

ニチアス 技術時報

No. 411

2025年 4号

CONTENTS

●【寄稿】

高効率CO₂回収を目指した
低分子オリゴアミン吸収液の開発とその概要

●【製品・サービス紹介】

ナフロン® 素材の紹介

●【新製品・新サービス紹介】

「Thermofit®」特設ホームページ
断熱材劣化度計算機能追加

目 次

【寄稿】

- ◆高効率 CO₂ 回収を目指した低分子オリゴアミン吸収液の開発とその概要 1

早稲田大学 理工学術院 化学・生命化学科 教授 鹿又 宣弘

【製品・サービス紹介】

- ◆ナフロン® 素材の紹介 7

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部

【連載】

- ◆ニチアスの「断つ・保つ」® 技術を支える CAE（第8回） 12

【新製品・新サービス紹介】

- 「Thermofit®」特設ホームページ 断熱材劣化度計算機能追加 14

基幹産業事業本部 プラント技術部 環境対策課

送り先ご住所の変更，送付の停止などにつきましては，下に記載のフォームよりご連絡ください。
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。

〈技術時報定期購読の宛先変更・停止 申し込みフォーム〉



ニチアス 技術時報 宛先

検索



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/>

〈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
E-mail：info2@nichias.co.jp

高効率CO₂回収を目指した 低分子オリゴアミン吸収液の開発とその概要

早稲田大学 理工学術院 化学・生命化学科 教授 鹿 又 宣 弘

1. はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、CO₂排出削減は世界的に喫緊の課題である。特に火力発電所や化学プラントなど大規模排出源からのCO₂回収は、直接空気回収（DAC）と並び、温暖化抑制の鍵を握る。中でも石炭火力発電所から排出される燃焼排ガスのCO₂濃度は12–15%程度と比較的高く¹⁾、効率的に回収する技術の確立が求められている。

一方で、大気中CO₂濃度のわずかな変動が地球規模の気候変化をもたらしてきた。その変動と平均気温との関連性を示す上で古気候の知見は大変有用であり、現在の地球温暖化の深刻さを理解するうえで示唆的である^{2), 3)}。表1に年代別のCO₂濃度と平均気温偏差との関係を示す。例えば約300万年前の鮮新世中期には大気中CO₂濃度が現在に近い水準であり、気温は工業化前と比べ2–3℃高かった。2024年時点では既に工業化前と

比べて+1.6℃上昇していることから⁴⁾、今後全球の平均気温がさらに数度上昇すると見込まれることには説得力がある。一方、約5千万年前の始新世初期にはCO₂濃度が現在よりも3–6倍程度高く、地球平均気温は工業化前より10–18℃高かったと推定されている。この水準は化石燃料依存型の発展シナリオ（SSP5-8.5）で想定される2100年あるいは2300年の予測気候に近い水準であり、これらの事実は、現状の排出が続けば地球がかつて経験した高温状態に到達しかねないことを強く示唆している。

我々の研究室では、これまでに企業との共同研究でアミン水溶液によるCO₂吸収技術の開発に携わり⁵⁾、また環境省プロジェクトにおいてDAC研究にも参画してきた。2020年以降はこれらの知見を基盤に、独自に低分子オリゴアミンを用いる新規吸収液の開発を進めている。本稿では、純液体アミン吸収液とエチレングリコール（EG）溶液の二つの系を中心に研究成果の概要を紹介する。

表1 年代別のCO₂濃度と平均気温偏差

年代		大気中CO ₂ 濃度 [ppm]	全球平均気温偏差 [℃]
始新世初期	約5300–4900万年前	1150 ~ 2500	+ 10 ~ + 18
鮮新世中期	約330–300万年前	360 ~ 420	+ 2.5 ~ + 4.0
工業化前	1850–1900年平均	約280	0 (基準)
現代	1995–2014年平均	360 ~ 397	+ 0.15 ~ + 0.25
	2024年	422.1	+ 1.60

IPCC 第6次評価報告書、コペルニクス気候変動サービス（C3S）を参考に作成

2. CO₂吸収液に用いる低分子オリゴアミンの設計と合成

CO₂の分離・回収を目的としたアミン吸収液の研究は長い歴史をもち、代表的なものとしてモノエタノールアミン (MEA) やジエタノールアミン (DEA) といった低分子アミン水溶液が化学吸収法に広く用いられてきた。しかし、これらの吸収液に用いるアミンは分子量がかなり小さく、アミン揮発が問題となる。また、水溶液としての性質上、アミン再生時に比熱の高い水とともに加熱する必要があり、エネルギー効率の観点でも課題がある。これらの課題に対応するため、低分子オリゴアミンを純液体あるいは非水溶液として用いる新規吸収液の開発を行うこととした。

2.1 オリゴアミン分子の設計

オリゴアミンの分子設計にあたっては、以下の4点を指針とした。

- ①化学吸収法で問題となるアミン飛散を抑制するため分子量を200以上とし、単位重量当たり高いCO₂吸収効率を維持しつつも粘性を抑える目的で分子量を350以下とする。

- ②CO₂との反応性が高い2級アミンに加え、カルバメートのプロトン受容体として塩基性に優れた3級アミンを導入する。また、粘性増加の要因となるヒドロキシ基 (OH) は分子設計から排除する。

- ③大量生産に対応できるように、3工程以内で合成できるアミン分子を標的化合物に設定する。

- ④反応後の構造解析を容易にするため、対称性の高い分子を採択する。

これらの設計指針に基づき、後述する両末端に3級アミンを有するジエチレントリアミン (DETA) およびトリエチレンテトラミン (TETA) を本研究に用いるオリゴアミン分子として選定した。

2.2 両末端に3級アミンを有するDETAおよびTETAの合成

これらの設計方針に基づき、両末端に3級アミン基を有するDETA誘導体 **1a-g** およびTETA誘導体 **2a,e** を合成した。トリアミンであるDETA誘導体の合成は、市販のビスクロロエチルアミンを出発原料とし、公開されている **1a** の合

