mm+
パイロジェルXTE 5mm
- ⑤ロックウール保温材 50mm+
パイロジェルXTE 5mm
- ⑥外気（保温材を施工しない箇所）

【試験方法】

予め既設保温材を撤去し、同一配管上に、それぞれの保温構造で施工した。各保温構造を施工する箇所の配管頂部に、模擬ノズルを設置し、模擬

ノズルの両側にACMセンサを取り付け、片側に温湿度計を取り付け、各保温構造で施工後に外装材を取り付けた。模擬ノズルと外装材のクリアランスは、2mmと同一条件とした。参考に外気を測定するACMセンサ、温湿度計各1個を、配管サポート部に設置した。その状況を図6に示す。

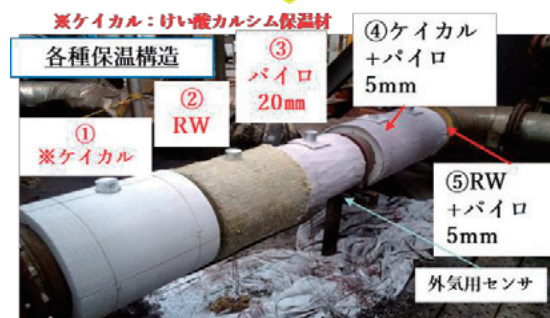
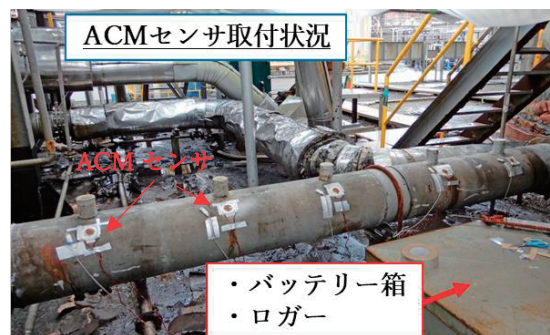


図6 屋外配管のCUI抑制効果試験状況

【ACMセンサによる評価方法】

加速試験として人工海水アクアマリン4%溶液を作成し、センサ表面に均一に1ml塗布し試験を実施した。

【ACMセンサの原理と構造】

基板 (Fe, 亜鉛メッキ銅板など) の上に絶縁ペー
ストをスクリーン印刷・焼成硬化し、さらにその
上に絶縁が保たれるように導電性ペースト (Ag
など) を積層印刷・焼成硬化する。これを、大
気中に暴露すると、降雨や結露などによって両金
属間に薄い水膜が形成されて、ガルバニック電
流が流れる。この電流は腐食速度と良い相関関
係があるので、大気環境の腐食性をモニタリン
グすることができる。ACMセンサの原理と構造
を図7¹⁾に示す。

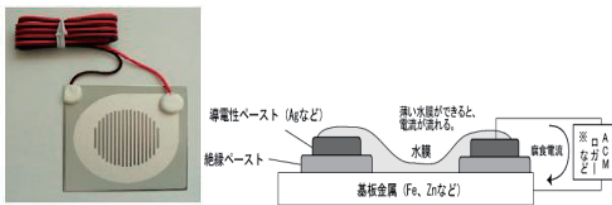


図7 ACMセンサの原理と構造

【試験結果】

各保温構造を対比して、ACMセンサと、温湿
度計のデータを図8に示す。

グラフの読み方は、横軸が経過時間、縦軸の上
半分がACMセンサのプロットした電流値 (μA)、
下半分が温湿度計の温度と湿度、グラフ上部の「↓」
は、降雨が5mmあった日を示している。ACMセン
サのグラフに、10 μA 、1 μA に目安の赤と黄色
の罫線を引いている。電流値10 μA を超えると腐
食速度が速いことを表し、増し保温工法では概ね
10 μA 以下で推移している。

図8のデータから得られた情報をまとめた結果
を、表2および図9に示す。

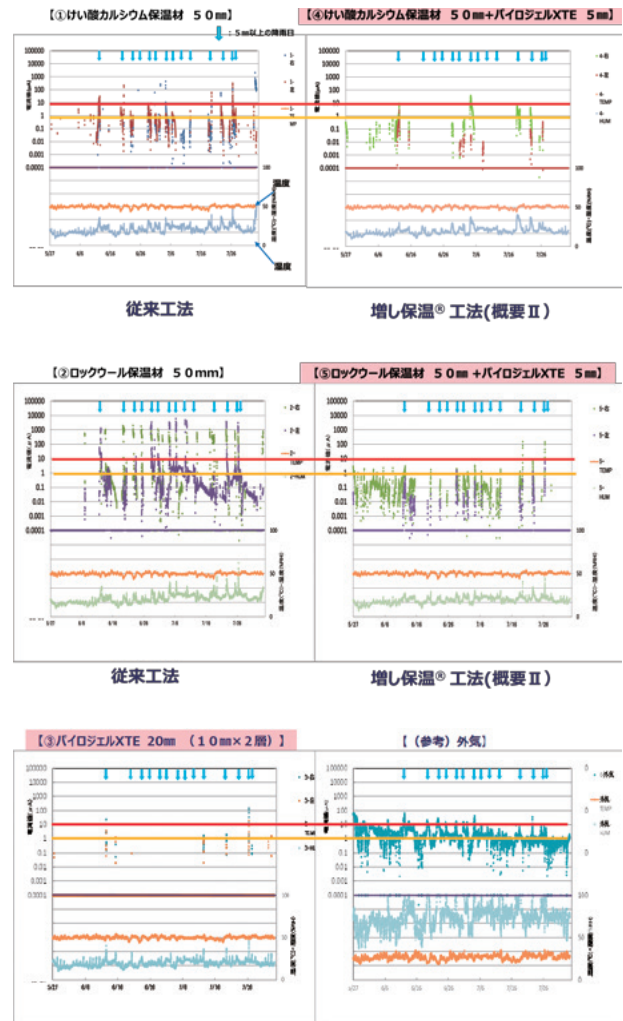


図8 ACMセンサと温湿度計のデータ

表2 ACMセンサデータ解析, 温湿度計データ

測定期間 (5/27 ~ 8/3期間)	①保温材	②保温材	③保温材	④保温材	⑤保温材	外気
各保温構造	けい酸 カルシウム 50	ロックウール 50	バイロ ジェル XTE20	けい酸カル シウム 50+バイ ロジェル XTE5	ロックウール 50+ バイロ ジェル5	—
(i) 総積算 電気量Q(C)	8.3	138.8	0.21	0.52	0.50	14.2
(ii) 炭素鋼 腐食速度 ($\mu m/y$)	104.1	302.2	26.1	36.6	36.1	138.0
(iii) 1mm 腐食するの に要する年数 (年)	9.6	3.3	38.3	27.3	27.7	—
(iv) 平均 温度 (°C) (配管外面)	50	50	50	50	50	27
(v) 平均 湿度(RH%) (配管外面)	21	21	19	19	19	74

