

技報

Vol.19
(通巻38号) **No.2**

ENGINEERING REPORTS
KOBELCO ECO-SOLUTIONS CO.,LTD.



Keep the Earth Sky-blue
神鋼環境ソリューション

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 「開発しながら売り」「売りながら開発する」	
2 医薬品用ミキサータイプ攪拌式凍結乾燥機 “RHEOFREED [®] ” PV Type の開発	Development of Mixer Type Agitation Freeze Dryer “RHEOFREED PV Type” for Pharmaceutical Manufacturing
8 SD で表面改質した PTFE の高周波分野への 利用可能性の評価	Evaluation of the Applicability of Surface-modified PTFE with SD to High-frequency Fields
17 施設・技術紹介	
23 TOPICS	

「開発しながら売り」「売りながら開発する」



取締役社長 佐藤 幹雄
Mikio Sato

もう30年以上前のことである。当時私は新商品開発の企画を担当していたが、ある人から「技術開発と商品開発の違い分かるか？」と聞かれた。その時、どう答えたかは覚えていないが、その人から言われたことは覚えている。「製品を市場に投入するまでをカバーすることが商品開発だ。(基盤技術など必ずしも市場投入を前提としない技術開発もある。)」彼が言いたかったことは市場に売れて初めて商品となるのだから、そこまで考えろということである。私なりに整理すると①まずは市場ニーズに応える開発②売る以上、販売・サービス体制まで整えるということかと思う。この「市場ニーズに」というのは難しい。顧客は「市場ニーズはこうだ」とは教えてくれない。というより顧客自身、市場ニーズを明確に認識していないこともある。ウォークマンも開発の経緯には諸説あるが、少なくとも当時のカセットプレーヤーの顧客がこういうのが欲しいと言って生まれたものではない。そもそも顧客は誰か？ということが明確でない場合もある。顧客の使い方や置かれている環境等から見て「こういうものなら売れるのではないか？これがニーズでは？」と想像するほかない。ニーズは見つけるのではなく、想像・発想するという極めて能動的な行動の結果である。またニーズなるものを全て満たすものは作れないから、何を取り、何を捨てるかという価値判断でもある。このことは開発に携わる人間だけでなく、市場の最先端にいる営業の人にも頭に入れてほしいと思う。当社のように自治体や企業を顧客とする場合と一般消費者を顧客にする場合とでは多少違いはあるが、基本は変わらない。

市場に投入する以上、販売体制だけでなくサービス体制まで整える必要がある。特にサービス体制が不十分だとクレーム対応がまずく信用を失い、次の商品開発のネタも失うことになる。当社で言えば水素発生装置の受注が増えており、且つ開発も行っている。サービス体制の整備が喫緊の課題であり、経営として肝に銘じておかなければならない。

結局開発の要諦は「開発しながら売り」「売りながら開発する」ということだと思う。開発とマーケティングを同時並行的にまたは連続して行うことで顧客が明らかになり、ニーズを想像できる。同時に売り方というソフト、サービスのノウハウが蓄積される、次の開発のネタも入手できる。

ここでもう一つ頭に入れなければならないのは時間軸である。開発は1年後に商品として投入するものもあれば、5年後のものもあるし、更には基礎的な研究もある。その時間軸で市場、競合の動きは変わる。ここを間違えるとニーズに合わないものや他社に負ける商品を投入することになる。時間軸のずれは恐ろしい。

カーボンニュートラルやエネルギー問題など当社の事業環境は大きく変わりつつあり、それに応える商品開発は事業の競争力を左右する。時間軸を頭に入れ「開発しながら売り」「売りながら開発する」ことで社会のニーズに応え、会社を成長させたい。

医薬品用ミキサータイプ攪拌式凍結乾燥機“RHEOFREED®” PV Type の開発

Development of Mixer Type Agitation Freeze Dryer “RHEOFREED PV Type” for Pharmaceutical Manufacturing



岸 勇佑*
Yusuke Kishi



小川智宏*
Tomohiro Ogawa



前背戸智晴**
Dr. Tomoharu Maeseto
工学博士

凍結乾燥は、注射製剤やバイオ医薬品において不可欠な製造技術である。当社では、一般的な棚式に対し多くのメリットを持つ攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED をラインナップしている。

RHEOFREED の中でも特に乾燥時間の短縮と設置スペース低減に優れる PV Type をベースに、機内での凍結及び乾燥の完了と GMP 対応を目指した医薬品向け仕様を開発し、ペプチスター社と共同で検証を行っている。

棚式と比較して乾燥時間を大幅に短縮するとともに、有機溶媒残留量低減や、直接乾燥粉末を得られることによる工程簡素化などの優れた効果を立証した。

Kobelco has a formidable lineup of mixer-type freeze-dryers that it markets for process equipment applications under the RHEOFREED brand. Seeing how freeze-drying is an indispensable step in the production of injectable solutions and biopharmaceuticals, we decided to develop specifications for pharmaceutical manufacturing with the objectives of completely freezing and drying product inside the dryer and ensuring GMP, based on our PV type of RHEOFREED freeze-dryer, which offers advantageously short drying times and small installation footprints of the brand. It is currently being tested in cooperation with PeptiStar Inc. and has shown to greatly shorten drying time and reduce residual amounts of organic solvents compared to shelf-type freeze-dryers, while also simplifying processing by obtaining a directly dried powder.

Key Words :

凍	結	乾	燥	Freeze drying
真	空	乾	燥	Vacuum drying
攪	拌	式		Mixer type
乾	燥	時	間	Drying time

【セールスポイント】

- ・自己凍結機構による機内での乾燥粉末化、工程簡素化
- ・棚式凍結乾燥機に対し80%の乾燥時間短縮
- ・有機溶媒残留量の低減による安全性向上
- ・かさ密度増による製品容積の低減

*プロセス機器事業部 技術部 開発室
**プロセス機器事業部 事業推進室

まえがき

当社では、優れた洗浄性を持ちコンタミレス機器として評価されている容器回転型真空乾燥機のコンカルドライヤ (N-CDB)¹⁾ をベースにした攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED CDB Type について、その性能および検証結果等を過去3報において報告してきた²⁻⁴⁾。

今回、さらなる乾燥時間の短縮に向け、攪拌式粉体混合乾燥機 PV ミキサー⁵⁾ をベースとした RHEOFREED PV Type について、医薬製造用として対応できるようにペプチスター株式会社と共同で検証を行っている。共同で検証中に得られた凍結乾燥工程の短縮など現在の開発成果について報告する。

1. 凍結乾燥

凍結乾燥は、固体(氷)から気体(水蒸気)への昇華を利用した乾燥方法で、熱劣化や組織破壊が少なく、注射剤やバイオ医薬品分野、ペプチド、核酸のような弱熱性原料や、加熱や酸化で有用成分、香味等を保持する必要がある食品の乾燥に必要な製造技術となっている。凍結乾燥機としては、一般的にトレイを使用する棚式凍結乾燥機が用いられるが、乾燥時間が長い、製品回収や機器洗浄の作業性が悪いことに問題を抱えるほか、イニシャルコストやランニングコストの高さが指摘されている。

2. ペプチスター社との取組

2.1 ペプチスター株式会社について

ペプチスター社(図1)はペプチド、核酸医薬品の CDMO (Contract Development and Manufacturing Organization, 受託製造会社)であり、国内最大級の製造設備を有し、複雑な構造のペプチドや核酸原薬を GMP (Good Manufacturing Practice, 医薬品適正製造基準) 準拠のもと安定的に供給しており、オールジャパン体制で最先端の製造技術の開発に取り組んでいる。当社は、コンカルドライヤをベースに従来の棚式凍結乾燥機の課題を解決する RHEOFREED をすでに開発・保有しており、今回さらに医薬品製造用として GMP に準拠できるように「医薬品向 RHEOFREED」の共同開発を2020年度から開始した。

2.2 医薬品向 RHEOFREED の取組

ペプチドや核酸などの中分子医薬品製造工程における凍結乾燥工程時間は全体の約35%を占めており、この工程の短縮が課題である。一般的な棚式に対し乾燥時間の短縮など、多くのメリットを持つ RHEOFREED を用いて、「実生産における凍結乾燥工程時間を50%以上短縮」を目標(図2)に共同開発を開始し、現在、RHEOFREED テスト機にてペプチド溶液の実証試験による乾燥時間短縮効果の確認と品質賞評価に、また医薬品製造向けとして、



図1 ペプチスター社

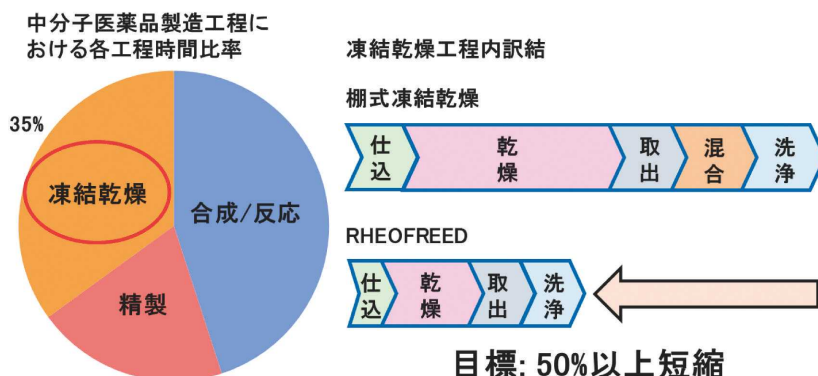


図2 共同開発の目標

GMP 準拠・DI (Data Integrity, データ完全性) 対応・自動化に対応すべく取組んでいる。

3. 攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED について

攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED の特長は、凍結粉体を混合・攪拌しながら乾燥することで

- 1) 粒子表面からの乾燥
- 2) 伝熱面更新による伝熱促進
- 3) 昇華蒸気の拡散抵抗低減
- 4) 製品の均質化, 粉末化

を図るものである。³⁾

棚式凍結乾燥機では、乾燥が進むにつれて乾燥層が抵抗となり昇華面の圧力が上昇するため、製品が再融解（コラプス）しないように乾燥速度を抑制する必要がある。それに対し、RHEOFREED では、混合・攪拌により乾燥層が剥離することで昇華面が常に粒子表面となるため、直接昇華面に熱を与えることができ、さらに伝熱面が常に更新されることで伝熱が促進され、乾燥時間の短縮、また攪拌による製品の均質化を図ることができる。

また乾燥層が昇華蒸気拡散の妨げになることがなく、乾燥機内圧力や製品温度を常時モニタリングできるので、製品状態の把握やコラプス防止の制御も可能で、攪拌により粉末状の製品を得ることができる。

攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED の中で、設置面積の削減、更なる乾燥時間の短縮を志向し、今回は攪拌翼により内容物の攪拌を行うミキサータイプ (PV Type) を用いて検証を行った。

3.1 PV Type の構造

当社の粉体混合乾燥機である PV ミキサーを凍結乾燥機に応用した RHEOFREED PV Type の概略図を図3に示す。⁵⁾

PV ミキサーは外部にジャケットを有した逆円錐型容器内部に、内壁面に沿って傾斜パドル翼を多段

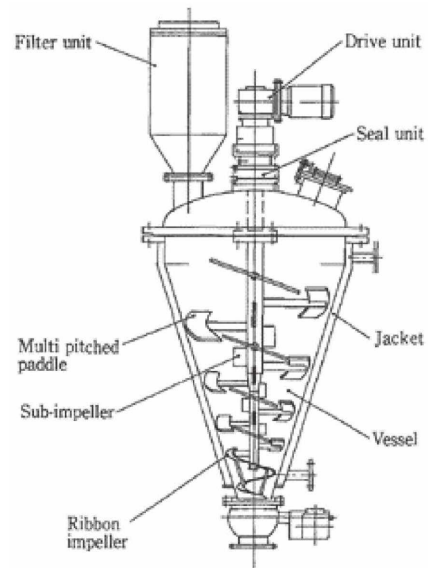


図3 RHEOFREED PV Type の装置概要

に配置したもので、この攪拌翼を回転することで内容を全体的に循環混合させることで短時間に混合乾燥が行える粉体混合乾燥機である。

3.2 プロセスフローの概要

RHEOFREED PV Type のプロセスフローを図4に示す。基本的なユニットは CDB Type と同様で、冷媒循環装置、RHEOFREED 本体、コールドトラップと真空ポンプである。新たに、特殊なノズルを開発し RHEOFREED 本体内で凍結粉を作製することを可能とした。乾燥後の製品は、粉末の状態で排出口から回収可能であり、棚式凍結乾燥後の粉碎混合工程が不要である。