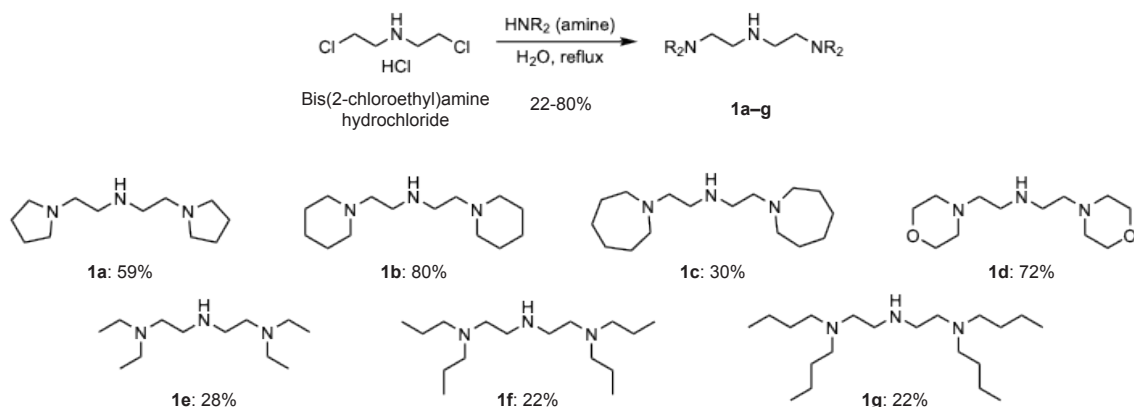


図1 DETA誘導体 **1a-g** の合成

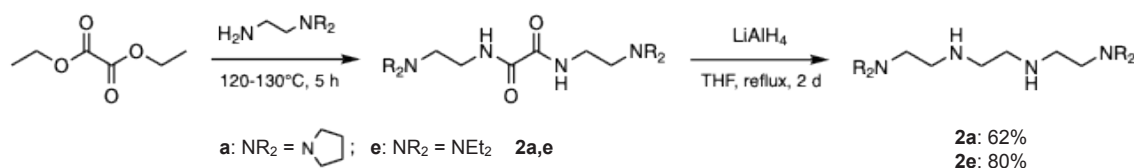


図2 テトラミン **2a** および **2e** の合成

成法⁶⁾を参考に、鎖状および環状の2級アミンとの置換反応により1工程で合成した（収率22–80%）（図1）。

一方、テトラミンであるTETA誘導体**2a,e**は、Röschらが報告した合成法に基づき⁷⁾、シュウ酸ジエチルとジアミンとの縮合を経て生成する中間体を水素化アルミニウムリチウム（LiAlH₄）で還元することで、それぞれ2工程収率62%，80%で合成した（図2）。

これらの合成ルートはいずれも工程数が少なく、大量合成に適した合成法であることが特徴である。

3. 純液体オリゴアミン吸収液の開発研究

前述の設計方針に基づき合成したオリゴアミン分子を用い、溶媒で希釈していない純液体そのものを吸収液として、CO₂吸収性能評価を行った。

純液体アミン吸収液の性能評価は、13% CO₂/N₂混合ガスを用いた通気実験により行った。吸収は室温で流量100mL/min、2時間通気、重量測定によりCO₂ローディング量を算出した。放散は85℃に加熱し、300rpmで1時間攪拌しながら重量変化を測定した。実験装置を図3に示す。

結果を図4に示す。いずれのDETA誘導体も良

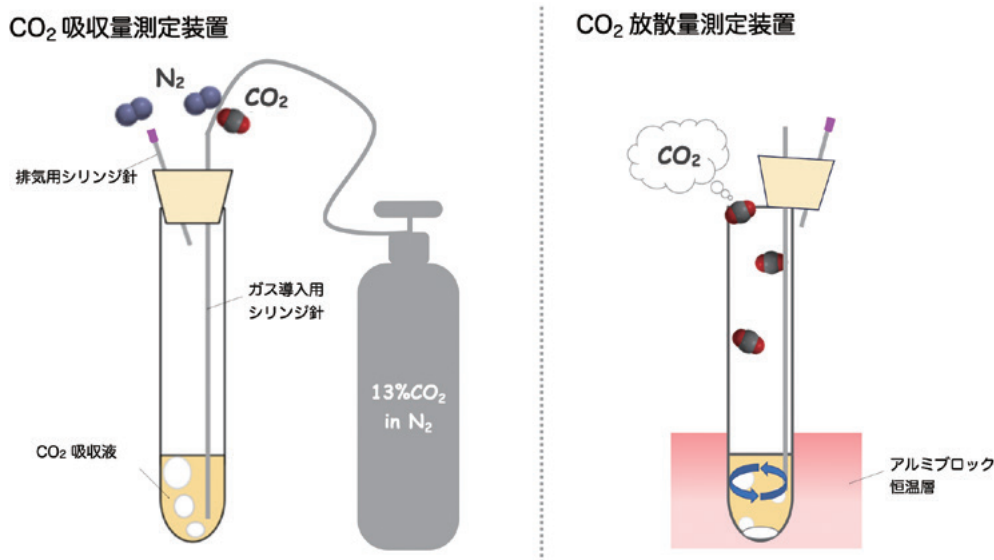


図3 CO₂吸収量測定および放散量測定の装置概要

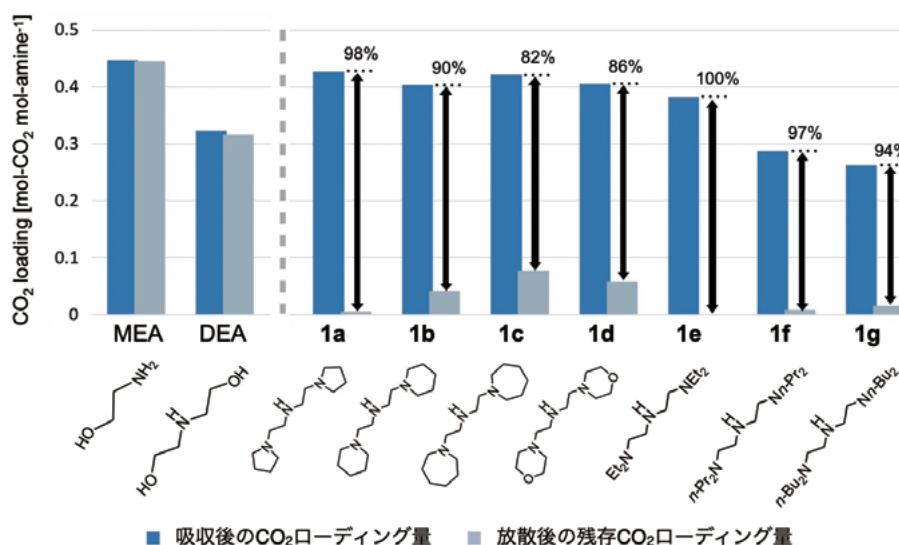


図4 純液体DETA 1a–gを用いたCO₂吸収後・放散後ローディング量と放散率

好なCO₂吸収量を示し、吸収量の多いアミンでは参照物質であるMEAの吸収量に迫るものであったが、最大吸収量は0.5mol-CO₂/mol-amineを下回った。その一方で、アミンの再生率を表す放散率は極めて高く、特に末端5員環を有する**1a**やエチル基を持つ**1e**では化学吸収したCO₂をほぼ全量放出することが明らかとなった。これは、1級アミンであるMEAや両端にヒドロキシ基を有するDEAが純液体としてはほとんどCO₂を放散しないことと好対照である。

本吸収液のIRスペクトル測定において、1680cm⁻¹付近にC=O伸縮振動が確認され、化学吸収種の主成分がカルバミン酸(>NCO₂H)であることが示された⁸⁾。さらに配座解析を含むDFT計算により、生成したカルバミン酸が未反応アミンと会合体を形成し、それ以上の吸収を阻害することが示唆された。このことから、本系においてはアミン分子2モルでCO₂分子1モルを化学吸収する機構が支持された。この結果は、純液体吸収液における吸収性能の限界を示すと同時に、会合を解消し得る溶媒での希釈によってさらなる吸収量向上が期待できることを示すものである。

4. オリゴアミン／EG混合溶液の開発研究

純液体アミンの限界を克服するため、新たにオリゴアミン非水溶液を調整し、CO₂吸収・放散性能評価を行うこととした。種々検討の結果、溶媒には比熱が水より小さく、高沸点で蒸気圧が低いエチレングリコール(EG)を選択した。オリゴアミンとEGのモル比を1:9とした混合液を調製し、純液体吸収液の場合と同様、簡易な測定装置(図3)を用い、吸収時間を3時間、放散温度を100℃としてCO₂吸収・放散性能を評価した。結果を図5に示す。