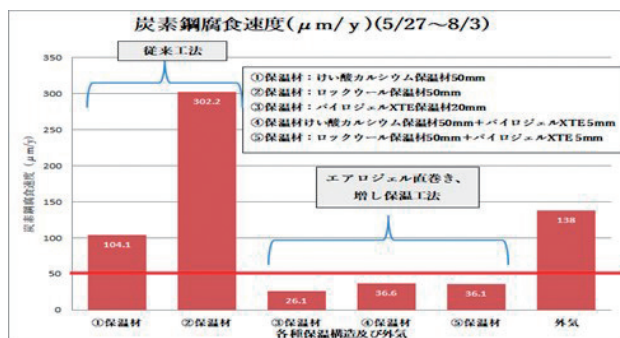


図9 各保温構造における炭素鋼腐食速度

【考察】

○表2の(ii)のデータより炭素鋼腐食速度比較
炭素鋼腐食速度の速い順番から並べると以下のようになる。

- ②ロックウール>①けい酸カルシウム>
④けい酸カルシウム増し保温≧⑤ロックウール増し保温>③パイロジェルXTE直巻き

○従来工法と増し保温工法（概要Ⅱ）の腐食速度
μm/yearを比較

- ①けい酸カルシウム／④けい酸カルシウム＋パイロジェルXTE（増し保温）
= 104.1 / 36.6となり、増し保温工法は従来工法よりも約65%炭素鋼腐食速度を遅延させる効果があった。
- ②ロックウール／⑤ロックウール＋パイロジェルXTE（増し保温）
= 302.2 / 36.1となり、増し保温工法は従来工法よりも約88%炭素鋼腐食速度を遅延させる効果があった。

本試験におけるデータでは、パイロジェルXTEを直巻き工法、増し保温工法（概要Ⅱ）で使用する
と炭素鋼腐食速度の大幅な遅延効果が確認された。

6. おわりに

今回の各種保温構造を比較すると、エアロジェル保温材のパイロジェルXTEを使用した保温構

造が省エネ効果、腐食速度を遅延させる効果を有しているといえる。

増し保温工法（概要Ⅰ，Ⅱ）は、省エネ対策、CUI抑制の保温構造の一助になると、本試験で確証が得られた。

本稿で紹介した増し保温工法は、省エネルギー・脱炭素化に貢献できる工法です。今後は、予防保全の施工方法として、省エネ効果・CUI抑制効果を有するパイロジェルXTE増し保温工法（概要Ⅰ，概要Ⅱ）の標準仕様化を推奨します。

本内容に関するお問い合わせは、基幹産業事業本部・プラント営業部までお願いいたします。

参考文献

- 公益社団法人腐食防食学会「材料と環境」No.4 2018 Vol.67 腐食の電気化学測定法の応用『ACM型腐食センサ』・株式会社シュリンクスHP
<https://www.syrinx.co.jp/acm-spec/about-acm.htm>
- 第50回日本芳香族工業会大会発表論文『CUI対策・省エネ対策の保温構造』
- 第55回日本芳香族工業会大会発表論文『CUI抑制効果の保温構造』

*「増し保温」はニチアス(株)の登録商標です。

*「パイロジェル」はAspen Aerogels, Inc. の製品で同社の商標です。

*本稿のデータは参考値であり、保証値ではありません。

筆者紹介



黒坂 和弥

基幹産業事業本部
プラント営業部
一級施工管理技士（建築，土木）

断熱材における熱伝導率の伝熱要素

～実用的な伝熱モデルと解析事例～

研究開発本部 試験解析室 熱・耐火試験課 阿 部 直 毅

1. 背 景

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、省エネルギーの徹底や再生可能エネルギーの最大限の導入による持続可能な経済成長が求められる。省エネについて断熱材は大きな役割を担い、さらなる高性能化、特に低熱伝導率化が期待される。

断熱材の低熱伝導率化には、材料設計が重要となる。断熱材の材料設計とは、耐熱性、断熱性、強度などの要求特性を満たすように、材料の種類や形状（粒子、繊維など）、サイズを選定し、構造（密度、細孔径、材料配置など）を決定することである。効率的かつ精度良く断熱性について材料設計をするためには、伝熱モデルが構築され、断熱材の熱伝導率を伝熱要素毎に分離できることが望ましい。しかし、伝熱モデルの構築には高度な熱伝導率の測定技術が必要であり、簡単ではない。そこで、本稿では実用的な伝熱モデルと、当社の断熱材を用いた解析事例を紹介する。

2. 無機断熱材の伝熱モデル

2.1 概要

断熱材の低熱伝導率化を目的に、これまで多くの伝熱モデルが研究されてきた^{1) ~ 7), 9), 13), 14)}。断熱材内部を流れる熱には多くの伝熱要素があり、例えば、気体中や固体中を流れる伝導伝熱、空気流れによる対流伝熱、光や電磁波によるふ

く射伝熱があげられる。また、固体中を流れる伝導伝熱は、自由電子の移動によるものと原子・分子の格子振動の伝播によるものにわけられる。このように、断熱材内部の伝熱は非常に複雑なため、厳密なモデル化は困難である。しかし、材料や構造を限定した条件下であれば、簡略化した伝熱モデルが成立する。

