

ニチアス 技術時報

2015

No.368

1

号

巻頭紹介: 近年のニチアスグループの海外活動について
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への期待—
技術レポート: ロックウールの繊維化技術
ふっ素樹脂製品におけるクリーン化技術(前編)

**ニチアス**

目次

【巻頭言】

- ◆新年雑感 1
取締役 執行役員 自動車部品事業本部長 中曾根 淳一

【特別企画】

- ◆グローバルに展開するニチアスの海外製造拠点 2

【紹介】

- ◆近年のニチアスグループの海外活動について 4
ニチアス技術時報編集委員会

【解説】

- ◆海外向け耐火被覆材 TOMBO™ No.5520 「MAKIBEE™」—シンガポールでの施工例— 8
建材事業本部 技術開発部 建材工法開発課 清水 玄宏

【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への期待— 11
広島大学 大学院国際協力研究科 准教授 久保田 徹

【技術レポート】

- ◆ロックウールの繊維化技術 16
研究開発本部 浜松研究所 北原 英樹
- ◆ふっ素樹脂製品におけるクリーン化技術（前編）
—PFA チューブ通水液のパーティクル測定— 21
研究開発本部 鶴見研究所 石川 俊

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桁のお客番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。

〈連絡先および本報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。
<http://www.nichias.co.jp/>

〈巻頭言〉

新年雑感

取締役 執行役員
自動車部品事業本部長

中 曾 根 淳 一



あけましておめでとうございます。

本年の世界経済は、新興国は輸出の伸び悩みなどから成長ペースが減速傾向にあるものの、先進国は緩やかながらも景気回復が見込まれ、世界全体では堅調な成長が予想されています。

日本企業のグローバル化が重要な経営課題としてクローズアップされていますが、近年、市場のグローバル化はますます加速している状況にあります。先進国の製造業は大量生産型のものづくりにおいて新興国との競争が激しくなっているため、過大な価格競争に陥らず、高付加価値をとれる新たなものづくりを模索している状況にあります。付加価値を最大にするものづくりには、他にはない独自の技術力が求められ、それをお客さまのニーズに合った製品として提供できるかが重要となります。

昨年、経済産業省は、グローバル市場の開拓に取り組んでいる企業のうち、ニッチ分野において高いシェアを確保し良好な経営を実践している企業を「グローバルニッチトップ企業100選」として選定し発表しました。これはひとつの方向性を示すものであり、今後「グローバルニッチトップ」という言葉は日本の製造業がものづくりにおいてグローバルで競争に勝っていくための重要なキーワードであると考えます。

弊社は「シール」「断熱」「防音」「耐火」「耐食」および「クリーン」といった6つの要素からなる「断つ・保つ」という特定の技術領域において、基幹産業から自動車、半導体、航空宇宙、建設にいたる幅広い産業・分野に対しグローバルに展開していることが他にはない特徴となっております。今後も弊社はこの特徴を活かしたものづくりで高付加価値製品を創出し、より一層グローバルに貢献できるよう努力していく所存です。

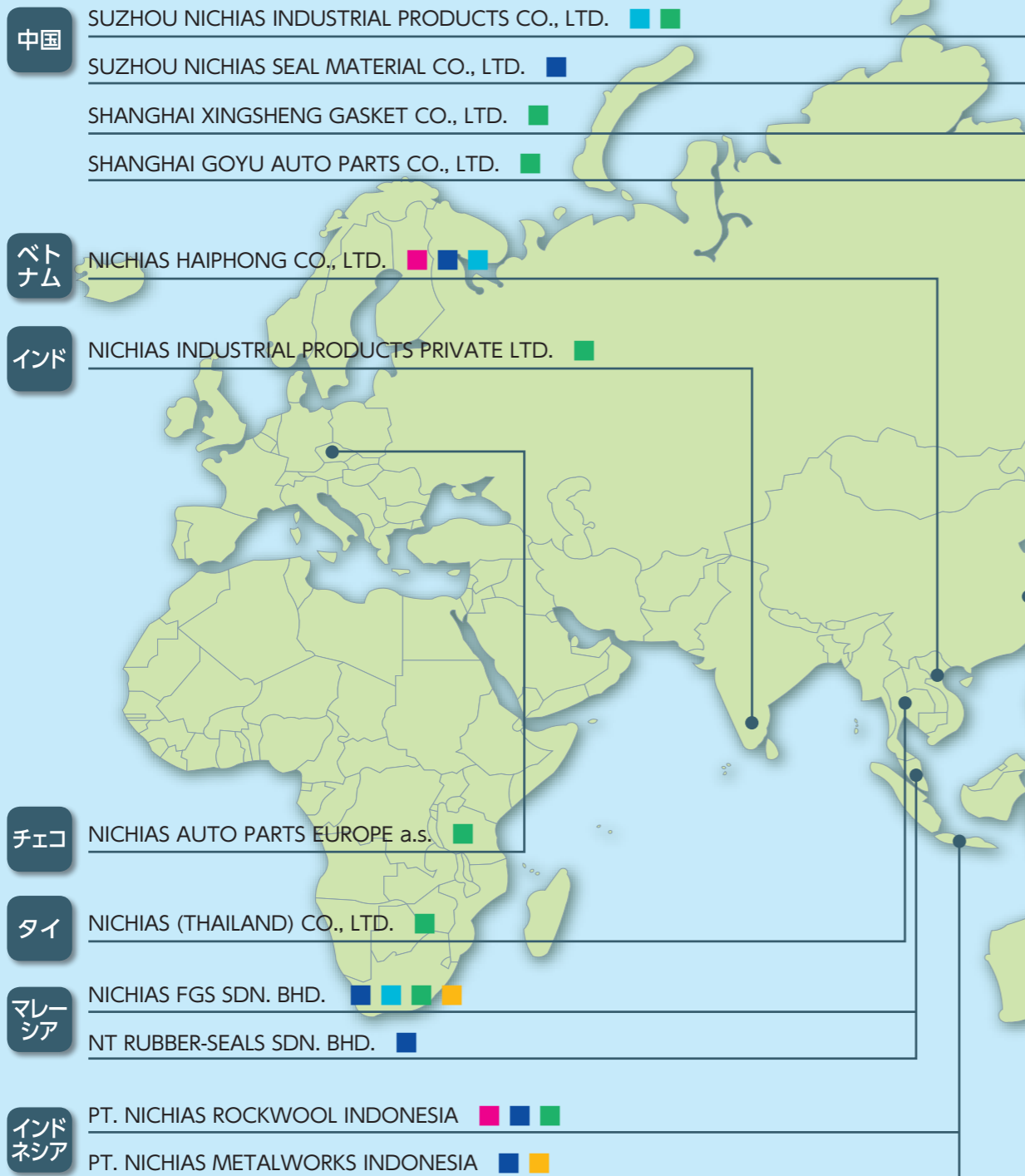
読者の皆さまの本年のご健勝をお祈り申し上げますとともに、ニチアス技術時報のご愛読と、弊社製品の一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

グローバルに展開するニチアスの海外製造拠点

当社グループは、海外に展開したお客さまの要望に応じた高品質で高付加価値な製品を安定供給するグローバルな生産体制を整えております。今後ますます拡大する海外市場を見据え、さらなる海外事業展開を推進してまいります。

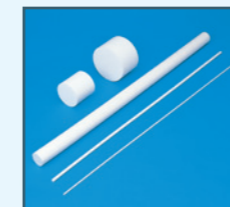
製造品目

- 断熱材
- シール材
- ふっ素樹脂製品
- 自動車部品
- 建材



メキシコ NAX MFG, S.A.DE C.V. 自動車部品

海外拠点で製造している主な製品



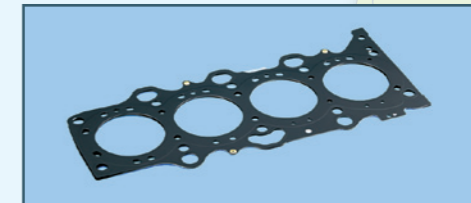
ふっ素樹脂加工品



配管用断熱材



自動車向けヒートインシュレーター



自動車向けガスケット

〈紹介〉

近年のニチアスグループの海外活動について

ニチアス技術時報編集委員会

1. はじめに

1896年（明治29年）、ニチアスはわが国における保温・断熱分野のパイオニアとしてスタートし、1世紀以上にわたる長い歴史のなかで、さまざまな産業分野へ「断つ・保つ」の技術を基盤とした製品とサービスを提供することで成長してきました。これらの製品は日本国内のみならず世界中のお客さまにご利用いただき、各国の石油精製・石油化学といったさまざまなプラントや自動車産業などでお使いいただいております。

弊社の海外拠点は、アジア地域を中心に、8カ国13箇所に生産拠点を展開しています。各生産

拠点では、世界中のお客さまに「断つ・保つ」の製品を供給する体制を整え活動をしています。本稿では、弊社グループの海外事業展開における活動の一例を紹介します。

2. 自動車部品の供給体制

弊社の自動車部品製造拠点を表1に示します。

日系自動車メーカーの海外展開とともに、弊社も中国をはじめインド、タイ、マレーシア、インドネシアなど経済成長著しいアジア圏を中心に積極的に海外展開を図り、長年にわたってエンジン周りの水・油・ガスの漏れを断つガスケット部品の製造、販売を行ってきた豊富な実績が

表1 自動車部品の海外製造拠点（取得認証は2014年12月現在）

	事業所名	設立年	取得認証
中国	SUZHOU NICHIAS INDUSTRIAL PRODUCTS CO., LTD.	2002	ISO 9001 : 2008 ISO 14001 : 2004
	SHANGHAI XINGSHENG GASKET CO., LTD.	1997	ISO/TS16949
	SHANGHAI GOYU AUTOPARTS CO., LTD.	2006	—
タイ	NICHIAS (THAILAND) CO., LTD.	1997	ISO/TS 16949 ISO 14001 : 2004
マレーシア	NICHIAS FGS SDN. BHD.	1990	ISO 9001 : 2008 ISO 14001 : 2004
インドネシア	PT. NICHIAS ROCKWOOL INDONESIA	1995	ISO 9001 : 2008 ISO 14001 : 2004
インド	NICHIAS INDUSTRIAL PRODUCTS PRIVATE LTD.	2008	ISO/TS 16949 ISO 9001 : 2008 ISO 14001 : 2004
チェコ	NICHIAS AUTOPARTS EUROPE a.s. (2014年 現社名に変更)	2004	ISO/TS 16949 ISO 14001 : 2004
メキシコ	NAX MFG, S.A.DE C.V.	2012	ISO/TS 16949取得予定 ISO 14001 : 2004