図5に示す結果より、CO₂最大吸収量は純液体を大幅に上回り、DETA **1a-e**/EG溶液では最大1.27mol-CO₂/mol-amineであった。また、TETA **2a,e**/EG溶液ではCO₂の最大吸収量はさらに増加し、最大1.73mol-CO₂/mol-amineにまで達した。このことから、2級アミン部位がCO₂吸収において主たる役割を果たしていることが示された。一方、放散率については**1a-e**で80%台と純液体よりは低下するものの、**1f,g**においては純液体に匹敵する90%台後半の高い値を示した。DETA誘導体**1f,g**のEG溶液は吸収前に相分離した2相系と

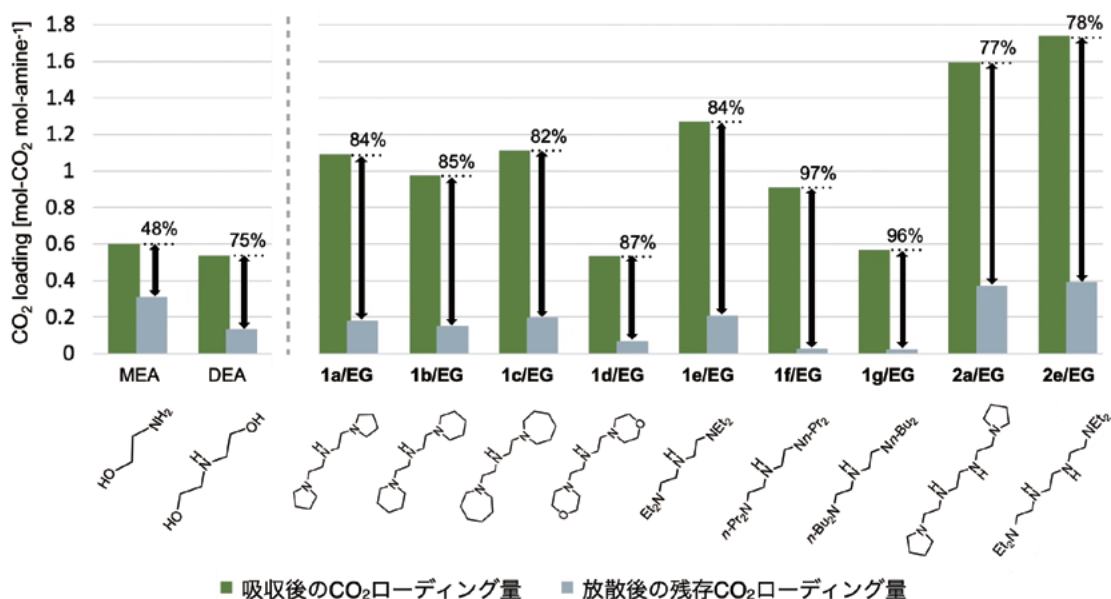


図5 DETA **1a-g**およびTETA **2a,e**のEG溶液を吸収液とするCO₂吸収後・放散後ローディング量と放散率

なり、他との同列での比較は難しいため、現在別のプロジェクトとして詳細を検討中である。テトラミン**2a,e**の放散率は77-78%にとどまるものの、吸収後と放散後のCO₂ローディング差は大きく、**2e**においてはこれらのアミン溶液のなかで最大であった。

吸収後のIRスペクトル解析では等価なC-O結合の吸収が複数観測され、主成分がカルバメート($>\text{NCO}_2^-$)とEGカーボネート($-\text{OCO}_2^-$)であることが判明した⁹⁾。両末端に3級アミンを有する**1a-g**は、いずれも中央に2級アミン部位が一つだけ存在するため、アミン自体によるCO₂吸収量は最大でも1mol-CO₂/mol-amineを超えないはずであるが、末端3級アミンの一つが塩基としてEGを活性化してカーボネートを形成することで、CO₂の化学吸収量を押し上げたことが明らかとなった。先行研究として、環状2級アミンである2-ピペリジンエタノール(2-PE)のEG溶液を用いたCO₂吸収結果がYangらにより報告されている¹⁰⁾。しかし、2-PEは2級アミン部位の隣接炭素に置換基としてヒドロキシエチル基を有することから、比較的立体障害が大きく、そのためアミン自体はカルバミン酸やカルバメートを形成せず、EGを活性化する塩基としてのみ機能することが知られている。我々が開発した本吸収液で用いたオリゴアミンはいずれも鎖状構造の2級アミン周辺に置換基を持たないことから、立体障害の少ないアミノ基としてカルバミン酸、あるいはカルバメート形成に寄与することが示された。

TETA吸収液もDETA吸収液と同様にカルバメートが主生成物であるが、詳細なNMRの解析により、TETAのジカルバメートが相当量生成することが判明している。この化学種の生成がTETAのCO₂吸収量を大きく引き上げた要因である。

5. おわりに (まとめ・展望)

本研究では、低分子オリゴアミンとしてDETAおよびTETAを用いた新規吸収液の開発について、純液体系とEG溶液系を中心に紹介した。純液体

吸収液ではカルバミン酸とアミンの会合により吸収量が制限される一方で高い放散率を示し、それらのEG溶液では会合形成が抑制され、高い吸収量と初期速度の向上を達成した。

さらなる知見として、オリゴアミンのEG溶液は純液体と比較して粘度が低下し、見かけの初期吸収速度は純液体の約1.4倍に向上した。この点は、短時間サイクルでの実用的CO₂輸送量の増加に直結する。加えて、我々は添加剤の導入によりさらなる初期吸収速度の向上が可能であることを見出しており、実用化への展望を拓きつつある。今後は、吸収液組成の最適化に加え、添加剤によるさらなる反応速度改善を進めることで、短時間サイクルでのCO₂回収システムを構築する予定である。これらの研究をすすめることにより、高効率かつ低エネルギーで運用可能な次世代吸収液技術の確立に貢献できるものと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・挑戦的研究(萌芽)(課題番号 22K19876)「純液体アミンを用いる高効率二酸化炭素吸収・放散システムの構築と機能評価」により支援を受けた。この場をお借りして謝辞とさせていただきます。

参 考 文 献

- 1) Wawrzyńczak, D.; Majchrzak-Kuceba, I.; Pevida, C.; Bonura, G.; Nogueira, R.; de Falco, M., Eds., *The Carbon Chain in Carbon Dioxide Industrial Utilization Technologies: A Case Study*, CRC Press, Boca Raton (2022).
- 2) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge (2021).
- 3) Zachos, J. C.; Dickens, G. R.; Zeebe, R. E., An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics, *Nature*, **451**, 279-283 (2008).
- 4) Copernicus Climate Change Service (C3S), Global climate highlights 2024, 2024-01-10, <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> (2024).
- 5) 佐藤 裕, 鹿又 宣弘, 由渕 武, 特開2018-140981, 特許第6860147号 (2018).
- 6) Günther, T.; Fiedel, M.; Glos, M.; Hubel, R.; Schubert, F., Bispyrrolidinylamines as catalysts for the production of polyurethanes, WO2016020138 A1 (2016).
- 7) Rösch, A.; Herzog, C. M.; Schreiner, S. H. F.; Görls, H.; Kretschmer, R., Tetraamine ligands: synthesis and coordination chemistry, *Dalton Trans.*, **49**, 13818-13828 (2020).

- 8) Foo, G. S.; Lee, J. J.; Chen, C.-H.; Hayes, S. E.; Sievers, C.; Jones, C. W., Elucidation of structure–function relationships in polyamine sorbents for CO₂ capture, *ChemSusChem*, **10**, 266–276 (2017).
- 9) Dijkstra, Z. J.; Doornbos, A. R.; Weyten, H.; Ernsting, J. M.; Elsevier, C. J.; Keurentjes, J. T. F., Infrared spectroscopy of carbamate anions and carbamic acids under supercritical conditions, *J. Supercrit. Fluids*, **41**, 109–114 (2007).
- 10) Yang, D.; Lv, M.; Chen, J., Efficient CO₂ capture using amine–ethylene glycol systems: carbonate versus carbamate pathways, *Chem. Commun.*, **55**, 12483–12486 (2019).