3.3 凍結機構

凍結粉を作製する凍結用ノズルを開発した。このノズルは液の流路が凍結によって閉塞せず、またノズル表面に凍結した氷も剥離できる特殊なノズルを採用している。水溶液の場合、RHEOFREED 本体内を3重点以下の圧力に保ちながら噴霧することで、噴霧した液滴内の一部が蒸発し液滴の熱が奪わ

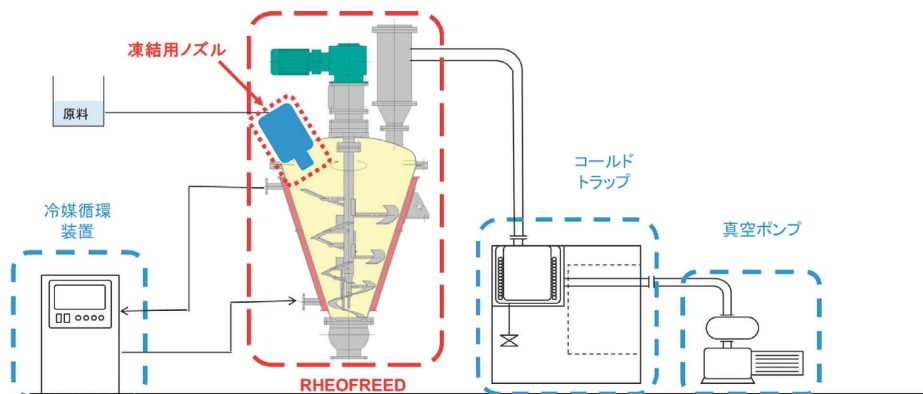


図4 RHEOFREED PV Type のプロセスフロー

れることで瞬間的に凍結し、攪拌翼によって攪拌されながら乾燥が進んでいく（図5）。

3.4 PV Type と CDB Type の比較

PV TypeにはCDB Typeと比べ下記メリットがある。

- ・設置面積が小さい

CDB Typeは容器回転を支える架台が必要なため横に長く、PV Typeは逆円錐型で高さ方向に長い凍結乾燥機であるため、同液量を仕込む場合、設置面積を抑えることができる。

- ・乾燥時間がCDB Typeより短い

CDB Typeは容器の回転によって内容物をマイルドに攪拌することで混合乾燥を行うが、大型機では壁面付近の流動性が低下し、内面側境膜伝熱係数が低下する傾向にある。それに対しPV Typeは、攪拌翼によって内容物を全体的に攪拌することで、大型機でも壁面付近の流動性が変わらずスケールアップ機も内面側境膜伝熱係数は低下しないことから、CDB Typeと比べてスケールアップ機の乾燥時間をより短くすることができる。

- ・凍結から排出まで、自動で運転が可能

PV Typeは対象物を溶液の状態で減圧下の容器内に噴霧し凍結させ、所定液量を送液しながら凍結乾燥を開始し、乾燥終了後、下部の排出口から乾燥粉を排出するため自動化が容易である。CDB Typeは液を送液し凍結することは可能だが、容器が回転するため、乾燥開始時に送液配管を外す作業が必要である。

PV Typeのような攪拌翼を内蔵した機器には一般に、2つのデメリットがある。

- ・製品回収性および洗浄性が悪い
- ・粉体に与えるせん断力が強い

内部に攪拌翼があるため、付着箇所が増えることで回収性は悪くなる。また洗浄においても、攪拌翼があることで視認性が劣り、下部まで十分確認することと翼裏面の洗浄が困難である。またパドルのエッジ部でのせん断力が強く、凝集物を解砕し均一な

凍結用ノズル



図5 凍結粉作製 / 乾燥状況

混合が行える反面、製品粒子を破壊する恐れがある。

しかし、本機の医薬品製造への適用に当たっては、以下の通り洗浄性および製品品質について問題はないと考えられる。

- ・満液に近い状態で洗浄が可能のため、溶剤や水を満たしての洗浄に適している
- ・対象とする微粉状医薬品では、粒子破壊もなく品質への影響はないことが確認された

4. RHEOFREED PV Type と 棚式凍結乾燥機の比較

設置面積を抑えることができ、より乾燥時間を短縮可能なPV Typeを対象として、棚式との比較試験をペプチスター社と行った。有機溶媒を10%含んだ含液率99%のペプチド溶液600gを原料として、乾燥時間および乾燥粉について比較した。各運転条件を表1に示す。

4.1 試験結果

棚式とRHEOFREED PV Typeを比較した結果を表2に示す。棚式凍結乾燥機では凍結9時間、1次乾燥86時間、2次乾燥1時間の計96時間を要した。それに対しRHEOFREEDでは凍結1時間、1次乾燥4時間、2次乾燥14時間の計19時間で乾燥が終了した。攪拌翼による高効率な攪拌によって粒子の伝熱面が常に更新されることで77時間の大幅な乾燥時間短縮を確認できた。

表1 棚式凍結乾燥機 RHEOFREED PV Type 運転条件

	凍結工程	1次乾燥	2次乾燥
棚式凍結乾燥	-40℃	0℃	25℃
RHEOFREED PV Type	減圧下で噴霧	0℃	20℃

表2 棚式凍結乾燥機 RHEOFREED PV Type 乾燥試験結果

	凍結工程	1次乾燥	2次乾燥	計
棚式凍結乾燥	9時間	86時間	1時間	96時間
RHEOFREED PV Type	1時間	4時間	14時間	19時間

4.2 乾燥粉の製品品質評価

RHEOFREEDでは減圧下に原料を供給することで、原料中の一部も溶液を蒸発させることでその潜熱で原料を凍結させる方法を採用しており、また急速な凍結乾燥を行うため、この操作の製品品質への影響を確認した。結果を表3に示す。通常の品質確認方法であるHPLC (High Performance Liquid Chromatography, 高速液体クロマトグラフ)を用いて原料および乾燥製品のピークの強度比を分析した結果、PV Typeによる乾燥前後で、また棚式凍結乾

燥機による乾燥製品粉との間でクロマトグラム強度比に差異はなく、同凍結方法及び乾燥操作が製品品質に影響しないことが確認できた。

有機溶媒の残留量については、棚式凍結乾燥機では1500ppm程度が限界であったが、RHEOFREEDは162ppmと残留量を約1/10まで大きく低減できる性能を確認した。

棚式凍結乾燥で有機溶媒が残留しやすい理由として次の2点が挙げられる。

- ・凍結溶媒を昇華させる一次乾燥工程において、棚式凍結乾燥ではサンプルの溶解（コラプス）を防止するため加熱棚の温度を低く設定する必要があり、有機溶媒が凍結溶媒から揮発しにくい。
- ・一次乾燥後の仕上げとして不凍水（吸着水）を脱着させるために加熱棚の温度を高く設定する二次乾燥工程において、棚式乾燥機による乾燥粉は、かさ密度が小さく、空隙が多いことから加熱棚から乾燥粉への熱が伝わりにくい。

一方、RHEOFREEDは攪拌することで絶えず凍結粒子の伝熱面を更新し、粒子内部まで熱を伝えることができるため、有機溶媒を揮発させやすく有機溶媒の残留量を大きく低減できるものと考えられる。

乾燥製品のかさ密度は棚式凍結乾燥機33 g/Lに対しRHEOFREEDは200 g/Lと大きく、製品容積が低減することで後工程でのハンドリング性が向上、また、凍結乾燥操作のみで粉末状の製品が得られることで、後工程の粉碎工程が不要になるなど、後工程のシンプル化が期待できる。

表3 品質評価

	乾燥時間	かさ密度	有機溶媒残留量	凍結乾燥前後の成分
棚式凍結乾燥	96時間	33 g/L	1 500 ppm	同じ
RHEOFREED	19時間	200 g/L	162 ppm	
改善率	80% 短縮	6.1倍	約1/10	—

むすび

棚式凍結乾燥機とRHEOFREED PV Typeでペプチド溶液600 gの凍結乾燥を行い、乾燥時間と乾燥粉の品質を比較した。その結果、RHEOFREED PV Typeでは、凍結乾燥と同等の成分を維持した上で以下のメリットを得ることができた。

- ①棚式凍結乾燥と比べて乾燥時間の80%短縮
- ②乾燥製品の残留有機溶媒量が大幅に低下することによる安全性向上
- ③乾燥製品の容積低減によるハンドリング性向上

上、乾燥製品の粉末化による粉碎工程の省略と当初の想定した乾燥時間短縮以外の効果も確認できた。

現在、ペプチスター株式会社に3 kg溶液を凍結乾燥可能なRHEOFREED PV Typeテスト機（図6）を設置し実証試験を継続しており、様々な原料液に関して乾燥時間や品質への影響を確認するとともに、回収率向上や、GMPに準拠できるように改良を行っている。

本稿では凍結乾燥製品の生産コスト低減や品質向上に着眼したPV Typeを主体に報告したが、CDB Typeについても自己凍結機構を加えた医薬品向けの改良に目途が立っており、別の機会に報告することとした。

当社が掲げる「カーボンニュートラル対応次世代プロセス機器の実用化」の一翼を担う、次世代の凍結乾燥機RHEOFREEDを開発、実用化することで、乾燥時間の大幅短縮による生産コスト削減だけでなく、消費エネルギー低減によってカーボンニュートラルに貢献していきたい。本検討において、機器の設置、ペプチド溶液の提供、乾燥粉の分析、凍結乾燥に関し多大な助言を頂きました、ペプチスター社に心よりお礼申し上げます。



図6 テスト機

[参考文献]

- 1) 竹井一剛ほか：クリーンドライヤ「N-CDB」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.11(2015), p.30-36
- 2) 椿野直樹ほか：凍結乾燥への攪拌式真空乾燥機の適用, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.14(2017), p.32-37
- 3) 小川智宏ほか：攪拌式凍結乾燥機の開発, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.15(2019), p.33-37
- 4) 岸 勇佑ほか：攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED による乾燥工程の高効率化～棚式凍結乾燥機より優れた乾燥性能～, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.17(2020), p.20-25
- 5) 半田裕利ほか：PV ミキサーの紹介, 神鋼パンテック技報, Vol.43(2000), p.73-81

SD で表面改質した PTFE の高周波分野への利用可能性の評価

Evaluation of the Applicability of Surface-modified PTFE with SD to High-frequency Fields



村上吉明*
Yoshiaki Murakami



片山裕美子*
Yumiko Katayama



坪内 源*
Gen Tsubouchi

金属ナトリウム分散体 (SD) を用いたポリテトラフルオロエチレン (PTFE) の表面改質は、PTFE 表面の平滑性を維持しながら PTFE 表面からフッ素樹脂を除去して親水化可能である。表面分析を行い、SD による表面改質の現象を理解できた。また、表面改質後の PTFE に無電解銅めっきおよび電解銅めっきを行い表面改質後の PTFE と銅箔との引き剥がし強度を測定したところ、フレキシブル銅張積層板の基準値を満たした。さらに製作したフレキシブル銅張積層板の高周波特性を測定したところ、市販の PTFE 基板よりも優れた高周波特性を示した。

Surface modification of PTFE using sodium dispersion (SD) can make the PTFE surface hydrophilic by removing the fluororesin, while maintaining the smoothness of the PTFE surface. To understand the phenomenon of surface modification by SD, surface analysis was performed. Moreover, electroless copper plating and electrolytic copper plating were applied to the surface-modified PTFE, and the adhesion strength between the surface-modified PTFE and the copper foil was measured, which was found to meet the standard for flexible copper-clad laminate. Furthermore, when the high-frequency characteristics of the manufactured flexible copper-clad laminate were measured, it showed superior high-frequency characteristics to those of commercially available PTFE substrates.