あります。

ここでは、海外生産拠点における主力製品であるTOMBO™ No.1600「メタコート®」(以下、メタコート®)製品の供給体制について紹介させていただきます。

2.1 メタコート®製品の製造販売

メタコート®は金属薄板に粘弾性体であるゴムを非常に薄く強固にコーティングした製品で(図1)、エンジンのシリンダーヘッドガスケットやブレーキの鳴きを防止するブレーキシムなどに加工されます(図2)。

弊社の海外製造拠点として最大規模となるマレーシアのNICHIAS FGS SDN.BHD.(図3)で

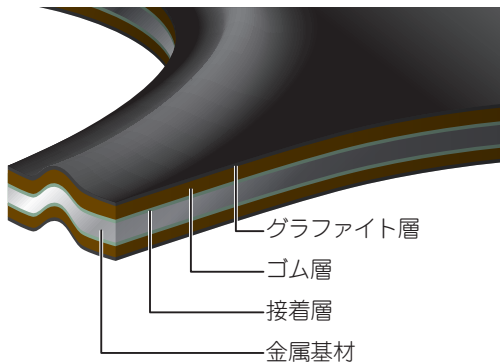


図1 メタコート®の構造



図2 メタコート®製品例
(左：ヘッドガスケット、右：ブレーキシム)



図3 NICHIAS FGS SDN.BHD. (マレーシア)

は、このメタコート®製品の原板材を製造しております。

各海外拠点で販売されるメタコート®製品は、日本国内およびマレーシアで製造した原板材より加工されます。このようにグローバルな原板供給体制を整えることにより、メタコート®製品の安定供給が可能になっています。

2.2 品質管理

メタコート®製品はシリンダーヘッドガスケットのような高温、高圧の過酷な環境下でシール性を要求される製品であるため、製造には厳しい品質管理が求められます。そこで製造、加工を行う各拠点では、自動車産業向けの品質マネジメントシステムであるISO/TS 16949を取得し、日本で生産されたものと同等の品質を確保した製品を供給することで海外展開しているお客さまの生産活動を支えています。

2.3 最新拠点

2012年にメキシコに中南米市場をターゲットとした新しい製造販売拠点としてNAX MFG, S.A.DE C.V.(図4)を設立しました。今後、自動車生産台数の拡大が見込まれるメキシコ、ブラジル向けにメタコート®製品の製造販売を行っていきます。

今後とも日系自動車メーカーの現地生産化がますます進む中、弊社はお客さまの要求品質に合わせた自動車部品をグローバルかつ、タイムリーに安定供給できるよう、より一層の事業活動を推進していきます。



図4 NAX MFG, S.A.DE C.V. (メキシコ)

3. 海外製造拠点における環境対策

海外において生産活動を行うにあたり、各地域の法令、風土を考慮した環境配慮活動を展開しています。その一例としてインドネシアでの事例を紹介します。

3.1 CO₂ 排出量の大幅削減

経済が急拡大しているインドネシアおよびASEAN周辺地域では、省エネ・地球温暖化防止に対する関心が高まり、断熱材の需要が増加しています。このような状況に対応すべく、PT. NICHIAS ROCKWOOL INDONESIAでは、2012年にロックウール断熱材の第2工場（図5）を稼動しました。



図5 PT. NICHIAS ROCKWOOL INDONESIA 第2工場

本工場の特徴はロックウール製品製造時の原料溶融方式に、CO₂排出量が少ない電気炉方式を採用した点にあります。

ロックウールの製造法には原料の鉱石をコークスの燃焼とともに溶融するキュボラ法がありますが、コークスの燃焼により膨大な量のCO₂と、SO_xなど有害物質ならびに悪臭の原因となるH₂S（硫化水素）を排出するため脱硫、脱臭などの排ガス処理施設を必要とします。一方、本工場採用している電気炉方式は、購入電力を使用するため本工場でのCO₂排出は無く、排ガス処理施設は必要としません。また、製造に必要な電力は、工場近郊の水力発電所（ジャティール水力発電所）から購入することで、発電

に伴うCO₂およびSO_xなどの排出量を火力発電と比較して実質的にゼロとし、低環境負荷での製造が可能となっております。

3.2 天井採光による省エネ

さらなる省エネ対策として倉庫建屋の天井に透明材料を使用した天窓を設置し（図6）、昼間の人工照明の消費電力を削減しています。



図6 天井採光を配した倉庫内の様子

このような天井採光による昼間電力の削減は、本工場だけでなく、インドネシアのPT. NICHIAS METALWORKS INDONESIA、タイのNICHIAS (THAILAND) CO., LTD.にも採用され、省エネだけでなく作業環境の改善にも貢献しています。

3.3 製造工程におけるリサイクル

ロックウール製品の製造過程では、廃棄物が少なからず発生します。たとえば製織時に発生する多量の綿くずや、製品サイズにあわせて切断した耳くず、ならびに不良品などです。これらは製品と同一組成であるためリサイクルが可能です。そこで本工場では、綿くずはロックウール濾材を用いた乾式フィルターで回収し、回収された綿くずは濾材ごと粉碎の後、原料としてリサイクルされます。また耳くず、ならびに不良品も同様に粉碎して原料としてリサイクルすることで、廃棄物削減に努めています。

今回ご紹介したインドネシアの事例以外にも弊社の各海外製造拠点では、環境に配慮した生産活動を行っています。今後ともこうした活動を推進、継続していきます。

4. シンガポールでのグリーンビルディング製品認証取得

世界的に環境に配慮した商品への関心が高まる中、建築物やその施工・解体においてもエネルギー使用や廃棄物の削減などを図るグリーンビルディング認証を取得する動きがあります。こうした状況下、2013年11月に弊社の断熱材など計7種の建材製品が、グリーンビルディング製品としてシンガポールのグリーンビル評議会より認証を受けました。

今後こうした環境保全に関する動きは成長著しいアジア地区においても加速すると予想されます。環境に配慮した弊社製品の積極的な利用を推進することで、地球規模での環境対策に貢献していきます。

5. おわりに

弊社では今後とも各地域のお客さまに合わせた製品のカスタマイズなど、技術開発を推進するとともに、より一層環境に配慮した生産活動を進めることで、世界中のお客さまに信頼され、共に歩むことができるよう事業展開を行っていく所存です。今後とも弊社のグローバルな活動にご期待ください。

※「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。

〈解説〉

海外向け耐火被覆材TOMBO™ No.5520「MAKIBEE™」 —シンガポールでの施工例—

建材事業本部 技術開発部 建材工法開発課 清水 玄 宏

1. はじめに

TOMBO™ No.5520「マキベエ®」（以下、マキベエ®）は、弊社の独自技術から生まれた耐火被覆材です。このたびシンガポールにて日本の建設会社が建設したビルに「MAKIBEE™」として海外で初めて採用されました。本稿では、「MAKIBEE™」が採用された背景と建築物の耐火基準に関して、日本とシンガポールの違いを概説します。

2. 「マキベエ®」について

建築物は建物の構造を構成する材料により、木造、レンガ造、コンクリート造、鉄骨造などに分けられていますが、この中で、鉄骨造はコンクリート造と比較して人手がかからず、合理的な建設方法の一つです。日本では地震が多いこともあり、鉄骨造の建築物の建設技術が進んでいます。しかしながら鉄は熱で曲がりやすくなるという特性を有し、建物火災で鉄骨造の柱、梁が火災の熱で曲がって倒壊し、被害が拡大した事例は少なくありません。このような倒壊事故を防ぐため、ある一定規模以上の鉄骨造の建物には柱、梁を火災の熱から守るために耐火被覆材が必要となります。

耐火被覆材は「無機系吹き付け被覆材」「耐火塗料」「成形板」「巻き付け耐火被覆材」と主に4種に分類されます。

「マキベエ®」（図1）は巻き付け耐火被覆材で、①1人でも作業が可能、②大きなプラント設備が

不要、③特別な養生が不要で、他工事との並行作業が可能といった効率的かつ合理的な材料であることが評価され、日本を代表する建築物をはじめ、住宅から事務所ビルまで多岐にわたる鉄骨造建築物でご採用いただいております。

一方、海外では地震が少なく鉄骨造の建築物が少ないことから、耐火被覆の需要も少なくこれまで使用されてきませんでした。

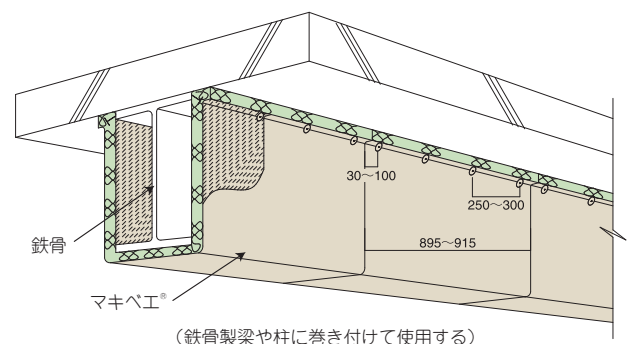


図1 マキベエ®の概略図

3. シンガポールにおける「MAKIBEE™」採用の背景

近年、各国とも建設業に携わる作業員は減少の一途をたどり、賃金の安い国からの出稼ぎ労働力に依存せざるを得ない状況にあり、熟練した作業員確保が困難な状況になっています。そのことが原因で建設工程の遅れを引き起こすことがしばしば見受けられます。これはシンガ

ポールでも例外ではなく建設現場では外国人労働者に頼っているのが現状です。このような建設事情から、シンガポール政府は2020年までに「労働者の技能・レベルを上げて、仕事そのものの質を向上させ、より高い収入が得られる先進経済を目指す」という方針を掲げた戦略的な建設行政を実施しています。その中で労働者の技能向上、最新技術の導入などに関わる費用を政府が助成する制度が施行されています。

「マキベエ®」は、あらかじめ工場で成形された耐熱被覆材を鉄骨に巻き付け、ピン止めするという比較的容易な作業で施工ができること、吹き付け被覆材のように作業中に他の作業が中断することなく並行作業が可能であることが、工期短縮やコストダウンにつながるということで、建築における合理的な新技術として認められ、「MAKIBEE™」の名で初の海外での採用に至りました。

