



八幡西警察署市瀬交番

POLICE

技 報

創る Vol.33  
Report 2025

特 集

地域社会貢献を通じ、チームの豊かさを追求

TSUKURU

表紙の言葉

## tsukuru [創る]

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

### 公共工事

#### ■解説

鉄鋼事業で培ったトータルメンテナンスのノウハウを活かしたエンジニアリング事業の1つに公共工事の施工・補修・改修を幅広く請け負っています。福岡県警発注の交番建築や港湾ブロックに始まり、近年では快適な学校環境の取組として、トイレ施工や当社の床材を用いた校内のフロア施工も実施しています。

### ヒカリノユカ

#### ■解説

「ヒカリノユカ」は、当社独自に開発した「光除菌」技術で生み出された床材です。一般的な抗菌床材と比べ、圧倒的に早い除菌スピードと持続的な効果を特長としており、消毒という点からも見落とされがちな足元の床から、確実な菌やウイルスの分解・除去を実現することにより、あらゆる施設の衛生管理を支えます。



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

# 目 次

## 巻頭言

フジコー技報第33号によせて

北九州市教育委員会教育長 太田 清治 1

## 特集

(エンジニアリング事業部)

地域社会貢献を通じ、チームの豊かさを追求

上席執行役員  
エンジニアリング事業部長 塩崎 秀徳 3

## 特集論文

「和洋リモデル工法」による藤木小学校他1校のトイレ洋式化機械工事

豊田 隆義、矢野 剛 5

自立管 製管工法(ら旋巻管) SPR<sup>®</sup>-SE 工法の自立管としての性能評価

積水化学工業株式会社  
滋賀栗東工場 技術部更生管技術課 島貫 孝  
江川 太郎 8

## 技術論文

高耐食性を持つ表面処理材料の開発

牟 用煥、園田 晃大、古田 博昭、時川 清澄 12

新型脱臭除菌機の開発に向けたファンモーター選定及び評価手法の検討

亀田 倫之、柴田 将貴、森次 晋介、安河内 航、坂石 竜文 18

ディッピング塗装工程の引き上げ速度条件が超親水性皮膜特性に及ぼす影響評価

原田 知典、柏井 昌彦、山本 清司 24

## トピックス

パートナー企業のご紹介 ―積水化学工業株式会社様の管更生工法― 29

建築・建材展 2025 30

リフォーム産業フェア2025 31

ライフスタイル Week OSAKA 2025 (国際雑貨 EXPO 展) 32

# CONTENTS

<b>Foreword</b>	In Commemoration of FUJICO Technical Report No. 33	Kiyoji Oota	1
<b>Special Feature</b>	Pursuing Team Prosperity Through Community Engagement	Hidenori Shiozaki	3
<b>Special Paper</b>	[Japanese-Western Remodeling Method] Mechanical Work for Toilet Westernization at Fujinoki Elementary School and One Other School	Takayoshi Toyoda, Tsuyoshi Yano	5
	Performance Evaluation of Self-Supporting Pipes Using the SPR®-SE Method	Takashi Shimanuki Tarou Egawa	8
<b>Technical Report</b>	Development of Highly Corrosion-Resistant Surface Treatment Materials	Yonghwan Mo, Akio Sonoda, Hiroaki Furuta, Kiyozumi Tokikawa	12
	Selection of a Fan Motor and Consideration of Evaluation Methods for the Development of the Next Model Air Purifiers	Noriyuki Kameda, Masaki Shibata, Shinsuke Moritsugu, Wataru Yasukochi, Tatsuyuki Sakaishi	18
	Evaluating the Effect of Lifting up Speed Conditions in the Dip Coating Process on the Properties of Super Hydrophilic Coatings	Tomonori Harada, Masahiko Kashiwai, Kiyoshi Yamamoto	24
<b>Topics</b>	Introduction to Our Partner Company		29
	ARCHITECTURE+CONSTRUCTION MATERIALS OSAKA 2025		30
	Builders and Remodelers Show 2025		31
	Lifestyle Week Osaka 2025		32



## フジコー技報第 33 号によせて

北九州市教育委員会教育長

太田 清治

Kiyoji Oota



株式会社フジコーにおかれましては、鉄鋼事業や製品事業において、さまざまな技術開発に熱心に取り組まれるとともに、光触媒技術を活かし、安心・快適な空間の提供など、市民の身近な技術開発にも取り組んでおられています。長年にわたる技術研鑽と社会貢献へのご尽力に対し、心より敬意を表します。また、北九州市教育委員会が発注する、学校施設の大規模改修やトイレ整備事業においては、貴社の豊富な経験と高い技術力により、多大なるご貢献を賜っておりますことに、深く感謝を申し上げます。

北九州市教育委員会では、令和6年8月に、「こどもまんなかで質の高い教育環境」の実現に向けて、「北九州市こどもまんなか教育プラン」を策定しました。このプランでは、大きく5つのミッションを掲げています。その第1番目として、『全てのこどもにとって「居心地のよい学校」をつくる』こととし、学校の中でも外でも、安全で安心して過ごせる居場所をつくるため、トイレの洋式化や空調機器の整備等に取り組むこととしています。