そこで、ここでは電気絶縁性を持つ非晶質無機材料の断熱材（以下、無機断熱材と呼ぶ）について考える。電気絶縁性であれば自由電子による伝導伝熱を無視できる。また、断熱材内部に対流が発生しない範囲⁸⁾で材料設計することを前提とすれば、対流伝熱も無視できる。したがって、無機断熱材内部での伝熱要素は、気体および格子振動による伝導伝熱と、ふく射伝熱に限定でき、無機断熱材の有効熱伝導率 λ は、式（1）と表せる。

$$\lambda = \lambda_G + \lambda_C + \lambda_S + \lambda_R \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで、 λ_G は気体伝導による熱伝導率、 λ_S は固体伝導（格子振動）による熱伝導率、 λ_R はふく射の伝熱による熱伝導率を表し、気体・固体・ふく射がそれぞれ独立に並列して伝熱に寄与すると考えた伝熱モデルから得られる。 λ_C は気体伝導と固体伝導が混ざり合った伝熱要素で、ここではカップリング熱伝導率と呼ぶ。断熱材における伝熱要素を図1に示す。 λ_G 、 λ_C 、 λ_S 、 λ_R については次節以降で詳しく説明する。

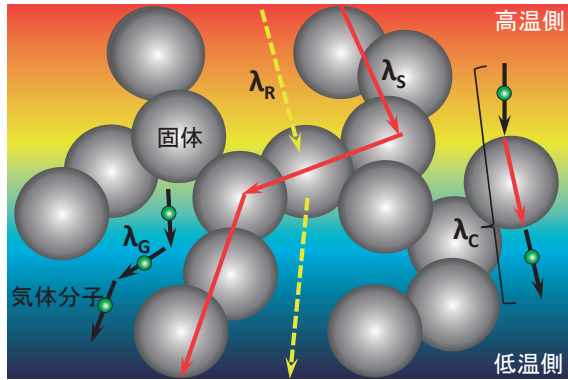


図1 断熱材における伝熱要素
(黒矢印：気体伝導，赤矢印：固体伝導，黄矢印：ふく射)

2.2 気体伝導と固体伝導の伝熱

無機断熱材中の伝導伝熱，すなわち気体伝導と固体伝導は，近似的には大きく3つの伝熱にわけられる。気体のみを経由して伝わる伝熱，気体と固体を経由して伝わる伝熱，固体のみを経由して伝わる伝熱である。この3要素の伝熱モデル化については，古くから半経験論的なアプローチがされている^{1)～5)}。かさ密度の低い無機断熱材に限定すれば，伝導伝熱は下記のように近似することができる。

$$\lambda_g + \lambda_c + \lambda_s = \lambda_g(T) + f(\phi)\lambda_g(T) + \lambda_s(\rho) \quad \cdots (2)$$

ただし， T は絶対温度， ρ はかさ密度， ϕ は空隙率， f は伝熱モデルによって異なる関数である。関数 f は空隙の形状，粉体材料の形状，繊維材料の異方性などの影響を受けるため，汎用的な形で取り扱うのは難しく，実験による検証が必須である。

気体伝熱要素の λ_g については，気体分子運動論から以下のように拡張することも可能である^{9), 10)}。

$$\lambda_g(T) = \frac{\lambda_0(T)}{1 + 2\beta K_n} \quad \cdots (3)$$

ここで， λ_0 は静止気体の熱伝導率， β は気体の種類によって決まるパラメータ， K_n はクヌーセン数である。クヌーセン数 K_n は気体の平均自由行程 L と断熱材内部の空隙サイズ δ の比で表される。

$$K_n = \frac{L}{\delta} \quad \cdots (4)$$

式(3)および式(4)より，断熱材内部の空隙サイズ δ が充分大きければ， $K_n \ll 1$ になり， λ_g は λ_0 と一致する。一方，断熱材内部の空隙サイズ δ が充分小さければ， $K_n \gg 1$ になり， δ が小さくなるほど λ_g はゼロに近づく。空気の熱伝導率とクヌーセン数の関係を図2に示す。

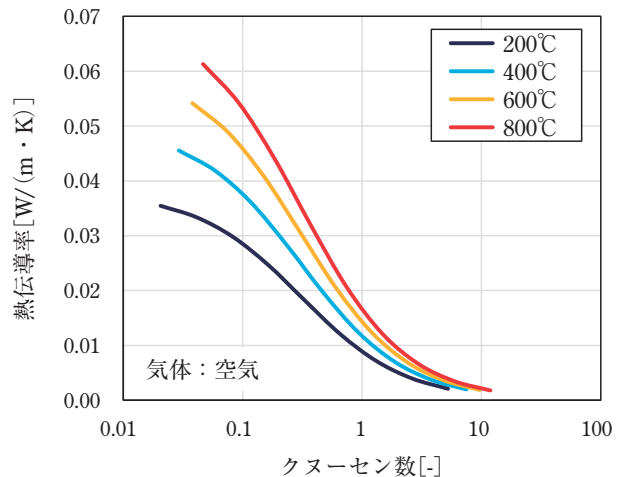


図2 空気の熱伝導率とクヌーセン数の関係

固体伝熱要素の λ_s については，温度に依存しない定数として扱って問題ない。厳密には固体成分の伝導伝熱は温度依存性があるが，非晶質材料であれば，室温以上の温度範囲での温度依存性は比較的小さい¹¹⁾。もちろん，無機材料であっても結晶質であれば大きな温度依存性を持ち，また，極低温まで温度範囲を広げれば，非晶質であっても温度依存性を無視できなくなる¹³⁾。

2.3 ふく射伝熱

断熱材内部のふく射伝熱については理論的なアプローチがされてきたが，最も単純なRosseland拡散方程式¹²⁾が比較的良好に使われている^{13), 14)}。

$$\lambda_R = \frac{16\sigma}{3K} T^3 \quad \cdots (5)$$

ここで， σ はステファン・ボルツマン定数， K はRosseland平均減衰係数である。Rosseland平均減衰係数 K は材料との散乱や吸収でふく射の伝播が

