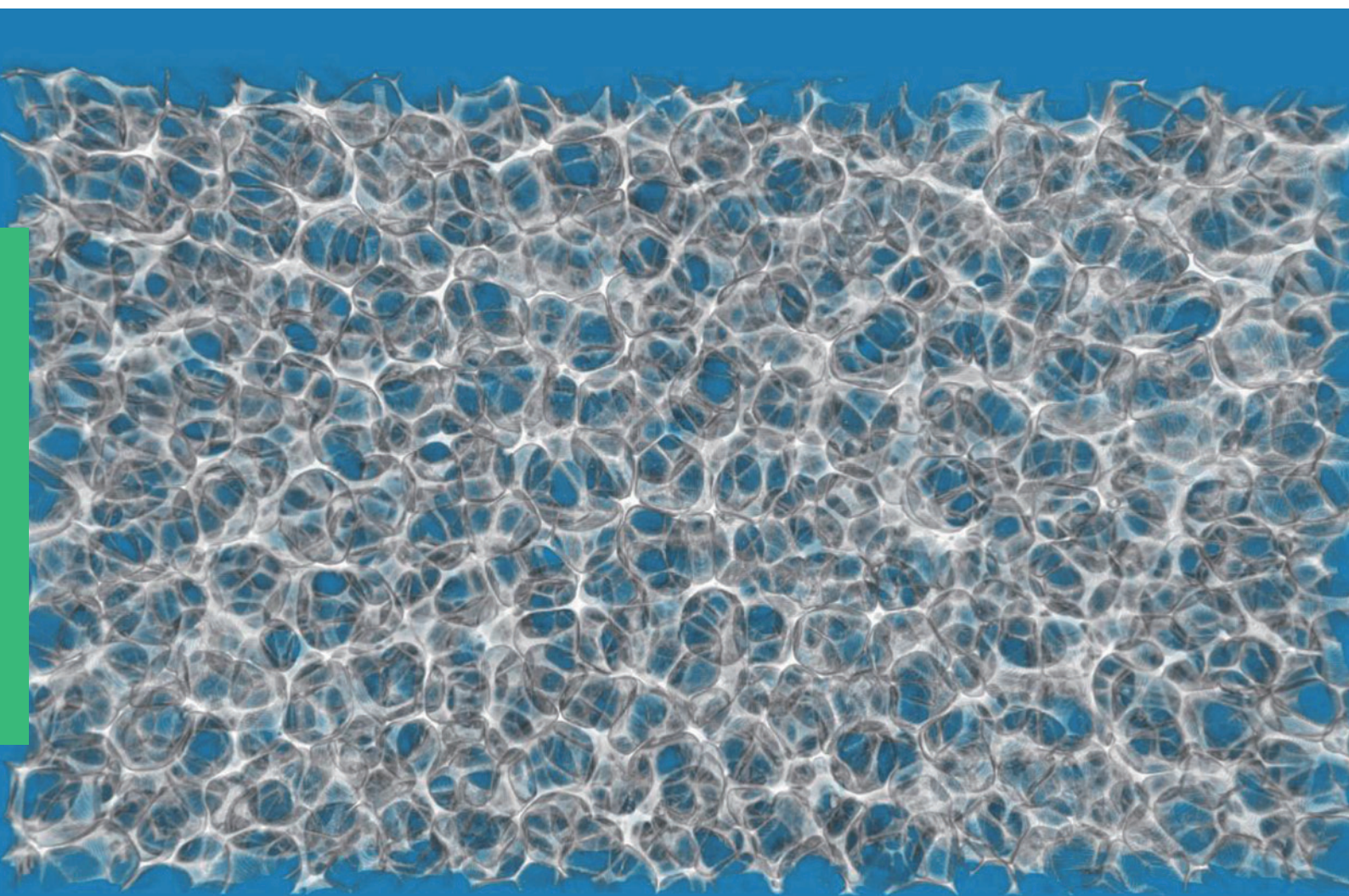


ニチアス 技術時報

2016

No.375

4号



技術レポート: Biot理論(弾性多孔質振動伝播理論)を用いた軽量防音カバーの開発と
そのトランスミッションへの適用事例

寄稿: Biotパラメータの音響特性に対する感度解析

解説: 半導体製造装置向け製品の難燃性規格について

製品紹介: 「ナフロン® 加工品」



ニチアス

目 次

【技術レポート】

- ◆ Biot 理論（弾性多孔質振動伝播理論）を用いた軽量防音カバーの開発と
そのトランスミッションへの適用事例 1
自動車部品事業本部 技術開発部

【寄稿】

- ◆ Biot パラメータの音響特性に対する感度解析 6
日本大学生産工学部 数理情報工学科 教授 見坐地 一人

【解説】

- ◆ 半導体製造装置向け製品の難燃性規格について 12
高機能製品事業本部

【製品紹介】

- ◆ 「ナフロン[®]加工品」 16
工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部

【連載】

- ◆ シール材 Q&A（第5回） 20

【トピックス】

- ◆ 耐蒸気性、耐熱性を有する新しいゴム用架橋剤を開発 22
◆ 「ウォータージャケットスパーサー」が自動車専門誌で紹介されました 23
◆ 「^{ニチアス}カグスベール[®]」発売 50 周年 23

表紙写真：発泡ゴムの X 線 CT 像。発泡ゴム系素材のような弾性多孔質構造体による防音メカニズムは Biot 理論により説明ができる。Biot 理論に関する詳細は本文をご参照ください。

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/>

〈技術レポート〉

Biot理論（弾性多孔質振動伝播理論）を用いた 軽量防音カバーの開発と そのトランスミッションへの適用事例

自動車部品事業本部 技術開発部

1. はじめに

自動車業界では、車内静粛性向上の顧客ニーズへの対応策として、車両全体を対象とした騒音対策に取り組んでいる。また、全世界的な環境意識の高まりを発端とする環境規制強化により、低燃費化の要求も高く、部品のさらなる軽量化も求められている。このような環境動向のなか、当社は自動車向けとして、超軽量防音カバーTOMBO™ No.6690-B「エアトーン®」（以下「エアトーン®」）を開発し上市している。

「エアトーン®」は、軟質遮音層と弾性多孔質材との組合せにより、高い遮音性、軽量（従来品の1/2～1/3程度）、複雑な表面形状部品への取り付けが可能な特長を兼ね備えた製品である。このような特長からトヨタ自動車株式会社製金属ベルト式無段変速機（以下CVT）ケースの防音部材などとして採用されている（図1）。

今般、「エアトーン®」をCVTの防音材として採用いただいたことを契機に、2016年4月、米国デトロイトで開催されたSAE2016 World Congressにおいて、「Biot理論（弾性多孔質振動伝播理論）

を用いた軽量防音カバーの開発とそのトランスミッションへの適用事例」と題し、同社と共著という形で「エアトーン®」の技術発表を実施した。

本稿ではSAE2016 World Congressの概要と発表内容について報告する。

2. SAE World Congress について

SAEとは、Society of Automotive Engineers の頭文字を取ったもので、米国で1905年に自動車技術者団体として発祥し、1916年にあらゆる乗り物の標準化を推進する団体へと変遷した。その後、年を追うごとにSAEの年次総会は大規模な展示会と講習会を同時に開催するイベントとなり、現在ではその年次総会をSAE World Congressという名称で呼ぶようになった。

今回のSAE2016 World Congressは、発表件数1,500件以上、来場者数10,000人以上（いずれも3日間）という大規模なもので、「エアトーン®」の発表にも多数の聴講者が訪れた。

3. SAE2016 World Congress での発表

以下に「エアトーン®」の概要とトランスミッションへの適用事例について、SAE2016 World Congressで発表した内容を述べる。

3.1 「エアトーン®」の構造

「エアトーン®」は、図2に示すように制振機能を付与した粘弾性フィルムと弾性多孔質吸音層で構成され、その構造は図3に示すように2つのバネを直列にしたような2自由度バネマス系として模式化され、その防音特性はBiot理論により説明できる。



図1 トヨタ自動車株式会社製CVTケース用「エアトーン®」

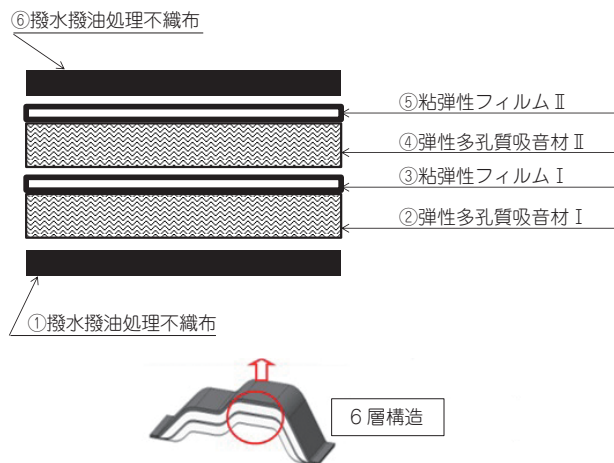


図2 「エアトーン®」の構造
(SAE Internationalの許可を得て転載)

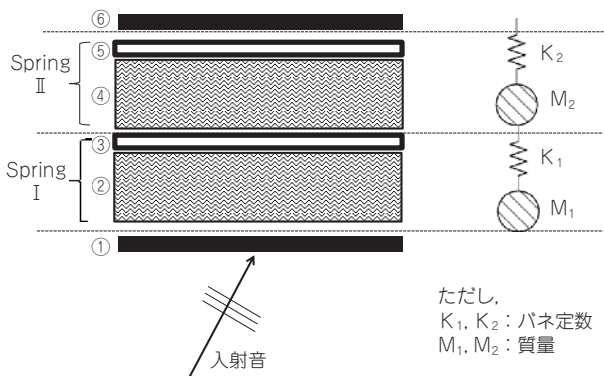


図3 「エアトーン®」構造体の模式図
(SAE Internationalの許可を得て転載)

3.2 Biot 理論について

Biot (ビオ: 仏) は、圧縮性粘性流体の詰まった弾性多孔媒質中の地震波伝達の研究で、弾性多孔質(土壌) - 圧縮性粘性流体(水)間の相互作用によるエネルギー減衰の概念を導入した弾性波伝播理論を提唱した¹⁾。

この理論は、物理的性格の異なる複数相が複雑に入り混じったマトリックス中の振動伝播を取り扱う際の基礎モデルとして、地震波解析、土木工学、人体模型、および音響振動学など幅広い分野で活用されている。本モデルによる弾性多孔質材の解析には、直接測定するのが困難なパラメータが必要となるため、Allard (アラード: 英) らは本理論の波動方程式と、準静的仮説に基づいて、これらのパラメータを測定可能な物理量として表す式を導いた。これはJohnson-Champoux-Allardモデル(1993)²⁾として知られ、今日、音響振

動学ではこの関係式を用いてエネルギー伝播を算出することが一般的となっている。

図4にBiotモデルでの弾性多孔質材中のエネルギー伝播の模式図を示す。

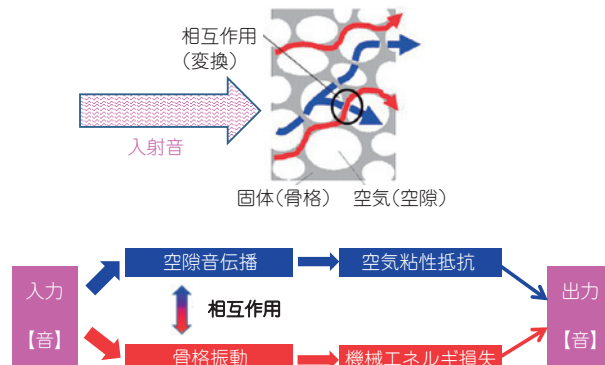


図4 Biotモデルにおけるエネルギー伝播の模式図
(SAE Internationalの許可を得て転載)

Brouardら³⁾, Baiら⁴⁾は弾性多孔質材(6×6)を含む積層防音構造全体の性能をトランスファ・マトリックス・メソッドを用いてシミュレーションするために、各層の定式化(図3, 4)と境界面連続性の観点からインターフェイス・マトリックスという演算子を介して、近接層を掛け合わせる手法を示した。

