



技報

創る

Vol.32

Report 2024

特集

新環境事業の現状と展望

TSUKURU

表紙の言葉

tsukuru [創る]

独創的な複合技術で総合エンジニアリング企業を目指す弊社の企業理念をフジコー技報『創る』に物づくりの原点に立ち返り表現してみました。表紙は当社のロゴデザインの中にその年の特集内容に沿った写真を搭載しました。“独創的な技術開発”という弊社の開発理念と当社の事業展望を本表紙のメッセージといたします。

光触媒被膜技術

■解説

日本で開発された光触媒技術は「酸化チタン」を素材にコーティングする技術が長年課題でしたが、当社の「溶射技術」はバインダー（接着剤）を全く使用しない“低温高速溶射”という独自技術で、光触媒を変性させることなく高純度に被膜化します。また、銀を独自にブレンドしており、より高い除菌力を実現しました。

溶射以外の方法として使用している「スプレー技術」も同様にバインダーを使用せずに、幅広い基材へ皮膜化が可能です。

これらの技術は一般住宅や病院、トイレの床材や空気清浄機、消臭除菌グッズに使われています。



シンボルマークは、富士山の形とフジコーのFをデザイン化したものです。小ブロックが右上がりのHOP、STEP、JUMPと飛躍、拡大していく状態を表現しております。

目次

巻頭言

フジコー技報第32号によせて
マイケル・ファラデーに学び、光触媒を実行

東京理科大学名誉教授
東京応化科学技術振興財団理事長
光機能材料研究会会長 藤嶋 昭 1

特集

(新環境事業本部)

新環境事業の現状と展開

取締役 新環境事業本部長
技術開発センター長 中山 輝路 4

特集論文

小型空気消臭除菌装置 (MC-S201) の要素技術検討に関して

柴田 将貴、森次 晋介 7

ニオイセンサー制御手法の開発

今井 靖、柴田 将貴、森次 晋介、濱崎 啓司、盛満 幸輝 14

技術論文

異種材料接合技術の開発

牟 用煥、舛添 太一、園田 晃大、福永 勝彦、近藤 加寿心 19

ペロブスカイト太陽電池導入に向けた小型円筒形発電デバイスの
開発取組み

廣谷 太佑、野村 大志郎、園 勇哉、武谷 利広 26

堆肥プラント向け大型脱臭装置の開発

牧野 尚、水上 義之、笹嶋 幸輝、山本 清司 32

トピックス

2024 国際ウエルディングショーに出展 38

ABRASION 2024 への参加 39

CONTENTS

Foreword	Michael Faraday and Photocatalysis	Akira Fujishima	1
<hr/>			
Special Feature	Current Status and Future of Fujico Environment Business	Terumichi Nakayama	4
<hr/>			
Special Paper	Development Study of Elemental Technology for the Fujico Air Purifier (MC-S201)	Masaki Shibata, Shinsuke Moritsugu	7
<hr/>			
	Development of Odor Sensor Control Method	Osamu Imai, Masaki Shibata, Shinsuke Moritsugu, Keiji Hamasaki, Kouki Morimitsu	14
<hr/>			
Technical Report	Development of Dissimilar Materials Joining Technologies	Yonghwan Mo, Taichi Masuzoe, Akio Sonoda, Katsuhiko Fukunaga, Kazushi Kondou	19
<hr/>			
	Development of Compact Cylindrical Photovoltaic Devices for Perovskite Solar Cells	Daisuke Hirotsu, Daishiro Nomura, Yuya Sono, Toshihiro Takenoya	26
<hr/>			
	Development of Large-Scale Deodorization Apparatus for Compost Plants	Takashi Makino, Yoshiyuki Mizukami, Kouki Sasajima, Kiyoshi Yamamoto	32
<hr/>			
Topics	JAPAN INTERNATIONAL WELDING SHOW 2024		38
<hr/>			
	ABRASION 2024		39
<hr/>			

フジコー技報第 32 号によせて

マイケル・ファラデーに学び、 光触媒を実行

東京理科大学名誉教授
東京応化科学技術振興財団理事長
光機能材料研究会会長
藤嶋 昭
Akira Fujishima



私の大学院生の時に読んだ H. スーチン著「ファラデーの生涯」は感動的だった。ファラデーの貧しい少年時代から数々の研究成果をあげるまでの一生が書かれていて、夢中で読んだことを今も覚えているし、現在も時々この本を開いている。

ファラデーの研究成果はモーターや電磁誘導、あるいは電池系と今の私たちの生活に大きく関わっているし、彼の研究方針や態度は私にとっては常に目標にしていることである。

ファラデーは常に基本的なことを中心に着想し、実際に簡単な材料を使って実験し、その成果をきちんと記録し、なるべく早く発表する。しかもほとんど 1 人で実験した成果である。

さらに科学を一般の人、特に若い青少年に伝えるための講演や実験を数多く実施している。特に良く知られているのが「ロウソクの科学」である。ファラデーのことを最近本としてまとめてみたので、是非読んでいただけたらと願っている¹⁾。

光触媒のこと始めであるが、50 年以上前のことになってしまう。私が東大の大学院生になり、新しい研究テーマを考えていた時のことから話したい。大学で電気分解や電池の電気化学を学んだので、この分野の新しい方向を調べてみた。有機物や生体系の関わる電気化学も始まってきたが、光が関与する電気化学がおもしろいと思うようになった。図書館にこもり、新しい研究成果がでている論文誌を調べたところ、最新の論文誌にドイツの Gerischer 先

生が半導体を水の中に入れて、光を照射した時の電気化学反応を調べておられていることが分かった。Gerischer 先生たちは n 型半導体である ZnO 単結晶を用いて、光を当てると光電流が観測されていたのである。その時の電気化学反応は ZnO の溶解反応が光照射で起こっているとの説明であった。

そこで私は東大の指導教官のお一人の菊池真一教授にお願いして、Gerischer 先生が使っていたと同じ、ZnO 単結晶をアメリカの 3M 社から入手することができた。早速 Gerischer 先生と同じ方法で実験し、酸化光電流を観測できたが、やはり反応は ZnO 自体が溶ける反応で ZnO 表面がガタガタに変化した。

同じような n 型酸化物半導体はないのかと、調べてみた。酸化チタン TiO_2 が候補として浮かび上がり、いろいろな人に聞いてみたところ、神戸の中住クリスタルで作っていることを知った。そこで社長の中住さんに手紙を書いてお願いしてみた。幸いにも中住さんから親指くらいの大きさの酸化チタン単結晶をいただくことができた。これをダイヤモンドカッターで薄板状に切って電極として使ってみた。光を当てると酸化亜鉛の時と同じように酸化光電流が流れ、酸化チタン表面からガスが発生した。この気体を集めてガスクロで調べたところ純粋な酸素であった。光を当てただけで、水が分解して酸素が発生した。酸化チタン表面は変化せず、しかも発生電位は理論値よりも 1V 以上もマイナス側であった。光エネルギーがうまく利用されて水の分解が容易になったわけである。

白金電極を対極にすると、ここからは水素が発生した。水の分解が光をあてるだけでできたことになる。そこで日本化学会などの学会でこの結果を発表した。しかし水の分解の電位が理論値よりもマイナス側で起こっていることを大御所の先生方に理解してもらえず、もっと勉強をしてから発表するように、とのご忠告である。しかし実験に誤りはない。しばらく考えてから、では一番権威のある論文誌 Nature に投稿してみた。するとすぐに受理され、1972年の論文になった²⁾。これが今でも多くの方々に引用していただいている Nature 論文である。引用件数は今では4万件ほどになっている。光触媒のスタートの論文と言われている。

今では酸化チタンを用いる光触媒は空気中のおい物質やウイルスなどを分解でき、表面を常にきれいに保つことができる方法として世界中で使われている。

このように酸化チタンを用いる光触媒は、環境浄化材料として我々の身近に幅広く応用されてきている。例えば、光触媒フィルターを搭載した空気清浄機は、たばこのにおいや空中の浮遊菌を除去できることから、東海道新幹線(N700系)や病院に設置されており、また光触媒を塗布したビルのタイルや窓ガラスは建物を常にきれいに保つことができると、日本をはじめ世界中で使われてきている。

酸化チタン光触媒には大きく分けて二つの特徴ある反応が関与していることが知られている。

ひとつは光触媒分解といって、表面にきた物質を分解する反応である。水だけが表面にあれば水を分解するが、有機物があればこの有機物の方が優先的に二酸化炭素まで分解される。

もうひとつの超親水性は、水に非常になじみやすくなる現象である。一般的に多くの材料では、表面に水を落とすと水滴が付くが、酸化チタンをコーティングした材料に光を当てると、その酸化チタン表面では水は水滴にならずに、ほぼ完全に一様な薄い膜として広がる。このため油汚れなどが表面に付

着していても水をかけるだけで、汚れの下に水がしみ込んで汚れを浮かせ、簡単に水で洗い流すことができる。また、水滴ができないことから、曇らないガラスや鏡としての応用もできる。すでに車のサイドミラーに使われ、雨の日でも水滴が付かず良好な視界を確保できる技術として好評を得ている。

酸化分解と超親水化の相乗効果は「セルフクリーニング効果」と名づけられている。晴天時の日光により汚れを分解し雨天時の雨水によって汚れを洗浄して、その名の通りメンテナンスを必要とせず常に清浄な表面が保たれるので、建物の外装材としての応用が大きく広がっている。

外装材と同様に大きく市場が伸びている浄化機器分野では、空気清浄機としての応用展開が目立つ。シックハウス症候群など、生活環境の有害物質による健康被害が問題視されるようになり、光触媒技術を応用した空気清浄機の需要が増加した。やがて、家庭はもとより、病院、ホテル、レストラン、喫煙所など、多種多様な場所に光触媒フィルターを組み込んだ空気清浄機が導入されるようになり、さらにコロナウイルスの問題がおき、光触媒の効果が注目されてきた。これらの空気清浄機は、一般的に、酸化チタンをコーティングした光触媒フィルター、紫外光源、ファンを組み込んだ構造になっている。室内の有害物質や微生物などは、ファンで取り込まれて光触媒フィルター表面に吸着し、紫外線光照射による光触媒反応で酸化分解される。

光触媒フィルターの性能が空気清浄機のための最も重要なキイテクノロジーであるが、特に貴フジコーの溶射による酸化チタン光触媒特性はすばらしい。酸化チタンを各種素材の表面に高密度で密着させることができる独自の低温高速フレーム溶射の技術が使われているからである。溶射の衝撃で基材に食い込んで酸化チタン微粒子を密着させるので、高密度の光触媒皮膜が生成し、高い光触媒特性が発揮されている。

具体的な製品としてブルーデオを私も自宅を使わ

せていただいているが、消臭・殺ウイルス効果が抜群で、しかも長期の使用でも、光触媒特性が保持されている。やはり、秀れた溶射技術が活かされていることによる。この秀れた溶射技術がタイルなどの建材にも応用されている。これら光触媒タイルを使用した老人ホームを数年前に見学させていただいた時に驚いたが、老人ホーム独特のにおいが全然ないことであった。やはり、消臭効果が抜群であることを実感した。

このすばらしい溶射技術を使つての光触媒系をさらに広い分野への展開を期待したいものである。

参考文献

- 1) 藤嶋昭、落合剛、濱田健吾、ファラデーのつくれた世界（化学同人）（2024.4）
- 2) A.Fujishima, K.Honda, Nature 238,37(1972)

【履歴書】

ふじしま あきら

藤嶋 昭

生年月日 昭和 17年 3月 10日

【略 歴】

昭和 46年 東京大学院工学系研究博士課程修了

昭和 61年 東京大学工学部教授

平成 15年 東京大学名誉教授

平成 17年 東京大学特別荣誉教授

平成 22年～30年 東京理科大学学長

現在 東京理科大学荣誉教授・東京応化科学技術振興財団理事長・光機能材料研究会会長など。

これまで 電気化学会会長・日本化学会会長・日本学術会議会員などを歴任。

【主な受賞歴】

昭和 58年 朝日賞

平成 12年 日本化学会賞

平成 15年 紫綬褒章

平成 16年 日本国際賞

平成 22年 文化功労者

平成 29年 文化勲章

新環境事業の現状と展開

株式会社フジコー
取締役 新環境事業本部長
技術開発センター長
中山 輝路
Terumichi Nakayama



当社における現在の新環境事業の主力商品は、光触媒材料と抗菌金属の高純度皮膜化技術（以下、「当社光触媒技術」という。）を核とした除菌消臭商品です。当社光触媒技術の開発は、2001年に開発した当社独自の金属材料溶射装置の他用途への応用展開を検討する中で、産学官連携により低温溶射技術である当社光触媒技術（特許第4682374号）の開発を成功させました。当社光触媒技術は、高純度光触媒による高い酸化還元反応と抗菌金属による暗所を含めた高い除菌性能があり、この性能により悪臭の分解、菌・ウイルスの不活化などに効果があります。この技術を核に消臭除菌建材、空気消臭除菌装置、産業用大型脱臭装置、消臭グッズの商品化を行い、個人用途、家庭用途、業務用途、産業用途において期待される除菌消臭能力でお役に立つことを目指しており、さらに商品力の強化と商品ラインアップ拡大を進めております。



図 溶射の様子

当初は当社光触媒技術を“MaSSC”と名付け認知度を上げる活動をしておりましたが、2021年から向井理さんを起用したTVCMを開始するにあたり、幅広い一般消費者により分かりやすい“光除菌”（商

標登録第6451935号他1件）を当社光触媒技術の名称に変更し、当社光触媒技術と商品の認知度を上げ幅広く定着させる活動を進めております。



図 消臭除菌建材のラインアップ

当社光触媒技術は、当初より低温溶射技術を核に商品展開してまいりましたが、皮膜化対象物に対し高温、高圧力がかかる溶射の場合は皮膜化対象物が限定されてしまう為、新たな皮膜化技術として皮膜化対象物の制限が少なく溶射と同等な性能を確保できるスプレー工法の開発に近年成功し、今後はこのスプレー工法による用途拡大を進め、除菌消臭分野でさらなる貢献を図ります。

消臭除菌建材は、建材基材上に光触媒と抗菌金属を皮膜化させ、菌やウイルス対策に配慮が必要な病院、介護施設、学校などを中心に販売しております。セラミック基材と塩ビ石目基材をベースに光触

媒を溶射工法による皮膜化で商品化をスタートしました。当初、光触媒という化学材料皮膜の為、施工時の工事手順の煩雑さや建材表面の変色といった課題がありましたが、解決に向けた活動により改善を図ることが出来ました。更には、柄デザインの種類拡大へのお客様の要望に対応し木目調塩ビ基材の商品化を行い、施工頂いた介護施設などからデザイン性と除菌性能への安心感などの高評価を頂いております。

現在は、病院、介護施設で床材として需要の多い長尺塩ビシートの商品化に向け、従来の溶射工法ではなく、低温で安定した光触媒皮膜化ができ且つ低コストのスプレー工法を開発しております。この工法の商品化に目途がつき、長尺塩ビシートの生産に向けた設備設計を現在行っており 2025 年度の販売開始を目指しております。また、学校等で需要の多いフローリング材への除菌仕様の要望があり、フローリング材への光触媒皮膜加工にも取り組んでおり 2025 年度には商品化する予定です。この商品化も従来の溶射工法からスプレー工法に転換することにより実現しており、今後もお客様からの要望に対応する建材の用途開発を進めて参ります。



図 空気消臭除菌装置のラインナップ

空気消臭除菌装置は、内蔵するフィルターに溶射により光触媒皮膜を形成し、内蔵したランプ又はLEDからの紫外線をフィルターに照射することに

より、空気を消臭除菌するという構造です。個人用から業務用までの商品ラインアップを揃えております。個人向けでは、持運びできるポータブル型と寝室・子供部屋などに適したデスクトップ型があり、高い除菌・消臭能力で安心快適な生活環境を提供しております。業務用はフロア型を2機種準備しております。当社空気消臭除菌装置は、空気清浄機では日本アトピー協会の初の推薦商品となりアレルギーでお困りの方へお役に立つ商品となっております。また、業務用空気消臭除菌装置は、建材と同様に病院、介護施設を中心に販売を進めております。新型コロナウイルス感染が急拡大する2020年からのコロナ特需があり当社生産販売が急拡大しましたが、コロナ需要が一巡し今ではコロナ前の状況に戻っております。今後は、消臭機能を強化し、ペット臭などの臭いでお困りの方への商品を強化すると共に家庭向けの商品ラインアップの強化・充実を図ります。

販売については、国内向けの個人、業務用を中心としていますが、今後は中国などの海外販路の開拓を進めグローバルに展開して参ります。

産業用大型脱臭装置は、光触媒の消臭性能・ガス分解性能を下水処理場やリサイクル工場などの悪臭対策に活用するための実用検討を北九州市や関連企業のご協力により2010年頃からを開始しました。装置に入る悪臭(ガス成分、流量、濃度)の装置による処理後の削減率の要望を満足すべく装置の工夫を行いました。しかし、要望を満足する結果を得ることは出来ませんでした。光触媒技術のみによるガス分解ではなく、処理対象ガス成分の削減に適した各種処理方式の検討を進め、現在ではオゾン、酸化触媒、生物脱臭といった各種処理方式による実用化を目指し、各々の方式が得意とする処理ガスに合った悪臭対策の実証検討を進めております。具体的には、し尿処理施設、ゴム工場、堆肥工場等で良好な結果が得られていますので、今後は悪臭でお困りのお客様をさらに明確にして装置の商品化を進めて参ります。

当社の次世代のガス分解技術として、光化学スモッグの原因となり且つ健康被害のリスクのある

VOCを浄化する小型で安価な装置が求められており、このVOC浄化技術の基礎検討を開始しております。従来の燃焼方式によるVOC浄化では装置が大きく初期投資が高額で且つランニングコストの高い装置となりますが、当社の方式はVOC分解を加熱効率の良い電気エネルギーによるマイクロ波加熱技術を活用し、さらに当社独自の高効率な酸化触媒開発により、省エネで脱炭素を実現した小型で安価なVOC浄化装置の実現に取り組んでおります。VOCの浄化やVOCによる健康被害の問題を抱えるお客様の役に立つべく早期商品化を目指し装置開発を進めています。

新環境事業は、当社光触媒技術を核にした消臭、除菌性能でさらにお客様に満足頂ける商品開発を進めると共にグローバルに販売できるように海外販売ルートの開拓を進めて参ります。その中でも、建材に関しては病院、介護、学校等の用途を中心とした長尺塩ビシートの開発に注力します。空気消臭除菌装置は、家庭での臭い対策商品を強化すると共に商品ラインアップを拡充します。大型脱臭装置は、新たに開発中のVOC浄化技術を含め環境対策商品として地域の生活環境改善に貢献したいと考えています。

新環境事業は、個人用途から産業用途と幅広いお客様に生活環境の改善で貢献すべく、あくなき技術開発に挑戦し、お客様に貢献する製品開発を今後も推進していき、お客様と一緒に成長していきたいと考えております。引続きご指導ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

小型空気消臭除菌装置 (MC-S201) の要素技術検討に関して Development Study of Elemental Technology for the Fujico Air Purifier (MC-S201)

技術開発センター
第二開発室 室長
柴田 将貴
Masaki Shibata

技術開発センター
第二開発室 リーダー
森次 晋介
Shinsuke Moritsugu

1. 緒言

小型空気消臭除菌装置 MC-S201 (以下、S201) の開発と製品の特長、販売戦略について報告する。S201 は以下の3つの特長を持つ。①前モデル MC-S101 (以下、S101) と比較して脱臭性能を3倍に向上させた。②洗浄可能な集塵フィルターの導入により交換品を無くし、メンテナンスコスト削減と環境負荷の低減を実現した。③光源をUVランプからUVLEDに変更し、省エネルギー化と光触媒反応効率の向上を達成した。

また、販売戦略として、オンライン動画配信や消臭デモキットを活用したプロモーションを強化し、視覚的・体感的な訴求を通じて好調な販売実績を示している。

2. 開発の背景

空気清浄機市場は、近年の環境問題や健康意識の高まりにより急速に拡大している。特に都市部では、PM2.5や花粉、ウイルスなどの有害物質が健康に与える影響が懸念されており、これらを効果的に除去する技術の開発が求められている。COVID-19パンデミックは、空気中のウイルスや細菌の除去の重要性を一層浮き彫りにし、室内空気の清浄化が不可欠であることを示した¹⁾。

従来の空気清浄機は、主にHEPAフィルターや活性炭フィルターを用いて物理的に粒子を捕捉する方法が一般的であるが、当社では光触媒をアルミ不織布やエキスパンドメタルなどのフィルターに独自のコーティング技術で成膜した光触媒フィルターを適用した商品の開発を行っている。光触媒は光が当たることにより、水分と酸素から酸化力の強いフリーラジカルを発生させ、水や空気中の有害物質を分解し、水処理や空気浄化、抗菌、脱臭を行うことができる。よって当社の空気清浄機はペットや赤ちゃんにとって、濃度によっては悪影響を与えてしまうオゾンや次亜塩素酸などの有害物質を空气中に放出しないため、どのような家庭でも安心、安全に使用できる。

2019年1月に当社は光触媒フィルターを搭載した

小型の空気消臭除菌装置であるブルーデオS型S101 (Fig.1) の販売を開始したが、販売開始から3年が経過し次期商品が要望されているということもあり、S101のバージョンアップした後継機として、2022年4月からS201 (Fig.2) の開発をスタートさせ、2023年7月より販売を開始させた²⁾。本稿では、S201の開発において新しく採用した要素技術のうち、光触媒フィルター新基材(メタルフォーム)の採用、洗える集塵フィルターの採用、光源のLED化について報告する。また2023年7月から販売を開始して現在に至るまでの売れ行きや、行ってきた販売戦略、お客さまから頂いている声等についても報告する。



Fig.1 MC-S101.



