



技報「創る」

tsukuru

FUJICO Technical Report 2020

No.28



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。表紙は卓越した技術で制作された作品で飾りました。“独創的な技術開発”という弊社の開発理念をこの作品に託し、メッセージといたします。

福岡積層工芸ガラス

■解説

「マルティグラス」の名前で親しまれている工芸品。性質の異なる素材を何層にも重ねるのが特徴で、高い透明度や豊かな曲線、そして代々受け継がれる数百種類以上に亘る鮮やかな色から生まれる装飾品や食器は、人々の目を楽しませてくれます。約100年前から製造されている比較的新しい文化です。

(表紙写真 福岡県提供)

目次

巻頭言	・フジコー技報第28号によせて SDGsを通じて、人々の幸せと社会の発展を支える				
	ウシオ電機株式会社	代表取締役社長	内藤 宏治	1	
随想	・フジコー技報第28号によせて				
	北九州市環境局 アジア低炭素化センター 事業化支援担当課長		村上 恵美子	4	
技術解説	・高速フレーム溶射における超音速ジェットダイヤモンドパターン				
	鹿児島大学大学院 理工学研究科	教授	片野田 洋	6	
	・Bacillus 属 TM-I-3 株の性状および非接触抗菌作用に関わる揮発性物質の探索				
	長崎国際大学 薬学部薬学科 環境毒性学研究室	教授 助手	佐藤 博 大崎 千尋	10	
技術論文	・持続可能なエネルギーの未来				
	ウシオ電機株式会社 R&D 本部 パワー・システム部 エネルギーマネージメントアドバイザー エネルギーマネージメントアドバイザー		中村 雅規 平見 朋之	17	
	・圧延ロール軸部強度に及ぼす諸因子の影響				
園田 晃大、宮本 浩二、永吉 英昭			23		
・CPC 製スリーブの拡管についての研究					
近藤 加寿心、園田 晃大、永吉 英昭、姜 孝京			28		
・嗅覚測定法とガスクロマトグラフィーの相関考察					
藤井 恵理子、坂口 昇平、樋口 友彦、裴 銀榮			33		
・25m ³ 空間における空気消臭除菌装置の浮遊ウイルス除去シミュレーションと 実試験比較によるシミュレーションへの帰納					
正寶 未宇希、山本 清司、樋口 友彦、裴 銀榮、坂口 昇平			38		
・医療現場における環境実態調査及び光触媒タイルの抗菌性能評価					
山本 清司、原田 知典、永吉 英昭			44		
・PID 式 VOCs センサーの快速現場検出方法とデータ解析					
張 文皓、原賀 久人、道家 隆博			51		
新製品・新技術	・フジコーの光触媒技術・製品のご紹介				
江藤 武			55		
運営組織図				60	
事業所・工場所在地				61	

CONTENTS

Foreword	Koji Naito	1
Memoir	Emiko Murakami	4
Commentary	• Diamond Patterns of Supersonic Jet Flow discharged from HVOF Thermal Spray Gun Hiroshi Katanoda	6
	• The Bacteriological Properties of Bacillus Strain TM-I-3 and Analysis of the Volatile Antifungal Compounds Emitted by this Bacteria Hiroshi Sato, Chihiro Osaki	10
	• The future of sustainable energy Masaki Nakamura, Tomoyuki Hiram	17
	Technical Paper	
• Effects of Various Factors on the Rolling Roll Shaft Strength Akio Sonoda, Kouji Miyamoto, Hideaki Nagayoshi	23	
• Research on Expanding Method of Sleeve-type Roll Manufactured by CPC Process Kazusi Kondou, Akio Sonoda, Hideaki Nagayoshi, Hyo-Gyoung Kang	28	
• A Study on the Correlation between Olfactory Measurement Method and Gas Chromatography Eriko Fujii, Shohei Sakaguchi, Tomohiko Higuchi, Eunyoung Bae	33	
• Induction to Simulation by Comparing Simulation with Actual Test for Removed Airborne Virus Using FUJICO Air Deodorant Sterilizer in 25m ³ Space Miuki Shoho, Kiyoshi Yamamoto, Tomohiko Higuchi, Eunyoung Bae, Shohei Sakaguchi	38	
• Actual Environmental Survey on Medical Field and Evaluation of Antibacterial Performance for Photocatalyst (TiO ₂) Tile Kiyoshi Yamamoto, Tomonori Harada, Hideaki Nagayoshi	44	
• Rapid Field Inspection and Data Analysis of PID-VOCs Sensor Wenhao Zhang, Hisato Haraga, Takahiro Douke	51	
New Products and New Technology	• Introduction of Fujico Photocatalyst Technology and Products Takeshi Etoh	55
Organization		60
Address		61

フジコー技報第28号によせて

SDGs を通じて、
人々の幸せと社会の発展を支える

ウシオ電機株式会社
代表取締役社長

内藤 宏治
Koji Naito



1. はじめに

今回、貴社技報「フジコー技報」への寄稿の栄を賜り厚く感謝申し上げます。また、本技報が四半世紀もの長きに渡って発行し続けられてきたことは、貴社が創業当初より技術開発を重要視されてきたという証左であるとともに、貴社長年の技術開発への誇りを体現されているものと敬意を表します。

先が見通せず目まぐるしい変化の中にある昨今、企業には業種や業界を超えた連携による新たな価値創造、それら取り組みから生まれるイノベーションによる課題解決が求められており、我々も例外ではありません。今回の貴社技報への寄稿はその第一歩として、貴社と弊社が互いを理解し、連携を深め、共に社会課題の解決に向けたイノベーションを創出するための一助となれば幸甚です。

当社は前回の東京オリンピックが開催された1964年、兵庫県姫路市で創業しました。当時、「あかり」としてのみの利用が一般であった「光」を、あかりとしてだけではなく、「化学エネルギー（紫外線）」、「熱エネルギー（赤外線）」として利用することで、半導体やフラットパネルディスプレイ、電子部品製造などのエレクトロニクス分野や、シネマ用デジタルプロジェクターや照明などのビジュアルイメージング分野で多くの世界トップシェア製品を生み出し、現在ではランプやレーザー、LEDなどの各種光源に加え、それらを組み込んだ光学・映像装置を展開しております。

そして今年、当社は2030年に向け「あかり・エネルギーとしての光の利用を進め、人々の幸せと社会の発展を支える」という新たなミッションのもと、私たちの光技術で、より大きな社会的課題を解決し、自社の社会的価値ひいては経済的価値を向上させるべく、「便利・快適」「感動・共有」「安心・安全」をそれぞれのキーワードとした3つの事業展開を開始しました。

一つ目は、世界の人々の「便利・快適」を支えるインダストリアル分野です。半導体や電子部品製造用の装置や、次世代半導体検査用装置などによる光加工技術を通じ、便利で快適な社会基盤づくりを支えるものです。

二つ目は、世界の人々の「感動・共有」を提供するビジュアルイメージング分野です。シネマ用デジタルプロジェクターやその光源、バーチャルリアリティシステムや景観照明といった映像・照明技術を通して新たな感動・共有を提供してまいります。

そして三つ目は、世界の人々の「安心・安全」を実現するライフサイエンス分野です。このライフサイエンス分野とSDGsは非常に密接な関連があり、多くの企業が挑戦していることは皆様ご承知の通りであり、当社においても、自社の光技術を応用し、地球と人々の健康を支えることを目的にこの第三の分野に注力してまいります。

貴社とのお付き合いの開始は、ランプ封止技術を太陽電池へ転用する事がきっかけでした。貴社の“光触媒を活用した製品の大量製造技術”と、当社の“光・封止・電源・システム”が融合することで、科学技術推進機構（JST）が進める戦略的イノベーション創出プログラムにおいて最高評価となるS評価を受けられたことは、これこそ業界を超えた連携の成果であると認識しております。

このような取り組みの継続こそが、国連の掲げる「持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）」の達成に向けた第一歩であると考えております。また、日本経済団体連合会が「Society 5.0 for SDGs」を推進している様に、世界規模の社会的課題を克服するためには、DX（Digital Transformation）を積極的に取り入れ、労働生産性向上、健康寿命の延伸、公衆衛生の改善、医療費の削減、食糧の生産性向上、エネルギーの効率生産や効率利用、畜エネルギー、環境汚染の抑制、ワークスタイル変革など様々な取り組みを進める必要があります。いずれにおいても、“光”とデジタル（システム）により、克服し得る社会課題であると信じております。

貴社は1952年の創業以来、鉄鋼の製造工程において中核的な役割を担ってこられた歴史があり、近年では、新たに環境事業・介護事業、そしてエネルギー問題にまで率先して取り組まれています。未来を予測し、鉄鋼事業に固執することなく、新たな事業に常に挑戦を続けている姿勢は、模範とすべき企業活動であります。

特に、貴社の光触媒の独自技術は、低コストで、世界トップクラスの性能を確立されております。その独自技術を製品とサービスに展開し、医療現場を始め社会に貢献することを第一の目的に開発がなされております。

また、それら開発を可能とするためには、優れた人材の育成が欠かせません。貴社の“フジコー

60年史”には、貴社の技術に対する情熱や根底に流れる想い、特に技術継承・人材育成への考え方が述べられており、非常に感銘いたしました。優秀な技術者の輩出こそが持続的開発目標の達成において非常に重要であると、改めて認識しております。

SDGsが一般化される以前から、社会貢献を第一とした技術開発を行ってこられたことに敬服を表します。このような取り組みは、国内外を問わず、環境・医療・福祉の問題に直面する世界の方々から、多くの理解・支援を得られる取り組みであります。

2020年は、誰もが予測できなかったパンデミックの影響を受け、世界的に厳しい状況を余儀なくされております。加えて、日本における少子高齢化の進行、世界規模では、自然災害・地球温暖化などの環境問題、エネルギー問題、人口増加、食料問題、資源の枯渇など、多くの問題が顕在化しております。

不確実性の高まる現代において、これら多くの問題の解決は、ますます、単独企業の力では限界となってきます。企業においても多様性（同業のみでなく異業種企業）を重視し、複数の企業が知恵を結集し、協力し合い、これらの諸問題を持続的に解決する必要があると考えています。

例えば、貴社は光触媒技術の強み活かした消臭、除菌などへの取り組みを、当社は光による殺菌、ウイルス不活化への取り組みを進めております。互いに技術や手段は違うものの、目指す社会の将来像は同じです。様々な社会課題を想定し、両社の取り組みを単なる足し算で終わらせるのではなく、掛け算とすることでさらなる価値を創出し、社会課題の解決に向けチャレンジしていくことが企業価値の向上、ひいてはより良い社会の実現へと繋がります。

末筆ながら、今後とも技術開発に重きをおくという理念の元、不確実な時代の要求に応え得る技術開発・事業展開を通して“継続的開発目標”の達成を実現されることを祈念し、私の巻頭言とさせていただきます。

【履歴書】

ないとう こうじ

内藤 宏治

生年月日 昭和38年4月3日

【略 歴】

昭和61年	4月	ウシオ電機株式会社 入社
平成22年	4月	第二事業部プロジェクトBU 販売促進部長 就任
平成25年	4月	第二事業部営業部門長 就任
平成26年	4月	第三事業部長 就任
平成26年	10月	執行役員 就任
		光源事業部副事業部長兼光源事業部営業部門長 就任
平成27年	4月	上級執行役員兼光源事業部長 就任
平成28年	4月	常務執行役員 就任
令和 元年	6月	代表取締役社長 就任
		現在に至る

随 想

フジコー技報第28号によせて

北九州市環境局
アジア低炭素化センター
事業化支援担当課長

村上 恵美子
Emiko Murakami



このたび、フジコー技報 28 号の随想を書かせていただく機会をいただき、ありがとうございます。現在、弊職は、環境局のアジア低炭素化センターで、低炭素化技術の事業化支援を担当しております。具体的には、インドネシア、フィリピン、マレーシアを担当しており、廃棄物問題の解決や省エネ、低炭素化技術の導入に向けて、環境省や JICA のスキームを活用した市内企業のビジネス展開支援などを行っています。

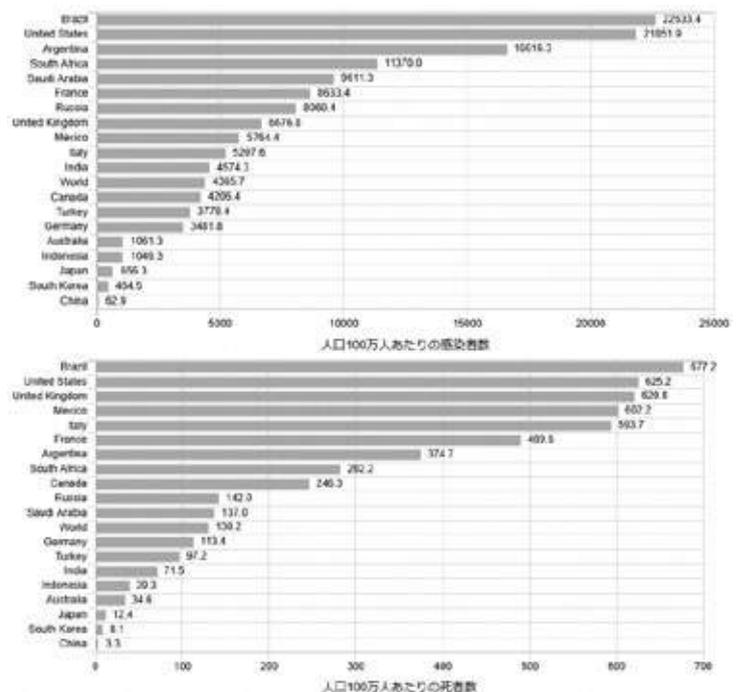
フジコー・永吉さまには、弊職が北九州産業学術推進機構（FAIS）で、産学連携での技術開発支援を担当していた際に初めてお会いしました。その際、フジコー様の溶射技術を活用した太陽電池や光触媒タイルの開発などをご支援させていただきました。

さて、2020年に入ってから、COVID-19 が世界中に蔓延し、2020年9月末現在で、3380 万人が感染、死者は 101 万人を超えています。特に被害が深刻なのは、人口 100 万人あたりの感染者数の多い順に、ブラジル、アメリカ、アルゼンチンとなっています。人口当たりの死者数でも、アメリカ、ブラジルは深刻です。

令和改元やオリンピックを間近に控えて、明るく盛り上がっていた、1年前の日本からは、考えられない状況です。

世界での蔓延については、様々な原因が、メディアでも取り上げられていますが、私はアメリカについては、医療保険（保険を持ってない感染者が、適

正な診療を受けないために、感染を広げる、助かる患者が助からない）が原因の 1 つではないかと思っています。一方、ブラジルでは、ファベラと呼ばれる貧困地域での感染拡大が問題となっているようです。最近、NHK-BS1 でよく放映されていますが、ファベラでは、手洗いをを行うための衛生的な水がなく、排水もそのまま家の外に流されている、といった衛生状況が感染拡大の一因ではないか、とのことでした。



(出典 : <https://web.sapmed.ac.jp/canmol/corona-virus/index.html?s=y#date>)

日本では、連日のニュース放送で、感染拡大が心配されていますが、世界的に見れば、感染者数、死者数ともに低く抑えられていると思います。これについても、さまざまなファクターXがメディアで取

り上げられていますが、1つにはやはり、医療体制が充実しており、治療が受けられること、手洗い、マスクの着用などが他国に比べて徹底している、ということがあると思います。日本での感染ではやはり家庭内感染、院内感染など、濃厚接触が起きやすい場所での感染拡大がみられています。このうち、家庭内感染については、クルーズ船ダイヤモンドプリンセス号でのウイルス検出が参考になると思いますので、ご紹介させていただきます。

ダイヤモンドプリンセス号の患者の部屋では、21部屋（64%）からの57検体（17%）で検出し、有症状患者が使用していた19部屋では10部屋（53%）から28検体（15%）、無症状患者しか使用していなかった13部屋では10部屋（77%）から28検体（21%）で検出されています。各部屋での検出頻度は、浴室内トイレ床13か所（39%）、枕11か所（34%）、電話機8か所（24%）、机（24%）、TVリモコン7か所（21%）などとのことです。これらは、当然ながらよく触れる場所や飛沫の飛び散り、落下する場所からの検出です。

（出典：<https://www.niid.go.jp/niid/ja/diseases/ka/corona-virus/2019-ncov/2484-idsc/9597-covid-19-19.html>）

また、ウイルスの感染力についても、調査されており、エアロゾルで3時間、段ボール紙で1日、ステンレスやプラスチックなどで2～3日、となっているようです。

これは、細菌類と違って、新型コロナウイルスは無生物上で増殖はしないものの、すぐに死滅するわけではないため、注意が必要であることが示されています。

（出典：<https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMc2004973>）

ここで思い出したのが、フジコー様が開発されている光触媒（タイルや空気清浄機）が、インフルエンザウイルスなどの感染抑制に効果がある、という研究をされていたことでした。

普段住んでいる住宅で、始終、床やドアノブ、リモコンをアルコールなどでふき取る、ということは、現実的なことではないでしょう。また、病院や介護施設などでも、医療体制がひっ迫してくれば、手にかかる机や床などの消毒作業はできるだけ省力化し、患者に集中したい、という状態も出てくることが考えられます。

光触媒で、ウイルスの感染抑制・予防効果が得られるのであれば、こんなに素晴らしいことはないと思います。

弊職が担当しております東南アジアの各都市でも、感染が拡大し、医療物資、人的資源の不足が発生しておりました。このような時に、少しでも感染を抑えていくために、光触媒タイルや空気清浄機が役に立つのではないのでしょうか。

もちろん、様々な科学的な検証を待たなければならぬとは思いますが、アフターコロナ、ウイズコロナの新たな世界の一助として、フジコー様の光触媒技術が多くの人を助け、社会に根差している技術となることを願っております。

技術解説

高速フレイム溶射における 超音速ジェットのパターン

Diamond Patterns of Supersonic Jet Flow
discharged from HVOF Thermal Spray Gun

鹿児島大学大学院
理工学研究科
教授

博士（工学） 片野田 洋
Hiroshi Katanoda



1. はじめに

1980年代に米国で高速フレイム（High Velocity Oxy-Fuel ; HVOF）溶射¹⁾が考案されて以来、コールドスプレー²⁾、エアロゾルデポジション法³⁾など、超音速流れを用いる新しいコーティング法が考案されている。超音速噴流は、ノズル出口から下流側に向かって特徴的な衝撃波パターンを形成する。高温の噴流の場合、特別な可視化手法を用いなくても、この衝撃波パターンを温度変化として視認することができる。

溶射皮膜の特性は、基材に衝突するときの溶射粒子の速度、温度に強く依存する。これらを決定づけるのは燃焼ガスの流動パターンである。燃焼ガス流は温度が高いため、速度や温度を測定するのは容易ではないが、衝撃波パターンから有用な情報を得ることができる。本技術解説では、ノズル内に超音速流れが生じる原理と、超音速噴流中に形成される衝撃波パターンについて解説を行う。

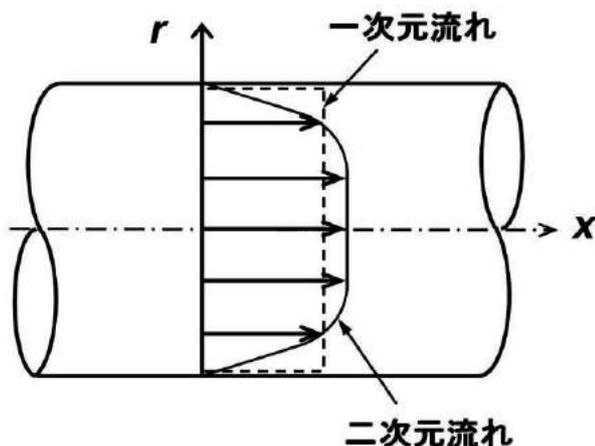


図1 管内の流れ

2. ノズル内における垂直衝撃波の生成

管内を流れる流体の断面にわたる速度分布を図1に実線で示す。流体の速度は中心軸で最も速く、壁面では粘性によりゼロである。これを、破線で示すように一様な断面平均速度に置き換えて考える。これを一次元流れという。圧力、密度、温度についても断面平均の値を考える。断面積が流れ方向に変化する場合は、準一次元流れと呼ばれる。本解説では、準一次元流れを想定する。

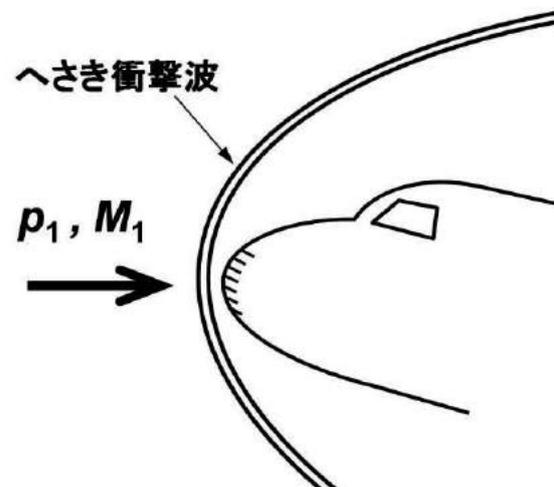


図2 航空機前方のへさき衝撃波

音速の何倍の速度であるかを表す無次元数をマッハ数という。静止した大気中を、マッハ数 $M_1 > 1$ で飛行する航空機先端部の模式図を図2に示す。このとき、航空機の前面には弓形の不連続面（衝撃波）が形成される。“不連続面”とは、流れの物理量が不連続的に変化する境界面を指す。機体先端に衝突する流れのマッハ数は1未満に低下し、速度も低下する。圧力、密度、温度は上昇する。衝撃波の厚さ

は、常温常圧程度の空気で $1\mu\text{m}$ 程度のオーダーであるため、厚みのない境界面とみてよい。航空機の先端近傍では、衝撃波は局所的に流れに垂直である。そのような衝撃波を垂直衝撃波という。本解説では、ノズル内に発生する衝撃波を垂直衝撃波と近似する。

ノズル内に発生する衝撃波について説明するにあたり、図3に示すような実験装置を考える。ボンベ内の高圧空気が弁を通して貯気室に供給され、先細末広の超音速ノズルを通して大気に噴出する。衝撃波の形成過程は圧力に依存し、温度に依存しない。定性的にはガスの種類にも依存しない。そのため、HVOF 溶射ガンにおける衝撃波の形成過程も定性的には常温の空気に置き換えて考えることができる。

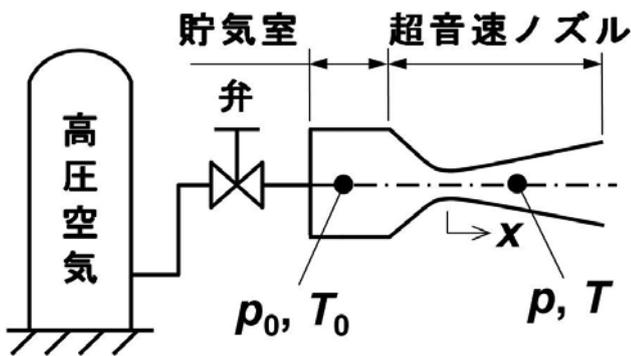


図3 超音速噴流の実験装置

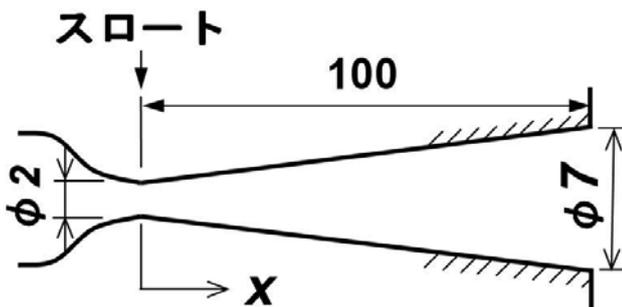


図4 ノズル形状

本章では、図3の実験装置においてノズル内に超音速流れが形成される過程について述べる。例として、図4に示すノズル形状を考える。スロートを原点として中心軸に沿って下流方向へ x 軸をとる。図3において弁が全閉の状態ではノズル内に流れはなく、ノズル内の圧力は大気圧 p_b に等しい。

弁を少しずつ開けていくと、ノズル内の任意の位置における気流の速度は次第に大きくなる。気体の速度が最も大きい位置はスロートである。ある貯気圧に達したとき、まずスロートで音速に達する。その下流の末広部では亜音速の減速流れとなる。このときの圧力比 p_0/p_b を計算すると、 $p_0/p_b=1.002$ である。すなわち、貯気圧を大気圧よりも 0.2% 大きくするだけでスロートの流れは音速になる。垂直衝撃波が弱くなった極限は音波であるが、スロートで流れが音速 (マッハ数 $M=1$) になったということは、スロートに弱い垂直衝撃波が発生したことと同じである。

弁を再びゆっくり開けていく (p_0/p_b を 1.002 よりも大きくする) と、スロートでのマッハ数は1のままで、スロートから垂直衝撃波が下流側に移動する。このとき、垂直衝撃波は次第に「強く」なる。「強く」なるとは、垂直衝撃波直前の流れのマッハ数が大きくなることを指す。その結果、図5に示すようにスロートから垂直衝撃波の位置 $x=x_s$ までは超音速の加速流れ、それより下流は亜音速の減速流れとなる。図5においてマッハ数は、 $M_e < M_2 < 1$ である。

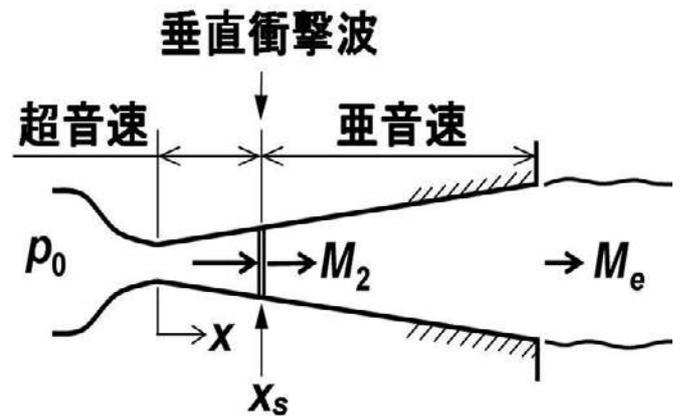


図5 垂直衝撃波を含むノズル内の流れ

弁をさらに開けていくと垂直衝撃波はさらに下流側へ移動し、 $p_0/p_b=9.30$ のときノズル出口に達する。このとき、ノズル出口における垂直衝撃波直前の圧力は、大気圧よりも低い。大気圧よりも膨張し過ぎていたという意味で、このような状態を過膨張状態という。次に述べるように、 p_0/p_b を 9.30 よりも大きくするとノズル出口の衝撃波はしだいに弱くなっていく。

3. 噴流中に形成される衝撃波

弁をさらに開いていくと、ノズル出口にあった垂直衝撃波は、図6に示す「斜め衝撃波」(ノズル出口にあった垂直衝撃波よりも弱い)に移行する。これに対応して、ノズル出口直後での噴流境界は中心軸側を向く。したがって、ノズル出口直後の噴流境界が内側を向いていれば過膨張状態であると判断することができる。

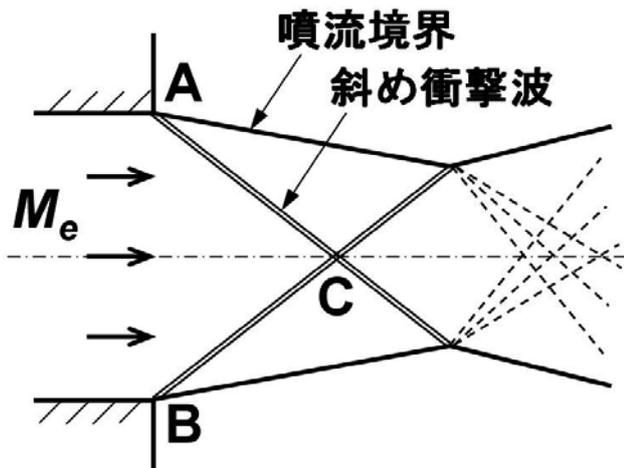


図6 ノズル出口の斜め衝撃波

引き続き弁を開いていくと斜め衝撃波はさらに弱くなるとともにノズル出口の圧力は上昇し、ある p_0/p_b のときにノズル出口の圧力は大気圧に等しくなる。これは適正膨張状態と呼ばれ、このとき、斜め衝撃波は衝撃波の最も弱い極限である音波になる。図4のノズル形状で適正膨張状態が得られるのは、 $p_0/p_b=185$ のときである。

圧力比が $9.30 < p_0/p_b < 185$ では、ノズル内は超音速で出口の静圧は大気圧よりも小さい(過膨張状態)。 $p_0/p_b > 185$ では、ノズル内は超音速でノズル出口の静圧は大気圧よりも大きい。すなわち、膨張が足りないため、不足膨張状態と呼ばれる。

不足膨張状態でのノズル出口直後の流れについて述べる。この場合、流れはノズル出口から大気へ膨張することになる。これは、図7に示すようにノズル出口の角から生じる扇状の膨張波によって行われる。このとき、噴流境界の流線は外側へ曲げられる。したがって、ノズル出口直後の噴流境界が外側を向いていれば、不足膨張状態であると判断することができる。

過膨張状態、不足膨張状態の場合、ノズル出口直後の流線はそれぞれ内側、外側を向く。しかし、これは下流方向へいつまでも続かない。不足膨張状態の場合について、ノズル出口下流の噴流構造を図7を用いて説明する。点Aから生じた膨張波の AB_1 を波頭、 AB_2 を波尾という。図7には波頭と波尾の間に1本の膨張波しか描いていないが、実際にはこの間に無数の膨張波が存在する。膨張波の波頭 AB_1 は、点 B_1 で噴流境界と交わる(入射する)。このとき、膨張波は噴流境界で圧縮波となって中心軸側へ反射し、圧縮波 B_1A' を形成する。同じことが波頭と波尾の間の全ての膨張波で起こり、圧縮波は点 A' に収束する。点 A' に入射した圧縮波は、今度は膨張波となって中心軸側へ反射する。すなわち、点Aを始点として生じた膨張波が点 A' から再び始まる。これが下流方向へ繰返されることにより、噴流はダイヤモンド型のセル構造となる。