「エアトーン®」は表1に示すように各層ごとにトランスファ・ファンクションのパラメータ数・サイズが異なる。

表1 各層の変数とマトリックスサイズ
(SAE Internationalの許可を得て転載)

層(材質)	未知数	マトリックスサイズ
空気中(流体)	V_3^f, σ_{33}^f	(2×2)
粘弾性フィルム(固体)	$V_1^s, V_3^s, \sigma_{13}^s, \sigma_{33}^s$	(4×4)
弾性多孔質体(固体+流体)	$V_3^f, V_1^s, V_3^s, \sigma_{33}^f, \sigma_{13}^s, \sigma_{33}^s$	(6×6)

変数の上付添え字(f, s)は伝播部、流体/固体を表し、応力(σ)が働く、もしくは速度(V)が生じる部分を表している。下添え字(1, 3)は方向、1は横波、3は縦波を表す。

「エアトーン®」のバネ構造(図3: Spring I / Spring II)は、弾性多孔質材(6×6)と粘弾性フィルム(4×4)をインターフェイス・マトリック

スを介して掛け合わせることで、伝達関数として求められる。

弾性多孔質(吸音材)中を伝播する入射音のエネルギーは、従来理論での空隙音伝播の粘性抵抗に起因する減衰に加えて、弾性多孔質骨格(固体部)振動の機械エネルギー損失^{*}に起因する大きな減衰も考慮することができ、後述する「エアトーン[®]」の質量則を超える遮音性能を説明することができる。

※：固体部のエネルギー伝播を表す速度・応力ベクトル (V_1^s , V_3^s , σ_{33}^s , σ_{13}^s) の影響が大きい。

固体部の振動伝播は、縦波/横波に分配され(ポアソン比)、(粘)弾性材料ではそれぞれ基材を振動変形させることでエネルギー減衰する(損失係数)。構造全体の機械エネルギー損失量は伝達マトリックスから計算される。厚み10mm(エアダンパ5mm)の「エアトーン[®]」では、このバネ構造により500~800Hz付近に振動低減に起因する遮音ピークが生じる(図5)。

3.3 「エアトーン[®]」の特長

「エアトーン[®]」は以下に示すように従来の防音材にない特長を有する。

(1) 高い遮音性能と周波数特性最適化

図6, 7に従来の防音カバーと「エアトーン[®]」の構造およびエネルギー伝播の比較を示す。

従来の防音カバーは、樹脂を成形した硬質カバーと多孔質の吸音材からなり、その遮音性能は硬質カバーの質量に比例する。これは一般に質量則と呼ばれており、質量の大きいものほどエネルギーの減衰が大きくなるため遮音性能が高くなる。

「エアトーン[®]」は、前述のBiot理論に基づき、制振機能を付与した粘弾性フィルムと弾性多孔質吸音層の組み合わせにより、各層内でエネルギーの減衰がおき、質量に依存しない機構で高い遮音性能を持つ。そのため「エアトーン[®]」は約3倍の質量をもつ硬質カバーよりも高い吸・遮音性能を発揮し、防音材の軽量化が可能である。

また質量則に従う従来のカバーと比較して、ほぼ全周波数域で優れた遮音性能を示すことも特長である。「エアトーン[®]」は、図2③の粘弾性

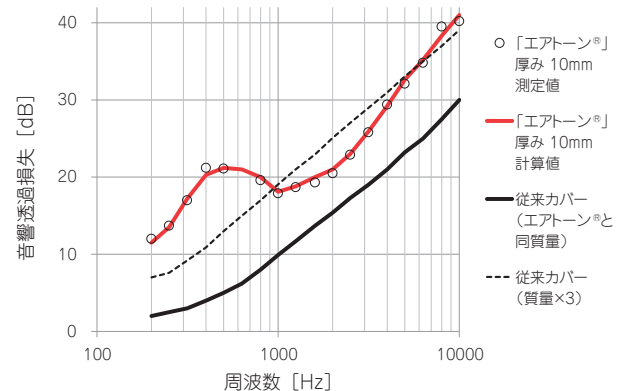


図5 「エアトーン[®]」の防音特性
(SAE Internationalの許可を得て転載)

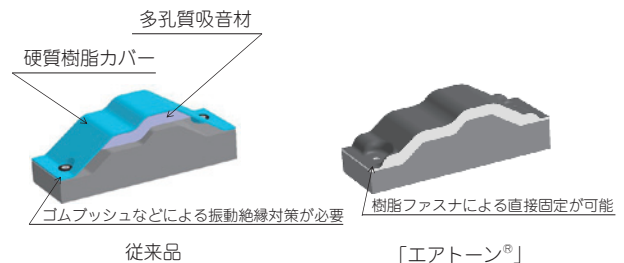


図6 従来の防音カバーとの構造比較
(SAE Internationalの許可を得て転載)

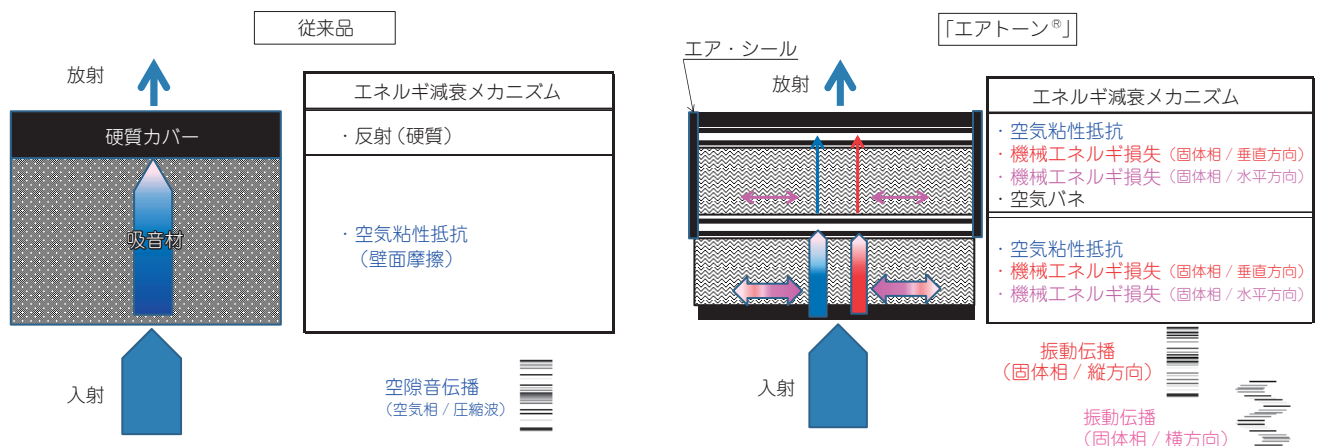


図7 従来の防音カバーとのエネルギー伝播の比較
(SAE Internationalの許可を得て転載)

フィルムIで分割される、『弾性多孔質（Biotモデル）』と、『空気バネ層』**を連成した2自由度バネマス系共振現象による減衰に起因する特徴的な遮音ピークを持つ。これより各層の厚さなどのパラメータを最適化することで、対策音源に合わせて周波数特性を変化させた最適構造を設計することが可能である（図8）。

※※：成形形状の安定、および端部の液浸透防止のために、外周を圧着することで、図2の③/④/⑤で成形される閉空間（空気バネ）の作用で振動絶縁効果が加算され、裏面側に伝播、放射される透過音のエネルギーはさらに低減される。

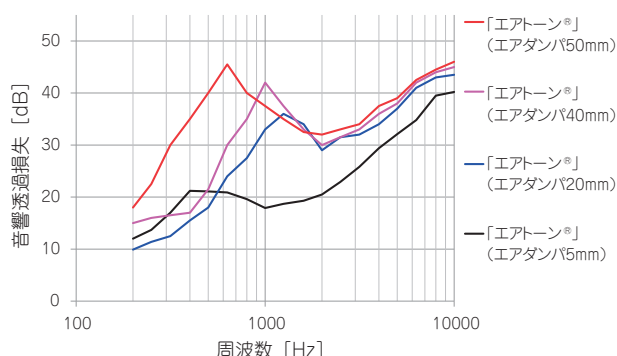


図8 遮音ピーク周波数の設計例
(SAE Internationalの許可を得て転載)

(2) 高い設計自由度

「エアトーン®」は、任意の立体形状に一体成形が可能のため、複雑な表面形状部品への取り付けが可能である。また、成形カバー表面が柔軟性（制振性）を有することで硬質カバーによく見られる振動入力に伴うビビリ音（2次放射音）が無く、その対策として用いられていた取り付けボルト部のフローティングが不要である。また、防音カバー全体が柔軟性を有することから、エンジン、トランスミッションなどの振動に伴う騒音源に悪影響無く密着させて使用することにより、限られたスペースを有効に活用でき、コンパクト化に対応した使用が可能である。さらにカバー内面の音反射による騒音悪化も抑制できる特長を有する。

3.4 CVT への適用事例

自動車のトランスミッションとして用いられるCVTは、機構に由来する特有のメカノイズ（ギヤうなり音、ベルトノイズ）が発生する。ここでは、ギヤうなり音低減を目的としてトヨタ自動車株式会社製CVTに「エアトーン®」を防音材

として適用した事例を紹介する。

図9に「エアトーン®」のCVTへの搭載例を示す。CVTの複雑な形状に合わせて「エアトーン®」が成形されていることが分かる。CVTとの固定には「エアトーン®」の軽量という特長を活かし、図10に示すような樹脂クリップを採用した。従来の防音カバーでは重量が重いため、固定方法にはボルトを使用していたが（図11）、軽量の「エアトーン®」の組み付けは、図10に示すように樹脂製クリップをボルト穴に差し込むだけとなり、生産性向上にも寄与している。

図12に「エアトーン®」のギヤうなり音に対する効果を示す。音響ホログラフィによるノイズ解析でギヤうなり音の音源部位を特定し（図上段左の黄色い部分）、効果的な形状を設計した結果、「エアトーン®」を装着しない場合に対して約4dB音圧レベルが低下する効果が確認された。

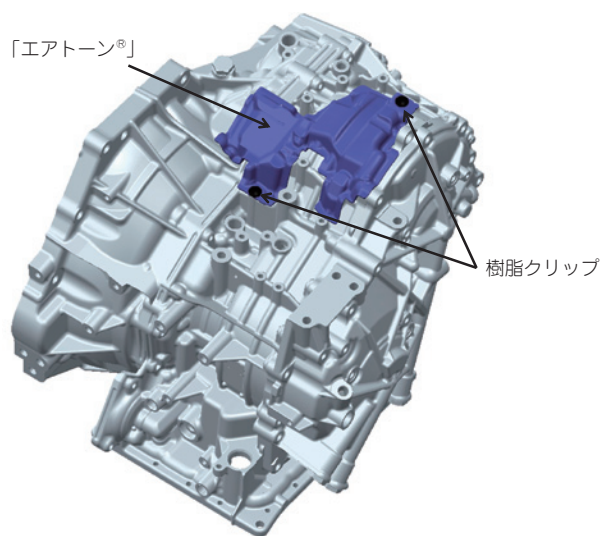


図9 「エアトーン®」のCVTへの搭載例
(SAE Internationalの許可を得て転載)

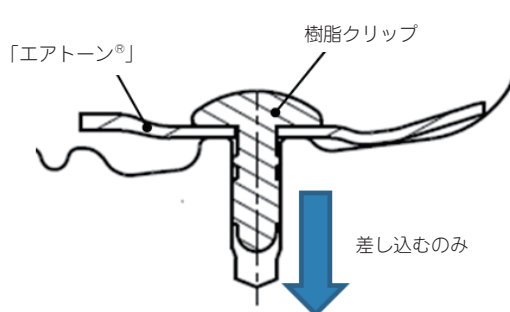


図10 樹脂クリップによる「エアトーン®」の固定方法
(SAE Internationalの許可を得て転載)