Key Words :

金属ナトリウム分散体	Sodium dispersion (SD)
ポリテトラフルオロエチレン	Polytetrafluoroethylene (PTFE)
表面改質	Surface modification
プリント基板	Printed Circuit Board (PCB)
伝送損失	Transmission loss (TL)

【セールスポイント】

- ・ SD を用いることで PTFE の平滑性を維持しながら表面を親水化可能
- ・ 表面改質後の PTFE と銅めっきとの引き剥がし強度はフレキシブル基板の基準を達成可能
- ・ SD 法で改質された PTFE 表面性状はプラズマ処理よりも長期間安定に保持可能
- ・ SD 法で表面改質した PTFE は既存の PTFE 基板よりも優れた高周波特性を実現

*技術開発センター 新技術インキュベーション部

まえがき

近年のデジタルトランスフォーメーション（DX）社会の広がりにより、情報通信量が急速に増加している¹⁾。より多くの情報を短時間で伝達するために高周波信号による高速通信が求められている²⁾。特に近年実用化が進みつつある第5世代移動通信システム（5G）やミリ波レーダーで用いられる24GHz以上の高周波信号高周波領域は、基板材料と交流電流との相互作用によって電気信号が減衰してしまうという課題がある。電気信号が減衰する割合は基板材料の材質や表面粗さによって定まり、特に高性能な基板材料として、ポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）が注目されている³⁾。

我々はこれまでの検討を通じ、金属ナトリウム分散体（Sodium dispersion：SD，写真1）を用いることで既存のPTFE表面改質技術よりも平滑性を維持しつつ銅めっき可能であることを見出した⁴⁾。本検討ではSDを用いたPTFEの表面改質方法（SD法）の現象に関する考察とSD法を用いて製造したPTFE銅張積層板の銅箔との密着性および高周波特性の評価結果を報告する。



写真1 SDの外観

1. 高周波信号の特徴とPTFE基板について

1.1 高周波信号の特徴

DX社会の実現に求められる高速通信では、短時間に多くの情報を送信可能な高周波信号が必要となる。しかし、周波数が増加すると、信号は基板母材の絶縁体による誘電損失、表皮効果に由来する導体損失、導体表面の荒れに由来する散乱損失の3つにより減衰してしまう。

誘電損失を抑制するには、絶縁体である基板材料が電場から影響を受けにくいことが必要である。電場から影響を受けないためには誘電率および誘電正接が小さな素材を用いればよい。ただし、誘電率が小さい素材は極性を持たないため、導電体との接着

も困難であるという弱点を持っている⁵⁾。

表皮効果は図1のように交流電流の周波数が増加するほどに電流が表面付近に局在する現象である⁶⁾。周波数が増加すると表皮効果によって電子が通過できる面積は小さくなり電気抵抗が増加する。電気抵抗が大きいほどエネルギーの多くが熱として奪われるため電気信号は減衰する。

散乱効果は金属表面の荒れによって電流のエネルギーが失われる現象である⁷⁾。高周波領域では表皮効果により表面の電流密度が増加するため、散乱効果の寄与も大きくなる。

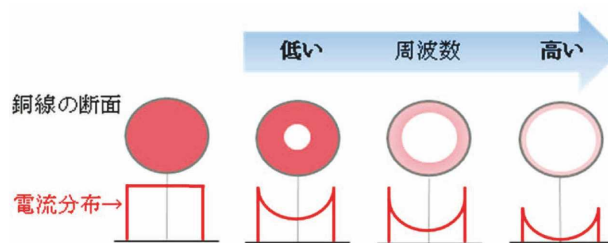


図1 表皮効果

1.2 PTFE基板のメリット/デメリット

PTFE銅張積層板は一般に以下の方法で製造される⁸⁾。

- (1) 溶融させたPTFE中にガラスクロスを浸漬させてガラスクロス内部にPTFEを含浸させる。
- (2) (1)項の表面に表面がザラザラした電解銅箔を貼り付ける。
- (3) (2)項を焼成して銅張積層板とする。

PTFE基板のメリット/デメリットは表1の通りである。

表1 PTFEのメリット/デメリット

項目	内容
メリット	誘電率および誘電正接が小さなPTFEを用いるため、高周波特性に優れた基板になること
デメリット	異種材料との接着が困難
	表面がザラザラしている電解銅箔を用いるために散乱損失が大きい
	ガラスクロスの存在により硬くなる

PTFEは固体としては最も小さな誘電率および誘電正接を有する素材の1つであり、優れた高周波特性を示すというメリットがある。実際、PTFE基板の優れた高周波特性を活かして5Gの通信基地局でもPTFE基板が用いられている⁹⁾。これら既存のPTFE基板は表面がザラザラした電解銅箔をPTFE

に刺しこんで製造しており、高周波領域においては散乱損失が増加する。また PTFE 基板中にはガラスクロスが存在するために物理的に硬くなってしまいうというデメリットもある。

2. PTFE 表面改質技術の評価方法

当社が開発した SD 法は SD によって PTFE 表面を親水化する技術である。フッ素樹脂の厚さや形状に依存せずφ0.3 mm のスルーホールの内側もきれいに改質できる。また表面を物理的に粗化せずに改質できる上、改質した PTFE への銅めっきが可能であることから、SD 法の適用先として次世代の高周波基板製造技術としての利用が考えられた。SD 法が持つ PTFE の厚みや形状を選ばないという強みを活かすため、まだ実用化されていない PTFE 製フレキシブル銅張積層板 (FCCL) をターゲットとした。

FCCL は柔軟性がある母材に銅箔を接合させたもので、通常のプリント配線板よりも軽くて柔らかいことが特徴である。FCCL の母材には従来 PET やポリイミドが用いられてきたが、高速通信に対応するため変性ポリイミド (MPI) や液晶ポリマー (LCP) なども利用されてきている¹⁰⁾。

PTFE 製 FCCL の実用化を目指す上での前提条件として (1) SD 法の現象の理解、(2) プリント基板として実用可能なレベルの引き剥がし強度の確保、が必要である。また既存の基板製造技術と異なる基板製造方法である SD 法が受入れられるには (3) 既存技術よりも優れた高周波特性を持つことが、求められる。

そこで SD 法の現象の理解、引き剥がし強度の測定、高周波特性データの取得を行った。

2.1 改質 PTFE の解析

SD 法の現象を理解するため、ラマン分光および X 線光電子分光 (XPS) 分析によって表面状態を観察した。分析項目を表 2 に示す。試料はブランク、SD 法、ナフタレン法およびアンモニア法によって改質した PTFE を用いた。ナフタレン法はナフタレンを溶解させた溶媒に金属ナトリウムを溶解させ、溶解した金属ナトリウムが PTFE から脱フッ素を行う方法である¹¹⁾。またアンモニア法は液体アンモニア中に金属ナトリウムを溶解させ、溶解した金属ナトリウムが PTFE から脱フッ素を行う方法である。

表 2 分析項目

改質方法	ブランク	SD 法	Nap 法	NH ₃ 法
ラマン分光	文献値	分析	分析	分析
XPS	分析	分析	分析	分析

※ Nap 法：ナフタレン法、NH₃法：アンモニア法

ラマン分光および XPS の概要を以下に示す。

(1) ラマン分光¹²⁾

ラマン効果は物質に光を入射した時、散乱された光の中に入射光の波長と異なる波長の光が含まれる現象である。エネルギー準位の差よりも大きなエネルギーを持つ光が物質に入射すると電子は仮想のエネルギー準位に励起される。このエネルギー準位にある電子のほとんどは元の基底状態に戻る (レイリー散乱) が、一部の電子は入射前とは別のエネルギー準位に下がり、エネルギー差に相当する光を放出する。ラマン分光はこの光の波長から試料の深さ数十 nm までの表面における結合状態を評価する分析である。図 2 にラマン分光のイメージを示す。本検討では波長 633 nm のレーザー光を用いた。

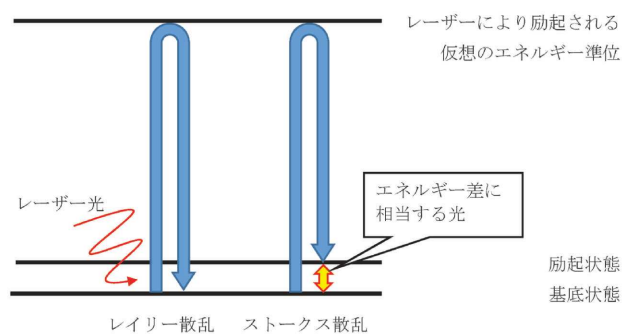


図 2 ラマン分光のイメージ

(2) XPS 分析¹³⁾

XPS はサンプル表面に X 線を照射し、生じる光電子のエネルギーを測定することでサンプルの構成元素とその電子状態を分析する技術である。XPS の最大の特徴は分析深さであり、1 ~ 10 nm と最表面のみを分析できる。代表的な表面分析手段である走査電子顕微鏡エネルギー分散型 X 線分析 (SEM EDS) の分析深さは 1 ~ 5 μm と XPS よりも 1000 倍程度深いため、試料表面の詳細な構造を観察する上で XPS は有効な手段である。また、本検討では XPS 分析と Ar クラスタによるスパッタリングを組み合わせることで深さ方向の変化を分析した。改質深さはポリスチレンのスパッタリングレートを用いた。なお、SD 法では親水化工程において分子内の炭素原子の数が 3、酸素原子の数が 1 の親水化剤を用いて親水化を行い、C、F、O の元素比率が深さ方向でどのように変化するか測定した。

2.2 引き剥がし強度の測定

プリント基板は、銅張積層板から不要な箇所をエッチングによって取り除き、パターンを形成することで製造される。この時、銅箔が絶縁体に十分に密着していないと形成した回路の銅線が絶縁体から剥

がれて断線の原因になるため、絶縁体と銅箔とはしっかりと密着している必要がある。フレキシブル配線板用銅箔に対する引き剥がし強度の基準は、JPCA規格において引き剥がし強度0.6 N/mm以上（銅箔の厚み18, 35, 70 μm の時）と定められている¹⁴⁾。そこで、JPCAの規格で定められた分析方法（JIS C6471）に準拠してめっき銅の引き剥がし試験を行い、引き剥がし強さを測定した。

引き剥がし試験の試料は以下のように作製した。PTFEフィルム（幅30 mm×長さ200 mm×厚さ0.1 mm）に表面改質を行い、無電解銅めっきと電解銅めっきにより厚さ18 μm の銅箔を付与しテストピースとした。テストピース表面の銅箔にカッターで幅3 mmの切込みを入れ、引き剥がし試験の試料とした。JIS C6471に準拠して幅3 mmでの引き剥がし試験を行って最小値を引き剥がし強さとした¹⁵⁾。引き剥がし試験は一般財団法人化学物質評価研究機構で行った。

2.3 高周波特性データの取得

A4サイズ、厚さ0.1mmのPTFEフィルムに表面改質および銅めっきを行い、線幅320 μm のマイクロストリップラインを製作して0 Hz~60 GHzでの高周波特性データを取得した。既存技術との比較を行うため、市販のPTFE基板および同社より販売されている次世代型基板でも高周波特性データを取得した。