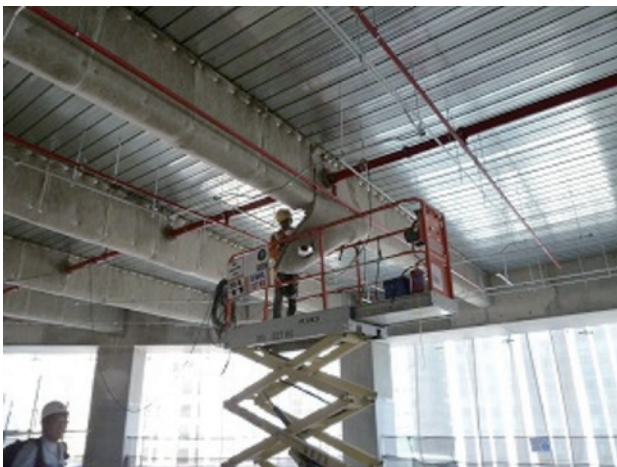


図2 シンガポールでのMAKIBEE™施工風景

4. 海外と日本での耐火基準の違い

海外において事業を展開する場合、当然ながら現地の法令や基準を順守することが必要です。建築物を建設する場合も、日本と同様に各国で建築基準が法律によって定められており、国により内容が異なります。建築物の耐火、防火に関して、日本では鉄骨造が比較的多いこと、また地震による木造家屋の大火災が多かった歴史的背景から、建築基準法により厳しく詳細にわ

たり規定されています。一方、諸外国の大半は、大枠は決まっているものの、細かいところは定まっていないのが現状です。

日本では、建築基準法により建物の耐火基準（耐火構造、準耐火構造など）が定められており、建物の規模や階数（すなわち大きさ）により構造物の耐火時間が1, 2, 3時間と定められます。

建物の構成部材は、要求される耐火時間に適合する性能が求められます。耐火時間に合わせて柱・梁などの部材ごと、耐火被覆材ごと、鉄骨サイズごとに耐火試験が行われ、所定の性能を確認し合格すると国土交通大臣から認定を受けます。この際、耐火被覆材の厚みも定まります。

日本の建物は、建物の仕様（規模）にあわせ、たとえば耐火2時間が要求される場合、それに適合する認定を受けた部材で構造を組み上げていくことになります。

これに対して、シンガポールでは建物の大きさではなく、その建物の用途で耐火時間が決まります。事務所ビルなどは耐火90分ですが、不特定多数の人が出入りするスーパーマーケットなどは耐火120分となります。

耐火試験も各部材ごとに行うことは日本と変わりませんが、シンガポールでは英国規格（BS476:Part21:1987）に則った試験が必要とされます。

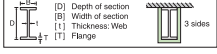
使用する部材の選定は日本と異なり、使用する鉄骨サイズごとに定められている形状係数（Shape coefficient; H_p/A ）という数値から、適切な耐火被覆材の厚みを早見表を参照して求めていきます。

表1, 2に「MAKIBEE™」施工時に使用する鉄骨の形状係数の一例と耐火時間と被覆厚の早見表を示します。

たとえば914mm×305mmというシリーズの鉄骨の場合、鉄骨サイズ対してそれぞれ60~80という形状係数が定められています。この形状係数を表2の「MAKIBEE™」の耐火時間と被覆厚の早見表に当てはめ、形状係数65の鉄骨で、120分の耐火時間が必要であれば40mm厚の「MAKIBEE™」を使用すると判定します。

したがって実際の設計では、要求される耐火時間に合わせ建物を構成する個々の鉄骨の寸法ごとに耐火被覆材の厚みを決定します。

表1 鉄骨サイズと形状定数の一例



Hp/A table							
Designation: Serial size	Mass per metre	Depth of section [D]	Width of section [B]	Thickness: Web [T]	Flange [T]	Area of section	3 sides
(mm)	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)	(m ²)
914x419	388	921.0	420.5	21.5	36.6	494.5	45
914x305	343	911.4	418.5	19.4	32.0	437.5	50
	289	925.8	307.8	19.6	32.0	365.8	60
	253	915.5	305.5	17.3	27.9	322.8	65
	224	910.3	304.1	15.9	23.9	285.3	75
	201	903.0	303.0	15.2	20.2	256.4	80
838x292	226	850.9	233.8	16.1	26.8	285.7	70
	194	840.7	292.4	14.7	21.7	247.2	80
	176	834.9	291.6	14.0			90
	197	789.8	268.0				
	173	762.0					

表2 MAKIBEE™の耐火時間と被覆厚の早見表

Shape coefficient (m ⁻¹)	Thickness required per indicated fire-resistance time (mm)				
	30min	60min	90min	120min	150min
50				35	50
55			20		55
60					60
65				40	65
70					70
75					75
80				45	80
85					85
90					90
95			25		95
100					100
105					105
110					110
115					115
120				50	120
125					125

5. 「MAKIBEE™」のシンガポールでの評価

2013年8月、在シンガポール日系関連企業関係者で作るWASS（鋼構造建築物普及に向けた研究会）と国土交通省の共催により「第2回鋼構造による高層建築普及セミナー」がシンガポールで開催されました。WASSはシンガポール政府の建設局にあたる Building and Construction Authority (BCA) から高い関心を持って見られている団体で、両国の産業界、学界、政府関係者ら約300人が出席し、日本の技術やシンガポールにおける今後の可能性について活発な質疑応答が行われました（図3）。

この中で発表した「MAKIBEE™」の耐火被覆技術は、BCAの機関紙「build smart」2014年



図3 セミナー会場の様子（写真提供 国土交通省）

2月号において紹介され、作業の容易性、工期短縮、ビル解体後の鉄骨リサイクルが容易な技術として高く評価されました。

6. おわりに

今回海外で「MAKIBEE™」を施工する過程で、現地の施工業者とのコミュニケーションを通じて、言葉は十分わからなくても思いは同じであるという場面に少なからず遭遇してきました。より良い発展への希求には国境は存在しないということでしょう。

今回の「MAKIBEE™」のご採用を第一歩として、これからも海外のお客さまのご要望にお応えできる建材製品を開発していく所存です。

本稿が今後、海外にて鉄骨造建築物を設計予定の皆さまのお役に少しでも立てれば幸いです。

- ※「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。
- ※「マキベエ」はニチアス(株)の登録商標です。
- ※「MAKIBEE」はニチアス(株)の商標です。

筆者紹介



清水玄宏

建材事業本部
技術開発部 建材工法開発課
耐火被覆材、断熱工法の開発に従事

〈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への期待—

広島大学 大学院国際協力研究科 准教授 久保田 徹

1. はじめに

高い経済成長を続ける東南アジアの新興国・途上国では、現在も都市化が進行しており、都市のエネルギー消費を大きく増加させている。筆者らの研究グループは、こうした高温多湿な東南アジアをフィールドとして都市住宅の省エネルギー手法に関する研究を進めてきた。筆者には、学位取得後の2003年から2009年までの6年間にマレー半島南端に位置するジョホールバルのマレーシア工科大学（以下UTMと略記）で過ごした経験がある。この滞在期間中に、現地研究者や学生とともに、既に膨大なストックを有する同国の中間層向け都市住宅の省エネ改修手法に関する基礎研究を行った。2009年度より現在の広島大学に着任したが、上記の研究はUTMとの共同研究という形で継続させている。

本稿では、この研究によって得られた成果の詳細について述べる。なお本研究に対してはニチアス株式会社より深い共感とご理解を頂き、研究助成と技術協力をいただいた。その助成により、現在UTMキャンパス内に建設中の省エネルギー実証住宅「ニチアス・エコハウス」（2015年5月竣工予定）について紹介する。

2. マレーシアの都市住宅

マレーシアの国土面積はおよそ日本と等しいが、人口は2,900万人程度しかなく人口密度は低

い。戦後の社会的混乱も少なく、経済的に大きな発展を遂げた。アジア開発銀行の資料によれば、中間層（一日の支出がUS\$2 - \$20）の割合は2004年の時点で既に89%に達している¹⁾。

マレーシアに限らず、東南アジアの伝統的建築の多くは木造高床式であり、深い庇で日射を遮り、また開放的なつくりで風通しを確保するものがほとんどであった。しかし、現在の都市住宅の多くは、レンガを用いた熱容量の大きな建物がほとんどを占める（マレーシア国内の都市住宅の約91%）²⁾。また、住宅形式は、軒を連ねたテラスハウスが44%で最も多い（図1）。つまり、戦後、都市に流入し中間層となった世帯の多くが、こうしたレンガ造のテラスハウスに居住している。テラスハウスは、マレーシア国内に既に230万戸ほどあるため、筆者らは、こうした既存のテラスハウスを対象とした省エネ改修方法に焦点を当てている。



図1 マレーシアのテラスハウス住宅地

3. エネルギー消費量調査と室内熱環境実測

住宅内のエネルギー消費量については複数回実測を行っている。2009年にジョホールバルで行った調査³⁾では、世帯の年間エネルギー消費量(2次エネルギー)は平均24.5GJであった(図2)。その内訳を見ると、調理用のエネルギー消費量の割合が最も高く(約37%),それに次いで冷房用の消費量の占める割合が高かった(約29%)。また、エアコンの普及率は65%程度であり、世帯収入の増加に伴い所有台数が増える傾向が見られた。マレー半島部では、月平均気温は27-29℃程度、相対湿度は約80%で一年を通じてほぼ一定である。なお、2004年に同市内で行った調査によって、エアコンは主寝室に優先して設置される傾向があり、夜間の就寝時に長時間(平均7-8時間/日)使用されていることが分かった⁴⁾。そこで筆者らは、エアコンを用いることなく室内の熱的快適性を得る方法(パッシブクーリング)によって、住宅内のエネルギー消費量を削減する方法を検討している。

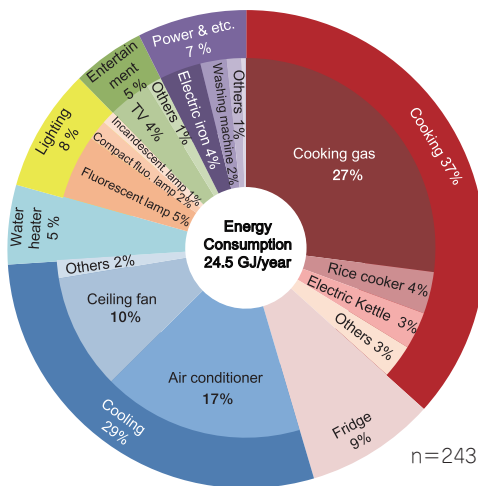


図2 ジョホールバルの都市住宅における世帯当たりの年間エネルギー消費量 (2009年調査)³⁾

2007年に、ジョホールバルに立地する典型的テラスハウスにおいて室内熱環境の実測を行った⁴⁾。隣り合う2棟(空き家)を対象に、異なる自然換気条件下で室内熱環境を同時計測することでそれらの室温低減効果を明らかにした。この結果、現状を示す昼間換気状態(昼は窓を開け、