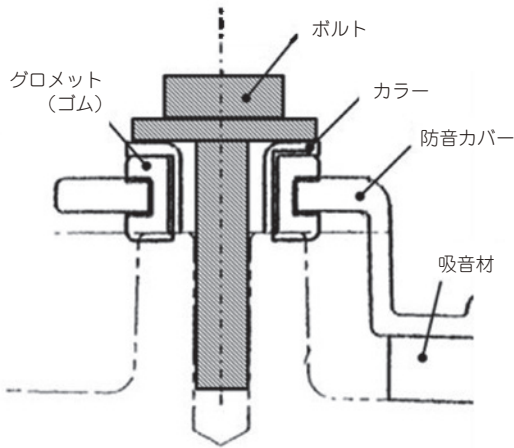


図11 ボルトによる従来型防音カバーの固定方法
(SAE Internationalの許可を得て転載)

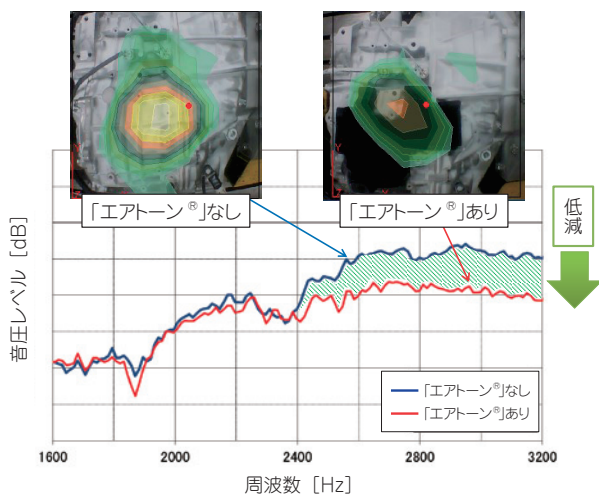


図12 「エアトーン®」のギャウなり音に対する効果
(SAE Internationalの許可を得て転載)

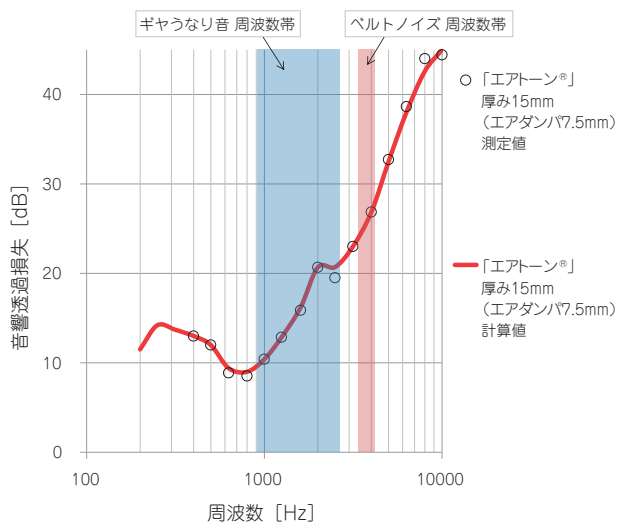


図13 ノイズ周波数帯と「エアトーン®」の防音特性
(SAE Internationalの許可を得て転載)

「エアトーン®」は図13に示すように、高い周波数ほど防音性能が高くなる傾向があるため、ギャウなり音より高周波側にあるベルトノイズに対してさらに高い防音効果を発揮できるものと考えられる。

4. おわりに

SAE2016 World Congressにおける、「エアトーン®」の技術発表について紹介した。

今後も車内の静粛性向上要求、および低燃費化要求の高まりによる車両の軽量化・コンパクト化の背反として発生する異音対策要求がますます厳しくなると予測される。また同時に、それらの対策アイテムに求められる要求も今以上に厳しくなると考えられる。今回発表した「エアトーン®」のように、これからも常に「音」に注目し続けることで、お客さまのニーズに即した製品開発を実践していく所存である。

参考文献

- 1) M. A. Biot "Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid." Journal of the Acoustical Society of America, Vol.28. No.2 PP168-178, March, 1956
- 2) J. F. Allard "Propagation of Sound in Porous Media." Elsevier Applied Science, England (1993)
- 3) B. Brouard, D. Lafarge and J. F. Allard "A General method of modeling sound propagation in layered media." J. Sound Vib, 183,7-12 (2004)
- 4) Guofeng Bai, Pei Zhan, Fusheng Sui, Jun Yang "Research on sound insulation of multiple-layer structure with porous material and air-layer." Inter-noise2014 (2014)

* 本稿は以下の論文をSAE Internationalの許可を得て転載したものである。

Kimura, K., Habuchi, R., Kono, T., Mori, T. et al., "Development of a Lightweight Soundproof Cover Using the Biot Theory (Vibration Propagation in Elastic Porous Materials), and an Example Application to a Transmission," SAE Technical Paper 2016-01-0517, 2016, doi:10.4271/2016-01-0517.

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「エアトーン」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。

〈寄稿〉

Biotパラメータの音響特性に対する感度解析

日本大学生産工学部 数理情報工学科 教授 見坐地 一人

1. はじめに

自動車開発においては、低燃費化を目的とする車体重量の軽量化が大変重要である。一方、車室内の静粛化には防音材を多用する必要がある。車体の軽量化と車室内の静粛化は相反する。これらを高い次元で両立するには、開発初期段階に防音仕様の音響特性を精度良く予測し、軽量かつ高性能な防音材仕様を提案しなければならない。それらの防音性能はBiot理論によって説明することができるが、目的とする性能を付与するためには防音材の音響特性に対する各Biotパラメータの感度を把握する必要がある。そこで本論では、Biotパラメータの防音材の吸音特性や遮音特性、固体伝播音特性のそれぞれに対する感度を、Biotモデルと解析SEAモデル、FEM/SEAハイブリッドモデルを用いて解析（シミュレーション）することにより把握し考察する。

2. Biot モデル^{1, 2, 3)}

自動車の防音材として用いられる多孔質材料の音響特性をBiotモデルを用いて予測する。

図1にBiotモデルの模式図を示す。

Biotモデルとは入射音波が多孔質材料中の空隙部分を通して伝わる空気伝播音と多孔質材料中の骨格部の振動によって伝わる固体伝播音、およびその間の相互作用を考慮した防音材の音響特性モデルのことである。

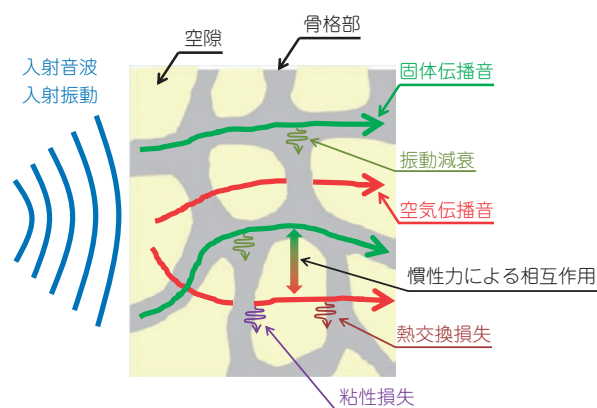


図1 Biotモデル

固体伝播音および空気伝播音の波動方程式は固体伝播音と空気伝播音の相互作用を考慮した骨格部の変位 $\vec{u}^s$ と、流体の変位 $\vec{u}^f$ を用いて、それぞれ式(1)、式(2)になる。

$$\left. \begin{aligned} & ((1-\phi)\rho_s + \rho_a) \frac{\partial^2 \vec{u}^s}{\partial t^2} - \rho_a \frac{\partial^2 \vec{u}^f}{\partial t^2} \\ & = (P-N)\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^s) + Q\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^f) + N\vec{\nabla}^2 \vec{u}^s - \sigma\phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t}(\vec{u}^s - \vec{u}^f) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & (\phi\rho_f + \rho_a) \frac{\partial^2 \vec{u}^f}{\partial t^2} - \rho_a \frac{\partial^2 \vec{u}^s}{\partial t^2} \\ & = R\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^f) + Q\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^s) + \sigma\phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t}(\vec{u}^s - \vec{u}^f) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

ここで、 t は時間、 ρ_s は骨格部の密度、 ρ_f は流体（本論では空気）の密度である。 ρ_a は骨格部と流体の相互作用における粘性減衰を考慮した流体の等価密度を示しており、式(3)で表される。

ここで、 μ は動粘性係数と呼ばれるパラメータである。

$$\left. \begin{aligned} \rho_a &= \alpha_\infty \rho_f \left(1 + \frac{\phi \sigma}{j \omega \rho_f \alpha_\infty} G(\omega) \right) \\ G(\omega) &= \left(1 + \frac{4 j \mu \omega}{\Lambda^2} \frac{\alpha_\infty^2 \rho_f}{\sigma^2 \phi^2} \right)^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

次に弾性係数 P , Q , R は式 (4) に示すように近似的に表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} P &\approx \frac{4}{3} N + K_b + \frac{(1-\phi)^2}{\phi} K_f \\ Q &\approx (1-\phi) K_f \\ R &\approx \phi K_f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、骨格部のせん断弾性率 N と骨格部の体積弾性率（真空時） K_b を式 (5) に示す。

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{E(1+j\eta)}{2(1+\nu)} \\ K_b &= \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

式 (4) 中の K_f は骨格部と流体の相互作用における熱性減衰を考慮した流体の等価体積弾性率（周波数依存）で、式 (6) から求められる。

$$\left. \begin{aligned} K_f &= \frac{\gamma P_0}{\gamma - (\gamma - 1) \left[1 + \frac{8\zeta}{j\omega \Lambda'^2} H(\omega) \right]^{-1}} \\ H(\omega) &= \left(1 + \frac{j\omega \Lambda'^2}{16\zeta} \right)^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 γ は比熱比、 P_0 は平衡状態の圧力、 ζ は温度拡散率である。骨格部と流体の波動方程式 (1), (2) と ρ_a を示す式 (3), K_f を示す式 (6) に含まれる関数 $G(\omega)$ と $H(\omega)$ は、空気の流路が円形である場合の理論解に近くなるように定義した経験的な関数である。

表1に5種類の音響系Biotパラメータ (Acoustical Biot Parameters) と4種類の構造系Biotパラメータ (Structural Biot Parameters) を示し、以下に各Biotパラメータの概要を説明する。なお、以下の括弧内の英訳の次に略称を示している。

表1 Biotパラメータ

Acoustical Biot Parameters	Flow resistivity	FR	σ
	Porosity	Por	ϕ
	Tortuosity	Tor	a_∞
	Viscous characteristics length	Vcl	Λ
	Thermal characteristics length	Tcl	Λ'
Structural Biot Parameters	Density	Den	ρ
	Loss Factor	LF	η
	Young's modulus	Ym	E
	Poisson's ratio	Poi	ν

- ・流れ抵抗 (Flow Resistivity : FR) とは多孔質材料中を通過する空気の流れにくさを表すパラメータである。流れ抵抗が大きいと空気が通りにくくなる。
- ・多孔度 (Porosity : Por) とは多孔質材料中の空気の含有量の割合である。
- ・迷路度 (Tortuosity : Tor) とは、多孔質材料の厚さに対する、多孔質材料内部を流れる流体（本論では空気）の経路の長さの割合を表現するパラメータである。
- ・粘性特性長 (Viscous characteristics length : Vcl) とは気泡入口付近での粘性抵抗による音響エネルギー損失に関連した（形状に依存する）パラメータである。
- ・熱性特性長 (Thermal characteristics length : Tcl) とは気泡表面での音響エネルギーの熱変換量に関連した（形状に依存する）パラメータである。

ここまでの、音響系Biotパラメータである。

- ・密度 (Density : Den) とは単位体積当たりの質量を表現するパラメータである。
- ・損失係数 (Loss Factor : LF) とは多孔質材料の制振特性の評価指標の1つである。振動エネルギーの熱変換量に関連したパラメータである。
- ・ヤング率 (Young's modulus : Ym) とは多孔質材料の変形のしにくさを表現するパラメータである。また、応力と歪の間の比例定数の総称である。
- ・ポアソン比 (Poisson's ratio : Poi) とは多孔質材料を引っ張り、あるいは圧縮させた時の縦歪と横歪の比率のことである。

ここまでの構造系Biotパラメータであり、全9種類のパラメータで構成される。

3. 音響特性評価

多孔質材料の音響特性として、吸音特性、遮音特性、固体伝播音特性のそれぞれに対するBiotパラメータの感度を解析する。次にそれぞれの音響特性の評価手法について説明する。