3. 結果

3.1 SD法の原理の把握

(1) ラマン分光

図3にラマン分光結果を示す。ブランクのPTFEでは290, 385, 734, 1220, 1300, および1380 cm^{-1} にピークが確認された¹⁶⁾。SD法で表面改質したPTFEはブランクのPTFEには見られない1110 cm^{-1} および1495 cm^{-1} にピークが現れた。一方、ナフタレン法で表面改質したPTFEは1200 cm^{-1} よりも大きな波数でのピークが確認できなかった。更にアンモニア法で表面改質したPTFEは734 cm^{-1} の痕跡がわずかに残っているがほとんどピークは確認できなかった。

SD法で表面改質したPTFEに見られた2つのピークは=C-C=の炭素単結合（1100 cm^{-1} ）および付近の-C=C-の炭素二重結合（1490 cm^{-1} ）に由来する。本検討で用いた親水化剤は、C=C結合を持たないため、SD法で表面改質したPTFEは炭素骨格部分が-C=C-のポリアセチレン構造に変化していると考えられる。

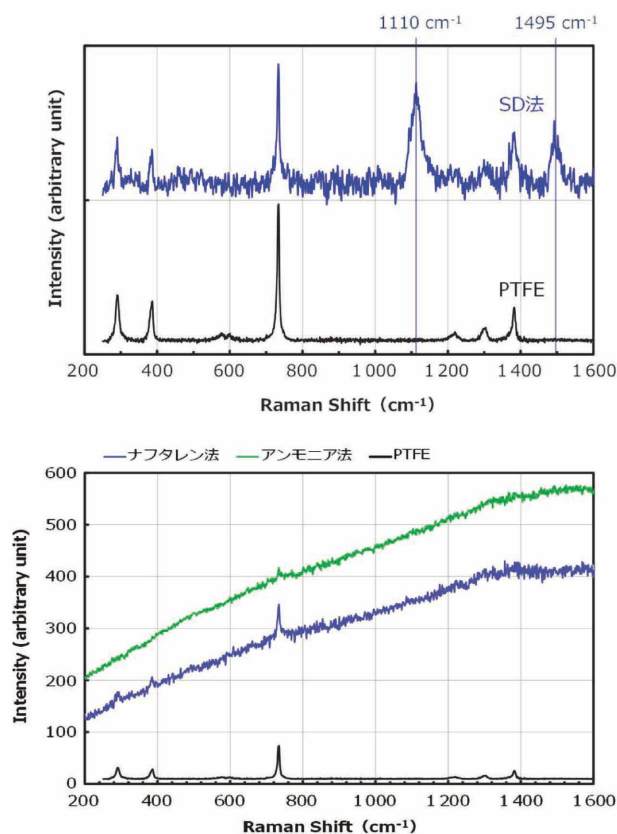


図3 ラマン分光の結果
(上：SD法，下：ナフタレン法およびアンモニア法)

(2) XPS分析

図4にSD法、ナフタレン法、アンモニア法でそれぞれ表面改質したPTFEのXPS分析結果を示す。横軸にポリスチレン換算の改質深さ、縦軸に各元素を取った。

① SD法で表面改質したPTFE

最表面では（炭素）：（酸素）：（フッ素）=81：16：3となった。深さ方向に進むにつれ緩やかにバルクのPTFEに近づき、深さ1 μm ではほぼバルクのPTFEの組成になった。

グラフから表面付近では炭素、酸素、フッ素の比率がほぼ一定の領域が存在し、さらに深い部分では酸素濃度が指数関数的に減少した。

② ナフタレン法で表面改質したPTFE

最表面では（炭素）：（酸素）：（フッ素）=72：23：5となった。深さ方向に進むにつれ緩やかにバルクのPTFEに近づいた。

③ アンモニア法で表面改質したPTFE

最表面では（炭素）：（酸素）：（フッ素）=69：29：2となった。深さ方向に進むにつれ緩やかにバルクのPTFEに近づいた。アンモニア法で表面改質PTFEは最も深くまでフッ素原子が除去されていた。

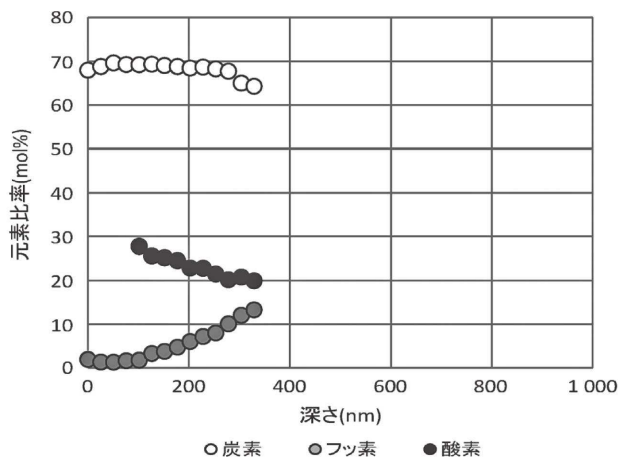
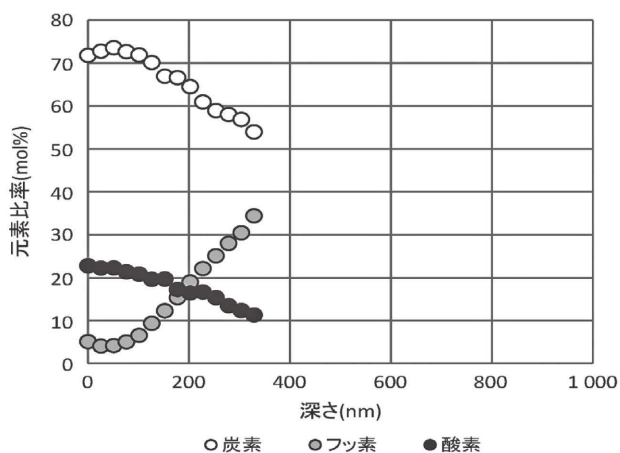
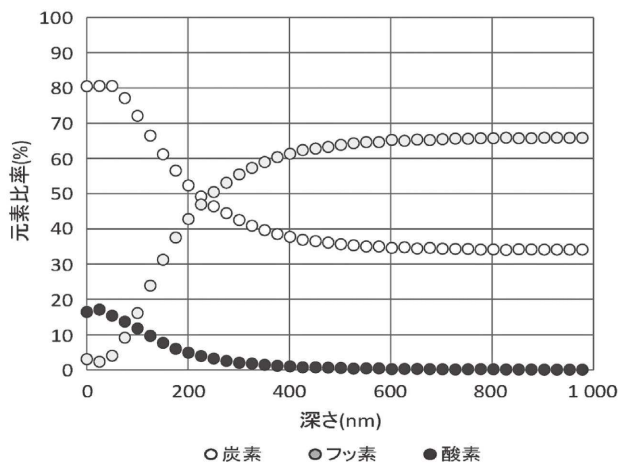


図4 PTFEのXPS分析結果

(上:①SD法, 中:②ナフタレン法, 下:③アンモニア法)

3.2 引き剥がし強度の測定結果

引き剥がし幅は3 mmなので、引き剥がし強度の最小値が1.8 N以上になれば基準を満たす。図5および表3に引き剥がし試験結果を示す。引き剥がし強度は0.83 N/mm以上となり、基準値(0.6 N/mm以上)をクリアした。

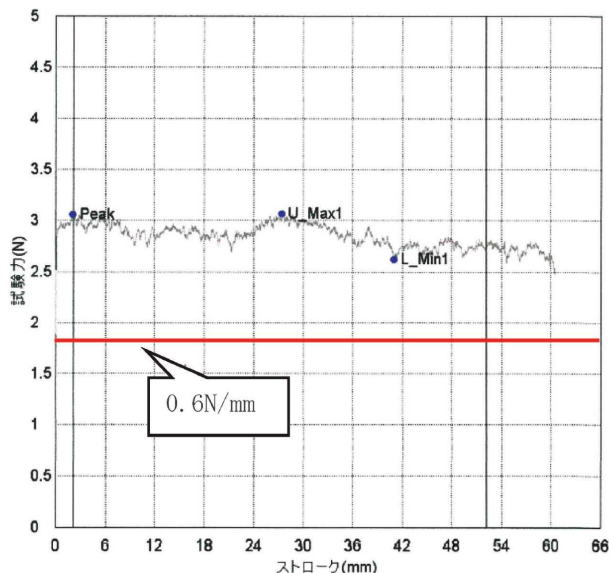


図5 引き剥がし試験結果

表3 引き剥がし試験結果

項目	値	基準
引き剥がし幅 (mm)	3.15	3
引き剥がし力最小値 (N)	2.62	
引き剥がし強度 (N/mm)	0.83	≥ 0.6
評価	合格	

3.3 高周波特性データの測定結果

表4に20 GHzにおける誘電率および誘電正接を示す。比較として1 MHzにおけるPTFEの誘電率および誘電正接を記載する。SD法で表面改質したPTFEの誘電率および誘電正接は母材のPTFEよりもわずかに増加した。

表4 SD法で表面改質したPTFEの物性値

物性	SD法	PTFE (1 MHz)
誘電率	2.070	2.1
誘電正接	5.27×10^{-4}	2×10^{-4}

図6にSD法で表面改質したPTFE、図7に市販のPTFE基板の高周波測定結果をそれぞれ示す。マイクロストリップラインの幅が320 μm のデータと比較すると、SD法で表面改質したPTFEの減衰は60 GHzで約3 dB/100 mmであったのに対し、市販のPTFE基板は標準品の場合には約5~6 dB/100 mm、低粗度銅箔を用いた場合でも4~5 dB/100 mmとなり、SD法によって製造したPTFE基板は優れた高周波特性を示した。

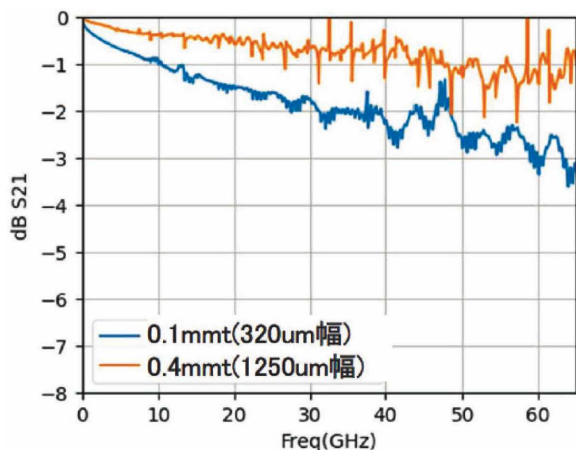


図6 SD法で表面改質したPTFEの高周波特性データ

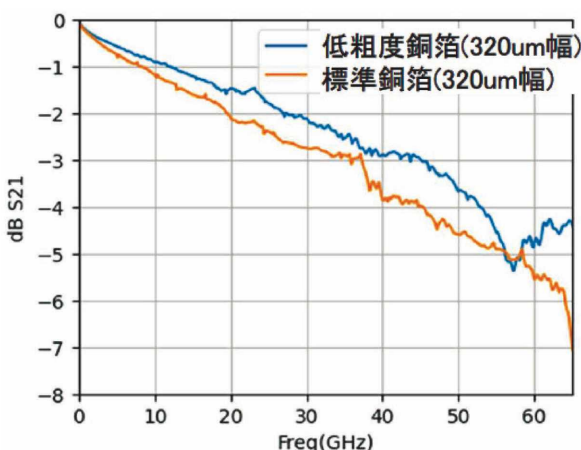


図7 市販のPTFE基板の高周波特性データ

4. 考察

4.1 PTFE表面の構造

(1) 表面構造

ラマン分光の結果から、PTFE表面の炭素骨格には最大1つの官能基が付与されることがわかる。仮にPTFE骨格を形成する炭素1つに対して親水基(炭素数3, 酸素数1)が付与すれば表面の元素比率は炭素=80%, 酸素=20%になるはずである。実際に表面近傍においては予想通りの結果となった。