夜は閉める)では、夜間の室温は外気温(約25℃)に比べ4-5℃高く、夜間のエアコンの使用を促していることが分かった。また、こうした現状に対し、夜間換気(昼は窓を閉め、夜は開ける)を採用した場合には、一日を通じて室温を2-3℃低下できることを明らかにした(図3)。

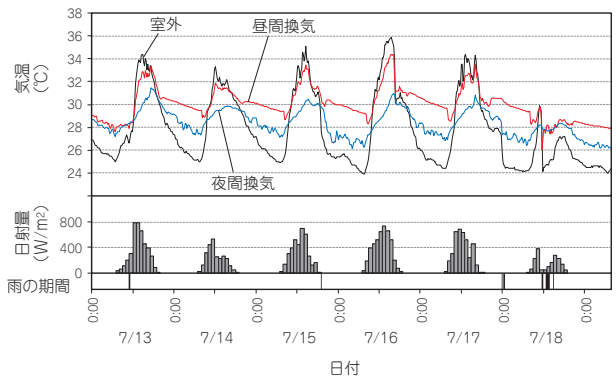


図3 ジョホールバルのテラスハウスにおける室内熱環境の実測結果：昼間換気と夜間換気と比較 (2007年7月)⁴⁾

4. 省エネ改修に関するシミュレーション

前節のとおり、熱容量の大きいテラスハウスの場合、現在の居住者が行う昼間換気を夜間換気に変更するだけで大きな室温低減効果があることが分かったが、それでも一日を通じて熱的快適性を得るには不十分であった。そこで、夜間換気に、さらなるパッシブクーリング手法を加えた場合の室内熱環境改善効果をシミュレーションによって検討した。

冷房に頼らずパッシブクーリングのみで熱的快適性を満たすことが理想であるが、一方では、前述のとおり、マレーシアの都市住宅においては既に6-7割の住宅にエアコンが設置されているという実状がある。また、新興国の都市でもヒートアイランドは着実に進行しており、地球温暖化と相まって都市はますます高温化している。そこで本研究では、①冷房に頼らずパッシブクーリングのみを用いた方法(以下、パッシブクーリング)を検討する一方で、②主寝室における冷房使用を前提に、その他のスペースにパッシブ手法を導入することで、主寝室の冷房

負荷を低減する方法（以下、部分冷房）の2通りを検討している。

4.1 シミュレーション条件

ここでは、現地のデベロッパーを訪問するなどして収集した219件のテラスハウスの図面を分類して標準的事例を選定し、これをシミュレーションの対象住宅とした。図4に対象住宅の平面図を示す。対象住宅の敷地面積は143m²で、延べ床面積は155m²である。テラスハウスでは、通常、鉄筋コンクリートのフレームにセメントプラスター塗りレンガ壁が用いられる。隣接する住宅と戸境壁を共有するため、換気不足になり排熱が上手く行われないなどの問題が生じやすい。また、現状では屋根材の下部に一層のアルミ箔遮熱材が敷かれるケースがほとんどであるが、天井や屋根、外壁などに断熱材が使用されることは少ない。したがって、室内熱環境を改善する余地はまだ十分にあると考えられる。

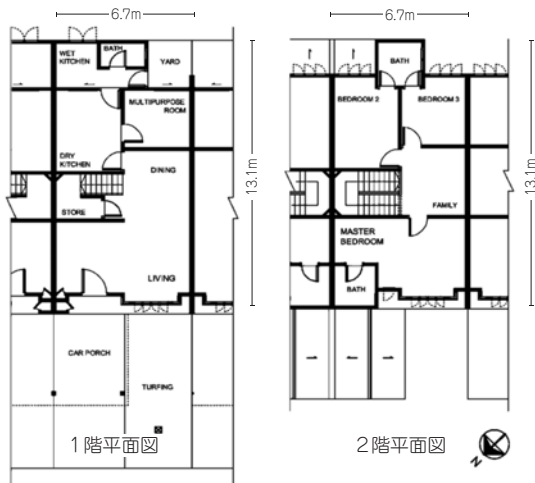


図4 シミュレーション対象住宅の平面図

ジョホールバルの現在の人口は約130万人であるが、前述のとおり都市ヒートアイランドが深刻化している。2008年に行った移動計測では、都心と郊外の気温差は晴天日の夜間に最大で約4℃に達していた⁵⁾。そこで本研究では、ヒートアイランド影響下にある都心の気象条件の下でシミュレーションを行うことで、高温化した気象条件でも熱的快適性を満たす改修方法を検討した。図5にシミュレーションに用いた気象デー

タを示す。対象期間中の都心と郊外の気温差の平均は日中、夜間ともに約2.2℃であった。

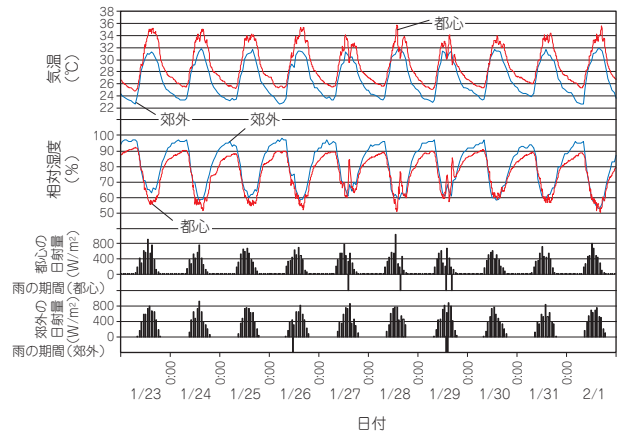


図5 シミュレーションに使用した気象データ(2010年1月)

本シミュレーションでは熱計算ソフトTRNSYSを用いた。表1にシミュレーションで扱ったパッシブクーリング手法を示す。ここでは、マレーシアの建材市場で扱われるもので、なおかつ既存のテラスハウスの改修方法として導入可能なものを選定した。断熱については、各部位に $R = 4\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ の断熱材を導入した場合を検討した。また、屋根裏と主寝室に換気扇を設置し強制換気を行った場合、さらに、現状の窓ガラスをLow-Eガラスに変更した場合、屋根に高反射塗料を塗布した場合、窓面の内側/外側で日射遮蔽を行った場合をそれぞれ検討した。なお、住宅内の内部発熱に関しては、人体、照明、家電からの発

表1 シミュレーションで検討したパッシブ手法

導入手法	詳細
方位	4方向(東, 西, 南, 北)
自然換気	夜間換気, 昼間換気, 終日閉鎖, 終日換気
強制換気(主寝室)	10回/h(夜間のみ)
強制換気(屋根裏)	10回/h(夜間のみ)
断熱材	屋根, 天井, 外壁外側, 外壁内側, 内壁, 境界壁, 床 ($R = 4\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
Low-E ガラス	遮熱タイプ ($U\text{-value} : 2.54\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, $G\text{-value} : 0.44$)
日射遮蔽(窓面)	外部・内部(遮蔽率: 0.75)
高反射塗料(屋根)	日射反射率: 0.8, 長波放射率: 0.9

熱を考慮した。世帯人数は4名とし、在室スケジュールはこれまでのアンケート調査結果を基に決定した。

4.2 パッシブクーリングの場合のシミュレーション結果

夜間換気に加えて表1に示す各パッシブクーリング手法を複合的に導入した場合の寝室の作用温度を算出し、筆者ら⁶⁾の開発した高温多湿気候下の自然換気建物のための適応モデル(ACE: Adaptive Comfort Equation)を用いて熱的快適性の評価を行った(図6)。ここでは、各パッシブ手法のすべての組み合わせをシミュレーションし、効果の最も大きい順に累積的に導入していった。

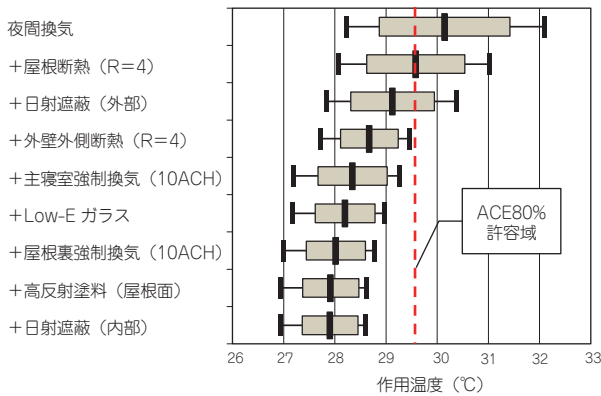


図6 夜間換気に加えて各パッシブクーリング手法を複合導入した場合の主室温の作用温度(建物方位:南)

建物方位が北、南、西の場合は、夜間換気に加えて、①屋根断熱、②日射遮蔽(外部)、③外壁外側断熱の3つの手法を組み合わせることで、主寝室の作用温度は日平均で28.5°C程度にまで低下し、一日を通じてACEの快適域を満たすことができた。また、建物方位が東の場合には、上述の3つの手法だけでは、日中、僅かに快適域を超えるが、これらにLow-Eガラスを加えることでACEの快適域を満たすことが可能となった。

4.3 部分冷房の場合のシミュレーション結果

ここでは、対象住宅の主寝室においてのみ冷房を使用し、その他のスペースにパッシブクーリング手法を導入することで、主寝室の冷房負荷を出来る限り削減する方法を考察した。なお、主寝室における冷房スケジュールは、これまでのアン

ケート調査結果に基づき、21:00から6:00までの9時間とし、設定温度・相対湿度は23°C・60%とした。主寝室以外のスペースで夜間換気を行った条件で、表1に示す各パッシブクーリング手法を複合的に導入した場合の主寝室の一日当たりの冷房負荷を算出した(図7)。