3.1 吸音特性

吸音特性とは図2に示すように入射波に対し、反射せず、多孔質材料中で吸収あるいは透過する特性のことである。本論では、吸音特性を吸音率で評価する。図2に吸音について示す。

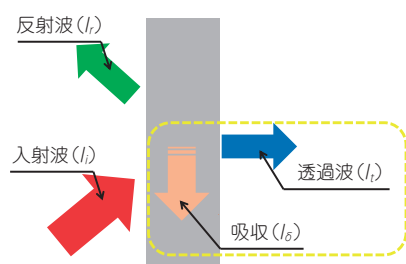


図2 吸音

図2から得られる釣り合い式を式 (7) に示す。

$$I_i = I_r + I_a + I_t \quad \text{..... (7)}$$

次に、吸音率 α の算出式を式 (8) に示す。

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = \frac{I_a + I_t}{I_i} \quad \text{..... (8)}$$

3.2 遮音特性

遮音特性とは、前節の吸音とは異なり、入射波に対し透過せず、多孔質材料中で吸収あるいは反射する特性のことである。本論では、遮音特性を音響透過損失で評価する。図3に遮音について示す。

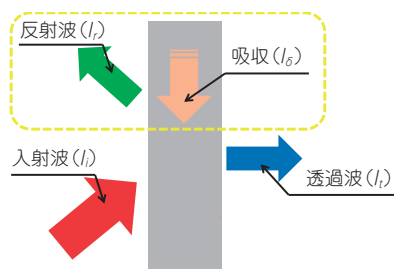


図3 遮音

図3から得られる釣り合い式は前節にも述べた式 (7) となる。

透過率 τ の算出式を式 (9) に示す。

$$\tau = \frac{I_r + I_a}{I_i} = \frac{I_t}{I_i} \quad \text{..... (9)}$$

次に、式 (9) の透過率 τ を用いて音響透過損失 (Transmission Loss : TL) を算出する。算出式を式 (10) に示す。

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} \text{ [dB]} \quad \text{..... (10)}$$

3.3 固体伝播音特性

固体伝播音とは、図1から多孔質材料中の骨格部の振動を起源とした音のことである。本論では固体伝播音特性を音響放射効率で評価する。

音響放射効率とは振動の音へのなりやすさを表す比率のことであり、式 (11) から求められる。

$$\sigma = \frac{W}{\rho c A \tilde{v}^2} \quad \text{..... (11)}$$

式 (11) 中の σ は音響放射効率、 W は音響放射パワー、 ρ は流体の密度、 c は流体の速度、 A は多孔質材料と媒質 (本論では空気) の境界面の表面積、 $\tilde{v}^2$ は時間-空間平均速度の2乗である。

4. 解析モデル

Biotパラメータの感度解析を2種類の解析モデルを用いて実施した。音から音への影響が著しい高周波領域では解析SEAモデル (音や振動において高周波領域は位相の影響を無視でき、拡散場と考えられることから統計的エネルギー解析手法を用いてモデル化) を、振動から音になりやすい中周波領域ではFEM/SEAハイブリッドモデル (構造における中周波領域の振動は位相が無視できず、かつ拡散場と仮定できないことから鉄板部のモデル化には有限要素法を用い、その他は統計的エネルギー解析手法を用いてモデル化) を用いる。以下に各モデルの説明をする。なお、双方のモデル解析にはESI社のVA-Oneを用いた。

4.1 解析 SEA モデル

解析SEAモデルでは図4に示すように、受音場 (Cavity)、鉄板 (Plate)、加振音場 (Cavity) の3要素で構成されるモデルである。共通寸法としてはX軸とY軸はそれぞれ1.0m, 1.2mとする。受音場と加振音場のZ軸は1.0mとする。鉄板の厚みを1mm, その上に厚さ20mmに単層の多孔質材料の防音材を搭載したモデルである。加振条件として加振音場から1Wの音響パワーで加振した。解析周波数範囲は100~5000Hzであるが、SEA解析においては100~500Hzの低・中周波領域の解析精度は低い。このモデルで評価する特性は吸音特性、遮音特性である。

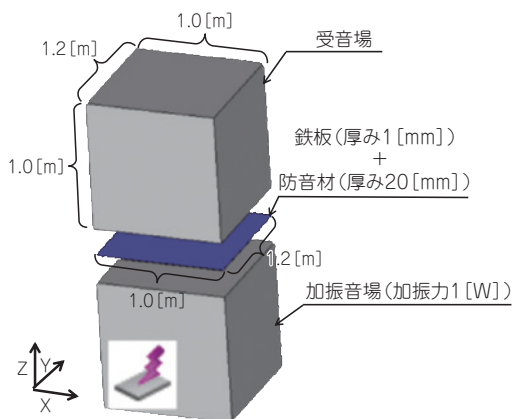


図4 解析SEAモデル

4.2 FEM/SEAハイブリッドモデル⁴⁾

FEM/SEAハイブリッドモデルは上記で述べた解析SEAとは異なり、図5に示すように鉄板 (Plate) と受音場 (Cavity) の2要素で構成されるモデルとなる。

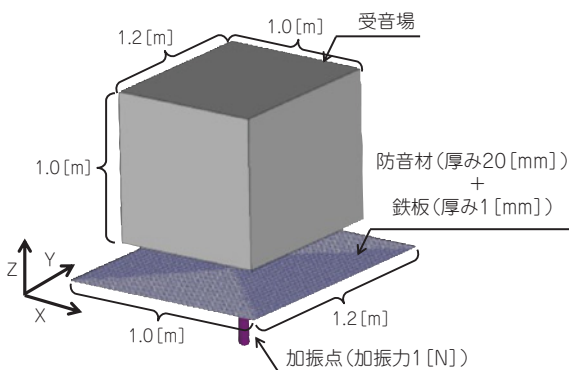


図5 FEM/SEAハイブリッドモデル

基本寸法は解析SEAモデルと同様である。相違点として本モデルでは鉄板をFEMで定義する。その他防音材を含めた受音場はSEAで定義する。加振条件はモード節を避けるため、鉄板の中央からわずかにずらし、1Nでポイント構造加振する。また、解析周波数範囲は200~1000Hzの中・高周波領域を解析する。本モデルで評価する特性は固体伝播音特性である。

5. Biot パラメータ感度

前章で説明した解析モデルを用いて各Biotパラメータの比率を変更し、各音響特性に対する感度を解析する。ここでは、3種類の防音材データを用いて、0.5倍~2.0倍の0.25倍刻みで各Biotパラメータの比率を変更し解析した。本論では一例としてChip Urethane Softの比率を基準諸量の0.5倍と2.0倍にしたときの吸音特性、遮音特性、固体伝播特性の解析結果を図6~8に示す。図中、基準諸量での解析結果 (Standard : Std) を黒の点線で示す。なお、多孔度と迷路度、ポアソン比は一定の数値内で定義する必要があるため、比率を変更した際に上下限值を超えた時の解析は行っていない。また、解析結果のグラフには表1のBiotパラメーター一覧の略称を適用する。

吸音特性は、図6の吸音率より、0.5倍時では多孔度の感度が高く全周波数帯で悪化した。流れ抵抗に関しては1600~2500Hzで向上したが、それ以外の周波数帯では全体的に悪化した。2.0倍時では流れ抵抗に関して800~5000Hzで悪化した。また、迷路度に関しては800~1600Hzで向上したが、1600~5000Hzでは悪化した。

遮音特性は、図7の音響透過損失より、0.5倍時では迷路度に関して1000~5000Hzで向上した。迷路度とは多孔質材料中の経路の複雑さを示すパラメータであるため、本来悪化する傾向を示すと推測したが、向上する結果となった。また、密度、多孔度、流れ抵抗それぞれに関しては800~5000Hzで悪化した。2.0倍時では流れ抵抗に関して1600~5000Hzで向上した。密度に関しては800~2000Hzで向上した。

多孔度、ヤング率、熱特性長それぞれに関しては800~5000Hzで悪化した。

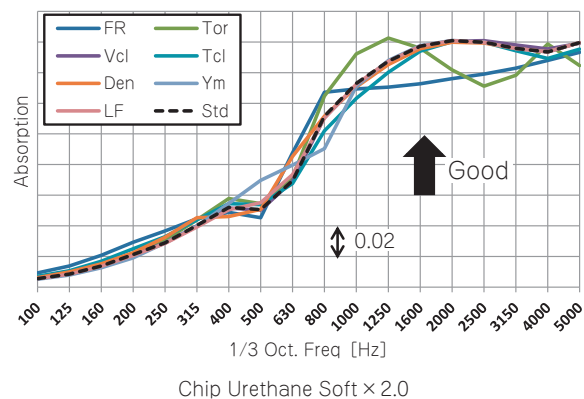
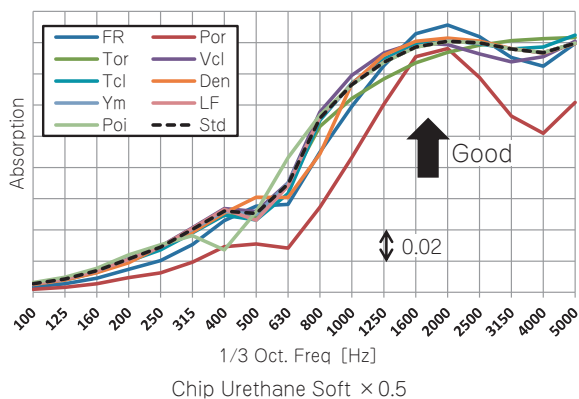


図6 吸音特性の変化

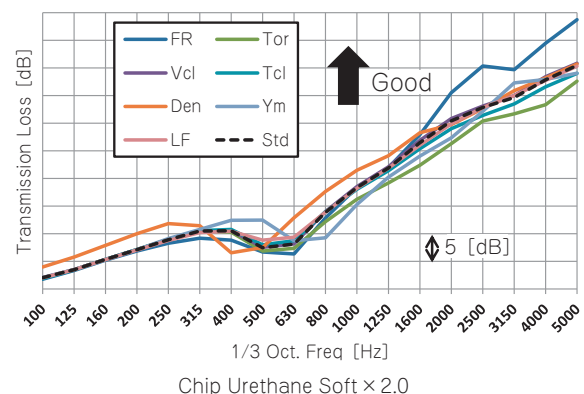
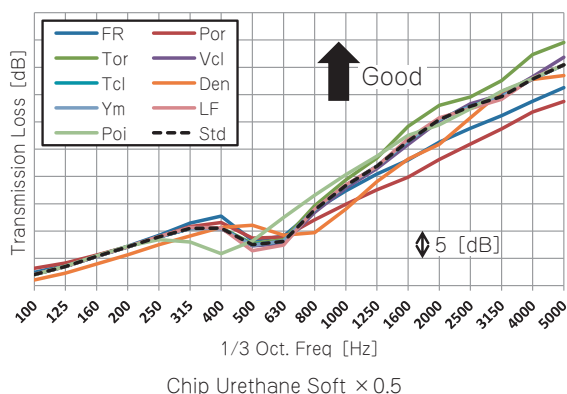


図7 遮音特性の変化

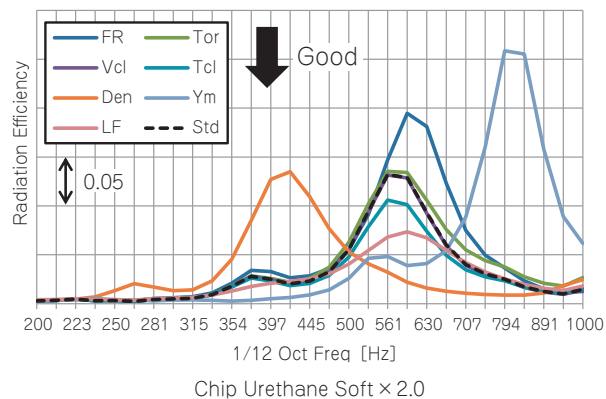
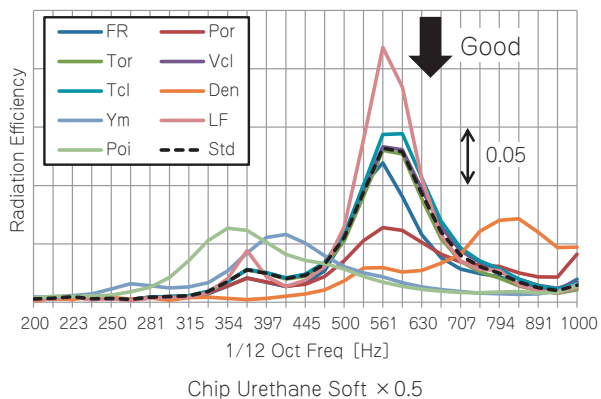