阻害される効果を意味し、材料の充填率と相関がある¹⁾。断熱材の材料設計の利便性から、当社は実験値 B およびかさ密度 ρ を用いた以下の単純な式(6)に縮約してふく射熱伝導率 λ_R を表現してきた⁷⁾。

$$\lambda_R = \frac{B}{\rho} T^3 \dots\dots\dots (6)$$

2.4 伝熱要素の分離

式(1)、式(6)をまとめると、無機断熱材の熱伝導率は式(7)となる。

$$\lambda = \{1 + f(\phi)\} \frac{\lambda_0(T)}{1 + 2\beta K_n} + \lambda_s(\rho) + \frac{B}{\rho} T^3 \dots (7)$$

なお、気体熱伝導率 λ_G とカップリング熱伝導率 λ_C は第1項でまとめあげた。実験的な伝熱要素の分離は、大気圧下と真空下の熱伝導率測定によって行うことができる。真空下ではクヌーセン数 K_n が増大し、第1項の気体伝導に関連する伝熱がゼロになるため、式(7)より真空下の熱伝導率 λ_v は式(8)で表わせる。

$$\lambda_v = \lambda_s(\rho) + \frac{B}{\rho} T^3 \dots\dots\dots (8)$$

したがって、温度依存性の違いから第1項固体伝熱要素 λ_s と第2項ふく射伝熱要素 $\lambda_R = \frac{B}{\rho} T^3$ を分離できる。また式(9)より大気圧下の熱伝導率 λ と真空下の熱伝導率 λ_v の差から $\lambda_G + \lambda_C$ を求められる。

$$\lambda - \lambda_v = \{1 + f(\phi)\} \frac{\lambda_0(T)}{1 + 2\beta K_n} \dots\dots\dots (9)$$

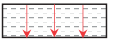
なお、圧力を変化させた熱伝導率測定を行えば、カップリングの寄与 $f(\phi)$ を検討することも可能である。いずれにせよ、大気圧下と真空下で熱伝導率測定をすることで、断熱材の熱伝導率を気体伝導に関連する $\lambda_G + \lambda_C$ 、固体伝導 λ_s 、ふく射 λ_R の3つに分離することができる。

各種断熱材毎に $\lambda_G + \lambda_C$ 、 λ_s 、 λ_R を比較すれば、熱伝導率に寄与する伝熱要素の影響度合いを確認できる。もちろん、そのためには大気圧下と真空下で精度良く熱伝導率を測定できることが絶対の条件である。

3. 当社における熱伝導率測定

600℃を超える高温熱伝導率測定の一般的な手法として、熱線法やレーザーフラッシュ法がある。これら手法は、測定手法の応用により測定条件の拡大が試みられているが、発展途上にあり、現行の測定規格では、多孔質で異方性のある断熱材には不向きである。例えば、断熱材の性能としては、熱源方向の熱伝導率が重要である。しかし、熱線法(ISO8894-1)では、原理的に断熱材の全方向の平均的な熱伝導率が得られ、特定方向の熱伝導率を測定できない。また、断熱材の気孔率は非常に高く、90%を超えるものが多い。レーザーフラッシュ法(ISO18755)では、気孔率10%未満の試験体が対象となるため、ほとんどの断熱材が対象外となる(表1)。

表1 断熱性能評価方法の特徴

方法	周期加熱法	熱線法	レーザーフラッシュ法
ISO	21901	8894-1	18755
測定方向	特定方向 	全方向 	特定方向 
測定可否	多孔質(気孔率)	○	○
	異方性	○	×
測定物性	熱伝導率	—	—
	熱拡散率	○	○

これに対して、当社では1000℃における断熱材の測定には、当社が実用化した周期加熱法¹⁵⁾(ISO21901)を適用している。周期加熱法では高温域における断熱材の熱伝導率を国際規格に準じて精度良く求めることができる。なお、周期加熱法では熱拡散率が得られるので、熱伝導率に換算するために別途、かさ密度と比熱が必要である。高温の比熱については国際標準化が見込まれるDSC法(ISO/DIS 24144:2022年5月16日時点)により実測できる。

4. 測定および解析の事例

断熱材の熱伝導率を測定し、伝熱要素を分離した解析事例を紹介する。かさ密度の異なる2種類の低熱伝導ボードを試験体とした。試験体の概要を表2に、周期加熱法により大気圧下および真空下で熱伝導率を測定した結果を図3および図4に示す。

表2 試験体の概要

試験体	低熱伝導ボード	
かさ密度 [kg/m ³]	240	380
構成材料	・ヒュームドシリカ ・ガラス繊維 ・ふく射散乱材	
断熱性能コンセプト	・ヒュームドシリカの微細構造により気体伝導および固体伝導を抑制 ・ふく射散乱材によりふく射を抑制	

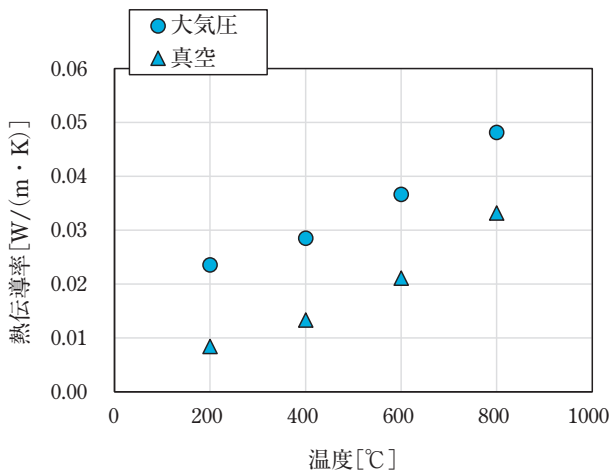


図3 熱伝導率の測定結果 (240kg/m³)