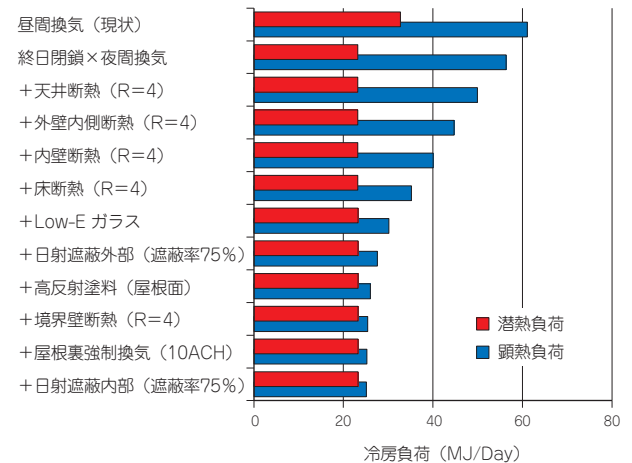


図7 部分冷房時に各パッシブクーリング手法を複合的に導入した場合の主寝室の一日当たりの冷房負荷(建物方位:南)

その結果、例えば建物方位が北、南の場合には、主寝室を終日閉鎖し、その他のスペースを夜間換気することに加えて、①天井断熱、②外壁内側断熱、③内壁断熱、④床断熱を導入することで、主寝室の顕熱負荷を現状に比べ約45%、潜熱負荷を約30%削減できることが分かった。

5. 省エネ実験住宅「ニチアス・エコハウス」の建設

前節のとおり、室内の熱的快適性の向上と冷房用エネルギー消費の削減を同時に満たすことを目的としたパッシブクーリングによる既存テラスハウスの改修方法を検討しているが、これらの効果を実証することを主な目的として、これまで共同研究を行ってきたUTMのキャンパス内に実験住宅「ニチアス・エコハウス」を建設する予定である(図8)。建設予定地はUTMのジョホールバル・キャンパス(都心より約15km)の中心部近くに位置し、キャンパス内だけでなくジョホールバル市内からのアクセスも良い場所

にある。こうした実スケールの実験住宅は東南アジアでは例が少なく、また既存住宅の改修方法を検討するものとしてはおそらく同地域で初めての実験施設となる。2015年5月に竣工予定で、その後、3年間に渡って実証実験を行った後、同大学の研究教育施設として末永く用いられる予定である。本実験住宅で得られた実証データに基づき、断熱材などを使った省エネ改修方法を基準化し、それを政府関係機関に提案する予定である。

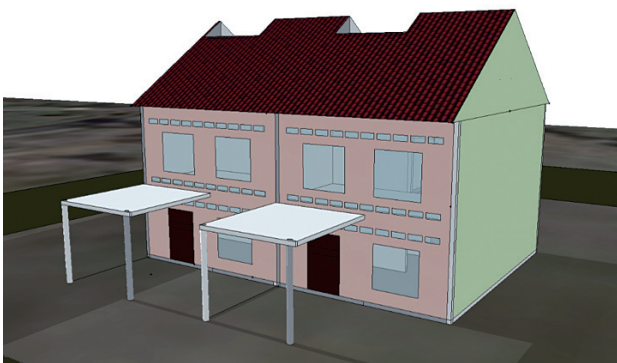


図8 実験住宅「ニチアス・エコハウス」の完成イメージ

6. おわりに

UTMは工科系の国立大学としてはマレーシア国内でトップに位置づけられ、政府関係機関や民間企業に数多くの優秀な人材を輩出している。そのメイン・キャンパス中心部に省エネルギー実験住宅を建設することの意義は大きい。この実験住宅は、単に現地の研究教育施設となるだけでなく、省エネルギーという両国に共通するテーマの下で日本とマレーシアの研究者や学生が学術交流を行う人的ネットワークの拠点となるものと期待される。

また、筆者らは、マレーシアのみならず東南アジア地域の都市住宅を広く研究しているが、同地域で急成長する中間層向けの都市住宅の殆どがレンガ造の建物となっているように見える。従来、欧米諸国や比較的乾燥した地域で多用されてきたレンガ造の建物が、高温多湿な東南アジアに適応可能かという点は未だに大きな疑問である。巨大な人口を抱える東南アジア全体が

レンガ造の住宅で占められ、レンガ造ゆえに夜間の室温を上昇させ、寝苦しさのあまりエアコンを過度に使用することになれば、エネルギー消費量はおそろしく跳ね上がり地球環境へのさらなる脅威となることは明らかである。こうした熱帯地域における都市住宅の省エネルギーに関する研究には、まだ十分な蓄積がない。したがって、UTMに建設される「ニチアス・エコハウス」による実証研究への期待は大きい。

末筆ながら、本プロジェクトを全面的にご支援くださっているニチアス株式会社に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Asian Development Bank (2010) Key Indicators for Asia and the Pacific 2010, 41st Edition, Asian Development Bank.
- 2) Department of Statistics Malaysia (2012) Characteristics of Living Quarters, Population and Housing Census of Malaysia 2010, Department of Statistics Malaysia, Putrajaya.
- 3) Kubota, T., Jeong, S., Toe, D.H.C., Ossen D.R. (2011) Energy consumption and air-conditioning usage in residential buildings of Malaysia, J. of Int'l Development and Cooperation, 17(3), pp.61-69.
- 4) Kubota, T., Toe, D.H.C. and Ahmad, S. (2009) The effects of night ventilation technique on indoor thermal environment for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia, Energy and Buildings, 41(8), pp.829-839.
- 5) Kubota, T, Ossen, D.R.: A Field measurement of temperature distribution in Johor Bahru, Malaysia: A preliminary study of mitigation measures for urban heat island in the tropics, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), D1, pp.919-920, 2010.9.
- 6) Toe, D.H.C., Kubota, T. (2013) Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database, Frontiers of Architectural Research 2(3), pp.278-291.

筆者紹介



久保田 徹

広島大学 大学院国際協力研究科 准教授
日本建築学会など
博士(工学)
東南アジア地域の都市住宅の省エネルギーに関する研究に従事

〈技術レポート〉

ロックウールの繊維化技術

研究開発本部 浜松研究所 北原英樹

1. はじめに

ロックウールとは高炉スラグの他、玄武岩などの天然鉱石を高温で溶融し、遠心力などで吹き飛ばして繊維状にした人造鉱物繊維であり、用途や使用目的に応じてボード状、フェルト状、ブランケット状、帯状、筒状などに加工される。

ロックウールは優れた断熱性能、耐熱性能、防音性能を有しており、この性能を活かして産業用途、住宅用途、耐火被覆用途、農業資材用途など幅広い分野に使用されていることは前号(2014/4号)にてご紹介した。

上記性能を十分に発現させるため、多くの技術が存在するが、本稿ではその基盤となる繊維化技術に関して、当社が保有する技術の一部を記載する。

2. ロックウールの製造

ロックウール製品の製造工程の一例を図1に示す。工程は大きく溶融、繊維化・集綿、成形工程に分かれる。各工程については前号において解説したが、ここでは繊維化までの工程について補足説明する。

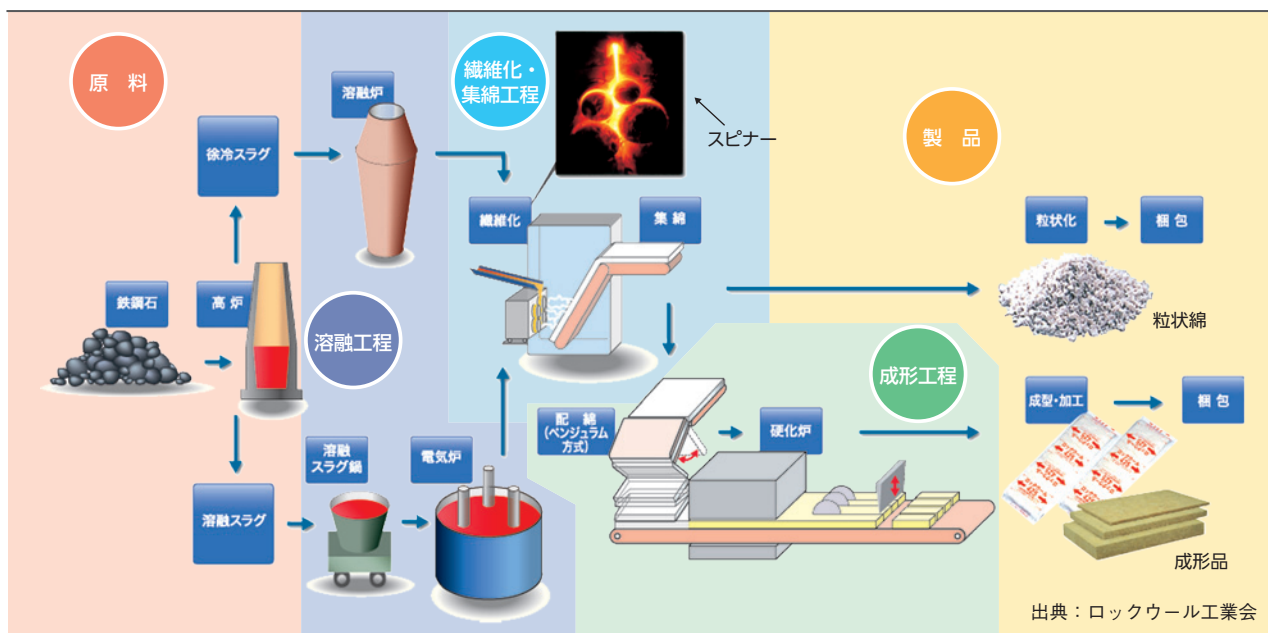


図1 ロックウール製品の製造工程

2.1 ロックウールの原料

ロックウールはその名が示す通り、玄武岩、輝緑岩などの天然岩石を主原料として製造されるが、国内では製鉄所の高炉からの副産物である高炉スラグを主原料としており、スラグウールとも呼ばれている。

高炉スラグ以外には、珪石（珪砂）、天然岩石、ドロマイト、転炉スラグなどの副原料を用い、用途に応じた成分調整を行う。

2.2 熔融工程、繊維化工程

原料はキュボラもしくは電気炉を用いて加熱熔融される。熱源は前者がコークスの燃焼熱、後者が通電による抵抗発熱であり、いずれの炉でも原料を1500℃程度に加熱する。熔融した原料（以降、融液と表記する）は、炉下部よりスピナーと呼ばれる繊維化装置上に落とされる。スピナーでの繊維化工程のイメージ図を図2に示す。