このプランに基づく初めての予算である令和7年度当初予算では、「学校トイレ洋式化100%大作戦」と銘打ち、長年の懸案であった中学校トイレの洋式化に着手することとしました。学校のトイレ環境は、快適な学校生活を送る上で重要であり、特に女子生徒が心身面で大きな変化を生じる中学校において、トイレ環境の整備は喫緊の課題であり早急な改善が求められています。

一方、全国的な課題である教職員不足と同様、公共工事における技術者不足、特に設備設計業者不足も大きな問題になっていると聞いています。こうした状況下、教育委員会は、従来の公共工事の発注方式だけでは、トイレ環境の早急な改善が困難と判断し、今回「設計施工一括発注（デザインビルド方式）」という、新たな整備手法に取り組むことといたしました。

設計施工一括発注方式は、設計と施工を一体的に発注することで、業務の効率化、工期の短縮、コストの削減といったメリットが期待できます。この新たな取組に、貴社からは、豊富な経験と高度な技術力やノウハウを最大限に活用されたご提案をいただき、現在は、選定された事業者として、迅速かつ効率的に、生徒たちが安心・快適に利用できるトイレ環境の整備を進めていただいております。

また、貴社は「技術を生命線」とする企業理念のもと、「専門的高技術技能集団の確保と育成」を掲げるとともに「資源のリサイクルと環境保護への貢献」をモットーに、SDGsに取り組んでおられます。本市の教育現場においても、SDGsは子どもたちが社会や環境の問題を理解し、未来を担う人材として成長するための重要な理念であり、日々の教育活動に積極的に取り入れております。貴社の取り組みは、身近な「生きた教材」として、子どもたちの学びに様々な示唆を与えていただいております。重ねて感謝いたします。

結びになりますが、中学校トイレの洋式化は、今後も2年間にわたり継続する予定です。また、学校施設の老朽化対策や空調設備の整備など、安全安心で快適な学校環境の整備は道半ばです。これらの実現のため、貴社をはじめとする設備工事業者の皆様、引き続き変わらぬご支援とご協力をお願い申し上げますとともに、貴社のますますのご発展を心より祈念申し上げ、挨拶とさせていただきます。

#### 【経歴書】

おおた きよじ  
太田 清治

昭和35年11月22日生

#### 【学 歴】

長崎大学教育学部（昭和59年3月卒業）

#### 【略 歴】

昭和59年4月 北九州市立中学校 教諭  
平成22年4月 北九州市立中学校 校長  
平成30年4月 北九州市教育委員会事務局 指導部長  
平成31年4月 北九州市教育委員会 教育次長  
令和 3年4月 九州産業大学 国際文化学部 教授  
令和 7年4月 北九州市教育委員会 教育長

（現在に至る）

## 地域社会貢献を通じ、 チームの豊かさを追求

株式会社フジコー  
上席執行役員  
エンジニアリング事業部長  
塩崎 秀徳  
Hidenori Shiozaki



エンジニアリング事業部は、当時3部門を集約し2016年1月に創設された部署であり、今年で10年目という節目を迎えます。そうした中で当社技報にこのような特集企画を立てていただき、深い感謝の思いです。

職種替えでの初心者や経験の浅いメンバーと共に小規模でスタートし、地道に積み上げてきた9年でしたが、立ち上げ当初は想像できなかったスピードでスタッフも成長し、共に働く仲間も増え、組織としても強くなっていく変化をしっかりと感じ喜びつつ、事業フィールドも全国に展開できるまでに広がっています。

現在の事業としては、公共工事・電力工事を柱とし取り組んでいます。

具体的内容として、行政施設での給水工事・空調工事・解体工事・建築工事・下水道管更生工事、各種電力会社においては機器据付・解体工事を主に請け負わせていただいています。

この分野に力を入れてきた理由として、地域社会貢献に直結する工事を担うことで、多くの方々の笑顔に接することや地域社会に密着した仕事をスタッフに経験してもらい、働くことのやりがいや醸成され、喜ばれながら仕事を楽しみ、地図に残りいつまでも自分の中で誇れる経験を多く積み上げてもらいたいと考え、3年程前に舵を切ったことをはっきりと覚えています。

生活に欠かすことのできない発電設備に関わり、

下水道老朽化対策に関わり、生活インフラ整備を通じて地域社会貢献を発展的に持続的に組織成長と共に今後もお役に立ち続けたいと考えています。



図 福岡県警本部発注 交番新築工事



図 北九州市発注 武道場空調工事



足元の取組となりますが、義務教育施設整備に対し、お手伝いすることに力を注いでおります。

具体的には学校トイレの改修です。

健康で快適な学校生活を送るうえで重要となる環境ですが、まだまだ必要な改修に手が付けられていない施設が多く、地域として喫緊の課題となっていました。

エンジニアリングという組織名を与えていただきながら、これまでの事業としては設計を除く工事施工が主であり、まだまだ成長すべき課題も存在する中、今年度このトイレ改修事業を設計施工一括発注方式（デザインビルド方式）により中学校 10 校に携わせていただくことになりました。