Fig.2 MC-S201.

3. 開発方針

S201の開発においては、3つの性能目標を設定し、これに基づいて開発を進めた。1つ目は、前モデルであるS101と比較して脱臭性能を3倍に向上させることを目指した。これは、ユーザーからのフィードバックや市場調査により、より迅速かつ効果的な脱臭が求められていることが判明したためであり、また製品の訴求において圧倒的なインパクトを打ち出すためである。この目標を達成するために、光触媒フィルターの基材を従来のエキスパンドフィルターからメタルフォームフィルターに変更した。メタルフォームは多孔質構造を有し、エキスパンドフィルターに比べ、高い表面積値を持つため、光触媒反応の効率を向上させることが可能である。

2つ目は交換品を一切無くすことを目標とした。こちらも市場調査等により、交換品のコストや手間がユーザーの主要な不満点として挙げられていたためである。これを解消することで、製品の利便性を向上させることが期待された。この目標を達成するために、S201では洗浄可能な集塵フィルターを採用している。洗浄可能な集塵フィルターの採用により、以下の具体的な利点が得られる。まず、フィルターの交換が不要となるため、ユーザーは交換品の購入コストを削減できる。また、フィルター交換の手間が省ける。さらに、集塵フィルターを洗浄可能とすることで、ユーザーは長期間にわたり安定した性能を維持しつつ、経済的かつ効率的に製品を使用することが可能となる。洗浄可能なフィルターは環境負荷の低減にも寄与する。使い捨てフィルターの廃棄が減少することで、廃棄物の削減が図られ、環境に優しい製品設計が実現される。これにより、S201はユーザーにとって利便性が高く、かつ環境にも配慮した製品となった。

3つ目は、省エネ化を目指した。近年の環境意識の高まりにより、省エネ性能が重要視されているため、消費電力を削減し、環境負荷を低減することを目標とした。この目標を達成するために、光源を従来のUVランプからLEDに変更し、消費電力を削減するとともに、光源の長寿命化を実現した。また、光源をLEDに変更することで、光量が増加し光触媒反応の効率向上を図れるため、脱臭性能の向上にも寄与する。さらに、LED化により、従来のUVランプに比べて以下の利点がある。まず、LEDはUVランプに比べて発熱が少なく、安全性が高い。また、UVランプで発生する市場不具合、例えば製品落下時のUVランプの破損リスクを回避することができる。

これらの開発方針を満足するために、新規要素技術である、光触媒フィルターの新基材(メタルフォーム)の採用、洗浄可能な集塵フィルターの採用、そして光源のLED化を検討した。

4. 各要素技術の検討

4.1 新基材(メタルフォーム)の採用

本開発では、前モデルS101と比較し脱臭性能を3倍に向上させることを目標として、光触媒の基材をエキスパンドフィルターからメタルフォームに変更した。脱臭性能の評価は、アセトアルデヒドのガス分解性能を指標として行った。Fig.3に、アセトアルデヒドのガス分解性能の結果を示す。なお、比較のために前モデルS101の結果も併せて示す。

試験は当社技術開発センターにて実施した。試験ガスとしてアセトアルデヒドを使用し、初期濃度は25ppm(悪臭防止法基準の500倍)とした。測定にはINNOVA 光音響マルチガスモニタを用いた。

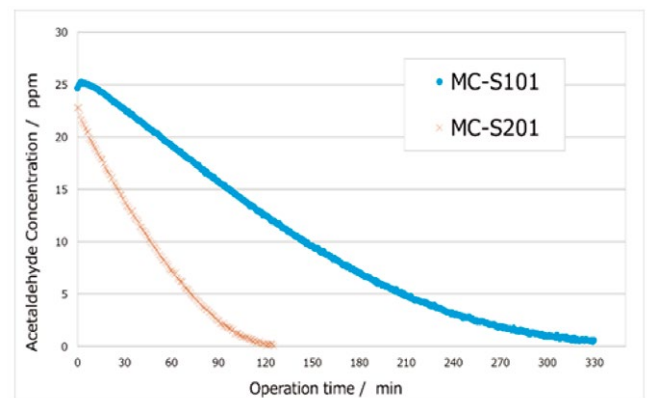


Fig.3 Comparison of acetaldehyde gas reduction over time between two models.

グラフの結果から、前モデルS101はアセトアルデヒドの濃度を1ppmまで低減するのに約330分を要したのに対し、S201では約110分で1ppmまで分解することが可能であった。これにより、S201は目標である3倍の脱臭性能を達成していることが確認された。S201の脱臭性能が前モデルS101に比べて大幅に向上した要因として、メタルフォームの多孔質構造が挙げられる。メタルフォームは高い表面積値を持つため、光触媒の付着量を増加させることが可能であり、光触媒反応の効率を大幅に向上させることができる。これにより、アセトアルデヒドの分解速度が著しく増加し、短時間で高い脱臭効果を発揮することが可能となった。

4.2 洗浄可能な集塵フィルターの採用

交換品を一切無くし、ユーザーのメンテナンス負担を軽減することを目的として、洗浄可能な集塵フィルターを採用することとした。採用にあたってはまずは「洗浄可能」という言葉に対する明確な定義を決める必要があった。洗浄可能(洗える)という言葉の意味および基準を明確にするために、洗浄可能なフィルターの定義を以下のように設定した。

まず、フィルターの基本集塵性能については、8畳の適用床面積を満たすこととした。具体的には社内規

格に基づき、ウイルス除去性能として、浮遊ウイルス数が24時間で2桁以上減少すること(自然減衰対比)とした。外観については、洗浄を行ってもフィルターが破損しないことを求め、具体的には枠の外れ、プリーツの形状異常、フィルター形状異常などが発生しないこととし、洗浄後にフィルターがきれいになったことが目視で確認できることとした。洗浄回数については、ユーザーは年に2回の洗浄(半年に1回)を行うとして、製品寿命5年の中での洗浄回数から算出している。なお、洗浄方法としては、まず大きなホコリを掃除機で吸い取り、次に流水で洗い流し、最後に定めた乾燥方法にて乾燥させることとした。これらの定義に基づき、洗浄可能な集塵フィルターの性能評価を行った。

基本集塵性能として浮遊ウイルス試験を実施した。結果を Fig.4 に示す。本試験は当社技術開発センターにて実施された。試験ウイルスとして大腸菌ファージ(NBRC102619)を使用し、試験方法はJEM1467に準拠した³⁾。具体的には、25m³のチャンバー空間内で培養したファージを噴霧および拡散させ、強モードでS201 本体を稼働させた。その後、ファージの減少数の変化を計測した。結果から、S201の浮遊ウイルス除去性能としては、浮遊ウイルス数が2桁減(99%減)するまでにかかる時間は約180分で、適用床面積8畳を満足する結果となった。

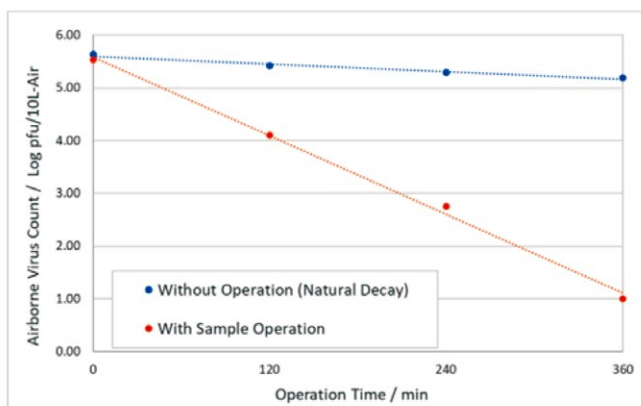


Fig.4 Reduction of airborne virus count with and without air purifier operation.

次に、繰り返しの洗浄による耐久性および外観の評価結果を示す。試験方法は、流水洗浄工程および電器炉(60°C)を利用した乾燥工程を繰り返し行い、10回目の乾燥後に外観を確認する。外観の確認は、フィルターが破損していない事、具体的には枠の外れ、プリーツの形状異常、フィルター形状異常などが発生しないことを確認する。

試験実施後のフィルターの外観を Fig.5 に示す。枠の外れ、プリーツおよびフィルター自体の形状異常、破損等が無いことを確認できた。検討した洗浄可能な集塵フィルターは半年に1回の洗浄を行うとして、製品寿命の5年間は使用可能であることが証明された。

また併せて乾燥時間を決定するための評価結果を Table1 に示す。試験は洗浄前後でのフィルターの重量の変化を測定して乾燥状態を確認するとともに、水分計(タイムテクノロジー製 AS981)を用いて水分の割合を測定することで乾燥状態を確認する。

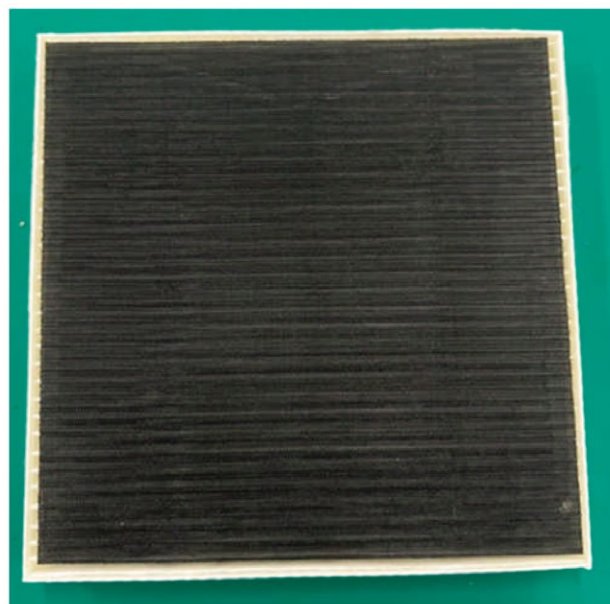


Fig.5 Durability test by repeated washing after the test.

Table 1 Drying time determination for filter based on weight changes before and after washing

	weight / g	moisture content / %	temperature / °C	humidity / %
Before Washing	12.260	-	20.7	60
After Washing	20.470	40%	21.0	59
After drying(8h)	12.245	0%	23.6	62
After drying(10h)	12.259	0%	23.8	62
After drying(11h)	12.256	0%	23.9	62

結果から、必要な乾燥時間の目安を8時間以上と判断した。乾燥方法は、よく水をきり、風通しの良いところで十分に乾燥させるとした。

洗浄可能な集塵フィルターの採用でのユーザーメリットを紹介する。S101における集塵フィルターは税抜き価格が1,250円で販売されており、1年に1回の交換を推奨している。本体の製品寿命は5年と設定しているため、単純に製品生涯で4回の集塵フィルターの交換が必要となる。ユーザーのランニングコストとしては、1,250円×4回=5,000円かかることとなる。S201では洗浄可能な集塵フィルターを採用しているため、交換費用は不要となり、ユーザーにとって大きなコストメリットとなる。

4.3. 光源のLED化

Fig.6に光源の種類を示す。省エネ化および脱臭性能の向上を目論み、光源を従来のUVランプ(写真左)

からLED (写真右) に変更した。これにより、S101と比較して、標準運転時の消費電力を9Wから6.9Wへと削減し、23%の省エネ化を達成した。

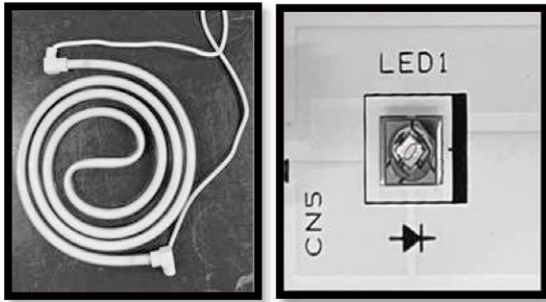


Fig.6 Type of light source.

また、蛍光灯やCCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)には少量の水銀が含まれているため、2027年末には環境負荷低減を目的として一般照明用蛍光灯の製造が禁止される予定である⁴⁾。当社もこの動きに先駆けて、CCFLからLEDに変更することで、環境負荷低減に貢献できる。

またCCFLでは、落下や衝撃による内部ランプの破損リスクがあり客先でたびたび破損を原因とする本体の故障が発生していたが、LEDの採用によりこのリスクを大幅に低減することができるため、従来のガラス管を使用したCCFLに比べて製品の信頼性を大幅に向上することができる。これらの利点により、S201は省エネ性能と安全性を兼ね備えた製品となり、ユーザーにとって利便性が高く、環境にも配慮した選択肢となった。開発したS201の製品仕様をTable2に示す。

Table 2 Product specifications

Product Details			
Model Name	MC-S201 (Blue Deo Type S)		
Recommended Room Size	14 m ²		
Dimensions	Width	187 mm	
	Depth	145 mm	
	Height	268 mm	
Weight	1.3 kg(approx)		
Mode	Low	Standard	High
Air Flow	0.10 m ³ /min	0.24 m ³ /min	0.70 m ³ /min
Wattage	6.4 W	6.9 W	12.5 W
Noise Level	21 dB	26 dB	46 dB
Cable length	1.5 m(approx)		

5. 販売

5.1 販売状況

2023年7月に販売を開始したS201は、ユーザーからの高い評価を受け、順調な売れ行きを示している。前モデルであるS101の2019年7月から翌年6月までの1年間の販売台数に対し、S201は同じ期間で約40%増加している。(S101とS201では販売開始時期が異なり、空気清浄機は季節商品ということもあり、1年を通して、時期によって出荷数に波があるので、比較する期間を合わせるために販売開始年の7月～翌年の6月までの1年間での出荷台数を比較)。なお、2023年7月の販売開始から現在に至るまでのS201の販売は好調に推移している。

5.2 販売戦略

この好調な販売をキープするために行った主な販売戦略を報告する。まず製品の優れた性能を顧客に認知してもらうことを主眼とした。具体的には、洗浄可能な集塵フィルターを採用したことで、交換品がなくなったこと、光触媒フィルターの新基材(メタルフォーム)の採用と光源のLED化を行ったことで、前モデルから大幅に消臭能力がアップ(S101と比較して約3倍のスピードで消臭可能)したこと、さらには光源を近紫外線冷陰極管CCFLから近紫外線LEDに変更することで、省電力化を実現したことなどの技術的特長を強調して訴求した。これらの特長は、当社の販売会社である株式会社マスクフジコーのホームページ、製品カタログ、およびPOP等の宣伝媒体に大きく掲載している。次に、製品のコンパクトさも積極的に訴求している。S201の重量はTable2の仕様を示す通り、約1.3kgで、片手で楽々に持てる重量であり、かつ本体のサイズとしては、幅187mm、高さ268mmでほぼA4用紙程度に収まるため、書斎やリビング、寝室など様々な場所へ手軽に持ち運びが可能である。さらに、静音性も重要な訴求ポイントとしている。Table2に示す通り、弱運転時の騒音値はわずか21dBであり、これはきわめて静かなレベルと表現され、ささやきや木の葉の触れ合う音の目安である20dBと同程度である³⁾。これらの特長に加え、環境に配慮した製品設計や省エネ性能をアピールすることで、環境意識の高い消費者層もターゲットとしている。

プロモーション活動の強化も重要な販売戦略の一つである。オンラインおよびオフラインの両チャネルを活用しており、オンラインではSNSやウェブ広告を通じて製品の認知度を向上させた。これにより、幅広い層の消費者にアプローチすることが可能となった。

その中の1つとして、カビ試験を実施した動画をYouTube上およびホームページ上で配信している。試験の様子を次に示す。試験は製品が入る程度の大きさ(約300mm×300mm×330mm、容量約30L)の亚克力ボックスを2つ準備し、両方のボックスに食パンとコップ

1杯の水を入れ、製品の有無によって、食パンへのカビの発生において差が出るかどうかを観測する。水はボックス内部の水分量を一定(湿度90%)以上に保つことでカビの繁殖を促進させるために入れる³⁾。片方のボックスには製品であるS201を入れ、標準モードにて常時運転させる。

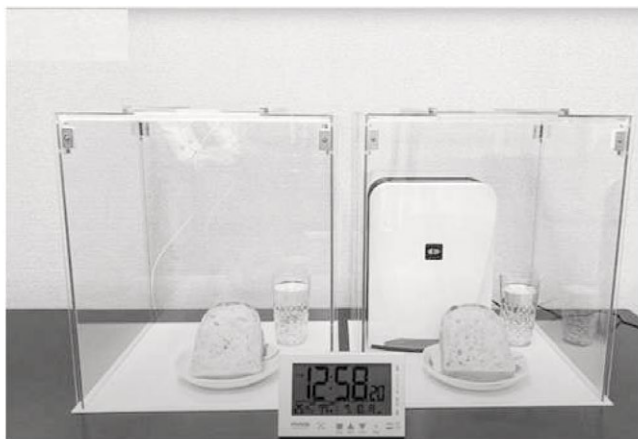


Fig.7 Condition on the first day at noon (captured from video).

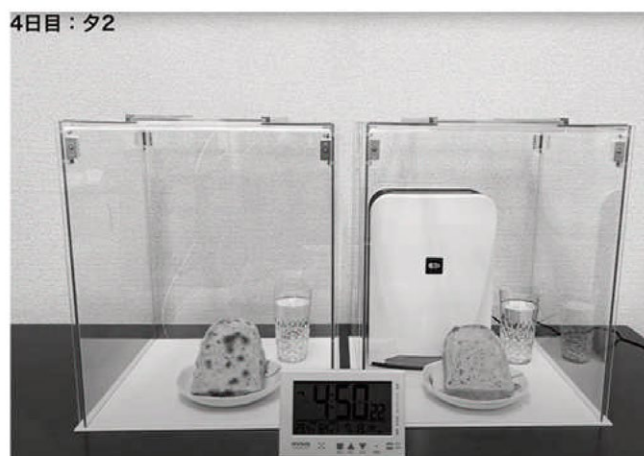


Fig.8 Condition on the fourth day in the evening. Mold appeared in the box without S201, showing a clear difference.

Fig.7は試験開始から1日目の昼の状態を示した画像である(画像は動画の一部をキャプチャしたもの)。2つのボックス内にある食パンに差は確認できない。Fig.8は試験開始から4日目の夕刻の状態を示した画像である。4日目の昼頃から夕方にかけてS201が動作していないボックスの食パンにカビが発生し、4日目の夕方

は明確な差が発生した。(画像は動画の一部をキャプチャしたもの)。

この動画をYouTubeおよびホームページ上で配信する事で、ユーザーへの販売促進を行っている。なお、この動画は製品の効果がはっきりと目に見えるので、代理店や販売店からの評価も非常に高く、ユーザーへの確実な訴求効果が期待できる。

こういった動画配信を活用した手法はオフラインの効果を発信する点にも採用している。具体的には、駅前にて一般ユーザーに声をかけ、官能試験を実施し、その反応を撮影して商業動画として配信している。撮影は、Fig.9に示すように街頭インタビュー形式で行われ、通行中の一般消費者にボックス内の臭いを嗅いでもらう方法が採用されている。街頭インタビューの案内人として、元NHKアナウンサーで紅白歌合戦の司会も務めた宮本隆治氏(Fig.10)に協力を依頼した。

試験の準備として、Fig.11に示すように容量約30Lのボックス(カビ試験と同様のボックス)を2個用意し、内部に臭いの発生源となる物質を配置した。今回は強烈な臭いを発生させるためにドッグフードを使用した。2つのボックスには同種類・同量のドッグフードを配置し、片方には停止状態のS201を設置した。

まず、被験者に何もしていない状態でボックス上部のスライド式小窓から内部の臭いを嗅いでもらった。この時、ドッグフードの強烈な臭いにより被験者は鼻をつまみ、眉間にシワを寄せて顔全体を歪めるなどの表情を示した。次に、Fig.12に示すようにS201の電源を入れ、標準モードで1分間稼働させた。その後、再度ボックス上部のスライド式小窓から臭いを嗅いでもらった。この時、製品の圧倒的な脱臭能力によりボックス内の臭いは消失し、被験者は非常に驚きの表情を示した。



Fig.9 Street interview.