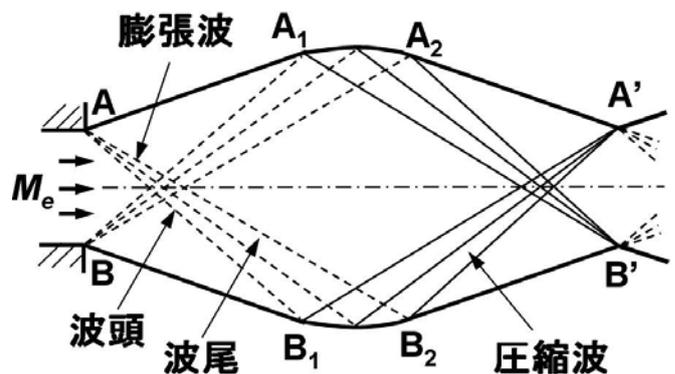


図7 噴流中の膨張波と圧縮波

4. 衝撃波パターンの解説

HVOF 溶射ガンにおけるフレーム中の衝撃波の例⁴⁾を図8に示す。この超音速フレームは、ノズル出口において噴流境界が外側に膨らんでいるため、不足膨張状態である。ノズル出口下流に生じている流れに垂直な面はマッハディスクと呼ばれる円形の垂直衝撃波である。これは、図7に示した圧縮波が密集して衝撃波となったものが中心軸上で交差することで発生する。マッハディスクはノズル出口に1つしか発生しない。マッハディスクの外周からは、反射衝撃波が斜め下流方向に生じる。マッハディスクや反射衝撃波を通過した流れは速度が減少することで温度が上昇するため、視覚的に明るい領

域になる。反射衝撃波が噴流境界に入射すると、膨張波として中心軸側に反射する。これは、図7における点 A, B から生じる膨張波と同じである。このようにして、衝撃波パターンが下流方向に繰り返される。ただし、流れの粘性により衝撃波パターンは下流にいくほど不鮮明になる。



図8 HVOF 溶射ガンのフレーム中の衝撃波

5. おわりに

HVOF 溶射ガン内に超音速流れが形成される過程と、超音速噴流中に現れるダイヤモンドパターンについて解説を行った。溶射技術者にとって何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) J. Browning, J., U.S. Patent, No. 4,568,019, 1986.
- 2) A. Papyrin, Advanced Materials & Processes, Vol. 159, No. 9, 2001, pp. 49-51.
- 3) J. Akedo and M. Lebedev, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, 1999, pp. 5397-5401.
- 4) <https://www.kfjc.co.jp/business/spraying.php>

Bacillus 属 TM-I-3 株の性状および非接触抗菌作用に関わる揮発性物質の探索

The Bacteriological Properties of *Bacillus* Strain TM-I-3 and Analysis of the Volatile Antifungal Compounds Emitted by this Bacteria

本論文は、一次出版論文の”*Biocontrol Science*, 2019, vol. 24, No. 3, pp. 129-136” に掲載された同表題の論文を二次出版投稿したものである。



長崎国際大学 薬学部薬学科
環境毒性学研究室 教授
博士 (薬学) 佐藤 博
Hiroshi Sato



長崎国際大学 薬学部薬学科
環境毒性学研究室 助手
博士 (薬学) 大崎 千尋
Chihiro Osaki

要旨

これまで我々は、長崎県内の土壌から単離・同定した *Bacillus* 属に属する TM-I-3 株の探索を行ってきた。この菌は、対象の真菌に触れることのない状態で抗真菌作用を示す。この非接触的抑制はあらゆる方向からの抑制を可能にし、疾患予防に貢献する可能性がある。今回の研究において、我々は TM-I-3 株の微生物学的性状を明らかにし、この菌が揮発する化合物による抗菌活性を評価した。加えて、非接触的抑制作用のメカニズムを明らかにするため、GC/MS 分析を用いて TM-I-3 株の揮発性抗菌物質を分析した。これより、TM-I-3 株が酢酸、プロピオン酸、イソ吉草酸、2-メチルブタン酸、ベンズアルデヒドといった抗菌活性が報告されている物質を産生していることが分かった。TM-I-3 株は *A. fumigatus*、*C. cladosporioides* および *P. expansum* といった真菌の抑制能力を示すため、今後は代表的な屋内の真菌による汚染やいくつかの肺疾患の予防に繋がる可能性がある。

1. 緒言

これまでいくつかの先行研究において、*Bacillus* 属の菌は抗菌効果や抗真菌効果があることが報告

されている¹⁾⁻³⁾。これまでの全ての研究は、*Bacillus* 属の菌が産生する抗菌物質が対象と直接接触することにより、真菌や細菌の成長を阻害することを示している。しかしながら、*Bacillus* 属を含むいくつかの菌が、特定の菌や真菌に対して高い増殖抑制作用を示す揮発性物質を産生する報告もある^{4), 5)}。精油の揮発性物質による抗菌作用は良く知られているが、対象に触れることなく抗菌作用や抗真菌作用を発揮する利点は、あらゆる方向からの抑制が可能であり、簡便な病気の予防法を提供できる点である^{6), 7)}。これらの特徴を利用し「家庭用微生物製剤」として、すでにいくつかの製品が市場に出回っているが、これらの製品には未だに明確な抗菌性や安全性のエビデンスがない。

我々は長崎県内の土壌から単離・同定した *Bacillus* 属に属する TM-I-3 株が、数種類の真菌に対して非接触的に抗真菌作用を示すことを発見した⁸⁾。それゆえに、今回の研究において、我々は 16S rDNA 塩基配列・分子系統解析、形態学的解析、生理学・生化学的解析より TM-I-3 株の微生物学的性状を明らかにした。加えて、非接触な真菌抑制作用のメカニズムを明らかにするために GC/MS 分析を用いて TM-I-3 株の揮発する抗菌物質を分析した。

2. 材料および方法

2.1 供試験株のスクリーニング

長崎県の土壌から採取した土壌サンプルを 0.2 M のリン酸緩衝液へと混合し、80 °C にて 10 分間加熱した。この溶液を激しく振盪させた後、普通寒天培地 (05514, Nissui Co., Ltd., Tokyo, Japan) の上に広げた。その後、この普通寒天培地を 24 時間から 48 時間かけて 50 °C の温度で恒温した。恒温後、普通寒天培地上に形成された各々のシングルコロニーをグラム染色法によりグラム陽性かグラム陰性か判定した。その後、グラム陽性になった菌株のみをそれぞれヒツジ血液寒天培地 (252201, Becton Dickinson and Company, Tokyo, Japan) に塗り広げ、溶血性の有無を確認した。この中で溶血性を示さない *Bacillus* 種の 1 つを TM-I-3 株とし本研究の供試験株とした。また、この菌株の実験サンプルは(有) T.M エンタープライズ社の碓正男氏により提供された。

2.2 被験真菌

被験真菌として、独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE) から分譲された *Aspergillus fumigatus* (NBRC 33022)、*Cladosporium cladosporioides* (NBRC 6348)、*Penicillium expansum* (NBRC 5453) を用いた。これらの真菌は以下順番に *A. fumigatus*、*C. cladosporioides*、*P. expansum* と表記する。

2.3 単離菌 *Bacillus* 属 TM-I-3 株の種の同定

単離菌の同定のため 16S rDNA 塩基配列・分子系統解析を各プロトコールに基づき行った。DNA はアクロモペプチダーゼ (Wako, Osaka, Japan) により抽出され、16S rDNA フラグメントは PrimeSTAR HS DNA ポリメラーゼ (Takara Bio Inc., Shiga, Japan) を用いて PCR 法によって増幅した。この際、使用したプライマーは 9F と 1510R であった。精製された DNA を BigDye™ ターミネーター v3.1 サイクルシーケンスキット (Applied Biosystems, CA, USA) を用いてサイクルシーケンシング法を行った。この際、使用したプライマーは、9F、785F、1099F、536R、802R、1510R であった。

DNA 断面を ABI プリズム 3130xl ジェネティックアナライザーシステム (Applied Biosystems, CA, USA) によって電気泳動し ChromasPro 1.7 シークエンシングソフトウェア (Technelysium Pty Ltd., Tewantin, Australia) により配列した。この塩基配列を、最も近縁な微生物の 16S rRNA 遺伝子配列の代表と比較した。これより TM-I-3 株の 16S rRNA 配列を微生物同定用 DNA データベース DB-BA 10.0 (Techno Suruga Laboratory, Shizuoka, Japan) と国際塩基配列データベース (DDBJ/GenBank/EMBL) から得た。16S rRNA 遺伝子の相同率は配列の対比較によって計算された。

2.4 形態学的観察

TM-I-3 株の形態学的な特徴を決定するため、光学顕微鏡 BX50F4 (Olympus, Tokyo, Japan) より観察を行った。

2.5 生理学・生化学的解析

Barrow ら⁹⁾の方法に基づき、カタラーゼ反応、オキシダーゼ反応、ブドウ糖からの酸/ガス産生、ブドウ糖の酸化/発酵 (O/F) の試験を行った。次に、API 50 CHB kit (bioMerieux, Lyon, France) を用いて、炭素や窒素の同化や酸化/発酵、酵素活性を試験した。また追加試験として、嫌気条件下での生育、20 °C 及び 50 °C 条件での生育、5% NaCl 条件での生育、カゼインの加水分解能およびでんぷんの加水分解能を調べた。

2.6 接触抗真菌試験

各被験真菌をそれぞれ塗り広げたポテトデキストロース培地 (以下、PDA 培地) の中央に滅菌済みのペーパーディスク (GE Healthcare UK Ltd, Buckinghamshire, UK) を置いた。このペーパーディスクの上に数滴の滅菌水を垂らして湿らせた後、37°C で 24 時間恒温した 0.01 g の TM-I-3 株含浸パーライト粉末を乗せた。コントロール群として、未含浸のパーライト粉末を用いた。このシャーレを 27°C で 7 日間恒温した。7 日後に各被験真菌のコロニーの面積を Foxit Reader® (Foxit Japan, Inc., Tokyo, Japan) を用いて測定した。

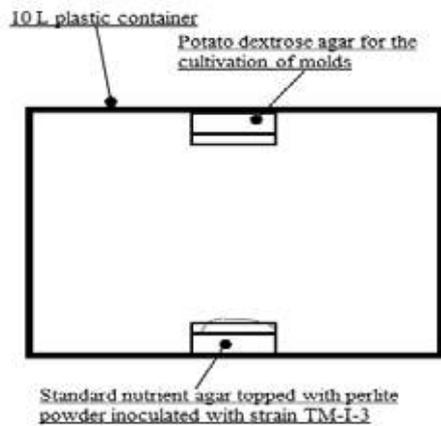


Fig.1 Structure of the experimental equipment used to measure antifungal activity without direct contact with the subject, as viewed from the side. Standard nutrient agar topped with 1.5g of perlite powder inoculated with TM-I-3 is placed at the bottom of a 10 L plastic container is. As a control group, sterilized perlite powder is used. On the opposite side, affixed to the top of the container, is placed potato dextrose agar on which each fungus is applied. This equipment is incubated at 27 °C for 7 d and the growth of the fungus is observed.

2.7 非接触抗真菌試験

TM-I-3 株含浸パーライト粉末 1.5 g を標準寒天培地（以下、SA 培地）に乗せたシャーレを 37°C で 3 ~4 時間恒温した。また各被験真菌をそれぞれ塗り広げた PDA 培地を用意した。10 L のプラスチック製の密閉箱（幅 21.6×奥行 30.9×高さ 23.8 cm）の内側の底に恒温した TM-I-3 株含浸パーライト粉末に乗せた SA 培地を設置し、密閉箱の天井の蓋の裏に用意した PDA 培地を逆さに固定した（Fig. 1）。これらの密閉箱を 27°C で 7 日間恒温した。7 日後に各被験真菌の面積を Foxit Reader® (Foxit Japan, Inc.) を用いて測定した。

コロニーの面積の平均値を用いて [1] の式から TM-I-3 株の各被験真菌の抑制率（Inhibition ratio）を求めた。

$$\text{Inhibition ratio} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \dots [1]$$

A_0 は未含浸パーライト粉末と共存させた各被験真菌のコロニー面積の平均値を示し、 A は TM-I-3 株を含浸させたパーライト粉末と共存させた場合の各被験真菌のコロニー面積の平均値を示している。

2.8 TM-I-3 株の揮発性物質の分析

2 mL のバイアルに約 0.01 g の TM-I-3 株を含浸させたパーライト粉末を採取し、37°C で 1 時間恒温した。SPME 装置の Carboxen/PDMS フィルムファイバーをセプタムを通して気相中に曝露し 37°C で 1 時間恒温した。ファイバーを鞘に戻し、その後 GC/MS で分析を行った。GC/MS 分析は Agilent 6890 inert gas chromatography system (Agilent J&W Scientific, CA, USA) を用いた。分離のためのカラムは DB-1 (60 m×0.32 mm i.d., 5.0 μm film thickness; 100% dimethylpolysiloxane) (Agilent J&W Scientific) を用いた。キャリアガスとして高純度ヘリウムガスを使用し、流量は 1.0 mL/min とした。スプリットレス注入を選択し、注入口温度は 250°C まで加熱した。GC オープンを 40°C に設定し、1 分間保持した。その後、温度勾配を 10 °C/min に設定し、280°C まで昇温、その後 20 分間保持した。検出方法は GC/MS フルスキャン、スキャンレンジは 30-300 m/z であった。

3. 結果および考察

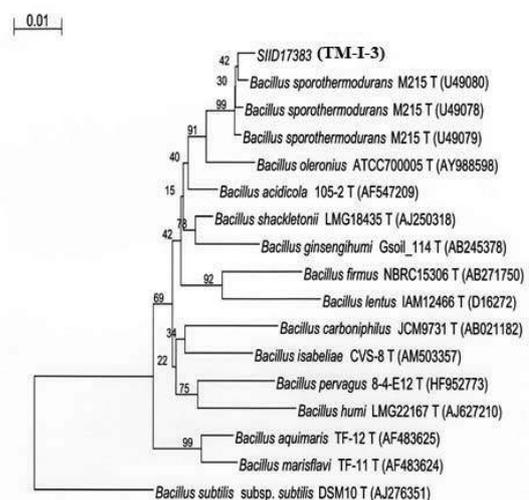


Fig.2 Phylogenetic relationship of TM-I-3, which was isolated from soil in Nagasaki, Japan and analyzed by partial 16S rDNA gene sequences. Branches show bootstrap values and scale are genetic distance.

3.1 TM-I-3 株の系統樹

Fig. 2 で示すように、微生物同定用 DNA データベース DB-BA 10.0 と国際塩基配列対する BLAST 相同性検索の結果、TM-I-3 株の 16S rDNA 塩基配列

は *Bacillus* 属の 16S rDNA 塩基配列に対し高い相同性を示した。また、*Bacillus sporothemodurans* M215 株の 3 つのアクセッション番号 (U49078, U49079, U49080) に対し相同率 99.1%~99.3% の最も高い相同性を示した。*Bacillus sporothemodurans* M215 株は、全ゲノム配列中に 3 つの配列の異なる 16S rDNA 遺伝子領域を有することが報告されている¹⁰⁾。

微生物同定用 DNA データベース DB-BA 10.0 に対する相同性検索で得られた上位 15 塩基配列を用いた 16S rDNA 塩基配列に基づく簡易分子系統解析の結果、TM-I-3 は *Bacillus sporothemoduran* M215 株の 3 つのアクセッション番号とは異なる分子系統学的位置を示していた。

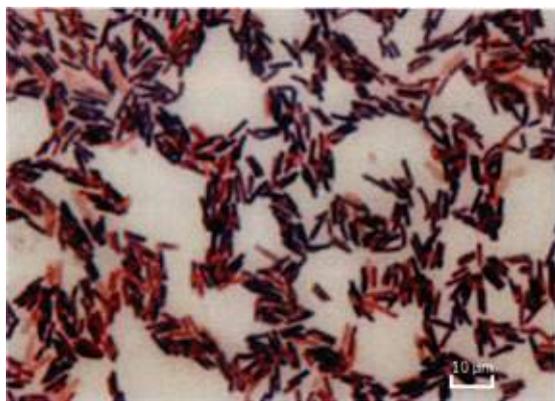


Fig.3 Gram-stained optical microscope image of strain TM-I-3

3.2 形態学的・生理学的・生化学的特徴

Fig. 3 と Table 1 で示すように、形態学的観察および生理学的解析より、TM-I-3 株は好気性条件下で生育し、運動性を有するグラム陽性桿菌で、芽胞を形成し、カタラーゼ反応およびオキシダーゼ反応はともに陽性を示した。これらの性状は、*Bacillus* 属の性状と一致する。しかしながら、API 50 CHB テストでは、Table 2 で示すように、TM-I-3 株は D-リボース、D-グルコースおよび D-フルクトースを酸化するが、D-キシロース、L-キシロースおよび D-ガラクトースは酸化しなかった。さらに、TM-I-3 株はウレアーゼ活性を示さず、アセトインを産生せず、ゼラチンを加水分解し、硝酸塩を還元しなかった。

Table 1. Bacteriological properties of TM-I-3

Test	TM-I-3	
Culture temperature	30 °C	
Morphotype	Rod-shaped (0.8-0.9×2.0-3.0 μm)	
Gram stainability	+	
Presence of spore	+	
Motility	+	
Colony	Medium	Nutrient agar
	Culture time	24 h
	Diameter	1.0-2.0 mm
	Color	Cream color
	Shape	Round
	Surface	Smooth
	Transparency	Opaque
	Viscosity	Buttery
Growth temperature	37 °C	+
	45 °C	+
Catalase reaction	+	
Oxidase reaction	+	
Acid and/or gas production from glucose test	-/-	
Oxidative-fermentation glucose test	-/-	

追加試験の結果は Table 3 に示すように、検体は嫌気条件下では生育せず、20 °C および 50 °C で生育し、5%NaCl 環境下でも生育し、カゼインおよびでんぷんを加水分解しなかった。これらの性状は、16S rDNA 塩基配列解析において近縁性が示唆された *Bacillus sporothemodurans* M215 株の性状と類似点が多く見られた。しかしながら D-グルコース、D-フラクトース、サリシンおよびセロビオースの 4 種類の糖を酸化する点やゼラチンを加水分解する点は *Bacillus sporothemodurans* M215 株の性状と異なる。

その結果、遺伝子解析においては、16S rDNA 塩基配列解析から TM-I-3 株は *Bacillus sporothemoduran* への近縁性が示唆されたものの、両者は完全には一致せず、また生理・生化学的試験においても両者の間には相違が認められた。

Table 2. Physiological tests based on API 50 CHB tests

*Fermentation test, **Biochemical test					
Glycerol*	-	N-Acetylglucosamine*	+	D-Fucose*	-
Erythritol*	-	Amygdalin*	-	L-Fucose*	-
D-Arabinose*	-	Arbutin*	+	D-Arabitol*	-
L-Arabinose*	-	Esclin*	+	L-Arabitol*	-
Ribose*	+	Salicin*	+	Gluconate*	-
D-Xylose*	-	Cellobiose*	+	2-Ketogluconate*	-
L-Xylose*	-	Maltose*	+	5-Ketogluconate*	-
Adonitol*	-	Lactose*	-	ONPG**	-
β-Methylxylose*	-	Melibiose*	-	ADH**	-
Galactose*	-	Saccharose*	-	LDC**	-
Glucose*	+	Trehalose*	-	ODC**	-
Fructose*	+	Inulin*	-	CIT**	-
Mannose*	-	Melezitose*	-	H2S**	-
Sorbose*	-	Raffinose*	-	URE**	-
Rhamnose*	-	Starch*	-	TDA**	-
Dulcitol*	-	Glycogen*	-	IND**	-
Inositol*	-	Xylitol*	-	VP**	-
Mannitol*	-	Gentiobiose*	+	GEL**	+
Sorbitol*	-	D-Turanose*	-	NIT**	-
α-Methyl-D-annoside*	-	D-Lyxose*	-		
α-Methyl-D-glucoside*	-	D-Tagatose*	+		

Table 3. Results of the additional physiological tests

Test	TM-I-3
Growth under anaerobic conditions	-
Growth on 5% NaCl	+
Growth temperature	
20 °C	+
50 °C	+
Hydrolysis of casein	-
Hydrolysis of starch	-

3.3 抗真菌試験の評価

TM-I-3 株の接触抗真菌試験において、コントロール群 (未含浸パーライト粉末) と実験群 (TM-I-3 株を含浸させたパーライト粉末) の間で、全ての被験真菌の総面積において有意な差は見られなかった。それゆえに、TM-I-3 株は真菌を抑制する液性の抗生物質を産生しないことが推定された (Fig.4 および Fig. 5)。

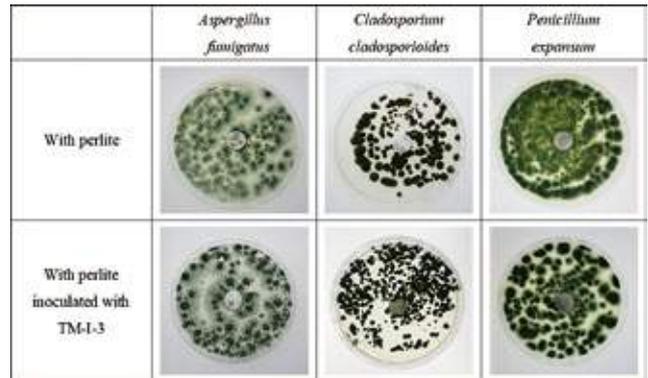


Fig.4 Antifungal activity of strain TM-I-3 upon direct contact with three different fungal strains. “With perlite” images are of the control groups and “With perlite inoculated with TM-I-3” images are of the experimental groups. Plates show growth after 7 d at 27 °C.

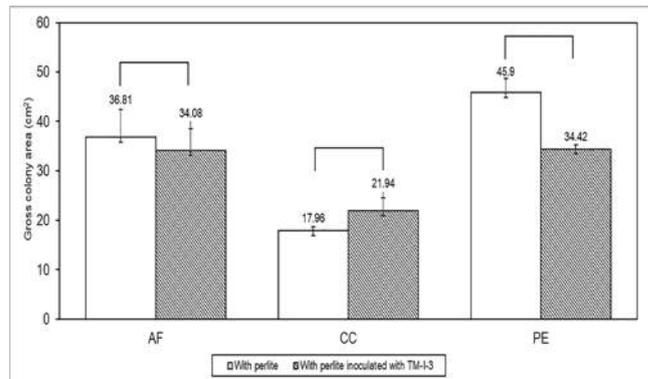


Fig.5 Differences in the gross areas of colonies of each fungus, which were calculated from the images in Fig. 4. (N=3). Statistical significance was calculated by t-test. *p<0.05, **p<0.01.

しかしながら、TM-I-3 株の非接触抗真菌試験において、実験群 (TM-I-3 株を含浸させたパーライト粉末) の被験真菌の総面積は、コントロール群 (未含浸パーライト粉末) の被験真菌の総面積より有意に小さかった (Fig. 6 および Fig. 7)。TM-I-3 株を含

浸させたパーライトと共存させた実験群の各被験真菌の抑制率(式[1]より算出)は、*A. fumigatus*、*C. cladosporioides*、*P. expansum* の順に、88.2%、100%、96.4%であった。それゆえに、TM-I-3 株が産出する揮発成分は真菌増殖を抑制することが示唆された。

これらの結果より、TM-I-3 株を用いることによって、代表的な屋内のカビ汚染を引き起こす *C. cladosporioides* の発生を非接触的に抑制する可能性が示唆された。加えて、TM-I-3 株を使用し、輸送中に食品汚染を引き起こす *P. expansum* の増殖を抑えられる可能性がある。さらに、*A. fumigatus* は肺アスペルギルス症の原因菌として知られており、TM-I-3 株は肺疾患の予防に寄与することが期待できる。

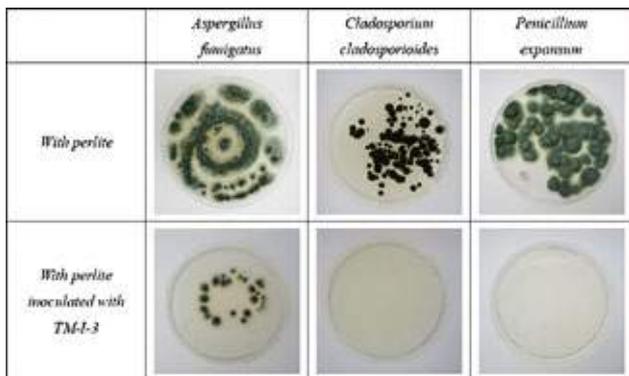


Fig.6 Antifungal activity of TM-I-3 without direct contact with three fungal strains. “With perlite” images are of the control groups and “With perlite inoculated with TM-I-3” are images of the experimental groups. Plates show growth after 7 d at 27 °C.

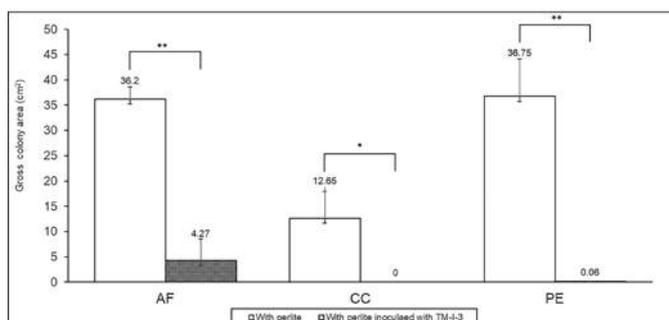


Fig.7 Differences in the gross areas of colonies of each fungus, which were calculated from the images in Fig. 6. (N=3). Statistical significance was calculated by t-test. *p<0.05, **p<0.01.

3.4 GC/MS 分析による TM-I-3 株の揮発性物質の定性

GC/MS 分析により、TM-I-3 株が酢酸、プロピオン酸、イソ吉草酸、2-メチルブタン酸、ベンズアルデヒドといった化合物を揮発していることが示された(Table 4 と Fig. 8)。

Table 4. Volatile compounds emitted by TM-I-3, identified by GC-MS

Compound	Retention time (min)
Acetic acid	10.85
Propanoic acid	13.78
Isovaleric acid	18.02
2-Methylbutanoic acid	18.34
Benzaldehyde	25.74

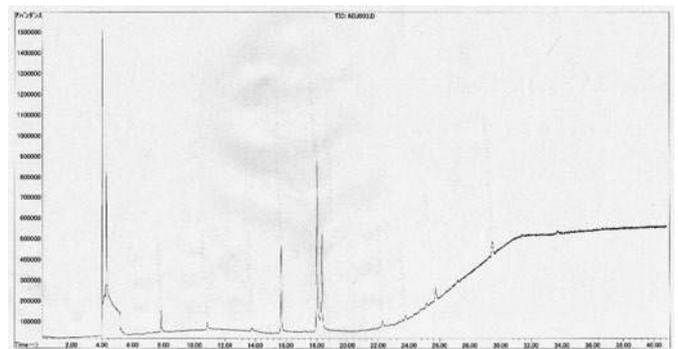


Fig.8 GC-MS-TIC of the volatile compounds from emitted from TM-I-3.

酢酸は広く強力な抗菌活性を示し、特に *P. aeruginosa* や *A. baumannii* といったグラム陰性細菌に対する抗菌効果があることが報告されている¹¹⁾。プロピオン酸は食品の保存料と同様に抗菌用の飼料添加剤として用いられていることが知られている¹²⁾。またイソ吉草酸、2-メチルブタン酸は海洋由来の菌に対して抗菌作用を持つことが報告されている¹³⁾。さらに、ベンズアルデヒドは *P. temperata* により産生され、忌避効果や抗菌作用があることが報告されている¹⁴⁾。

本研究より TM-I-3 株が抗菌作用を持つ気体を産生し、非接触的に真菌増殖を抑制したことが示された。これらの作用機構が複合的な揮発性物質の相加的・相乗的作用によるものか検討するため、今後の

研究においては TM-I-3 株が産生する揮発性物質の定量が求められる。

4. 謝辞

(有)T.M エンタープライズ社の碓正男社長と浦川真二主任研究員の多大なるご協力に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) Cubeta, M. A., Hartman, G. L., and Sinclair, J. B. (1985) Interaction between *Bacillus subtilis* and fungi associated with soybean seeds. *Plant Dis.*, 69, 506-509.
- 2) Ferreira, J. H. S., Matthee, F. N., and Thomas, A. C. (1991) Biological control of *Eutypa lata* on grapevine by an antagonistic strain of *Bacillus subtilis*. *Phytopathology*, 81, 283-287.
- 3) Todorova, S., and Kozhuharova, L. (2010) Characteristics and antimicrobial activity of *Bacillus subtilis* strains isolated from soil. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 26, 1207-1216.
- 4) Howell, C. R., Beier, R. C., and Stipanovic, R. D. (1988) Production of ammonia by *Enterobacter cloacae* and its possible role in the biological control of *Pythium* preemergence damping-off by the bacterium. *Phytopathology*, 78, 1075-1078.
- 5) Fiddaman, P. J., and Rossall, S. (1993) The production of antifungal volatiles by *Bacillus subtilis*. *J. Appl. Bacteriol.*, 74, 119-126.
- 6) Inouye, S., Takizawa, T., and Yamaguchi, H. (2001) Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. *J. Antimicrob. Chemother.*, 47, 565-573
- 7) Ács, K., Balázs, V., Kocsis, B., Bencsik, T., Böszörményi, A., and Horváth, G. (2018) Antibacterial activity evaluation of selected essential oils in liquid and vapor phase on respiratory tract pathogens, *BMC Complement Altern. Med.*, 18, e227.
- 8) Ikari, M., and Sato, H. (2016) Microorganism having antibacterial and deodorizing action/Antibacterial agent and method and deodorizing agent and method using this microorganism (in Japanese). *Japan Patent Kokai*, 2016-149963
- 9) Barrow, G. I., and Feltham, R. K. A. (1993) *Cowan and Steel's Manual for the Identification of Medical Bacteria*, 3rd edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- 10) Pettersson, B., Lembke, F., Hammer, P., Stackebrandt, E., and Priest, F.G. (1996) *Bacillus sporothermodurans*, a new species producing highly heat-resistant endospores. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 46, 759-764
- 11) Ryssel, H., Kloeters, O., Germann, G., Schäfer, T., Wiedemann, G., and Oehlbauer, M. (2009) The antimicrobial effect of acetic acid—an alternative to common local antiseptics? *Burns*, 35, 3, 695-700.
- 12) Haque, M. N., Chowdhury, R., Islam, K. M. S., and Akbar, M. A. (2009) Propionic acid is an alternative to antibiotics in poultry diet. *Bang. J. Anim. Sci.*, 38, 115-122
- 13) Hayashida-Soiza, G., Uchida, A., Mori, N., Kuwahara, Y., and Ishida, Y. (2008) Purification and characterization of antibacterial substances produced by a marine bacterium *Pseudoalteromonas haloplanktis* strain. *J. Appl. Microbiol.*, 105, 1672-1677.
- 14) Ullah, I., Kahan, A. L., Ali, L., Khan, A. R., Waqas, M., Hussain, J., Lee, I. J., and Shin, J. H. (2015) Benzaldehyde as an insecticidal, antimicrobial, and antioxidant compound produced by *Photobacterium temperata* M1021. *J. Microbiol.*, 53, 127-133.