これまでに小学校 3 校につきトイレ洋式化は施工させていただきましたが、純粋な子供たちから会話を通じて自然で心ある『ありがとう』、『いつ完成ですか』『すごい、機械で穴を開けてる』『おじちゃん、頑張って』、『綺麗になって嬉しい』など、笑顔でたくさんの方のありがたい言葉をかけていただきました。また、自分自身や組織の中に時に忘れかけた笑顔や建前などはない純粋な表現の大切さを再認識する価値も見出せました。

たくさんの子供たちや保護者、学校関係者、地域の皆さんと多く接する機会にもなり、チーム全員が最大目標としている笑顔を届け、子供たちが喜んでくれる子供たちのための最高の環境を届けたいと強く思っているところです。

各種社会問題や環境問題、人口問題等々、多くのキーワードがインプットされる時代ですが、自ら出せるアウトプットとして何ができるのかを考えたときに、答えは出ていませんが、子供たちから教わった素直さをもって回答させていただくとするなら、『僕自身きっと大したことはできない』が正解であり、だからこそ小さくても分かりやすい方針を立て、丁寧に誠実にやり続けることが重要になってくると考え、自分自身に課題として与えています。

今後は学校や行政施設のみならず、空き家対策などあらゆる地域課題に向き合い、小さくても何かできることがないかを模索し、チャレンジ精神豊かに新たな事業や業種でも一歩を踏み出す勇気をもって、社会貢献を通じ、チームとしての豊かさを追求したいと考えています。

時代の変化を捉え、未来を創造し、地域社会貢献と仲間の豊かさと成長、笑顔満ち溢れる組織を構築し、建設産業に期待される社会的責任をしっかりと果たせるよう、持続的な成長を目指します。

最後になりますが、お客さまをはじめとするステークホルダーの皆さまにおかれましては、平素より格別のご高配を賜り厚く御礼申し上げます。

今後とも皆様には一層のご支援を賜りますようお願い申し上げます。

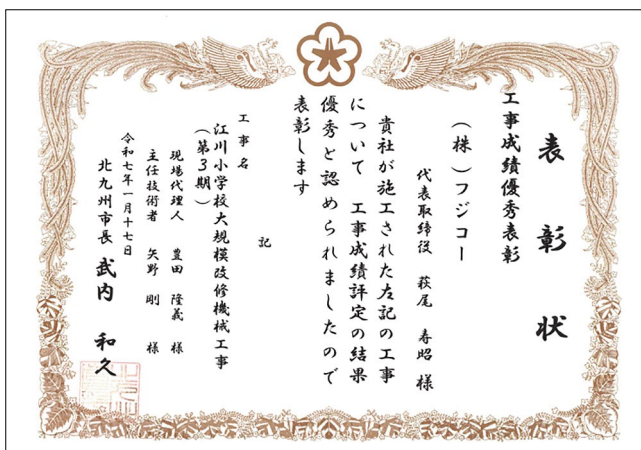


図 北九州市より工事成績優秀表彰受賞



図 港湾 L 型ブロック製作



## 「和洋リモデル工法」による 藤木小学校他 1 校のトイレ洋式化機械工事

[Japanese-Western Remodeling Method]

Mechanical Work for Toilet Westernization at Fujinoki Elementary School and One Other School

エンジニアリング事業部  
建設部 係長  
豊田 隆義  
Takayoshi Toyoda

エンジニアリング事業部  
建設部 係長  
矢野 剛  
Tsuyoshi Yano

### 1. 緒言

近年義務教育施設において、和風便器から洋風便器への改修工事が実施されている。快適な学習環境及び職務環境を提供する事を目的とし、加えて節水便器への改善によりランニングコスト&エコ対策にも対応している。

その中で令和 4 年度に施工を実施した藤木小学校他 1 校トイレ洋式化機械工事内における TOTO 株式会社（以下、「TOTO」という。）開発の「和洋リモデル工法」について紹介する。