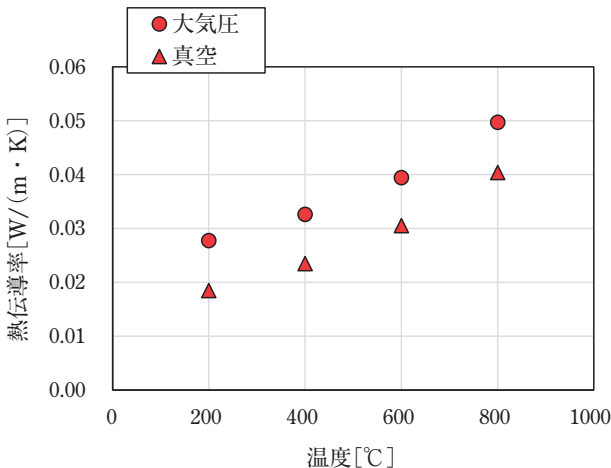


図4 熱伝導率の測定結果 (380kg/m³)

図3および図4より、かさ密度の異なる低熱伝導ボードの熱伝導率は、大気圧下ではそれほどではないが、真空下では値が大きく変化しているように見える。そこで、伝熱要素を分離し、詳細に比較する。

まず、式(9)より、各断熱材の大気圧下と真空下の熱伝導率差を計算で求めることにより、気体伝導に関連する熱伝導率 $\lambda_g + \lambda_c$ を得られる。次に、真空下の熱伝導率を縦軸、絶対温度の三乗を横軸にした結果を図5および図6に示す。

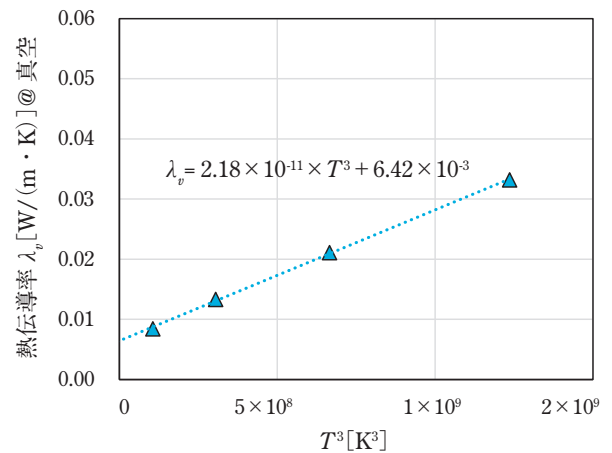


図5 真空下の熱伝導率の測定結果 (240kg/m³)

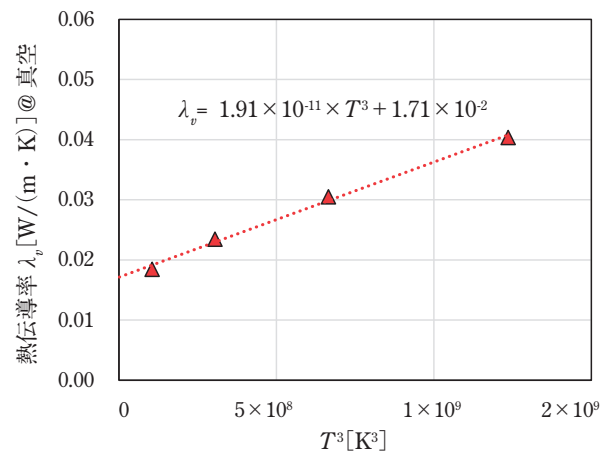


図6 真空下の熱伝導率の測定結果 (380kg/m³)

図5および図6の直線近似した結果と式(8)より、図中の近似式の第1項が $\lambda_k \left(\frac{B}{\rho} T^3 \right)$ 、第2項(切片)が λ_s として得られる。図3～6のデータを基に伝熱要素を分離した結果を図7および図8に示す。

図7および図8より、温度上昇とともにふく射

伝熱による熱伝導率は上昇し、全体の熱伝導率に占める割合が高温ほど増した。一方、固体伝導伝熱および気体伝導伝熱に関連する熱伝導率はほぼ一定であった。

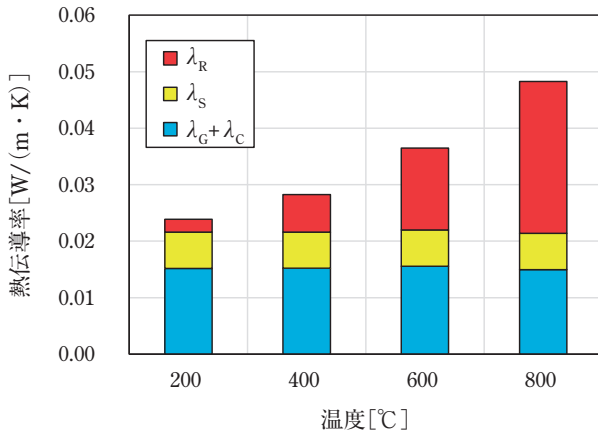


図7 伝熱要素分離 (240kg/m³)

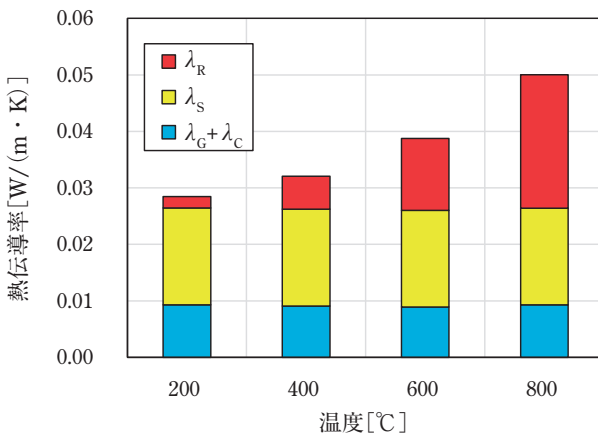


図8 伝熱要素分離 (380kg/m³)