持続可能なエネルギーの未来

The future of sustainable energy



ウシオ電機株式会社
R&D 本部 パワー・システム部
電源システム エグゼクティブスペシャリスト
エネルギーマネジメントアドバイザー
中村 雅規
Masaki Nakamura



ウシオ電機株式会社
R&D 本部 パワー・システム部
新事業推進グループ
エネルギーマネジメントアドバイザー
平見 朋之
Tomoyuki Hiramami

はじめに

昨今、未来のエネルギー産業を維持する為に各国においてエネルギーに関わる規制緩和・施策が加速的に進められ、特にエネルギー産業は、2018 年から急激に変遷が顕著になり、その現状を認識することが難しくなっている。そこで、エネルギー産業の技術解説にあたり、先ず、重要な4つのキーワードを理解していただく必要がある。本稿では、今後のエネルギー産業の理解のため、それらについて極力分かりやすく解説を進めるべく、エネルギー白書 2020¹⁾ に沿って解説する。

※エネルギー白書 2020…未来へ向けてエネルギー産業が持続的発展するために重要な国策を、経済産業省所管の資源エネルギー庁が毎年発行している。

1. エネルギー産業における4つのキーワード

①デジタル化 (Society5.0²⁾)

第99 代菅内閣の目玉政策のひとつとして、デジタル化の早期実現に向けたデジタル庁が新たに創設され、国策として“Society5.0”を掲げ、IoT・AI・ロボテックスなどを活用して社会的課題を解決し、経済発展を進めるとしている。今後のエネルギー産業においてもデジタル化についての理解が重

要となる。2025 年には、全世帯にスマートメーター（電気使用状況の見える化）が設置され、きめ細かなデータ（情報）がビッグデータとして扱えるようになる。それだけではなく、スマートメーターと HEMS（Home Energy Management System）の活用で、各種電気機器がリモート制御され、AI 技術を利用したきめ細かな電力需給予測が具体的に開始される。また、ブロックチェーン技術などにより、一方通行だった電力需給が双方向可能になり、電力事業ビジネス体系を根底から変えることになると期待されている。

デジタル化は、社会の発展・安心・安全・便利を担保するが、デジタル化が進めば進むほど、エネルギーの利便性が顕在化する。北海道のブラックアウト・千葉の台風災害での停電などで見られた様に、デジタル化とエネルギー産業の発展、維持はまさに相即不離の関係となりうる。

特に、通信情報機器の発展は目まぐるしい。キャリアは5G となり、データ量が増大し、データセンターの数が急激に増加することにより消費電力が増大する。2030 年には年間42PWh、2050 年には5,000PWh と莫大な消費電力が必要になると予測されている³⁾（原子力発電所の1基あたりの発電量を約100 万kW として、年間発電量は33TWh）。

これに加え、デジタル化により発展が顕著なモビリティの電動化も進むと予測され、2027年（品川駅 - 名古屋駅）に開業予定であるリニア中央新幹線の場合は、運転時瞬間的に必要とされている発電量が、原発3基分と言われている。さらに自動車の電動化に必要な電力は6000万kWと推測されている⁴⁾。この様に、未来において便利・安全を持続的維持するには、エネルギー産業の変革が重要であると言える。

②電力の自由化（Utility 3.0 へ向けて）

2011年の東日本大震災により、電力市場の自由化が加速した。これまでの一般電気事業者10社依存体制から、新電力会社約500社が規制緩和によってその事業を開始し、単にエネルギーの供給だけでなく、サービスを付加した事業が進められている。このような規制の変革は、経産省審議会のUtility1.0~2.0~3.0⁵⁾により進められている。（Utilityとは、電気、ガス、水道などの公共事業を指す。本稿では、電気における変革Utility2.0を軸に解説する。）

これまで、電気事業は公共性が高いものとして、国策のもと健全経営・コストの妥当性を目的として事業者を規制し、日本では一般電気事業者10社が電気事業者として認可されてきた。その結果、規制下（優遇された）環境では過剰な設備投資が行われてきた。統括原価方式（供給原価に基づき料金が決められる）にて設備の投資回収が担保されているため、運用効率の悪い設備を維持することに繋がっていた。それが、法的規制緩和により図1に示す様にUtility2.0が進み、電気の全面自由化を皮切りに、発送電分離（発電部門と送電配電部門の法的分離）・電力の容量市場・需要調整市場など新たな取り組みが推進されることになった。完全自由化の下で、スマートメーターが全世帯に設置されるまでになった。その結果、エネルギー産業は、サービス産業に生まれ変わりつつある。

2040年以降、電気事業は更なる次世代対応としてDX (Digital Transformation) が進み、分散化・VPP（バーチャルパワープラント：仮想発電所）などが本格的に普及し、大量導入されるEV、V2X (Vehicle-to-X) などと融合・発展し、社会インフ

ラを根本的に変えるエネルギー産業へ変遷が期待されている。

	Utility 2.0	Utility 3.0
	電力会社・ガス会社などの法的分離後のエネルギー産業	未来社会インフラに伴う新エネルギー産業
動向	各自由化下で発電・小売競争 ガス電力送配電部門法的分離 容量市場 需要調整市場	自由化(規制緩和) 人口減少 脱炭素化 分散化 デジタル化 多業種との連携・融合
未来予測	再生エネルギーの主力電源化 VPPの実現 蓄電池の普及加速 電化の普及	SDGsの実現 パリ協定 電気自動車の普及 水素エネルギーの普及

図1 岡本 浩、「Utility3.0 脱炭素化に向けたエネルギー産業の将来像」
(2018年5月30日)をもとに作成

③環境側面での状況（脱炭素、人口増加）

SDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) が世間に認知されるに従い、地球温暖化の問題が注目されている。しかしながら日本では1次エネルギーの9割を化石燃料が占め、それらを輸入に依存しているため、エネルギーの確保も長期的には不確実性が高い。2020年に蔓延したパンデミックにより、エネルギーの需給バランスが破綻したことで、初めて原油価格がマイナスとなり、市場にショックを与えたことも記憶に新しい。世界規模では、成長著しい新興国のエネルギー源は、化石燃料であり、今後ますます増加傾向にある。また、米国のシェールオイル・ガス開発やロシア・北極圏でのガス開発など、新たな資源供給源の出現により、エネルギーの需要と供給のバランスが変わりつつあり、エネルギー産業の先行きを予測する事は難しくなっている。これまで石油製品の純輸出国の米国においても、2020年にシェールオイル・ガス事業者が破綻する事態も起こっている。

世界のエネルギー需要は引き続き拡大傾向であり、特に、LNGの需要は2040年までに倍増する見通しである⁶⁾。世界最大のエネルギー消費国となった中国や、同3位のインドが、人口増加や経済成長を背景として資源需要を急速に拡大すると、パリ協定で掲げられた目標の達成も困難となることが予測されている。したがって、化石燃料に依存する状況を早期に打破する革新的な改革が必要となる。国

際エネルギー機関（IEA）等の長期予測においても大きな予実の差が生じるなど、エネルギーの長期的な将来像は不確実性を増している。安全安心の生活環境を確保するには、需要と供給のバランスを取った環境に優しいエネルギー産業の発展が必要である。

④再生可能エネルギー（主力電源に向けて）

再生可能エネルギー（以下、再エネ）は、発電量の時間的変動が大きい電源で、且つ高額であるなど様々な課題がある。しかしながら、環境問題への有効な解決手段で、自国で賄える唯一のエネルギー源であり、エネルギー安全保障にも寄与できる持続可能な電源である。刻々と変化する国際資源情勢、地政学的リスク、自然災害の頻発・被害の甚大化など、先行き不透明な状況下では、電力インフラのレジリエンス向上のために、再エネの主力電源化を実現することが必須である⁷⁾。

現状、電源は発電所から需要家へ一方向に提供されているが、再エネを主力電源にするために、太陽光・風力や蓄電池・EVなどの分散型電源をデジタル化技術で制御し、双方向化を可能にする事が必須となる。今までの電力供給は、一定量で一方向の発電量（kWh）のみで対応していたが、今後はベースとなる供給能力（kW）と調整力（ΔkW）を考え電力をきめ細かく提供する事になる。きめ細かな制御こそが、再エネをシステムエネルギーとして有効利用できる唯一の手段である。（システムエネルギーとは、再エネは、単独利用で安定しない変動する電源であるが、各種電源と協調し、制御される事で有効利用できる安定化された電源を、システムエネルギーと表現する。）

実際にこれを達成する施策として、送配電の分離・分散化電源・ネットワーク化などを進める必要がある。ネットワーク化では、経産省が進めるネットワーク改革（①ネットワーク形成の在り方の改革、②費用の抑制と公平な負担、③託送料金制度改革、④次世代型の送配電への転換、⑤レジリエンス・災害対応強化）⁸⁾がその1つである。（2020年6月に閣議決定された『エネルギー供給強靱化法』に伴い、再エネ特措法の改正も実施され法整備も進んでい

る。）また、分散化された再エネを有効に利用する施策として、供給力を束ねて仲介する事業者「アグリゲーター」や、VPPの様な仕組みにより、天候・災害時に需給調整などを効率的に制御し、再エネが主力電源として有効に機能する。

再エネの中でも太陽電池は、需要の近接へ設置可能であり分散化電源として効率的な手段の1つである。地域社会と一体となった運用と、加えて生産から廃棄まで考慮する必要があり、国としても法整備を進めている。太陽光発電設備の解体・撤去及びこれに伴い発生する廃棄物の処理は、発電事業者の責任の下、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年法律第137号）」（廃棄物処理法）等に基づき行われる必要がある。しかし、図2に示す様に廃棄等費用を積立てている事業者は、2019年1月末時点で2割にも満たない⁹⁾。太陽光発電設備の廃棄等費用の確実な積立てを担保する制度について検討すべく、エネルギー庁は、「太陽光発電設備の廃棄等費用の確保に関するワーキンググループ」を創設し議論を開始した。2009年から設置された太陽電池は、解体・撤去・再生・修理を意図して設計していないため、3R¹⁰⁾（Reduce, Reuse, Recycle）が難しい状況であり、今後は3Rを意図した設計が必須になる。



図2 経済産業省「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた制度改革の必要性と課題」より抜粋・一部修正

この様な状況下において、再エネを主力電源にするには、材料・製造・設置・廃棄まで考えたバリューチェーンが必要である。運用面においても、再エ

ねは、見えるエネルギー源とも言われ、生活居住に近い状況で使用される為、近年では生活圏でのトラブルも問題視されている。再エネを主力電源として有効利用するためには、電力ネットワークの整備・運用、創エネ・畜エネが一体となったシステムを構築することが必要であるが、しかし再エネの増大により、図3から、賦課金総額が、2030年には3兆円と予測されている。この賦課金を極限に下げ、将来において誰もが安心して持続的に利用可能なエネルギー源とできれば、再エネの価値は非常に大きくなる。

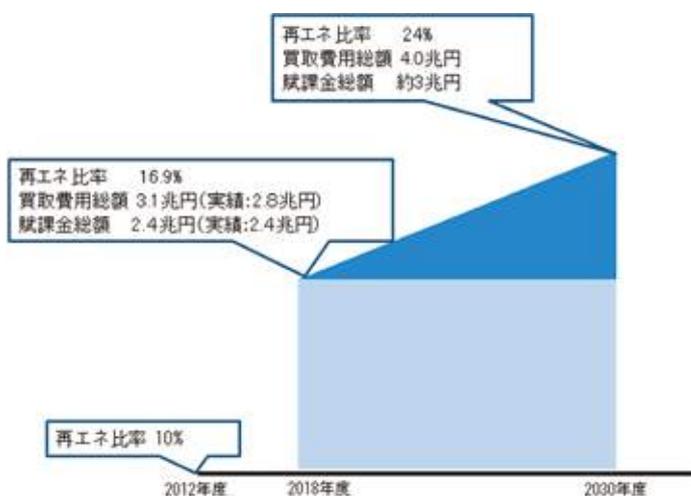


図3 経済産業省「太陽光発電設備の廃棄等費用の確保に関するワーキンググループ中間整理」より抜粋

2. 今後のエネルギー情勢

日本におけるエネルギー政策の転換点となった東日本大震災と東京電力福島第一原発事故の発生から9年が経過した。確かに、政策的には、未来に向け、着実に進展しているものの、長期ロードマップでは、廃炉措置期間終了まで30年~40年後と、まだ多くの時間を要し、加えて、莫大な損害賠償を今後も長期に支払い続けることになっている。

(2020年10月9日、総額約9兆6,171億円 図4) このような状況の中、図5にあるように、2017年における日本のエネルギー自給率は9.6%¹¹⁾、他のOECD諸国と比較すると低い水準である。自給率が低いため、資源を他国に依存しなければならず、結果として国際情勢の影響を受けてエネルギーを

安定して確保できないリスクがある。日本の2010年の自給率は20.3%であったが¹¹⁾、東京電力福島第一原発事故の影響により、原子力発電の割合は大幅に減少し、それを補うために効率の悪い老朽化した火力発電所の立上げや補修工事の延期を行いながら電力を供給している。

その結果としてエネルギーの87.4%¹¹⁾を化石燃料で賄っており、副産物である温室効果ガスである二酸化炭素の排出量も増えることで地球温暖化問題が顕在化した。

IPCC第5次評価報告書によると気温は、1880年から2012年までの132年の間に、0.85°C¹²⁾の上昇が確認されており、この気温上昇の影響により、雪氷も減少を続けている。このまま温暖化対策を行わないと、西暦2081年から2100年には、平均で3.7°Cの上昇¹²⁾になるとも予想されており、また平均海面水位が63cm上昇¹²⁾する可能性が高いと予測している。昨今、季節外れの大型台風の発生や、集中豪雨や熱波と言われる自然災害が世界の各地で発生している。日本も、2019年の九州北部豪雨では観測史上1位の記録的な大雨となり、台風15号、19号が最強クラスの勢力で日本に上陸して関東地方にも甚大な被害を及ぼした。また2020年には静岡県浜松市で日本歴代最高気温に並ぶ41.1°Cを観測、東京都心の8月の猛暑日日数は過去最多を記録し、影響や被害は現実的なものになっている。

今年からは2020年以降の地球温暖化対策に関する国際的枠組み「パリ協定」が運用され、「世界の平均気温上昇を産業革命前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cまでに抑える努力をする。」という目標を掲げている。そのため、できるかぎり早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21世紀後半には、温室効果ガス排出量と(森林などによる)吸収量のバランスをとる。日本では、中期目標として2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度の水準から26%削減し、2050年度には80%の削減が目標¹³⁾として定められた。これらを達成するには、再エネの導入を増やし、高効率化を進める必要がある。その施策の1つとして経済産業省は低効率石炭火力発電所を2030年度までに段階的に廃止する方針を明らかにしている。

	個人	個人（自主的 避難等に係る損害）	法人・個人 事業主など
本賠償の状況について			
本賠償の件数(延べ件数)	約1,001,000件	約1,295,000件	約443,000件
本賠償の金額	約3兆1,932億円	約3,537億円	約5兆9,170億円
これまでのお支払金額について			
本賠償の金額	約9兆4,639億円①		
仮払補償金	約1,533億円②		
お支払総額	約9兆6,171億円①+②		

図4 出典：東京電力ホールディング資料より

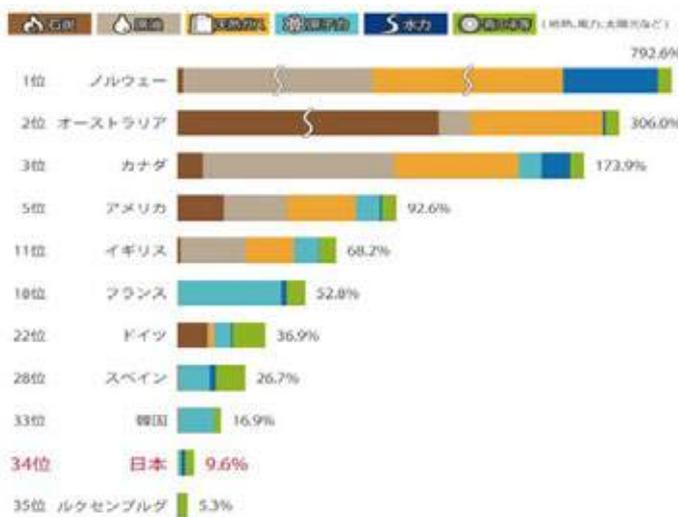


図5 出典：IEA「World Energy Balances 2018」の2017年推計値、日本のみ「総合エネルギー統計」の2017年度確報値。 ※表内の順位は2017年OECD35カ国中の順位

3. 総括と展望

パリ協定やSDGsの背景は勿論であるが、国策として、第5次エネルギー基本計画が策定¹⁴⁾(2018年7月)され、更に2020年10月には、第6次エネルギー基本計画の議論が始まり、2030年のエネルギーミックスの確立を目指し各種議論がなされている。エネルギー白書2020では、“かなり挑戦的な課題であり蓋然性をもった予測が困難であるため、野心的な目標を掲げつつ、複線的なシナリオによるアプローチをとること”と記載されている。その一方、現実の日本においては、台風・豪雪・地震などの自然災害の被害状況が拡大している。北海道大規模停電(ブラックアウト)や2019年(令和元年)台風第15号・19号により大規模停電が生じ、

送電線等の被害による停電復旧期間の長期化など、更なるエネルギーシステムの強靱化の要求が高まっている。また、世界では、2019年にホルムズ海峡周辺でエネルギー資源を積載した日本関係船舶等が攻撃されるなど、日本のエネルギー安全保障を直接脅かす事態が発生することが懸念されている。このような背景のなか、さらに脱炭素化の機運が高まりつつあり、今後、再エネの大量導入と主力電源化の実現が必要となる。

しかし、再エネは、前述したように変動する不安定なエネルギー源である為、各エネルギー単独での対応は難しく、再エネを再生システムエネルギーと解釈し、時代に合ったエネルギーを提供する事が必要である。

最近では、分散化・デジタル化が進み、システムエネルギー化が加速されている。その中でも、太陽光発電を利用したシステムエネルギーは、他の再エネ源と比較して、最も高い可能性を秘めている。例えば、風力発電は、エネルギー発生源が可動部であり、必ず潤滑油が消耗品として必要となるなど、電力を維持するための維持管理費用が発生するというデメリットがある。太陽光発電は、より技術革新が進めば、メンテナンスフリーに近いシステムエネルギーになるものと確信している。

エネルギー白書2020には、災害・地政学リスクを踏まえたエネルギーシステムの強靱化のために、再エネの主力電源化が上げられている。これを進めるには、国民が固定価格買取制度(FIT¹⁵⁾)で買い取りに要する費用を再エネ発電促進賦課金として負担しているが、それらを軽減するために市場価格に一定のプレミアムを上乗せして交付する制度(FIP¹⁶⁾)への移行や、太陽光発電の自立運転や、災害時の電力供給の強靱化、太陽光発電の設備事故や、太陽光パネル廃棄の仕組み作りなどを行い、エネルギーの安定供給、経済性、環境保全への取り組みを行う必要がある。更に、太陽光発電を安定したエネルギー源にするには、積極的にDXを進めAI・IoT等のデジタル技術によって分散電源を束ねる双方向電源や蓄電技術を融合し、システムエネルギーとして電力インフラのレジリエンス強化、再エネを次世代の主力電源に向け進める事が必要である。

4. まとめ

ここまで、エネルギー産業における重要なキーワードと最近のエネルギー情勢を解説した。今後のエネルギーの需要供給において、不透明性が増していく中では、ますますエネルギーを安心・安全に維持する事が重要になる事は、ご理解を頂けたと思う。

このような課題を解決するには、再エネの中でも、優位性が高い太陽光発電が重要となる、2030年に太陽光発電の世界市場が4兆4580億円規模に拡大する¹⁷⁾と調査結果が公示され、今後益々、拡大基調が続く事が予想され、円筒型太陽電池の様な革新的な技術開発を加速し早期市場投入を期待する。

参考文献

1. 資源エネルギー庁 エネルギー白書2020
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>
2. 内閣府科学技術政策
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
3. 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（平成31年3月）
<https://www.jst.go.jp/lcs/proposals/theme/theme03-05.html>
4. 電気自動車の消費電力 成蹊大学
<https://www.jstage.jst.go.jp/result/global/>
5. 経産省 審議会
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/denryoku_platform/002.html
6. 出典：IEA「World Energy Investment 2019」より経済産業省作成
<https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>
7. 出典：経済産業省「脱炭素化に向けたレジリエンス小委員会 中間整理概要」より抜粋
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/datsu_tansoka/index.html
8. 経済産業省「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた制度改革の必要性と課題」より抜粋
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/#saiene_shuryoku
9. 経済産業省「太陽光発電設備の廃棄等費用の確保に関するワーキンググループ中間整理」より抜粋
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/taiyoko_haikihyo_wg/201901210_report.html
10. 経済産業書3R政策
<https://www.meti.go.jp/policy/recycle/>
11. 経済産業省・資源エネルギー庁 日本の抱えるエネルギー問題
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/energyissue2019.html>
12. 気象庁 気候変動2013（シナリオRCP8.5）
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf
13. 環境省 地球温暖化対策計画
<https://www.env.go.jp/>
14. 第5次エネルギー基本計画
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/
15. 固定価格買取制度（FIT）
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/index.html
16. 次世代電力ネットワーク20回委員会
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano
17. 富士経済プレスリリース2020年10月15日
<https://www.fuji-keizai.co.jp/press/>

技 術 論 文

圧延ロール軸部強度に及ぼす諸因子の影響

Effects of Various Factors on the Rolling Roll Shaft Strength



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

商品技術部
顧問
宮本 浩二
Kouji Miyamoto

技術開発センター
技術開発センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

当社では CPC プロセスによって熱間圧延用ロールの製造を行っている。圧延用ロールの軸部には大きな負荷がかかるため、品質を確保することが重要である。本稿では、軸部強度に及ぼす諸因子について報告する。複合サイクル試験を実施し、軸材表面の腐食が疲労強度に及ぼす影響について検証した。その結果、表面腐食の影響によって軸材の疲労強度は 30%程低下することが見込まれた。また、特殊熱処理を施した部材が強度特性に及ぼす影響について調査した結果、延性やシャルピー衝撃値の改善が確認された。

Synopsis:

FUJICO has been producing the rolls for hot rolling by using CPC process. Since the journal of roll is heavily loaded, the quality and mechanical characteristics of the journal are important. In this paper, effects of various factors on the strength of the rolling roll journal are reported. The effect of corrosion on the surface of the journal on fatigue strength was examined by combined cyclic corrosion test. As a result, fatigue strength of journal reduced by about 30% because of surface corrosion. In addition, as a result of investigating the effect of the special heat-treated on the mechanical properties, it was concluded that the ductility and Charpy impact value were improved.

1. 緒言

当社では CPC 法によって、板材や棒鋼・線材、形鋼を対象とした熱間圧延用ロール（以下ロールと記す）の製造を行っている。CPC 法によって製造されたロール表面には、硬質のハイス層がクラッド処理されているため、損耗の少ない状態のままロール表面性状を維持することができ、圧延材の品質確保やロール寿命向上に大きく貢献している。

ところで、熱間圧延でロールは大きな機械的負荷を繰り返し受けるため、ロールの軸部にも損傷が起き、最も酷い時には折損してしまう場合がある。このため、

ロール製造においては、ロール胴体の品質と同じく、軸部の品質を確保しておくことが重要である。

当社では、生産性向上のため、ロール胴体と軸部を接合する組立方式を実施しており^{2)~5)}、これまでもロール軸部の品質や性能改善の取組みを広く行ってきた⁶⁾。本稿では、ロール軸部の強度特性に及ぼす影響についていくつか言及することとする。まず強度低下の要因の一つとなる表面腐食について、ロール軸材を用いた腐食試験を行い、疲労強度への影響を検証した。次に、軸部の強度特性への熱処理の効果について検証した結果を報告する。

2. 表面腐食の軸部強度への影響

2.1 表面腐食の要因によって折損したロール

Fig.1 に軸部が折損したロールの一例を示す。破断位置は応力が集中するロール胴体の付け根位置であり、破面を確認すると、軸部表面側にいくつかのラチェット模様が見られ、軸部表面からき裂が進展した疲労破壊の様相を呈していることがわかる。Fig.2 のロールでは、ロール軸部が圧延使用中に冷却水の影響を受け表面が著しく酸化腐食しており、疲労き裂発生 の要因となったことが確認されている。疲労き裂はほとんどの場合、部材の表面から発生するため、ロール軸部の表面の状態を表面腐食の影響と合わせて捉える事が重要となる。



Fig.1 Appearance of the roll with a broken journal



Fig.2 Appearance of the corroded journal

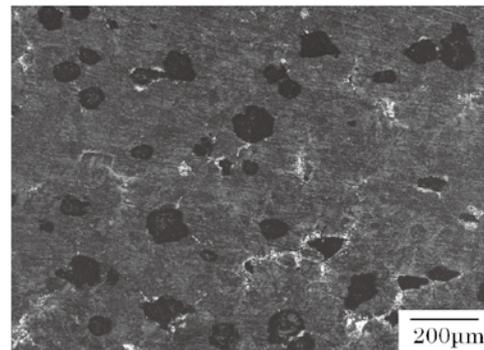
2.2 複合サイクル試験

2.2.1 供試材および試験条件

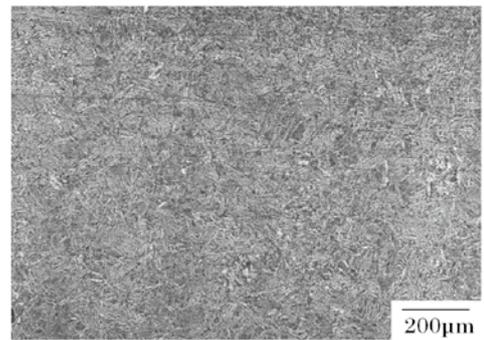
ロール軸材表面の腐食状態を確認するため、複合サイクル試験を行った。供試材には、ロール軸部として実際に使用される材料として、ダクタイル鋳鉄材と鍛鋼材 (SCM440 材) を用いた。ダクタイル鋳鉄は実際のロール軸部から採取し、SCM440 は市販の圧延丸鋼から採取した後、所定の焼入れ、焼き戻し処理を行った。それぞれの金属組織を Fig.3 に示す。ダクタイル

鋳鉄材の基底はパーライトであり、平均の硬さは HV280 であった。SCM440 材は、ソルバイト組織を呈しており平均の硬さは HV243 であった。

複合サイクル試験は、70×70×5mm の板状の試験片を用いて実施した。試験条件は、日本自動車技術協会規格 JASO610 (①中性塩水噴霧 35℃、pH6.5~7.2、2hr ②乾燥 60℃、25%RH、4hr ③湿潤 50℃、95% RH 以上、2hr) に準じて①~③の計 8hr を 1 サイクルとした。



(a) Ductile cast iron



(b) SCM440

Fig.3 Microstructures of test specimens

2.2.2 試験結果

ダクタイル鋳鉄材と SCM440 材の試験後の外観をそれぞれ Fig.4 および Fig.5 に示す。ダクタイル鋳鉄材と SCM440 材いずれも 3 サイクル (24hr) 後で赤錆が発生しており、12 サイクル (96hr) では、より赤錆の発生が顕著になっている。Fig.6 は試験後の腐食原料を測定した結果であるが、ダクタイル鋳鉄材の方が SCM440 材よりも腐食による減量が大いことが分かった。

複合サイクル試験で試験片表面に発生した赤錆を酸で洗い流した状態を Fig.7 に示す。ダクタイル鋳鉄材では一様に腐食が進行したような表面状態であったのに対し、SCM440 材では斑点状の様相が確認されたことが特徴的であった。これらの表面状態確認のため、酸洗い後の試験片の粗度を測定した結果を Fig.8 に示

す。ダクタイル鋳鉄材の平均粗さ R_a は $8.4\mu\text{m}$ であり、最大高さ粗さ R_z は $104\mu\text{m}$ であった。SCM440 材の平均粗さ R_a は $5.2\mu\text{m}$ であり、最大高さ粗さ R_z は $80\mu\text{m}$ であった。粗さ測定値で見ると、ダクタイル鋳鉄材の方が SCM440 材よりもやや粗い表面状態となっているが、SCM440 材については斑点状の腐食箇所と思われる部分が窪み形状となっている事が特徴であった。次の節では、これらの表面状態が疲労強度へ及ぼす影響について検証した。

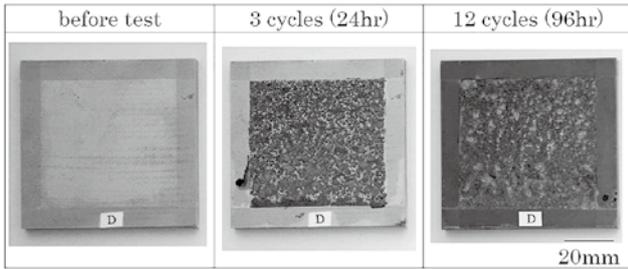


Fig.4 After Combined Cyclic Corrosion Test (Ductile Cast Iron).

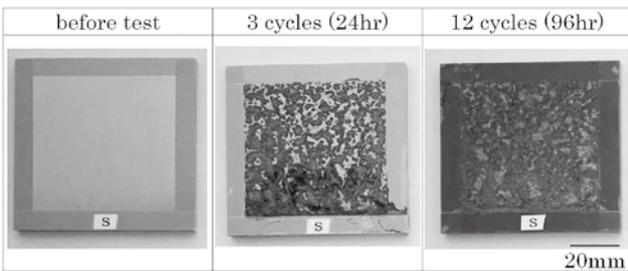


Fig.5 After Combined Cyclic Corrosion Test (SCM440).