Fig.10 Interviewer.

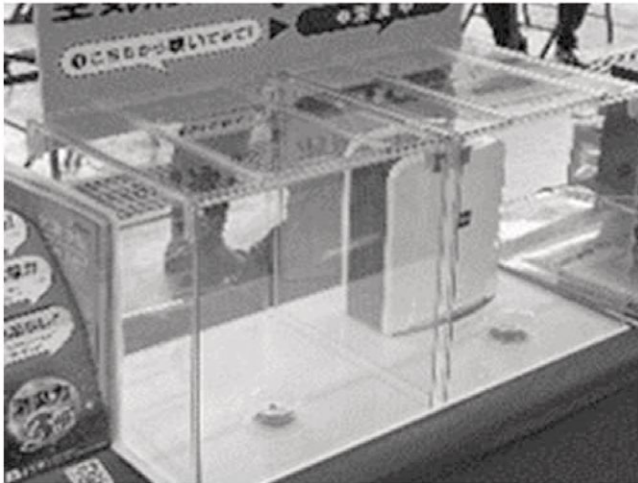


Fig.11 Demo box.



Fig.12 Turn on the product.

このおきの体感ボックスは消臭デモキットとして複数セットを準備して、色々な展示会や販売会でデモを行っている。この消臭体感の販売戦略としての効果は非常に高く、実際にユーザーに効果を体感してもらうことができるため、信頼性や製品の魅力が伝わりやすく、製品の優れた性能を直感で感じてもらっている。

今後も引き続き、さらなる市場拡大を目指し、YouTube などで動画配信を活用したオンラインでのプロモーションおよび実際に消臭効果を体感してもらうデモキットなどのオフラインの両チャネルを活用したプロモーション活動を強化する予定である。

5.3 お客様の声、市場の声

次に販売から約1年強が経過したため、市場でのお客様の声をまとめる。今回は1つのECサイトの商品レビューをまとめる。レビュー総数は2024年9月時点で100件強あり、評価としては星5点満点中で平均して4.53点と非常に高い評価を頂いている。主なコメントの件数としては、臭いに対して効果が高いと言及しているものが、約30件で件数としては一番多い。次に多かったのは使いやすさについてで、15件あった。またコンパクトさに関して12件、フィルター交換無し10件、省エネ8件、アレルギー3件とそれぞれで高評価のコメントを頂いている。具体的なコメントとしては、消臭に関しては、ペット臭が完全に消えた、介護臭が気にならなくなったなど非常に嬉しく、有難いコメントを頂いている。また、フィルター交換が不要で経済的、コンパクトで持ち運びが便利、小型で軽量なのでどこにでも置ける、ボタンが少なく操作がシンプルで使いやすい、弱モードでは非常に静かで寝室でも使用可能といった声を頂いている。

これらのコメントから、販売戦略として強く訴求してきた、要素技術に関する箇所や、技術的に自信を持ってアピールしてきている箇所がお客様にしっかりと届いていて、受け入れられていると考えられる。

コメントとしては、当然ポジティブな意見だけではなく、ネガティブなものも頂いている。

具体的な件数と内容は、騒音に関してが5件(ターボモードでは運転音が大きい、軽自動車が頑張っているような音がする等)。デザインに関してが3件(デザインがシンプルすぎる、おもちゃっぽい等)。価格面が2件(価格が高すぎる、コストパフォーマンスが悪い等)であった。その他として、持ち運び用に取っ手が欲しいなどの意見も頂いている。これらのユーザーからのフィードバックを基に、次機種に向けた製品の改良や新機能の追加を検討し、今後の開発において、競争力を維持・向上させることを目指す。また、このような口コミの分析によりユーザーのニーズに応える製品開発が可能となり、長期的な顧客満足度の向上が期待される。

6. 結論

開発した小型空気消臭除菌装置 MC-S201 は多くの優れた特長を持つ小型空気消臭除菌装置である。

- 1) 光触媒フィルターにメタルフォームを採用し、前モデル S101 と比較して消臭性能が大幅に向上し、消臭スピード3倍を実現した。
- 2) 洗浄可能な集塵フィルターを採用し、ランニングコストを抑え、交換品を無くすことで、環境負荷の低減に寄与した。
- 3) 光源に LED を採用し、ランニングコストを抑え、省エネ性能と安全性を兼ね備えた、ユーザーにとって利便性が高く、環境にも配慮された。
- 4) オンラインでの動画配信による効果の見える化や消

臭デモキットによる効果の体験など、ユーザーの心を掴む取組で売上向上に繋がるような販売戦略を実行した。

今後の課題としては、ユーザーからのフィードバックを基にしたさらなる製品改良が挙げられる。具体的には、静音性の向上や、より使いやすいデザインの追求が必要となる。本開発の成果は、環境負荷の低減や持続可能な社会の実現に寄与するものであり、今後の技術開発において重要な基盤となることが期待される。

空気清浄機は、冷蔵庫や洗濯機のように生活において必須な家電ではない。そのため、空気清浄機の普及率は頭打ちの状況にある。このような背景の中で、私たちが空気清浄機を生活必需品とするためには、従来とは全く異なる発想が必要である。例えば、「頭が良くなる空気清浄機」や「痩せる空気清浄機」などのコンセプトが挙げられる。技術的な実現方法は現時点では明確ではないが、そのような革新的なアイデアを実現するための開発を進める必要がある。

参考文献

- 1) GlobeNewswire. “Air Purifier Sales Surge in the U.S. Amid the COVID-19 Pandemic.”
GlobeNewswire, January 26, 2021.
<https://www.globenewswire.com/news-release/2021/01/26/2164712/0/en/Air-Purifier-Sales-Surge-in-the-U-S-Amid-the-COVID-19-Pandemic.html>
- 2) 柴田 将貴：フジコー技報 No.31(2023),p.32
- 3) 日本電機工業会：「空気清浄機 性能評価基準および試験方法」. JEM1467, 2022 年. 附属書 D『浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験』
- 4) 日本照明工業会.“LED 照明ナビ ”
https://www.jlma.or.jp/led-navi/contents/cont09_mercuryLamp.htm
- 5) 山本産業株式会社.“MUTE”
https://mute-place.com/blogs/bouon/20db?srsltid=AfmBOorwN9t0MiAJLft_thefh7_FV202GKpPuw95xqRtGMzb08uixUqq
- 6) 文部科学省.“カビ対策マニュアル実践編 1-4 温度・湿度データの記録と解析 ”
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/003/houkoku/08111918/003.htm

ニオイセンサー制御手法の開発

Development of Odor Sensor Control Method

技術開発センター
第二開発室
今井 靖
Osamu Imai

技術開発センター
第二開発室 室長
柴田 将貴
Masaki Shibata

技術開発センター
第二開発室 リーダー
森次 晋介
Shinsuke Moritsugu

技術開発センター
第二開発室 上席主任技師
濱崎 啓司
Keiji Hamasaki

技術開発センター
開発管理室
盛満 幸輝
Kouki Morimitsu

1. 緒言

室内の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds) による、「シックハウス症候群」が注目され¹⁾、室内空気質の管理は重要な課題である。空気清浄機は、これに対処するために広く使用されており²⁾、空気中の有害物質や不快な臭気を除去する役割を担っている。

当社の空気清浄機に搭載されているニオイセンサーは、周囲の空気質を監視し、ニオイ成分が検出された場合に、動作を制御するための重要なコンポーネントである。現在、センサーメーカーが推奨する制御プログラム³⁾では、ニオイセンサーの出力が特定のニオイ判定値 (任意の定数) を越えた場合に、臭気が存在すると判定し、空気清浄機の動作を制御する仕組みが採用されている。

しかし、このニオイ判定値による制御では、ニオイ判定値に到達しない入力に対しての不感帯が発生し、ニオイに対するセンサーの反応速度に限界がある。

本稿では、センサー出力をサンプリングし、離散データの変化量を使って、より動的な制御の検討と、制御プログラムの開発を行う。具体的には、センサー出力の時間変化を監視し、単位時間あたりの変化量を制御モデルに組み込むことで、ニオイをより迅速に検出し、空気清浄機の動作を効率的に制御することを目指す。この制御により、空気清浄機がニオイに対しての適切な動作を行い、使用者の快適な環境の維持とともに、ニオイ除去効率の向上も期待する。

2. ニオイセンサーについて

2.1 半導体式ニオイセンサー

本稿で使用したニオイセンサーは半導体式ニオイセンサー (以下、ニオイセンサーとする) と呼ばれ、酸化物質半導体から構成されており、揮発性有機化学物質やアンモニア等のニオイ成分がセンサー表面の酸素分子を奪い、電気抵抗が変化することで、ニオイ成分を検知する。具体的には、清浄空間においてはセンサーの抵

抗値は高い値を示し、ニオイ成分が存在する空間においてはセンサーの抵抗値は低くなる。このニオイセンサーには、小型で高感度、低コスト等のメリットがあり、家庭や工業用のガス漏れ検知や空気清浄機に広く使用されている。しかし、ガス種の選択性の低さ、温湿度や長時間使用が起因するセンサー出力のドリフトというデメリットもある。

2.2 ニオイ判定値による制御について

制御の入力としてセンサー抵抗値の比を用いる。この比は、清浄空間における抵抗値を基準とし、ニオイ成分が存在する空間における抵抗値との比をとる。その後、この比とニオイ判定値を比較することにより、ニオイの有無を判定する。制御の対象は、空気清浄機の動作であり、主に動作モードを決定する。

さらに、ニオイセンサーの制御マニュアルには、ニオイ判定値の参考値が記載されている。例えば、空気清浄機の動作モードが3パターンある場合、ニオイ判定値は0.85と0.76になる。つまり、弊社の空気清浄機製品に組み込むのであれば、センサー抵抗値の比がニオイ判定値0.85を超えた場合に弱モードから中モードに遷移し、0.76を超えた場合には中モードから強モードに遷移することになる。

また、センサー抵抗値の算出は、センサーの検出抵抗に印可されている電圧値を用いる。下記に制御モデル (1) と、抵抗値の比の算出式 (2) を記載する。

制御モデル

$$u = \begin{cases} 2 & (K_{St} > R_{ref}) \\ 1 & (K_{th} > R_{ref}) \text{ AND } (R_{ref} \geq K_{St}) \\ 0 & (R_{ref} \geq K_{th}) \end{cases} \quad (1)$$

u : 空気清浄機の動作モードを示す変数
 K_{th}, K_{St} : 設定したニオイ判定値
 R_{ref} : センサー抵抗値の比

センサー抵抗値の比の算出式

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) R_L$$

$$R_{ref} = \frac{R_s}{R_o} \quad (2)$$

R_{ref} :ニオイ成分の存在する空間における抵抗比

R_s :現在の抵抗値

R_o :清浄空間における抵抗値、 R_L :検出抵抗

V_c :駆動電圧、 V_{RL} :検出抵抗にかかる電圧

3. 実験方法

3.1 ハードウェア

センサー部を構成しているハードウェアの回路図を Fig.1 に示す。ニオイセンサーは NISSHA 製 SP3S-AQ2-01 を使用し、センサーへの電源供給は安定化電源 A & D 製 AD-8724D を使用し、DC 5 V を印可した。また、センサー出力をロガーで記録した。ロガーは OMRON 製 ZR-RX25A を使用し、サンプリング間隔を 500 ms とした。

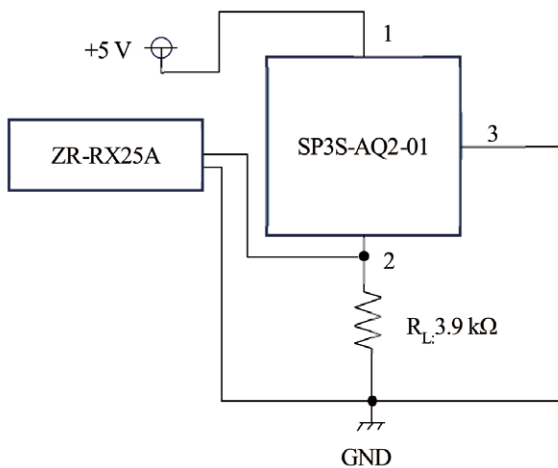


Fig.1 Schematic of odor sensor circuit.

3.2 評価ガスとガス濃度について

評価ガスはアンモニア (900-1000 ppm) を使用し、ガス濃度の測定には検知管 (北川式:アンモニア検知管 105SD) を用いた。

Table1 にアンモニアの臭気情報を記載する。ヒトがニオイを感知した際、空気清浄機もニオイを検知することを期待し、実験におけるアンモニア濃度は 0.6 ppm を最大値とする。

また、Table1 の「Odor intensity」とは、ヒトが感じるニオイの程度の指標であり、悪臭防止法⁴⁾で定められている。臭気強度 2 とは「何のニオイか分かる弱いニオイ」に相当し、その時のアンモニア濃度は 0.6 ppm となる。臭気強度とニオイの程度を Table2 にまとめた。

Table 1 Odor intensity and concentration of ammonia

Odor intensity	1	2	3	4	5
Concentration [ppm]	0.1	0.6	2	10	40

Table 2 Odor intensity to odor

Odor intensity	Odor
0	Odorless
1	Barely detectable odor
2	A weak odor that can be recognized
3	An easily detectable odor
4	Strong odor
5	Intense odor

3.3 実験方法

ガスバッグ (5 L) を用意し、この中にニオイセンサーを置く。ガスバッグ内の初期ガス濃度の調整を混合空気 (窒素 :79%、酸素 :21%) で行い、ロガーでセンサー出力の記録を開始する。その後、アンモニアを所定量注入する。注入後、検知管を用いてガスバッグ内のアンモニア濃度の測定を行う。アンモニア濃度の条件を、0.2 ppm、0.4 ppm、0.6 ppm とする。90 min 経過後、再度検知管でアンモニア濃度の測定を行うことで、ガスバッグ内の濃度が一定であることの確認をする。

4. 実験結果と考察

4.1 ニオイセンサーの感度評価

Fig.2 に、初期ガス濃度におけるセンサー抵抗値を基準とし、アンモニア注入後センサー抵抗値との比を示す。60 min 経過した地点におけるセンサー抵抗値の比は、アンモニア濃度が 0.2 ppm では 69 %、0.4 ppm では 64 %、0.6 ppm では 56 % であった。アンモニア注入直後とその 90 min 後に、検知管でアンモニア濃度を測定し、ガスバッグ内の濃度が一定であったことを確認した。微量なアンモニア濃度の差に対しても、センサー抵抗値の比に差が生じていることから、感度が高いことが確認できた。センサー抵抗値の変化の大きさはアンモニア濃度に依存すると考えられる。

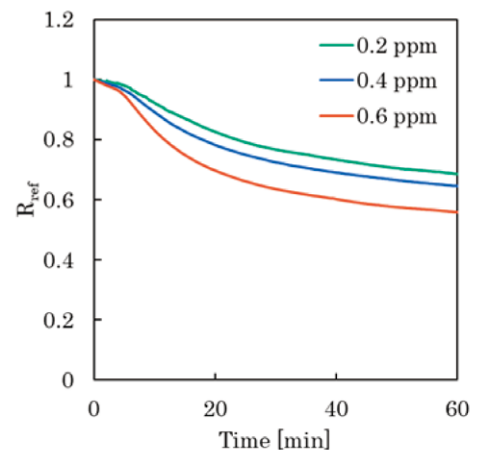


Fig.2 Variation of odor sensor resistance ratio with ammonia concentration.

また、2.2 節で記載したニオイ判定値を参考にし、空気清浄機がニオイを検知するまでの時間を確認した。ニオイ判定値 0.85 としたときの時間は、0.2 ppm で 17.2 min、0.4 ppm で 13.1 min、0.6 ppm で 9.1 min となる。またニオイ判定値 0.76 においては、0.2 ppm で 30.3 min、0.4 ppm で 22.3 min、0.6 ppm で 13.7 min となる。濃度が高い方がセンサー抵抗値の変化が急であり、空気清浄機がニオイ検知にかかる時間も早いことが分かる。これは、濃度に対応してセンサー表面のニオイ成分が多いことに起因すると考えられる。

4.2 センサー出力の単位時間あたりの変化量評価

Fig.3 に、Fig.2 のグラフの単位時間あたりの変化量を示した。マイコンでの処理を想定し、単純な単位時間あたりの変化量の式 (3) を用いて変化量を算出している。式 (3) の $t_2 - t_1$ (以下、二点間の時間差分とする) は 5 min である。単位時間あたりの変化量で示した場合、センサーの反応には変曲点があることが観察できた。アンモニアの注入直後から、急激に変化量が大きくなっており、その後は徐々に小さくなっている。これについては、全ての濃度で確認できており、ニオイセンサーのガスに対する挙動だと推察する。

また、変曲点においての変化量は、0.2 ppm では -0.012、0.4 ppm では -0.015、0.6 ppm では -0.023 であった。これは、4.1 節で記載した内容と同様に、アンモニア濃度に依存していると考えられる。

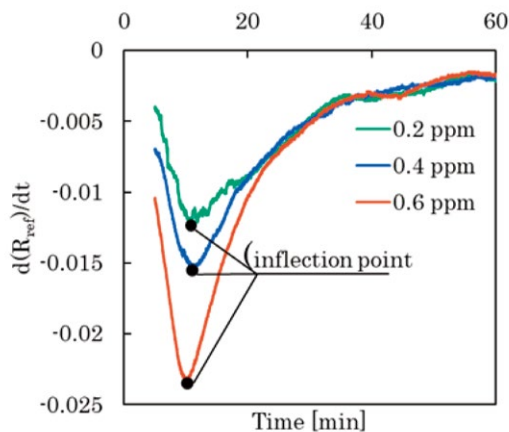


Fig.3 Change per unit of time in resistance ratio graph.

単位時間あたりの変化量の式

$$\frac{dR_{ref}}{dt} = \frac{R_{ref2} - R_{ref1}}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

4.3 考察

ニオイセンサーは、ニオイ成分が多いとセンサー抵抗値の比の変化が大きいことが分かった。ニオイ判定値による制御は、センサー抵抗値の比に対して閾値を設

けているため、ニオイの検出を安定して行える制御だと言える。また、センサー抵抗値の比が変化する過程を単位時間あたりの変化量で観察したところ、変化量の大きさに関係なく、ニオイに対してセンサーが反応したと推測できる挙動を確認できた。この挙動は、ニオイ判定値による制御の不感帯となるデータを採用できるので、比較的早くニオイを検出できることを示唆している。

以上のことから、センサー抵抗値の比を単位時間あたりの変化量で観察し、それに基づいて制御を行うプログラムを作成する。そのために、Fig.3 に示す変曲点に至るまでの過渡状態を検出する必要がある。これを実現するために、変化量の絶対値が単調増加し続ける時間を検出する方法を検討した。Fig.4 には、この検出対象となる時間 T を示している。

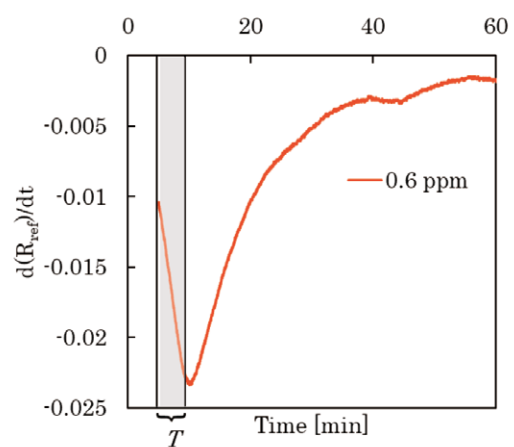


Fig.4 Detection of transient state T .