筆者紹介



鹿又 宣弘

早稲田大学 理工学術院
化学・生命化学科 教授
面不斉有機分子触媒，シクロファン研
究，CO₂分離回収用アミン分子の開発
を中心に研究を行っている。

1990年早稲田大学理工学研究科博士後期課程修了。工学博士

日本化学会，有機合成化学協会，アメリカ化学会など

「断つ・保つ」[®]で明るい未来へ

さまざまな地球環境負荷の低減が求められています。
私たちはいろいろなステージで、
安全で快適な暮らしを作り出す製品・サービスを提供します。
ニチアスは、そんな明るい未来の実現に貢献していきます。



ナフロン® 素材の紹介

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部

1. はじめに

ふっ素樹脂は優れた耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性、非粘着性、耐候性を兼ね備えた合成樹脂で、化学、食品、電気・電子、半導体、自動車産業等において幅広く活躍しています。弊社では1951年、日本において他社に先駆けてふっ素樹脂加工品の研究を開始して以来、ふっ素樹脂の特性を活かした製品開発を行ってまいりました。弊社のふっ素樹脂製品を総称して「ナフロン®」(以下、ナフロン)と呼んでいます。

本稿ではナフロン製品の中でも、切削加工や、打ち抜き加工に使用される「ナフロン® 素材」(以下、ナフロン素材)の種類、および特長をご紹介します(図1)。

その中でもポリテトラフルオロエチレン(以下、PTFE)、テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体(以下、PFA)が工業用途に多く使用されています。また、その他ガスバリア性と機械的強度に優れたポリクロロトリフルオロエチレン(以下、PCTFE)などもその特性を活かして利用されています。なお、ナフロン素材はこれら3種のふっ素樹脂を原料としております(表1)。

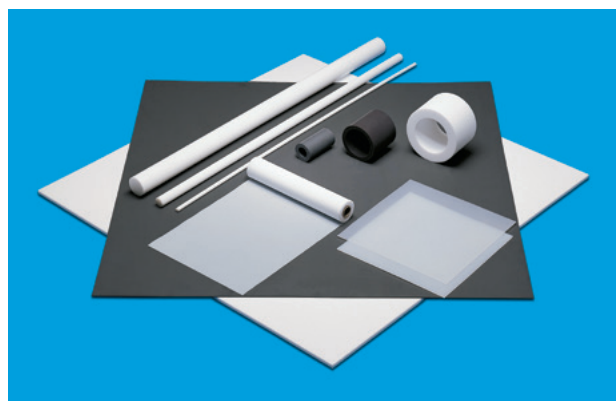


図1 「ナフロン® 素材」

2. ふっ素樹脂について

ふっ素樹脂は主に9種類が知られています¹⁾。

表1 各ふっ素樹脂の構造と特性

名称	構造式	特性
ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)	$\left[\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} - \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} \right]_n$	耐熱性、耐薬品性、電気的特性、非粘着性、自己潤滑性に優れる。
テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体 (PFA)	$\left[\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} - \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{ORf} \end{array} - \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} \right]_n$	PTFEに匹敵する特性を持ち、かつ複雑な形状でも熱熔融成形ができる。
ポリクロロトリフルオロエチレン (PCTFE)	$\left[\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} - \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$	機械的強度、光学的性質に優れ、極低温における寸法安定、耐衝撃性を有する。

2.1 ふっ素樹脂の特長

ふっ素樹脂は、以下に示す優れた特長を有しています²⁾。

- ①耐熱性：最高連続使用温度はPTFE, PFAで260℃, PCTFEはふっ素樹脂としては低く120℃
- ②耐薬品性：ほとんどの工業薬品に対して不活性（金属水素化合物などの一部を除く）
- ③電気的特性：電気絶縁性に優れる。誘電率が低く、高周波特性に優れる
- ④非粘着性：表面エネルギーが低く、他物質が付着しにくい
- ⑤低摩擦性：全ての固体の中で最も低い摩擦係数を示し、自己潤滑性を持つ
- ⑥耐候性：屋外で長時間使用しても劣化が見られない

2.2 PTFEの特徴と留意点¹⁾

PTFEは、融点以上、例えば380℃に加熱しても、その熔融粘度は $10^{10} \sim 10^{12} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 程度（蒟蒻くらいの硬さ）もあり、ゴム状弾性体にとどまって流動性を示しません。このため、汎用プラスチックなどに用いられるスクリュ混練による押出成形法、射出成形などの成形方法は適用できません。

2.3 熔融流動性ふっ素樹脂(PFAやPCTFEなど)の特徴と留意点¹⁾

PTFE以外のふっ素樹脂は、成形温度における熔融粘度がおおよそ $10^3 \sim 10^4 \text{Pa}\cdot\text{s}$ であるので、一般の熱可塑性樹脂で行われる押出成形法、トランスファ成形法、回転成形法、ブロー成形法、圧縮成形法などの成形手段が適用できます。

また、ふっ素樹脂の中でもPCTFEは低融点の

樹脂なので、一般のプラスチックの成形機を使用することは可能です。ただし、PCTFEは熱分解温度と成形温度が接近しているので独特な加工技術が必要とします。

3. ナフロン素材

ナフロン素材とはPTFE, PFA, PCTFEを原材料とし、シート状、テープ状、ロッド状、パイプ状などの形状に成形した製品です。成形した素材は、ユーザーの用途に応じて種々の形状に加工されて使用されます。例えば、TOMBO™ No.9000「ナフロン® PTFEシート」は、打ち抜き加工してガスケットとして使用されます（図2）。PTFEのもつ耐熱性や耐薬品性を活かして、配管を流れる有機溶剤や熱油などの漏れを断つことが可能です。

また棒状のロッドは旋盤加工など切削加工が可能なため、自由に各種形状に成形が可能です（図3）。

このように、ナフロン素材はパッキン、絶縁材、断熱材、ベアリング、ワッシャーなどに生まれ変わり、その優れた材料特性を活かして私たちの生活の至るところで使用されています。ナフロン素材の製品一覧と主な用途例は図4のとおりです。

また、ふっ素樹脂単体だけではなく、ガラスファイバー、グラファイトなどの無機充てん材を配合することで特性を改善した素材も取り揃えています。例えば、軸受素材のパイプの場合、PTFE単体では柔らかく、クリープしやすいため、高荷重での軸受では変形などの障害を起こしやすい欠点があります。この場合、充てん材としてカーボンファイバーを配合することで、耐クリープ性を向上させた素材を成形することが可能です。充てん材を添加することによって、圧縮クリープ性の向

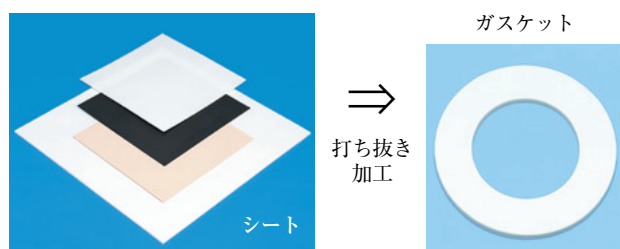


図2 シートの加工例

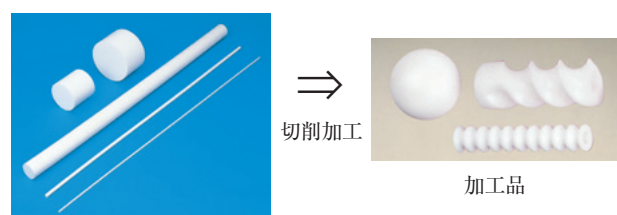


図3 ロッドの加工例

上、剛性の向上、硬度の向上、熱伝導率の増加、熱的寸法安定性の向上、耐摩耗性の向上などが図られます。充てん材の種類と特長および主な充てん材入りPTFEの特性は表2、表3のようになります。