図8 固体伝播特性の変化

固体伝播特性は図8の音響放射効率より、0.5倍時では損失係数、熱性特性長それぞれは561～630Hzのピーク時に悪化した。損失係数では354～397Hzで悪化する。その他のパラメータは561～630Hzのピークは抑えられるが、他の周波数では基準値の時よりも悪化する結果となった。2.0倍時で悪化が見られたパラメータは周波数毎で異なるが、流れ抵抗、密度、ヤング率、迷路度となった。

6. 結論

- 1) Biotパラメータの比率を変更させ、音響特性に対する各パラメータの感度を定量的に確認することができた。
- 2) 今回のような単純な比率変更では、全周波数帯において一定の向上、あるいは悪化が見られるわけではなく、周波数毎で悪化あるいは向上が変わることがわかった。

- 3) 高周波領域の空気伝播音と、中周波領域の固体伝播対策ではBiotパラメータの感度が異なることを考慮し防音材仕様を検討する必要があることがわかった。

以上の結果から自動車の開発初期段階に多孔質材料系の防音材仕様を検討する上で本論の解析手法および解析結果は価値があると考えられる。これらの応用により吸音材を構成する材料の特性も含めた新たな防音システムの提案も可能と考えられる。

今後は本研究の解析結果を実験結果と比較し検証したい。同時に今回用いた音響解析モデルとBiotモデルを用いて最適化による仕様検討も行っていきたい。

参考文献

- 1) 見坐地一人, 井出史彦, 多田寛子: 空気伝播音と固体伝播音低減フロアカーペットの開発, 自動車技術会シンポジウム, No.08-09, 20094780, P40-44
- 2) VA One 2011 Foam Module User's Guide, Theory & QA (released: Dec-11)
- 3) 山本崇史, 丸山新一, 泉井一浩, 西脇眞二, 寺田賢二郎: 均質化法による多孔質吸音材の等価特性の導入, 日本機械学会論文集 (C 編), No.10-0134, P75-88
- 4) P.J. Shorter, R. S. Langley: On the reciprocity relationship between direct field radiation and diffuse reverberant loading, J. Acoust. Soc. Am. Volume 117, Issue 1, pp. 85-95 (2005).

筆者紹介



見坐地 一人

日本大学生産工学部
数理情報工学科 教授
日本合成樹脂技術協会
(公社)自動車技術会
博士(工学), 自動車技術会フェロー
主として音響解析 数理モデル化 シミュレーション工学 人体数理モデルに関する研究に従事

〈解説〉

半導体製造装置向け製品の難燃性規格について

高機能製品事業本部

1. はじめに

2013年に中国で発生した半導体製造工場の大規模な火災事故は、その復旧に約4ヶ月を要し、その間DRAMの供給減少による市場価格の高騰が起きるなど大きな問題となった。半導体製造工場ではその製造工程に引火性や爆発性のある化学物質を使用するため、このような事故のリスクが存在する。そのため、半導体製造設備に対して必然的に不燃性・難燃性^{*}が求められてくる。

半導体製造装置には非常に多くの種類の部品・部材が使用されているが、それらに対しては統一した基準での難燃性評価が求められる。

当社では多くの種類の半導体製造装置用部品を製造、販売しているが、その一部製品において、第三者の安全性評価機関による難燃性の認証を取得している。

本稿では、難燃性の指標となる認証の紹介、および当社製品におけるそれらの取得状況について紹介する。

※不燃性・難燃性は共に「燃えにくさ」を示す言葉であるが、一般に「不燃性」は炎を上げて燃えない性質のもの（例：建材用石膏ボード）、「難燃性」は炎を上げて燃える性質のもの（例：プラスチック製品）に対する用語である。本稿では取り上げる製品（主にふっ素樹脂）の性質を考慮し、「難燃性」という言葉を使用する。

2. 難燃性を評価する認証

製品、部材、装置などの安全性評価機関は各国に数多く存在しているが、難燃性の認証を行う機関として、UL、およびFM Approvalsがある。いずれも米国が拠点の民間機関である。ULはその前身であるUnderwriters Laboratoriesが1894

年に、FM Approvalsは1886年に設立された歴史を持つ。いずれの機関も製品、材料などの機能や安全性に関して独自に設定した規格基準で評価して認証を行っており、それぞれUL認証、FM認証と呼ばれている（図1）。



図1 各認証マークの一例^{**}
(左 ULのレコグナイズド・コンポーネントマーク、右 FM認証マーク)

難燃性に関する認証を取得した部材、装置は火災発生時の延焼や被害の抑制に寄与すると考えられ、各装置メーカーはこれらの認証を取得した部品を採用する傾向がある。また、装置ユーザーである半導体製造メーカーは、これらの認証を取得した部材、装置を使用することで火災保険料の軽減措置が適用されることがある。

※※ULマークはこの他にリスティング／クラシフィケーション／エンハンスド・マークがあり、取得する認証の種類により適用されるマークが異なる。

3. 難燃性試験の概要

難燃性に関する試験規格は部材の形状、用途に応じて難燃性を評価する規格が各種設定されているが、いずれも対象物に炎を当てて、その際の挙動を評価するものである。当社の半導体製造装置向け製品は形状、用途が多岐に渡って

おり、シート形状のもの、シート材を機械加工したもの、チューブ形状のもの、断熱材用途のものなどがある。それぞれの形状や用途に対応した難燃性試験として表1に示すUL94 (V), UL224 (VW-1), FM4924, FM4910規格に則った試験が適用される。

表1 各種難燃性試験規格の概要

形状・用途	規格	判定項目
シート形状	UL94 (V)	- 各試験片 (5本) ごとの燃焼時間 5本の合計燃焼時間 - 各試験片の燃焼+グローイング時間 - クランプまでの燃焼の有無 - 滴下物による綿着火の有無
チューブ形状 パイプ形状	UL224 (VW-1)	- インジケータの燃焼 (損傷) 程度 - 滴下物による綿着火の有無 - 接炎後の燃焼時間
パイプダクト 類用断熱材	FM4924	サンプルの一端を燃焼させた際の反対側までの燃焼到達の有無
クリーンルーム での使用	FM4910	- 炎の高さ - 最大熱流束 - 接炎後の放熱量低下 - 発煙量

各試験規格の詳細な判定基準値は割愛するが、おもに「対象物の燃焼時間」、「周囲物への延焼の有無」、「発煙量」などで判定する。

以下にUL94 (V), UL224 (VW-1), FM4924, FM4910の試験概要を紹介する。

3.1 UL94 (V)

UL94 (V) は、UL94で規定されている規格の中の一つであり、主としてシート形状サンプルに適用される。図2に、UL94 (V) の試験概要図を示す。試験は、サンプルをバーナーの炎で燃焼させ、そのときの燃焼時間、延焼の程度 (クランプ部までの延焼の有無の確認)、滴下物による綿への着火の有無から難燃性のクラスを判定する。クラスには、難燃性が高い側からV-0, V-1, V-2, Notの4種がある。

3.2 UL224 (VW-1)

UL224 (VW-1) は、チューブ形状、パイプ形状をしているサンプルに適用される規格である。図3に、UL224 (VW-1) の試験概要図を示す。

試験はサンプルの内側にワイヤーを通して直線形状にし、一端を固定して吊るす。その後、サンプルに対して20°の角度から複数回バーナーの炎をあて、燃焼させる。このときの燃焼の程度、

燃焼時間、滴下物による綿への着火の有無などから難燃性を判定する。

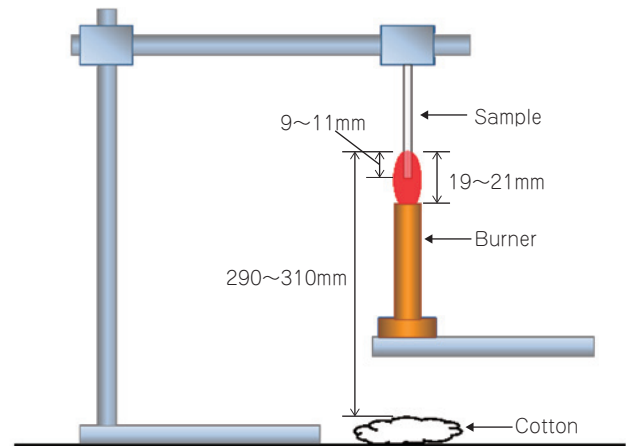


図2 UL94 (V) の試験概要図

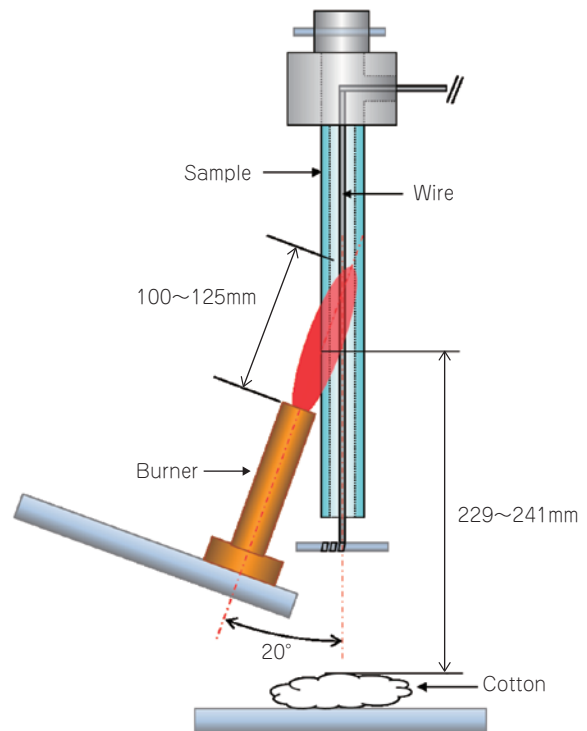


図3 UL224 (VW-1) の試験概要図

3.3 FM4924

FM4924は、パイプ、ダクト類に使用する断熱材に適用される難燃性規格である。図4に、FM4924の試験概要図を示す。

試験は24ft×5ft (約7.3m×約1.5m) のL字型金属配管の表面にサンプルを貼り付け、一端をバーナーで燃焼させ、規定時間経過後のサンプルの燃焼の進行度合により合否を判断する。

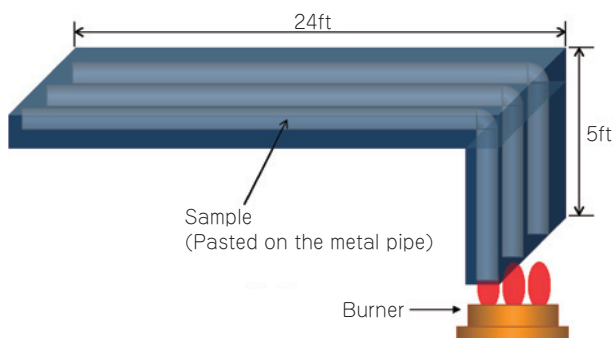


図4 FM4924の試験概要図

3.4 FM4910

FM4910は「クリーンルーム」での使用に適合した製品、部材、装置であるかを判定する。図5に、FM4910の試験概要図を示す。

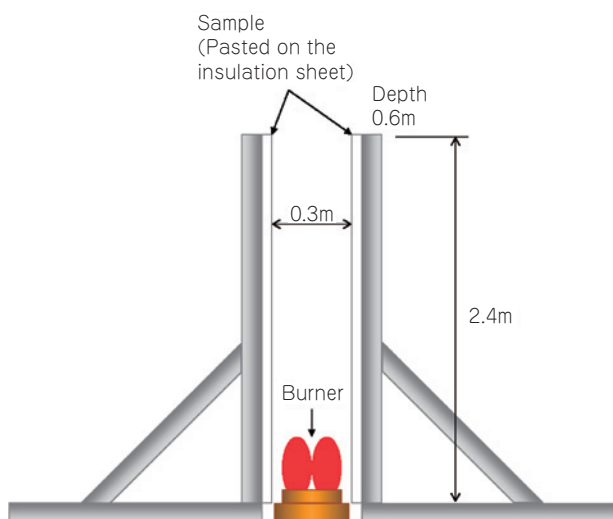


図5 FM4910の試験概要図

試験はサンプルを2.4m×0.6mの断熱材基盤に接着し、サンプル側を向かい合わせた形で縦に設置する。設置したサンプル間にバーナーを設置し、規定時間燃焼させる。このときの炎の高さ、発煙量、放熱量などによって、可否を判断する。