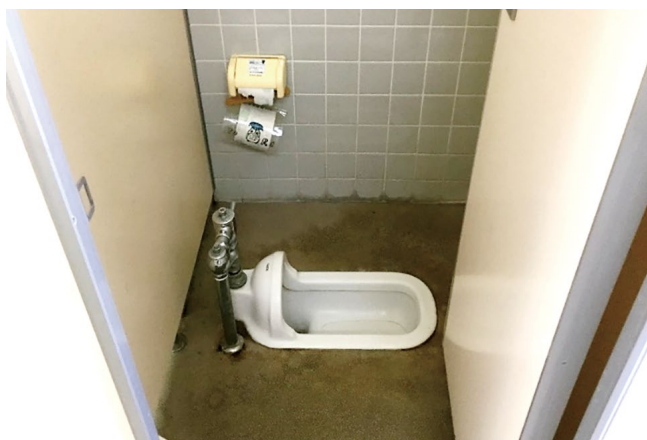


図 トイレ洋式化機械工事 リモデル前



図 トイレ洋式化機械工事 リモデル後

### 2. 和洋リモデル工法について

#### 2.1 概要

従来の工法であれば和風便器から洋風便器へ改修する場合、施工に 7 日間を要していたが、和洋リモデル工法であれば 2 日間で施工完了を実現できる。

また、階下からの作業も必要であったが、1 フロアで作業を完結することが可能になり、作業時間の短縮及び作業効率の向上に繋げることができる。

和洋リモデル工法は遮炎性能において国土交通大臣認定を取得しており、建築基準法の規定に基づいた「防火区画貫通部 1 時間遮炎性能」に適合するものとして、和風便器に耐火カバーが設置されている状態と同じ性能であることが認められている。

#### 2.2 TOTO 独自開発の 3 つの技術

##### 1) 和風便器カット技術（和便カッター）

和風便器を破損・落下させない、最適なカット位置・方法を開発したものであり、従来のように和風便器全体を撤去する必要が無くなった。和便カッターを集塵機に接続して使用し、周囲への粉じんの飛散を防止しながら和風便器リム面の安全かつ正確なカットが可能となる。また、グローブバック養生によるアスベスト飛散防止にも対応している。



図 和便カッター使用の様子（グローブバック養生）

## 2) 排水管接続技術（排水アジャスター）

新設する洋風便器の排水芯にあわせて、500mm以内で長さ調整が可能にした技術である。既存の排水管とはシール材を用いシールで接続し、360° 振り回し可能な排水管とリモデル便器との組み合わせにより、さまざまなレイアウトに対応可能である。更に、任意位置への洋風便器の設置が可能である。

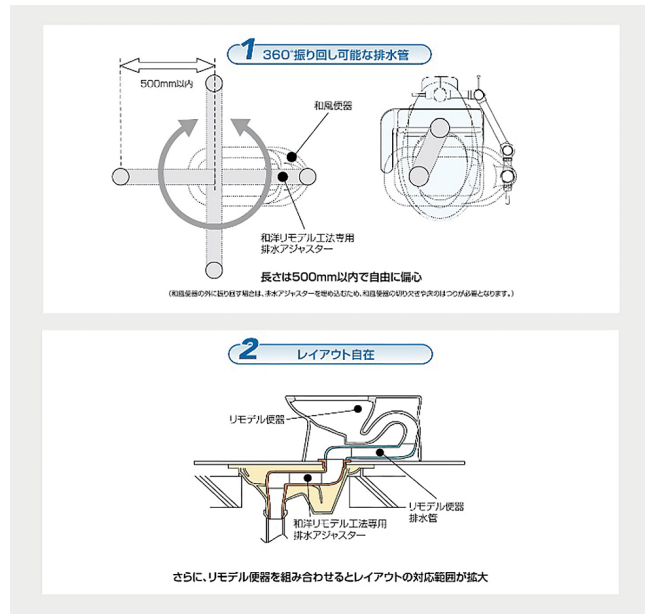


図 排水アジャスター接続参考



図 排水アジャスター施工の様子

## 3) モルタル技術

セメントメーカーと共同で開発した「超速硬モルタル」は、硬化時の膨張・収縮がきわめて少ないため、既存の和風便器が割れない専用のモルタルである。特長としては、以下3点である。

### ①硬化時間

従来の問題であった硬化時間の長期化の解消として、約3日間が8～15時間に縮小

### ②安全性

建築基準法の床強度（2900N/m<sup>2</sup>）の2倍以上の床強度の確保

## ③エコロジー

施工時の廃材量は従来工法の約3分の1に削減

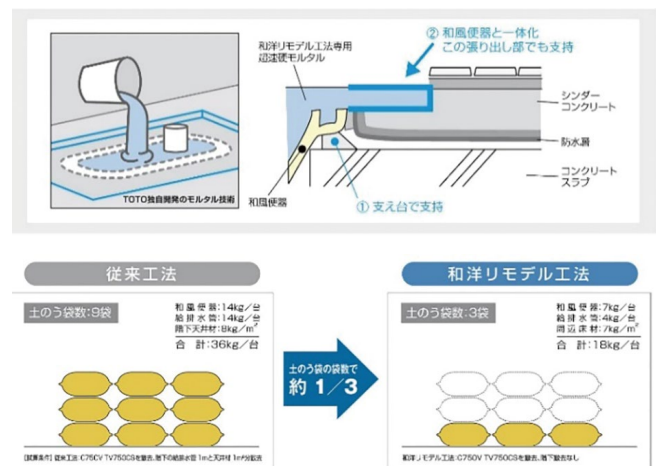


図 超速硬モルタルの特徴



図 超速硬モルタル硬化時の様子

## 3. 今後の取り組み

現状、足元の取り組みとして中学校トイレ改修工事に携わっている。(計10校) 今回の「和洋リモデル工法」を基点にしっかりと工事完工を目標に且つ安全施工に努めていく。