(2) 深さ方向での元素組成の変化

XPS分析の結果から、ある深さまでは炭素、フ

ッ素、酸素の元素組成はほぼ一定となった。また、酸素原子濃度の対数を縦軸にとると、酸素濃度は指数関数的に減少した。元素比率が一定値となる領域を最表面と定義し、その深さを d_0 とする。PTFE表面においてPTFE分子の骨格を形成する1つの炭素に1つの親水化剤が付与し、そこから指数関数的にバルクのPTFEに近づくモデルを考える。酸素濃度を $[O]$ 、最表面における酸素濃度を $[O]_0=1/5$ 、改質深さを d とすれば深さ x における酸素濃度は次式で記述できる。ただし、式(2)は式(1-2)を微分形式で表現したものであり等価である。

$$[O] = d_0 \quad (x < d_0) \quad \dots \text{式 (1-1)}$$

$$[O] = 1/5 \exp \{ -(x - d_0)/d \} \quad (x \geq d_0) \quad \dots \text{式 (1-2)}$$

$$d[O]/dx = -1/d [O] \quad \dots \text{式 (2)}$$

式(2)から酸素原子は x 軸方向(深さ方向)における酸素濃度の差に比例して置換されている、すなわち図8に示すように深さ方向のナトリウム濃度差に比例してナトリウム化が進行すると考えられる。更にナトリウム化した場所が親水化されることでSD法は進行すると考えられる。なお、図中でNaを○で囲んだ箇所はナトリウム原子が配位したPTFE骨格の炭素原子とナトリウムを表し、OHを○で囲んだ箇所は親水化されたPTFE骨格の炭素原子と親水基を表す。

上記のモデルに基づけば炭素原子及びフッ素原子の濃度も導出できる。炭素濃度 $[C]$ およびフッ素濃度 $[F]$ は改質深さを d 、バルクの炭素濃度 $[C]_\infty = 1/3$ 、バルクのフッ素濃度 $[F]_\infty = 2/3$ を用いて以下のように書けると予想される。

$$[C] = 4/5 \quad (x < d_0) \quad \dots \text{式 (3-1)}$$

$$[C] = \frac{1}{3} + \frac{7}{15} \exp \{ -(x - d_0)/d \} \quad (x \geq d_0) \quad \dots \text{式 (3-2)}$$

$$[F] = 0 \quad (x < d_0) \quad \dots \text{式 (4-1)}$$

$$[F] = \frac{2}{3} - \frac{2}{3} \exp \{ -(x - d_0)/d \} \quad (x \geq d_0) \quad \dots \text{式 (4-2)}$$

予想モデルの妥当性を評価するため、{(予想モデルから算出される元素濃度) - (バルクの元素濃度)}

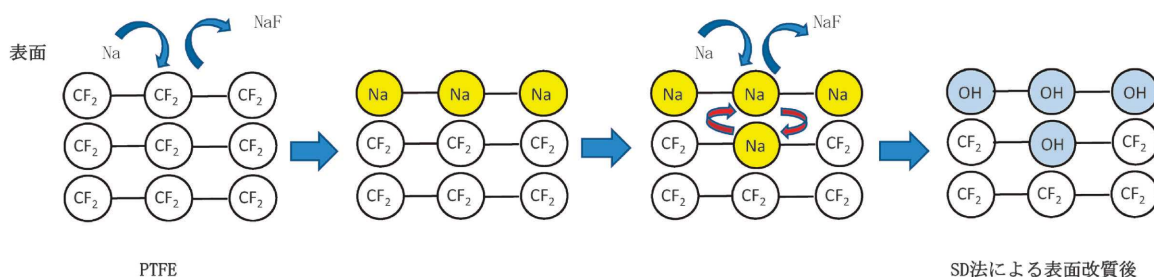


図8 PTFEのナトリウム化の模式図

の絶対値を対数プロットした結果を図9, 3つのグラフの傾きから求めた改質深さ d および切片から求めた最表面深さ d_0 を表5に示す。3つのグラフはほぼ同じ傾きの直線となった。3つのグラフから求めた改質深さおよび最表面深さの平均値を表面改質での改質深さおよび最表面深さとする、改質深さおよび最表面深さはそれぞれ134.0 nm および44.8 nm と求められた。

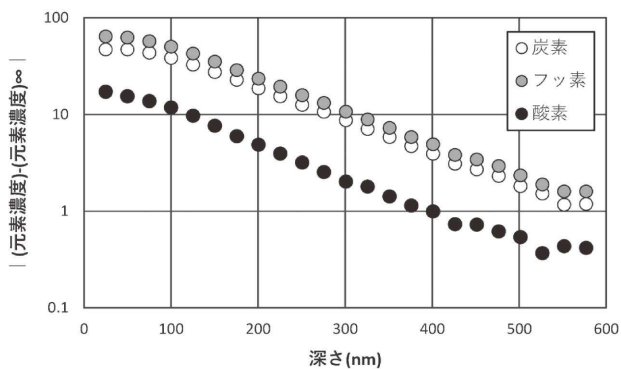


図9 元素濃度の予想モデルとの比較

表5 改質深さの計算結果

	改質深さ (d) (nm)	最表面深さ (d_0) (nm)
炭素	134.9	67.8
フッ素	134.4	53.6
酸素	132.8	12.9
平均	134.0	44.8

XPS 分析により得られたデータを式(1-1)～式(4-2)に代入し、 d および d_0 を代入して XPS 分析結果と比較した結果を図10に示す。予想式と分析結果はよく一致しており、改質された表面の元素比率はほぼ予想モデルで説明可能と思われる。

以上から、SD 法の表面改質は以下のように進行すると考えられる。

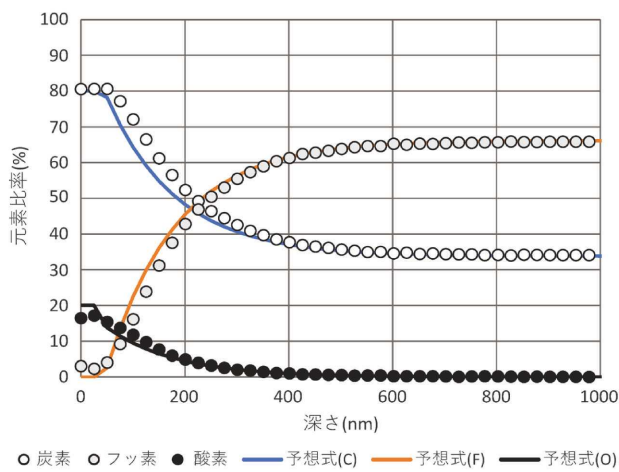


図10 XPS 分析結果と予想モデルの比較結果

①SDによってPTFE表面のフッ素が除去され、(炭素)-(炭素)結合が単結合から(単結合)-(二重結合)の繰返しのポリアセチレン構造に変化する。

②1つの炭素原子に1つのナトリウム原子が付与する。

③親水化剤との反応によりナトリウム原子が親水基に変化して親水化される。

(3) 表面改質された面の安定性

一般にプラズマによって改質されたPTFEは表面改質後30分以内にめっきを実施することが必要とされている。一方、SD法の場合は表面改質からめっきまでに数日間のタイムラグがあるが、めっきの密着性は規格値を満たした。2つの表面改質方法の安定性について考察する。

PTFE分子の相図および各相におけるPTFE分子の回転のイメージ図を図11に示す¹⁸⁾。PTFE分子は19~30℃を跨いで結晶構造が変化する。19℃以下(II相)では13/6のらせん構造(13個のモノマーが6らせん周期を形成)が三斜晶的に配列した秩序相と考えられている。19℃以上(IV相)では15/7のらせん構造(15個のモノマーが7らせん周期を形成)に変化する。回転が励起されてらせん軸まわりに微小な角度の乱れが発生する。さらに30℃以上(I相)では15/7のらせん構造のままだが、らせん軸まわりでの自由回転で近似できるような大きな角度の乱れが発生する。表面改質による改質深さが浅い場合、PTFE分子の回転に伴って改質された面が内側に潜り込んでしまい、結果的に改質されていない面がむ

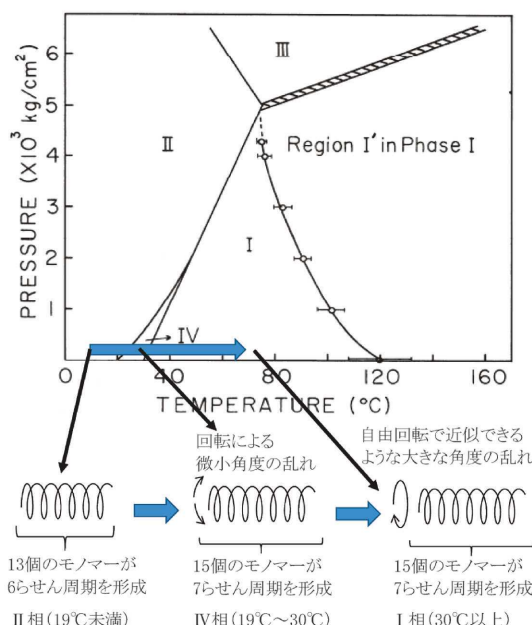


図11 PTFE分子の相図(上)および各相におけるPTFE分子の回転のイメージ図(下)

き出しになる可能性がある。そのため、表面改質した PTFE にめっきする場合、改質された面がむき出しになっている間に行う必要がある。

プラズマ処理は改質深さが浅いため表面改質された面の寿命が短い可能性がある。一方、SD 法の改質深さは $0.1 \mu\text{m}$ のオーダーである。PTFE の分子量 (100 万以上¹⁷⁾) および (炭素)–(炭素) 結合間距離 1.54 \AA ($=1.54 \times 10^{-4} \mu\text{m}$) から計算される PTFE 分子の長さ数 μm と比較すると十分に小さいが (炭素)–(フッ素) 結合間距離 134 \AA ($=1.34 \times 10^{-4} \mu\text{m}$) から計算される PTFE 分子の太さ数百 \AA と比較すれば十分に大きい。SD 法によって改質された PTFE 分子のイメージ図を図 12 に示す。改質された箇所の両端は PTFE 分子によって縫い付けられているため容易に剥がれ落ちることは無い。また、改質された分子は深さ方向に多数積層しているため、分子が回転してもすぐに埋もれずに安定に存在できると推測される。

表面改質された面の寿命が長ければ、表面改質からめっき処理までの期間の自由度が高くなって工程管理が容易になる。このことから SD 法はプラズマ処理よりも安定性において優れていると考えられる。

4.2 高周波特性データ

(1) 伝送損失

SD 法で表面改質した PTFE の誘電率及び誘電正接はブランクの PTFE と近い値となり、高周波特性においても優れた結果を示した。3.3 で示した通り、表面改質に伴い誘電率および誘電正接は増加していることから、改質された表面の誘電率および誘電正接は PTFE よりも高い値であると考えられる。母材の PTFE と改質された表面層を直列に接続されたコンデンサーとみなせば、改質深さが深いほど誘電率や誘電正接が増加して伝送損失も悪化する。4.1 の結果も加味すると、SD 法の改質深さは必要かつ十

分な範囲にあると考えられる。

(2) 表面状態

SD 法で表面改質した PTFE の誘電率、誘電正接および高周波特性データとシミュレーション結果との比較により、SD 法で表面改質した PTFE の表面粗度は約 $0.16 \mu\text{m}$ と計算された。これは SD 法で表面改質した PTFE の表面粗度の測定値 ($R_a = 0.13 \mu\text{m}$) 程度であった。また、上記シミュレーション結果において、誘電損失、導体損失、散乱損失の割合はそれぞれ約 1 割、7 割、2 割となった。PTFE の表面粗度を更に平滑化することで更に散乱損失を低減できる可能性はあるが、PTFE の物性値によって定まる誘電損失と銅の物性値によって定まる導体損失をこれ以上低減させることは現実的に不可能である。そのため、伝送損失を現状よりも 2 割以上低減させることは困難であり、現在の伝送損失は、ほぼ限界に近いレベルまで低減できていると思われる。