4. 当社半導体製造装置向け製品の難燃性認証取得状況

表2、図6～10に難燃性の認証を取得および、取得対応中の当社の半導体製造装置向け製品を示す。なお、それぞれの製品の認証に関する情報は、UL、およびFM Approvalsのホームページで随時検索可能である。

表2 難燃性認証取得済みおよび取得対応中の当社製品
(2016年10月1日現在)

製品	規格	判定結果
TOMBO™ No.9001「ナフロン® テープ」 ※純PTFE製の製品のみ	UL94 (V)	V-0
TOMBO™ No.9550「エクセライド®」		
TOMBO™ No.9003 「ナフロン® PTFEチューブ」 ※電線被覆用の一部サイズのみ (AWG5～AWG30)	UL224 (VW-1)	適合
TOMBO™ No.4500-CR-PC 「プレノ® コネクター」	FM4924	適合
TOMBO™ No.4500-PH-PT 「プレノ® テープ」		
TOMBO™ No.4500-PH-P 「プレノ® ヒータ」		
TOMBO™ No.4500-PH-PA 「プレノ® ヒータA」		
TOMBO™ No.4500-CR-PS 「プレノ® S」		
TOMBO™ No.4500-CR-PI 「プレノ® インシュレーター」	FM4924	取得 対応中
TOMBO™ No.9003-HI 「ナフロン® PTFE断熱チューブ」	FM4910	

UL認証は「レコグナイズド・コンポーネントマーク」を取得

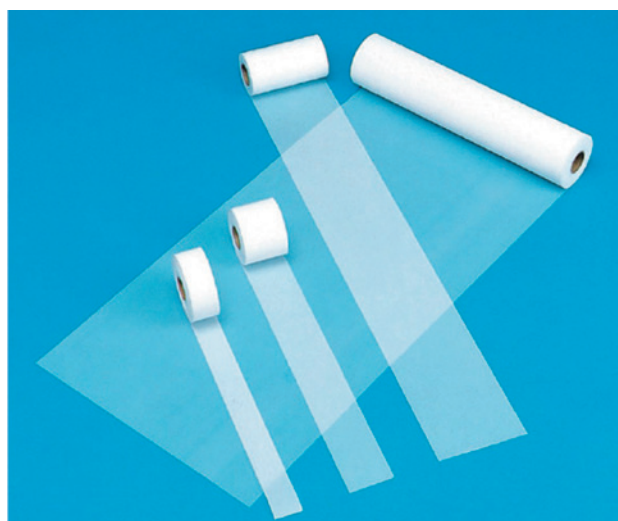


図6 TOMBO™ No.9001 「ナフロン® テープ」

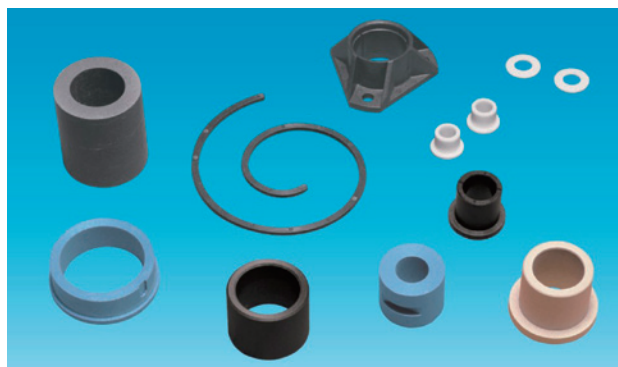


図7 TOMBO™ No.9550 「エクセライド®」

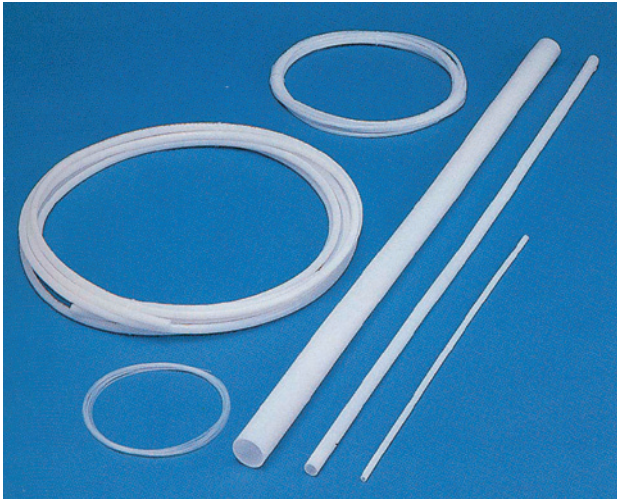


図8 TOMBO™ No.9003 「ナフロン® PTFE チューブ」

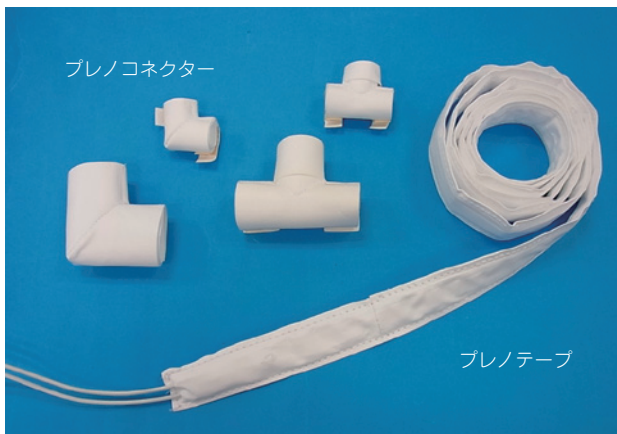


図9 TOMBO™ No.4500-CR-PC「プレノ® コネクタ」
TOMBO™ No.4500-PH-PT「プレノ® テープ」



図10 TOMBO™ No.4500-PH-P 「プレノ® ヒータ」

5. おわりに

本稿では、半導体製造装置に使用する部材に対する難燃性の認証について紹介した。

前述のとおり半導体製造メーカーにおいて、認証を取得した部材、装置を使用することで火災保険料の軽減が受けられることなどから、これらの取得に対する要望は今後もますます高まると考えられる。今後当社においても、認証取得に対する市場要望に対しては可能な限りお応えしていく所存である。

本稿に対するお問い合わせは高機能製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。

*「エクセライド」
*「EXCELIDE」,「ナフロン」,「プレノ」はニチアス(株)の登録商標です。

〈製品紹介〉

「ナフロン® 加工品」

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部

1. はじめに

ふっ素樹脂は各種プラスチックの中でも、特に耐熱性、低摩擦性、電気絶縁性、耐薬品性、非粘着性、耐候性など数々の優れた特長を有しており、化学や半導体関係、医療、食品などの分野に使用されております。弊社ではふっ素樹脂を原料とした製品を「ナフロン® 製品」と呼び、本誌前号、前々号にて「ナフロン® 素材」、「ナフロン® チューブ」についてご紹介してまいりました。本稿では使用目的に応じてさまざまな形状に成形加工した「ナフロン® 加工品」についてご紹介します。

2. 「ナフロン® 加工品」の概要と加工技術

「ナフロン® 加工品」とは表1に示すようにPTFEやPFAなどのふっ素樹脂を原材料とし、切削加工、射出成形、溶接・溶着加工などの各種加工を行った製品になります。以下に「ナフロン® 加工品」の切削加工、射出成形、溶接・溶着加工技術についてご紹介します。

表1 「ナフロン® 加工品」の加工技術と製品例

加工技術	原材料	製品例
切 削	PTFE PFA	任意形状製品の製作 ポンプ、バルブの部品など
射出成形	PFA ETFE	ウエハキャリアー、チューブ継手 OA機器ローラーなど
溶 接	PTFE PFA	大型角槽、ポンプ、バルブの部品など
溶 着	PFA	溶着チューブなど

2.1 切削加工

弊社は1951年にふっ素樹脂の成形・加工を開始して以来、長年にわたりその加工技術を蓄積してまいりました。1950年代中頃にはすでにパイプ状のふっ素樹脂素材からベローズ部分を切削加工で製作するフレキシブルジョイントが製造されていました（図1）。

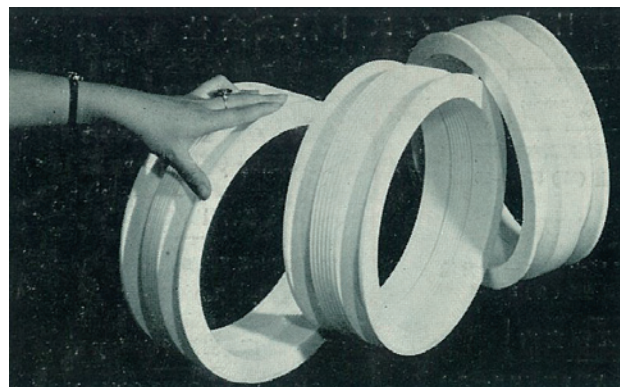


図1 1950年代中頃より製造されているフレキシブルジョイント

ふっ素樹脂は硬度や熱伝導率が金属とは異なり、切削加工技術には独自のノウハウが必要となります。これら長年に渡る技術の蓄積を活かし、現在はNC加工機を用いてより複雑な形状の加工も行っております。

2.2 射出成形

射出成形は主要なプラスチック製品の成形に広く用いられ、低コストで大量生産に適した成形方法です。これは融点以上に加熱した溶融樹脂を金型へ射出注入し、冷却・固化させる成形方法ですが、ふっ素樹脂の中でもPTFEは融点以

上に加熱しても流動性を示さないため、射出成形法を用いることが出来ません。そこで流動性を示すPFAやETFEなどのふっ素樹脂に対して用いられます。弊社では射出成形機から金型内に射出された樹脂の充填挙動を予測する流動解析技術(図2)を有しています。これにより、ふっ素樹脂の特性に応じた最適な射出成形条件を検証し製造しています。また射出成形用金型を内製しているほか、射出成形後の製品の切削加工や溶接加工といった後加工も行っており、金型製作から製品検査まで一貫した対応を行っております。

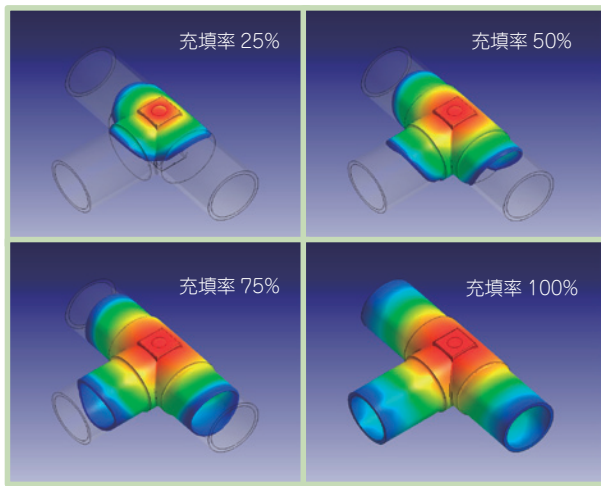


図2 流動解析の例

2.3 溶接・溶着

溶接・溶着はPTFEやPFAといったふっ素樹脂に対して素材同士を接合することで各種用途に応じた形状へ加工する技術です。溶接・溶着を用いることで金型による成形不可能な形状のものや、サイズの大きい製品を材料歩留まりを抑えて製作することができます。

図3に溶接と溶着の模式図を示します。溶接とは母材同士に対し溶接棒を用いて接合する方法です。一方溶着は接合部をヒーターで加熱溶融し、母材同士を全面溶着します。そのため溶着部分に未溶融部がなく、強度がほぼ母材と同じになります。