5. 制御の検討

5.1 データ処理に関して

単位時間あたりの変化量の観察のために用いた式 (3) は、曲線に当てはめた場合、二点間の時間差分によってデータの分解能が決まる。さらに、マイコンでニオイセンサー等のアナログデータを扱うにあたっては、ハンチングや不感帯、遅れ、ヒステリシス等についても注意する必要がある。よって、センサー抵抗値の比の単位時間あたりの変化量に対して、 T が検出できるようにデータ処理を行った。以降、センサー抵抗値の変化が最も大きく、過渡状態の検出が容易であると考え、Fig.3 の 0.6 ppm のデータを取り扱った。

5.2 二点間の距離の決定

二点間の時間差分を条件としてデータ処理を行った。条件は 0.5 min、1 min、3 min、5 min とする。処理結果を Fig.5 に示す。変曲点までの過渡状態の検出を目的とし、開始から 10 min までを観察する。二点間の時間差分が 0.5 min と 1 min においては、ハンチングが確認でき、3 min と 5 min においては比較的少ないことが確認できた。また、データの遅れは 5 min が最

も遅れており、0.5 min が最も早いことが確認できた。評価項目を、 T が検出できることとした。ハンチングが少なく、遅れが少ないことから、二点間の時間差分は 3 min を選択した。

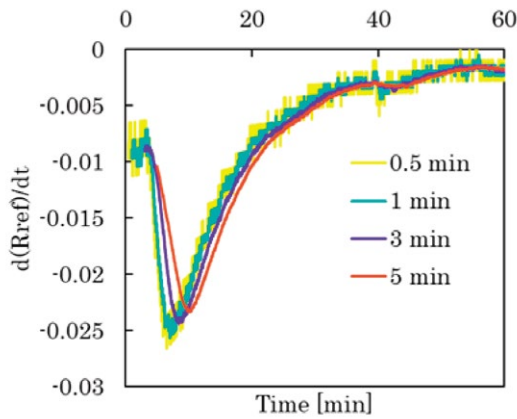
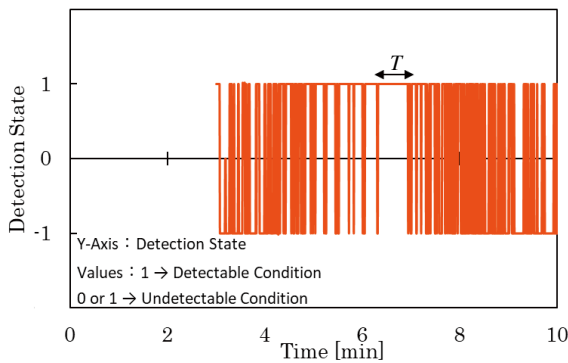


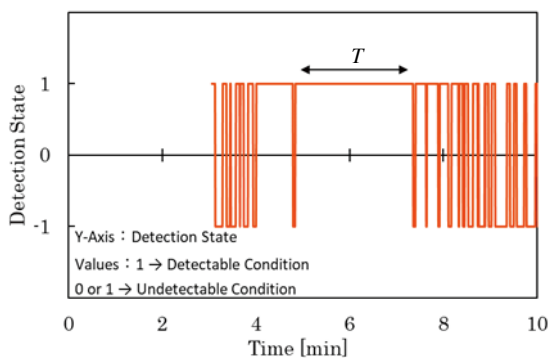
Fig.5 Processing results per unit time.

5.3 移動平均によるデータ処理

5.2 節で決定した 3 min のデータに対して、移動平均でフィルターをかけた。移動平均とは、時系列のデータに対して、直近もしくは前後の n 個のデータの平均を計算して新しいデータとすることで、元のデータの特徴を残したまま、平滑化したデータを得ることができる計算方法である。



(a)



(b)

Fig.6 Results from filtering. (a):No filtering, (b):Filtering

さらに、フィルターをかけたデータとそうでないデータに対して、 T が検出可能であるか否かの状態を出力させることを考える。具体的には、それぞれのデータに対して、時間軸においての過去のデータと現在のデータを比較する。現在の単位時間あたりの変化量の絶対値が大きくなっていった場合に 1 を、小さくなっていった場合は -1、同じ場合であれば 0 を出力させる。つまり、出力が継続的に 1 であれば、グラフの変化量の絶対値が単調増加していることを示し、 T の検出が可能になる。結果を Fig.6 に示す。移動平均の計算には直近の 8 個のデータを採用した。

変曲点までの過渡状態を観察するため、グラフの時間軸の最大を 60 min から 10 min に変更した。グラフより、フィルターをかけたデータの方が、かけていないデータに対して、1 の出力が継続していることが分かる。これは、フィルターによって、ハンチングが低減したと考えられる。また、 T は 2 min 以上であることが確認できた。このことから、5.2 節と 5.3 節の処理で、過渡状態を検出するためには T を 2 min 以上とすることが望ましいと考えられる。

5.4 単位時間あたりの変化量を観察する制御モデル

以上のことから、変曲点までの過渡状態を検出するためには、 T を 2 min 以上継続することで実現される。以下に制御モデル (4) を記載する。ここで、5.2 節と 5.3 節の処理はデータの処理でありモデルには記載しない。

$$u = \begin{cases} 1, & (t \geq T) \\ 0, & (t < T) \end{cases} \quad (4)$$

u : 空気清浄機の動作モードを示す変数

T : 2 min を表す定数

t : 4.2 節の T の継続時間

6. 比較実験

ニオイ判定値を用いた制御と単位時間あたりの変化量を観察する制御において、それぞれがニオイを判定する時間を計測する。当社の空気清浄機 (MC-S201) に制御プログラムを書きこみ、試験を行った。試験方法については、3.3 に記載した内容と類似しているため、変更点のみ記載し、その他は省略する。変更点は 3 点あり、①評価濃度はアンモニア 0.6 ppm のみであり、②センサーへの電源供給を空気清浄機から行い、③ロガーでの出力を分岐させ空気清浄機に入力することである。ニオイ判定をした場合、本体動作モードが遷移するようにプログラムを作成しており、目視によってニオイ判定時間を計測した。結果を Table 3 に記載する。

ニオイ判定値による制御より、単位時間あたりの変化量を観察する制御の方が 1.7 min (19.3%) 早くニオイを検出した。これは、ニオイ判定値には不感帯となるデータにおいて、センサー抵抗値の比を単位時間あたり

の変化量で確認する制御方式が有効であったためであると考える。

Table 3 The Results of the detection time experiment

Contoroll program	Odor detection time [min]
Odor detection threshold	8.8
Amount of change per unit time	7.1

7. 結論

これまでに得られた実験結果を要約すると、次の通りである。

- 1) ニオイセンサーはアンモニア濃度 0.2 ppm の差を検知しており、感度が高いことが確認できた。
- 2) ニオイに対するセンサー抵抗値の比を単位時間あたりの変化量にして観察した場合、変曲点を確認することができる。この変曲点に至るまでの過渡状態を検知することで、ニオイを検出することができる。
- 3) ニオイ判定値による制御と比較して、単位時間あたりの変化量を観察する制御は、アンモニア 0.6 ppm の検出が 19.3 % 早い結果となった。

今後は、他のガス種や実験環境を増やし、センサーに関するデータを更に収集する。また、本稿では行えなかったが、ニオイ判定値と、単位時間あたりの変化量を観察する制御の両方を組み、最適なニオイセンサーの制御を作成したい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：特集健康建築 シックハウスから健康住宅へ 建築雑誌 第117巻 第1491号(2002)
- 2) 池田耕一：室内空気汚染に対する建築的対応 臨床環境医学：日本臨床環境医学会会誌(1998)19-26
- 3) フィガロ技研株式会社 HP「動画でわかる!ガスセンサ 解説動画 1-6」
<https://www.figaro.co.jp/movie/>
- 4) 悪臭法令研究会：四改版 ハンドブック悪臭防止法(2001)

異種材料接合技術の開発

Development of Dissimilar Materials Joining Technologies

技術開発センター
第一開発室 主任技師
博士 (工学) 牟 用煥
Yonghwan Mo

技術開発センター
開発管理室
舩添 太一
Taichi Masuzoe

技術開発センター
第一開発室 室長
博士 (工学) 園田 晃大
Akio Sonoda

技術開発センター
第一開発室 主任技師
福永 勝彦
Katsuhiko Fukunaga

技術開発センター
第一開発室 技師
近藤 加寿心
Kazushi Kondou

要 旨

本研究は、異種材料の接合強度を向上させることを目指している。近年、宇宙関連と自動車等の省エネルギー化において軽量化と高機能化が求められる中で、複合材料の使用が増加しているが、異種材料の効果的な接合技術の確立はまだ不十分である。今回は、摩擦重ね接合 (FLJ) を利用し、アルミニウムと熱可塑性および熱硬化性 CFRP の接合を行った。専門的なツールと治具を設計・製作し、材料を固定するための治具も設置した。さらに、ブラスト処理を施すことで接合強度が大幅に向上した。アルミニウムと CFRP の接合において、強力で耐久性がある接合が確認され、これにより、FLJ の技術が異種材料接合において高い有効性を持つことが示された。今後、接合条件のさらなる最適化、性能評価の継続、および特定のニーズに応じた製品開発を進めていく。

Abstract:

This research aims to improve joining techniques for dissimilar materials. In recent years, as the demand for lightweight and high-performance materials has increased, the use of composite materials has also risen. However, the establishment of effective joining techniques for dissimilar materials remains inadequate. Utilizing friction lap joining (FLJ), we joined aluminum with both thermoplastic and thermoset CFRPs. Specialized tools and fixtures were designed and manufactured. Additionally, joining strength was significantly enhanced through blast surface treatment. In the joining of aluminum and CFRP, strong and durable joints were achieved, showing the high effectiveness of FLJ technology in dissimilar material joining. From now on we will continue to optimize joining conditions, evaluate performance, and develop products for specific needs.

1. 緒言

人工衛星や飛行機などの構造部品では軽量化と強度向上が重要な課題となり、コストの削減やペイロードの増加、長期間の運転などに直結している。CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維樹脂) と金属の異種材料の接合は、部材の高機能化、軽量化と強度向上の課題を解決するための重要な開発である。異種材料を接合することで、金属の強度や耐久性を維持でき重量の軽減が可能になり、熱膨張率の違いや振動などの問題を解決し、安定性を確保することもできる。一方で、CFRP と金属を効果的に接合するための技術開発や、最適な材料組み合わせの探求、維持管理や耐久性の向上などが課題となっている¹⁾。

現在、航空機等で使用されている CFRP は、ボルトやリベット等の機械的接合や接着剤を用いた接着接合により接合されている。金属材料同士に接合した場合と比較して、せん断破断力及び引張り破断力が低下する傾向である。CFRP と金属の異種材料の強固な接合は、今後、航空宇宙産業以外の様々な分野でも活躍が期待される。

2. 金属・樹脂異種材料接合

樹脂・CFRP と金属との異種材料接合法として、接着剤を用いる接着法、リベットなどの機械的締結法、金属材料を加熱して樹脂を溶融して接合する熱圧着 (融着) 法などがある。近年、接着剤やリベット等を用

いずに、金属と樹脂等を直接接合する方法も求められており、熱圧着法において、レーザ加熱や摩擦発熱を用いる方法が提案されている。

このように接合処理の信頼性・コスト等の問題、多様な金属種に対応できない等から、幅広い普及には至っておらず、信頼性の高い高強度で低価格の「異種材料接合技術」が望まれていた。

2.1 開発目標

金属と樹脂の異種材料接合には、異なる熱膨張率、熱影響部、表面処理、形状による接合などの課題がある。これらの課題を解決するため、新たな接合方法を開発する。特に、材料選定、接合パラメータの最適化、接合設計、表面処理に注力し、接合部の品質向上を目指す。

開発目標は、以下の2点とした。

- ①接合部の破壊レベルを2kN以上の接合強度に達すること
- ②接着剤や機械的締結による接合品に比べ、1.2倍以上の接合耐久性を実現すること

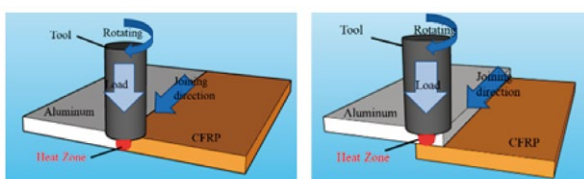
さらに、本研究開発により「高強度」「軽量化」を同時に満たす接合技術を開発し、宇宙・航空機、自動車、建設分野での利用を目指す。

3. 実施内容及び考察

3.1 FSW, FLJ 接合

金属同士の摩擦攪拌接合 (FSW 接合、Friction Stir Welding) は、Fig.1(a) に示す。ツールと呼ばれる回転体を摩擦熱により軟化した金属に挿入し、ツールのショルダー部とプローブにより金属を攪拌することで接合を行う。

これに対し摩擦重ね接合 (FLJ 接合、Friction Lap Joining) は、金属とCFRPの両材料間の攪拌の必要が無く、プローブありとプローブなしのフラットなツールを用いて接合を行うことが可能であり、接合時にツールのプローブの摩耗やショルダー部の変形が生じにくい。ツールと金属の摩擦発熱を利用した重ね接合法である。その概略図をFig.1(b)に示す。ツールの回転と押し付けることから摩擦発熱により金属表面を加熱し、その熱伝導により接合界面の樹脂を熔融する方法であり、ツールを移動させることにより金属と樹脂の連続した重ね継手が得られ、密着性に優れ、良好な継手強度が得られる²⁾。



(a)FSW joining (b) FLJ joining

Fig.1 Schematic image of friction joining.

3.2 FSW 装置への改造

FSW と FLJ 接合試験には、ツールの固定と回転、ツール移動が必要である。当社の摩擦肉盛り装置 (日東制機株式会社製、HFC-35 III -2.0) と 3 次元加工機 (碌々スマートテクノロジー株式会社製、HC-658 II) の改造を行い、接合試験治具と回転ツールも設計・製作した。改造した装置の試験の結果、アルミ板 (JIS A5052-H112) 2 枚の FSW 接合が可能になった。その接合品を Fig.2 に示す。



Fig.2 FSW joined aluminum plates. (A5052)

3.3 FLJ ツール

直径 20mm 回転ツール (超硬製) のプローブのありとなしの影響も確認した。Fig.3 に示したプローブ (直径 8mm, 長さ 3mm) 有りおよびプローブなしのツールを用いて FLJ 接合を行った。

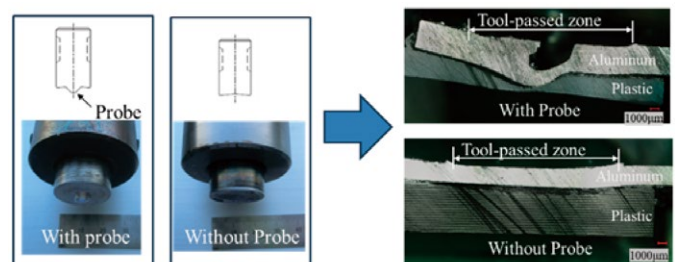


Fig.3 Appearance of the tool and cross section of the joint.

その継手の断面写真を Fig.3 に示す。プローブ有りのツールを用いて接合した場合では、アルミ板上のツール通過部に溝状の欠陥が形成され、プローブの挿入により変形したアルミ板が樹脂側に大きく押し込まれた。これは樹脂が熔融して、変形に対する抵抗が小さくなり、プローブが挿入されることで形成されたと考えられる。また、アルミと樹脂の両材料間の攪拌部は形成されていない。これに対し、プローブ無しツールでは、ツール通過部に欠陥は認められず、強固な接合継手が得られることが明らかになった³⁾。以上の内容から、今後の接合試験はプローブなしのツール利用する。

3.4 熱可塑性 CFRP とアルミの FLJ 接合

FLJ 接合では、FSW 接合同様に送り速度、ツール回転速度およびツール押し付け荷重 (挿入深さ) によって入熱が変化し、入熱に依存してアルミ (A5052) と CFRP の接合強度は変化する。そのため、最適接合条

件を探し、その接合強度などと比較しながら検証する必要がある。

3.4.1 最適 FLJ 接合条件

アルミ (A5052) と熱可塑性 CFRP の FLJ 接合における回転および送り速度の影響を調べた。なお、大きさはアルミ (A5052) と熱可塑性 CFRP ともに 150mm × 100mm × 2mm とした。CFRP としては、ポリアミド 66 (PA66) に 20% の炭素繊維を添加した試作熱可塑性 CFRP 板を使用した。Fig.4 には、回転速度が 2000rpm と一定にし、送り速度が 400、1200、2000mm/min の場合のアルミと熱可塑性 CFRP の FLJ 接合界面の温度変化を示す。

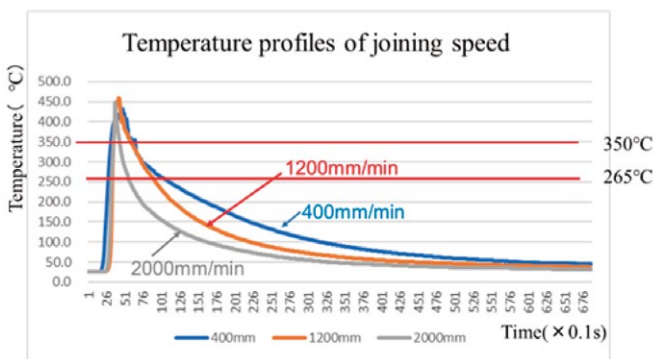


Fig.4 Temperature profiles of the joint by joining speed. (Joining conditions: tool rotation 2000 rpm, insertion 0.9 mm, tilt angle 3 degrees)

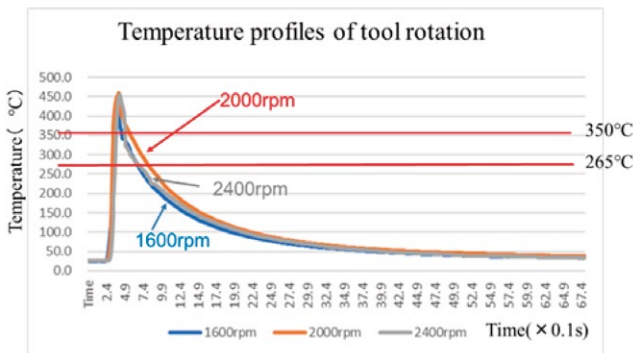


Fig.5 Temperature profiles of the joint by tool rotation. (Joining conditions: joining speed 1200mm/min, insertion 0.9 mm, tilt angle 3 degrees)

そして、Fig.5 には、送り速度が 1200mm/min 一定で回転速度が 1600rpm、2000rpm、2400rpm の場合の温度変化を示す。測定地点にツールが接近すると温度が急上昇し、ツール通過後は速やかに低下した。どの送り速度でも、ツール通過部の中央での最高温度は約 450°C であり、送り速度の差による最高到達温度の大きな違いは見られなかった。ただし、最高到達温度は、熱可塑性 CFRP のマトリックスである PA66 の融点 (265°C) および熱分解温度 (350°C) を上回っている。この温度以上に加熱される時間は送り速度が増加すると

短くなる。したがって、送り速度の増加とともに熱可塑性 CFRP の熱分解は抑制されるが、その一方で PA66 が溶融状態でアルミに密着する時間は短くなり、濡れ広がり面積が減少し、界面の反応時間が短くなるため、接合面積が減少する傾向がある。

いずれの送り速度でも、ツール通過部では軟化したアルミと熱可塑性 CFRP がツールの押し付け荷重によって下凸型に変形した。送り速度が低下すると、Fig.6 に示すように変形量が増加し、溶融した熱可塑性 CFRP がツール通過部の外側に押し出される量が増加し、熱可塑性 CFRP の板厚も減少した。

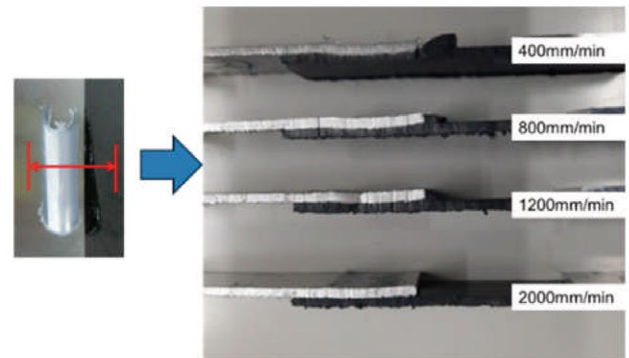


Fig.6 Comparison of cross sections by joining speed. (tool rotation:2000 rpm)

3.4.2 引張り試験結果

各条件で接合した接合品について引張り試験を行う。その引張り試験結果と条件との比較で最適接合条件を検証した。Fig.7 に示すように接合品から引張りせん断試験片を製作する。

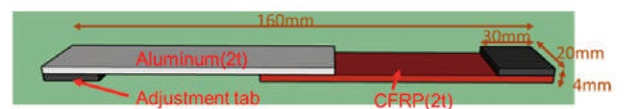


Fig.7 Test piece for tensile shear test.