5. まとめ

金属ナトリウム分散体 (SD) を用いた PTFE の表面改質技術 (SD 法) のメカニズムおよび PTFE 製 FCCL への適用可能性を検討した。

検討の結果、以下が確認でき PTFE 製 FCCL への適用の可能性が示された。

- (1) SD 法では PTFE 表面の 1 つの炭素原子に結合している 2 つのフッ素原子が外れる。(炭素)–(炭素) 結合は単結合からポリアセチレン構造に変化し、炭素骨格の残りの 1 本の手にはナトリウム原子が付与される。
- (2) (1) と親水化のための薬剤を反応させることで PTFE 表面を深さ 134 nm まで親水化できる。
- (3) 表面改質深さは長期間の安定性を確保しつつ高周波特性を向上させる範囲に収まっていると考えられる。
- (4) 表面改質後の PTFE に無電解銅めっきおよび電解銅めっきを行い表面改質後の PTFE と銅箔と

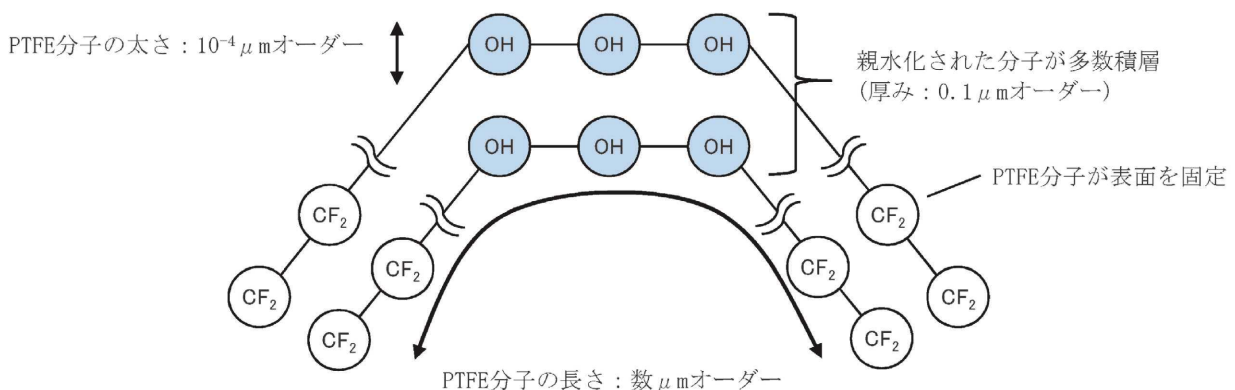


図 12 SD 法によって改質された PTFE 分子のイメージ図

の引き剥がし強度を測定したところ、フレキシブル銅張積層板の基準値を満たした。

- (5) SD法によって改質したPTFEの高周波特性は既存のフレキシブル基板やリジッドのPTFE基板よりも優れた結果となり、理論上の限界に近い結果になった。

むすび

本技術はまだ開発途上であり、工業化に向けては処理プロセスの連続化など解決すべき課題は多い。ただ、世の中のニーズにもマッチしているうえ、PTFE表面のフッ素原子を微細構造に合わせて種々の官能基に置換できる可能性がある。今後の更なる可能性の広がりにも期待したい。

最後に、本研究並びにSDの有効利用に際して多くの助言をいただきました岡山大学大学院自然科学研究科高井和彦特命教授および理化学研究所環境資源科学研究センター機能有機合成化学研究チームのイリエシユ・ラウレアンチームリーダー、浅子壮美上級研究員、並びにご協力いただきました関係者各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 令和3年 情報通信白書 第1部 第2節
- 2) 令和2年 情報通信白書 第1部 第1節
- 3) 技術情報協会：高周波対応部材の開発動向と5G、ミリ波レーダーへの応用 (2019), p.87, 214, 241-242
- 4) 片山ら：神鋼環境ソリューション技報, vol.18, No12 (2021), p.24-29
- 5) 中谷 隆：化学と教育, vol.46, No5 (1998), p.304-308
- 6) 霜田光一：物理教育, vol.61, No1 (2013), p.18-20
- 7) 小栗ら：プリント基板上高速信号伝送における信号損失要因, 第29回エレクトロニクス実装学会春季講演大 (2015), 16, p.1-17, 2015年3月16日
- 8) JFIA 日本弗素樹脂工業会：フッ素樹脂ハンドブック改訂13版 (2014), p.61-62
- 9) 富士キメラ総研：2020年～2030年をターゲットとする次世代新規低誘電マテリアルの徹底探索 (2019), p.67
- 10) 富士キメラ総研：2020年～2030年をターゲットとする次世代新規低誘電マテリアルの徹底探索 (2019), p.88-97
- 11) Kiryong Ha et al. : J.Adhsion, Adhesion to Sodium Naphthalenide Treated Fluoropolymers Part I-Analytical Methodology vol.33 (1991), p169-184
- 12) 小林雅通：高分子, vol.40, 5月号, (1991), p338-341
- 13) 吉原一紘：J. Vac. Soc. Jpn., Vol.56, No.4, (2013), p.153-157
- 14) 日本電子回路工業会：電子回路基板規格第3版, (2017), 第16項, p.23-30
- 15) 日本電子回路工業会：電子回路基板規格第3版, (2017), 第16項, p.128-131
- 16) 白石ら：TANSO, No187 (1999), p.88-95
- 17) 近藤ら：高分子論文集, vol.66, No.12 (2009), p.585-590
- 18) 猿山ら：Netsu Sokutei, vol.44, No2 (2017), p.55-59

「琵琶湖湖南中部浄化センター下水汚泥燃料施設建設工事」を受注 ～下水汚泥エネルギー有効利用，温室効果ガス排出量削減を推進～

当社は、日鉄エンジニアリング株式会社、大豊建設株式会社との3社にて構成した特定建設共同企業体で、地方共同法人日本下水道事業団から「琵琶湖湖南中部浄化センター下水汚泥燃料化施設建設工事」（以下、「本工事」）を受注し、2022年10月28日に工事請負契約を締結しました。

現在、湖南中部浄化センターでは、場内で発生した汚泥を濃縮および脱水で減容化したのち、焼却炉2炉で焼却処理し、焼却灰の場外処分を行っています。本工事ではこのうち1炉が老朽化により更新時期を迎えるにあたり、下水汚泥の有効活用を図ることを目的として、汚泥消化施設及び汚泥燃料化施設を新設します。官民連携により、下水汚泥からのバイオガス・汚泥燃料の製造及び利活用（消化ガスの場内利用及び汚泥燃料の発電所等での利用）に取り組み、下水汚泥エネルギーの有効活用、温室効果ガス排出量の低減を推進します。

本工事の施設には、当社の汚泥処理装置の主力商品である銅板製消化槽や電熱式スクリーチャー炭化炉を採用します。

本工事の遂行により、下水処理場の付加価値向上ならびに地球温暖化防止に貢献してまいります。

【琵琶湖湖南中部浄化センター下水汚泥燃料化施設建設工事の概要】

①受注者：神鋼環境ソリューション・日鉄エンジニアリング・大豊建設特定建設共同企業体

②工事概要：

- （1）汚泥消化施設・汚泥燃料化施設の機械設備工事
- （2）上記に付随する電気設備工事，土木工事及び建築工事

③事業方式：DB（Design: 設計，Build: 施工）+（O）（Operation: 維持管理・運営）方式※

※維持管理・運営および生成物（汚泥燃料）売買に関しては別途契約を予定。

④本工事の特長

- （1）滋賀県の下水処理場では初となる汚泥消化施設の導入
新たに銅板製消化槽を導入し、汚泥の減量化を図るとともに、発生する消化ガスを場内で有効利用します。
- （2）下水汚泥エネルギーの有効活用
カーボンニュートラルなバイオマスである汚泥燃料を石炭代替燃料として発電所等で有効利用します。

下関市上下水道局から「長府浄水場更新事業」を受注 ～大規模浄水場の設計・建設・運転・維持管理～

当社は、株式会社大林組・神鋼環境メンテナンス株式会社・株式会社日水コンと「株式会社神鋼環境ソリューショングループ」を構成し、下関市と「長府浄水場更新事業」（以下、本事業）に関する事業契約を2022年8月26日に締結いたしました。本事業は、下関市長府浄水場の浄水施設の設計業務・建設工事（既設撤去含む）および15年にわたる施設維持管理業務を行うものです。

本事業では、下関市における最も重要なライフラインとして基幹浄水場である長府浄水場を更新し、施設の維持管理を行います。本事業は、安全な水を安定供給するとともに、長期的視点によるコスト縮減及び安定した事業運営を実現するため、設計業務・建設工事および施設維持管理業務を一括して発注するDBO方式により実施されています。

当社は、効率のかつ良好な事業運営に向け、持続可能で強靱な水道システムの構築、施設能力の向上、事故や災害に強い施設を実現するために、これまでの建設・運転で培ったノウハウを活かし、安心・安全な上水道サービスを提供してまいります。本事業を通じて下関市とのパートナーシップを構築し、下関市水道事業ビジョンの基本理念である「お客さまに満足される水道」を共に目指します。

【長府浄水場更新事業の概要】

(1) 事業内容

長府浄水場の浄水施設の設計業務・建設工事（14年3か月間）及び施設維持管理業務（15年間）

①設計業務・建設工事担当

機械・電気設備工事 : 株式会社神鋼環境ソリューション
土木・建築工事 : 株式会社大林組
設計業務 : 株式会社日水コン

②施設維持管理業務担当

施設維持管理業務 : 株式会社神鋼環境ソリューション、神鋼環境メンテナンス株式会社

(2) 工期・履行期間

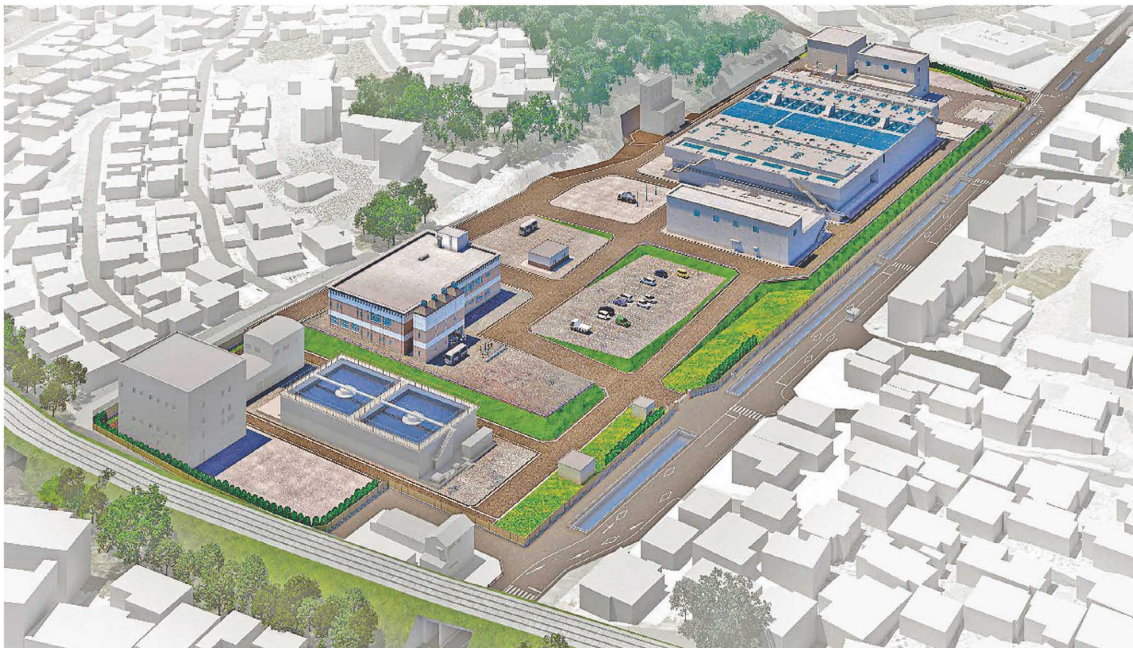
①設計業務・建設工事 : 2022年8月から2036年11月まで（14年3か月間）
②施設維持管理業務 : 2029年10月から2044年9月まで（15年間）