今後も地域貢献を念頭に、私たちが成すべき姿を想像し、様々な工事を通じて少しでも喜びを提供できる施工を目指していく。

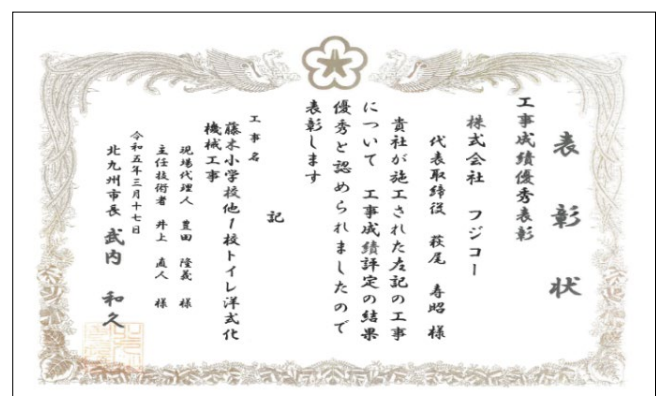


図 北九州市より工事成績優秀表彰状

## 参考文献

- 1) 建築専門家のための情報サイト「コメント」  
TOTO 株式会社 | 和洋リモデル工法（パブリック  
向け）オンラインカタログ No.1086（改訂年月：  
2025.8） pp.3-7  
[https://www.catalabo.org/iportal/cv.do?c=85116910  
000&pg=1&v=CATALABO&d=link](https://www.catalabo.org/iportal/cv.do?c=85116910000&pg=1&v=CATALABO&d=link)



# 自立管 製管工法（ら旋巻管） SPR<sup>®</sup>-SE 工法の 自立管としての性能評価

## Performance Evaluation of Self-Supporting Pipes Using the SPR<sup>®</sup>-SE Method

積水化学工業株式会社  
滋賀栗東工場 技術部更生管技術課  
島 貴 孝  
Takashi Shimanuki

エンジニアリング事業部  
江川 太郎  
Tarou Egawa

### 1. 緒言

老朽化した埋設管路を非開削により改築・更新する管路更生工法は、これまで種々開発されており、弊社では積水化学工業株式会社が開発した管更生工法を用いて令和4年9月、6年9月、7年8月に北九州市上下水道局発注の小口径管路（φ400mm以下）を対象とした管きょ更生工事を実施している。（弊社実施管路更生：施工延長323.0m）

本論文では、積水化学工業株式会社が開発した、中・大口径管路を対象とした工法について紹介する。

中・大口径管路（φ800mm以上）を対象とした更生工法は、工法分類で「製管工法」に分類されるものが多く、その構造形式は既設管の残存強度を考慮し、既設管と更生材が裏込め材を介して構造的に一体として新管と同等以上の耐荷性能及び耐久性等を有する「複合管」として設計されている。しかしながら複合管は、強化プラスチック複合管などの裏込め材による一体化が期待できない管路では設計不可能であり、また、鉄筋が露出するなど管路の劣化が激しい管路においても強度復元できないといった課題があった。

そこで、既設管の状態によらず、製管した更生材のみで埋設荷重に耐える「自立管」としての性能を発現できる SPR-SE 工法の開発を進めてきたのでその概要を報告する。

### 2. SPR<sup>®</sup>-SE 工法について

#### 2.1 工法の概要

「SPR<sup>®</sup>-SE 工法※（以下、SE 工法）」は図.1に示す通り、既設管の内側に更生材として硬質塩化ビニル樹脂にスチール部材を嵌合させた带状体の部材（以下、SE プロファイルという）を螺旋状に製管し、既設管との間隙に間詰材を充填し、新しい自立管を構築する更生工法である。SE プロファイルは、図.2に示す通り、

硬質塩化ビニル部材、スチール部材およびシール部材で構成される。

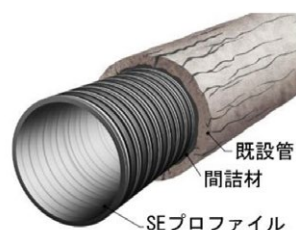


図.1 工法概要図

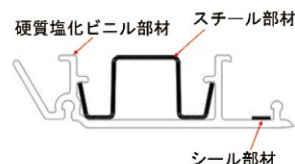


図.2 SE プロファイル

硬質塩化ビニルは、一般に柔軟性と強度、耐薬品性、耐摩耗性および耐久性を備えた材料で、下水道用管材として実績のある下水道用硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）に使用される材料であり、他にも下水道用途に幅広く使用されている。スチール部材は、SE プロファイルのリップ間に配置され、製管した管の剛性を向上、自立強度を発現させる目的に用いられる。シール材は、SE プロファイル同士を嵌合した際に圧接されることで嵌合部の水密性を確保するものである。SE プロファイルの嵌合機構を図.3に示す。嵌合機構はメインロックとサブロックからなるダブルロック機構を採用しており、水密性・耐震性に優れた材料である。