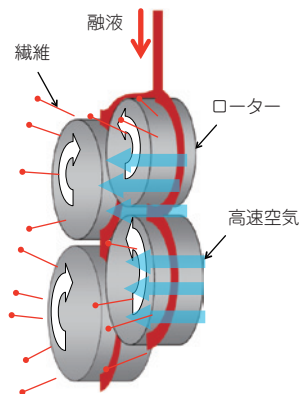


図2 スピナーでの繊維化イメージ図

スピナーには高速回転するローターが複数設けられており、ローターに巻き付いた融液は高速回転による遠心力で引き延ばされ繊維状となる。生成した繊維はローターの周囲から出る高速空気により捕集ネット上へ吹き飛ばされて集積し、成型工程を経て製品となる。

3. ロックウールの繊維化技術

3.1 繊維化状況の観察

2項で記したように、繊維化とは高速で回転するローター上に巻き付いた融液を遠心力で引き延ばす過程である。ローターは毎分数千回転で高速回転しており、その周速は高いもので100m/sにも達する。すなわち、繊維の生成過程を観察するには特殊な撮影装置、計測技術が必要となる。

図3に融液が巻き付いたローター外周を、高速度ビデオ（シャッター速度 2×10^{-6} 秒、フレームレート 4×10^4 fps）で撮影した連続画像を示す。なお、下記画像は約 10^{-3} 秒間での挙動である。

ローター上において融液が波立ち、その波の頂点から繊維が生成している様子が確認できる。また、繊維の先端は粒状となっていることも確認できる。図中丸で囲んだ部分は同一起点で生成した繊維の延伸挙動を追ったものだが、波の頂点で生成した粒子を起点（先端）として、引き延ばされていく過程が観察できる。観察結果を基にした繊維生成モデルを図4に示す。

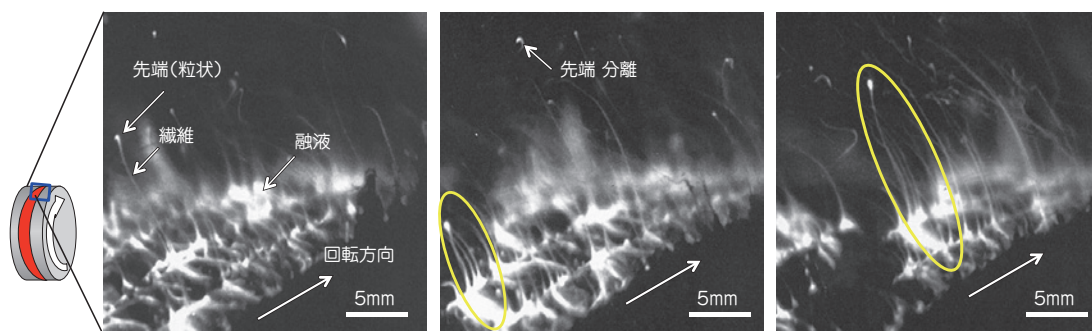


図3 ローター上での融液延伸状況の観察

なお、図4に記したショットとは、繊維先端が分離、固化した粒子であり、通常ロックウールには粒径45 μm以上のショットが重量で数十%含まれている。

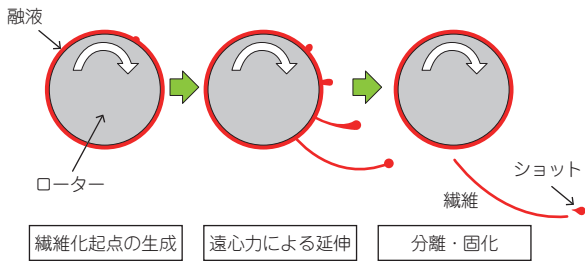


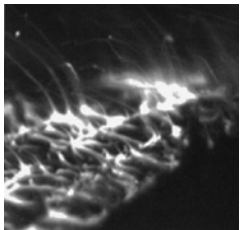
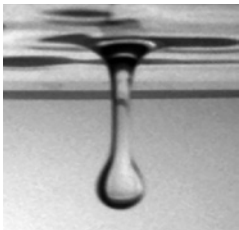
図4 繊維生成モデル図

3.2 繊維化過程への流体力学の適用

前項で記した繊維化過程をコントロールするには、その現象の理解が必要となる。そこで、類似現象を呈するRayleigh-Taylor不安定性理論¹⁾を適用した。これは、重力場などの力が生じる場において、密度の異なる二つの流体間における、界面からの流動現象を論じた理論であり、以前より粘性流体へ適用する研究が行われている²⁾。また、繊維化に適用した研究例もみられる³⁾。

この理論の身近な事象では、浴室天井からの水滴の落下や、静置した水と油（上部に油，下部に水）を，上下逆さにした際に生じる油中への水の移動挙動である。いずれも繊維生成挙動と同様に、先端が液滴状を呈した流体が低密度側に移動していく。表1に繊維化現象と水滴落下現象の比較を示す。

表1 類似現象の比較

現象	融液の繊維化	浴室天井の水滴落下
挙動		
場の力	遠心力	重力
流体	高密度：融液 低密度：空気	高密度：水 低密度：空気

この現象の支配パラメータは、粘度、表面張力、密度、加速度である。すなわち、繊維化過程を理解し、コントロールするには融液物性を正しく測定することが必要となる。

3.3 融液物性の測定

当社研究所には高温での液物性の測定が可能な装置を保有しており、各物性の温度依存性を取得している。粘度は球引上法、表面張力はリング引上法、密度はアルキメデス2球法での測定である。

ここでは、温度に対する融液の粘度と表面張力の測定結果を図5、6に示す。なお、図中には一般的なロックウールに加え、グラスウールの結果も併記している。

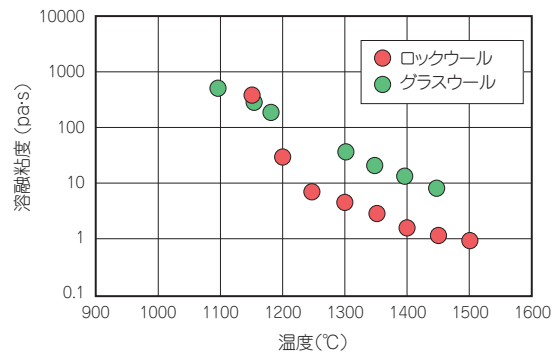


図5 溶融粘度測定結果

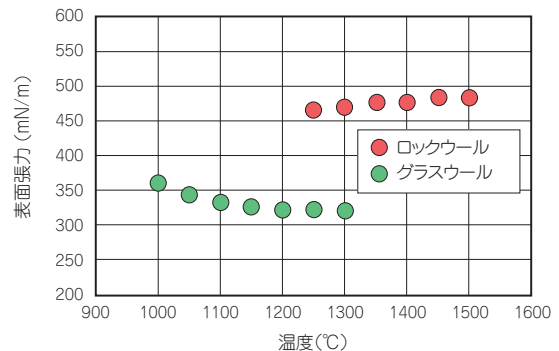


図6 表面張力測定結果

図に示すように、ロックウールとグラスウールとはその傾向が異なる。これは表2に示す両者の組成の一例のように、グラスウールはロックウールに比べ、SiO₂ + Al₂O₃で示される繊維骨格成分やアルカリ金属酸化物が多く、アルカリ土類金属酸化物は少ない。すなわち、融液物性には組成の影響が大きく、繊維化をコントロールするには、融液組成の設計も重要となる。

表2 各融液の組成比較 (単位: mass%)

成分	ロックウール	グラスウール
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	55	69
MgO + CaO	38	12
Na ₂ O + K ₂ O	2	18
Fe ₂ O ₃	2	0
その他	3	1

3.4 理論の製造への反映

CO₂排出量の削減が叫ばれる中、建築物などの高断熱化に向けてロックウール製品の断熱性能を向上させる必要性が高まっている。

断熱性を向上させる、すなわち、熱伝導率を低減するには繊維中のショット量を減らし、繊維径を細くすることが鍵となる。前者は製品中の繊維の割合を高め、後者は繊維本数を増やすことであり、輻射伝熱の低下につながる。以下に、これまで述べたRayleigh-Taylor不安定性理論を繊維径に適用した例を示す。

3.2項で記したように、繊維化のパラメータは、融液物性（粘度、表面張力、密度）と加速度である。すなわち、得られる繊維径についてもこの考えが適用でき、繊維径は融液物性と加速度の関数として表記できる。ここでの加速度はローター上に巻き付いた融液が受ける遠心加速度であり、これは、ローター径、回転数により決まる値である。

図7に、遠心加速度と繊維径の関係における、実測値と理論曲線の関係を示す。

図に示すように、実測値と理論曲線は良く一致している。これは、繊維径を決めるおのおののパラメータの影響を評価できることを意味し、繊維化諸元の設計に役立つものとなっている。

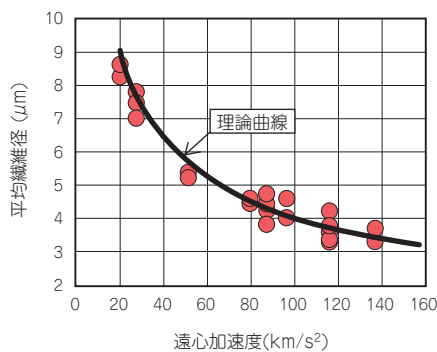


図7 繊維径への理論の適用

3.5 繊維化シミュレーション

2項に記したように、ロックウールは高温場、高速度場で製造されるため観察・評価技術にも限界があり、個々のパラメータの影響が解析し難い面がある。そのため、当社ではシミュレーションによる繊維化技術の向上も図っている。

図8に融液が延伸する過程のシミュレーション結果を示す。融液が重力加速度1Gで自由落下する場合の解析結果である。

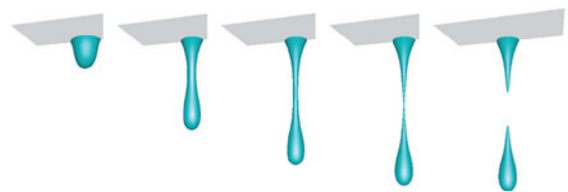


図8 重力場での融液延伸過程のコンピュータシミュレーション

先端に生成した液滴を起点として融液が引き延ばされ、分断に至る過程が計算機上で再現できている。この過程を計算するには汎用流体シミュレーションでは不適であり、液体-気体界面の詳細な解析が行える二相系格子ボルツマン法⁴⁾による三次元シミュレーションを用いた。ただし、この手法は膨大なメモリを必要とするので、複数のワークステーションによる並列計算を行える環境を整えている。