4. 各種ナフロン素材の種類・用途

4.1 シート

シートは圧縮成形法により板状に成形した製品でPTFE、PFA、PCTFE製の3種類があります。PFAやPCTFEは、それらのペレットを金型に充てんした後に圧縮しながら熱をかけて成形します。PTFEは熔融粘度が高いため、図5のような

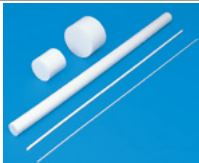
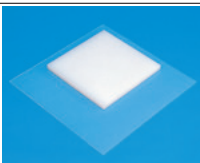
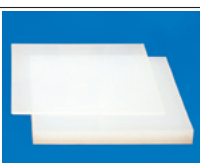
原材料	製品群	シート	テープ	ロッド	パイプ
PTFE	製品名	TOMBO™ No.9000 「ナフロン® PTFEシート」	TOMBO™ No.9001 「ナフロン® PTFEテープ」	TOMBO™ No.9002 「ナフロン® PTFEロッド」	TOMBO™ No.9008 「ナフロン® PTFEパイプ」
	写真				
	用途例	ガスケット用素材 ポンプ・バルブ部品	電子部品製造用離型材 絶縁フィルム	コネクター 実験器具のコック	ボールシート バックアップリング Oリング
PFA	製品名	TOMBO™ No.9000-PFA 「ナフロン® PFAシート」		TOMBO™ No.9002-PFA 「ナフロン® PFAロッド」	
	写真				
	用途例	ガスケット用素材		溶接部品	
PCTFE	製品名	TOMBO™ No.9000-PCTFE 「ナフロン® PCTFEシート」		TOMBO™ No.9002-PCTFE 「ナフロン® PCTFEロッド」	
	写真				
	用途例	半導体部品搬送用治具		高圧用バルブ	

図4 ナフロン素材の製品一覧と主な用途例

表2 主な充てん材の種類と特長

充てん材	特長	備考
ガラスファイバー	- 機械的特性、耐摩耗性を大幅に改良 - 化学的特性、電気的特性をほとんど失わない	- 水中での使用は不向き - 相手材を摩耗させる欠点あり
グラファイト	- 高温荷重下の耐クリープ性が向上 - 熱伝導が良好、耐薬品性にも優れる	ガラスファイバー、カーボンと併用される
ブロンズ	耐摩耗性、硬度、圧縮強度、熱伝導が向上	- 金属のため耐薬品性が乏しい - 導電性であり絶縁性は低い
カーボンファイバー	- 圧縮強度、耐摩耗性が向上 - 高温領域での耐クリープ性と水中での耐摩耗性が優れる	

表3 主な充てん材入りPTFEの特性

充てん材（重量％）	特性項目	硬度	圧縮クリープ （変形率）	熱伝導率	動摩擦係数	摩耗係数
	単位	shore D	％	W/(m・K)	－	mm/km/MPa
	測定条件		13.7MPa 25℃, 24hrs			65hrs 鈴木式試験機による
純PTFE		55	9.5	0.24	0.22	2.0×10^{-1}
ガラスファイバー 20％		62	8.5	0.41	0.38-0.42	1.1×10^{-4}
グラファイト 15％		61	5.0	0.45	0.22-0.25	6.8×10^{-4}
ブロンズ 60％		70	4.5	0.47	0.12-0.17	0.7×10^{-4}
カーボンファイバー 10％		63	4.2	0.46	0.27-0.30	0.4×10^{-4}

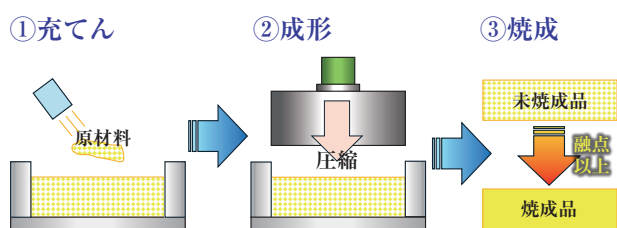


図5 PTFEシート成形方法

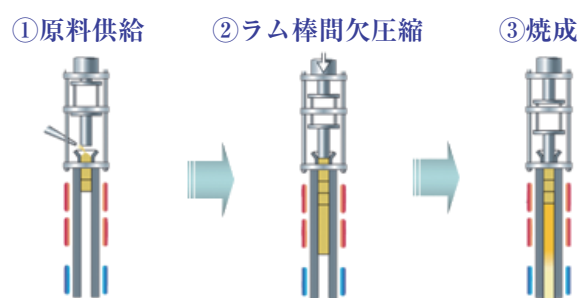


図6 ラム押出成形方法³⁾

圧縮成形法を用います。原材料であるPTFEパウダーを金型に充てん、圧縮成形し、成形された成形品を融点以上に焼成することによって製品となります。

4.2 ロッド

ロッドは圧縮成形法により、丸棒状に成形した素材でPTFE、PFA、PCTFE製の3種類があります。PTFEはサイズに応じて圧縮成形法以外にもラム押出成形法で成形しております。ラム押出成形法とは一定量の原材料パウダーを供給し、ラム棒で圧縮の工程を繰り返し焼成することにより、1本のロッド製品としています（図6）。

PFA製のロッドは熱可塑性という性質を活かしてふっ素樹脂同士の溶接部材に使用されています。また、PCTFEのロッドは圧縮強さ、ガスバリア性に優れている点を活かして高圧用のバルブシートに使用されています。

4.3 パイプ

パイプは圧縮成形法により、円筒状に成形した厚肉パイプ素材です。PTFE特有の低摩擦性を活

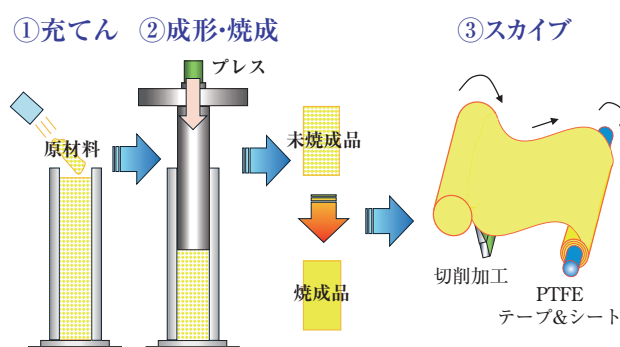


図7 PTFEテープ（シート）の成形加工法

かして、軸受などの素材に使用されています。また、リング形状部品の加工用素材として用いられます。

4.4 テープ

テープは円筒状のPTFE素材を切削してフィルム状に加工した製品です（図7）。電気部品製造用離型材や絶縁フィルムなどに利用されています。また、セメンタブル処理を施して接着剤による接着加工を可能にしたTOMBO™ No.9004「ナフロン® PTFEセメンタブルテープ」も取り揃えています。