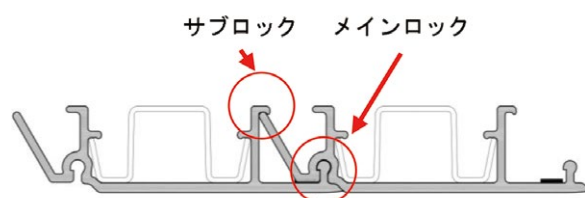


図.3 嵌合機構

#### 2.2 工法の特長

SE 工法の特長を以下に示す。

①非開削で水を流しながら施工可能

※ SPR…Sewage Pipe Renewal の頭文字。

積水化学工業(株)、東京都下水道サービス(株)、足立建設工業(株)と共同で開発した独自の非開削工法であり登録商標。



- ②既設管強度を見込まず、更生管単独で自立強度発現
- ③あらゆる管種に適用可能
- ④時間制限や急な降雨等の際、施工を任意に中断可能
- ⑤大口径管に対応可能
- ⑥地震や液状化に伴う永久ひずみに追従する耐震性
- ⑦工場製品による安定した品質

## 2.3 施工方法

SE 工法は、ドラムに巻かれた SE プロファイルを地上から既設管内に送り込み、製管機で連続的に嵌合して更生管を構築する。製管方式自走式と牽引式の2種類があり、既設管の口径によって使い分ける。

自走式製管方式（図 .4）は、製管機を管内に設置し、製管機自体が前進することにより更生管を残置させ、既設管の内側に自立管を構築する方式である。

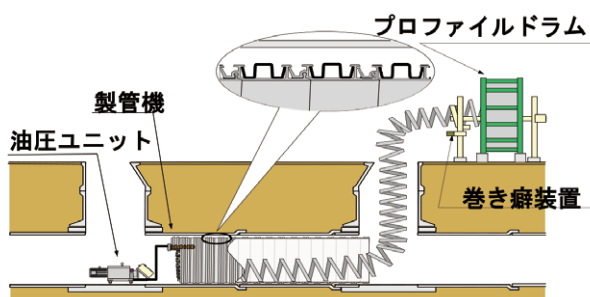


図 .4 自走式製管概要

牽引式製管方式（図 .5）は、製管機をマンホールに設置し、製管をしながらウインチで牽引をする方式で、既設管の内側に自立管を構築する方式である。

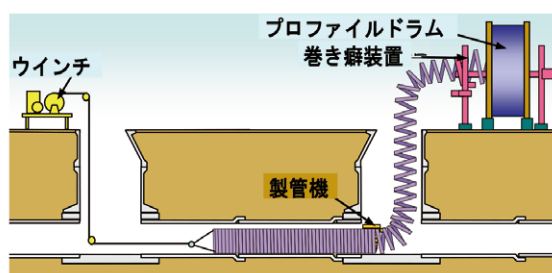


図 .5 牽引式製管概要

## 3. 性能評価

### 3.1 耐荷性能

自立管としての耐荷性能を確認するとともに、SE プロファイルの嵌合部やスチール部材の挙動検証することを目的に「下水道用硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）」の試験方法に即して偏平試験を行った。

#### (1) 試験方法

更生径φ 460mm（SE プロファイル：#53RW）を用い、試験体より大きい2枚の平板間に試験体をはさむ。管軸と直角方向に圧縮荷重を加えて 100mm 偏平時の荷重を測定し、長さ 1m あたりの線荷重（kN/m）を算出す

る。100mm 偏平量に達した時点で荷重を除荷し、嵌合部の外れなど更生管の異常有無を確認する。

#### (2) 試験結果

図 .6 に偏平試験の結果を示す。偏平量 20mm（たわみ率 4.3%）程度までは線形性を示し、それ以上となると非線形となった。

さらに過酷な条件として偏平量 100mm（たわみ率 21.7%）まで偏平させても図 .7、図 .8 の通り嵌合部やスチール部材の外れなどの異常は認められなかった。

#### (3) 考察

上記偏平試験結果より、通常の下水道用硬質塩化ビニル管同様に、構造が一体化した偏平変形をしていることを確認した。また、SE 工法は偏平たわみの許容率を 1.5% としており、線形領域から考慮しても、十分に安全側の設計となっていることが分かる。

さらに、偏平量 100mm（たわみ率 21.7%）の条件下においても一体性を確保できることを確認し、更生管単体で十分な耐荷性能を有していると考えられる。

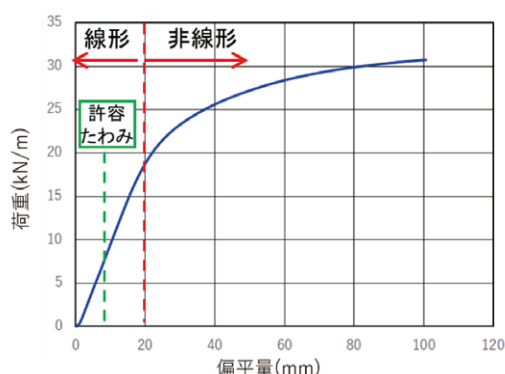


図 .6 偏平量と荷重の関係



図 .7 偏平試験状況



図 .8 100mm 偏平後試験体

### 3.2 管軸方向の耐震性能

耐震性能に対しての余裕率を検証する目的で、更生管の軸方向の変形限界性能について、既設管を考慮しない（実使用状態に近い）管体形状で評価を行った。

#### (1) 試験方法

本工法の適用範囲のうち、最も管剛性の小さくなる更生径 410mm の更生管 6.0m を作製し、3 点曲げ（支点間距離 5.0m）の要領で載荷し、垂直変位ごとの更