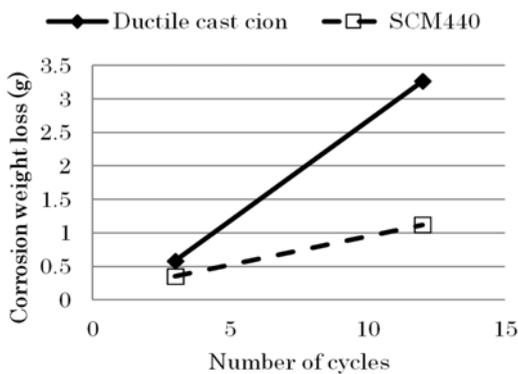


Fig.6 Corrosion weight loss of Combined Cyclic Corrosion Test.

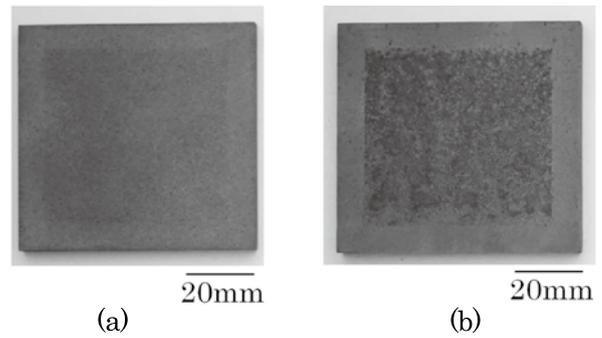
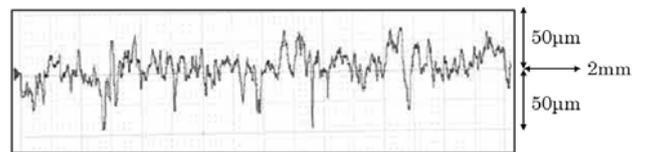
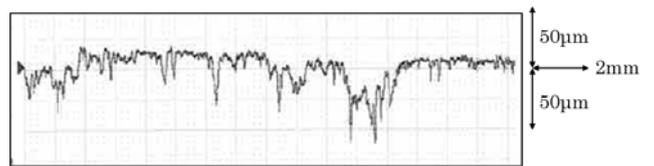


Fig.7 Oxidation scale removed sample after Combined Cyclic Corrosion Test ; (a) Ductile cast iron , (b)SCM440.



(a) Ductile cast iron



(b) SCM440

Fig.8 Result of surface roughness measurement.

2.2.3 腐食による表面粗さ変化の疲労強度への影響

表面粗さの疲労強度への影響については、村上らの研究による \sqrt{area} パラメータモデル⁸⁾によって検討した。

\sqrt{area} は欠陥の幾何学的パラメータであり、欠陥を主応力方向に投影した面積の平方根で定義され、予想疲労強度 σ_w は式 (1) で表される。

$$\sigma_w = 1.43(HV + 120) / (\sqrt{area})^{1/6} \cdot [(1-R) / 2]^\alpha \quad \dots (1)$$

なお、 HV はビッカース硬度、 R は応力比であり、 $\alpha = 0.226 + HV \times 10^{-4}$ となっている。表面粗さ形状を表面に存在するピット状の微小欠陥と等価と評価し、ダクタイル鋳鉄材と SCM440 材における最大高さ粗さ R_z から \sqrt{area} を求めた。次に求めた \sqrt{area} から、式 (1) を用いて予測される疲労強度低下率を算出し

た。予め測定していたダクタイル鋳鉄材と SCM440 材の疲労強度測定結果と、疲労強度低下率から予測される腐食後の疲労強度について算出し、これらを整理したものを Table1 に示す。ダクタイル鋳鉄材と SCM440 材ともに、腐食による表面粗さ変化の影響で疲労強度が 30%程低下してしまうことが予想される。一般に疲労強度への表面粗さの影響を表した表面効果係数⁹⁾が加工材表面で 0.8~0.95 のレベル (5~20%程低下) であるが、腐食後の表面ではこの数値よりも低くなっているといえる。また、いくつかの疲労強度への表面粗さの影響に関する研究^{10,11)}を考慮しても、本稿と同レベルの疲労強度低下が見込まれた。ただし、ダクタイル鋳鉄材の腐食後の表面は凹凸があるものの一様な状態を呈していたため、き裂の干渉効果などを考慮すると^{12,13)}、この疲労強度低下率は低めになる事が考えられる。

総じて、腐食による疲労強度低下の影響を考慮しても、もともとの疲労強度の低いダクタイル鋳鉄材よりは SCM440 材の方が疲労強度は高く、安全側にてロールが使用できるといえる。なお、当社の CPC 法によって製造されたロールは、外層を硬質なハイス材とし、軸部を含む母材は SCM440 材を組み合わせたものとなっており、ダクタイル鋳鉄材のロールよりも軸部の疲労破壊に対しては安全に使用することができている。

Table1 Predictions of fatigue strength in roll journal materials

	Rmax	\sqrt{area}	Fatigue strength reduction rate	Experimental Fatigue strength	Predictional Fatigue strength
	μm	μm	%	MPa	MPa
Ductile cast iron	104	64.5	36	150	96
SCM440	80.5	63.4	32	340	231

2.2.4 軸部表面腐食の対策

上述の通り、軸部の表面腐食が軸材の疲労強度にとっては悪影響であるため、当社では熱間圧延におけるロール使用時に軸部の腐食による損傷を防ぐ取組みも実施しているもので以下に紹介する。

Fig.9 は、軸部表面をコーキング処理する事によって水冷環境から軸部の腐食を保護している例である。Fig.8 は使用後のロール軸となっているが、コーキング処理された軸は、コーキング処理が維持されており、コーキング処理がなされていない軸では表面が腐食し錆が発生している事が確認できる。

3. 熱処理による強度特性改善

3.1 供試材および試験条件

前章では表面腐食による疲労強度低下について述べたが、本章では強度特性改善を目的とした熱処理の効果について言及する。

当社で実施しているロール胴体と軸部を摩擦圧接した部材 (SCM440 材および相当材を使用) を用いて、引張試験およびシャルピー衝撃試験を実施した。引張試験は JIS4 号試験によって実施し、シャルピー衝撃試験は 10mm×10mm×55mm に加工した試験片に U ノッチを導入して行った。

当社で実施している通常の焼入れ焼き戻し処理を実施したもの (以下従来材と記す) と、特殊熱処理を施したもの (以下改善材と記す) を準備し、熱処理による強度改善効果を確認した。



(a) Caulking



(b) No caulking

Fig.9 Effect of caulking on roll journal.

3.2 試験結果及び考察

強度試験結果の一例を Table2 に示す。引張り試験では、降伏強度や引張強度は従来材の方が改善材よりもやや高い値を示した。一方、伸び、絞り値は従来材に比べ改善材の方が著しく高い値を示し、大きく延性が改善したことが確認された。また、シャルピー衝撃試験でも同様に衝撃値が従来材に比べ、改善材では衝撃値が大きく向上し、改善効果が確認された。

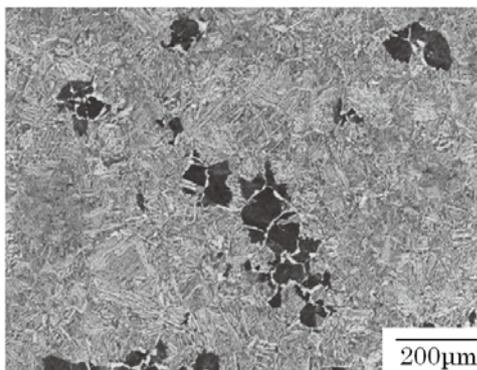
従来材および改善材の摩擦圧接部近傍の組織を Fig.10 に示すが、従来材では白く見えるベイナイト組織と黒く見えるパーライト組織が混在しているのに対し、改善材では、一様なベイナイト組織となっている。

このように特殊熱処理によって、均一な組織が得られた事が、延性や衝撃値改善に寄与したものと考えられる。

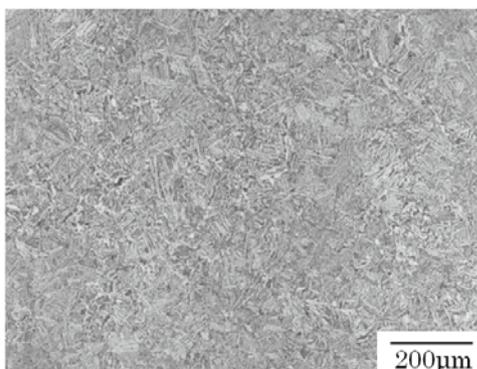
実際の圧延では、圧延材の噛み込み事故などが起きた場合、ロールへは瞬間的に大きな負荷がかかるため、このように延性や衝撃値の改善することも重要と言える。先にも述べたが、当社の CPC 法で製造したロールは、外層を硬質のハイス材とし、軸部を含む母材は強靱な SCM440 材との複合材である。そのため、瞬間的な負荷に対する耐事故性は、母材が SCM440 であることから既に十分備わっているといえるが、本稿の熱処理による強度特性の改善によって、さらなる安全側におけるロール使用が可能となる。

Table2 Mechanical property of roll journal materials

	Yield strength MPa	Tensile Strength MPa	Elongation %	Reduction of Area %	Charpy Impact Value J/cm ²
Conventional	651	911	8.4	5.6	5.1
Developed	517	849	60.5	18.8	9.1



(a) Conventional



(b) Developed

Fig.10 Microstructures of test specimens near the friction welding part.

4. まとめ

ロール軸材の強度へ及ぼす諸因子の影響を検証するため、軸材の複合サイクル試験を実施し腐食後の表面状態から疲労強度への影響を検証した。また、特殊熱処理を施した軸材の強度試験を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 複合サイクル試験では、ダクタイル鋳鉄材の方が SCM440 材よりも腐食減量が大きく、表面の最大粗さ高さも大きくなっていた。
- 2) 複合サイクル試験後の腐食のように、表面粗さ変化は疲労強度に悪影響を及ぼすと考えられ、ダクタイル鋳鉄材や SCM440 材では約 30%の疲労強度低下が考えられる。ただし、ダクタイル鋳鉄材のように様な全面ピット状の腐食では、それぞれのピットの干渉効果から、単独のピットが存在するよりも疲労強度は高めになると考えられる。
- 3) 特殊熱処理によって、軸材の延性やシャルピー衝撃値の改善効果が確認された。

参考文献

- 1) 坂本眞一、玉川進、斉藤弘道、津田篤信、山本厚生：フジコー技報 3(1995) 10
- 2) 大野京一郎、嵩純孝、尾崎龍宏：フジコー技報 14(2006) 26
- 3) 大野京一郎、芳谷和政、尾崎健一：フジコー技報 10(2002) 48
- 4) 木村健治、園田晃大：フジコー技報 21(2013) 53
- 5) 坂田太志：フジコー技報 25(2017) 68
- 6) 近藤加寿心、園田晃大、古田博昭、姜孝京、永吉英昭：フジコー技報 25(2017) 29
- 7) 林直宏、山下勝也、小林弘明、片岡泰弘：あいち産業科学技術総合センター研究報告 (2013) 20
- 8) 村上敬宜、清水真佐男：日本機械学会論文集 (A 偏) 54-499 (昭 63-3) 413
- 9) 機械設計便覧編集委員会：機械設計便覧，丸善 (1973) 633
- 10) 塩田俊雄、旗手稔、竹本勝昭：鑄造工学会誌 69-11 (1997) 904
- 11) 井藤賀久岳、戸梶恵郎、中島正貴、高行男：材料 54-12 (2005) 1249
- 12) 村上敬宜、堤一也、藤嶋正博：日本機械学会論文集 (A 偏) 62-597 (1996-5) 8
- 13) 村上敬宜、高橋宏治、山下晃生：日本機械学会論文集 (A 偏) 63-612 (1997-8) 12

技 術 論 文

CPC 製スリーブの拡管についての研究

Research on Expanding Method of Sleeve-type Roll Manufactured by CPC Process



技術開発センター
第一開発室
近藤 加寿心
Kazushi Kondou

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

商品技術部 部長
博士(工学) 姜 孝京
Hyo-Gyoung Kang

技術開発センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

当社では CPC 法による熱間圧延鋼板の巻取りロールの製造を行ってきた。さらに、より厳しい環境下で使用されるピンチロール用に高硬度材の開発にも成功した。しかし、上ピンチロールの直径は大きく、現有の CPC 設備の製造範囲を超えているため製造は困難である。そこで、 casting 後のロールに拡管加工する必要がある。そこで、実サイズでの拡管加工試験を実施し、拡管加工前後で材料特性を調査し比較評価を行った。その結果、拡管加工が可能であるとともに、加工による材料特性の劣化がないことが確認された。

Synopsis:

FUJICO has been manufacturing wrapper rolls for hot rolling by the CPC process. We have developed a high-hardness material for pinch roll that is used in more severe conditions than wrapper rolls. However, since the upper pinch roll has a size that cannot be manufactured with our current CPC facilities, it is necessary to expand the roll after casting. We examined the expanding of the roll in actual size and studied the change of material properties before and after expanding. As a result, it was confirmed that the expanding of roll in diameter is possible and there is basically no change in material properties by the expanding.

1. 緒言

当社はこれまで製鉄所における熱間圧延設備に用いられる熱延プロセス用ロールを開発し、製造並びに供給を行ってきた。代表的な巻取り設備の構成図を Fig.1 に示す。その中でも巻取りロールは材質改善により、長寿命化に貢献し製鉄所で広く採用されている^{1), 2)}。

巻取りロールの前方には上・下ピンチロールが設置されており、鋼板を適正な状態で送りこむ役割を果たしている。一般的に、下ピンチロールに比べ上ピンチロールの径が大きく、おおよそφ930mm程度である。当社ではすでに報告³⁾した通り熱間圧

延ピンチロール用の高性能材質の開発に成功したが、現有の CPC (Continuous Pouring process for Cladding) 設備で製造可能な直径はφ860mm が限界であるため対応できない。そこで、CPC 法により製造した中空円筒形状のロール (以下スリーブ) を拡大加工 (以下拡管及び拡管加工) することで、大径ロールへの適応が可能と考えた。一方、拡管の際にスリーブを 1000~1100℃まで加熱し、大きな塑性変形を伴うため、拡管後の材質特性の劣化が懸念される。そこで本稿では、巻取りロール用に広く採用されている FKS-KC5 材を外層として CPC スリー

ブを製造し、拡管加工前後での材質特性の変化について調査を行ったので報告する。

2. 小径スリーブ拡管加工

まず小径スリーブ(φ380×L700mm、厚み 25mm)にて事前テストを行った。このスリーブは2層の複合構造となっている。外層は FKS-KC5 材、内層は STKM 材となっており、それぞれの厚みは 12.5mm である。拡管加工は Fig.2 に示す装置 (1500×1500×H7000mm) にて Table 1 に示す加工条件でおこなった。その結果を Fig.3 に示す。

スリーブにき裂や異常変形等は発生せず、外径φ380mm からφ460mm に拡管加工を行う事が出来た。

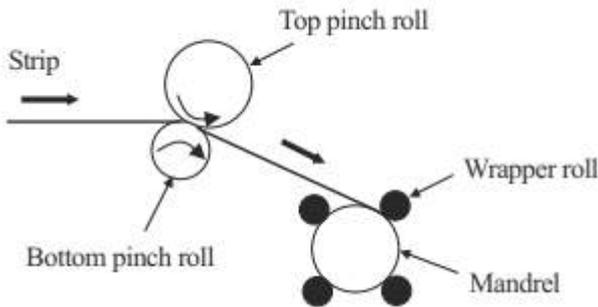


Fig.1 Construction of coiler in hot strip mill



Fig.2 Expander for sleeve with small diameter

Table 1 Expanding test conditions of sleeve

Heating temperature	1000~1100°C
Numbers of expanding	Twice
Rotation angle	22.5°
Drawing pitch of sleeve	20mm



Fig.3 Expanded sleeve with small diameter

3. 拡管加工後の材料特性

3.1 供試材と試験要領

ピンチロールに適用される材質には主に耐摩耗性、耐熱衝撃性、耐腐食性等様々な特性が要求される。これらの特性を拡管加工前後で比較する。

供試材は拡管加工前後のスリーブからそれぞれ 200×150mm を切り出した。

それぞれの試供材について熱処理は 1000°C×4hrs 加熱保持により固溶化処理を行った後強制空冷し、460°C×7hrs 加熱保持し時効硬化処理を行った。熱処理後、所定の試験片寸法に加工して試験を行った。

組織観察は試験材の FKS-KC5 材部分をピクラルにてエッチング、3 次元レーザー顕微鏡により 200 倍の視野で観察し、2 次デンドライトアーム間隔の比較を行った。常温での硬さはマイクロビッカース硬度計により荷重 500gf、負荷時間 5 秒の条件で 10ヶ所測定し、実用的なショア硬度へ変換した。

続いて実機の使用環境に準じた高温酸化特性、熱衝撃性の比較試験を行った。高温酸化特性はまず試験材 (10×10×10mm) の質量を測定する。電気炉で 900°C×24hrs 加熱保持後、強制空冷を行い質量の測定を行うことで酸化増量 (g/m²・hr²) を算出した。熱衝撃特性は試験材 (10×15×10mm) を試験前に浸透探傷試験法 (PT 検査) によりき裂の有無を確認し、600°C に保持した電気炉に投入し 5 分間保持した後、事前に準備しておいた水槽 (容積: 500ml、水温: 25±2°C) に投入し、再度 PT 検査でき裂の有無を確認することによって行った。

3.2 金属組織

Fig.4 に拡管加工前後の顕微鏡組織写真を示す。拡管前後の組織はいずれも基底は焼き戻しマルテンサイトであり、結晶粒界には M₇C₃ 炭化物が確認され、同様の組織を呈していた。また、いずれも楕円状のデンドライトセルが確認できる。これらの間隔 (2 次デンドライトアーム間隔) を 10ヶ所測定し平均値を出した。その結果、拡管加工前の 2 次デ

ンドライトアーム間隔は 59.2 μm 、拡管加工後は 59.9 μm であった。2 次 dendroライトアーム間隔の比較から拡管前後で組織の大きさの変化は認められなかった。

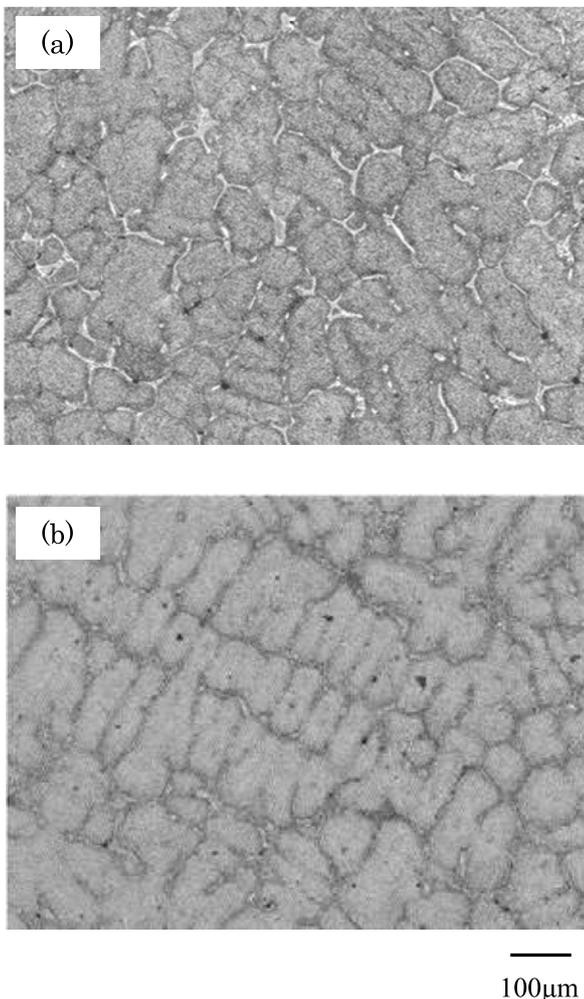


Fig.4 Microstructures of FKS-KC5 sleeve material before and after expanding : (a) before expanding, (b) after expanding

3.3 硬度

Fig.5 に拡管加工前後の FKS-KC5 材の換算ショア硬度を示す。Fig.5 から読み取れるようにどちらも HS70 程度の高い硬度が得られている。これは、FKS-KC5 材が析出硬化型ステンレス鋼であり、固溶化熱処理後に続いて析出硬化処理を行う事により、過飽和に固溶していた析出硬化元素が析出し、高い硬度が得られるためである。また、それぞれの硬度の平均値は拡管加工前で HS69.5、拡管加工後は HS70.0 と変化はほとんど見られなかった。以上の事から硬度についても拡管前後で特性の変化がないと言える。

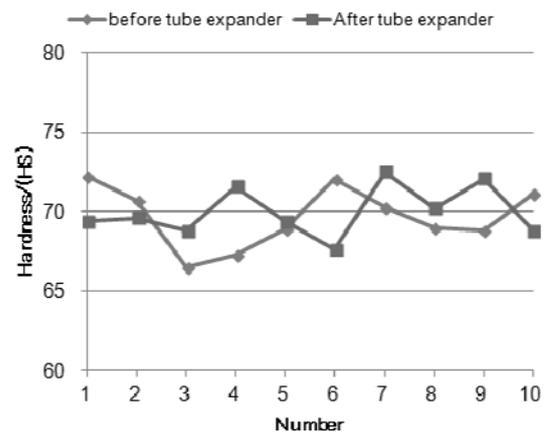


Fig.5 Hardness of sleeve before and after expanding

3.4 高温酸化性特性

一般にピンチロールは 600~900 $^{\circ}\text{C}$ の高温の鋼板と常に接触しているため実際のロール表面は最高 600 $^{\circ}\text{C}$ 程度の高温になると考えられる。そのため、その温度域での性質が重要である。特に高温酸化特性はロール材質の高温での熱間摩耗性、肌荒れ性及び焼付き性と直接的な関係性が深く、鋼板の表面品質にも影響を与える。高温酸化性試験の結果を Table 2 に示す。

酸化スケール増量を計測した結果 (Table 2) から拡管加工前後での差は 0.09 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}^2$) であり拡管の影響はほとんどないと考えられる。

Table 2 Result of high temperature oxidation test of sleeve with FKS-KC5 material

Test pieces	900 $^{\circ}\text{C} \times 24\text{hrs}$
	Weight gain ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}^2$)
Before expanding	0.97
After expanding	1.06

3.5 熱衝撃特性

実際のピンチロール表面には高温の鋼板と接触することによる熱伝導や、通板時の摩擦熱等により大きな熱負荷が掛かる。その後、水冷や空冷による外部からの冷却やロール内部への熱拡散等によりロール表面が急冷される結果、ロール表層部に熱衝撃を受ける環境にある。そのため、本実験では、まず急激な温度変化による熱衝撃特性を把握するため、拡管加工前後の FKS-KC5 材の比較を行った。その結果を Fig.6 に示す。

拡管前後の FKS-KC5 材共に 600 $^{\circ}\text{C}$ での熱衝撃によるき裂は確認されず、優れた熱衝撃特性を示した。

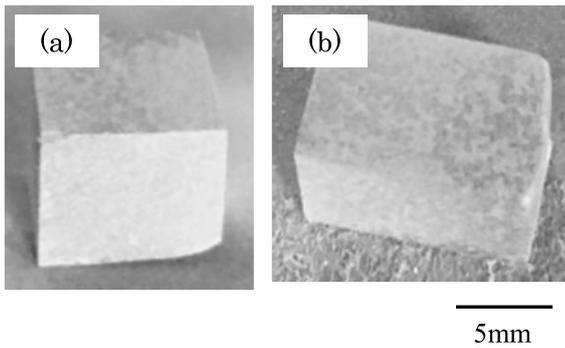


Fig.6 Appearance of thermal shock testing piece : (a) before sleeve expanding, (b) after sleeve expanding

4. 大径スリーブ拡管加工

3節の結果から FKS-KC5 材を 1000℃以上の拡管加工を行った場合でもピンチロールに必要な各種材質特性が劣化していないことが確認された。一般に上ピンチロールの径はφ930mm 付近である。そこで、実ロールサイズでの拡管加工試験を行った。

大径スリーブの拡管を行うために Fig.2 の装置や弊社の摩擦圧接機⁴⁾を参考に大径スリーブ用の拡管加工装置を製作した。その装置を Fig.7 に示す。大径用の装置は作業者の作業性を考慮し、従来の縦型ではなく横型で製作した。

使用したスリーブのサイズはφ800×L1500mm、厚み 100mm である。また、小径スリーブ同様外層は FKS-KC5 材、内層は STKM 材でそれぞれの厚みは 50mm とした。試験は小径スリーブの拡管加工と同様に Table 1 に示す条件で行った。拡管加工の様子と拡管後のスリーブをそれぞれ Fig.8 および Fig.9 に示す。

試験の結果、Fig.9 に示す通りスリーブの端から 100mm 程度が変形し、最大径はφ920mm 程度まで広がった。このように、本プロセスの拡管が可能であることが確認された。一方、スリーブ全長での拡管には課題を残す結果となった。



Fig.7 Expander for sleeve with large diameter

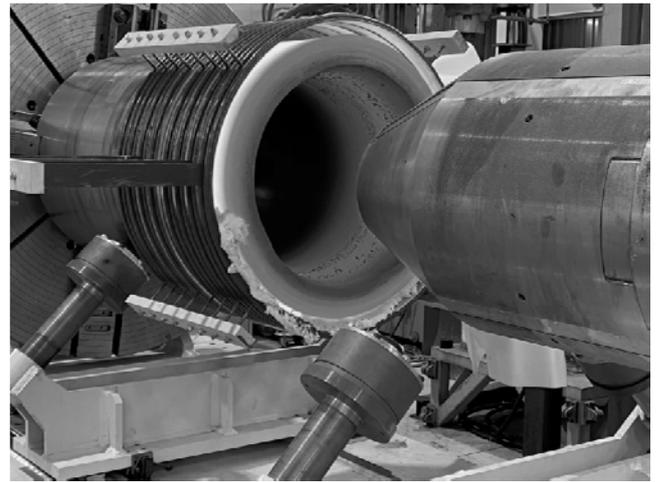


Fig.8 Expansion of large diameter sleeve

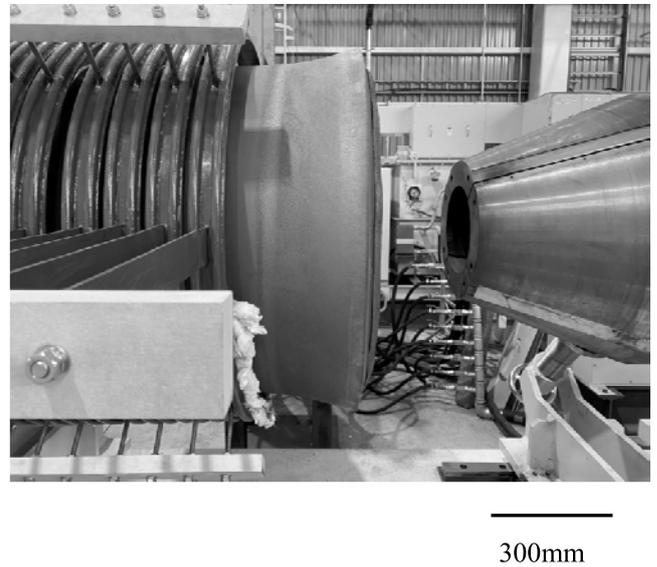


Fig.9 Overview of expanded sleeve with large diameter

5. 結言

これまでに得られた結果を要約すると次の通りである。

- 1) 拡管加工による FKS-KC5 材の材質特性の変化を検証するため、φ380mm の CPC2 層スリーブで拡管加工を行ったところ、φ460mm までき裂なく拡管を行えた。
- 2) 拡管加工前後の組織観察の結果、いずれも基体は焼き戻しマルテンサイトであり、結晶粒界には M_7C_3 炭化物が確認された。また、2 次デンドライトアーム間隔を測定したところ、拡管前後で 0.7μm の違いしかなく、結晶粒の粗大化はなかった。
- 3) 拡管前の平均硬度は HS69.5、拡管後は HS70.0 であったことから拡管の硬度への影響もほとんどなかった。
- 4) 高温酸化試験を行った結果、拡管前後いずれも

高い耐高温酸化性を示した。

- 5) 熱衝撃試験を行った結果、拡管前後いずれも600℃での熱衝撃でき裂は発生せず優れた熱衝撃性を示した。
- 6) 大径スリーブの拡管試験においてもスリーブの端部で拡管され、本プロセスの可能性が確認された。一方、大径スリーブの全長での拡管について、引き続き調査を進める。

参考文献

- 1) 姜孝京、園田晃大、嵩純孝、永吉英昭：
フジコー技報 No.16 (2008) 25
- 2) 園田晃大、花田喜嗣、肖陽、永吉英昭：
フジコー技報 No.22 (2014) 25
- 3) 園田晃大、姜孝京、古田博昭、宮崎裕之、
永吉英昭：フジコー技報 No.24 (2016)24
- 4) 園田晃大、花田喜嗣、牟用煥、姜孝京、
永吉英昭：フジコー技報 No.23 (2015) 25

技 術 論 文

嗅覚測定法とガスクロマトグラフィーの相関考察

A Study on the Correlation between Olfactory Measurement Method and Gas Chromatography



技術開発センター
第二開発室 技師
藤井 恵理子
Eriko Fujii

技術開発センター
第二開発室 リーダー
博士(工学) 坂口 昇平
Shohei Sakaguchi

技術開発センター
第二開発室 主任技師
樋口 友彦
Tomohiko Higuchi

技術開発センター
第二開発室 主任技師
博士(工学) 裴 銀榮
Eunyoung Bae

要 旨

当社では、車載用小型空気清浄機から産業用大型脱臭装置を商品化してきた。製品を開発するにあたって、機器分析にてその脱臭効果を確認してきた。しかし、機器分析だけでは、複合ガスの相互作用から臭気の評価としては不十分である。そのため、悪臭防止法を参考に嗅覚測定法による臭気判定試験も脱臭効果の確認に取り入れている。

本稿では、嗅覚測定法より算出された臭気指数とガスクロマトグラフィーより検出された成分の閾希釈倍数との相関性を確認し、分析装置を使用した際の着目点を考察した。その結果、ガスクロマトグラフィーより検出された成分のうち、最大の閾希釈倍数と嗅覚測定法の結果に相関が認められた。

Synopsis:

FUJICO has been commercialized large industrial deodorant device from small in-vehicle air purifiers. In developing product, the deodorization effect has been confirmed by instrumental analysis. However, instrumental analysis alone is not sufficient to evaluate odor due to the interaction of complex gas. Therefore, an odor judgment test by the olfactory measurement method was also adopted with reference to the malodor prevention method.