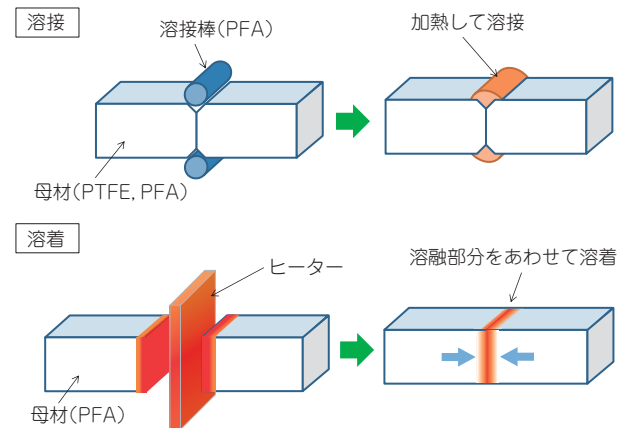


図3 溶接と溶着の模式図

3. 「ナフロン® 加工品」の紹介

3.1 TOMBO™ No.9020「ナフロン® 切削加工品」

「ナフロン® 切削加工品」とはPTFEやPFAといったふっ素樹脂を原材料としたロッドやパイプ形状の「ナフロン® 素材」に切削加工を行った製品になります。原材料としてはふっ素樹脂にガラスファイバーやグラファイトなどの各種無機充填材を配合した素材も取り揃えており、お客様の用途、ご要望に応じて選定が可能です。

切削加工品の例として、図4に示すような各種形状加工、各種サイズのTOMBO™ No.9510-H「ナフロン® PTFEチューブ継手」などがあります。

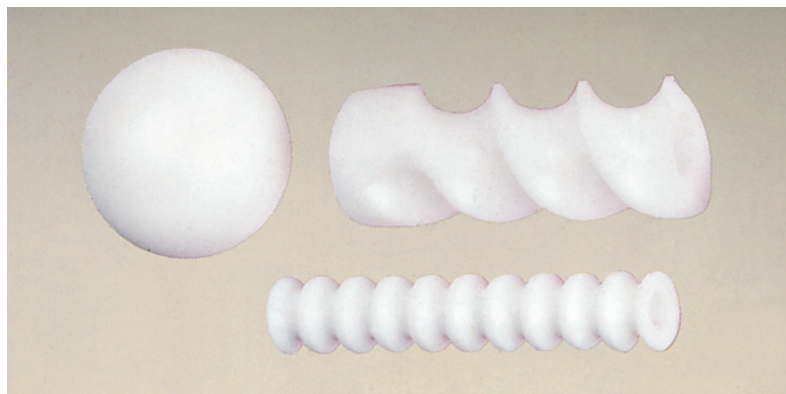
3.2 TOMBO™ No.9021「ナフロン® 射出成形品」

「ナフロン® 射出成形品」は大小さまざまなサイズの成形に対応できます。射出成形品の例として図5に示すようなふっ素樹脂のクリーン性、耐薬品性を活かし半導体製造装置で用いられるウエハキャリアやチューブ継手、ノズル、流量計などの機器部品、またすべり性を利用したOA機器部品などがあります。

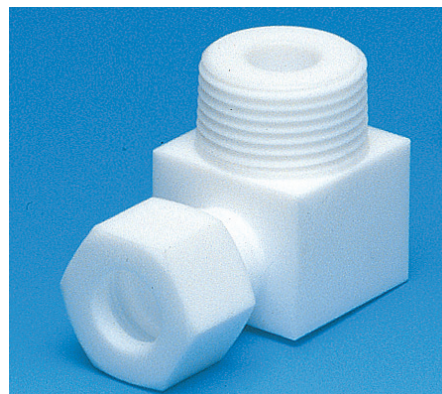
3.3 TOMBO™ No.9023「ナフロン® 溶接加工品」 TOMBO™ No.9023-T「ナフロン® 溶着チューブ」

「ナフロン® 溶接加工品」はふっ素樹脂 (PTFE, PFA) を溶接加工により各種の用途に応じた形状に加工した製品です。溶接加工品の例にはTOMBO™ No.9500-H「ナフロン® PTFE製角槽」(図6) があります。

これらはPTFE樹脂板より材料取りを行い、所定の形状に組み立てて板同士の接触する辺を

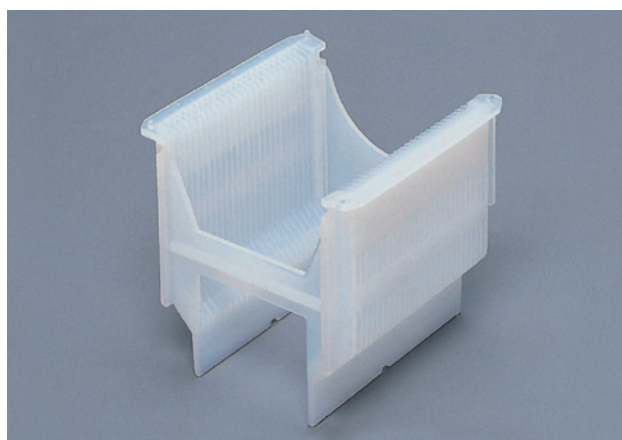


各種形状加工



TOMBO™ No.9510-H
「ナフロン® PTFEチューブ継手」

図4 TOMBO™ No.9020 「ナフロン® 切削加工品」の例



ウエハキャリア



チューブ継手, OA機器部品など

図5 TOMBO™ No.9021 「ナフロン® 射出成形品」の例



図6 TOMBO™ No.9500-H 「ナフロン® PTFE製角槽」

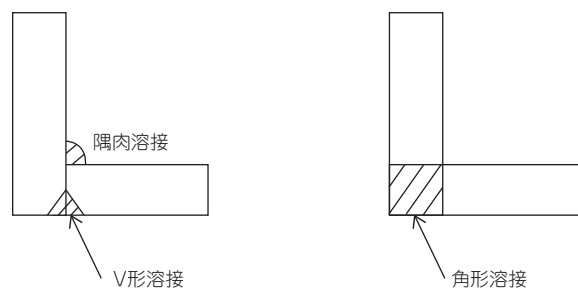


図7 PTFE角槽の溶接構造

PFA樹脂溶接棒で溶接して製作しています。なお、溶接部は構造に応じて図7のようになっています。

TOMBO™ No.9023-T「ナフロン® 溶着チューブ」(図8)はPFA樹脂製の直管チューブとPFA樹脂製の継手を溶着で一体化したものです。図9に示すように溶着部分の内表面が滑らかで溶着界面

が目立たないことが特長です。

また市販のチューブ継手を使用していた部分を溶着チューブに置き換えることでコンパクト化が図れます(図10)。



図8 溶着チューブ外観

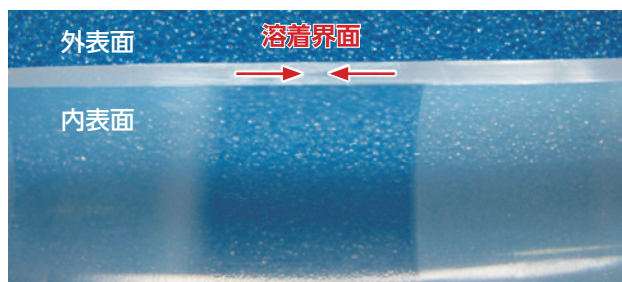


図9 溶着部の断面

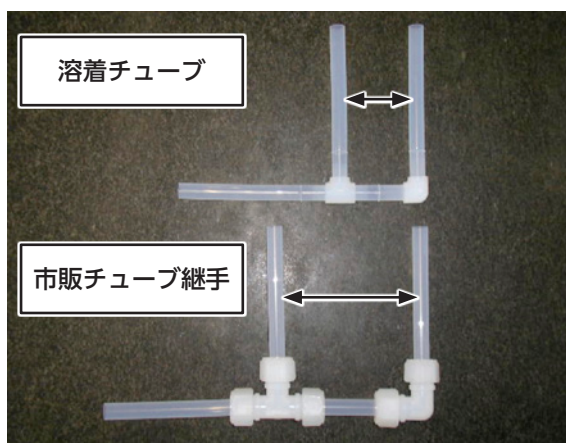


図10 溶着チューブと市販チューブの比較

溶着チューブは直管チューブと同等の耐圧性を示します。以下にその試験結果を示します。

〈試験方法〉

サイズ3/4B×長さ470mm（溶着2箇所）のサンプル（図11）を20℃、40℃、60℃、80℃の各温度で一定時間保持した後、内圧をかけ破裂時の圧力を測定。

〈試験結果〉

耐圧性の試験結果を表2に示します。

溶着チューブと直管チューブとでは、破裂時の圧力は同等であり、強度低下を懸念することなく使用が可能です。その他溶着部に凹凸がなく、液置換性なども優れた特性を示します。

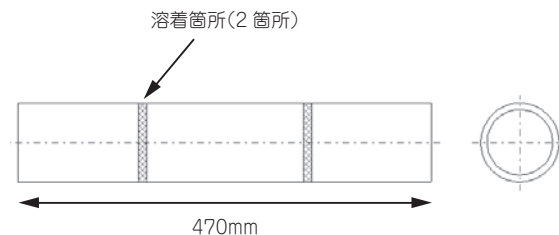


図11 試験サンプル

表2 耐圧試験結果 (MPa)

サンプル	20℃	40℃	60℃	80℃
溶着チューブ	2.4	2.1	1.8	1.6
直管チューブ	2.4	2.0	1.7	1.6

4. おわりに

本稿では「ナフロン®加工品」についてご紹介させていただきました。ご紹介した製品は加工品の一部にすぎません。お客様のニーズに、さまざまな加工技術を組み合わせてお応えしてまいりますのでご相談ください。今後も素材成形から各種加工、加工後の溶接や溶着といった後加工、品質管理まで一貫して行うとともに、新たな技術・品質向上を目指していく所存です。

本製品に対するお問い合わせは工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発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。

*「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。

シール材

Q & A

第5回



ガスケットにガスケットペーストを塗布して使っていますが、注意する点がありますか？



ガスケットペースト（以下ペースト）は、一般的にガスケットとフランジ面との隙間を埋めシール性を向上させたり、フランジ面への固着を防止する目的で使用されている。しかし、ペーストを塗布したことによるガスケットの破損など、不具合も報告されているため、塗布する場合には注意が必要である。

1. ペーストの塗布について

流体をシールするためには、ガスケットを十分な力によって締め付けて、フランジ面の小さな凹凸を埋める（馴染ませる）必要がある。使用環境や施工状況などの影響で十分にガスケットとフランジ面の隙間を埋められない時に、補助的な役割としてペーストで隙間を埋めて、シール性を向上させている。

流体が水・油系の場合とガス系とでは、漏れやすさが異なる。したがって、微小な隙間があっても漏れにくい水・油系の流体では、ペーストを塗布しなくてもシール可能であるが、ガス系流体は微小な隙間から漏れやすいため、ペーストの塗布を推奨している。

ペーストとしては、当社が販売している製品（TOMBO™ No.9105, 9106, 9400, ネバーシーズ®）のほかに、液状パッキンやボルトなどの焼き付き防止剤、グリースなどの潤滑剤が塗布されている。

ガスケットの種類によってもペースト塗布の推奨が異なるので、表1に使い分けを紹介する。流体が水・油系であっても気密試験を行う場合には、窒素ガスなどで検査するので、ガス系流体として考えることを勧める。

ジョイントシート（TOMBO™ No.1120, 1995, 1993）は、ガスケット内部をガスが透過して漏れる場合があるため、ペーストを表面だけではなく、内径端面にも塗布してガスの浸透漏れを防ぐ。