ここで、各断熱材の $\lambda_G + \lambda_C$ を図9に、 λ_S を図10に、 λ_R を図11に示して伝熱要素毎に比較する。

低熱伝導ボードは微細構造を制御し、気体伝導伝熱を抑制する断熱コンセプトとなっている。図9より、低熱伝導ボードの気体伝導伝熱に関連する熱伝導率は、静止空気の熱伝導率に比べて低く、狙いどおり大きく抑制されていることがわかった。空気の平均自由行程に比べて低熱伝導ボードの空隙サイズ δ が十分に小さく、クヌーセン数が $K_n \gg 1$ となったため、式(9)より $\lambda_G + \lambda_C$ が大きく低減したと推測される。また、 $\lambda_G + \lambda_C$ は、かさ密度240kg/m³よりも380kg/m³の方が低かった。

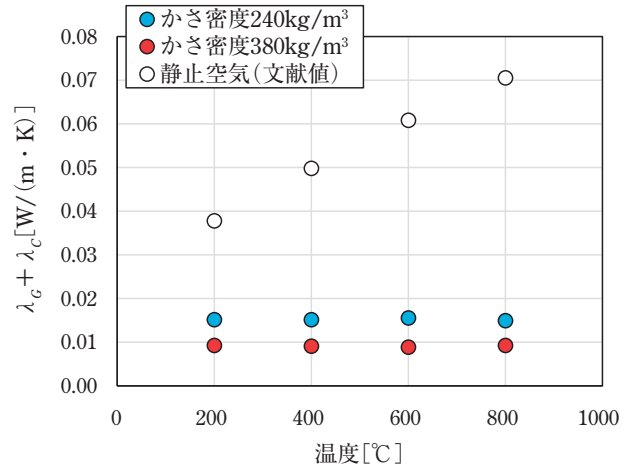


図9 $\lambda_G + \lambda_C$ および静止空気の熱伝導率

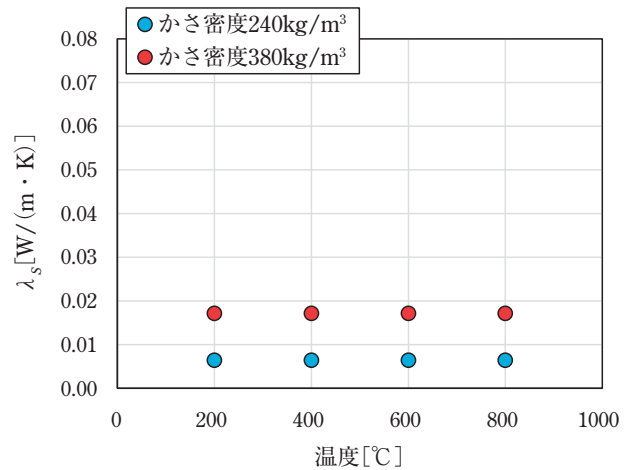


図10 固体伝導伝熱による熱伝導率 λ_S

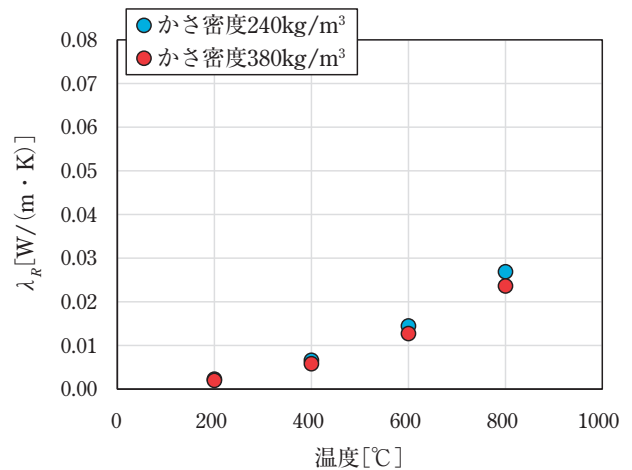


図11 ふく射伝熱による熱伝導率 λ_R

この理由は、かさ密度380kg/m³の方が、空隙サイズが小さいため、クヌーセン数が大きかったと考えられる。

図10より、固体伝導伝熱による熱伝導率 λ_s は、かさ密度 240kg/m^3 よりも 380kg/m^3 の方が高かった。この理由は、かさ密度の高い方が試験体に占める固体の割合、つまり、熱伝導のパスが増えるためである。

図11より、温度上昇とともにふく射伝熱による熱伝導率 λ_r は上昇し、高温ほどかさ密度 380kg/m^3 よりも 240kg/m^3 の方が高かった。式(6)より、かさ密度の高い方がふく射伝熱は低くなると推測されるが、その通りの結果であった。

このように伝熱要素の分離をすることで材料設計の効果を確認することができるため、材料開発の効率化を図ることができる。また、伝熱要素を分離するためには、精度良く熱伝導率を実測できることが重要となる。

5. お わ り に

本稿では低かさ密度の非晶質無機材料断熱材に対して実用的な伝熱モデルの解析事例を紹介した。当社では広い温度範囲で精度良く熱伝導率を測定することができるため、断熱材の伝熱要素を分離することが可能となる。今後も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を継続的に行い、断熱材のさらなる高性能化を進め、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- 1) J. D. Verschoor, P. Greebler, Heat transfer by gas conduction and radiation in fibrous insulation, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 74, pp. 961-968 (1952)
- 2) N. E. Hager Jr., R. C. Steere, Radiant Heat Transfer in Fibrous Thermal Insulation, Journal of Applied Physics, 38, 4663-4668 (1967)
- 3) K. Daryabeigi, Heat transfer in high-temperature fibrous insulation, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, vol. 17, pp. 10-20 (2003)
- 4) 国井大蔵, 多孔質内の放射伝熱, 日本機械学会誌, Vol. 65, pp. 1447-1453 (1962)
- 5) K. Swimm, G. Reichenauer, S. Vidi, H.P. Ebert, Gas Pressure Dependence of the Heat Transport in Porous Solids with Pores Smaller than $10\text{ }\mu\text{m}$, International Journal of Thermophysics vol. 30, pp. 1329-1342 (2009)
- 6) R. Arambakam, H.V. Tafreshi, B. Pourdeyhimi, Modeling performance of multi-component fibrous insulations against conductive and radiative heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 71, pp. 341-348 (2014)
- 7) 大村高弘, 小野寺正剛, 阿部直毅, 303 断熱材のふく射に寄与する熱伝導率と減衰係数, 日本機械学会山梨講演会講演論文集, pp. 68-69 (2009)
- 8) ISO10456
- 9) M.G. Kaganer, Thermal insulation in cryogenic engineering, Israel Program for Scientific Translations (1969).
- 10) B. Gebhart, Heat Conduction and Mass Diffusion, McGraw-Hill, New York, 1993.
- 11) R. C. Zeller, R. O. Pohl, Thermal Conductivity and Specific Heat of Noncrystalline Solids, Physical Review B, Vol.4, pp. 2029-2041
- 12) S. Rosseland, Theoretical Astrophysics; Atomic Theory and the Analysis of Stellar Atmospheres and Envelopes. Clarendon Press, Oxford, 1936.
- 13) 小針達也, 岡島淳之介, 小宮敦樹, 円山重直, 拡散近似を用いた高温多孔質断熱材におけるふく射伝熱評価, 熱物性, Vol. 28, pp. 179-184 (2015)
- 14) S. Zhao, B. Zhang, X. He, Temperature and pressure dependent effective thermal conductivity of fibrous insulation, International Journal of Thermal Sciences, 48, pp. 440-448 (2009)
- 15) 阿部直毅, ニチアスにおける断熱材の高温熱伝導率測定, ニチアス技術時報, Vol. 385, pp. 11-16 (2019)