生管嵌合部の目開き量や荷重値の取得を行った。

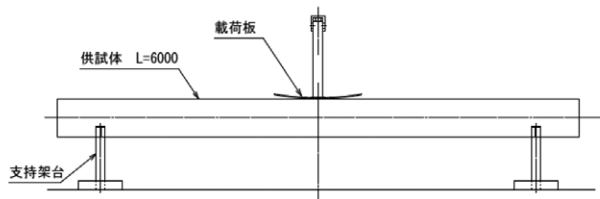


図.9 3点曲げ試験イメージ



図.10 垂直変位付与



図.11 目開き量測定

## (2) 試験結果

### ①更生管嵌合部の目開き量

垂直変位量ごとの管底部の嵌合部目開き量を図.12に示す。240mm までは目開き量の分布を概ね円形近似可能である一方、364mm になると、円形近似からやや乖離が生じてくる。そのため、240mm 程度までは管体としての一体性が確保されているが、それ以上では管体の一体性が乱れ始めると推定される。

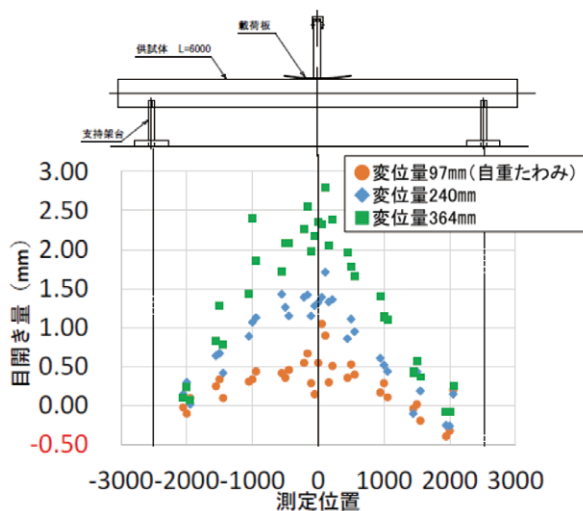


図.12 管底部嵌合目開き量の管軸方向分布

### ②荷重値

垂直変位を最大 658mm まで与え、その際の変位量と荷重値との関係を取得した (図.13)。また、本試験を中空円筒に集中荷重を加えたモデルと仮定し、理論式 (a) との整合を確認した。

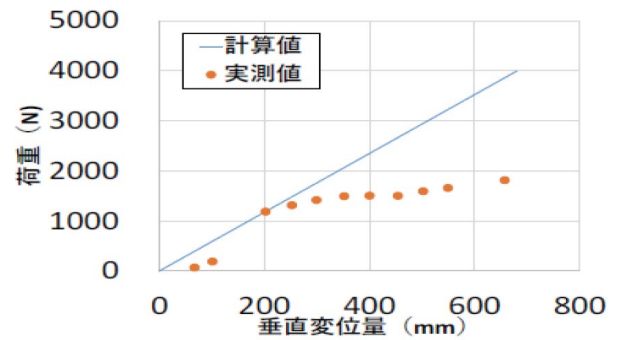


図.13 垂直変位量と荷重値の関係

$$W = \frac{PL^3}{48EI} \dots \dots \dots (a)$$

$W$  : たわみ量 (mm)

$P$  : 荷重 (載荷板重量を含む)

$L$  : 支点間距離 (=5000mm)

$EI$  : 円筒の曲げ剛性 ( $N \cdot mm^2$ )

たわみ量 250mm 付近から、計算値と実測値の乖離が大きくなる。つまり、たわみ量 250mm を超えると、更生管は垂直変位に対する弾性領域を外れてくると推測され、この結果は①の結果とも整合している。