異物混入などの観点からペーストが使用出来ない流体の場合には、締付力を高く設定するか、ペーストを塗布する必要のないガスケットを使用する。

表1 ニチアス製ガスケットと流体によるペーストの使い分け

ガスケット		流体 ^{注1}		適用ペースト ^{注2}			
製品名称	TOMBO TM No. ^{注3}	ガス	液	TOMBO TM No.9105	TOMBO TM No.9106	TOMBO TM No.9400	ネバーシーズ ^{注4}
ゴム打抜ガスケット	1051	△	△				
ナフロン [®] 打抜ガスケット	9007-LC, SC, 1133	○	△			*	
ジョイントシート ^{注5}	1995, 1993	○	△	*	*	*	
	1120	○	△	*	*	*	
ナフロン [®] クッションガスケット	9010	○	△			*	
グラシール [®] ガスケット	1200シリーズ	△ ^{注4}	×				
ボルテックス [®] ガスケット	グラシール [®]	1804-GR シリーズ	×	×			
	NA	1804-NA シリーズ	△	△			
	ナフロン [®]	9090シリーズ	△	△			
	高温複合	1806-GM, GS, GH	×	×			
メタルジャケットガスケット	1841-FI	○	△				*
CMGCガスケット	1880-GR	×	×				
カンプロファイルガスケット	1891-GR	×	×				
リングジョイントガスケット	1850-C, V	×	×				
メタルプレーンガスケット	1850-P	○	△				*
のこ歯状メタルガスケット	1890	△	△				

注1. ペーストの使用についての判断は以下のとおり。ただし、締付面圧、温度、流体等の条件より、適用（○、△、×）が異なる場合がある。

○：ペーストの塗布を推奨する △：塗布可能だが使用する必要はない ×：塗布しない

注2. 適用ペーストの*印は標準的に塗布するペーストであるが、温度、流体等の条件により使用できない場合がある。

注3. 製品番号は代表番号とする。（材質、形状で番号は異なる）

注4. 高度なガスシール性を要求される場合にはTOMBOTM No.1215-Tを使用する。

注5. フランジの形状、寸法、面仕上げなどは、各ガスケットに適したものとする。

2. ペースト塗布の注意事項

- ①ペーストを塗布するとガスケットとフランジの間の摩擦力が小さくなり、塗布しない場合と比較して小さい締付力でガスケットが滑り、変形しやすくなり、圧縮破壊を起こす場合があるので、特にジョイントシートなどの軟質ガスケットは注意が必要である。この時に塗布する量が多いとさらに圧縮破壊しやすくなるので、できるだけガスケット表面には薄く均一に塗布して片締めや締め付け過ぎに注意する。また、シリコン系のペーストを塗布すると摩擦力が非常に小さくなり、圧縮破壊しやすくなる。
- ②ゴムガスケット（TOMBOTM No.1050, 1051）やゴム分を含むジョイントシートに有機溶剤などを含むペーストを塗布するとゴムが膨潤し、ガスケットの強度が低下して圧縮破壊する場合がある。
- ③膨張黒鉛を使用したガスケット（TOMBOTM No.1834R-GRシリーズ, 1836R-GS, GM, GHシリーズ, 1891-GR, 1215, 1210-A, 1880-GRなど）にボルトの焼き付き防止剤（特に二硫化モリブデン系、銅などの金属微粉末配合系）などをペーストとして塗布すると、ペーストに含まれる成分により最高使用温度より低い温度で膨張黒鉛が酸化消失して漏洩した事例もあるので、ペーストは塗布しない事を勧める。

*本稿は、月刊トライボロジー誌(2015年2月号)に掲載された記事に一部加筆修正を加えたものです。

*「TOMBO」はニチアス㈱の登録商標または商標です。

*「ナフロン」、「グラシール」、「ボルテックス」はニチアス㈱の登録商標です。

*「ネバーシーズ」はボスティックインコーポレイテッド社の登録商標です。

トピックス

耐蒸気性，耐熱性を有する新しいゴム用架橋剤を開発

弊社は、耐蒸気性，耐熱性を有する新しいパーフルオログム用架橋剤を開発しました。

今回開発した架橋剤を使ったパーフルオログムは、従来と比べ高いレベルで耐熱性，耐蒸気性，および耐薬品性を併せ持つため，バルブ，ポンプ，ターボ機器，塗装機，遠心分離機，攪拌機，分析機器，反応炉，掘削関連機器などさまざまな機器・装置のメンテナンスコスト低減に貢献することができます。

従来の架橋剤では，蒸気や熱に対する安定性と架橋効率の両立が課題でしたが，今回開発した架橋剤は，骨格にパーフルオロアルキル基と芳香環を導入し，架橋反応部位に特殊な構造を採用したことで，耐蒸気性・耐熱性と架橋効率の両立が可能となりました。

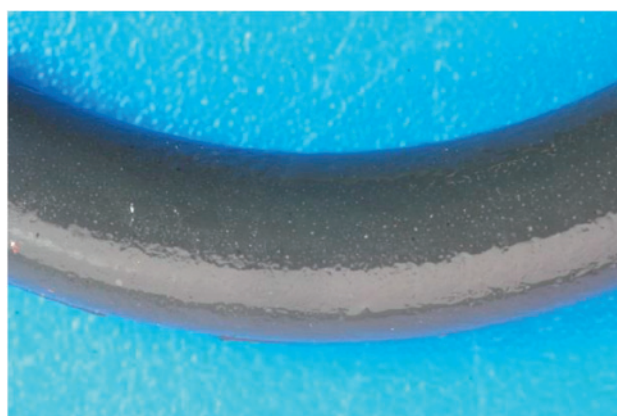
さらに，導入したパーフルオロアルキル基により，パーフルオログムへの相溶性が向上した結果，ゴムの耐蒸気性，耐熱性，耐薬品性が飛躍的に高まりました。そのため，従来のパーフルオログムでは使用困難であった300℃飽和蒸気中で安定して使用でき，さらには短期間であれば320℃の飽和蒸気中でも使用が可能になりました（下図参照）。

今後パーフルオログムを対象に同架橋剤を用いて「ブレイザー®」シリーズの製品化を進めるとともに，さらなる応用展開を目指していきます。

本件に関するお問い合わせは工業製品事業本部（TEL：03－4413－1131）までお願いいたします。



従来品



開発品

図 耐蒸気性試験結果（320℃×72hr）

*「ブレイザー」はニチアス(株)の登録商標です。

「ウォータージャケットスパーサー」が自動車専門誌で紹介されました



自動車専門誌「Motor Fan illustrated」において弊社の自動車用燃費向上部品TOMBO™ No.6680-W「ウォータージャケットスパーサー」（以下WJS）が紹介されました。

同誌では、トヨタ自動車株式会社製「プリウス」に搭載されているガソリンエンジン2ZR-FXEが、世界初の最大熱効率40%を達成するために講じたさまざまな燃費改善技術について、同社のエンジン開発主査様へのインタビューを通じて紹介されております。同エンジンの燃費改善策の一つとして「WJS」が果たした役割について触れられておりますので、ぜひご覧ください。



TOMBO™ No.6680-W
「ウォータージャケットスパーサー」

なお「WJS」については、本誌2016年2号（No.373）においても、ご紹介しておりますのであわせてご参照いただければ幸いです。

〈掲載誌情報〉

モーターファン別冊「モーターファン・イラストレーテッド」Vol.115

発行：株式会社三栄書房

ニチアス 「カグスベール®」発売50周年

弊社唯一の民生品である「カグスベール®」が2016年12月に発売開始から50周年を迎えます。

発売当初はふっ素樹脂のシートに接着剤を塗布したスポンジ層をつけたもので、家具の底面四隅に貼り付け、ふっ素樹脂の低摩擦性を利用して重い家具などの移動を容易にするというものでした。

おりしも高度成長期にあったわが国では、住宅、家具の洋風化が進み、掃除のたびに楽に家具を動かせるアイテムとして注目され、1976年には、それまでシート状であった形状を枕状にするなど、より使いやすいように改良を施し、以来現在に至るベストセラー製品となりました。

弊社Webページでは、「カグスベール®」の現在のさまざまなラインアップや、新しい使用法のアイデアなどをご紹介しますのでぜひ一度ご覧ください。

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

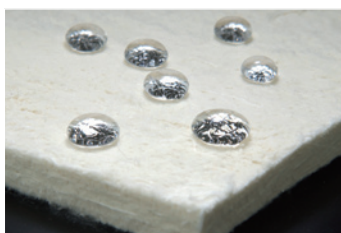


*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「カグスベール」はニチアス(株)の登録商標です。

保温のメンテナンス革命 e'-AIM[®] 工法 エコ-エイム

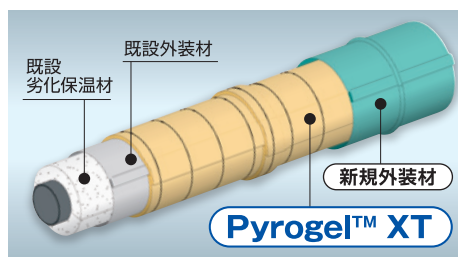
工場や発電所などで使われている〈既設保温材〉の上に
重ね巻きするだけで【省エネ】【CUI対策】【エコ】に。



はっ水性



水蒸気透過性(イメージ)



非吸水性断熱材「Pyrogel[™] XT」で水蒸気は逃がして、雨水の浸入をシャットアウト!

省エネ

既設保温材の
機能を回復させ、
放散熱量を低減します。

CUI対策

CUI(保温材下配管外面腐食)
の要因である
雨水の浸入を防止します。

エコ

既設の保温材・外装材を
外さないので
廃棄物を出しません。

e'-AIM[®] はニチアス(株)の登録商標です。
Pyrogel[™] は米国Aspen aerogels社の商標です。
Pyrogel[™] XT は(株)エアロジェル・ジャパンの取扱い製品です。

■基幹産業事業本部:TEL.03-4413-1124 ■工業製品事業本部:TEL.03-4413-1130

〒104-8555 東京都中央区八丁堀1-6-1

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

2016/3 号 通巻 No. 374



- 〈新製品紹介〉 アルカリアースシリケートウール
TOMBO™ No.5605 「ファインフレックス BIO® バルク」
TOMBO™ No.5615 「ファインフレックス BIO® ブランケット」
- 〈技術レポート〉 アルカリアースシリケートウールの開発
- 〈解説〉 人造鉱物繊維の国内外規制について
- 〈特別企画〉 研究所設立 60 周年
- 〈技術レポート〉 熱分解 GC/MS による EPDM の劣化解析
- 〈製品紹介〉 耐薬品性・耐熱性・純粋性に優れたふっ素樹脂チューブ「ナフロン® チューブ」
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第 4 回)
- 〈お知らせ〉 ガasket NAVI™ をリニューアル

2016/2 号 通巻 No. 373



- 〈新製品紹介〉 耐プラズマ性特殊ふっ素ゴム
TOMBO™ No.2675-FC 「ブレイザー® O リング -FC」
TOMBO™ No.2675-FE 「ブレイザー® O リング -FE」
自動車燃費向上部品
TOMBO™ No.6680-W 「ウォータージャケットスパーサー」
(オープンデッキ用中下部保温性向上タイプ)
- 〈製品紹介〉 高強度低熱伝導率断熱材 TOMBO™ No.4350-GH 「ロスリム® ボード GH」
- 〈技術レポート〉 燃焼フラスコ法によるふっ素系ポリマー中のヨウ素、臭素の定量分析
- 〈製品紹介〉 PTFE・PFA・PCTFE/ シート・テープ・ロッド・パイプ「ナフロン® 素材」
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第 3 回)

2016/1 号 通巻 No. 372



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈新製品紹介〉 モノマーライン向け高機能シートガスケット
TOMBO™ No.9007-ML 「ナフロン® ML ガスケット」
- 〈製品紹介〉 ロックウール MG 製品
- 〈解説〉 応力・ひずみの視点から見た無機系断熱材
- 〈寄稿〉 インプロセス計測による超高分子樹脂の高性能化・高機能化
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第 2 回)

2015/4 号 通巻 No. 371



- 〈新製品紹介〉 耐高温蒸気性パーフロログム TOMBO™ No.2675-S 「ブレイザー® O リング -S」
- 〈技術レポート〉 断熱材低熱伝導化のためのふく射散乱材設計技術
- 〈解説〉 空調効果を最大限に活かす断熱材
- 〈製品紹介〉 非金属製伸縮継手 TOMBO™ No.9999-NA 「NA ベロー Q®」
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第 1 回)

次号 2017/1 号 通巻 No. 376 は 2017 年 1 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
神戸営業所	TEL (078) 381-6001
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
工事業業部	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 ・イギリス ・チェコ ・カタール
・メキシコ