(3) 計画浄水量 : 88 000 m³/日

【本事業の特長】

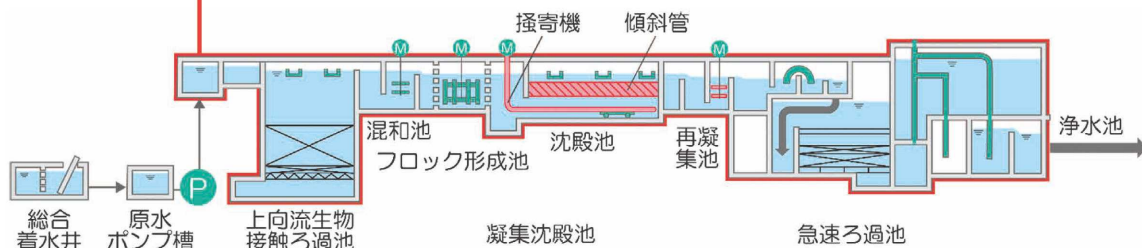
- (1) 浄水処理プロセスは、現状の浄水処理と同じ凝集沈殿+急速ろ過に、前処理としてかび臭処理能力が確認されている生物接触ろ過を用いることで安心・安全な浄水処理を実現する。
- (2) 本事業は、工事着手時に建設可能な用地に一部の浄水処理施設を建設し、運用を開始、その後に既存施設を撤去・新設を繰り返すという特殊性があるため、設計業務・建設工事・施設維持管理業務それぞれにおいて、本事業の特性に配慮し安定事業を実現する。
- (3) 主要な浄水場施設である生物接触ろ過・凝集沈殿・急速ろ過を一体構造としコンパクト化し、損失水頭の少ない省エネルギーな施設とする。また、主要な浄水設備の大部分を地上化による掘削量削減、加えて既設緩速ろ過池の擁壁の土留め壁としての流用等、平面・立面配置計画を工夫することで工期を短縮する。
- (4) 建設工事期間中より維持管理業務を開始する特殊性のなか、DBO の特性を活かし、各企業のノウハウの活用や連携の強化により、安定した水供給を実現する。

【長府浄水場 完成イメージ】



【処理フロー】

- ・かび臭の処理能力が確認されている上向流生物接触ろ過を前処理に採用
- ・生物接触ろ過～急速ろ過を一体構造としコンパクトで省エネルギーな施設
- ・一体構造物の大部分を地上化し、施工計画の工夫により工期短縮



～処理困難物を始めとする様々な廃棄物を、安全に、かつ連続的に焼却炉に供給～

ドラム缶破碎システム

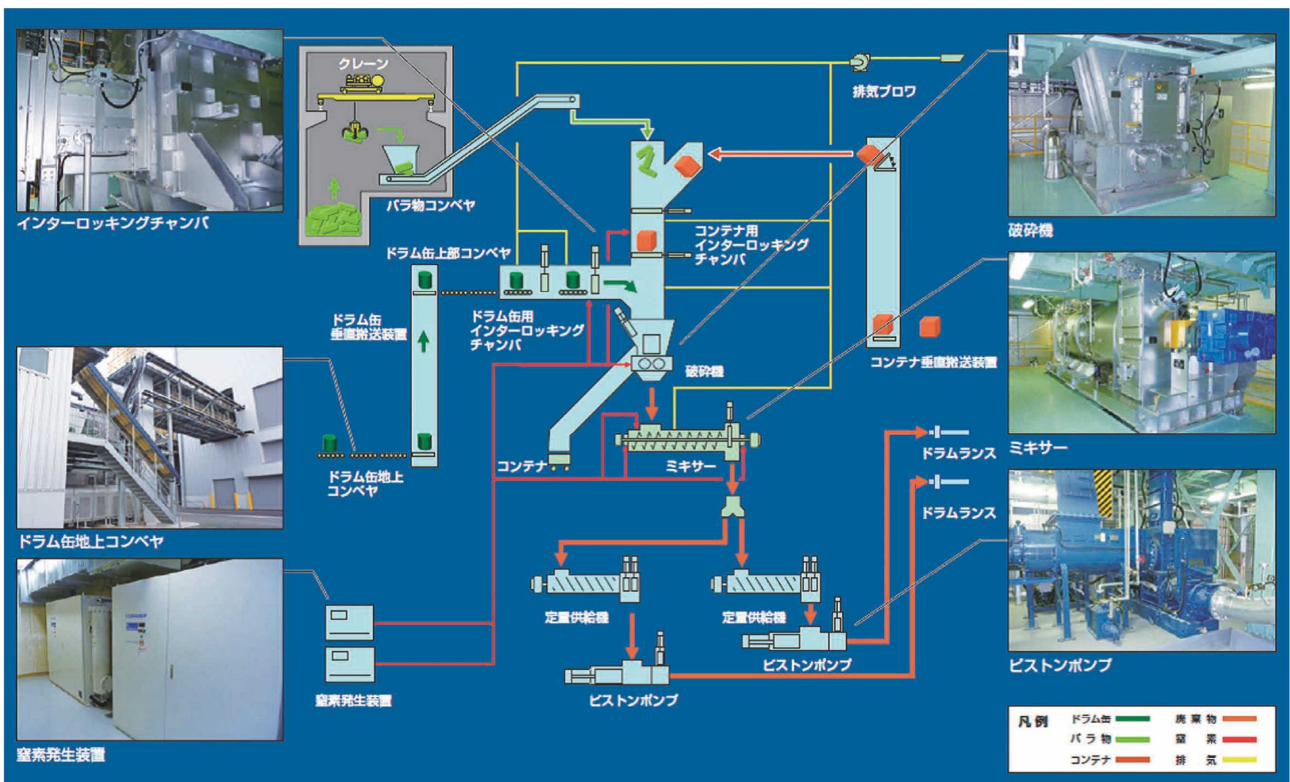
1. 概要

産業廃棄物処理において、様々な廃棄物（廃油、廃塗料、廃液等）の入ったドラム缶を処理するには、ドラム缶の中身を1本ずつ開けてから焼却処理する必要があったので、作業に莫大な時間と労力を要していました。また、内容物によっては引火性の高いものや異臭を放つようなものが含まれ危険性の高い作業でもありました。

今回紹介するドラム缶破碎システムは、ドラム缶をそのままの形状で供給・搬送し、破碎処理後、焼却炉へ安全かつ自動的に供給するシステムです。

2. システムフロー

本システムの処理フローを以下に示します。



ドラム缶は、地上コンベヤ（ローラーコンベヤ）、垂直搬送装置、上部コンベヤ、インターロッキングチャンバ（二重ゲート式チャンバ）を介して破碎機へ投入されます。また、一斗缶や、底が変形して搬送に不適切なドラム缶はコンテナ垂直搬送装置より、古紙や廃プラスチック等についてはバラ物コンベヤよりコンテナ用インターロッキングチャンバを介して破碎機へ投入されます。これらを破碎する際には、内容物による爆発の危険性があることから、窒素発生装置により設備内へ窒素を吹き込み、機内雰囲気酸素濃度を4%以下に保ちながら破碎を行います。

破碎機は、油圧駆動の低速回転式二軸破碎機を改良したものを採用しており、破碎不適物が混入した場合に排出可能な異物排出装置を備えています。

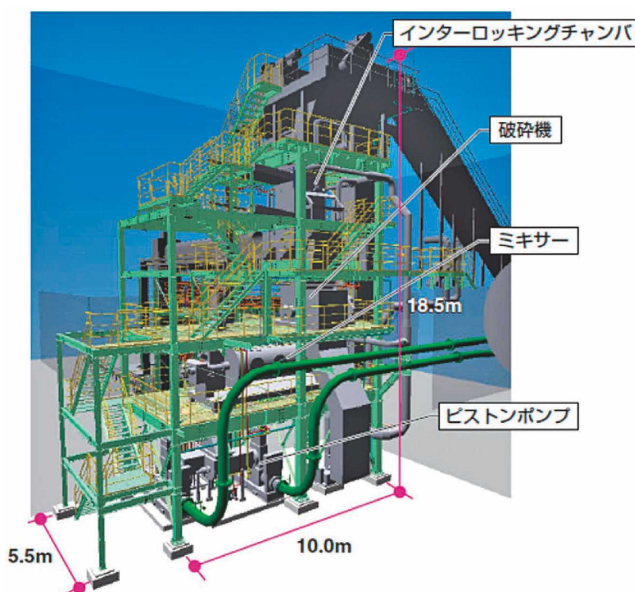
破碎されたドラム缶とその内容物は、古紙や廃プラスチック等と一緒にミキサーへ投入され、内容物を混

鍊し、性状を安定化させます。ミキサーは、油圧駆動の低速回転式一軸パドルミキサーを改良したものを採用し、油圧トルク、ミキサー内部重量、温度、圧力等を連続的に監視し、処理物のモニタリングを行いながら、1時間程度混練します。その際、当社独自の安定化指標を用いて制御し、連続的にドラム缶とその他の材料を混練し、処理物を安定化します。その後、処理物は、ピストンポンプより搬送配管を通じて焼却炉へ圧送されます。ピストンポンプは、油圧駆動のコンクリートポンプを改良したもので、圧送時の油圧、搬送配管の内部圧力などを連続監視しながら動作します。

本システムにより人力を介さず連続的、かつ、安全にドラム缶を焼却炉へ圧送することが可能となりました。また、処理物と同時に焼却されるドラム缶片は、おおよそ150 mm[□]以下の未燃分として焼却灰と共に排出され、最終的には再資源化されます。

3. 主仕様

- (1) 処理能力 ドラム缶 10～20本/時間
バラ物 1t/時間
※処理能力は焼却炉の能力による
- (2) 設置必要面積 約55 m² (主要設備)
- (3) 主要設備
 - ・ 破碎機
形 式：二軸せん断型破碎機 (油圧駆動)
 - ・ ミキサー
形 式：一軸パドル型混練機 (油圧駆動)
容 量：10 m³ (有効6 m³)
 - ・ ピストンポンプ (2基)
形 式：ピストンポンプ (油圧駆動)
吐出量：10 m³/時間 (1基当たり)
 - ・ 窒素発生装置 (2基)
形 式：常圧再生・2塔切り替え
N₂ 純度：99 %以上
流 量：115 Nm³/h × 0.5 MPa (1基当たり)



4. おわりに

紹介したドラム缶破碎システムは、国内3か所の納入実績を有し、安定稼動を継続しています。今後もお客様の要望に応じた設備計画を行いながら、更なる受注を目指してまいります。また、これからも独自技術を活用した製品により、一般廃棄物を含めた廃棄物処理の分野で貢献していきたいと思っています。

特許取得の健康素材「金色のユーグレナ（パラミロン EOD-1）」 ウェルネスフードアワード2022 食品素材部門 “金賞” を受賞

当社独自の健康素材「金色のユーグレナ（パラミロン EOD-1）」が、2022年7月27日～29日に開催されたウェルネスライフジャパン2022において、ウェルネスフードアワード 食品素材部門 “金賞” を受賞しました。

ウェルネスフードアワードは人々のQOL（Quality of Life）を向上する食品・食品素材にフォーカスした食品アワードです。毎年、大手食品企業をはじめ、様々な健康商材を取り扱う多数の企業から応募があり、『美味しさ』・『機能性』・『話題性』・『手軽さ』などの観点から選出されます。