筆者紹介



阿部 直毅

研究開発本部 試験解析室

熱・耐火試験課

断熱材の熱伝導率測定に関する研究に従事

ニチアスの「断つ・保つ」® 技術を支えるCAE

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

第4回

配管加熱用ヒーターの均熱化設計で活用される熱流体CAE

半導体やフラットパネルディスプレイを製造する前工程において成膜工程、エッチング工程などでは、さまざまなプロセスガスを使用しています。その工程において副生成物や排ガスが配管内部で凝結し、析出することが知られています。析出物により配管が閉塞すると配管を取り外して洗浄などのメンテナンスを行う必要があり、生産性が著しく低下します。そのため、配管の周りをヒーターで加熱し、凝結、析出を防止することが一般的です。

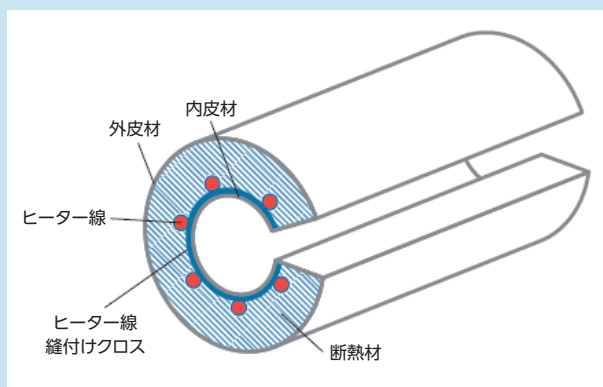
弊社の配管加熱用ヒーターは、複雑形状にも対応できる構造となっており、さまざまな使用環境に合わせた製品設計が可能となっております。

そこで弊社では、熱流体CAE技術を用いて配管の温度状態を予測し、お客さまの要求性能に合わせた設計提案を行っております。

対象製品概要

TOMBO™ No.4500-PH「エネサーモ®-PH」

「エネサーモ®-PH」は約200℃加熱まで対応可能な着脱自在な配管加熱・保温用ジャケットヒーターです。発熱体であるニクロム線を配管側に、断熱材（ガラスマット）をその外側に配置し、その全体を外皮材であるふっ素樹脂コーティングガラスクロス、シリコンコーティングガラスクロスで縫製加工した製品です。



エネサーモ®-PHの基本構造(イメージ)



エネサーモ®-PH 製品外観(配管含む)

【特徴】

- 着脱自在
- 低発じん性
- 最高使用温度 200℃ (さらに高温仕様ヒーターも設計可能)
- 良好な均熱性
- 低アウトガス

【用途】

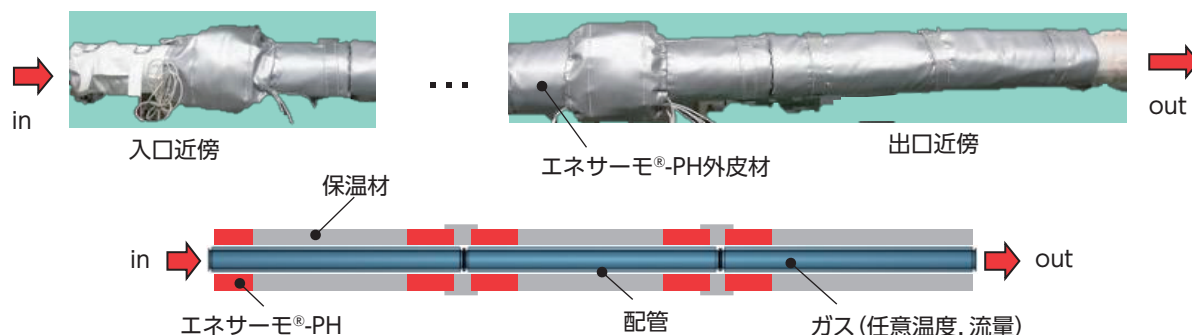
半導体製造装置関連の機器・配管類の加熱だけでなく、食品機器関連の配管の加熱等さまざまです。ヒーター施工、断熱材の仕様など、さまざまなご要望に応じることが可能です。

解析の目的

半導体製造装置のガス排気ラインには排ガスの配管内での析出防止を目的にエネサーモ®-PHが使用されている。所定の温度を維持しつつ、さまざまなガスの流入条件（ガス温度、流量）やエネサーモ®-PH制御温度における配管の温度予測を行う。

解析対象の形状と条件

- 配管は 32A のステンレス製で、配管外側に保温材が巻かれている
- 配管外壁部分のフランジ近傍がエネサーモ®-PHで加熱されている
- 入口部分（下図 in）から任意温度、流量のガスが流入し、出口（下図 out）から流出する
- 配管フランジ部にはシール材が挟まれている