引張りせん断試験片は、継手を接合方向と垂直に幅 20mm の短冊状に切り出した試験片である。試験に際しては、曲げモーメントの発生を防ぐため試験片にスペーサを固定して、継手の接合方向と垂直に荷重を加え、破断に至るまでの最大荷重を測定する。なお、継手の引張り方向は CFRP 板の短手方向に一致する。引張り試験は、クロスヘッドスピード 2mm/min にて、それぞれの接合条件で接合した継手に対して、2~4 回ずつ引張りせん断試験を行いその結果を Fig.8 に示す。

いずれも熱可塑性 CFRP 板の母材部で破断が生じ、全ての接合品は母材破壊レベルを示している。そして、熱可塑性 CFRP のみの引張りせん断荷重は 3336.4N であり、その前後の引張りせん断荷重を表している。

Fig.9 に FLJ 接合を施したアルミと熱可塑性 CFRP 継手の引張りせん断試験後の試験片のマッチング破面および破断場所と接合部との関係が明らかになる側面からの外観を示す。

主軸回転：2400rpm、送り速度：400mm/min での接合品では引張りせん断破断荷重 1675.67N で母材破壊ではなく界面の破断を示している。低速の移動により接合部の接合強度が弱くなっていると考えられる。Fig.10 はその破断部外観図を示す。

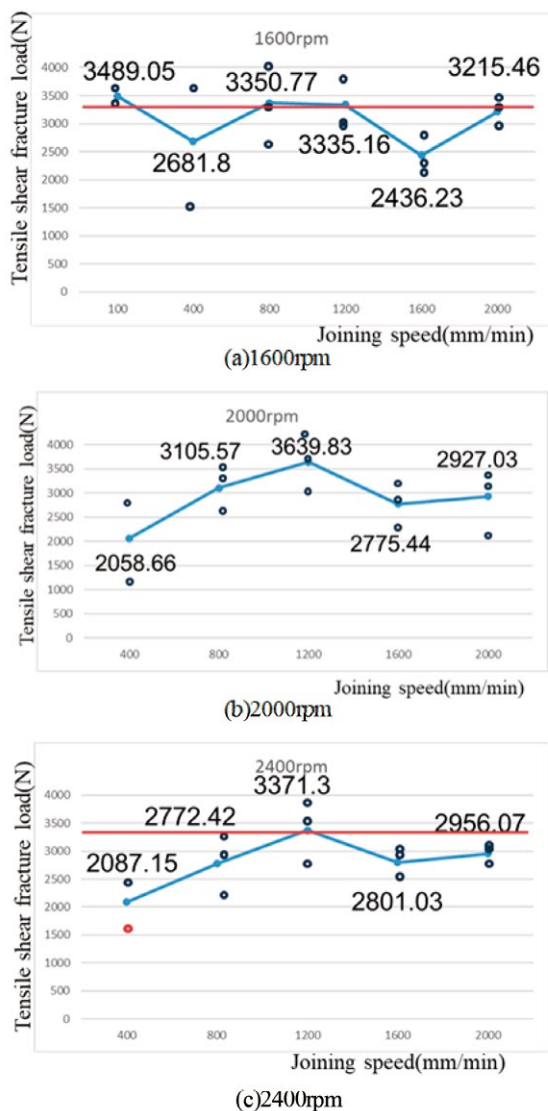


Fig.8 Results of tensile shear fracture load under each condition. (Insertion : 0.9mm, Tilt angle : 3degrees)

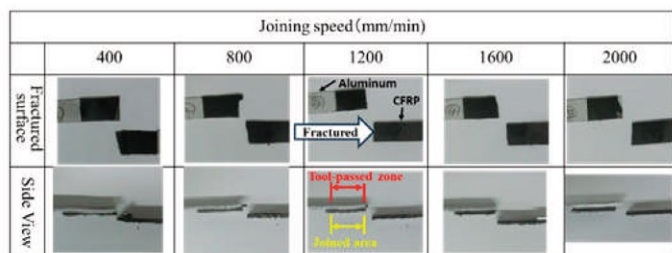


Fig.9 Fractured surfaces and side views of FLJ joints formed at various joining speeds after tensile shear test. (tool rotation:2000 rpm)

以上の結果より、熱可塑性 CFRP とアルミ (A5052) の接合では、いずれの条件でも良好な接合ができるが 2000rpm の 1200 ~ 2000mm/min が適正な接合条件である。

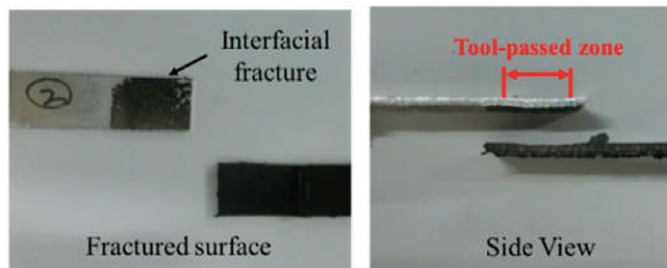


Fig.10 Fractured surfaces and side views of tool rotation 2400rpm, joining speed 400mm/min, broken part appearance.

3.5 熱硬化性 CFRP とアルミの FLJ 接合

熱硬化性の性質により予想通り接合はしなかったが、熱硬化 CFRP の表面に熱可塑性樹脂 (PA6) の接着層を有する場合には、FLJ 接合により接合可能と考えられる⁴⁾。接合部に 300 μ m 厚みの PA6 接合基材を追加で挿入して FLJ 接合を実施したところ、熱硬化 CFRP (150 × 100 × 2mm) とアルミ (A5052, 150 × 100 × 2mm) の接合が確認できた。今後、熱硬化性 CFRP を接合対象とする場合、表面への熱可塑性樹脂の接着層形成とともに、熱可塑性樹脂を介在させて接合する必要がある。Fig.11 にその接合品と接合部の断面図を示す。

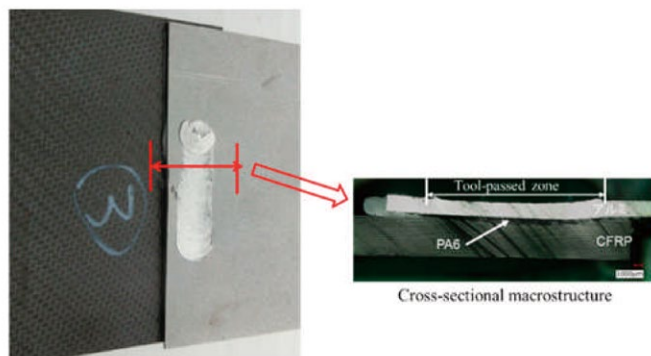


Fig.11 Cross-section macrostructure of a joint between aluminum plate and thermoplastic CFRP plate.

3.5.1 最適 FLJ 接合条件

FLJ 接合プロセス (アルミ + PA6 + エポキシ母材熱硬化性 CFRP) における接合部の温度プロファイルを Fig. 12、13 に示す。数秒程度の短時間で 400°C を超える温度まで接合部の温度が上昇可能であり、熱融着に適するポテンシャルを有することが確認できた。また、回転ツールの回転速度と送り速度に適切な接合条件範囲が存在することが確認できた。温度範囲から回転ツールの回転数が 2000 rpm 付近で、送り速度が 100 ~ 400 mm/min 付近のときに良好な接合が可能であった。

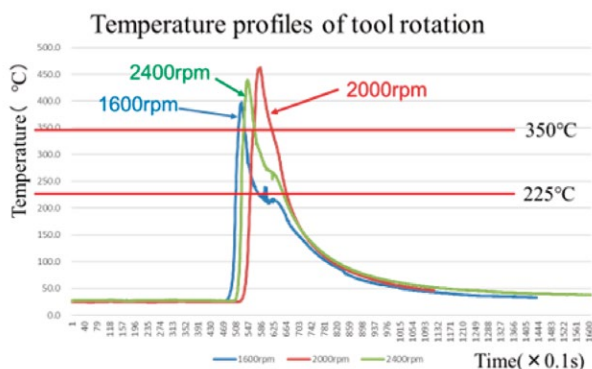


Fig.12 Temperature profiles of the joint by tool rotation.
(Joining conditions: joining speed 400mm/min, insertion 0.9 mm, tilt angle 3 degrees)

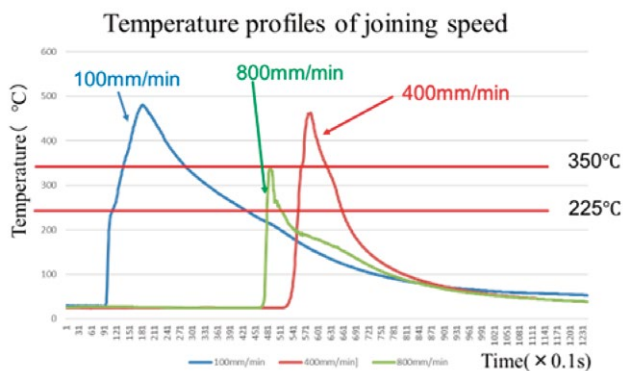


Fig.13 Temperature profiles of the joint by joining speed.
(Joining conditions: tool rotation: 2000 rpm, insertion: 0.9 mm, tilt angle: 3 degrees)

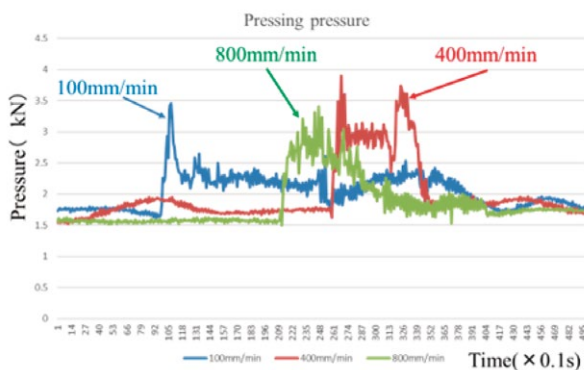
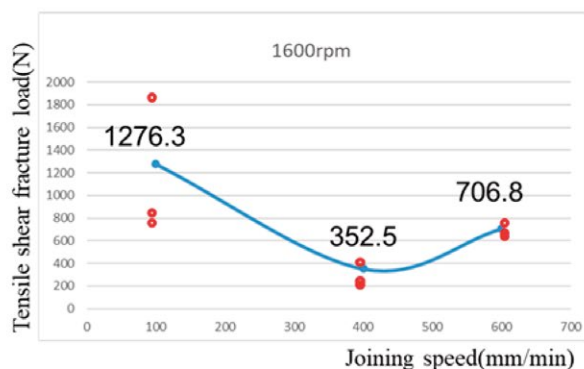


Fig.14 Change in pressing pressure with respect to joining speed.
(Joining conditions: tool rotation 2000 rpm, insertion 0.9 mm, tilt angle 3 degrees)

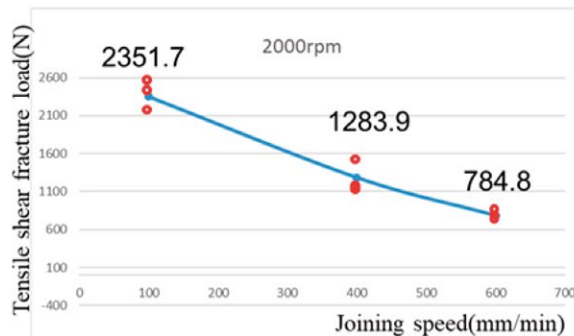
しかし、送り速度が 800 mm/min と大きい場合は、接合部への熱伝達が不十分で接合強度不足となり、接合可能ではあったものの、容易に手で剥がせるレベルの接合であった。送り速度が 100 mm/min の場合は、回転ツールから十分な熱量が PA6 シートに伝わって樹脂が熱分解し接合すると考える。そして、送り速度に対する圧力変化も確認しその変化を Fig.14 に示す。送り速度に対して押付け圧力変化はあるが、送り速度、回転などの影響はなかった。

3.5.2 引張り試験結果

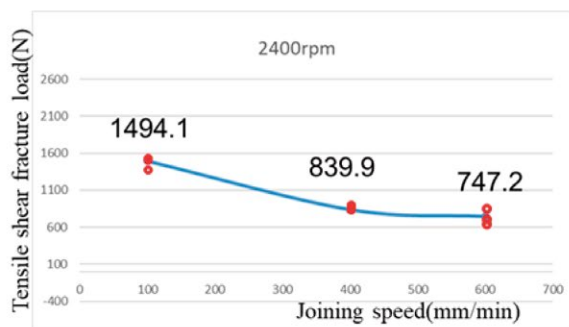
各条件での接合品の引張り試験を行った。その引張り試験結果と条件からの比較で最適接合条件が明らかになる。3.4.2 項に示すように接合品から引張り試験片を製作し試験を行った。引張り試験は、クロスヘッドスピード 2mm/min にて、それぞれの接合条件で接合した継手に対して、5 回ずつ試験を行いそのなかの最高値と最低値を除いた 3 回の結果を利用した。その結果を Fig.15 に示す。



(a)1600rpm



(b)2000rpm



(c)2400rpm

Fig.15 Results of tensile shear fracture load under each condition.
(Insertion : 0.9mm, Tilt angle : 3degrees)

いずれも熱硬化性 CFRP 板とアルミの界面の破断になっている。Fig.16 に FLJ 接合を施したアルミと熱硬化性 CFRP 継手の引張りせん断試験後の試験片のマッチング破面および破断場所の外観を示す。

CFRP の一部がアルミ表面にとられるほどの強固な接

合強度 (2.3kN) が確認できた。熱硬化 CFRP を接合対象とする場合、表面への熱可塑性樹脂の接着層形成とともに、十分な量の熱可塑性樹脂を介在させて接合する必要がある。

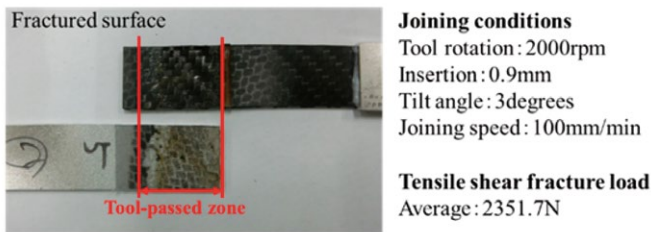


Fig.16 Appearance of the broken parts.

以上の結果より、熱硬化性 CFRP とアルミの接合では、2000rpm の 100mm/min が適正な接合条件である。その条件で製作した接合品と既存の接合方法であるボンドの接合品及び M3 ボルト接合品の比較を行った。その結果を Fig.17 に示す。

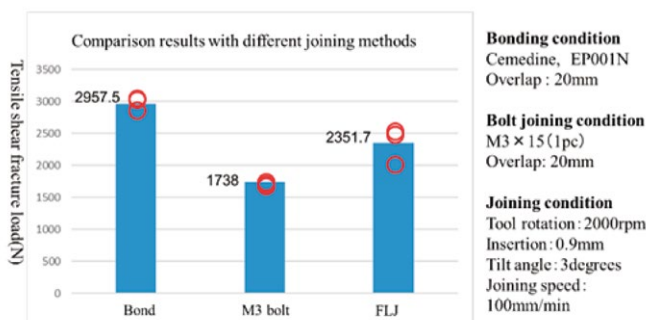


Fig.17 Comparison results with different joining methods.

結果から開発目標である接着剤接合方法 (2.9kN) の 1.2 倍の接合力は達成できなかったが、機械的なボルト接合(1.7kN) との比較では 1.2 倍の接合力を示した。今後、接合条件改善及び介在する熱可塑性樹脂の調査が必要である。

3.6 ブラスト表面処理による接合部の影響

表面処理技術を使用し、材料の界面を調整することで、アンカー効果による接合の強度や相性を向上させることができる。金属と CFRP の接合部の表面に前処理としてブラスト処理にて材料や条件に合わせた検証を行った。Fig.18 にブラスト処理の概要を示す。



Fig.18 Schematic image of blast surface treatment.

ブラスト処理の目的は、以下の 4 点である。

- ①汚れ、酸化物、錆などの不純物を取り除き表面を清浄化する。
- ②溶射材料がより良い接触を確保し、接合の強度や密着性が向上するための表面粗化になる。
- ③表面に微小な圧縮応力が生じ、表面硬度や耐摩耗性が向上し、溶射層の接合強度が高まる。
- ④表面に微細な凹凸や穴が形成され、溶射材料が溶射面により良く絡み合い、溶射層の密着性を向上させる。

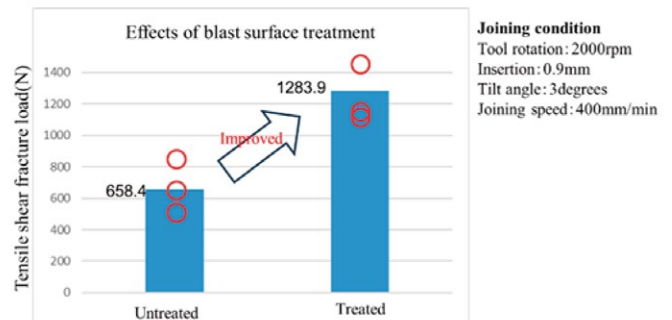


Fig.19 Effects of blast surface treatment.

そこで金属に対し表面処理を施してから接合に供し、接合後の継手の界面の構造を変化させ、さらなる強固な接合継手の形成を試みた。ブラスト表面処理を施したアルミニウム合金 (A5052) と熱硬化性 CFRP の接合品と表面処理を行ってない受入材の引張りせん断結果を Fig.19 に示す。アンカー効果の付与を狙いとしたブラスト処理の接合品の強度が 2 倍向上した。これらのアンカー効果は、アルミに対して極めて有効であると考えられる。

3.7 曲面形状の FLJ 接合

さらに、板形状ではなく曲面形状の FLJ 接合を検討した。Fig.20 に曲面形状があるアルミパイプと CFRP パイプの接合概略図を示す。ツールの回転とアルミパイプに押し付けることから摩擦発熱により差し込んでいる CFRP のパイプの接合ができる方法である。

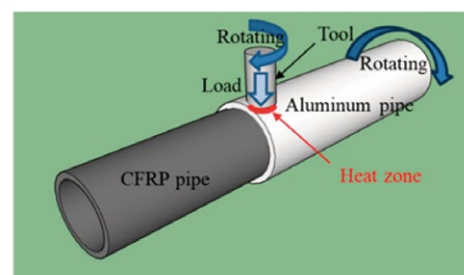


Fig.20 Schematic image of FLJ.

3次元加工機に回転装置を設置しツールを利用して接合試験を行った。Fig.21 にその様子と接合品を示す。

φ 35 アルミパイプ、PA6 シートと φ 30 熱硬化性 CFRP を利用しテストを行った。

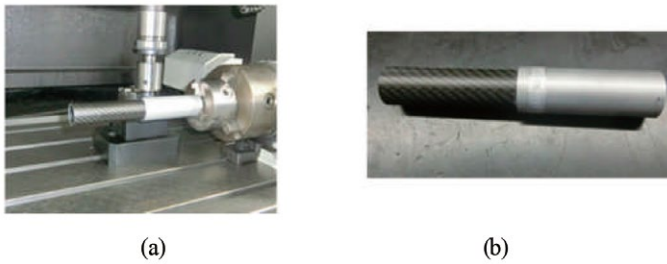


Fig.21 FLJ joining test (a) and Joined product (b).