今回の受賞では、「金色のユーグレナ」が美味しく手軽に疲労感を軽減し、人々のQOLの向上に資する点が評価されました。



金色のユーグレナ粉末



ウェルネスフードアワード2022
受賞ロゴマーク

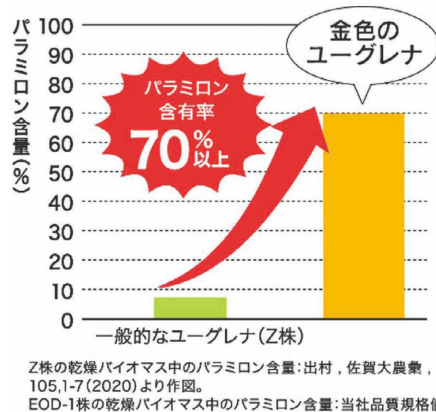
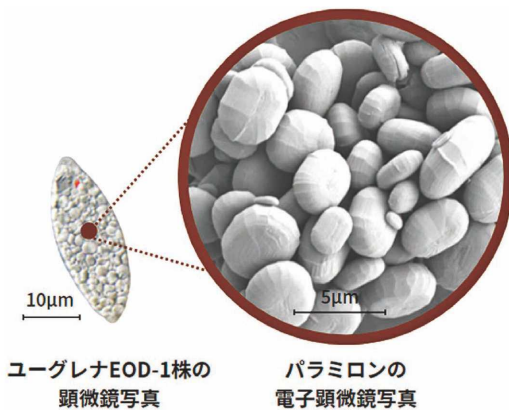


ウェルネスフードアワード
授賞式の様子

○「金色のユーグレナ（パラミロン EOD-1）」とは

当社は長年、水処理や廃棄物処理などの環境に関わる事業に携わってきました。その技術を研究する中で、微細藻類ユーグレナの新規株「EOD-1株」を発見。さらに、大量培養の難しいユーグレナを、長年培った攪拌技術を応用し、光合成をさせずに純粋培養（タンク培養）をすることに成功しました。そして、世界10カ国以上で特許を取得する独自原料「金色のユーグレナ」が誕生したのです。

「金色のユーグレナ」は、健康成分「パラミロン」の含有率が70%以上と、光合成させて緑色になる一般的なユーグレナよりも約5倍のパラミロンを含んでいます。パラミロンは「第三世代の食物繊維」とも呼ばれており、従来の食物繊維とは異なり、非吸収・非発酵でありながら腸管粘膜にある細胞に働きかけることで、様々な健康効果をもたらします。これまでの研究で、免疫力の向上、精神的・身体的疲労感の軽減、自律神経バランスの調整、内臓脂肪の低減など様々な効果を確認することができました。



○「金色のユーグレナ (パラミロン EOD-1)」が全国に広がっています

当社では、疲労感軽減機能のある「金色のユーグレナ (パラミロン EOD-1)」を通して、人と社会を明るく元気にする“元気スイッチプロジェクト”という取り組みを行っています。そして、この取り組みに共感いただく多くの企業と協調し、これまでに「金色のユーグレナ」を使った商品や外食店の料理メニューなどが続々と誕生しています。また、株式会社ミカレアが販売するカプセル形状のサプリメント「ミカレアのパラミロン」は、日本ホームヘルパー協会様などの団体の推奨サプリメントとなり、多くの人の心と体の元気をサポートしています。



太陽のカフェ
(兵庫県西宮市)



神戸洋藝菓子ボックス
(兵庫県神戸市)



幸福米穀株式会社
(大阪府枚方市)



株式会社ミカレア
(兵庫県神戸市)

※パラミロンは熱にも強く、高温調理も可能です。

今後も当社では、「金色のユーグレナ」の機能性開発を進め、超高齢化社会である日本の健康寿命の延伸に寄与して参ります。そして、「金色のユーグレナ」が、より多くの方の身近な存在として位置づけられるように取り組んでいきます。

展示会だより

■下水道展 '22東京に出展

2022年8月2日～5日に東京ビッグサイトにて、公益社団法人日本下水道協会主催の「下水道展 '22東京」に神鋼環境メンテナンスと共同でブースを出展しました。

下水道展全体の来場者数は約30,000人を数え、うち当社ブースには約700名のお客様が来訪されました。

今回当社ブースは、散気装置「PABIO TUBE」の実物を用いた散気模型水槽、難脱水対応強化型スクリーンプレス脱水機や汚泥燃料化技術についてのパネル展示を行い、ご来訪のお客様に当社注力技術についてご紹介しました。また同時に開催された下水道研究発表会では、電熱スクリー式炭化炉を用いた汚泥燃料化技術について発表しました。



アテンドいただいた技術・営業の皆さんの細やかな対応のおかげさまで優れた展示・運営を行ったブース（全出展者315団体うち6団体選出）に贈られる出展者表彰を受賞することが出来ました。当社ブースにお越しのお客様には感染予防対策においてご不便をおかけしましたが、皆様のおかげをもちまして無事に展示会を執り行うことが出来ました。ご協力のほど、誠にありがとうございました。

次回の札幌開催に向けてさらに安全を期して準備を進めます。

■2022 名古屋水道展に出展

2022年10月に愛知県名古屋市の名古屋市国際展示場（ポートメッセなごや）にて、一般社団法人日本水道工業団体連合会が開催する「2022 名古屋水道展」に当社ブースを神鋼環境メンテナンスと共同で出展いたしました。



当社ブースでは上向流式生物接触ろ過設備等のパネル展示を行い、期間中は全国から多くの水道関係者にご来場いただきました。水道展は、自治体やコンサルタントの皆様にご紹介できる絶好の機会ですので、次回以降も出展していきたいと思っております。

なお、本年は東京都にて開催の予定です。「東京水道展」の出展に向け準備を行ってまいりますので、改めて関係各位のご協力をお願いいたします。

八王子市「館クリーンセンター」の落成式開催

当社が2018年12月に八王子市から受注し、建設を進めてきました「館クリーンセンター」の落成式が2022年10月1日に開催されました。

本施設では低空気比での安定燃焼と高効率発電が可能な次世代型「流動床式ガス化燃焼炉」を採用しており、蒸気条件 6 MPa × 450 ℃ の高温高圧ボイラと最大出力4 440 kW の蒸気タービン発電機で、国内最高水準の発電効率25.2%を実現しています。発電した電気は施設内で利用し、余剰電力は売電のほか、自己託送によって市内の公共施設などでも利用されています。また、流動床式ガス化燃焼炉では未酸化で資源価値の高い鉄・アルミを回収することができ、焼却残渣や焼却飛灰もエコセメント化することによって全量資源化されるため、最終処分場負荷は“ゼロ”です。里山に囲まれた敷地内には広場や遊歩道のほか、自然観察の森やビオトープなどの緑地エリアも整備されており、人々の憩いの場・環境学習の場としても広く一般に開放された施設となっています。

当社は今後もこれまで培ってきた技術を駆使し、持続可能な循環型・低炭素社会の形成、環境保全の推進に貢献してまいります。

【事業の概要】

- 事業内容：焼却施設（流動床式ガス化燃焼炉）の設計・建設、運営・維持管理業務
- 事業期間
 - 整備期間（設計・建設）：2018年12月～2022年9月
 - 運営・維持管理業務：2022年10月～2043年3月
- 事業方式：公設民営D B O方式（Design：設計，Build：建設，Operate：運営）
- 事業者
 - 整備工事（設計・建設）：神鋼・大豊建設特定建設工事共同企業体
 - 運営・維持管理業務：株式会社八王子環境サービス（当社出資による特別目的会社）
- 施設の能力：160 t/日（80 t/日×2炉）

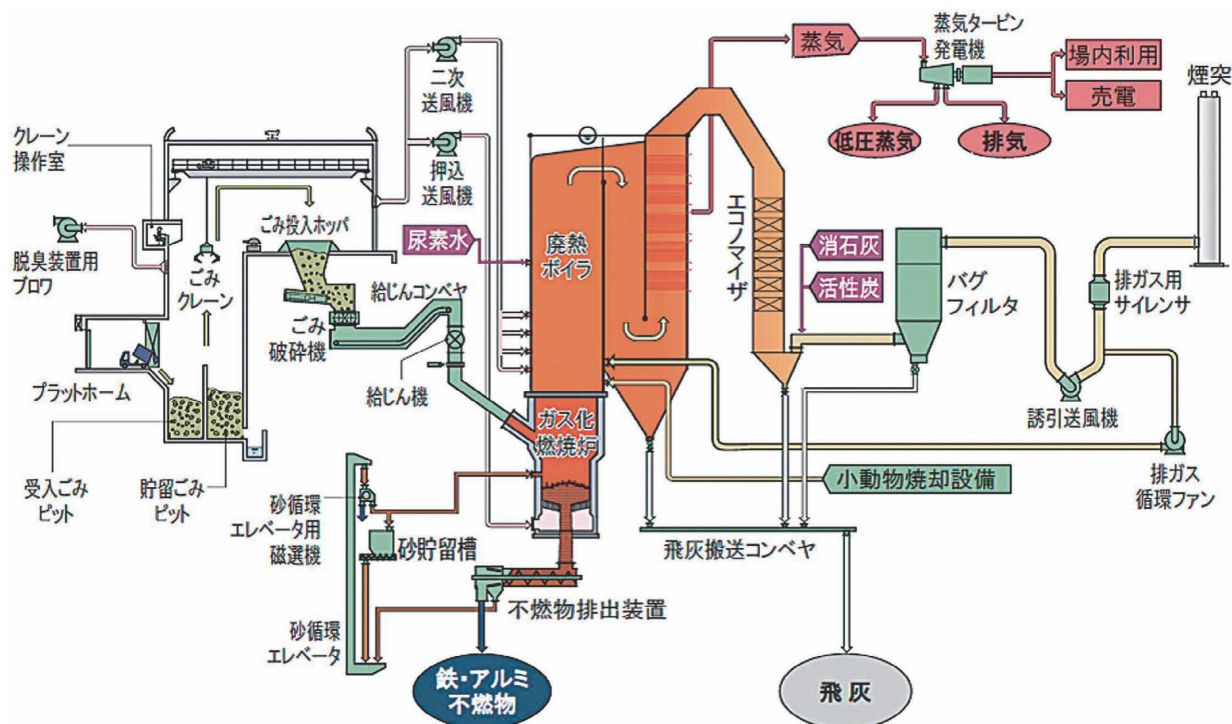


館クリーンセンターの外観



落成式でのテープカットの様子

【流動床式ガス化燃焼炉の処理フロー】



本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78 ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
 〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル) ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
 技術研究所 / 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 ☎ (078)992-6500 FAX(078)997-0550
 東京支社 / 〒141-0033 東京都品川区西品川1丁目1番1号(住友不動産大崎ビル) ☎ (03)5931-3700 FAX(03)5931-5700
 大阪支社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル) ☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
 九州支社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル) ☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
 北海道支店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門ビル) ☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
 東北支店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル) ☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
 名古屋支店 / 〒451-0045 名古屋市中区名駅2丁目27-8(住友ビル) ☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
 北陸支店 / 〒910-0859 福井県福井市日之出2丁目17-13 ☎ (0776)27-7645 FAX(0776)27-0460
 播磨製作所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19 ☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
 プノンペン事務所 / Level 5, OHK Tower, Street 110 and Corner Street 93, Phum 3, Sangkat Srah Chak, Khan Doun Penh, Phnom Penh,
 Kingdom of Cambodia ☎ +855-23-232-051
 ロンドン事務所 / Building 3, Chiswick Park, 566 Chiswick High Road, London, W4 5YA, United Kingdom ☎ +44-208-849-5558

神鋼環境ソリューション