表4 ナフロン素材の主な対応寸法

原材料	シート (mm)	テープ	ロッド (mm)	パイプ (mm)
PTFE	厚さ：1～80 幅：300～1220 長さ：300～1220	厚さ：0.05mm～3.00mm 幅：10mm～500mm 長さ：10MT～100MT	外径：1～210 長さ：100～1000	外径：20～1115 長さ：100
PFA	厚さ：5～40 幅：200～500 長さ：200～500	—	外径：12～50 長さ：250～300	—
PCTFE	厚さ：5～40 幅：200～500 長さ：200～500	—	外径：40～50 長さ：300	—

※厚さ，外径，充てん剤種類により製作可能な寸法の組合せが異なります。詳細はお問い合わせください。

5. ナフロン素材の強み

ナフロン素材の対応可能寸法を表4に示します。

弊社は、種々の製法を用いてナフロン素材を自社で製造し、幅広い寸法に対応した製品を取り揃えております。弊社はこの幅広い寸法に対する素材製品を成形し、その製品を自社工場にて加工する一貫した製造が可能となります。

6. お わ り に

今回ご紹介したナフロン素材はパッキン、絶縁材、断熱材、ベアリング、ワッシャーなどに生まれ変わり、その優れた材料特性を活かして私たちの生活の至るところで使用されています。

今後とも、お客さまのニーズに対応し、より使いやすい素材製品とすべく、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。

参 考 文 献

- 1) 日本弗素樹脂工業会 編集委員会. ふっ素樹脂ハンドブック (改訂15版, 2025年3月発行), p.2, p.46～50, p.62～63
- 2) 三井・ケマーズ フロロプロダクツ株式会社編. フッ素樹脂テフロン™実用ハンドブック (2019年6月改訂), p.6
- 3) 一般社団法人日本弗素樹脂工業会ホームページ <http://www.jfia.gr.jp/molding.html>

* 「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、保証値ではございません。

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8回

アルミ溶湯取鍋の設計で活用される熱流体CAE

アルミニウム製品の製造工程は、溶解・移送・保持・鋳造と多岐にわたります。移送や保持の工程においては、保温性の高さが製品の品質ならびに歩留まりの改善に大きく影響します。また、鋳造工程において、アルミ溶湯の温度を維持できれば再加熱の必要がなく作業でき、燃料およびCO₂排出量の削減とカーボンニュートラルの実現に貢献します。

弊社のアルミ溶湯用断熱材は、アルミ溶湯と直接触れる箇所に使用されており、形態や特長が異なる複数の製品を取り揃えております。その中でも、弊社のルミサル[®] は複雑大型形状においても目地が無い一体成形が可能なることを特長とした製品です。



図1 アルミニウム製品の製造工程

対象製品概要

アルミ溶湯用一体成形品 TOMBO[™] No.4723「ルミサル[®]」

「ルミサル[®]」は、ワラストナイトまたはジルコンなどを主原料とした成形品です。図1の鋳造工程において溶解したアルミを移送する際に使用される溶湯取鍋(図2)や樋(図3)などの用途に使用できます。

【特長】

- 目地が無いため、アルミ溶湯の進入を防ぎます
- 鋳込み成形のため、形状の自由度が高いです
- 金物の内側や外側に直接施工する場合は、金物との隙間がほぼ生じません

【種類】

●ルミサル[®] AC

用途例：大型湯受け

特 長：非濡性(アルミが表面につかない)

圧縮強度、曲げ強度が大きい

●ルミサル[®] LD

用途例：樋、ノズル、フロート

特 長：熱伝導率が低い



図2 使用例1 アルミ溶湯取鍋



図3 使用例2 アルミ溶湯樋

解析の目的

アルミ溶湯が固まらないような断熱性と蓄熱性を両立した保温性をもつ構造を設計する。

解析対象の形状と条件

- アルミ溶湯取鍋は、壁や底、蓋に複数の断熱材等を組み合わせた構造となっている
- アルミ溶湯と取鍋内部の空気(図4, 5)の流れを時間的に考慮した、熱流体解析を実施する
- 図6に示すようにアルミ溶湯取鍋を回転軸に対称な円筒形状に単純化して、その一部分でつくられる扇型形状を解析領域とする

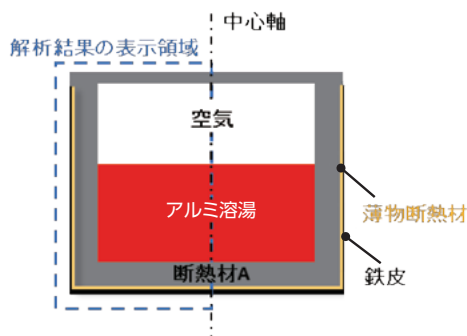


図4 変更前仕様

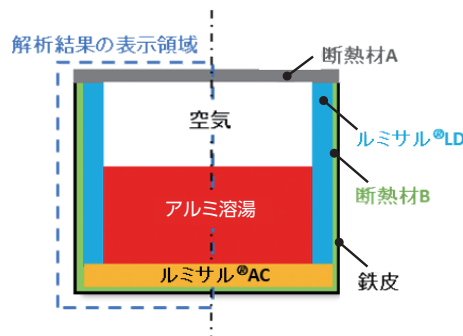


図5 変更後仕様

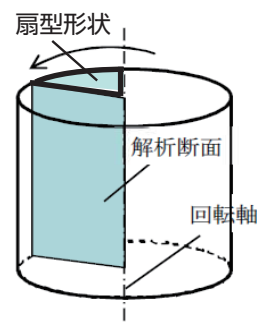


図6 解析領域

CAE解析結果

アルミ溶湯取鍋の保温性を比較するため、溶湯取鍋の温度の経時変化を確認した。解析結果の一例として、投入10分後および60分後のアルミ溶湯取鍋の解析断面(図7, 8)の温度分布を示す。

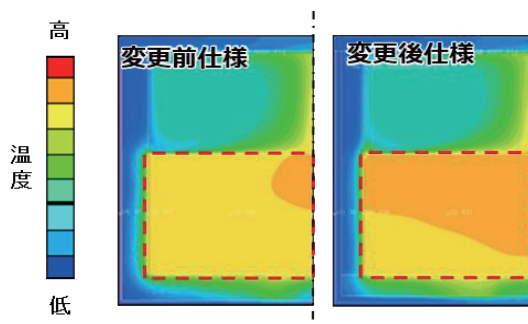


図7 アルミ溶湯投入10分後の温度分布

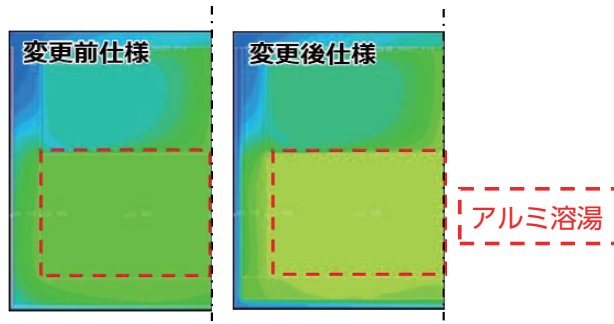


図8 アルミ溶湯投入60分後の温度分布

- 投入10分後, 60分後, どちらも変更後仕様の方がアルミ溶湯温度が高くなりました
- 60分後は, 特に変更後の仕様においてルミサル®の蓄熱により, 数十℃高くアルミ溶湯の温度を保てることを確認できました

まとめ

アルミ溶湯取鍋は大型製品のため、試験体作成と評価に膨大な時間と労力を必要とします。熱流体CAEを用いることで、実際の使用環境に対して適切な断熱材構造を設計できます。