曲面接合を行った結果、接合はできなかったが、回転ツールの加圧を均一に維持し、接合後の冷却固化までの接合部位の固定がプロセス上重要であることが分かった。特に、設備化を想定する場合、回転ツールを当てる角度が異なると、設備自体の自重が大きいため、接合部位の加圧力に影響し、加圧力の均一な維持が非常に困難になる。今後は、圧力制御と接合条件、接合強度との関係、および接合部の状態確認などの検証が必要である。

4. まとめ

ブラスト表面処理を施したアルミ (A5052) を用いて、熱可塑性 CFRP と熱硬化性 CFRP による FLJ 異種材接合を行った。表面処理および接合条件と接合特性に及ぼす影響を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) アルミ板と熱可塑性 CFRP との接合は、十分な強度を確保できた。
- 2) アルミ板と熱硬化性 CFRP との接合は、熱可塑性樹脂の介在により接合が可能になった。
- 3) アルミ板と熱硬化性 CFRP の接着剤接合方法の 1.2 倍の接合力は達成できなかったが、ボルト接合との比較では 1.2 倍の接合力が確認できた。
- 4) 接合部の表面にブラスト処理を行うことで、2 倍の接合強度や相性を向上させた。
- 5) 曲面の FLJ では、回転ツールを当てる角度の変動による加圧力の影響を確認した。

そして、今後は以下を計画している。

- 1) 異種材料の接合条件改善と性能評価を行う。
 - ・最適接合条件、接合力のばらつきなどの改善
 - ・性能としては、接着剤接合 1.2 倍の接合力を目標
- 2) 接合条件改善により、FSW 専用装置の設計と製作を検討する。
- 3) 顧客や宇宙関連企業を把握し、市場ニーズを把握する。
- 4) 顧客ニーズに合わせた製品開発を進める。

謝辞

本研究は、宇宙関連機器研究開発支援事業の一環で行ったものです。ここに改めて、ご支援とご協力いただいた福岡県半導体・デジタル産業振興会議殿、福岡県工業技術センター殿とオガワ機工株式会社殿へ厚くご礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中田一博ら：マルチマテリアルの異種材接着・接合技術、シーエムシー出版、2018
- 2) 永塚公彬ら：溶接学会論文集 第 33 巻 第 4 号 (2015) 317-325
- 3) 永塚公彬：軽金属 第 71 巻 第 9 号 (2021), pp. 429-434
- 4) Kazuto TANAKA et al., : Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol. 69, No.5, May 2020 379-385

ペロブスカイト太陽電池導入に向けた 小型円筒形発電デバイスの開発取組み

Development of Compact Cylindrical Photovoltaic Devices for Perovskite Solar Cells

技術開発センター
第三開発室 技師
博士 (工学) 廣谷 太佑
Daisuke Hirotani

技術開発センター
第三開発室 リーダー
野村 大志郎
Daishiro Nomura

技術開発センター
開発管理室
園 勇哉
Yuya Sono

技術開発センター
第三開発室 主任技師
武谷 利広
Toshihiro Takenoya

要 旨

ペロブスカイト太陽電池の登場により、太陽電池分野における封止技術の重要性が高まっている。なぜなら、これまで太陽電池に使われていたシリコン材料に比べて、有機・無機ハイブリッド型のペロブスカイトは大気安定性や熱安定性に乏しいためである。封止技術の重要性はペロブスカイト太陽電池だけでなく化合物系太陽電池、有機薄膜太陽電池、色素増感太陽電池などの次世代型太陽電池でも同様である。これらは、従来のフレキシブル太陽電池に比べ、変換効率が高い。従って、高耐久化が実現できれば、これまでになく軽くて曲げられる太陽電池が高性能で実現可能である。これまで著者らが開発を進めてきた小型円筒形発電デバイスは、高い封止性能を実現可能である。本紙では、当社における小型円筒形発電デバイスの高性能化に向けた取り組みと進捗について紹介する。

Abstract:

Sealing technology has become a critical issue for achieving high stability in solar cells, with introduces of perovskite solar cells. This is because organic-inorganic hybrid type perovskite materials are more sensitive to factors such as air and high temperature compared to traditional silicon-based solar cell materials. Those issues are not limited to the perovskite solar cells; it also affects next-generation solar cells, including compound, organic, and dye-sensitized solar cells. Additionally, these new-generation solar cells generally demonstrate higher efficiency compared to traditional flexible solar cells (e.g., amorphous silicon). Therefore, achieving high performance and flexibility in solar cells depends on ensuring their stability. Our development of "compact Cylindrical Photovoltaics (Cylindrical PVs)" addresses this by providing high atmospheric barrier properties. This paper discusses our progress improvement for power in developing cylindrical PVs.

1. 緒言

太陽光発電設備の需要は、10 kW 未満の住宅用太陽光発電設備導入件数を見ると、2012 年では 426,868 件だったのに対し、2019 年では 151,644 件へと減少傾向にあり、加えて 10 kW 以上の事業用太陽光発電の導入量は、3.7 GW から 3.5 GW に減少している^{1),2)}。減少の要因として、野立てのような広大な設置場所には限りがあった³⁾ことや、固定価格買取制 (FIT 制度) の終了が挙げられる。しかし、10 kW 未満の総導入数は先の文献¹⁾を見ても増加していることは明らかである。平野が少ない日本国内だけで見ると、従来の平板太陽光発電設備とは異なった、新たな設置シーンへと変わ

りつつある⁴⁾⁻⁶⁾。例えば、建物の壁面、洋上、農地や荒廃農地、湾曲面などが新たな設置場所の候補である。現在、これらを設置シーンとした様々な実証実験が行われている。著者らが開発している小型円筒形発電デバイスも、従来の平板太陽電池では設置が難しかった場所を対象に、実証試験のための準備を鋭意進めている。

小型円筒形発電デバイスは、ガラス管両端を無機材料で封止するため、高い封止性能が得られる。また現在我々は、小型円筒形発電デバイスの評価を実施するために、変換効率 (η) が $\eta = 7\%$ のアモルファスシリコン (α -Si) 太陽電池を利用している⁷⁾。今後、 $\eta > 20\%$

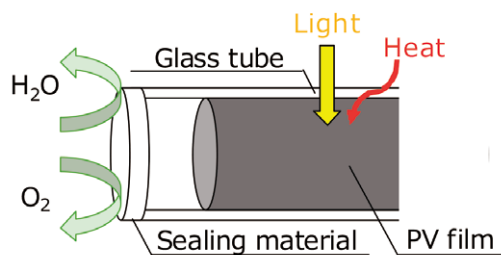


Fig.1 Schematic of feature of cylindrical PVs.

のフレキシブルな次世代太陽電池を用いて、小型円筒形発電デバイスの高出力化を目指していく。

その中でも特に、ペロブスカイト太陽電池に注目が集まっている。一般的にペロブスカイト太陽電池は曲げに強く、低コスト化が期待できるにも関わらず、実験室レベルでは η が20%を超える太陽電池である⁸⁾⁻¹⁰⁾。一方で、ペロブスカイト太陽電池は大気中の水や酸素、熱、紫外線や赤外線に対し耐久性が低い材料であることも知られている。先行研究によれば、水や酸素に対する高バリア性能を持つシートや、一部の波長のみを遮蔽するフィルム等様々な対策が取られている。しかし、安定性の乏しいペロブスカイト太陽電池と組み合わせるシートは、不活性なシートの材質を用いる必要があり、その選択は容易ではない。

上述する通り、ペロブスカイト太陽電池の劣化機構は、複合的で劣化機構を一つひとつ分けて知ることは難しい。そこで、我々が持つガラス管封止を使用し、外気との接触を無視して評価することで、ファクターの一部に対し、切り分けが可能である。Fig.1に示す通り、ガラス管封止は外気をガラス管内部に通過させることはなくとも、熱や光はガラス管内部に到達する。これらの特徴を活かして様々な評価が可能だと考える。

本紙では、著者らがこれまでに実施してきた、ガラス管封止したペロブスカイト太陽電池の各種評価結果を例に、当社の取り組みについて報告する。

2. 実験方法

2.1 太陽電池のガラス管内への固定方法

太陽電池の種類により、ガラス管内での固定の方法は様々だが、一例として、ガラス基板に作製されたペロブスカイト太陽電池の固定方法について紹介する。特に、塗布によって形成されるペロブスカイト太陽電池等の場合、太陽電池のフレキシブル化にはいくつか大きな課題がある。従って、ガラス基板での小型サンプルを使って評価する方法はペロブスカイト太陽電池の耐久性を評価する上では、重要なステップの1つだと考えている。

Fig.2に固定方法に関する概念図を示す。小型円筒形発電デバイスはガラス管の両端から、ガラス管内部と外部をつなぐ電極が設けられている。当該電極のガラ

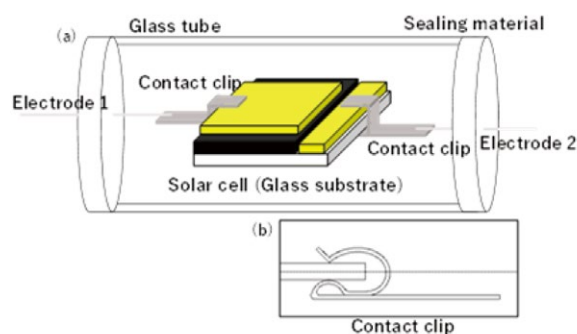


Fig.2 (a) Schematic for method of fixation in solar cells with glass substrate for the cylindrical PVs. (b) Detail of contact clip shape.

ス管内側に、チタンワイヤ（ニラコ社製）をスポット溶接により取り付け、スプリング形状にした。反対側に（ガラス管の内側を向いて）位置するチタンワイヤの先端に、チタン板（ニラコ社製）で作製したクリップ電極を取り付けた。取付方法にはスポット溶接を採用した。ここで、注意するのはガラス管内に使用する電極部に、有機材料を使用しないことで、加速試験等をする中で、太陽電池セル劣化の要因が、電極部材の劣化によらないようにしている。すなわち、各加速試験による劣化が、“純粋なガラス管内に封入した太陽電池の劣化”のみが観察できるようにしている。

また、すべてのサンプルに導入しているわけではないが、ガラス管の空間を活かして、乾燥剤やその他検出シートを入れることで、ガラス管内部のガスコントロールなどを可能としている。

2.2 評価方法

現在、弊社内で評価可能な内容について列記し、その方法の一例についてそれぞれ述べることとする。

2.2.1 電圧 - 電流特性を用いた性能評価

従来、電圧 - 電流特性を用いた測定法は、一般的に太陽電池の出力性能を評価するために測定する方法であり、ソーラシミュレータとソースメーター、ソースメーターの制御用コンピューターがあれば、測定可能である。電圧 - 電流特性評価は原理的には、式 (1)、(2) を用いる¹¹⁾。

$$I = I_s \left\{ \exp \left(\frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right\} - I_0 \quad (1)$$

$$V_0 = \left(\frac{k_B T}{e} \right) \ln \left\{ \left(\frac{I_0}{I_s} \right) + 1 \right\} \quad (2)$$

ここで、 I_s は逆方向飽和電流、 I_0 は短絡電流、 V_0 は開放電圧を指す。ただし、実際の測定では、電圧 - 電流曲線から曲線因子を求める方法が用いられる。弊社では、最大 100 mm 角まで測定可能なソーラシミュレー

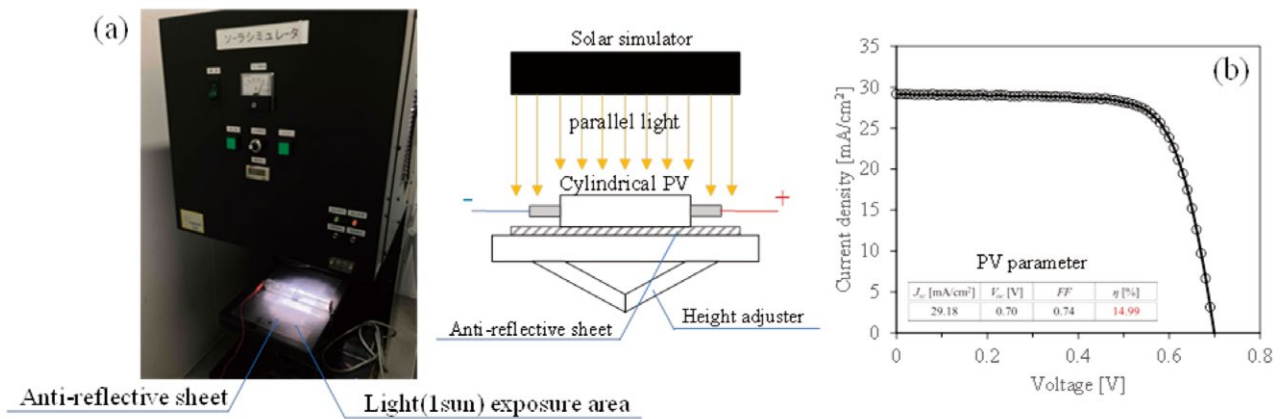


Fig.3 (a) Appearance and schematic of measurement in solar simulator. (b) I-V curve and PV parameters under 1SUN.

と 200 V (最大出力 20 W) まで掃引可能なソースメーターを設備として備えている。

電圧 - 電流特性評価に用いたソーラシミュレータの外観並びに、概念図を Fig.3(a) に示す。サンプルが円筒形状のため、サンプルの固定台からの反射光が光電変換性能に影響を与えかねないため、固定台には反射防止層を設けている。

2.2.2 高温高湿試験

JIS C 61215 地上設置の太陽電池 (PV) モジュール - 設計適格性確認及び型式認証 - に定められている MQT13 の高温高湿試験に概ね準拠した方法での試験を弊社内で評価可能である。ただし、高温高湿条件下は恒温恒湿槽で作られるが、当該環境中での 1SUN (光の強度 :1000 W/m²) 暴露による同時測定が実現できていない。そのため、一定時間終了後に恒温恒湿槽からサンプルを取り出し、室温下での性能評価を実施する他手立てが現状ない。また温度は 85°C で湿度は 85%RH 環境に調整する。現状、恒温恒湿槽は試験室寸法 500 W × 380 D × 630 H での試験が可能である。

2.2.3 熱サイクル試験

JIS C 61215 地上設置の太陽電池 (PV) モジュール - 設計適格性確認及び型式認証 - に定められている MQT11 の温度サイクル試験に概ね準拠した方法での試験を社内で評価可能である。この試験は前述の 2.2.2 節同様、当該環境中での 1SUN 暴露による同時測定が実現できていないため、一定サイクル後のサンプル取り出し後の性能評価ができるのみとなっている。温度は 85°C から -40°C まで 2 時間で降温し、-40°C を 10 分間保持する。保持時間終了後、-40°C から 85°C まで 2 時間で昇温し、85°C を 10 分間保持する、これを 1 サイクルとし、複数回実施する。恒温恒湿槽の試験室寸法は「2.2.2 高温高湿試験」と同じである。

2.2.4 光耐久性試験 (1SUN)

ソーラシミュレータで作りに出される 1SUN に調整された定常光を、太陽電池に照射し続ける。その間に電圧 - 電流特性測定を行うことで、太陽電池の出力性能を in-situ 測定で耐光性試験を行う。

2.2.5 屋外暴露試験

屋外に小型円筒形発電デバイスを設置し、一定の時間間隔毎に電圧 - 電流特性評価もしくは最大出力点測定を行う。太陽電池性能測定時には常に光量と温度を同時測定し、性能評価と同期するようにしている。

屋外暴露試験に使用したサンプルの配置と、センサー類の配置の様子を Fig.7(a) に示す。同図でガラス管の長手方向が南北を向き、ガラス管が地上に対し、水平になるように配置した。光量センサーは南向きに水平方向と垂直方向の両方に向け設置した。

3. 実験結果及び考察

3.1 電圧 - 電流特性を用いた性能評価

Fig.3(b) にペロブスカイト太陽電池セルの電圧 - 電流曲線を示す。本サンプルの測定結果は、短絡電流 (J_{sc}) = 29.18 mA/cm²、開放電圧 (V_{oc}) = 0.70V、曲線因子 (FF) = 0.74 であり、変換効率 (η) はこれら 3 つの積により、得られるので、14.99 % であることが分かった。

3.2 高温高湿試験

Fig.4 に、温度 = 85°C、湿度 = 85 %RH に調整した恒温恒湿槽で、最長 2000 時間保管したペロブスカイト太陽電池の耐久性試験結果を示す。同図は、縦軸にそれぞれ (a) 効率、(b) 開放電圧、(c) 短絡電流、(d) 曲線因子を規格化したものを示し、横軸は保管時間である。同図 (a) から、初期性能に対し、2000 時間経過後の変換効率が 86 % まで減少していることが確認された。JIS C 61215 の定める試験は、同温度、湿度環境下で 1000 時間の耐久試験を設定している。1000 時間では初期性能からの劣化は見られなかった。一方で、

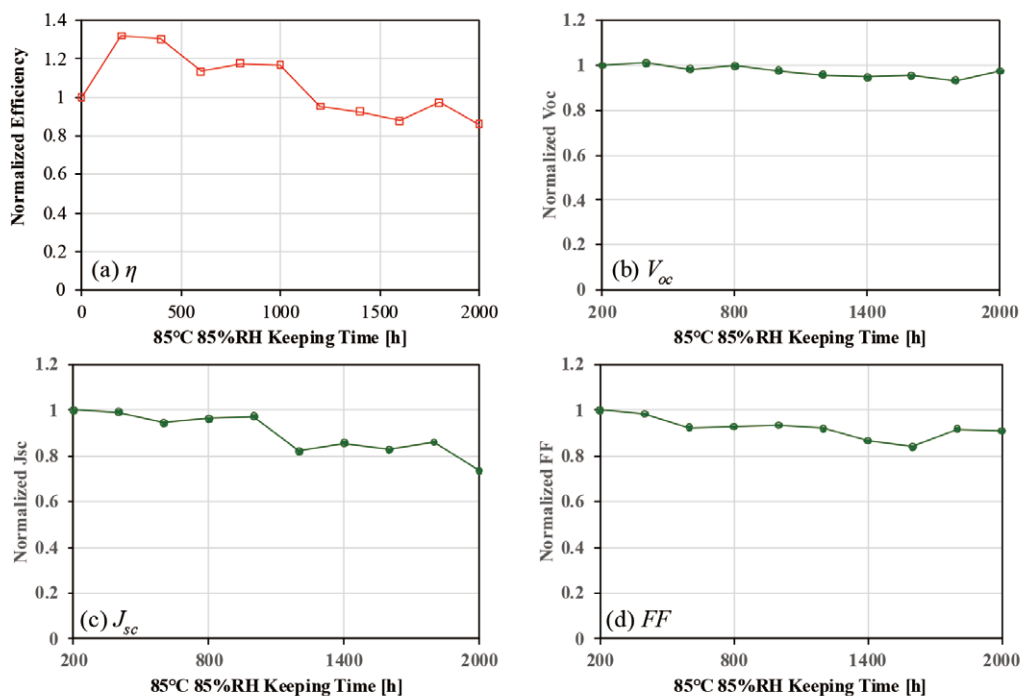


Fig.4 Results of stability under the 85°C 85%RH. (a)Normalized efficiency, (b)Normalized V_{oc} , (c)Normalized J_{sc} , (d)Normalized FF

結晶シリコン太陽電池を見ると、同条件下で 3000 時間経過し、性能低下が 10 % 未満の耐久性を示した結果もある¹²⁾。ペロブスカイト太陽電池の熱耐久性向上に課題が残る結果となった。各種パラメータの特性を見てみると、 V_{oc} は比較的安定しているのに対し、 J_{sc} 、 FF が不安定だった。本結果からペロブスカイト太陽電池の分解または直列抵抗の増加が変換効率低下の原因と考えられる。

3.3 熱サイクル試験

Fig.5 に、ペロブスカイト太陽電池の -40°C ⇄ +90°C 熱サイクル試験結果を示す。合計サイクル数は 200 サイクル実施した。今回は、途中の劣化状況も把握、観察する必要があると考え、50 サイクル毎にソーラシミュレー

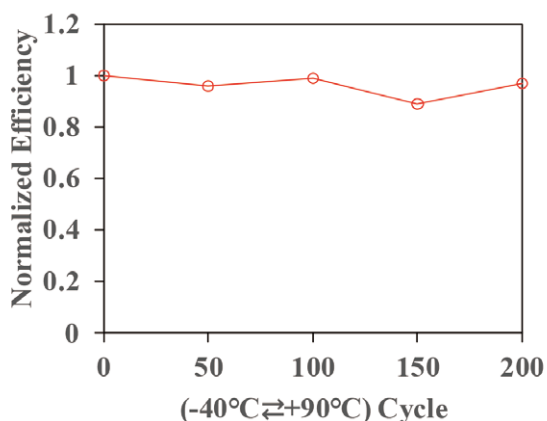


Fig.5 Result of thermal cycle test. (-40°C ⇄ +90°C)

タを用いた性能評価を実施した。同図を見ると、初期性能から 200 サイクル終了時は 96.85 % だった。本結果は JIS C 61215 の定める試験に合格する基準であった。一方、結晶シリコン太陽電池の先行文献を見ると、同試験条件下での 600 サイクル程で、はんだ部に不良が生じたことが報告されている¹³⁾。

3.4 光耐久性試験

Fig.6 に、ペロブスカイト太陽電池の 1SUN 下での光耐久性試験結果を示す。縦軸に最大出力点、横軸に時間を示している。また同図縦軸は、初期性能で規格化している。初期性能から 300 時間程で、20 % まで減衰する結果となった。これは、光を受けて発電する太陽電池にとって、重大な課題である。課題発見の方

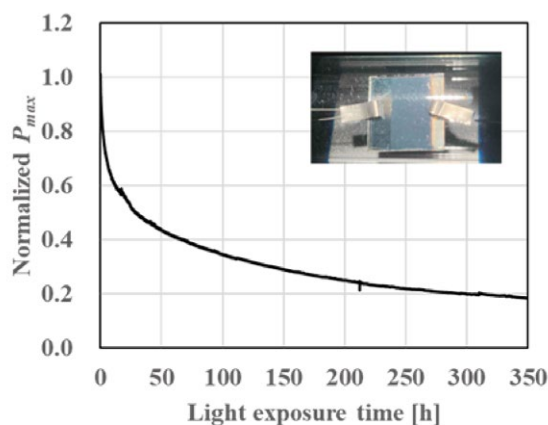


Fig.6 Result of 1SUN light exposure test.