図9に融液粘度をパラメータとしたシミュレーションで得られた、粘度と融液延伸長さの関係を示す。図8と同様に重力加速度1Gでの計算結果である。なお、融液延伸長さとは、ショットと繊維に融液が分断するまでに延伸したときの長さであり、延伸長さ(≒繊維長)は融液粘度と正の相関があることが予測できる。

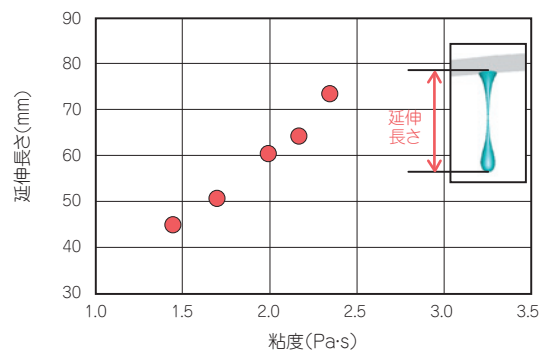


図9 粘度と延伸長さの関係

紹介した計算例は重力加速度1G, かつ等温場におけるものである。一方, 実現象では延伸中の冷却に伴う粘度変化があり, 加速度も 10^4 Gのオーダーである。熱移動とそれに伴う融液の粘度変化も含めたシミュレーションは原理的に可能であり, 引き続き研究を続けている。このシミュレーション技術が完成すれば, ショット径や繊維径, 繊維長などが繊維化過程のどの時点で決まるのか, また, それを支配する因子は何か, などを解明できると考える。その結果も活かし, 断熱性能を一層向上させた製品開発などに結び付けていく。

4. おわりに

ロックウール製品は, CO_2 削減の観点からも注目されてきており, また, 高炉スラグなどの製鉄時に排出される副産物を原料として使用できる利点もある。今後, その需要は益々増大すると予想され, 断熱性能や耐熱性能などの物性向上も同時に求められてくる。

当社としても, 鋭意研究を進めることで, 今回ご紹介した基盤技術をさらに高め, より一層

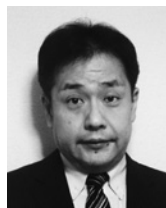
地球環境に貢献する製品を提供していきたい。

なお, 本稿には信州大学との共同研究において得られた成果も含まれている。共同研究者である信州大学工学部機械システム工学科松原雅春教授, 吉野正人教授に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) S. Chandrasekhar, *Hydrodynamic and hydro-magnetic stability*, Chap. 10 (1961) 428-480
- 2) R. Menicoff, R. Mjoisness, D. Shrap, C. Zemach, *The Physics of Fluids*, Vol.20 (1977), 2000-2004
- 3) B. Sirok, B. Bizjan, A. Orbanic, T. Bajcar, *Cemical Engineering Research and Design*, Vol.92 (2014), 80-90
- 4) T. Inamoto, T. Ogata, S. Tajima, N. Konishi, *Journal of Computational Physics*, Vol.198 (2004), 628-644

筆者紹介



北原英樹

研究開発本部 浜松研究所
無機繊維の研究開発に従事

〈技術レポート〉

ふっ素樹脂製品におけるクリーン化技術(前編) —PFAチューブ通水液のパーティクル測定—

研究開発本部 鶴見研究所 石川 俊

1. はじめに

半導体業界は他に類がない「超高清浄」を求められる業界である。その要求水準は半導体の進化とともに高度化され、製造装置や設備を構成する各種部材は、その進化に追従する清浄度を確保する必要がある。例えば、純水や薬液を使用する製造装置の立ち上げにおいて、使用する液中のppb(10億分の1)レベルの汚染物質が低減されないがために数週間～数ヶ月もの間、製造装置が生産に寄与できなかつたり、量産時に突発的に発生したごくわずかな汚染により歩留まりを悪化させたりすることもある。

汚染物質は、パーティクル(異物微粒子)、無機/有機汚染、金属不純物などに大別できるが、それらが物理的、化学的な影響を与えて、回路パターン欠陥、ヘイズ(曇り)の発生、ゲート素子の信頼性低下などの不良原因となる。そのため、半導体製造に使用される各種構成部材は、これら汚染物質の発生を極力低減する必要がある。

当社は、半導体産業向けに耐薬品性や耐熱性に優れるふっ素樹脂を使用した各種構成部材を上市している。このうちPFAチューブをはじめとするチューブ製品は、純水や薬液搬送の配管部材として使用されるため、高清浄維持への寄与が大きいとされる。そのため、汚染の実態把握や発生機構の解明は極めて重要である。しかし、この汚染は極微小・極微量であるため、外部影響を排除した正確な測定は容易ではない。

今回、これら極微小・極微量汚染の正確な測

定技術について、前編として「パーティクル」、後編として「微量TOC」および「超微量金属」の2回に分けて解説し、併せて当社および他社製PFAチューブの汚染の実態把握を行った結果を紹介する。

2. パーティクル測定

2.1 従来の測定方法の問題点

気中や液中のパーティクル測定方法には、測定用フィルタやウェーハを用いて表面異物検査装置や電子顕微鏡などで計数する手法と、「パーティクルカウンタ」と呼ばれるパーティクルにより生じたレーザー散乱光をセンサで検出して計数を行う測定器による手法が存在する。前者はパーティクルを計数しながら電子顕微鏡画像を介してパーティクルの形状や組成を把握できる長所があるが、人手、時間、費用が必要である。一方後者は比較的安価であり、センサを通過した流体内のパーティクルを自動で計数出来る点から製造ラインの管理や部材から発生するパーティクルの評価に用いられることが多い。液中パーティクルカウンタ(Liquid Particle Counter; 以下LPCと略す)は超純水の管理や液用パーティクル除去フィルタの性能評価などに利用されてきたが、LPCには気中パーティクルカウンタには無い使用上の問題点が存在する。それは、正確な液中パーティクル測定を困難にさせる気泡の存在である。例えば、パーティクルカウンタで配管内に存在するパーティクルを評価しようとした時、気中評価であればクリーンルーム

(Clean Room ; 以下CRと略す)で配管を気中パーティクルカウンタの流路につなぎ込み、流量調整すれば測定可能状態になる。しかし、液中評価においては、同様の手順で、配管をLPCの流路につなぎ込み流体を流して測定しようとする、CR中(配管中)の空気が混入して生じた気泡が原因と思われる測定誤差(気泡ノイズ)が確認できる。また、液体内に空気が溶解している場合でも、振動や圧力変動により微小な気泡が発生し、気泡ノイズにつながる。

本稿では、外部からの空気混入や液中に溶解した空気が気泡化することによってもたらされるノイズを極力減らし、配管内の液中パーティクルを正しく測定する技術を確認したので紹介する。

2.2 解決方法

2.2.1 パーティクル測定評価系

図1はパーティクル測定評価系の概略図である。基本構造はSEMIが発行している『超純水および液体化学薬品分配システムに使用されるコンポーネント評価のためのパーティクル試験方法ガイドライン』(SEMI F104-0312)¹⁾に準じた構造としている。LPCは0.065 μm 以上のパーティクルを測定できるスペクトリス社(PARTICLE MEASURING SYSTEM社)のHSLIS M65eを使用した。本評価系でパーティクルが正しく測定されるためには100mL/min \pm 10%の流量で液体を流す必要があり、その量を越えた液体は分岐して排水している。この排水流路は、サンプル交換時に混入する空気を追い出すためにも利用している。

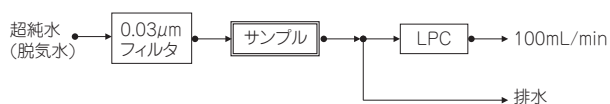


図1 測定評価系の概略図

2.2.2 与圧測定による気泡ノイズ低減

2.1で述べた空気混入による気泡ノイズを低減させる方法として、測定評価系内を与圧することや脱気水の利用に効果があることは経験的に知られている²⁾。ここでは、その効果の実証試験結果を報告する。

まず、与圧と脱気水の効果は次の2つの要因によってもたらされると考えた。

要因①：与圧と脱気水による溶存可能空気量の
上昇

要因②：与圧による気泡サイズ縮小

要因①について導いた仮説が図2に示す圧力と溶存可能空気量の関係である。

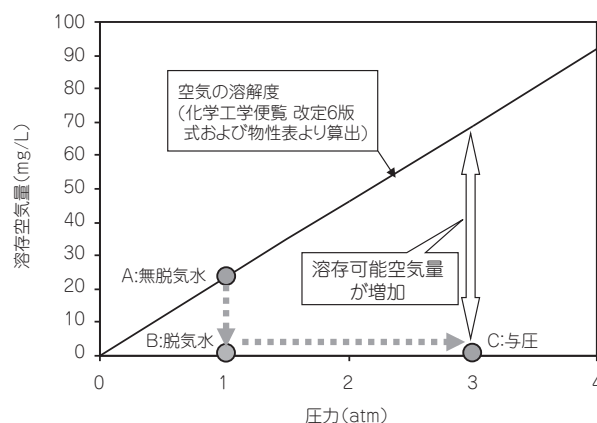


図2 圧力と溶存空気量の関係

グラフに記載してある実線は化学工学便覧改定6版の式および物性表より算出した23℃の溶解度である³⁾。大気圧に開放された状態では、水は大気を容易に溶解し、溶存空気量は溶解度の23mg/Lとなる(図2のA)。今回の試験では脱気水を使用しているため溶存空気量は0mg/Lと見なせる(図2のB)。この状態で超純水を3atmまで与圧すると図2のCの位置になり、溶存可能空気量は69mg/Lまで増加する。このように脱気水の使用と与圧を併用することで溶存可能空気量を大幅に増加させることにより気泡の溶解(消泡)が容易になる。

要因②の与圧による気泡サイズの縮小は、ボイルの法則「気体の圧力と体積は反比例する」に倣い、与圧により液体中の気泡体積が小さくなり、LPCにカウントされにくくなると予測できる。

以上の効果を実証するために、図1の測定評価系のサンプル部に清浄を確保したPFAチューブ(内径: 4mm, 外径: 6mm, 長さ: 20m)を装着し、計数値がLPCのノイズレベルであることを確認した後、溶解している空気があれば気泡化するようにPFAチューブに振動を付与した。こ