In this paper, we confirm the correlation between the odor index calculated by the olfactory measurement method and the odor activity value of the components detected by gas chromatography. Further we consider the focus point when using the analyzer. As a result, this work shows the correlation between the maximum odor activity value and the olfactory measurement method among components detected from gas chromatography.

1. はじめに

においを持つ分子は数十万種あると言われており、ありとあらゆる化学物質にはにおいがあるといえる。また、現場の臭気にはこれらの化学物質（臭気物質）が数十、数百成分含まれていることも多くの報告で

明らかになっている。さらに、それらの物質の間には単独で嗅いだ場合と、複合で嗅いだ場合とでは相互作用により、においの質、強度が変化することがある¹⁾。このことから、現在悪臭防止法では、特定悪臭物質（22物質指定）の濃度を規制するだけでなく、

嗅覚を用いた測定法により算出される臭気指数でも規制を行っている。

当社では、車載用小型空気清浄機（商品名：MaSSC クリーン）から大規模工場のゴム生産ライン、汚泥処理場、厨房などの産業用大型脱臭装置（商品名：ソーラーリアクター）を商品化してきた²⁾。これらの製品を開発するにあたって、機器分析にてその脱臭効果を確認してきた。機器分析には、成分量の変化を確認するため、複合ガスを化合物ごとに分離、定量することができるガスクロマトグラフィーを用いている。しかし、この分析だけでは、機器検出感度の点から主要となる臭気成分の特定に限界があること、複合ガスの相互作用の点から評価が難しいことなどの問題がある。そのため、悪臭防止法を参考に嗅覚測定法も取り入れている。

本稿では、嗅覚測定法より算出された臭気指数とガスクロマトグラフィーより検出された成分の閾希釈倍数との相関性を確認し、分析装置を使用した際の着目点を考察する。ただし、ガスクロマトグラフ分析装置 (GC) での分析は、当社で分析可能なアルデヒド類、低級脂肪酸類、硫黄化合物類に含まれる特定悪臭物質の最大値および総和、または、検出成分の総和を比較対象とした。

2. 評価方法

2.1 嗅覚測定法³⁾

嗅覚測定法は、味や風合いなど、人の五感を用いて評価する官能試験のうち、人の嗅覚を用いて臭気を測る方法である。悪臭防止法で定められた嗅覚測定法のうち気体の臭気指数を測定する三点比較式臭袋法がある。この手法は、6人以上のパネル（18歳以上の嗅覚検査に合格した平均的な正常者の嗅覚を有している者）が、用意された3つの袋を嗅ぎ、においが入っている1つの袋を当てるもので、嗅ぎ当てられなくなるまで、徐々に希釈していく。パネル全員が不正解（不明も含む）になった時点で終了とする。得られた結果から、臭気指数を明らかにする。まず各パネルの個人閾値を計算する。パネルの個人閾値は、回答が正解である最大の希釈倍数の対数値と回答が不正解（または不明）である最小の希釈倍数の対数値の中間に設定されるため、以下の式で計算する。

$$X_i = \frac{(\log M_{li} + \log M_{oi})}{2}$$

X_i : パネル i の個人閾値 (常用対数表示)

M_{li} : パネル i の回答が正解である最大の希釈倍数

M_{oi} : パネル i の回答が不正解である最小の希釈倍

次に、パネルの個人閾値からパネル全体の閾値を算出する。パネルの個人閾値の最大値と最小値をそれぞれ

1つずつ除き、この2つ以外のパネルの個人閾値を加算していた値をパネルの人数から2を減じた値で除す。パネル6人の場合のパネル全体の閾値は以下の式で算出する。

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4}$$

X : パネル全体の閾値 (常用対数表示)

X_i : パネル i の閾値

このパネル全体の閾値を10倍したものが臭気指数となる。臭気指数は小数点以下第一位を四捨五入し、整数で表示する。

$$Y = 10X$$

Y : 臭気指数 (整数表示)

X : パネル全体の閾値 (常用対数表示)

2.2 ガスクロマトグラフィー⁴⁾

ガスクロマトグラフィーは液体及び気体の分析手法であり、ガスクロマトグラフ分析装置 (GC) を用いて、複合気体あるいは液体 (気化しやすい化合物) を分離、検出する方法である。GCは、「液体試料を加熱し、気化するための試料気化室」、「各化合物に分離するためのカラム」、「各化合物を検出し、その濃度を電気信号として出力する検出器」の3つで構成されている。複数成分の試料が装置に導入されると、試料気化室で加熱、気化 (液体の場合) され、キャリアガスと呼ばれる移動相によりカラムへ運ばれる。そのカラム内を進む速度は成分によって異なるため、カラムの出口にそれぞれの成分が到着する時間に差が生じ、結果として成分ごとに分離されて検知される。検知されると、検出器から電気信号として出力され、経過時間を横軸、電気信号を縦軸としてピークが現れる。この試料導入からピークが現れるまでの時間を保持時間 (リテンションタイム) といい、各成分特有のリテンションタイムから成分を定性する。また、検出されたピークの大きさ (面積や高さ) から、定量する。

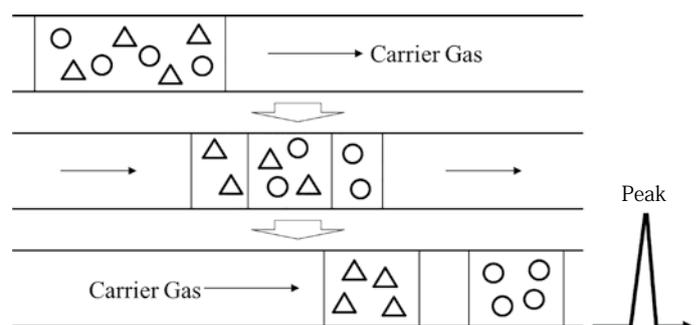


Fig. 1 Schematic illustration showing the separation principle of GC column.

2.3 相関性の評価

2つの変数・変数が概ね直線関係にある場合、それらの相関関係の強さを示す指標として相関係数がある。散布図を取ることで相関の有無をある程度確認することができるが、相関係数は2つの変数の関係性を数値で表すことができる。相関係数は-1から1までの値を取り、以下のような特徴を持つ。

- (1) 正の相関が強いと相関係数が1に近づく
- (2) 負の相関が強いと相関係数が-1に近づく
- (3) 相関係数が1または-1のときは完全相関という
- (4) 相関係数が0付近は相関がないといえる

相関強弱の明確な基準は決まっていないが一般的に以下のように判断されることが多い⁵⁾。

- .00 ~ ± .20 ほとんど相関がない (.00は無相関)
- .20 ~ ± .40 低い(弱い)相関がある
- .40 ~ ± .70 かなり(比較的強い)相関がある
- .70 ~ ± 1.00 高い(強い)相関がある

xとyの相関係数rは以下の式で求まる。

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$
$$= \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

S_{xy} : xとyの共分散

S_x : xの標準偏差

S_y : yの標準偏差

n : 2変数データの総数

x_i, y_i : 個々の数値

\bar{x}, \bar{y} : それぞれの平均値

3. 実験方法

3.1 嗅覚測定法

ガス採取は直接採取法により某工場の排ガスを無臭性の高いガスバッグに5L採取した。臭気の測定は三点比較式臭袋法により行った。パネルは6名とし、1日最大4検体とした。手順等は平成7年9月13日環境庁告示63号「臭気指数及び臭気排出強度の算定の方法」に則して実施した。

3.2 ガスクロマトグラフィー

分析対象ガスには事前に溶剤系、アミン類がほぼ含まれていないことが確認されているため、分析成分はアルデヒド類、低級脂肪酸類、硫黄化合物類とした。

アルデヒド類は、吸引ポンプを使用し、ガスバッグに採取後、捕集管捕集し、溶出させ調整した試験液を

GC(GC-2014, 島津製作所)/アルカリ熱イオン化検出器(FTD)を用いて定性及び定量分析を行った。分析成分はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、イソブチルアルデヒド、ノルマルブチルアルデヒド、イソバレールアルデヒド、ノルマルバレールアルデヒドの7種とした。

低級脂肪酸類は試料捕集管に捕集し、ギ酸注入-加熱導入法でGC(GC-2014, 島津製作所)/水素炎イオン化検出器(FID)を用いて定性及び定量分析を行った。分析成分は酢酸、プロピオン酸、イソ酪酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸、イソカプロン酸、ノルマルカプロン酸の8種とした。

硫黄化合物類は吸引ポンプを使用し、ガスバッグに採取し、採取したガスを低温濃縮-加熱導入法でGC(GC-2014, 島津製作所)/炎光光度検出器(FPD)を用いて定性及び定量分析を行った。分析成分は硫化水素、硫化カルボニル、メチルメルカプタン、二硫化炭素、エチルメルカプタン、硫化ジメチル、二硫化ジメチルの7種とした。

4. 結果と考察

嗅覚測定法より算出した臭気指数とガスクロマトグラフィーより定量した閾希釈倍数の関係をFig.2~4に示す。各グラフの閾希釈倍数の値は、Fig.2がGC分析した全22種のうちの検出成分の閾希釈倍数の総和、Fig.3がGC分析した全22種のうちの悪臭防止法で規制されている22物質に該当する15種の検出成分の閾希釈倍数の総和、Fig.4が悪臭防止法22物質のGC分析による検出成分の閾希釈倍数の最大値である。この値は分析した全22種の検出成分の最大値でもあった。Fig.2~4の場合のそれぞれの相関係数をTable 1に示す。

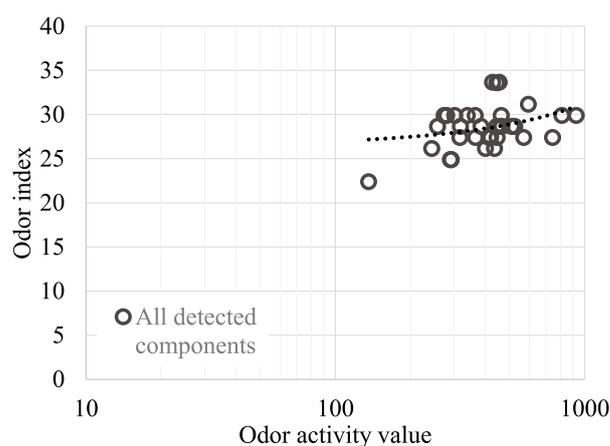


Fig. 2 Relationship between odor index and odor activity value of all detected components.

Fig.2~4 および Table 1 より、相関係数rは臭気指数とGC分析による全検出成分の閾希釈倍数の総和が0.32、臭気指数とGC分析による悪臭防止法該当検出成分の閾希釈倍数の総和が0.34で、ともに $0.2 \leq r < 0.4$ であることから、相関性が低いと言える。臭気指数と

GC 分析による検出成分の閾希釈倍数の最大値は 0.53 であり、相関係数 r は $0.4 \leq r < 0.7$ であることから、相関性があると言える。嗅覚測定法では、人の嗅覚を用いているため、ガス成分によって相乗作用や相殺作用の相互作用が起こる。最大の成分は人の嗅覚への影響が大きく、低い成分はほとんど影響がないと考えられ、におい成分は相加の相互作用は少ないと考えられる。機器分析では、この相互作用は起きないので、検出成分の総和よりも検出成分の最大値の方が高い相関性になると考える。

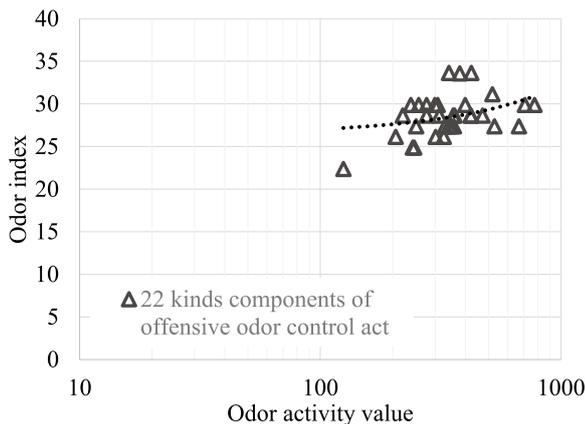


Fig. 3 Relationship between odor index and odor activity value of 22 kinds components of offensive odor control act.

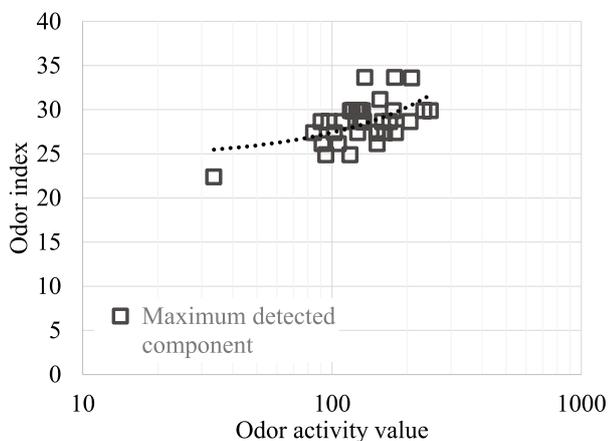


Fig. 4 Relationship between odor index and odor activity value of maximum detected component.

	Correlation Coefficient
All detected components	0.32
22 components of Offensive Odor Control Act	0.34
Maximum detected component	0.53

嗅覚測定法より算出した臭気濃度とガスクロマトグラフィーより定量した閾希釈倍数の関係を Fig.5 に示す。閾希釈倍数の値は、検出成分の閾希釈倍数の最大値とする。

Fig.5 より臭気濃度に比べ、閾希釈倍数は低く、約 5 倍の差がある。これは、それぞれの測定方法の利点欠

点が影響していると考えられる。嗅覚測定法では、人間の嗅覚を用いて臭気を測定しているため、ppt レベルのような極微量濃度の成分であっても嗅覚閾値以上であれば、臭気を感じることができる。しかし、相互作用や、疲労や順応などによる測定の不安定さがある。ガスクロマトグラフィーでは、特定成分を安定して定量可能である。しかし、ガスに含まれるすべての成分を定性、定量することはできず、特定成分であっても検出感度未満では定量することができない。これらの要因で臭気濃度および閾希釈倍数の差が生じていると考える。

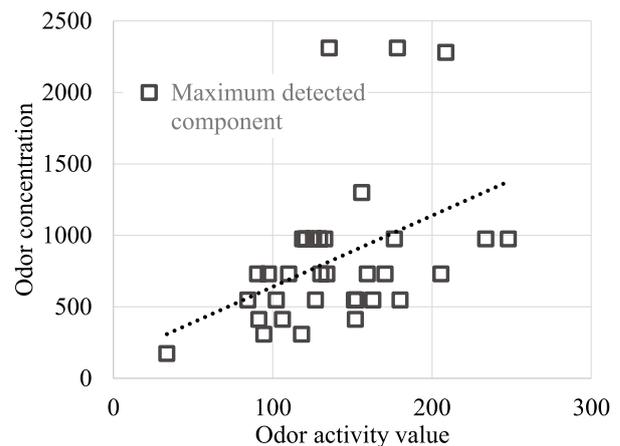


Fig. 5 Relationship between odor concentration and odor activity value of maximum detected component.

5. 結言

嗅覚測定法より算出された臭気指数とガスクロマトグラフィーより検出された成分の閾希釈倍数との相関性の確認において、アルデヒド類、低級脂肪酸類、硫黄化合物類の中で悪臭防止法に該当する検出成分の閾希釈倍数の総和および全検出成分の閾希釈倍数の総和は相関が低かったが、検出成分の閾希釈倍数の最大値は相関がみられた。この検出成分の閾希釈倍数の最大値で、同測定法より得られた臭気濃度と閾希釈倍数を比較すると、臭気濃度に比べ、閾希釈倍数は低く、約 5 倍の差があった。

これより、対策すべき環境の臭気指数を把握するには嗅覚測定法による臭気判定試験は欠かせない。しかし、嗅覚測定法と相関性があることから、ガスクロマトグラフィーで検出された成分の閾希釈倍数の最大値を調べることで、簡易的な製品効果の検証や対策すべき成分の把握が可能になる。脱臭装置を開発する上では、この閾希釈倍数が最大の成分に着目することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎好陽：臭気の嗅覚測定法 (2010)
- 2) フジコー技報 18 (2010) ~ 22 (2014), 25 (2017) ~ 27 (2019) 新製品
- 3) 公益社団法人におい・かおり環境協会：嗅覚測定

法マニュアル (2012)

- 4) 株式会社島津製作所：GC 分析の基礎
<https://www.an.shimadzu.co.jp/gc/support/faq/fundamentals/index.htm>
- 5) 水本篤：質問紙調査における相関係数の解釈について (2012)
<https://core.ac.uk/reader/228724980>

技 術 論 文

25m³空間における空気消臭除菌装置の浮遊ウイルス除去シミュレーションと実試験比較によるシミュレーションへの帰納

Induction to Simulation by Comparing Simulation with Actual Test for Removed Airborne Virus Using FUJICO Air Deodorant Sterilizer in 25m³ Space



技術開発センター
第二開発室
正寶 未宇希
Miuki Shoho

技術開発センター
第三開発室 リーダー
博士(工学) 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

技術開発センター
第二開発室 主任技師
樋口 友彦
Tomohiko Higuchi

技術開発センター
第二開発室 主任技師
博士(工学) 裴 銀榮
Eunyoung Bae

技術開発センター
第二開発室 リーダー
博士(工学) 坂口 昇平
Shohei Sakaguchi

要 旨

ウイルス感染予防のため、飛沫核のような空間に長時間浮遊し続けるウイルスを除去することが空気清浄機の性能において重要な因子となる。本稿では、まず数値流体解析により当社空気消臭除菌装置の空气中に浮遊するウイルスの除去性能をシミュレーションした。その後、JEM1467 に準じて 25m³ 試験室で浮遊ウイルス除去試験を実施した。また、数値流体解析に実際の空気消臭除菌装置によるウイルスの 1 パス除去性能を反映させるため、空気消臭除菌装置の空気取り込み口と排出口のウイルス濃度を調べ、これを 1 パス除去性能とした。その結果、シミュレーションと実際の空気消臭除菌装置の試験は、ほぼ一致する結果となった。これにより、空気消臭除菌装置をはじめとするウイルス除去装置を開発する上で、精度の高いシミュレーション予測が可能となり、装置設計やフィルターの選定に活用することで、時間短縮や労力の削減が期待される。

Synopsis:

In order to prevent virus infection, removing viruses that float in a space such as droplet nuclei for a long time is an important factor in the performance of air purifiers. In this paper, the performance of our air deodorant sterilizer to remove floating viruses in the air was simulated by computational fluid dynamics at the first. After that, a floating virus removal exam was conducted in a 25m³ room according to JEM1467. In addition, in order to reflect the actual 1-pass removal performance of floating virus of the air deodorant sterilizer in the computational fluid dynamics, virus concentrations at the air intake and outlet of the air deodorant sterilizer were examined and were considered 1-pass removal performance. As a result, the simulation and the actual test were almost in agreement. When developing a virus removal device such as an air deodorant sterilizer, this effect enables highly accurate simulation prediction, and may reduce time and labor in devising design and selecting filter.

1. 序論

昨今のコロナ禍の影響を受け、空気清浄機の需要は高まっている。新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)をはじめとするヒトや動物に感染するウイルスは、咳やく

しゃみなどによって様々な大きさのエアロゾルとして空气中に放出され、5 μ m 以上であれば飛沫感染、5 μ m 以下の飛沫核であれば空気感染を引き起こす。飛沫の落下速度は 30~80cm/sec 程度であり、空間に長時

間浮遊することはないとされるが、飛沫核の場合、その落下速度は0.06~1.5cm/sec程度となり、空間に長時間浮遊し続ける¹⁾。また、飛沫又は飛沫核の水分蒸発は0.5~20 μmの粒子で0.8秒であり、環境中と水分量が平衡となった飛沫核となる²⁾。よって、これを除去することが空気清浄機の性能において重要な因子となる。ウイルス除去性能試験を行うにあたっては、試験時間やサンプリング頻度など適切な実験条件で行う必要がある。本稿では、数値流体解析により当社空気消臭除菌装置の空气中に浮遊するウイルスの除去性能をシミュレーションした。その後、JEM1467に準じて25m³試験室で試験を行うことで除去性能を実測確認したので報告する。また、シミュレーションでは空気消臭除菌装置の1パスでの浮遊ウイルス除去性能を簡易的に100%としたが、実際の1パス除去性能を調べるため、空気消臭除菌装置の空気取り込み口と排出口でウイルス数を調べ、これを1パス除去性能とした。試験より得られた1パス性能をシミュレーションに応用することで、より精度の高いシミュレーション予測が可能となったので報告する。

2. 実験方法

2.1 解析の概要

拡散物質低減試験を対象として、scFLOW(MSC)を用いて数値流体力学(CFD)にて試験室内流れ場および浮遊ウイルス濃度分布の確認を行った。解析に用いた対象空間の幾何形状をFig. 1に示す。バイオクリーンルームの実形状を再現し、室内に空気消臭除菌装置を配置し、空気消臭除菌装置の上面に排出口と前面下部に取り込み口をそれぞれ設けた。本節での数値解析の目的は、排出口から流入する清浄空気によって作出される試験室内流れ場と室内の浮遊ウイルス濃度分布、空気清浄機による濃度低減効果の関係性を把握することである。

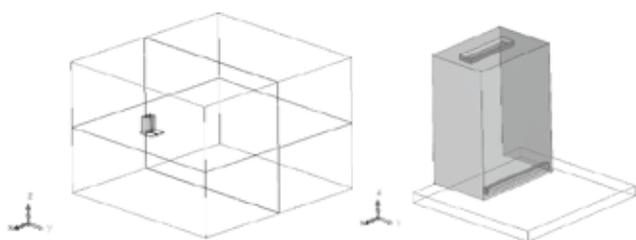


Fig. 1 Section view of analysis results.

2.2 解析条件^{3), 4)}

解析空間を試験室内のみとし、定常・等温状態と仮定した。乱流モデルとしてRNG $k-\epsilon$ モデルを用いて解析を行った。解析条件をTable 1にまとめて示す。解析空間は非構造格子にて分割し、約25m³の容積に対して総メッシュ数は798,865に設定した。Fig. 1に示し

た通り、結果の表示は排気口及び取り込み口が含まれるy-z平面(x=1.75: Section 1)、浮遊ウイルスのサンプリング箇所の濃度比較が可能なz=1.2のx-y平面(Section 2)の2断面とした。Case 1である初期解析においては、空気清浄機内で浮遊ウイルスが完全に除去されると仮定し、排出口から室内に吹き出される清浄空気内の浮遊ウイルス濃度 $C_m=0$ とした。全ての壁面において、浮遊ウイルスの吸着・分解を無視した状態で解析を行った。浮遊ウイルスの拡散については、浮遊ウイルスの濃度差による気中への拡散を0として、移流により運ばれると仮定し、計算を実施した。

Table 1 Analysis conditions

Geometry	3.5m(x) × 3.285m(y) × 2.4m(z) : $V = 25[\text{m}^3]$
Turbulent model	RNG $k-\epsilon$ Model
Mesh number	Unstructured grid(Polyhedral): 798,865
Scheme	1st/2nd order upwind scheme
Inflow boundary	Area=0.12m(x) × 0.03m(y) $U_{in}=1.85[\text{m/s}]$, $Q_{in}=0.4[\text{m}^3/\text{min}]$ $k_{in}=0.0001[\text{m}^2/\text{s}^2]$, $\epsilon_{in}=0.0001[\text{m}^2/\text{s}^3]$ Case 1: $C_{in}=0$, Case 2: $C_{in}=0.2 \cdot C_{out}$
Outflow boundary	Area=0.17m(x) × 0.015m(z) $U_{out} = \text{free slip}$, $k_{out} = \text{free slip}$, $\epsilon_{out} = \text{free slip}$
Wall treatment	Velocity: No slip Contaminant concentration: $\partial C / \partial x = 0$
Contaminant	Passive contaminant($D=0$) $C_0=1,000,000[-]$

試験室内の浮遊ウイルス濃度の濃度低下の時間依存性については、非定常解析を実施した。解析時間については、実試験と併せて360分の数値解析を行った。

2.3 試験室

ウイルス試験に使用した試験室の概要をFig. 2、Fig. 3に示す。試験室は、前室とバイオクリーンルームで構成されており、バイオクリーンルームの内寸は3.5 m(x) × 3.285 m(y) × 2.4 m(z) = 27.594 m³であり、室内環境学会の学会規格に準拠して設計されている⁵⁾。

本実験施設は実験室バイオセーフティ指針(WHO第3版)に規定されたバイオセーフレベル2(BSL2)をクリアしている^{6), 7)}。

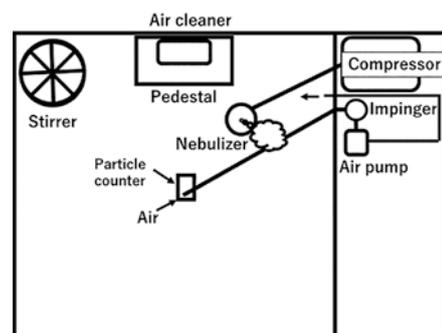


Fig. 2 The appearance of airborne virus exam in 25m³ (view from above).

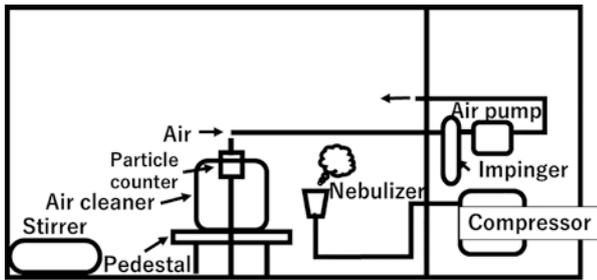


Fig. 3 The appearance of airborne virus exam in 25m³ (view from the side).

25m³試験室内に空気消臭除菌装置と攪拌ファン、パーティクルカウンター（室中心、空気消臭除菌装置の空気取り込み口及び排出口の3点）、温湿度計、ネブライザー、サンプリングライン（室中心、空気消臭除菌装置の空気取り込み口及び排出口の3点）を設置した。パーティクルカウンターとネブライザー、サンプリングラインは各々コネクタよりチャンバー外部のパーティクルカウンター用ポンプ、ネブライザーポンプ及び菌試験用インピンジャー（捕集管）と接続した（サンプリングラインの末端はサンプリング時以外は封鎖した）。

2.4 空気消臭除菌装置の概要

本稿の試験には当社が製造販売している空気消臭除菌装置 MC-S101（商品名：Blue Deo）を用いた（Fig. 4）。



Fig. 4 Appearance of MC-S101.

MC-S101 の装置構造は埃、PM2.5 除去用のプレフィルター、臭い・菌・ウイルスを分解する光触媒フィルター（2種類）、光触媒を励起させるためのUVランプで構成されている（Fig. 5）。

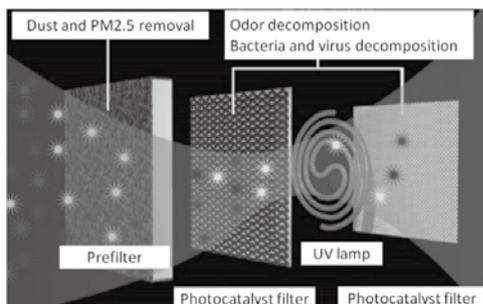


Fig. 5 Illustration of MC-S101.

MC-S101 の仕様について Table 2 に示す。

Table 2 Performance of MC-S101

Product name	Blue Deo		
Model	MC-S101		
Size	Width	187mm	
	Depth	129mm	
	Height	268mm	
Weight	1.4kg		
Operation mode	Low	Medium	High
Air flow	0.13m ³ /min	0.24m ³ /min	0.4m ³ /min
Power consumption	8.5W	9.0W	12.0W
Noise	22dB	28dB	40dB

2.5 使用したウイルス

評価にあたっては、ウイルスの一種であり大腸菌に感染するバクテリオファージ *Escherichia coli parg* MS2(NBRC102619)を使用し、宿主菌は *Escherichia coli*(NBRC106373) を使用した。大腸菌及びバクテリオファージは JEM1467 に準じて、35°Cで 18hr 静置培養した。最終的に得られたファージ原液は冷凍保存し、使用前に解凍し、10 倍希釈して 10¹⁰~10¹¹PFU/mL に調整した。培地は 20mL の普通寒天培地シャーレの上に、50°C程度の軟 NB 培地を 4mL、大腸菌を 0.11mL 添加混合し、蓋をして冷蔵保存したものを使用した。

2.6 ウイルス試験の流れ

攪拌ファンを作動させながら系内を空気清浄し、パーティクルカウンター（TSI 製 AERO TRAK）で 0.3 μm 以上の粒子が 1000 個/28.3L 以下になったのを確認後、空気清浄を止め、2mL の 10 倍希釈ファージ液をネブライザーで約 8 分間噴霧した。噴霧後、2 分間攪拌した後、サンプリングラインよりチャンバー内の空気を 3.5L/min で 0.015%チオ硫酸ナトリウム溶液 20mL を入れたインピンジャーに 50L 捕集させた(0分)。その後、攪拌ファンを止め、試作機を運転し、120分、240分、360分のサンプリングをした。また、自然減衰も同様に試験した。実験条件を Table 3 に示す。

Table 3 Experimental conditions

Amount of spray liquid	2.0 mL
Supply virus concentration	2 × 10 ¹⁰ PFU mL ⁻¹
Amount of collected gas	50 L
Amount of collecting liquid	20 mL
Collected the gas flow rate	3.5 L min ⁻¹
Collected time	14.3 min

3. 結果と考察

3.1 数値流体解析の結果

実験条件を再現した流れ場解析結果のスカラ風速分布を Fig. 6 に示す。吹出風速が 1.85 m/s と高いものの、試験室全体に形成される流れ場については 0.05 m/s 以下の微風状態となった。空気清浄機から鉛直上向きに吹き出された流れが天井面に沿って、試験室内に広がっていくことが示されている。

60分後の試験室内の無次元化されたウイルス濃度分布の解析結果を Fig. 7 に示す。給気口近傍では低濃度域が確認されるものの、試験室全体では大きな濃度の偏りができていない結果が示されている試験室中心において浮遊ウイルスの減衰推移を数値流体解析により算出した結果を Fig. 8 に示す。これより、360分の作動により、強運転で 2.3 桁、標準運転で 1.4 桁、弱運転で 0.8 桁まで浮遊ウイルスが減衰すると算出された。

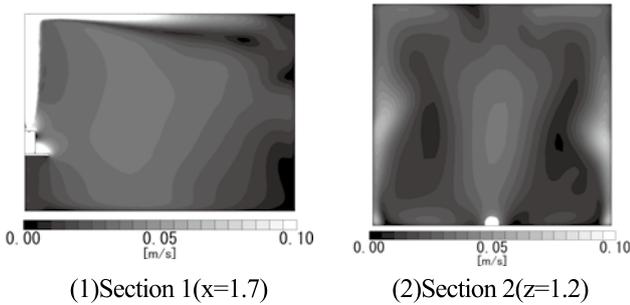


Fig. 6 Velocity magnitude (unit: m/s).