配管熱流体 CAE モデル側面図 (加熱, 保温条件イメージ)

CAE 解析結果

ガス流入温度・ガス流入量・エネサーモ®-PHの制御温度を各数条件設定し、解析を実施しました。その中の解析結果の一例として、配管内表面の温度コンター図を示す。

条件 A



条件 B (条件 A よりガス流量半分)



条件 C (条件 A よりガス低温, 流量 2 倍)



低温 高温

- ガス流入温度や流入量等条件が変化した場合の配管内部温度を予測できた
- 解析結果を基に、ヒーターの制御や断熱材の設計ができる

ま と め

さまざまなガスの条件や制御温度における実験を実施するには膨大な時間と労力がかかります。また、性能のマーゲンを取るために過剰な設計になることもあります。熱流体 CAE を用いることで、さまざまな条件による影響予測が容易で検討時間を短縮でき、お客さまの要望に迅速に応えることができます。

*「TOMBO」はニチアス㈱の登録商標または商標です。

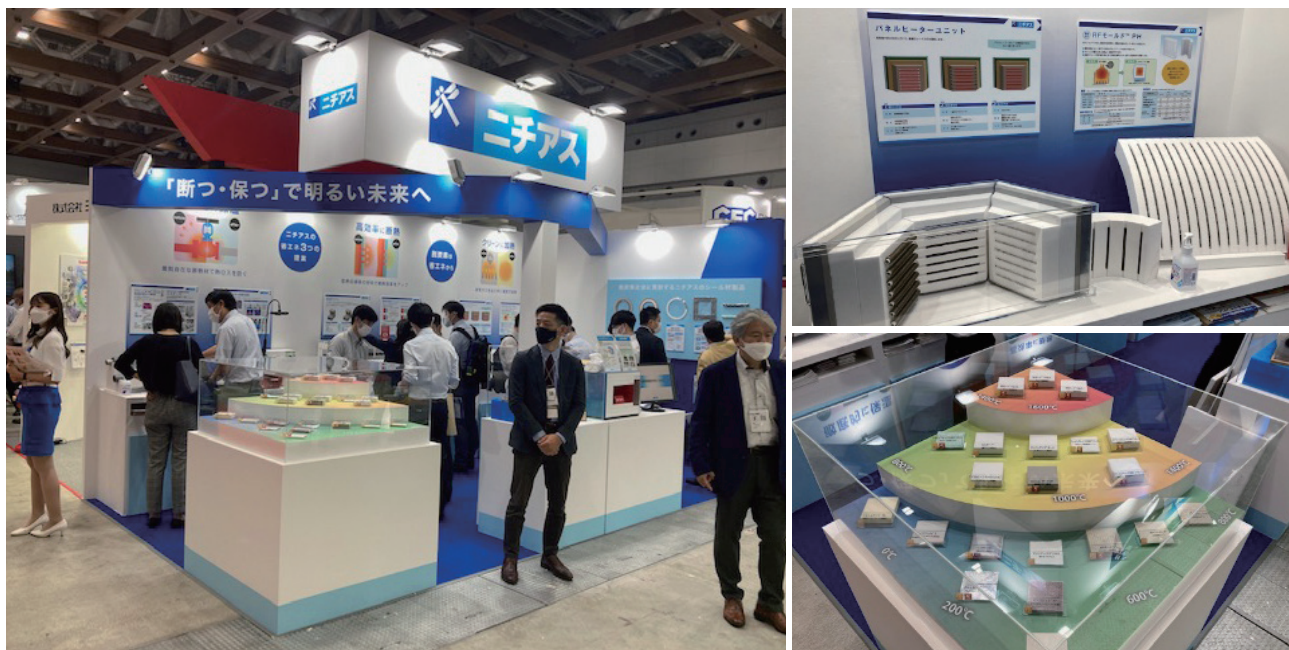
*®が付されている名称はニチアス㈱の登録商標です。

「サーモテック2022」に出展しました

2022年6月1日～3日に東京ビッグサイトで開催された「サーモテック2022 環境・熱・未来～サステナブル社会へ 熱技術の挑戦～」に出展いたしました。4年に1度で開催されるアジア最大規模の工業炉・関連機器の展示会で、新型コロナウイルス感染症の影響で5年ぶりの開催となりました。業界が一堂に会する展示会は大きな注目を集め、3日間で9,121名の方に来場いただき、弊社のブースも大盛況でした。

弊社ブースでは「脱炭素は省エネから」をテーマに①徹底的に保温、②高効率に断熱、③クリーンに加熱の3つの切り口で、熱診断サービスのご紹介や、エネサーモ[®]、ロスリム[®]などの省エネに貢献する製品を出展いたしました。

来場いただいた多くのお客さまから省エネアイデア、アイテムのご質問をいただき、また工場熱診断のご要望も多数いただき、みなさまの脱炭素への関心が高いことが感じ取れました。ご要望には順次ご対応させていただきます。弊社ブースにお越しいただいた来場者のみなさまにはこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。



*「エネサーモ」、「ロスリム」はニチアス(株)の登録商標です。

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

No.397 2022/2 号



- 〈寄稿〉 省力化を目指した鉄骨梁耐火被覆工法の開発～巻付け耐火被覆材の薄肉化～
- 〈製品紹介〉 農業で使われるロックウール製品
- 〈新製品紹介〉 超高温用ガスケット
TOMBO™ No.1891-NM「カンプロファイルガスケット」
- 〈技術レポート〉 ニチアスの省エネ診断システム～プラントのCO₂排出量削減に貢献～

No.396 2022/1 号



- 〈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
- 〈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～

No.395 2021/4 号



- 〈新製品紹介〉 高温ユーティリティ用シートガスケット
TOMBO™ No.1155「クリンシルネクス™」
- 〈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

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.399 2022/4 号は 2022 年 10 月発行予定です。

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



ニチアス株式会社

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

【東日本地区】

札幌営業所	TEL (011) 261-3506
北海道支店	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
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

・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。