- アルミ溶湯取鍋の仕様設計する初期段階で、事前に温度傾向を予測できます
- ルミサル®等のさまざまな断熱材の組合せや取鍋の形状、サイクル加熱や予熱の条件等任意の構造や加熱状況に柔軟に対応して検討できます
- 全体の温度分布を可視化することで、放熱箇所を把握することもできます

*「TOMBO」はニチアス(株)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(株)の登録商標です。

「Thermofit®」 特設ホームページ 断熱材劣化度計算機能追加

基幹産業事業本部 プラント技術部 環境対策課

これまで弊社は、保温設備老朽化によって生じる熱ロスを改善するシステム「Thermofit®（サーモフィット）」をご提案してきました（図1）。「Thermofit®」は、断熱材の劣化による熱ロス箇所が『見える』、熱ロス量やCO₂排出量が『分かる』、ワンストップで『対策できる』という3つの特長があります。『見える』では、手持ちのサーモグラフィカメラやドローン、分離型サーモグラフィを使って、断熱材表面の熱画像の色味の変化で劣化箇所を特定します。さらに、弊社独自の基

準で断熱材の劣化具合を判定し、配管のライン図にマッピングした劣化度マップの作成も行います。『分かる』では、現状の熱ロス量・CO₂排出量の数値化、対策のご提案、対策後の熱ロス・CO₂排出削減量を算出します。『対策できる』では、弊社からのご提案にお客さまが合意していただければ、対策の実施と対策後の効果確認（施工箇所撮影・解析）を行います¹⁾。詳しい情報は、「Thermofit®」特設サイト²⁾からご覧いただけます（図2）。



図1 ニチアスの省エネ診断システム「Thermofit®」



図2 「Thermofit®」特設サイト トップページ
(左：PC版、右：スマートフォン版)



図3 Thermofit® 熱計算シミュレーター 遷移先画面 (左：PC版、右：スマートフォン版)

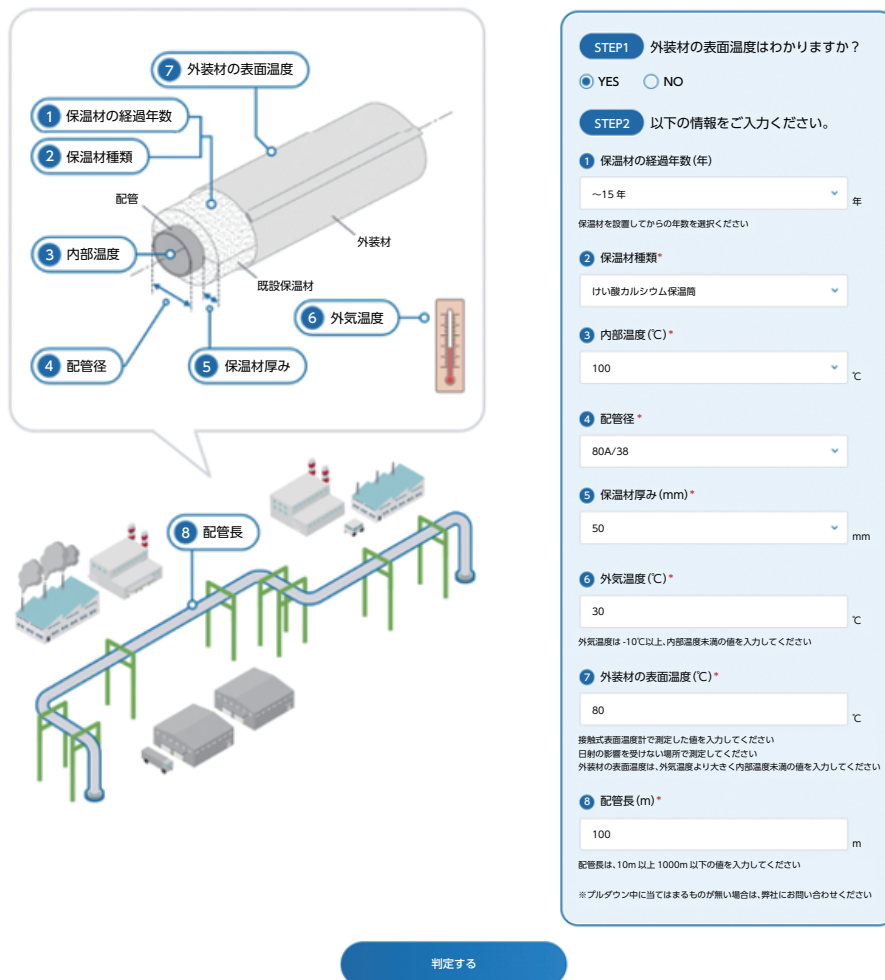
今回、この特設サイトに断熱材劣化度計算機能を追加しました。高性能な機器を用いた現場測定をしなくても、必要な情報を入力するだけで、現状の断熱材劣化度（現状放散熱量、CO₂排出量、対策施工後効果金額）が確認できる機能です。

ここから、新機能の使い方をご案内いたします。特設サイトトップページを開き、“熱計算シミュレーターボタン”を押していただくと、計算画面に移ります（図3、図4）。

次に、必要情報をご入力ください。STEP1では、外装材の表面温度がわかるかどうか選択してください。STEP2以降、①保温材の経過年数、②保温材種類、③内部温度、④配管径、⑤保温材厚み、⑥外気温度、⑦外装材の表面温度、⑧配管長を入力またはプルダウンで選択します。

STEP1でYESを選択した場合は⑦を、NOを選択した場合は①を入力または選択してください。全ての項目を埋めていただいた後、“判定する”ボタンを押すと、判定結果が表示されます（図5）。

判定結果画面上部には、保温性能ランクとコメントが表示されます。保温性能ランクは弊社独自の評価基準で、「A：劣化なし、B：わずかに劣化あり、C：劣化が進行中、D：かなりの劣化あり」という目安をご用意しております。現状の放散熱量と設計時の放散熱量の比率でランク評価しています。これによって、現状の保温材の劣化具合がわかります。同画面下部には、現状と対策施工後の放散熱量、CO₂排出量、損失金額と、削減量がそれぞれ表示されます。現状の放散熱量や省エネ効果を定量的に確認可能です。（ただし、計算結果は参考値とさせていただきます。）



The figure illustrates the input screen for the Thermofit® Thermal Calculation Simulator. On the left, a 3D diagram of a pipe with insulation is shown, with numbered callouts for the required input data: ① Insulation aging (years), ② Insulation type, ③ Internal temperature, ④ Pipe diameter, ⑤ Insulation thickness, ⑥ Outdoor temperature, ⑦ External surface temperature, and ⑧ Pipe length. On the right, a screenshot of the web application shows the input form with two steps: STEP1 (External surface temperature known?) and STEP2 (Enter the following information). The form includes dropdown menus and text input fields for each parameter, with a '判定する' (Calculate) button at the bottom.