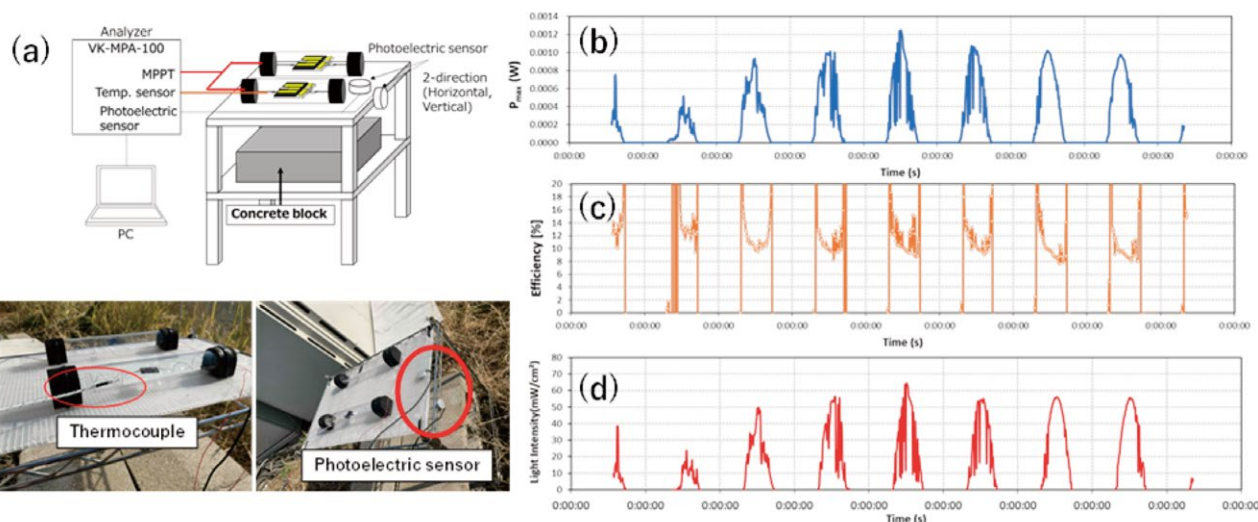


Fig.7 (a) Schematic and appearance of location for outdoor exposure test. Result of outdoor exposure test each of (b) P_{max} , (c)Efficiency, (d) Light intensity. (Investigation period: from 6, Feb., 2024 to 14, Feb., 2024)

法として、ガラス管外側に特定波長を吸収、透過するフィルム等を貼り付ける等することで、太陽電池がどの波長で劣化が生じているか、区別可能である。

3.5 屋外暴露試験

Fig.7(b), (c), (d)に、2024年2月6日から2024年2月14日までの(b)最大出力、(c)変換効率、(d)光量の測定結果を示す。最大出力のプロットが光量のプロットに良く追従している。劣化率がFig.7だけでは、データを読み取ることが難しいため、1日毎の変換効率を式(3)から求めた。1日の総発電量(P_{max})を総日射量(ϕ_{day})で割ったものを1日毎の変換効率(η_{day})とした。

$$\eta_{day} = \frac{\int_{t_{start}}^{t_{end}} P_{max}(t) dt}{\int_{t_{start}}^{t_{end}} \phi_{day}(t) dt} \quad (3)$$

式(3)で求めた1日毎の変換効率をTable 1に示す。

表中の変換効率を見ると日を追うごとに変換効率さが下がっていることが分かる。これは光耐久性試験で見られた減衰による劣化現象だと考えられる。

Table 1 Summary of efficiency for outdoor exposure each day.

	ϕ_{day} [mWh/cm ² ·day]	P_{max} [mWh/cm ² ·day]	η_{day} [%]
7 Feb., 2024	60.95	8.51	13.96
8 Feb.	223.68	24.36	10.89
9 Feb.	268.56	28.11	10.47
10 Feb.	289.92	31.00	10.69
11 Feb.	283.83	29.88	10.53
12 Feb.	335.06	32.41	9.67
13 Feb.	320.93	30.67	9.56

※Reference 1SUN = 100mW/cm²

4. 結論

これまでに得られた試験結果を要約すると、次の通りである。

- 1) ガラス管内の電極部材に完全無機な材料を使ったサンプルの固定方法によって、ガラス基板上に作製されたペロブスカイト太陽電池の評価が可能になった。
- 2) 太陽電池の物性に関わる部分の評価に関する設備を弊社内に備え、ガラス管封止後のサンプルの即時評価を実現し、ペロブスカイト太陽電池に対する測定パラメータや、環境暴露と測定間隔に関して、ノウハウを蓄えることができた。
- 3) 完全に外気と遮断されたガラス封止により、光、熱の影響だけの、太陽電池の劣化評価が可能であり、且つ、封止材を使用しないサンプルの封止方法のため、材料その物の評価を実現している。

今後も引き続き、ペロブスカイト太陽電池をガラス管内に封入した小型円筒形発電デバイスに関する開発を進めていく。太陽電池メーカーからのサンプル評価依頼等があれば積極的に取り組みを進めていきたい。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構にて実施した研究成果展開事業・研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)の委託研究によって、得られた成果です。

また、本紙の実験でガラス管内に封入したペロブスカイト太陽電池は、電気通信大学早瀬研究室から提供いただいたサンプルです。

本研究に際し、ご協力いただいた皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 経済産業省 (METI) HP「なっとく再生可能エネルギー」設備導入状況資料 https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html
- 2) 一般社団法人 太陽光発電協会「太陽光発電の状況—主力電源化に必要な新規案件開発継続—調達価格等算定委員会資料」 https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/062_01_00.pdf
- 3) 環境省「太陽光発電の導入見込量と 関連情報について」 <https://www.env.go.jp/content/900449235.pdf>
- 4) 中村、市川、山本「ビル壁面設置太陽光発電システムの発電量評価」、Journal of Japan Solar Energy Society, 50(1), 2024, 23-28.
- 5) 柴田「営農型太陽光発電への期待と課題」、第 20 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム(第 3 回日本太陽光発電学会学術講演会)講演予稿集(2023.6.29-30).
- 6) 小林 浮体式洋上太陽光発電と水素エネルギーキャリアを用いた カーボンフリーエネルギー供給システム —気温上昇 1.5°C未満のパリ協定目標達成を目指して— Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 43, No. 6 (2022).
- 7) 野村、廣谷、園、武谷:フジコー技報 No.30 (2022)
- 8) Martin A. Green et al., Solar cell efficiency tables (Version 63), Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Volume 32, Issue 1, 3-13.
- 9) A kihiro Kojima, Kenjiro Teshima, Yasuo Shirai and Tsutomu Miyasaka, Organo Metal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizer for Photovoltaic Cells, J. Am. Chem. Soc., 2009, 131 (17), pp 6050-6051
- 10) NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- 11) 柴田「太陽電池の基本等価回路と電流・電圧特性」AIST 太陽光発電研究成果報告会 (2017) https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2017/oral/tutorial_lecture.pdf
- 12) 鈴木、棚橋、土井、増田「結晶 Si 太陽電池モジュールにおける高温高湿試験の加速方法の検討」エレクトロニクス実装学会誌 Vol. 18 No. 4 (2015).
- 13) S. Kawai, T. Tanahashi, Y. Fukumoto, F. Tamai, A. Masuda, M. Kondo, Causes of Degradation Identified by the Extended Thermal Cycling Test on Commercially Available Crystalline Silicon Photovoltaic Modules, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 7 Issue 6 (2017).

堆肥プラント向け大型脱臭装置の開発

Development of Large-Scale Deodorization Apparatus for Compost Plants

技術開発センター
第四開発室 技師
牧野 尚
Takashi Makino

技術開発センター
第四開発室 技師
水上 義之
Yoshiyuki Mizukami

技術開発センター
開発管理室
笹嶋 幸輝
Kouki Sasajima

技術開発センター
第四開発室 室長
博士(工学) 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

要 旨

臭気問題を抱えている堆肥化プラントの悪臭対策として、様々な方式の脱臭設備が導入されている。その中でも、近年、堆肥化プラントでの主な臭気源である水溶性ガスに対して脱臭効果が高いとされる充填塔式生物脱臭システムの採用が増えてきている。しかし、生物脱臭方式は大風量への対応の難しさや脱臭できる臭気の強さに限りがある等の課題を抱えている。当社では大風量化と高性能化を可能にするために酵素水を活用した新たな生物脱臭装置の機構を採用し、開発を行った。この方式により大風量化した実証モデルにて、食品残渣堆肥化プラント内での実証試験を実施した。試験結果からプラント内では、共に臭気強度が5以上あった酪酸とアンモニアの臭気に対して、脱臭装置の出口部では臭気強度を3.5以下までに低減する性能が示された。本稿では新たな生物脱臭装置の機構の検証と実証試験成果について報告する。

Abstract:

Composting plants have odor problems, and various types of odor control equipment have been introduced to deal with the odor. In recent years, there has been an increase in the adoption of packed tower biological deodorization systems, which are said to be highly effective at deodorizing water-soluble gases, the main source of odor in composting plants. However, biological deodorization methods have issues such as the difficulty of dealing with large air volumes and the strength of odors that can be deodorized. We have adopted and developed a new biological deodorizing mechanism that utilizes enzyme water to enable large air volume and high performance. A demonstration test was conducted in a food waste processing plant using a model designed for large air volumes that employs this method. The test results showed that the odor intensity of butyric acid and ammonia was initially 5 or more within the plant. At the outlet of the deodorizing apparatus, the odor intensity was reduced to 3.5 or less. This paper reports on the verification of the mechanism of the new biological deodorization apparatus and the results of the demonstration test.

1. 緒言

日本における食品ロスは今和四年度推計値では約470万トンといわれており、そのうち事業活動に伴い発生する「事業系食品ロス」は約230万トンにも及んでいる¹⁾。環境問題が課題とされる現代では、食品残渣の焼却で発生するCO₂を低減するため、食品残渣そのものを減らす取り組みはもとより、「飼料化」、「堆肥化」、「きのこ菌床への活用」、「メタン化によるエネルギーの利用」等のリサイクルが進められている。一方、「堆肥化」の過程で発生する臭いは近隣住民との臭気問題に発展することも多い。臭気問題が発生すると事業運営に支障

をきたすことから堆肥化プラントに悪臭対策として、脱臭設備を導入することが一般的である²⁾。従来の脱臭設備として、薬液洗浄法(スクラバー方式)や活性炭吸着法が採用されることが多かった。しかしながら、これらの方式はランニングコストが高く、維持管理が煩雑などの欠点があるため、近年では、水溶性ガスの脱臭効果が高いとされる充填塔式生物脱臭方式の採用が増えてきている³⁾。生物脱臭法は初期コスト及びランニングコストが安い特長がある反面、大風量への対応には設置面積の問題や脱臭できる臭気の強さに限りがあるとの指摘もある。Fig. 1に一般的な充填塔式生物脱臭装

置の構成を示す。

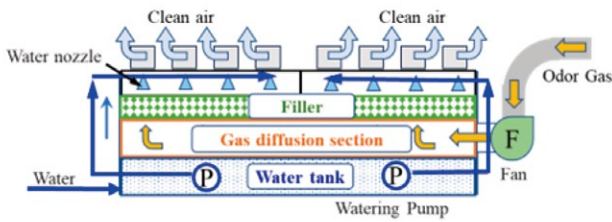


Fig. 1 Typical packed tower biological deodorization apparatus configuration.

- 充填塔式生物脱臭装置の基本構成として①充填材、②微生物群、③通気・水分管理システムに大別される。
- ① 充填材は、微生物が定着しやすい有機または無機の支持体が採用される。
 - ② 微生物群は主に好気性バクテリアであり、対象臭気と相性の良い微生物が自然と定着し、代謝により臭気成分を分解する。
 - ③ 通気・水分管理システムは、送風機で臭気ガスを装置内に供給し、微生物が活発に働けるように安定した水分量を充填材に供給し管理している。

脱臭原理は、まず臭気ガスを装置内の充填材に通過させる。次に充填材を通過する際に臭気ガス成分が充填材表面の水分に溶解・除去され、清浄な空気が装置上部から排出される。最後に充填材表面に付着した臭気成分が充填材内の微生物の代謝作用により分解される。このサイクルが繰り返されることで化学薬品を使わずに自然な微生物プロセスで脱臭処理を行っている。

また、一般的な生物脱臭装置の線速度 (LV) は 0.1 ~ 0.3 m/s、空間速度 (SV) が 200 ~ 500 1/h で設計されていることが多いため、装置が大型化してしまい、大風量化への対応を難しくしている要因となっている⁴⁾。

そこで当社では従来の充填式生物脱臭法の機構に改良を加え、大風量化と省スペース化を可能とした新たな脱臭方式を検討し、食品残渣堆肥化プラント内で実施した実証試験から有意な成果が得られたため、試験結果と今後の展望について報告する。

2. 食品残渣堆肥化プラントの脱臭装置仕様

2.1 対象臭気成分

本開発では、食品残渣の堆肥化を行う企業より臭気対策の相談を受け検討を開始した。この企業のプラントでは、既に一般的な充填塔式生物脱臭装置が稼働しているものの、処理風量がプラントに対して不足しているため、新たに増設する形での依頼となった。プラント内の臭気ガスの主成分については、現地調査した結果、Table 1 に示すように酪酸、アンモニアの 2 成分であることが判明した。これらの成分は一般的な食品残渣堆肥化プラントから発生する成分と一致しているため、十分

に生物脱臭装置で対応可能と考えられる。

Table 1 Measurement results of odorous components in a compost plant

Odorous component	Concentration	Odor intensity
Butyric acid	429 ppb	Over 5
Ammonia	50 ppm	Over 5

注視すべきは、臭気強度 5 を大幅に超える濃度の酪酸が工場内に存在する点であり、酪酸は嗅覚閾値が非常に低いため、工場から外部にわずかな量でも未処理で排出されると臭気問題に発展する可能性がある。そのため、特段の対応が求められることが大きな課題である。

2.2 処理風量

今回のプラントに増設される脱臭装置の処理風量の設定根拠としては、以下の 3 点である。

- ① 夏場のプラント内の暑熱対策。
- ② 食品残渣から発生する水分の外部排出。
- ③ 容積 5400 m³ のプラント内を陰圧に保つ。

これらを考慮し、客先より 300 m³/分の処理風量を要求された。脱臭装置の設置面積に制約を受けることもあり、一般的な生物脱臭装置では 300 m³/分の処理風量を達成することは難しいため、発泡体仕様の選定と散布水の改良が余儀なくされた。

スクラバー等では散布水には薬液が用いられるが、生物脱臭装置の散布水は、微生物への影響と使用済み薬液の処理費用が高額になる点から、一般的に地下水が用いられる。こうした背景の中、我々は生物脱臭装置を高機能化する要素として、酵素のもつ成分分解作用に着目し、酵素を含む生成水 (以下、酵素水とする) を散布水に採用することとした。

2.3 酵素の活用

酵素は一般的に以下の特徴を有している⁵⁾。

- ① 構成成分はタンパク質である。
- ② 最適な温度、pH が存在し、不適切な条件だと壊れる (失活)。
- ③ 化学反応に必要なエネルギー値を下げて、反応を促進する (触媒)。
- ④ 酵素自体は化学反応前後で変化しない。
- ⑤ 酵素の種類ごとに反応する物質 (基質) が決まっている (基質特異性)。
- ⑥ 酵素は一つの化学反応しか触媒作用をしない (反応特異性)。
- ⑦ 現在、発見されている酵素は数千種類以上。

これらの酵素の特徴を生物脱臭装置と組み合わせることで、以下の効果により脱臭装置の高機能化が期待できると考えている。

- A) 水中の臭気成分 (有機物) を低分子化合物に消化
 B) 脱臭を阻害する物質への対応強化
 C) バクテリアの活動促進

2.4 酵素水生成装置

対象臭気ガス成分により好相性の微生物の種類が変わることから、酵素についても微生物及び対象臭気に対する好相性の酵素を供給する必要がある。そのため、酵素水は、臭気ガス成分と同じ成分を含む汚水を原水として生成を行う必要があり、現場近くで酵素水の生成を行っている。今回使用した酵素水生成装置の構成と生成された酵素水を Fig. 2 に示す。酵素水生成装置は、調整槽、第一曝気槽、第二曝気槽、沈殿槽、貯槽から構成される。調整槽及び第一曝気槽、第二曝気槽については、嫌気性ガスの発生抑制および好気性菌の促進のために、常時曝気を実施している。

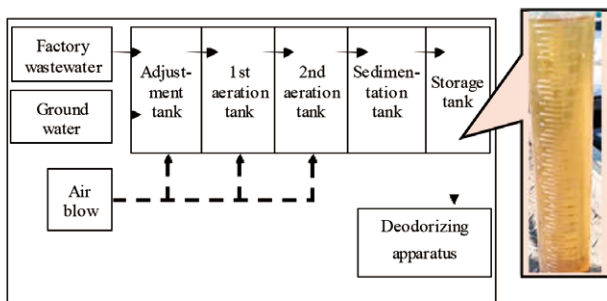


Fig. 2 Diagram of enzyme water generating apparatus and enzyme water.