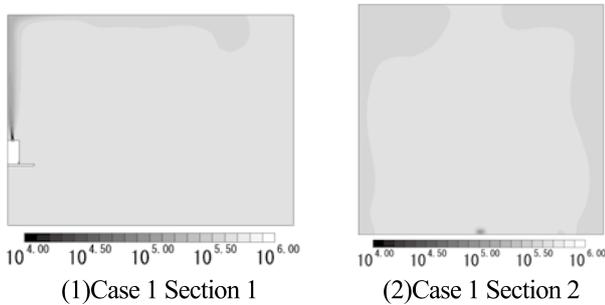


Fig. 7 Dimensionless concentration(60min).

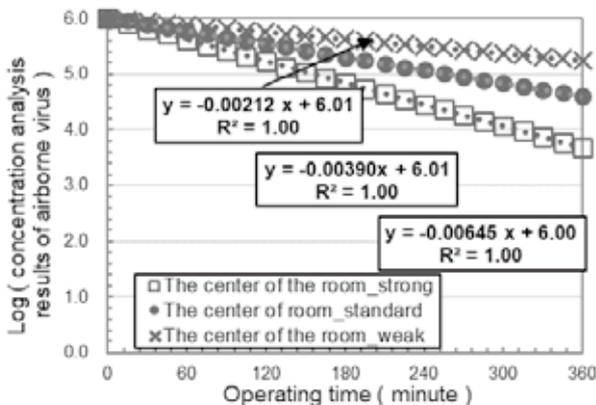


Fig. 8 Results of CFD simulation in each operation mode.

3.2 浮遊ウイルス試験の結果

浮遊ウイルスの自然減衰の推移を Fig. 9 に示す。360分までの範囲では、ウイルスの対数減衰速度は直線性があり、傾きも-0.002と低いことから、バイオクリーンルームの高い密閉性が示された。

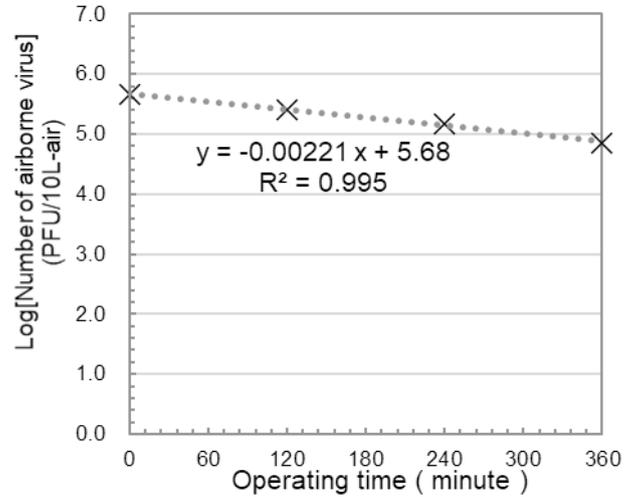


Fig. 9 Transition of natural attenuation of airborne virus in 25 m³ room.

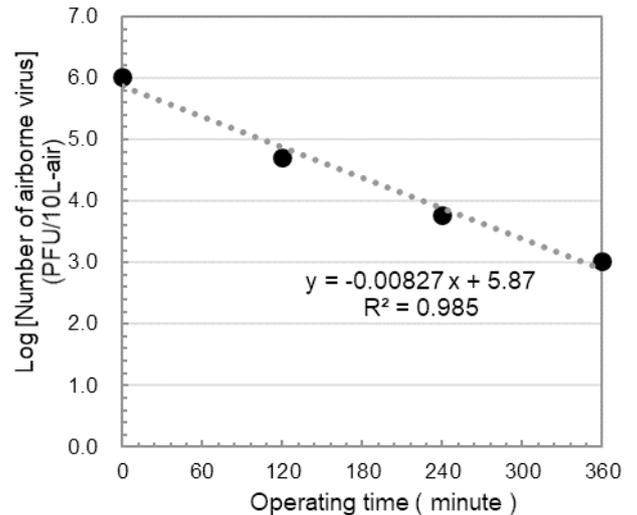


Fig. 10 Attenuation transition of airborne virus when operating the air deodorant sterilizer in a 25 m³ room.

Fig. 10 に空気消臭除菌装置を強運転で稼働した時の浮遊ウイルス数の推移を示す。360分で3桁程度減少した。Fig. 10で算出された傾きより、正味の傾きすなわち自然減衰を減じた浮遊ウイルス数の対数減少値の推移とシミュレーション値を比較したものを Fig. 11 に示す。これより、浮遊ウイルス除去試験とシミュレーション結果が近似し、僅かにシミュレーションの方が多く減衰した。ここでシミュレーションでは、装置フィルターのウイルス除去率を簡易的に100%としているが、実際の1パス除去性能を調べるため、同試験中における装置の空気取り込み口と排出口でウイルス濃度の推移を調べた結果を Fig. 12、その時の1パス除去性能をまとめたものを Table 4 に示す。1パス除去性

能は80%を超えていた。これはプレフィルタによる浮遊ウイルスの捕捉と光触媒フィルタによる殺菌効果によるものと考えられる。この1パス性能を85%と近似し、これを数値流体解析に反映し、ウイルス試験結果と比較したものを Fig. 13 に示す。実試験の方が僅かに浮遊ウイルスの減衰が多かったが、両者は近い傾きとなった。実試験の方が浮遊ウイルスの減衰が多くなった理由としては、自然減衰よりも除菌機を稼働させた方が風力により、浮遊ウイルスが壁面へ衝突し壁吸着しやすくなるためと推測される。

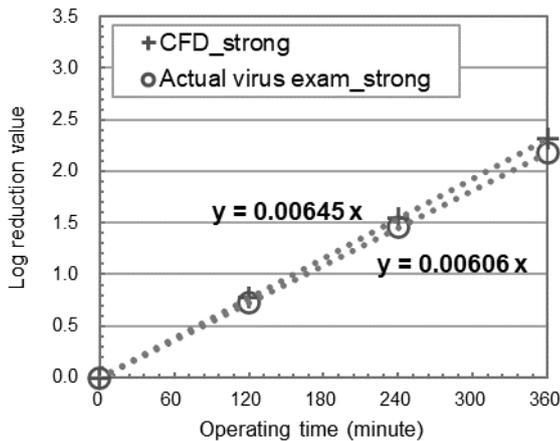


Fig. 11 Comparison of airborne virus exam result and simulation values.

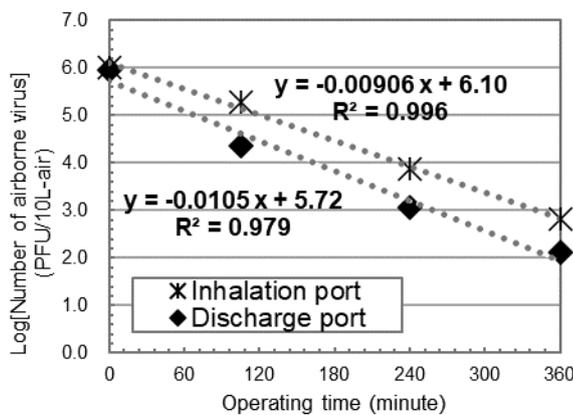


Fig. 12 Transition of the number of airborne viruses at the air intake and outlet during strong operation of the air deodorant sterilizer.

Table 4 Transition of 1-pass removal performance during strong operation of air deodorant sterilizer

Time(min)	1-pass removal performance(%)
0	-
105	88.39
240	84.47
360	80.47
Average value	84.45

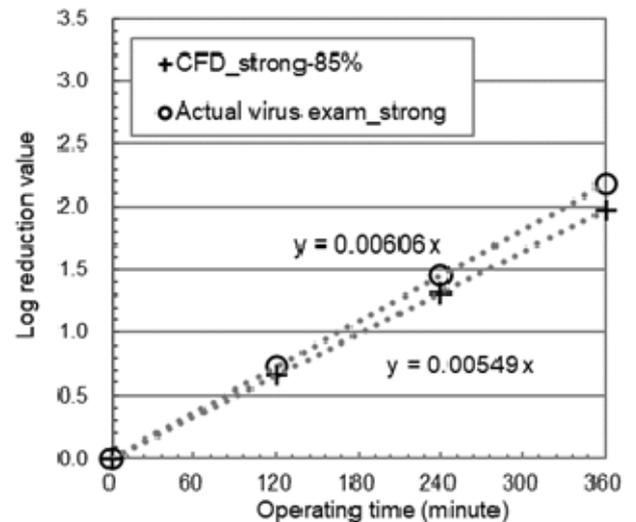


Fig. 13 Comparison of airborne virus exam result and simulation values at 85% 1-pass performance.

4. 結言

試験室内のみを対象とし、定常・等温状態と仮定し、乱流モデルとして RNG $k-\epsilon$ モデルを用いて解析を行うことで、空気消臭除菌装置の浮遊ウイルス除去性能を予測することができた。その結果を基に JEM1467 に準じて実 25m³ 空間にて試験したところ、シミュレーションとほぼ一致する結果となった。また、動作中に空気消臭除菌装置の空気取り込み口と排出口でガスサンプリングすることで浮遊ウイルスの1パス除去性能を調べることができた。1パス除去率を数値流体解析に反映させることで、より解析精度が上がると推測されるので、今後は n 数を増やし再現性を確認する予定である。HEPA など1パス性能が予測されるものについては、数値流体解析でシミュレーションした後、使用目的に合わせてフィルターを選択でき、或いはウイルス除去装置を設計する上で、使用目的に合わせて風量や風向きをシミュレーションによって予測できると期待される。

参考文献

- 1) 厚生労働省, “高齢者介護施設における感染対策マニュアル (平成 25 年 3 月)” の公表について”, 厚生労働省ホームページ, 2019, https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/tp0628-1/dl/130313-01_08.pdf
- 2) Morawska L et al. : Journal of Aerosol Science. 40 (2009) pp256–269
- 3) 山本清司, 高島伽央里, 樋口友彦, 永吉英昭 : フジコー技報 25 (2017) pp54
- 4) 山本清司, 張文皓, 焼山なつみ, 原賀久人, 大野京一郎 : フジコー技報 22 (2014) pp33
- 5) 室内環境学会 : 室内環境学会標準法 20110001 号

家庭用空気清浄機によるカビ孢子除去性能の評価
試験法(2012)

- 6) ISBN 92-4-154650-6(LC/NLM 分類 ;QY25),
WHO/CDS/CSR/LYO/2004.11
- 7) 山本清司, 室内トルエン濃度低減予測のための可
視光応答型光触媒反応モデリング, 九州大学,
2017, 博士論文, 111

技 術 論 文

医療現場における環境実態調査及び光触媒タイルの抗菌性能評価 Actual Environmental Survey on Medical Field and Evaluation of Antibacterial Performance for Photocatalyst (TiO₂) Tile



技術開発センター
第三開発室 リーダー
博士(工学) 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

技術開発センター
第三開発室
原田 知典
Tomonori Harada

技術開発センター
技術開発センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

当社は、高速フレーム溶射法によって光触媒(TiO₂)の成膜技術を確立して以来、抗菌建材及び空気浄化装置等、光触媒機能を付与した様々な製品を開発してきた。光触媒は殺菌効果を示すことが知られており、免疫力が低下した患者が多い医療介護関連施設においては光触媒製品の活用が期待されている。そこで本研究では、医療現場における光触媒タイルの性能評価を目的とし、新築の急性期病院内に光触媒タイルを施工し、旧病院と新病院の床面における付着菌数の測定を実施した。その結果、新病院内の床面の付着菌数が有意に少ない結果が得られ、実環境における光触媒タイルの抗菌効果を確認できた。また、同病院内における空気中のアンモニア濃度及び床面の汚染度(ATP)を測定し、環境調査を実施し、空気中の清浄度が保たれていることが確認できたので、報告する。

Synopsis:

FUJICO has developed various photocatalyst (TiO₂) products such as antibacterial building materials and air purifiers, since we had established the deposition technology of photocatalyst by using the high velocity oxygen fuel thermal spraying method. Photocatalyst are known to have bactericidal effects, and photocatalyst products are expected to be utilized by hospitals and nursing care facilities where many patients have decreased immunity. In this study, for the purpose of evaluating the performance of photocatalyst tiles in the medical field, photocatalyst tiles were installed in a newly built acute care hospital, and the number of adherent bacteria was measured on the floors of the old and new hospitals. As a result, the number of bacteria adhering to the floor in the new hospital was significantly low, and the antibacterial effect of the photocatalytic tile in the actual environment could be confirmed. In addition, we measured the concentration of ammonia in the air and the degree of pollution (ATP) on the floor in the hospital, conducted an environmental survey, and confirmed that the cleanliness in the air was maintained.

1. 緒言

当社は、高速フレイム溶射法によって光触媒(TiO₂)を成膜する溶射技術を確立して以来、抗菌建材(商品名: MaSSC シールドタイル)、空気浄化装置(商品名: MaSSC クリーン)等、様々な光触媒製品を開発してきました。光触媒は紫外光及び可視光等の光が当たることにより、高い酸化力を持つ活性酸素が生じ、接触する有害物質を分解する性能を持つ。そのため、光触媒は様々な場所において、抗菌、脱臭、水処理等への応用が展開されており、その中でも医療介護関連施設においては、感染抑制の対策としての利用が期待されている。現在、医療介護関連施設では、病原体の伝搬を抑制するために、様々な対策が必要とされている。特に、免疫力が低い入院患者及び介護施設利用者が多い施設では、日和見感染の発症リスクが高いため、環境整備による感染抑制の対策が非常に重要とされている²⁾。弊社では、長年にわたり、複数の病院内で環境調査を実施することで、光触媒製品の抗菌性能に関する実証評価を行ってきている^{3,4)}。加えて、昨今のコロナ禍においては、床面から多くの病原菌が検出されたという報告もあり、これまで重要視されて来なかった床面を清潔に保つことへの重要度が高くなりつつある⁵⁾。

本研究では、新築される急性期病院の中で汚染度が高いと考えられる箇所に光触媒タイルを施工し、旧病院において同条件となる未施工場所における床面の付着菌数を比較することにより、光触媒タイルの抗菌性能の実証評価を実施した。また、同病院内における環境調査のため、アンモニア濃度及び床面の汚染度(ATP)の評価を実施した。

2. 病院における光触媒タイルの性能評価

2.1 目的

新築の病院内に光触媒タイルを施工し実環境における抗菌性能を評価する。また、比較検討が難しい条件であるため、プロスペクティブ スタディを実施し、以下のA,Bの2つのコントロールを設けることで、効果の検証を実施した。

- (A)旧病院の光触媒タイル未施工箇所のサンプリング
- (B)新病院の開院前の光触媒タイル施工箇所のサンプリング
- (C)新病院の開院後の光触媒タイル施工箇所のサンプリング

ここで本研究での光触媒タイルの効果に対する目標は以下の2点である。

- (1)旧病院(A)に比べて、新病院の開院後(C)の菌数及び臭気数が低いこと。
- (2)新病院において開院前(B)から開院後(C)において大幅に菌数及び臭気が増加しないこと。

2.2 概要

2.2.1 調査日時

調査の実施は2018年5月から2019年5月の1年間で実施した。

(A)旧病院 2018年5月から9月 週1回の合計10回
(B)新病院(開院前) 2018年11月から12月 週1回の合計5回

(C)新病院(開院後) 2019年3月から5月 週1回の合計10回

また、外的影響を除くために、朝の定期清掃から一定時間が経過した15時から全てのサンプリングを実施した。

2.2.2 調査場所

各病院の外科及び内科の入院病棟の汚物処理室2部屋にて実施した。汚物処理室におけるサンプリング位置の見取り図はFig. 1に示す。汚物処理室内のサンプリング位置は、①シンク前、②ゴミ箱前、③汚物槽前、④汚物槽左前の計4箇所である。

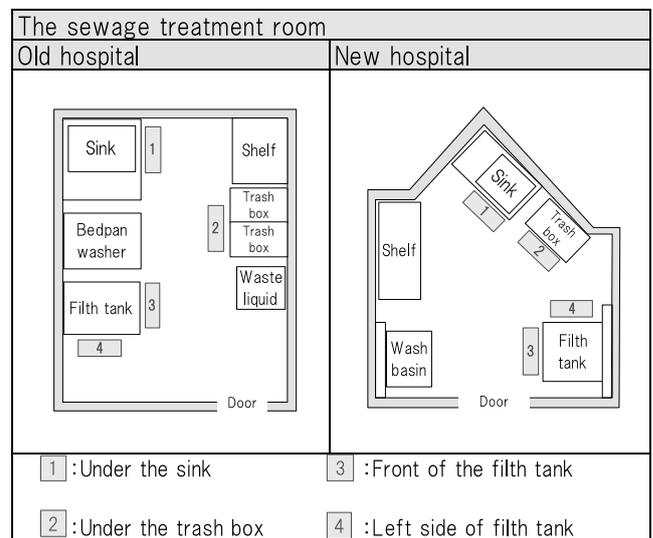


Fig.1 Sampling position in each sewage treatment room.

2.2.3 測定項目、調査方法

調査項目は付着菌測定とATP測定、アンモニア測定の3項目である。

付着菌測定については、分析対象とする菌種は、一般細菌、大腸菌、黄色ブドウ球菌とした。測定方法を下記に示す。初めに、測定対象である各床面から検体をサンプリングした。サンプリング方法は、スワブ(ふきふきチェックII、栄研化学)拭き取り法を適用し、サンプリング範囲は100cm²(10cm×10cm)とし、専用の滅菌済検査枠(ふきとり検査枠、アズワン)を使用した。汚物槽前におけるサンプリング時の写真をFig.2に示す。付着菌数については、飛沫による汚染度の違いを考慮して、隣接する3箇所を個別に接種し、培養後3箇所の菌数を平均化し、1検体とした。次に、サンプリング完了後の菌液を社内にて培養した。各菌種に対して培養時に使用した選択培地をTable 1に示す。培養

は 35°C 設定のインキュベーター内において、大腸菌は 24 時間、一般細菌及び黄色ブドウ球菌は 48 時間実施した。培養後は、培地表面に生育した菌数(コロニー数)を計測し、光触媒タイル施工場所及び非施工場所における検出菌数を比較した。また、統計学的評価として、対応のない t 検定により有意水準 5% 未満を有意差ありとした。



Fig.2 Picture showing sampling area in the sewage treatment room.

Table 1 Types of agar medium for each kind of bacteria

Analysis object	Types of agar medium
General bacteria	Tryptic Soy Agar
<i>E. coli</i>	XM-G Agar
<i>S. aureus</i>	Mannitol salt Agar with Egg Yolk

ATP 測定については、付着菌の測定箇所隣接する床面から検体をサンプリングした。サンプリング方法は、スワブ(ATP 測定用試薬 UXL100、スリーエムジャパン)拭き取り法を適用し、サンプリング範囲は 100 cm² (10 cm×10 cm)とし、専用の滅菌済検査枠(ふきとり検査枠、アズワン)を使用した。次に、サンプリング完了後のスワブを ATP 測定器(ATP 測定器ルミノメーターUNG3、スリーエムジャパン)を使用し、ATP 値を測定した。

アンモニア濃度測定については、汚物処理室内全体のガスをエアースンプラーで捕集し、ガス検知管(光明理化、アンモニア：美術館用 900 NHH)を用いて臭気濃度を測定した。

2.3 結果及び考察

2.3.1 一般細菌

旧病院の非施工場所(A)における一般細菌数の測定結果を Fig. 3 及び Table 2 に示す。旧病院における測定結果から全箇所において平均して高い数値の菌数が検出された。特に汚物処理室 2 の汚物槽下左側の箇所にお

おいては他の箇所よりも 1桁ほど高い菌数が安定して検出されており、汚物槽内から飛沫が飛散していることが示唆された。

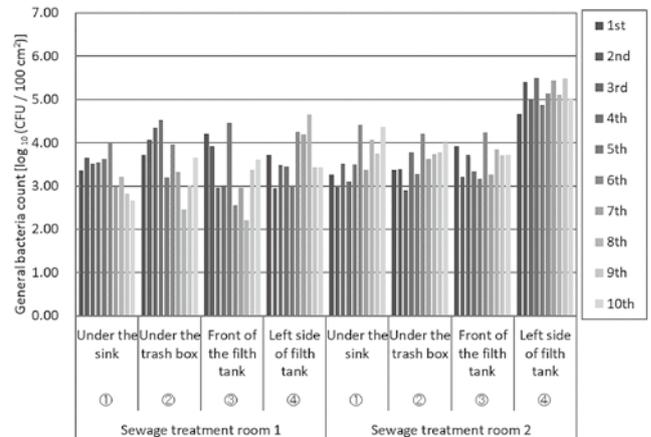


Fig.3 Measurement results of general bacterial count of old hospital (Case A).

Table 2 Detection results of general bacterial count of old hospital

Sampling Point	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]		Ave.
	1	2	
①	3.34 ± 0.13	3.63 ± 0.16	3.48 ± 0.09
②	3.62 ± 0.20	3.61 ± 0.12	3.61 ± 0.11
③	3.32 ± 0.23	3.61 ± 0.11	3.47 ± 0.10
④	3.65 ± 0.17	5.16 ± 0.09	4.41 ± 0.10

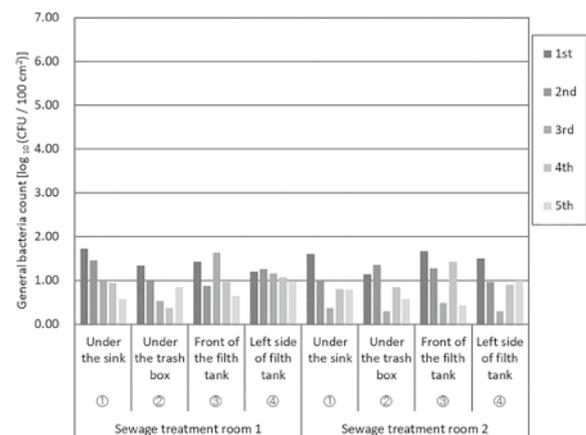


Fig.4 Measurement results of general bacterial count of new hospital before opening (Case B).

次に新病院の開院前(B)における一般細菌数の測定結果を Fig. 4 および Table 3 に示す。開院前の測定結果から、人の出入りが制限され、加えて看護師が作業を実施していない状況であることから、検出される菌は非常に少ない結果となった。未使用の状況においても、環境菌が存在する結果が示され、環境調査を実施するにつれて菌数が低減する結果も示されていることから、

週に1回のサンプリングが定期的な清掃と同じ効果が得られている結果が明らかとなった。

Table 3 Detection results of general bacterial count of new hospital before opening

Survey times	Mean ± SD [$\log_{10}(\text{CFU}/\text{cm}^2)$]		Ave.
	1	2	
①	1.14 ± 0.20	0.91 ± 0.20	1.02 ± 0.19
②	0.81 ± 0.17	0.84 ± 0.19	0.83 ± 0.16
③	1.10 ± 0.18	1.05 ± 0.25	1.08 ± 0.19
④	1.13 ± 0.05	0.93 ± 0.19	1.03 ± 0.10

新病院の開院後(C)における一般細菌数の測定結果を Fig. 5 及び Table 4 に示す。開院後の測定結果については、全体を通して、開院前(B)に比べて、筋層が増加している傾向が示された。汚物槽左側の結果については、汚物処理室1は他の箇所よりも低い傾向であるのに対し、汚物処理室2では最も菌数の高い箇所が示されていることから、病棟における使用者及び使用状況に影響を受けていることが示唆された。

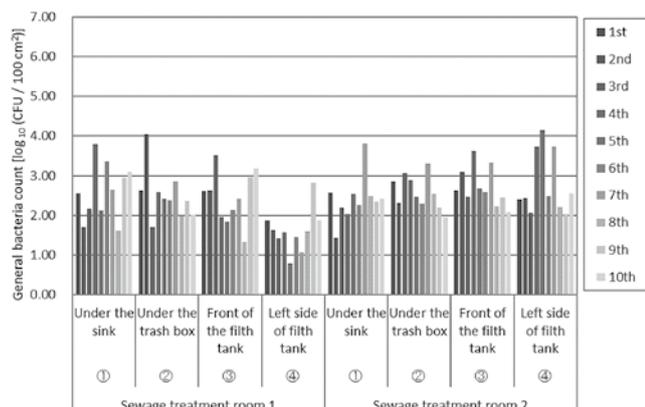


Fig.5 Measurement results of general bacterial count of new hospital after opening.

Table 4 Detection results of general bacterial count of new hospital after opening

Survey times	Mean ± SD [$\log_{10}(\text{CFU}/\text{cm}^2)$]		Ave.
	1	2	
①	2.60 ± 0.23	2.41 ± 0.19	2.50 ± 0.15
②	2.49 ± 0.20	2.59 ± 0.14	2.54 ± 0.12
③	2.46 ± 0.21	2.71 ± 0.15	2.59 ± 0.11
④	1.61 ± 0.17	2.78 ± 0.25	2.19 ± 0.09

各条件における一般細菌数をまとめて比較した結果を Fig. 6 に示す。旧病院(A)における一般細菌数の検体数は、全10回のサンプリングにおいて、2部屋で各4箇所であることから $N = 80$ であり、平均一般細菌数は $3.74 \pm 0.73 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ である。対して、開院前の新病院(B)においては、 $N = 40$ で平均一般細菌数は

$0.99 \pm 0.40 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ であった。

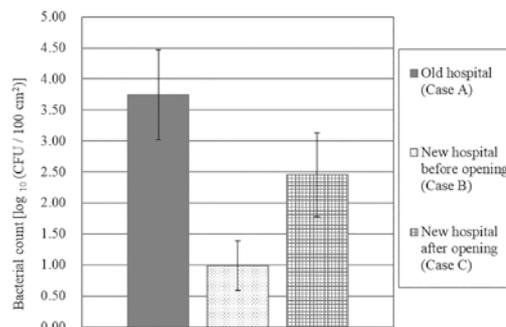


Fig.6 The comparison of measurement results of general bacterial counts.

開院後の新病院(C)においては、 $N = 80$ で平均一般細菌数は $2.45 \pm 0.68 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ であった。

この結果から、旧病院(A)から開院後の新病院(C)では $1.29 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ の低減が確認され、 t 検定においても有意に低減される結果が示された ($p < 0.05$)。このため、当初設定した目標の1つである新病院における光触媒タイル抗菌効果については示された。

しかしながら、新病院の開院前(B)から開院後(C)では $1.46 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ の増加が確認され、 t 検定においても有意に増加している結果が示された ($p < 0.05$)。そのため、目標であった開院前後で一般細菌が大幅に増加しないという目標は達成できていない結果となった。

2.3.2 黄色ブドウ球菌

旧病院の非施工場所(A)における平均黄色ブドウ球菌数の測定結果を Fig.7 に示す。旧病院の汚物処理室の床面から黄色ブドウ球菌が検出される陽性率は90%と高く、72検体から検出される結果となった。開院前の新病院(B)の汚物処理室からは検出されない結果となり、入院患者及び看護師との出入りが少ない状況が大きく起因する結果となった。開院後の新病院(C)の平均黄色ブドウ球菌数の測定結果を Fig. 8 に示す。黄色ブドウ球菌はグラム陽性菌であり、一般環境で生存しやすいため、開院後には検出されているものの、旧病院(A)と比べて、検出される回数及び菌数についても少ない傾向が示された。

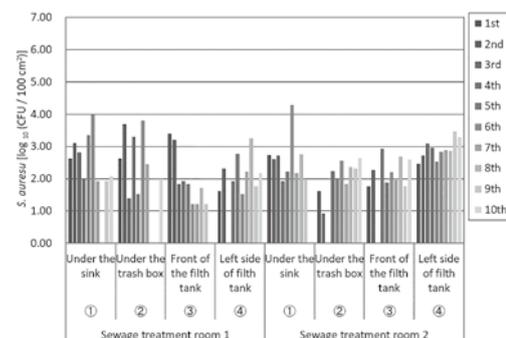


Fig. 7 Measurement results of *S. aureus* count of old hospital (Case A).

全条件における黄色ブドウ球菌の検出数の結果を Table 6 及び Fig. 9 に示す。旧病院(A)から開院後の新病院(C)では 0.82 [log₁₀(CFU/100cm²)] の黄色ブドウ球菌数が有意に低減されたことが確認された (p<0.05)。

しかしながら、開院前後においては、一般細菌と同様に増加する結果が示された。

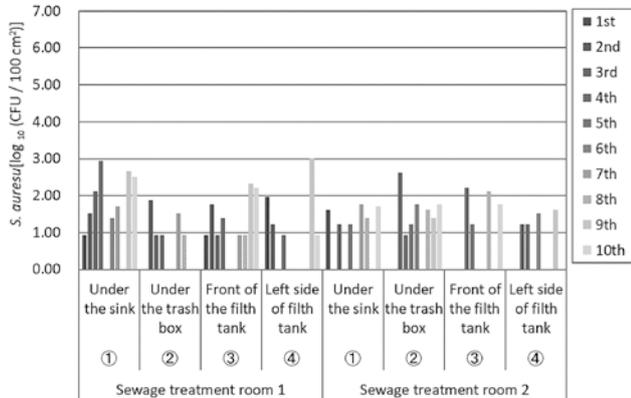


Fig. 8 Measurement results of *S. aureus* count of new hospital after opening (Case C).

Table 6 Measurement results of *S. aureus* count of 3 cases

Survey cases	Detections [-]	Positive rate [%]	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]
A	72	90	2.40 ± 0.70
B	0	0	N.D.
C	47	59	1.58 ± 0.57

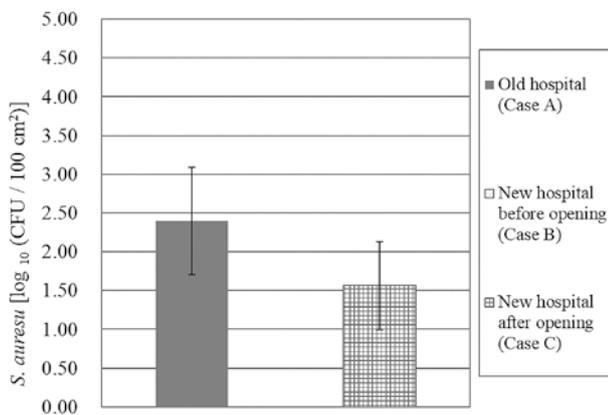


Fig. 9 The comparison of measurement results of *S. aureus* counts.