STEP1 外装材の表面温度はわかりますか？
☒ YES ☐ NO

STEP2 以下の情報をご入力ください。

① 保温材の経過年数 (年)
 ~15 年
保温材を設置してから年数を選択してください

② 保温材種類*
 げいしゃカルシウム保温筒

③ 内部温度 (℃)*
 100 ℃

④ 配管径*
 80A/38

⑤ 保温材厚み (mm)*
 50 mm

⑥ 外気温度 (℃)*
 30 ℃
外気温度は、-10℃以上、内部温度未満の値を入力してください

⑦ 外装材の表面温度 (℃)*
 80 ℃
接触式表面温度計で測定した値を入力してください
 日射の影響を受けない場所を測定してください
 外装材の表面温度は、外気温度より大きく内部温度未満の値を入力してください

⑧ 配管長 (m)*
 100 m
配管長は、10m以上、1000m以下の値を入力してください

※プルダウン中に当てはまるものがない場合は、弊社にお問い合わせください

判定する

図4 Thermofit® 熱計算シミュレーター 必要情報入力画面（PC版）



図5 Thermofit® 熱計算シミュレーター 結果画面例 (PC版)

判定結果画面を下部までスクロールしていたと、「Thermofit® ご相談はこちら」ボタンが表示されます。このボタンから、弊社の技術部に直接問い合わせができます。「もっと詳細な熱診断をしたい」、「プラント全体の保温材劣化状況を見てほしい」、「適切な対策提案をしてほしい」などのご要望があれば、いつでもご連絡いただければ幸いです。

参考文献

- 「Thermofit®」省エネ診断システムの概要と事例紹介 ニチアス技術時報, No.405, p.1 ~ 6 (2024)
- 「Thermofit®」特設サイト URL https://www.nichias.co.jp/energy_saving

* 「Thermofit」はニチアス(株)の登録商標です。

省エネ大賞 経済産業大臣賞(ビジネスモデル分野)受賞

既設保温材の上に重ね巻きで保温材熱ロス削減
エアロジェル 増し保温® 工法

エアロジェル保温材
 商品名：パイロジェル™XT・XTE
 薄型 (製品厚み5mm, 10mm)
 パイロジェル™XT・XTE

新規外装材 緊縛材 既設保温材 既設外装材

平成30年度
省エネ大賞
 (製品・ビジネスモデル部門)
 主催：一般財団法人省エネルギーセンター

ニチアス

※「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 社の製品であり同社の商標です。

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

No.410 2025/3号



- 〈製品・サービス紹介〉 ニチアスの防音対策事業の概要について
- 〈技術レポート〉 幅広い温度域で使用可能かつ圧縮復元特性に優れた断熱材
～独自技術により開発した無機/有機複合スポンジ状素材～
- 〈技術レポート〉 マキベエ®の耐火被覆 2.5時間認定取得
- 〈技術レポート〉 ニチアスにおける断熱材の低温熱伝導率測定

No.409 2025/2号



- 〈寄稿〉 ナノ断熱材の概要と開発、実用化動向
- 〈新製品・新サービス紹介〉 環境配慮型マンホールガスケットシリーズ
- 〈新製品・新サービス紹介〉 自動車用摺動シール材の紹介
- 〈技術レポート〉 メタコート®の電動コンプレッサー用ガスケットとしての適用評価

No.408 2025/1号



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈製品・サービス紹介〉 半導体市場向けブレイザーシリーズ
- 耐熱・耐腐食ガス・耐プラズマ・耐蒸気・耐薬品 パーフルオロエラストマー
- 〈製品・サービス紹介〉 「Thermofit®」省エネ診断システムの概要と
Thermofit 診断 Pro & Thermofit 診断 Lite の紹介
- 〈技術レポート〉 温度依存性を考慮した、積層防音材設計の音響特性最適化に関する研究
- 〈技術レポート〉 マキベエ®の耐火被覆 1.5時間認定取得

No.407 2024/4号



- 〈製品・サービス紹介〉 半導体産業向け
TOMBO™ No.9003-PFA「ナフロン® PFA チューブ」
- 〈製品・サービス紹介〉 医療用向け PTFE チューブの紹介
- 〈技術レポート〉 TOMBO™ No.1839R「グラシール® ボルテックス® ガスケット-L」の
液化水素輸送配管の口径拡大への適用性評価
- 〈特別企画〉 フリーアクセスフロア製品で「SuMPO EPD」を取得

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.412 2026/1号は 2026年1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/>

安全データシート (SDS) はこちらから

ニチアス SDS



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

お問合せは最寄りの営業拠点までお願いします。

【東日本地区】

北海道支店	TEL (0144) 38-7550
北上営業所	TEL (0197) 72-8020
仙台支店	TEL (022) 374-7141
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
高崎営業所	TEL (027) 386-2217
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
静岡営業所	TEL (054) 292-5320
浜松支店	TEL (053) 450-2200
名古屋支社	TEL (052) 611-9200
豊田支店	TEL (0565) 28-0519
四日市支店	TEL (059) 347-6230

【西日本地区】

京滋支店	TEL (0749) 26-0618
大阪支社	TEL (06) 6252-1371
堺営業所	TEL (072) 225-5801
神戸営業所	TEL (078) 381-6001
姫路支店	TEL (079) 289-3241
岡山支店	TEL (086) 424-8011
広島支店	TEL (082) 506-2202
宇部営業所	TEL (0836) 21-0111
徳山支店	TEL (0834) 31-4411
四国営業所	TEL (0897) 34-6111
北九州営業所	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3621
長崎支店	TEL (095) 801-8722
熊本支店	TEL (096) 292-4035
大分営業所	TEL (097) 551-0237

本 社 〒104-8555 東京都中央区八丁堀1-6-1

・基幹産業事業本部	TEL (03) 4413-1121
・工業製品事業本部	TEL (03) 4413-1131
・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
・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 ・チェコ ・メキシコ

⚠ カタログについてのご注意

本カタログを参照する場合、以下の点に注意してください。

- このカタログに記載の製品は、カタログに記載の用途をはじめとする一般的な用途での使用を意図しています。きわめて高度な品質・信頼性が要求され、本製品の不具合が直接人命に関わるような用途で使用される場合は、事前に必ず当社にご相談のうえ、お客様の責任で必要な対策を実施してください。
- 記載の物性値は、実際の使用環境や使用状況などにより変化しますので、あくまで目安としてご覧ください。
- 記載の内容は、製品単体での特性を表したものです。実際のご使用に際しては、必ず実条件での使用確認を行ったうえでご使用ください。
- 記載の内容は予告なく変更あるいは製造を中止することがあります。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。本カタログの発行時期は本頁に記載しております。当社ホームページのカタログダウンロードページにて最新版カタログの発行時期をご確認ください。なお、最新版ではないカタログの記載内容については保証致しかねますので、あらかじめご了承ください。
- 記載の規格、認定、法律などの条文は最新のものに準拠していない場合があります。
- 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。
- 記載の製品を使用したことにより、第三者の工業所有権に関わる問題が発生した場合、専ら当該製品

- に原因を有するもの以外につきましては、当社はその責任を負いませんので、あらかじめご了承ください。
- 記載されている製品のうち、外国為替及び外国貿易法にて規制される貨物の輸出、技術の提供に際しては、同法に基づく輸出許可が必要です。
- 当社は、当社製品に係る以下の損害については、一切の責任を負いませんのでご注意ください。
 - ・天災地変・災害および当社の責に帰すべからざる事故により生じた損害
 - ・当社以外の第三者による当社製品の改造・修理・その他の行為により生じた損害
 - ・お客様およびご使用者様の故意・過失ならびに当社製品の誤使用・異常条件下での使用により生じた損害
 - ・当該製品の使用条件・使用環境・使用期間等の諸条件を考慮した定期的な点検と適切な保守・メンテナンス・交換を怠ったことにより生じた損害
 - ・当社製品の使用または使用不能に起因して生じた間接損害（営業上の損害、逸失利益および機会損失などを含みます）
 - ・当社製品の出荷時の技術水準では予見不可能な事態により生じた損害
 - ・その他当社の責に帰すべからざる事由により生じた損害