の手法を設定した圧力水準と流速水準の双方で行い、得られたLPCの計数値のうち振動開始から終了5分後まで、計15分間の平均パーティクル数を算出したグラフを図3に示す。通水流量に関わらず測定評価系内圧力を2atmまで与圧すれば気泡ノイズを抑制できることが判明した。

2.3 測定事例

2.2で述べた与圧による気泡ノイズ排除手法を用いて、当社製品TOMBO™ No.9003-PFA-HG「ナフロン® PFA-HGチューブ」(以後PFA-HGと

略する)をはじめ、市場に流通している他社同径PFAチューブ(内径:4.35mm, 外径:6.35mm, 長さ:20mの市販品)の評価を行った。測定はSEMI F104-0312に準じて測定評価系内圧力3atm, サンプルへの流量150mL/min, LPCへの流量100mL/min, 排水流量50mL/minで実施した。また、サンプルの交換作業による計数誤差の程度を把握するために、清浄が確保されたチューブを用意し、その影響も測定した。これらの結果を図4に示す。X軸は通水量, Y軸はパー

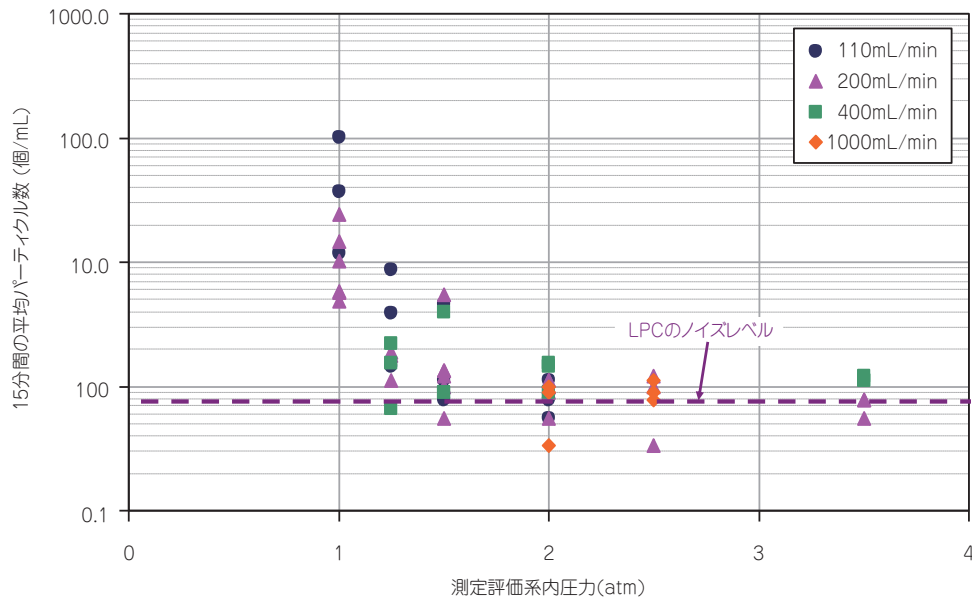


図3 測定評価系内圧力の気泡ノイズへの影響

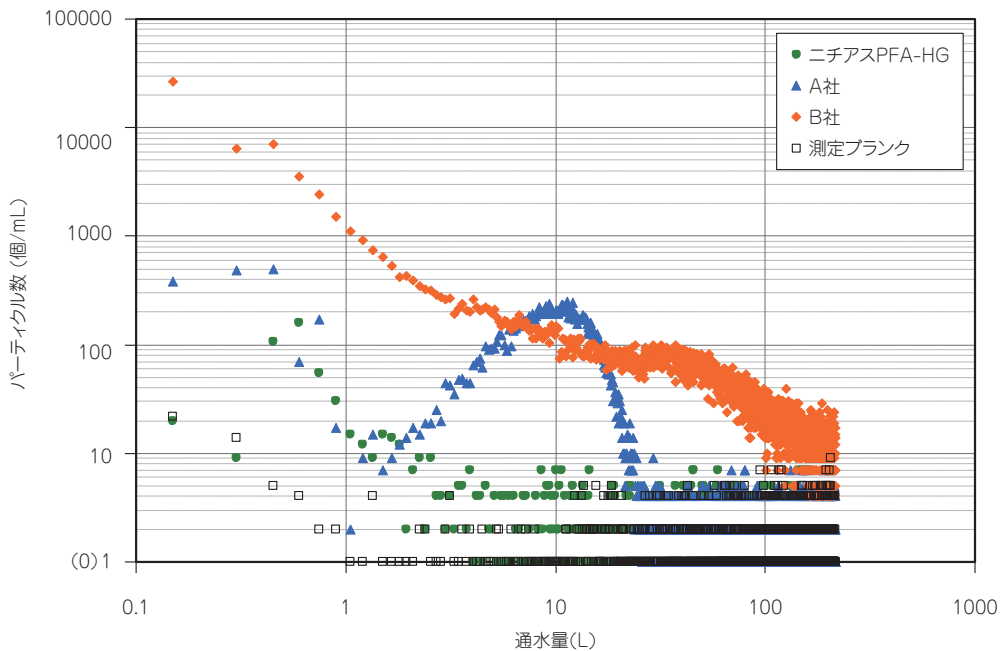


図4 各社PFAチューブの発生パーティクル評価

ティクル数であるが、対数グラフでは0個/mLは表記できないので、便宜上0個/mLは1個/mLの位置にプロットした。

清浄が確保されたチューブの測定結果は、サンプル交換作業後、数分で収束している。これを測定ブランクとして、市場で流通しているチューブのパーティクル測定結果を比較すると、一概にPFAチューブといっても、汚染度が高い製品と低い製品が混在していることが判明した。今回、パーティクルの測定法が確立した。

後編では、さらに微量TOC、超微量金属の測定法と市販PFAチューブの測定結果について解説する。

参考文献

- 1) SEMI (2012) 『超純水および液体化学薬品分配システムに使用されるコンポーネント評価のためのパーティクル試験方法ガイドライン』 SEMI F107-0312

- 2) 一条和夫 (2002) 『HDD 分野における微粒子計測』 IDEMA JAPAN NEWS No.57 p4
- 3) 日本化学会 (1999) 『化学工学便覧 改定6版』 丸善 p80

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「ナフロン」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。

*本稿はクリーンテクノロジー誌2014年11月号に掲載された内容の一部加筆したものです。

筆者紹介



石川 俊

研究開発本部 鶴見研究所
各種フィルター製品の開発を経て
現在クリーン化技術の研究に従事



ナフロン® PFA-HGチューブ TOMBO™ No.9003-PFA-HG

ナフロン PFA-HG チューブは、溶出ふっ素イオンの少ない NEW PFA 化された原料を用い、かつ PFA の高次構造（球晶の微小化）をコントロールすることにより、チューブ内面の平滑化を可能にした PFA チューブです。ウルトラクリーン化を要求される半導体・液晶産業分野での用途に最適です。

特長

従来のPFAチューブの性能に加え、以下の特長があります。

チューブ内表面は
平滑 ($R_t=0.2\mu\text{m}$) です。

- パーティクルや薬液の滞留低減
- クリーンアップ(洗浄時間)の低減
- チューブ内の表面積減少による薬液浸透量の低減
- 透明性の向上
- 絶縁耐力の向上

NEW PFA化された
原料を使用しています。

- 溶出ふっ素イオンの低減
- 応力環境下での耐ストレスクラック性向上 (ex.硫酸過水、発煙硫酸)

「ニチアス技術時報」《2014年目次総録》

2014/1号 通巻 No. 364

- 〈巻頭言〉 断熱材特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 極低温から超高温までをカバーするニチアスの断熱材
- 〈News〉 住宅用ロックウール断熱材の新工場が完成しました
最適なガスケットを選定できるアプリケーション「ガスケット NAVI™」を公開しました
- 〈技術レポート〉 (寄稿) 中・低温領域の断熱材の概要と発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発について
高耐熱低熱伝導断熱材の開発
- 〈解説〉 硬質ウレタンフォームの発泡剤をめぐる環境問題対策の動向について
- 〈製品紹介〉 着脱自在な発じんの少ないクリーンルーム向け保温材 TOMBO™ No.4500-CR「エネサーモ® CR」
金属保温材

2014/2号 通巻 No. 365

- 〈巻頭言〉 分析・解析技術特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 ニチアス製品を支える分析・解析技術
- 〈寄稿〉 散乱法による結晶性高分子材料の構造解析
- 〈技術概要〉 ニチアスの分析・解析技術
- 〈技術レポート〉 熱分解 GC/MS によるオイル中微量溶出成分の分析
燃焼フラスコ法によるふっ素系ポリマー中のリン、ホウ素の定量分析
周期加熱法の低温下における熱伝導率測定への応用

2014/3号 通巻 No. 366

- 〈巻頭言〉 技術時報 366号発刊にあたって
- 〈寄稿〉 今後の石油供給問題がエンジン技術に与える影響 (前編) - 石油供給の将来予測 -
- 〈特別企画〉 お客さまのニーズに密着した製品・サービスの開発
- 〈新製品紹介〉 産業機器用断熱板 TOMBO™ No.6870-K「レジサル® K」
- 〈新サービス紹介〉 工業用ガスケットの選定・施工支援ツール「ガスケット NAVI™」の紹介
移動式ガスケット加工設備「GASKET 工房™」の紹介
- 〈製品紹介〉 分子状汚染物質除去用ケミカルフィルター TOMBO™ No.8803「ケミカルガード® HA/HT」
超軽量防音カバー TOMBO™ No.6690-B「エアトーン®」

2014/4号 通巻 No. 367

- 〈巻頭言〉 技術時報 367号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 省エネ、CO₂削減に貢献するニチアスのロックウール
- 〈技術レポート〉 ロックウールの製造技術
- 〈解説〉 環境に優しいロックウール
- 〈新製品紹介〉 ニチアスのビル向けロックウール新製品
建築用防音・断熱材「MG ビルパック®」
防湿層付耐熱ロックウール断熱材 TOMBO™ No.5520-D「マキベエ® ダンネツ」
乾式巻き付け耐火被覆材 TOMBO™ No.5520「マキベエ®」新仕様品
- 〈寄稿〉 今後の石油供給問題がエンジン技術に与える影響 (後編)
- 石油供給減少下におけるエンジン技術 -

次号 2015/2号 通巻 No. 369 は 2015年3月発行予定です。



ニチアス株式会社

<http://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
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
北九州営業所	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3639
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
鹿児島営業所	TEL (099) 257-8769

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
・海外営業課	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 ・カタール ・チェコ ・メキシコ