2.3.3 大腸菌

全条件における平均大腸菌数の測定結果を Table 7 に示す。全調査における大腸菌の合計検出数は、旧病院(A)では 7 箇所、新病院の開院前(B)では 0 箇所、開院後では 7 か所あり、一般細菌、黄色ブドウ球菌と比較して検出される頻度が少ない傾向が確認された。この原因は、大腸菌がグラム陰性菌であり、薄いペプチドグリカン層で覆われているため、温湿度因子及び物理的因子に弱く、一般環境で生存しにくいと考えられる⁶⁾。旧病院(A)から開院後(C)では 0.92

[log₁₀(CFU/100cm²)] の大腸菌数が有意に低減される結果が示されたものの (p<0.05)、大腸菌は直前の汚物処理作業による影響を受けたと考えられるため、単純な比較が困難な状況であった。

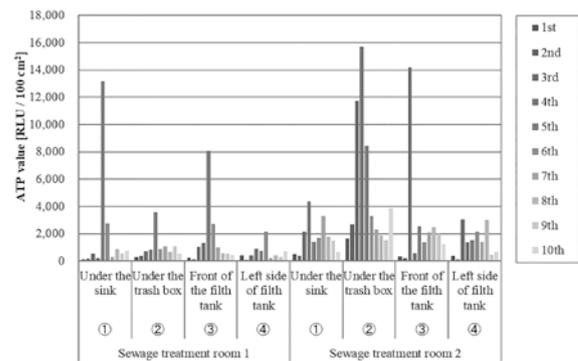
Table 7 Detection results of *E. coli* of 3 times surveys

Survey cases	Detections [-]	Positive rate [%]	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]
A	7	18	2.06 ± 0.25
B	0	0	N.D.
C	7	18	1.14 ± 0.23

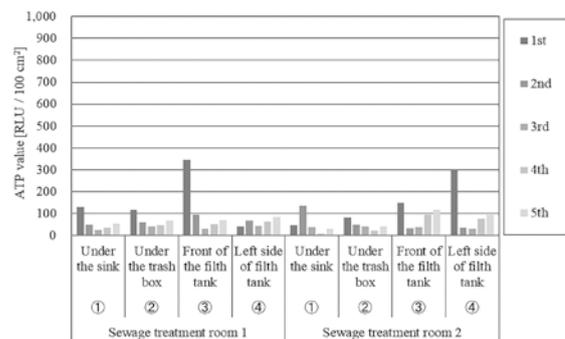
2.3.4 汚染度 (ATP) 測定

各条件における ATP 測定結果を Fig. 10 及び Table 9 にそれぞれ示す。ATP については、汚染度の指標として医療、食品の分野で広く活用され、高頻度接触部位の特定⁷⁾や危機表面の洗浄の効果を示す指標⁸⁾として活用されている。本研究においては、人の出入り、作業の目安及び汚染物の飛散及び残留の指標として、サンプリング時の汚物処理室の汚染度の測定を実施した。

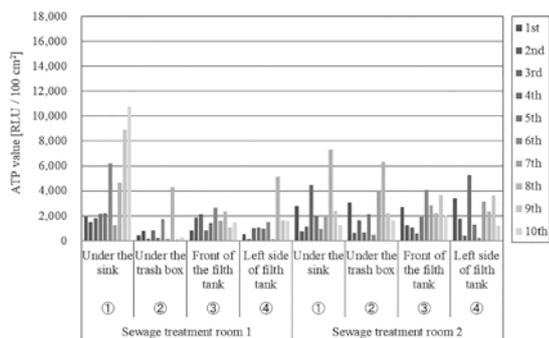
開院前(B)においては、ATP は全体を通して低い値で推移しており、平均で 75 ± 20 [RLU/100cm²] という結果となった。旧病院(A)及び開院後(C)においては、測定日または測定箇所により、極めて高い値を示すこともあるものの、平均値では約 2000 [RLU/100cm²] となっていることから、使用頻度及び測定箇所の汚染状況については同程度であることが示される結果となった。



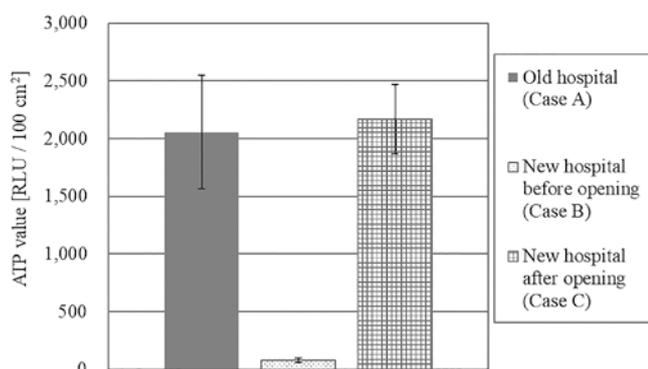
(a) Old hospital (Case A)



(b) New hospital before opening (Case B)



(c) New hospital after opening (Case C)



(d) The comparison of ATP value

Fig. 10 Measurement results of ATP value of 3 cases.

Table 9 Measurement results of ATP value

Case	Number of samples [-]	Mean ± SD [RLU/100cm ²]
A	80	2057 ± 491
B	40	75 ± 20
C	80	2167 ± 301

2.3.5 アンモニア濃度測定

各条件におけるアンモニア濃度測定結果を Fig. 11 及び Table 10 にそれぞれ示す。開院前(B)については、検出限界値(7ppb)未達が推移しており、人の出入り及び実作業を実施していない環境ではアンモニアは発生していないことが示された。旧病院(A)については、72 ± 16[ppb]となっており、嗅覚閾値以下の値となり、汚物処理室内でアンモニアが臭気問題になっているという結果は示されなかった。開院後(C)については、58 ± 13[ppb]となり、旧病院(A)と比べて、14ppbの低減が見られ、t検定の結果からも有意な低減効果(p<0.05)が示されたものの、嗅覚閾値以下の差であるため、実効果としては乏しい結果となった。

また、汚物処理室のアンモニアの発生源については、床面の菌からの発生よりも汚物槽内及びゴミ箱等からの発生が大きく、人の出入り及び換気の影響を強く受けた結果であることが考えられ、タイルの効果を示すものとしては難しい結果となった。

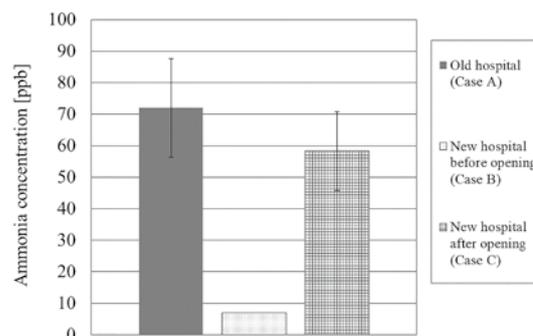


Fig. 11 Measurement results of ammonia concentration of 3 cases.

Table 10 Measurement results of ammonia concentration

Case	Number of samples [-]	Mean ± SD [ppb]
A	20	72 ± 16
B	10	7 ± 0
C	20	58 ± 13

3. 結論

本研究では、急性期病院内の汚物処理室における光触媒タイルの効果は実証評価を行うために環境調査を実施した。

旧病院及び新病院の結果の比較という難しい状況のため、プロスペクティブ スタディを実施し、旧病院(A)と新病院の開院前(B)というコントロールを設定することで、新病院の開院後(C)における光触媒タイル施工時の効果の検証を実施した。

2章の ATP 測定結果から、旧病院(A)と新病院の開院後(C)を比較した場合、同程度の使用頻度及び汚染状況であることが示唆される結果が示されている。この結果に対して、一般細菌、黄色ブドウ球菌、大腸菌については、旧病院(A)の床面から検出される菌数に対して、開院後(C)においては、全ての菌に対して有意に低減されている結果が示されており、病院内の実環境においても、光触媒タイルの抗菌性能が有効的であることが明示される結果となった。このことから、汚物処理室内の床面に飛散した汚物に起因する菌等が、看護師等の靴の裏を介して、同一フロアの廊下や病室に拡散するリスクを低減できることが示唆された。

しかしながら、病院内の看護師等にも実感してもらいやすい臭気等の低減効果においては、元の環境が清潔であったことも影響し、効果としては乏しい結果となっており、継続的な調査及び検証が必要となった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、調査にご協力いただいた北九州市立八幡病院の伊藤重彦院長、中川祐子看護師並びに病院関係者の方々、本研究にご尽力頂いた高畠伽央里氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 永吉英昭：世界トップの高殺菌、消臭機能を有した光触媒高機能浄化製品の開発，フジコー技報 No.23, 20-24, 2015
- 2) 鷺尾昌一，藤島正敏：高齢者の MRSA 感染，日本老年医学会雑誌 37(10), 759-762, 2000
- 3) 焼山なつみ, et al.：介護施設における汚染度の実態把握と光触媒建材による除菌効果の実証，フジコー技報 No.23, 31-36, 2015
- 4) 高島伽央里, et al.：医療現場における環境実態調査及び光触媒タイルの抗菌性能評価，フジコー技報 No.25, 62-67, 2017
- 5) Zhen-Dong Guo, et al.: Aerosol and Surface Distribution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Hospital Wards, Wuhan, China, 2020. Emerging infectious diseases. 2020 07; 26 (7); 1583 -1591.
- 6) 梅田昭子，天児和暢：細菌細胞壁の構造." 日本医真菌学会雑誌 39.3 (1998): 147-150.
- 7) 尾方壮行, et al.：ATP 測定法による病室における清掃前後の環境表面汚染度実測調査. 日本建築学会環境系論文集 81.726 (2016): 723-729.
- 8) 土方俊介，染谷拓：ATP を指標とした医療現場における洗浄プロセス評価." 医療機器学 84.5 (2014): 575-580

技術論文

PID 式 VOCs センサーの快速現場検出方法とデータ解析 Rapid Field Inspection and Date Analysis of PID-VOCs Sensor



技術開発センター
第四開発室 技師
張 文皓
Wenhao Zhang

技術開発センター
第四開発室 室長
原賀 久人
Hisato Haraga

技術開発センター
第四開発室 顧問
道家 隆博
Takahiro Douke

要 旨

本文は、PID (Photoionization Detector, 光イオン化検出器) 式 VOCs (Volatile Organic Compounds, 揮発性有機化合物) センサーの快速現場検出方法、及びデータ解析、更に現場 VOCs の検出ニーズが高い、一点経時連続測定方法、多点経時連続測定方法と多点同時対照連続測定方法について研究結果を紹介する。

Synopsis:

In this thesis, 3 kinds of method for rapid field Inspection and date analysis of PID-VOCs sensor (Photoionization Detector- Volatile Organic Compounds sensor) is tested. The methods are 1) continuous inspection over time of single point, 2) Continuous inspection over time of multiple points and 3) Simultaneous continuous inspection of multiple points. The Environmental conditions of field Inspection and the attention to details of date analysis are arranged. What's more, it makes a conclusion of using the rapid field Inspection and date analysis method at suitable conditions.

1. 緒言

近年、環境市場の発展と共に、従来法の GC-FID 等の分析方法より速い現場 VOCs 検出方法が注目されている。光イオン化検出器 (PID) 式 VOCs センサーはより低コスト・小型・軽量の電池駆動ポータブルタイプで、操作ガスが不要なため持ち運びができ現場で簡単に測定することができる。成分分離機能はないが、操作が容易で保守性に優れているため、各種事業現場での固定発生源から排出される VOCs の高感度経時連続環境測定用に活用されている。^{1), 2)}

現場 VOCs 検出ニーズより、一点経時連続測定、多点経時連続測定、多点同時対照連続測定が区分されている。本文は以上三つの検出方法の使用環境、及び検出中の注意事項について研究結果を説明する。

2. 計測原理と計測方法

2.1 光イオン化検出器 (PID)

光イオン化検出器 (PID) とは、Photoionization Detector の略称で、多種多様な有機化合物や一部の無機化合物に反応するブロードバンドセンサーである。揮発性有機化合物 (VOCs) や炭水化合物 (HC) などの一般分類の化合物の検出に適用。PID は感度が優れ、ガス濃度 ppb レベル (ppb : parts per billion) の化合物でもすばやく検出することが可能である。

PID 測定は Fig.1 で示すように、ガスが導入されるイオン化室、光源である紫外線ランプ、イオン電流を検出する 2 つの電極から構成されている。測定原理は以下五つの段階で示す。

①対象ガスがイオン化室に注入。

- ②紫外線ランプから紫外光を照射。
- ③紫外線の光エネルギーによりガスが陽イオンと電子に分離し、イオン化する。
- ④生成した陽イオンと電子は正負各電極に引き寄せられて電流が発生。
- ⑤この電流はガス濃度に比例しているため、ガス濃度を検知できる。

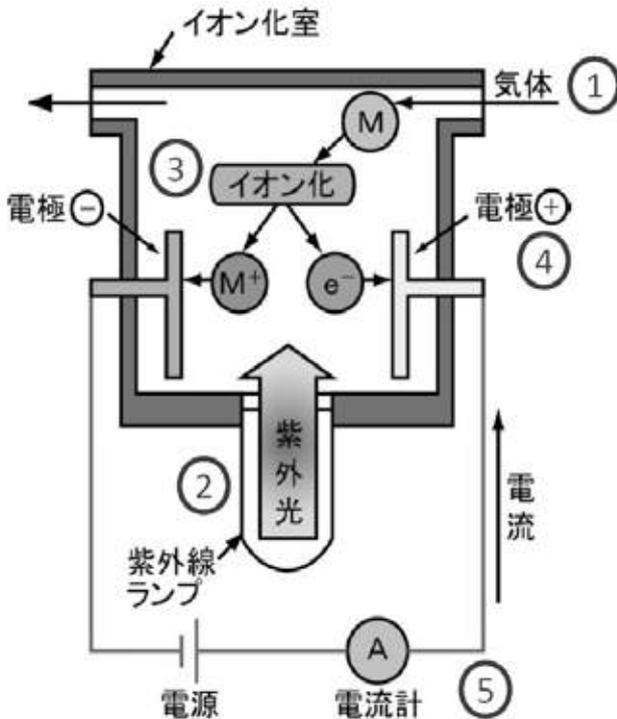


Fig.1 Construction of Photoionization Detector.³⁾

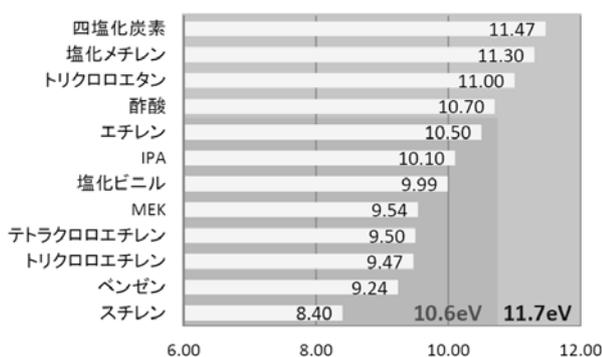


Fig.2 Ionization potential of representative compounds.³⁾

PID ランプは 10.6eV (標準) と 11.7eV (オプション) の二種類が使用可能である。ランプから放射された光子エネルギーよりも小さいイオン化エネルギーを持つガスがイオン化されるので、検知したいガスによってランプを選択することが必要である。代表的な物質の

イオン化レベルは Fig.2 で示す。本文の実験は 10.6eV ランプ仕様の PID センサーを使用している。

2.2 PID 式 VOCs センサー

現在市販されている PID 式 VOCs センサーのメーカー情報を Table 1 に示す。本文の実験は理研計器株式会社製 GX6000 と RVOC 二種類の PID 式 VOCs センサーを使用し、検測実証データの採集を行なった。

Table1 Production information of PID gas detector²⁾

会社名	製品名・形式名
理研計器株式会社	ポータブルマルチガスモニター GX-6000 PID 式定置型 VOC モニター RVOC
横河電機株式会社	ポータブル VOC モニター PGM7600、VM30
東亜ディーケーケー株式会社	ポータブル VOC 計 TG-5300VP
Ion Science Ltd	TIGER
RAE Systems, Inc.	Mini RAE、Ultra RAE

2.3 PID 式 VOCs センサーの検測方法

PID 式 VOCs センサーの検測方法には一点経時連続測定検測方法、多点経時連続測定検測方法、多点同時対照連続測定検測方法の三種類がある。

各検測方法の条件詳細を Table 2 に示す。

Table2 Inspection methods of PID gas detector

検測方法	測定ガス源数量	センサー数量	測定順位間隔時間	センサー相性確認
一点経時	1 点	1 台	なし	不要
多点経時	2 点以上	1 台	あり	不要
多点同時対照	2 点以上	同ガス源数量	なし	必要

2.3.1 一点経時連続測定検測方法

一点経時連続測定検測方法は一つの測定ガス源を一つのセンサーでフリーに測定する検測方法である。使用頻度が一番高い、シンプルな検測方法である。検測精度向上のため、検測する前後に標準ガスでセンサー精度の同定をすることを推奨する。

2.3.2 多点経時連続測定検測方法

多点経時連続測定検測方法は二つ以上の測定ガス源を一つのセンサーで測定順位間隔時間ありの検測方法である。複数の測定ガス源の長時間データ測定に対し

て、適用性が高い検測方法である。検測精度向上のため、検測する前後標準ガスでセンサー精度の同定を行うことをお勧めする。一つのセンサーで多点のガス源測定するため、ガス分岐装置の使用が必要となる。本文の実験中使用しているガス分岐装置は理研計器株式会社製 Rikenkeiki Gas Selector SM-6D であり、最大 6 点の測定が可能となる。Fig.3 でガス分岐検測方法の構造を示し、Fig.4 に分岐装置の稼働原理を示す。稼働原理の通り、各測定ポイントのデータ採集通気時間 T1 以外の時間、データ採集を行っていない。(また洗浄通気時間 T2 の時間、データ記録を実施していない。) このことから多点経時連続測定検測方法は短時間のガス濃度変動測定に対して適用性が低いと考えられる。多点経時連続測定検測方法は測定ポイントのガス濃度変化が緩い、時間単位の長時間データ測定に対して、便利性とコスト性が高い検測方法と注目されている。

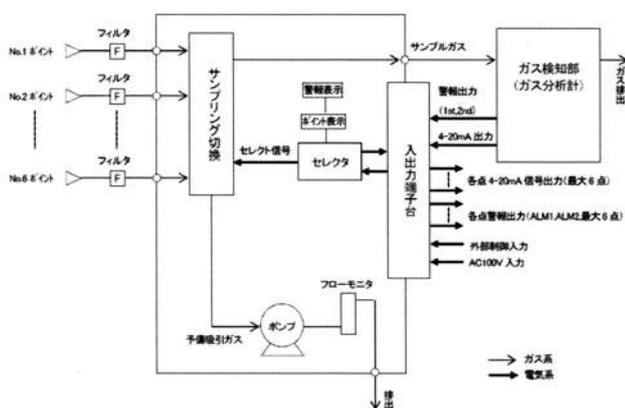


Fig.3 Construction image of Gas Selector SM-6D. 4)

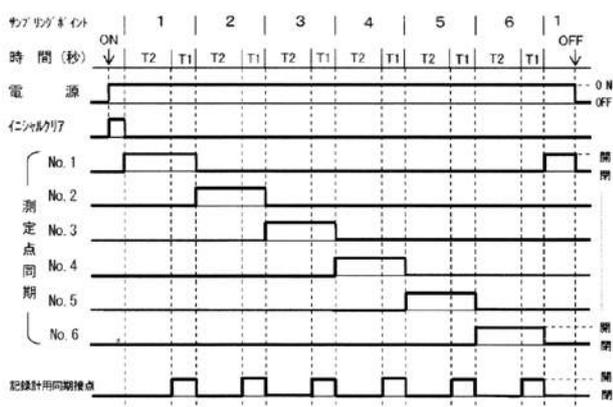


Fig.4 Operating principle of Gas Selector SM-6D. 4)

2.3.3 多点同時対照連続測定検測方法

多点同時対照連続測定検測方法は二つ以上の測定ガス源を同じ数量のセンサーで測定順位間隔時間なしの検測方法である。各測定ガス源に一点経時連続測定を使用しているが、全測定ガス源の検測データを統一するため、センサーの相性確認が必要となる。センサー

の相性確認の一般的な方法は各センサーの標準ガス検測値により、標準センサー一台を設定し、他のセンサーの対照感度修正係数Kを計算する。サンプルガスを検測する際、各センサーの測定値を対照感度修正係数より校正し、標準センサーの測定値へ変換された値を統一し、全測定ガス源の相性データとして解析処理を行う。

3. 測定実験及びデータ解析

3.1 一点経時連続測定

一点の対象ガス源に対して、理研計器株式会社製 GX6000 を使用し、検測実験を行った。データ記録間隔時間(Interval Time)は 20s と設定し、約 7 H の測定を実施した。実験データは Fig.5 に示す。

実験開始段階 A と終了段階 B で標準ガス(乾燥空気)を使用し、センサー校正確認を行った。センサー表示数値は約 150ppb で安定していたため、感度維持していることを確認できた。データ記録間隔時間は 20s に設定されていたため、瞬間脈動のピーク値を均一化処理されている。しかし、C 点のように、タイミングで瞬間脈動のピーク値を記録された場合もある。一点のデータとして、全体データへの影響が低いため、データ解析のトラブルにならないと考えられる。約 7H のデータで解析すると、ガス源の濃度変化傾向は Fig.5 中矢印線の示すように、最初の 1000ppb から一度 1600ppb まで上昇し、この後また 1000ppb へ戻った。

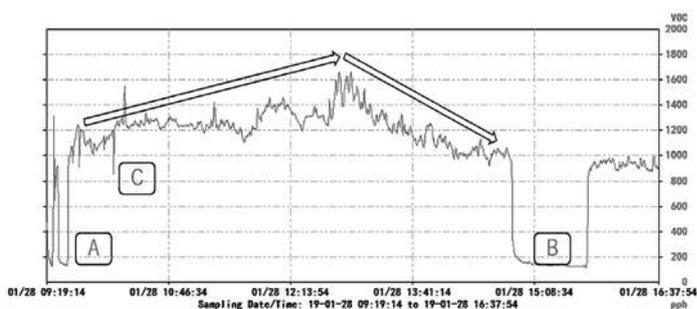


Fig.5 Continuous inspection over time of single point.

3.2 多点経時連続測定

6 点の対象ガス源に対して、理研計器株式会社製 RVOC と Rikenkeiki Gas Selector SM-6D を使用し、検測実験を行った。データ記録間隔時間(Interval Time)は 4s と設定し、約 10 日間の測定を実施した。ガス分岐装置の設定について、6 点測定で、各点洗浄通気時間 T2 は 80s、データ採集通気時間 T1 は 40s と設定する。実験データは Fig.6 に示す。

10 日間のデータの採集中、6 点の各測定ポイントは測定順位間隔時間 680s で 40s のデータ記録を実施した。記録データ解析の通り、10 日間のデータの全体変化傾

向を示している。しかし、記録時間の占める割合は5.6%と低いため、瞬間的な激しい脈動変化等微挙動の観察は困難である。

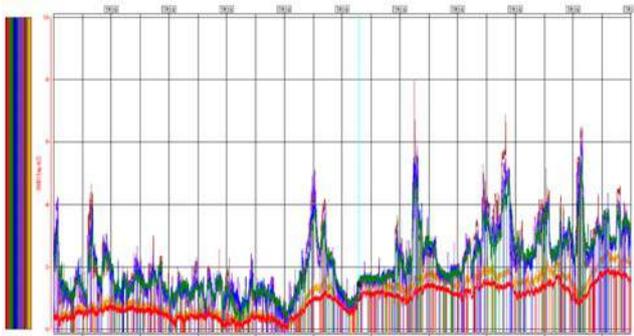


Fig.6 Continuous inspection over time of multiple points.

3.3 多点同時対照連続測定

一点の対象ガス源に対して、理研計器株式会社製 GX6000 二台を使用し、二点同時対照連続測定検測実験を行った。データ記録間隔時間(Interval Time)は 20s と設定し、約 17H の測定を実施した。実験データは Fig.7 で示す。

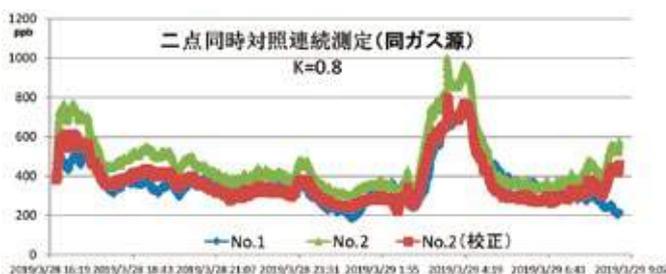


Fig.7 Simultaneous continuous inspection of multiple points.

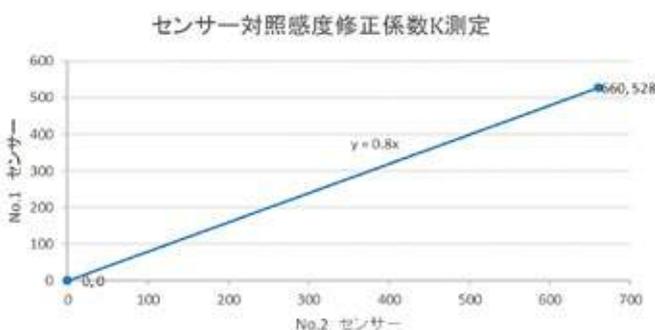


Fig.8 Contrast sensitivity testing of correction factor K.

実験開始前、乾燥空気標準ガスと同標準校正用ガスを各センサーで計測をして、センサー対照感度修正係数Kを測定した。(二点検量線) Fig.8 の示すように、No.2 センサー (0,660) は No.1 センサー (0,528) に対して、照感度修正係数Kは 0.8 であった。

照感度修正係数 $K=0.8$ を使用し、No.2 センサー校正データを作成した。No.2 センサー校正データ合わせて、No.1 センサーデータと No.2 センサーデータは Fig.7 で示すように、同対象ガス源に対して、No.2 センサー校正データと No.1 センサーデータの線形は非常に近い。この意味で、二つのセンサーは非常に近い感度を持っていることを確認できた。この方法で、二台、或は複数台のセンサーの感度校正することが可能である。

しかし、センサーの再起動等電流リセットする場合、感度校正値の変動があるため、再度対照感度修正係数Kの測定が必要となる。

4. まとめと結論

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) 一点経時連続測定検測方法は単一ガス源の測定に適用性が高い。検測精度向上のため、検測する前後二回で標準ガスのセンサー精度校正を薦める。
- 2) 多点経時連続測定検測方法は測定順位間隔時間があるため、短時間内のデータ変動測定に対して、適用性が低い。しかし、長期間の濃度変化が緩い多点連続測定に対して、適用性は非常に高い。
- 3) 多点同時対照連続測定検測方法は複数の測定位置に対して、一つずつ一点経時連続測定検測方法を測定したデータを対照感度修正係数Kで校正し、多点同時対照のデータを得る方法である。理論上測定点の数限界がないというメリットがあるが、一方実際測定する時、各センサーの対照感度修正係数Kの測定確認時間が必要のため、操作上複雑な課題が残っている。

現場検測を実施する時、各現場の現状と所有センサー器具の状況により、最適な検測方法を選定すべきである。同じ測定現場でも、測定ニーズによって最適な検測方法が変わることがあるので、実態に合った検測方法で事前分析の実施を薦める。

PID 式 VOCs センサー快速現場検測方法は現場測定源の VOC 複合ガスを測定することを目標とし、操作上の便利性と装置投資のコスト性を重視する検測方法なので、精密分析必要な場合、実験室 GC-MS 分析方法等併用することを薦める。

参考文献

- 1) VOC 簡易測定技術について(環境省)
- 2) 現在市販されている VOC 測定機について(環境省)
- 3) Tiger PID 式 VOCs 濃度計取扱説明書
- 4) サンプルガスセレクター SM-6D, SM-6DS 取扱説明書

新製品

新技術

フジコーの光触媒技術・製品のご紹介

光触媒事業企画部 担当：江藤 武
 TEL 093-871-3724 FAX 093-884-0048

1. フジコーってどんな会社？

■そもそも何の会社？



株式会社フジコーは1952年に創業者である山本秀祐が、当時は修理不可能と言われた錆型^{注1)}の修理法を開発し、創業しました。そして現在に至るまで60余年、溶接・溶射^{注2)}・特殊塗装などの金属表面処理の基本技術をベースに、技術開発を生命線として、事業を拡大してまいりました。直近では、光触媒などの環境事業の拡大も積極的に行っています。

注1)「錆型」とは、溶接部から出てきたドロドロの熱い鋼を入れる型のことです。
 注2)「溶射」とは、溶融・射出した粒子を高速度で基材表面に衝突・積層させて皮膜を形成する技術です。

■会社規模

売上高: 約144億円、従業員数: 約830名

■事業構成



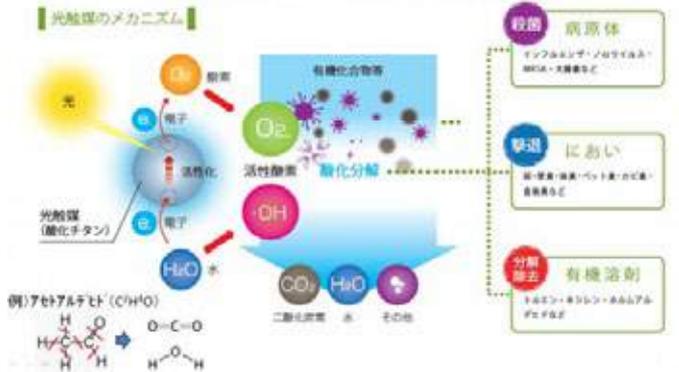
■技術開発センターを設立

2001年に技術開発センターを設立し、2019年に光触媒工場の隣に、新技術開発センターを新築移設しました。センターには、フジコーの開発の過去・現在・未来がわかる展示室やレセプションハウスを設置し、お客様に楽しんで頂けると共に開発者が自由な発想ができる施設となっています。