酵素の原料となる原水については、今回プラント内部の工場汚水を活用し、BOD 値が 1000 mg/L 以下になるように調整し、2 時間おきに 100 ~ 200 L の量を調整槽に供給する。この供給により調整槽から第一曝気槽には、同量の水がオーバーフローされて供給される。同様に第一曝気槽から第二曝気槽、第二曝気槽から沈殿槽、沈殿槽から貯槽にと、順にオーバーフローされていく仕組みとなっている。

各槽の容積は、調整槽: 2.4 m³、第一曝気槽、第二曝気槽: 7.9 m³、沈殿槽: 0.7 m³、貯槽: 0.4 m³ となっており、滞留時間により各槽での処理時間が調整されている。このようにして生成された酵素水が脱臭装置内に約 2 m³/日の量で供給されていく。

Fig. 2 に示すように、酵素水自体は茶色の透明な液体であり、pH 6~8 の間で管理されている。

この酵素水が脱臭装置内の充填材に、連続的あるいは間欠的に補給され、微生物生育および代謝生成物の洗い流しに寄与していると考えられる。

次章より今回生成した酵素水の実際の効果について検証した結果を詳細に報告する。

3. 酵素水の効果の検証

3.1. ラボにおける酵素水の性能比較

生成された酵素水の効果について、まずラボ試験で地下水条件と比較した。ラボ試験で実施した充填材通気試験の試験条件を Table 2 に示し、概略図を Fig. 3 に示す。充填材には両条件共に 5 ~ 10 mm 仕様の発泡ガラスを使用し、試験装置下部の水槽に試験溶液を 10 L 溜めた状態で実施した。

Table 2 Laboratory test conditions

Test solution	Ground water or Enzyme water
Filler	Glass blowing agent
Filler height [cm]	40
LV, linear velocity [m/s]	0.2
Water tank capacity [L]	10
Watering amount [L/min]	1.5

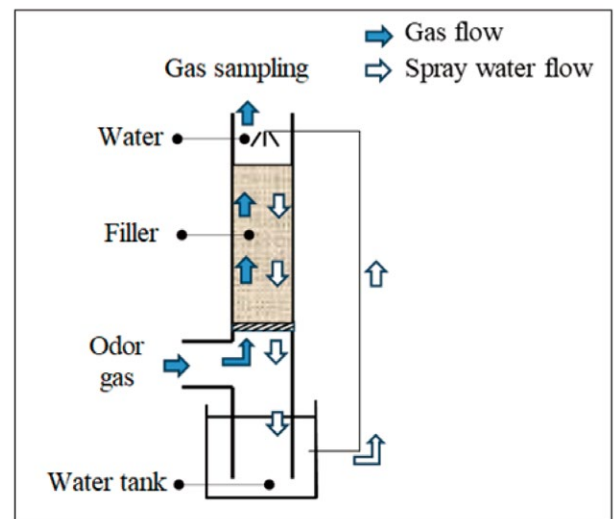


Fig. 3 Diagram of laboratory test for butyric acid removal rate.

地下水および酵素水をそれぞれ散布水とした条件で試験を行い、8 日間臭気ガスを充填材に通気させながら、出口臭気をミニポンプ (柴田科学製 MP-Σ 500) で捕集管に 20 L (4 L/分×5 分) 捕集し、GC-FID (島津製作所製 GC-2014) を用いてアルカリビーズ法で分析、酪酸除去性能を比較した経時変化結果を Fig. 4 に示す。

試験初期から酵素水は地下水より高い除去性能であり、酵素水に酪酸の除去効果があることが示されている。酵素水条件が 2 日目以降から性能が向上した理由は、試験開始時は発泡体に菌及び酵素が十分に定着しておらず、発泡体間の隙間が大きく、ガスが発泡体に接触せずに通過していった結果と考えられる。

地下水条件は 4 日目までは溶液への吸着容量が確保されていたため、性能を維持できていたものの、8 日目では吸着した酪酸が分解できていないため、吸着破過し、除去率低下が示され、それ以降は下降の推移となっ

た。これに対し、酵素水は継続して高い除去性能を維持した。

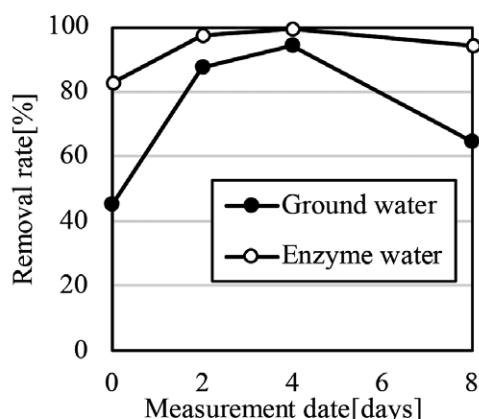


Fig. 4 The laboratory test results for butyric acid removal rate.

3.2 酵素水の効能評価

次に酵素水による酪酸の分解効果について検証した。地下水 (G.W.) および酵素水 (E.W.) にそれぞれ酪酸試薬を加え、酪酸濃度を 400 mg/L に調整した試験溶液をそれぞれインピンジャーに 5 mL 採取する。Fig. 5 に示すようにミニポンプ (柴田科学製 MP-Σ 500)、捕集管、インピンジャーの順に連結し 2 L/min で吸引し、バブリングで揮発したガスを捕集管に 5 L 捕集させ、GC-FID (島津製作所製 GC-2014) を用いてアルカリビーズ法で分析した。

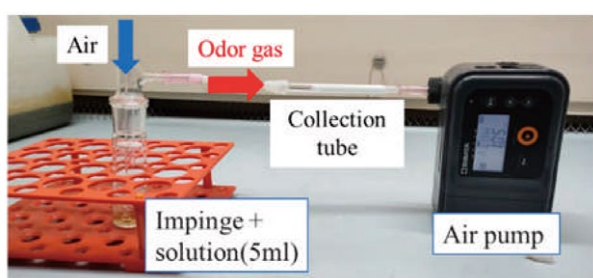


Fig.5 Diagram of laboratory test for butyric acid decomposition.

試験結果を Table 3 に示す。ガスクロマトグラフィの結果では、地下水条件では揮発したガスから酪酸が臭気強度 5 以上の高濃度で検出されていることに対し、酵素水条件では、臭気強度 3.5 程度の低濃度の揮発に抑制されている。さらに酪酸試薬混合直後の各試料の pH は、地下水条件は pH 5 以下に低下するのに対し、酵素水条件では pH 7~8 とほとんど変化がない結果となった。この結果から酵素水は酪酸に対し、瞬時に分解作用を示しているため、臭気抑制に有効であることが示された。

Table 3. The laboratory test results for butyric acid decomposition

Sample	Solvent	Gas Conc. [ppb]	Odor Intensity [-]
#1	G.W.	1447.8	Over 5
#2	G.W.	756.9	Over 5
#3	E.W.	6.3	3.5
#4	E.W.	6.4	3.5

3.3 実証段階での評価

次に、実証試験における酪酸の除去性能を Fig. 6 に示す。運転開始初期は、地下水および酵素水ともに高い除去性能を示すが、地下水は早い段階から除去性能の低下がみられ、30日時点の除去率は 30% と大幅に悪化した。ラボ試験同様に、地下水条件では、微生物による酪酸の分解速度が工場内から送られてくる量に追いつかず、溶解量が飽和状態となり、脱臭性能が悪化する結果が示された。

一方、酵素水は酵素による酪酸分解によって、40日時点でも高い除去率を維持しており、脱臭効果が有効に機能しているといえる。

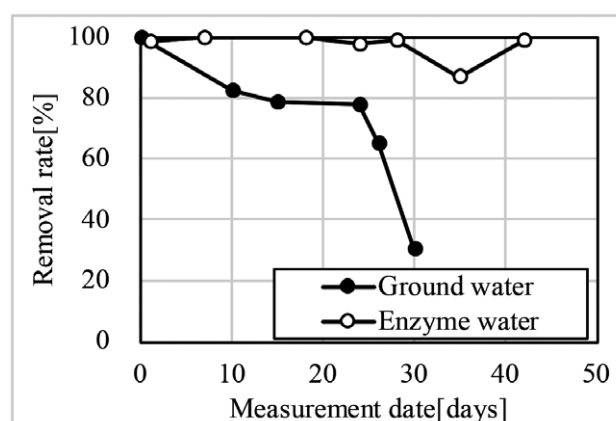


Fig. 6 The results of butyric acid removal rate in demonstration test.

4. 充填材の選定

4.1 発泡ガラス

充填塔式脱臭装置において、微生物の支持、水分の保持、ガス流路の保持および均一化が重要であり、それらを担う物理的に安定な充填材が必要である。候補は、プラスチック、セラミック、天然素材、無機材料等様々であり、今回は前記条件を満たし低コストかつ多孔質で表面積が確保可能な発泡ガラス (村上開明堂製バブグラス®) を採用した。

4.2 粒径について

大風量処理および効率よいガス接触を満たす発泡ガラスの粒径サイズの候補の検討を実施した。

気液接触面積が広くなれば除去性能は高くなると想定し、5-10 mm 仕様の発泡ガラスを検証した。ラボ試

験及び実証試験において、この発泡ガラスを用いることで高効率の除去性能を示した。ところが、長期間実証実験を行うと、工場からの粉塵や好気性細菌によるバイオフィルムの形成により、充填材層が密となり、充填材の通気性が悪化し、装置圧力が増大し、風量低下する問題が発生した。Fig. 7はバイオフィルムで流路が制限され、局所的に著しく流量が上昇したことにより発泡ガラスの層に穴が生じた一例であり、この穴を通して臭気ガスが未処理で排出されるトラブルに見舞われた。そのため、圧力損失が低く、バイオフィルム等により充填材間隔が詰まりにくい仕様を再検討した。

これらを解決する手段として有効な方法は発泡ガラスの粒径を大きくすることであると考え、10-20 mm 仕様に変更した性能比較を実施した。ラボ試験では、発泡ガラスに散水したアンモニアのワンパス除去性能の時間経過を測定することで充填材の適正について検証した。結果を Fig. 8 に示す。

5-10 mm 仕様においては、散水後 20 分経過時でも高いアンモニア除去性能を示した。対して、10-20 mm 仕様においては、10 分までは 100% 近い除去性能を示すものの、20 分経過時に 80% まで低下する結果が示された。これは、通気により発泡ガラス表面の水に対するアンモニアの吸着能力が低下しているためであり、高い脱臭性能を回復、維持するためには、新たに散水する必要がある。この点から、通常 5-10 mm では一時間から二時間の間隔で散水を行うことで性能の維持が可能であるが、10-20 mm 仕様では 20 分間隔で散水を行う制約がある結果となった。

また圧力損失について、5-10 mm 仕様では、初期圧力は LV 値 0.2 m/s 時に 500 Pa であるが、使用していくうちに 1000 Pa を超える圧力損失に推移していくため、処理風量が最大で 250 m³/分しか達成できない課題があったものの、10-20 mm 仕様では初期圧力が 200 Pa 程度で、経時変化後でも 800 Pa 程度に抑制できる結果が示されたことから、散水条件と発泡体仕様を見直すことで目標とする設定風量である 300 m³/分が達成できる見込みが立つ結果となった。



Fig. 7 The photo of hole in filler layer at demonstration test.

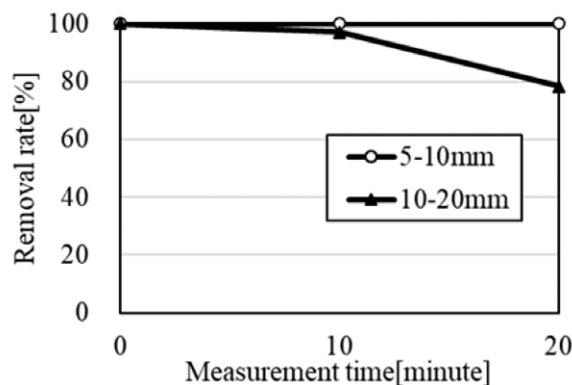


Fig. 8 The laboratory test results for ammonia removal rate.

5. 実証モデル

今回、リサイクルプラントに新たに増設された実証モデルを Fig. 9 に示す。このモデルの仕様については Table 4 に示す。



Fig. 9 The photo of the demonstration model.

Table 4 The specifications of the demonstration model

Material	SUS304
Size [m]	2.1 × 10.7 × 3.5
Filler	Glass blowing agent
Filler volume [m ³]	10
Spraying water	Enzyme water
Water tank capacity [m ³]	11
Spraying water volume [L/min]	180
Air flow volume, Q [m ³ /min]	250~300
Linear velocity, LV [m/s]	0.2~0.24
Space velocity, SV [1/hour]	1440~1800

実証モデルの仕様について、同プラント内で稼働している一般的な充填塔式生物脱臭装置 (処理風量 50 m³/分程度) を比較の指標とする。

LV 値については、既設の生物脱臭装置の 0.07 m/s に比べて、2 倍以上の数値設定ができており、SV 値についても既設の 170 1/h に比べて、10 倍近い値で設計が可能となり、装置のコンパクト化が実現できる結果となった。

また、この実証モデルを稼働した現場での脱臭性能の一例を Table 5 に示す。装置入口 (工場内部) の臭気

は、事前調査同様に酪酸、アンモニア共に臭気強度 5 近くの濃度が検出される結果であるが、装置出口部では、両臭気共に大幅に低減される結果が示された。現状、出口部での臭気強度は 3.5 以下が求められているため、脱臭性能の目標を達成できたことが確認された。

今回の開発において重要ポイントであった酵素水の活用及び充填材の仕様の最適化が装置の設計にうまく反映できた結果と考えられる。

Table 5 Measurement results of odorous components of the demonstration model

Odorous component	Concentration (Odor intensity)	
	Inlet	Outlet
Butyric acid	145 ppb (Over 5)	1.2 ppb (2.6)
Ammonia	25 ppm (4.7)	4 ppm (3.4)

6. 結論

本検討で得られた結果を以下に要約する。

- 1) 本構成の生物脱臭装置は、当該堆肥化プラントにおいて十分な脱臭性能を示した。
- 2) 今回導入設備の生成水（酵素水）は、酪酸に対して即効性のある除去性能を有することを確認した。
- 3) 充填担体に発泡ガラス（粒子径 10-20 mm）、酵素水を組み合わせることで気液接触時間は一般的な仕様と比べ短くすることができる。すなわち、敷地面積の少スペース化に伴う LV 値増にも対応できる。これにより、高い SV 値での設計が可能となり、充填材量を削減することが可能になることで、圧力損失を低減でき、大風量化への対応が可能となった。
- 4) 食物残渣堆肥化プラントは堆肥化に使用される原料が日々異なり、発生する臭気成分、濃度も一定ではない。そのため、強い臭気が発生した場合、一時的ではあるが除去不十分な状態で臭気が大気に排出される懸念は残る。

7. 今後の展望

今後の展望として、同様の堆肥化プラントにも本構成の生物脱臭装置が適用可能かを検証し、新たな市場展開を模索するとともに、今回取り上げた臭気成分以外（特に硫化物系）に対する酵素水を活用した脱臭性能も明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 消費者庁 HP 令和 4 (2022) 年度食品ロス量推計値の公表
- 2) 染谷孝：廃棄物資源循環学会誌 32.6 (2021), 409-418
- 3) 環境省 HP ひと目で分かる「脱臭装置」選択ガイド <https://www.env.go.jp/content/900397592.pdf>
- 4) 樋口能士：環境技術 24.10 (1995), 581-587
- 5) 中森茂：技術の系統化調査報告 14 (2009), 139-183

2024 国際ウエルディングショーに出展

当社として約30年ぶりに、2024年4月24日(水)～27日(土)にインテックス大阪にて開催された『2024 国際ウエルディングショー』に出展しました。国際ウエルディングショーは、国内最大の溶接・接合、切断技術専門の展示会です。

当社は、国内外の熱間圧延等のロール類で多く採用されている、長寿命化を達成する複合鋳造技術(CPC法)と、薄肉厚・高密着・高緻密・低希釈率を高度に可能とする新しい表面処理技術(Fプロセス)を、コーティングゾーンにて展示説明を行いました。

当社ブースの来場者の多くは、本展のホームページで掲載されたガイドブックを事前に見て、興味を持たれた方々が多く、CPC法を知らない方もいらしたが、CPC法によるロールの再生には驚かれた方も多くいらっしゃいました。一方、パネル内容で興味を持って頂いたが、サンプル展示数が少なかったため、「サンプルがないとわからない」との意見を多数頂戴しました。今後は、CPC法によるロールをはじめ、硬化肉盛ロールやFプロセス、業界に先駆けた接着剤不要の光触媒コーティング、光除菌を施した商品等、数多く展示していき、来場者には「フジコー」により一層興味を持って頂くと共に、企業様の事業発展に微力ながら貢献できるよう努めて参ります。

・ 出展内容 ・



CPC法 CPC (Continuous Pouring process for Casting)

CPC法の概要

CPC法は、熱間圧延用ロールの再生に不可欠な技術であり、高品質な再生ロールを安定供給するための重要な技術です。従来のロール再生方法と比較して、CPC法は再生ロールの品質を大幅に向上させ、再生サイクルを短縮し、コスト削減を実現しています。

CPC法の利点

- 再生ロールの品質向上
- 再生サイクルの短縮
- コスト削減
- 環境負荷の低減

CPC法の再生

再生ロールの品質を向上させるためには、CPC法による再生が不可欠です。CPC法は、再生ロールの品質を大幅に向上させ、再生サイクルを短縮し、コスト削減を実現しています。

ロール再生の特長

- 再生ロールの品質向上
- 再生サイクルの短縮
- コスト削減
- 環境負荷の低減

実績

- 2013年 株式会社フジコー 再生ロール再生技術開発事業 役員 役員
- 2014年 株式会社フジコー 再生ロール再生技術開発事業 役員 役員
- 2015年 株式会社フジコー 再生ロール再生技術開発事業 役員 役員

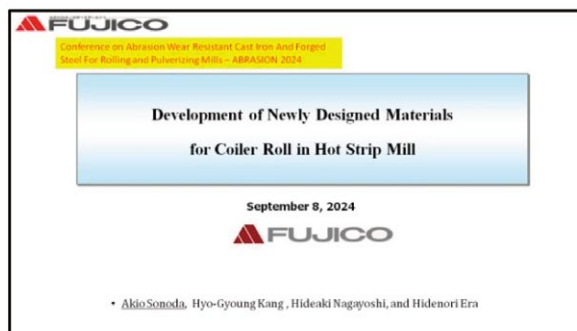
大野 京一郎 (事業化推進室)

ABRASION 2024 への参加

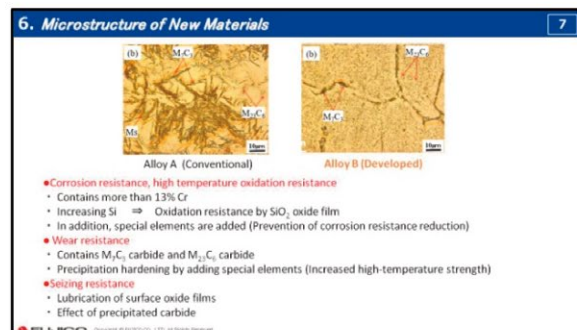
2024年9月8日から9月10日まで、オーストリアのザルツブルクにあるウィンダム グランド ザルツブルク カンファレンス センターで開催された「Conference on Abrasion Wear Resistant Cast Iron And Forged Steel For Rolling and Pulverizing Mills - ABRASION 2024」に弊社が参加しました。この「ABRASION 2024」は、圧延や耐摩耗材料に関する国際的なカンファレンスで、日本の福岡(2002年)、ブラジルのサンパウロ(2005年)、イタリアのトレント(2008年)、ベルギーのリエージュ(2011年)、スウェーデンのストックホルム(2014年)、大阪(2017年)で過去には開催され、今回オーストリアのザルツブルク(2024年)が第7回目となります。今回は、各国の大学や企業の方々が40名ほど参加されていました。

弊社からは、「Development of Newly Designed Materials for Coiler Roll in Hot Strip Mill」として、CPC (Continuous Pouring process for Cladding) 法で製造した熱延コイラーで使用される巻取りロール用材料の特性について報告しました。報告後には、優れた耐腐食性や耐焼付き性、高温特性などについて参加者の方々と意見交換を行いました。弊社がCPC法によって、独自性の高いロールを製造している事が、各国参加者の方々へも伝わったのではないかと思います。

弊社では、CPCロール材料の開発に日々取り組んでいます。今回の「ABRASION 2024」で得られた知見を活かして、更なる優れた商品を生み出すように邁進してまいります。



ザルツブルク (オーストリア)



報告資料 (抜粋)



ウィンダム グランド ザルツブルク
カンファレンス センター

園田 晃大 (第一開発室)

編集後記

この度、FUJICO技報「創る」の第32号を無事発刊することができました。

本誌の制作にご協力・ご尽力頂きました関係者の皆様に、特に巻頭言を執筆頂きました東京理科大学 名誉教授 藤嶋 昭様には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

本号では、当社の新たな事業分野である新環境事業のうち光触媒関連製品に関する特集を行い、幅広いお客様の生活環境改善に向けた取り組みをご紹介します。

当社は今後も高い目標を掲げ技術開発に挑戦してまいりますので、本誌を通じてお届けする当社の技術や製品が、お客様のお役に立てますと幸甚でございます。

フジコー技報 技報-tsukuru No.32 令和6年12月発行

編集発行人 中山 輝路

©株式会社フジコー（禁無断転載）

発行所 株式会社フジコー 技術開発センター
〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目110-10
<https://www.kfjc.co.jp/>

印刷所 株式会社スピナ
〒804-0001 福岡県北九州市戸畑区飛幡町2番2号
<https://www.spina.co.jp/>



TSUKURU