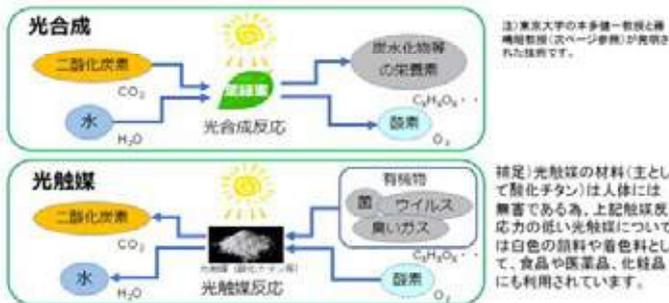
2. 光触媒とは？

光触媒は太陽や蛍光灯などの光が当たると、その表面で強力な酸化力が生まれ、接触してくる有機化合物や細菌などの有害物質を除去することができる環境浄化材料です。触媒反応ですので、光がある限り反応は続きます。



【参考】光触媒と光合成

植物の光合成は、太陽の光を葉で受け、空気中の二酸化炭素と、大地の水を使って、植物に必要な栄養素である炭水化物等を作るとともに、動物に必要な酸素も作ってくれます。光触媒は、これと逆で、接触した有機物を酸化分解して、二酸化炭素と水に戻してしまう反応です。光触媒反応は、日本発の技術^{注1)}で、日本が世界をけん引していると言われており、様々な分野での応用研究が進んでいます。消臭・除菌効果があることから、空気清浄機、住宅や病院のガラスやタイル、自動車の排気ガスに含まれる窒素酸化物(NOx)を無害化するための道路などにも使用が検討されています。



3. 藤嶋教授について

藤嶋教授(東大特別榮譽教授)は故本多教授とともに光触媒反応を発見された方であり、ノーベル賞候補とも言われています。藤嶋教授は神奈川県にある光触媒ミュージアムの館長でもありますが、フジコー当社の光触媒技術を使ったJAXAとの共同研究内容を当該ミュージアムに展示しています。

また、藤嶋先生に当社光触媒技術・製品についてのコメントを頂いています。(下記QRコードをスマホで読み取ると、インタビュービデオを見ることができます。)

【フジコー展示ブース】



【藤嶋先生取材動画】



4. JAXAとの共同研究について



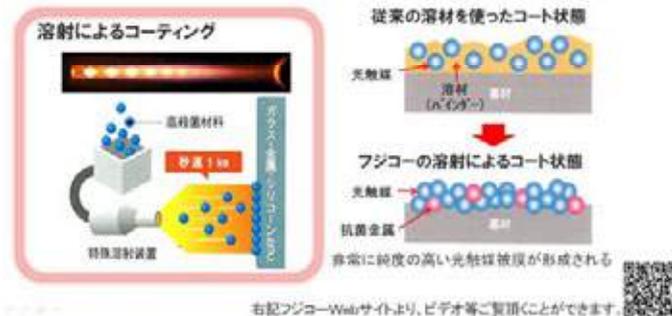
マウス飼育ケージへの技術協力の例



フジコーはJAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)と、有人宇宙施設や宇宙船における光触媒をベースとした消臭・殺菌および有毒ガス除去技術の軌道上実証に向けた共同研究を行っています。その一つとして、マウス飼育ケージがあります。これはマウスの様々なストレスを極力減らす為の一つとして、光触媒で飼育ケージ内の除菌・消臭を行うというものです。2015年8月に日本のH-IIB ロケットでISSに打ち上げられ、2016年に大西宇宙飛行士により様々な実験が行われました。実験を終了したマウスは、米国SpaceX社のDragon宇宙船で、同年8月26日に太平洋に着水。マウス全12匹は無事に生存確認しました。マウスの飼育ミッションは、これまで欧米やロシアでも行われてきましたが、全数生存状態で帰還は世界初の快挙でした。

5. フジコーの光触媒製品の特長

鉄鋼の世界で培った独自の**低温高速溶射**の特許技術により、非常に純度の高い光触媒成膜を実現しました。通常の溶射だと非常に高温(約2千度)なのですが、これだと光触媒が変質劣化してしまいます。(8百度以下の低温にする必要がある)かといって低温だと、スピードが落ちてしまって、被膜強度が落ちます。この両立を図っているのが当社の特許技術です。



右記フジコーWebサイトより、ビデオ等ご覧頂くことができます。

6. フジコーの主な特許技術と開発製品

(1) 光触媒関連の主な特許技術

- 溶射温度可変型溶射装置
- アルミ繊維に溶射
- 穿孔処理ソフトタイル
- アナターゼ低温溶射
- 可視光応答型ルチル
- 光触媒被膜に圧縮残留電力
- ラジカル水生成装置構造
- 脱臭ドープ酸化チタン+抗菌金属
- 脱臭ドープ酸化チタン水没水で種子の殺菌
- スラリー溶射
- ジグザグ状ボード触媒知能マスクソーラーリアクター
- スラリー超音波照射
- 南村用医療機器
- ペーメイド処理

(2) 光触媒製品

① 空気消臭除菌装置



② 消臭グッズ



③ 浄化槽用脱臭機



④ 産業用脱臭装置



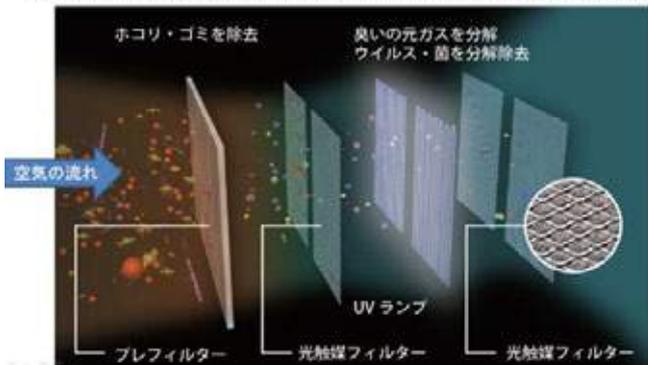
⑤ 建材

- セラミックタイル(□300mm)
- 汚垂石(800×600mm)
- 塩ビタイル(□445mm)

7. 空気消臭除菌装置

(1) 基本的な仕組み

独自に開発したアルミ繊維不織布等に、ハイブリッド光触媒(光触媒+抗菌金属)を被膜したフィルターを使用。内蔵した近紫外線ランプの照射により、光触媒反応を起こし、通過するガス(=消臭)及び付着した菌・ウイルス等の分解(=除菌)を行います。(下記はMC-T101(28畳用)の内部構造)



(2) 一般的な“空気清浄機”との違い

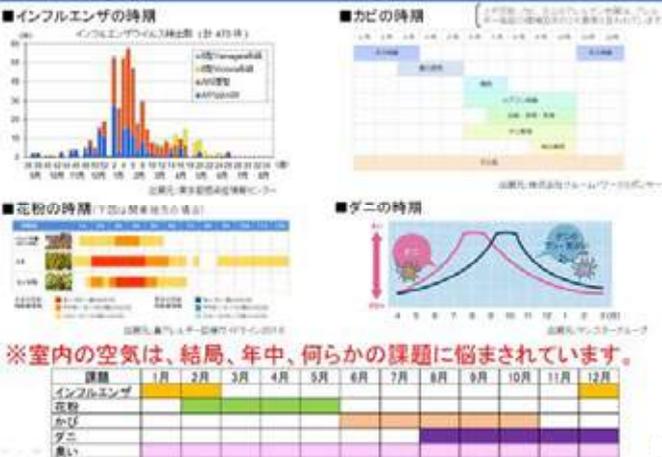
	PM2.5等集塵	菌・ウイルス等除菌	消臭
一般的な方式	HEPAフィルター 花粉等微粒子 菌・ウイルス	イオン等放出	活性炭等の吸着材 臭いガス VOCガス
	・フィルターを通して、塵や菌をろ過する。 ・フィルター上の物質が溜まってしまつたため、繁殖の危険がある。	・壁等に付着した物の除菌、消臭は、多少期待できる。 ・人やペットにも暴露する。	臭いを素早く取ることができ、寿命短命。
光触媒方式	プレフィルター PM2.5等に対応する場合は、別途、プレフィルター等に対応する必要がある。	光触媒フィルター 花粉等微粒子 菌・ウイルス 臭いガス VOCガス	
	PM2.5等の集塵は「光触媒フィルター」は不得意。	菌・ウイルスは、光触媒フィルター上に捕縛され、フィルター上で分解・無害化される。	臭いガスは、光触媒フィルターを通過する際に、分解・消臭される。

主要方式間の比較で、敢えて○×をつけてみると・・・

方式	方式概要	特徴	浄化対象物					安全性	お手入れ	ランニングコスト
			臭い	PM2.5	PM10	花粉	ウイルス			
光触媒分解方式	光触媒反応で、菌や有害物質を分解する。	・内部で光から分解。 ・触媒反応は光があれば永年続く。	○	△	○	○	△	○	△	○
イオン放出方式	帯電したイオンを外部に放出して、菌や有害物質を不活化する。	・触媒反応は良いが、イオンは数分で消滅するで、少し距離が離れると弱くなる。	△	△	△	△	△	△	△	△
内部放電分解方式	室内内に空気を取り込み、電気を発生して菌や有害物質を不活化する。	・内に放出するより効果性は高いと思われる。	△	△	△	△	△	○	△	△
次亜塩素酸放出方式	次亜塩素酸に浸したフィルター、及び、空気中に揮発させる。揮発、消毒を行う。	・殺菌性は高いと思われるが、揮発する為、人にも悪影響が考えられる。(アレルギー体質の方への注意要)	○	△	×	○	×	×	×	△
オゾン方式	オゾンを出出して菌や有害物質を分解する。	・臭いは臭いがあるが、人体に害があるのでは無人使用	○	○	△	○	△	×	△	△
HEPAフィルター方式	「まめ」の細かいフィルターと強力なファンで「集塵」する。	・PM2.5対策には有効。ただし、菌やウイルスは、フィルターに蓄積して繁殖の可能性がある。 ・ホコリは定期的な交換要。	×	×	○	△	○	○	×	×
活性炭方式	活性炭の吸着力で臭いや菌を吸着する。	・臭いはよくわかるが、活性炭は交換が必要。	○	○	×	×	×	○	×	×

注)上記は自社独自調査・評価です。

(4) 消臭除菌装置いつ必要か？(季節性)



②空気中のダストの収集よりも「消臭」「除菌」に特化しています。そして、それを、(何かを外部に振りまくのでなく)光触媒を使って、本体内部で、安全にそれを行う商品です。

- 一般の消臭除菌機は、その効果を高める為、イオン、オゾン、次亜塩素酸など、様々な物質を室内に放出する製品が多いです。(S社、P社、D社などほとんど全て)
- どのメーカーも「人体に実害はない」としていますが、仮に大人は良くても、体重の軽い赤ちゃんは？ あるいはもっと体重の軽いペットは？ アレルギーの方は？
- 菌やウイルスに効果があるものを振りまくということは、人や動物に対しても何らかの効果(=害)があると考えるのが自然と考えます。
- フジコーは「消臭」「除菌」するにあたって、一切、何も外に出さない。空気を内部に取り込んで、臭いの元となる ガス、菌・ウイルスを分解して除去します。
- 消臭・除菌をするにあたって「人に何も触れさせない(=外にも何も出さない)」べきであるし、将来的には、それが「当たり前」になっていくと考えています。

(3) ユーザーにとってのメリット

～ ブルーデオ(MC-S101 8畳用)のカタログから ～

1. 元から分解するから安心

一般の空気清浄機のフィルターは、菌やウイルス、臭いとなるガス成分を「吸着」させる方式ですが、BlueDeoは光触媒フィルターで「元から分解して除去」します。

2. お手入れが簡単

フィルターに付着した有機物を分解除去しますので、光触媒フィルターの買い替え・交換は不要。面倒なタンクの洗浄、専用液剤の補充なども一切ありません。

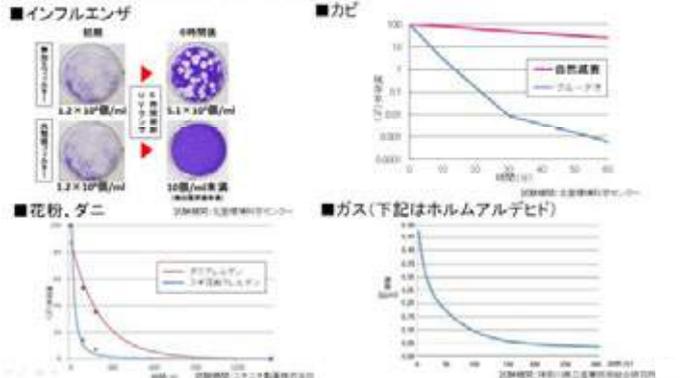
3. 軽量・コンパクト

A4より小さいサイズ
ファンとフィルターを小型化。机やチェストの上など、色々なところに置いて移動も楽々です。



(5) その課題にフジコー製品はどう応えるのか？

①本体内部に内蔵された光触媒フィルターとUVランプにより、フィルターに捕集された菌・ウイルスを分解して無害化するとともに、フィルターを通過する臭いガスを分解することにより消臭します。



【参考】

- イオン放出について
感染症専門医 武井 智昭医師
(あるユーザーアンケートにおいて)40%以上の方が「イオン発生機能等」を重視していましたが、イオンは実際の生活空間の中で効果があると言い切れない側面もあります。イオンはそもそも不安定な物質であることに加えて、使い方や環境によっては、空气中的オゾン濃度が高くなり咳・鼻などの粘膜に刺激を与えるものがあるのです。
- (コロナ対策として)次亜塩素酸噴霧が行われていることについて
A) 文部科学省 2020年6月7日
文部科学省は7日までに、新型コロナウイルス感染防止対策として、児童生徒の前で、次亜塩素酸水を噴霧しないよう求める通知を、全国の教育委員会などに出した。「有効性、安全性が明確になっているとは言えないため」としている。
B) WHOの見解(2020年5月15日)「COVID-19に関する環境表面の洗浄・消毒より」
消毒剤を人体に噴霧することは、いかなる状況であっても推奨されない。これは、肉体的にも精神的にも有害である可能性があり、感染者の飛沫や接触によるウイルス感染力を低下させることにはならない。
C) 米国疾病予防管理センター(CDC)の見解
(「医療施設における消毒と滅菌のためのCDCガイドライン 2008」より)
消毒剤噴霧は、空気や表面の除染のためには不十分な方法であり、一般衛生管理には推奨されない。
D) 中国国家衛生健康委員会の見解(2020年2月18日)「消毒剤使用指南」より
人がいる状態で空間・空気に対して消毒を行うべきではない。

【参考】①
「お手入れ」のシンプルさ

メーカー	機種	価格	FUJIKO 空気清浄機MC-VII
本体サイズ			
発売価格(税込価格)	¥17,704	¥48,100	¥26,500
基本スペック	※10畳(10畳)	※10畳(10畳)	※10畳(10畳)
メンテナンス			
お手入れ			
消耗品交換			
取扱説明書ページ数	20P	27P	17P

【参考】②
日本アトピー協会推薦品

日本アトピー協会推薦品 商品番号：11007004
 このシートは、日本アトピー協会推薦品であることをご案内いたします。
 日本アトピー協会がアトピー患者およびアレルギー患者の生活向上と、社会への正しい理解のための啓発活動を行っています。

アトピー環境因子の三大要因である、カビ、ダニ、スギ花粉のアレルゲン物質の分解性能、及びモニターリング結果が評価され、日本アトピー協会から、空気清浄機の分野では、初めて当協会から推薦を頂きました。

■モニターングアンケート結果
 ブルーデオ前機種種のMC-VIIについて、138名のアトピー患者のモニターングを行った結果です。

項目	モニターング前	モニターング中	モニターング後
鼻のかゆみ	2.5	1.8	1.5
目のかゆみ	2.2	1.5	1.2
皮膚のかゆみ	2.8	2.0	1.8
咳	1.8	1.2	1.0
痰	1.5	1.0	0.8
アレルギー検査	2.0	1.5	1.2

製品使用前の病状、1ヶ月モニター使用中の病状、その後1週間停止後の病状を5段階評価で記入して頂いたものを集計しています。

主観的な感受試験ではありませんが、アレルギー症状に対して、明らかに効果を感じて頂いています。特に耳鼻、気管支、喉に対して、約7割の方が何らかの効果を感じられているのがわかります。

【参考】③
G7伊勢志摩サミット

2016年のG7伊勢志摩サミットの関係関係会合の1つとして行われた、G7北九州エネルギー大臣会合(経済産業省主催)の記念品として、フジコーの空気消臭除菌装置MC-VII(ブルーデオの前機種)が選ばれ、各国の大臣に贈呈されました。



8. 消臭除菌タイル

(1) 基本的な構造

空気消臭除菌装置のフィルターと同じく、照射により、光触媒を表面に被膜形成させています。但し、フィルターは光触媒に紫外外光応答型を使用しているのに対し、タイルは可視光応答型の光触媒を使用しています。また、抗菌金属についてもフィルターと同様、含有させています。

(2) 消臭の仕組み

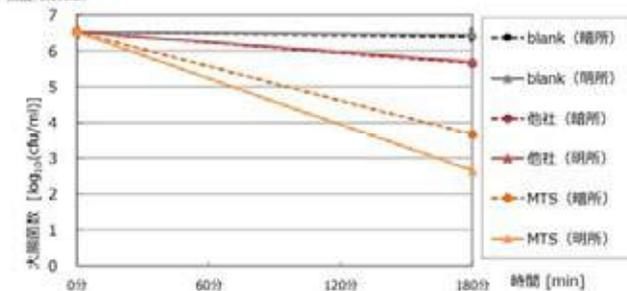
除菌については、フィルターと同じく、表面に付着したものを分解(=不活化)するわけですが、消臭については、フィルターのようにガスを分解するのではなく(若干は触れたガスを分解する効果はありますが)、菌を不活化することで、臭いの発生自体を抑える効果があります。



(3) 性能

✓大手他社製品と比較すると... ✓光があたらないところでは...

試験タイル: MTS(塩ビタイル) 調査: 株式会社フジコー 技術開発センター
 試験室: 大講義 試験日: 2016年9月29日・30日、10月5日の3日間(グラフはその平均値)



■補足説明
 他社製品の抗菌タイル、消臭タイルと呼ばれるものは、一般的にバインダーに混ぜて使用しています。価格的には、通常タイルに比べて1割~2割高い程度ですが、性能的には殺菌力は1桁弱が一般的です。弊社は価格は他社製品よりも高価ですが、殺菌力は10の4乗(つまり他社の1,000倍程度)あります。

(4) 導入事例

株式会社フジケア(北九州市)

① 介護施設

グループ会社の介護施設であるフジケアに、2012年4月に光触媒製品全面導入。(床タイル、天井ボード、空気清浄機)
 「介護施設特有の臭いがしない」など、ご利用者ご家族や職員から好評。全国から見学者が訪れています。



② 病院施設

京浜病院(東京都大田区)

2014年5月に部分導入し検証。2014年11月に日本慢性期医療学会で検証内容発表。効果が認められた為、2015年7月に全面導入。(主に床タイル、部分的に空気清浄機)



北九州市立八幡病院(北九州市)

2018年12月に移転・新築オープンした新市立八幡病院の全病棟の汚物処理室と、感染外来専用個室に消臭除菌タイル(MTS)を施工しています。



北九州市立八幡病院(北九州市)

感染外来専用個室に設置したポスター



全病棟の汚物処理室(19室)のドア裏に下記シール添付



9. ユーザーの声、専門家のコメント

分類	No.	写真	出演者	使用製品	主なコメント	再生サイト	QRコード
消費者	1		東京都府中市 Tさん (ボムランニング)	ブルーZERO 1台	「これってすごいのが早くからあった。キッチンが料理臭も分からなくなったり。このサイズなのに、消毒力が高い。1週間くらいで、汚れが目立たなくなりました。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		
	2		埼玉県川口市 Kさん (ヒルズ)	ブルーZERO 1台	「掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		
法人施設	3		兵庫県神戸市 株式会社 ベルパルティ (ベルパルティ) 代表取締役 藤田 孝一	ブルーZERO 1台	「臭いも消える。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		
	4		東京都中央区 株式会社 東京 代表取締役 藤田 孝一	マスカレードタイル (国内生産品) MC-T10	「臭いも消える。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		
	5		東京都中央区 株式会社 東京 代表取締役 藤田 孝一	マスカレードタイル (国内生産品) MC-T10	「臭いも消える。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		
合議	6		兵庫県神戸市 株式会社 ベルパルティ (ベルパルティ) 代表取締役 藤田 孝一	ブルーZERO 1台	「臭いも消える。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。掃除機も使わなくていい。」		

補注)MC-T10、MC-T5、MC-R30は業務用の消臭除菌機です。光触媒フィルターユニットはブルーZEROと同じ光触媒を使用しており、全く同じ構造です。(ユニットの大きさ、駆動数が異なります。)

プロランナー 川内優輝選手

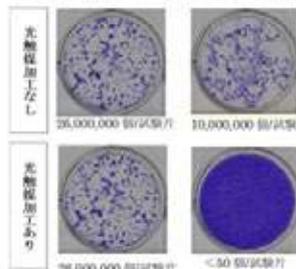
フジオーは、プロランナー川内優輝選手(あいおいニッセイ同和損保所属)と、アンバサダー契約を締結しています。川内選手の、マラソンに対する真摯な姿勢、そして最後まで全力を尽くす姿は、当社の「常に夢と計画性を持ち、人生に意気を感じてほしい」という社訓に合致します。今後の幅広い活躍が期待される川内選手を応援するとともに、当社の広報・広告にご協力頂くことで、製品のブランド価値向上を目指してまいります。



10. 新型コロナウイルスに対する効果について

コロナウイルス対応の一環として、新型コロナウイルスと同じコロナウイルス科に分類され、ウイルス構造上も類似の「ネココロナウイルス」を用いて、当社の光触媒フィルターの抗ウイルス効果の確認テストを行いました。(試験機関は、「北里環境科学センター」)

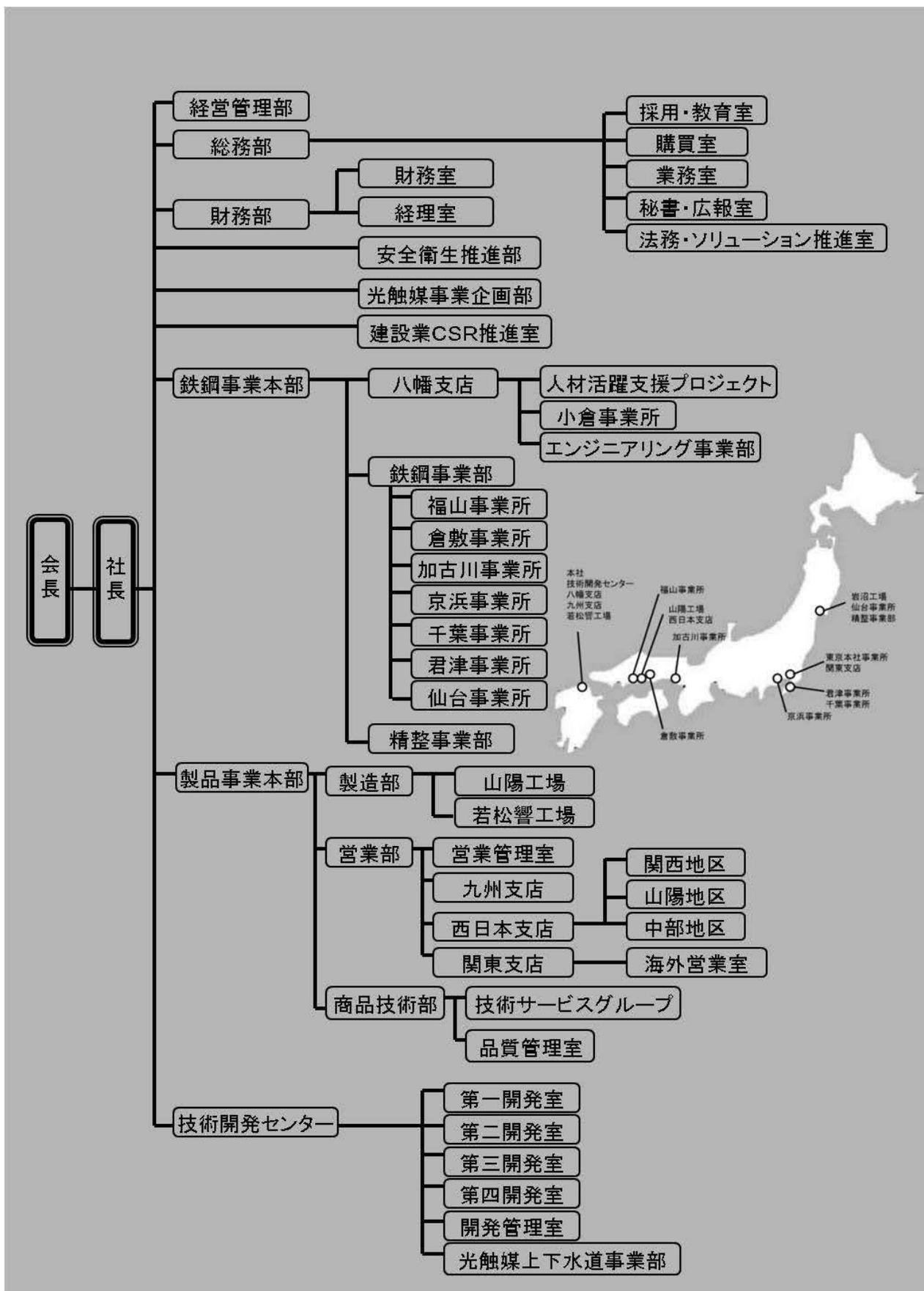
その結果、下記の通り、「光触媒加工あり」は、4時間後には検出限界値50個未満という結果となり、光触媒がコロナウイルスを不活化することが判明しました。(一方、「光触媒加工なし」は、4時間後も、1千万個残っています。)



北里環境科学センターの見解 (北里環境科学センターWebサイトより抜粋)
 ネココロナウイルスが新型コロナウイルスの代替とはいえないと思います。
 しかしながら、両ウイルスは同じコロナウイルス科に分類されており、エンベロープ等の構造も似ていることから、ウイルスの構造に対し直接的に作用する作用機序を持つ薬液、抗ウイルス剤等のウイルス不活化効果については大きな差はないのではないかと推測しています。

FUJICO 運営組織図

令和2年10月1日現在



□本社

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
☎ 093-871-3724 FAX 093-884-0009/884-0048

□東京本社事務所

〒104-0032 東京都中央区八丁堀2丁目11番7号
MC八丁堀ビル7階
☎ 03-3537-2450 FAX 03-5541-8300

□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
☎ 093-701-4500 FAX 093-701-4501

■工場

□岩沼工場

〒989-2421 宮城県岩沼市下野郷字新南長沼87-1
☎ 0223-24-2450 FAX 0223-29-2084

□山陽工場

〒719-0253 岡山県浅口市鴨方町鳩ヶ丘1-1298
☎ 0865-44-5151 FAX 0865-44-5154

□若松響工場

〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目110-5
☎ 093-701-6245 FAX 093-701-6849

■事業所

□仙台事業所

〒983-0001 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1
JFEスチール株式会社 棒線事業部 仙台製造所構内
☎ 022-258-4182 FAX 022-258-4183

□君津事業所

〒299-1141 千葉県君津市君津1番地
日本製鉄株式会社 東日本製鉄所 君津地区構内
☎ 043-952-0497 FAX 043-952-0498

□千葉事業所

〒260-0835 千葉県千葉市中央区川崎町1番地
JFEスチール株式会社 東日本製鉄所 千葉地区構内
☎ 043-262-4864 FAX 043-262-4329

□京浜事業所

〒210-0868 神奈川県川崎市川崎区扇島1-1
JFEスチール株式会社 東日本製鉄所 京浜地区構内
☎ 044-288-5565 FAX 044-288-5563

□加古川事業所

〒675-0137 兵庫県加古川市金沢町1番地
株式会社神戸製鋼所 加古川製鉄所構内
☎ 079-435-0393 FAX 079-435-9641

□倉敷事業所

〒712-8074 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目
JFEスチール株式会社 西日本製鉄所 倉敷地区構内
☎ 086-448-3035 FAX 086-448-3037

□福山事業所

〒721-0931 広島県福山市鋼管町1番地
JFEスチール株式会社 西日本製鉄所 福山地区構内
☎ 084-941-0924 FAX 084-941-0937

■八幡支店

□エンジニアリング事業部
〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目110-5
☎ 093-701-4034 FAX 093-701-4035

□小倉事業所

〒803-0803 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地
日本製鉄株式会社 九州製鉄所 八幡地区(小倉)構内
☎ 093-561-2081 FAX 093-561-2083

■営業部・支店

□九州支店

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
☎ 093-871-3724 FAX 093-884-0009

□西日本支店(山陽地区)

〒719-0253 岡山県浅口市鴨方町鳩ヶ丘1-1298
山陽工場内
☎ 0865-45-9255 FAX 0865-45-9657

□西日本支店(関西地区)

〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田2丁目5番6号
桜橋八千代ビル4F B号室
☎ 06-6440-1305 FAX 06-6440-1306

□西日本支店(中部地区)

〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄2丁目1番10号
伏見アビル501号室
☎ 052-218-7747 FAX 052-218-7748

□関東支店(含海外営業室)

〒104-0032 東京都中央区八丁堀2丁目11番7号
MC八丁堀ビル7階
☎ 03-3537-2450 FAX 03-5541-8300

■関連会社

□株式会社 アソートフジ 本社

〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目110-10
☎ 093-701-5156 FAX 093-701-5157

□株式会社 アソートフジ 仙台事業所

〒983-0001 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1
JFEスチール株式会社 棒線事業部 仙台製造所構内
☎ 022-786-1451 FAX 022-786-1451

□株式会社 クリエイトフジ

〒983-0001 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1
JFEスチール株式会社 棒線事業部 仙台製造所構内
☎ 022-259-5390 FAX 022-259-5390

□株式会社 フジケア

〒803-0826 福岡県北九州市小倉北区高峰町3番3号
☎ 093-562-1112 FAX 093-562-1175

□株式会社 マスクフジコー

〒802-0077 福岡県北九州市小倉北区馬借1丁目5-18
ランドスペース馬借2F
☎ 093-513-2450 FAX 093-513-2453

フジコー技報 - tsukuru No.28 令和2年12月1日

発行人 永吉英昭
発行所 株式会社フジコー
技術開発センター
〒808-0021 北九州市若松区響町1丁目110-10
☎093-701-4500 FAX093-701-4501



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。



本社 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
PHONE 093(871)3724(代) FAX 093(884)0009