## (3) 考察

不同沈下による挙動を、下記図 14 のような近似モデルを仮定して考察した。

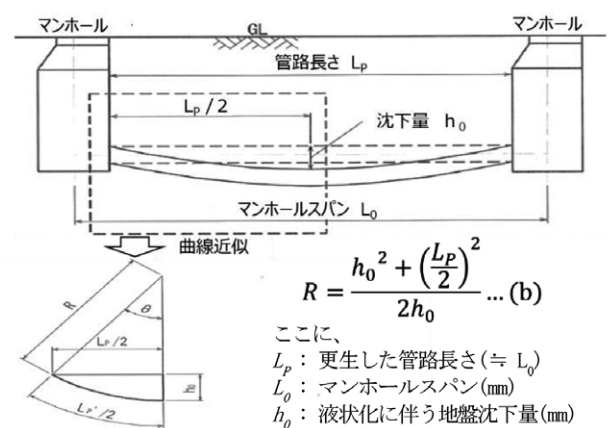


図.14 不同沈下の近似モデル

平均的な1スパンの延長 ( $L_0 = 30m$ ) に、兵庫県南部地震における実績で最大の沈下量 ( $h_0 = 30cm$ ) を考慮すると、式 (b) より曲率半径  $R$  は以下の通りとなる。

$$R = \frac{300^2 + \left(\frac{30000}{2}\right)^2}{2 \times 300} = 375150 \text{ (mm)}$$

ら旋巻管の曲げ挙動が、圧縮側には変形せず、嵌合部目開きにより引張側が伸びる構造であると仮定する

と、嵌合部目開き量は図 .15 式 (c) により求められる。

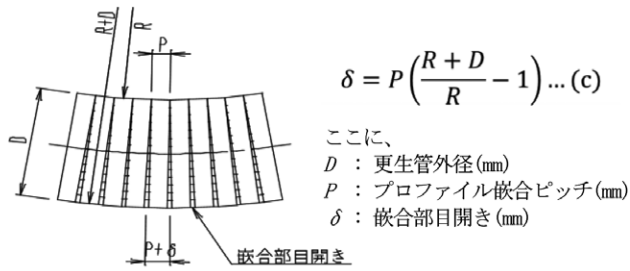


図 .15 嵌合部目開きモデル

既設管呼び径 450（更生管内径 410mm、更生管外径 433.8mm）にて、前述の条件（スパン延長 30m、沈下量 30cm）の不同沈下が生じたと仮定すると、嵌合部の目開き量は以下の通りとなる。

$$\delta = 53 \times \left( \frac{375150 + 433.8}{375150} - 1 \right) = 0.06 \text{ (mm)}$$

今回実施した 3 点曲げ試験では、垂直変位量 240 mm の時に最大 1.5mm 程度の目開き量が観測されており、上記の計算結果と比較すると大きな余裕率があることがわかる。以上より、SE 工法の管軸方向の耐震性は十分に確保されていると言える。

#### 4. おわりに

今回、更生管単体で自立管となる製管工法「SE 工法」の重要な性能（耐荷・耐震）の検証について報告した。本工法の特長を活かせる現場において更なる普及展開が図られ、下水道ストックマネジメント事業の推進に資するよう技術開発を展開していきたい。

以上で積水化学工業株式会社が開発した、中・大口径管路を対象とした工法についての紹介は終わるが、本技術を活用した生活インフラ整備を通じ、社会に更なる貢献をしていきたい。

# 高耐食性表面処理材料の開発

## Development of Highly Corrosion-Resistant Surface Treatment Materials

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

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

製品事業本部  
商品技術部 課長  
古田 博昭  
Hiroaki Furuta

技術開発センター  
副センター長  
時川 清澄  
Kiyozumi Tokikawa

### 要 旨

Ni 基合金は廃棄物焼却ボイラー管の表面保護に広く用いられるが、過酷環境下では孔の発生によりボイラー管の劣化と取替え費用が課題である。本研究ではNi 基合金に特殊元素を添加し、王水浸漬試験で特殊元素添加量の効果を評価した。特殊元素を 5wt% 以上添加すると耐食性は 7 ～ 20 倍向上した。王水浸漬試験での腐食部の SEM/EDS 観察では、デンドライトコアの溶損が確認され、特殊元素の添加はデンドライトコアの溶損を抑制する効果があった。CatCalc 解析からは特殊元素添加に伴う生成相を推定した。一般の耐食性材料の王水浸漬試験結果から、合金中の元素と耐食性の関係を求めて、合金設計の指標を得た。

### Abstract:

The Ni-based alloy is widely used for surface protection of waste incineration boiler tubes, but degradation due to pitting corrosion and high cost in harsh environments are issues. In this study, special element was added to the Ni alloy, and the effect of the special element addition amount was evaluated using an aqua regia immersion test. Adding 5 wt% or more of special element improved corrosion resistance by 7 to 20 times. In the SEM/EDS observations of the corroded regions after the aqua regia immersion test, dissolution of the dendrite cores was confirmed, and the addition of special elements was found to suppress this dissolution. Based on the CatCalc analysis, the phases formed by the addition of these special elements were estimated. From the aqua regia immersion test results of general corrosion-resistant materials, the relationship between alloying elements and corrosion resistance was determined, providing indicators for alloy design.

### 1. 緒言

廃棄物焼却施設のボイラー管は、高温・高腐食性雰囲気下で長期間使用されるため、深刻な金属腐食が発生する<sup>1)</sup>。特に過熱器や水管部では、燃焼ガスに含まれる HCl や Cl<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub> などの腐食性ガス、水蒸気、および飛灰中の塩化物・酸化物・硫化物の複合的作用を受ける。これらは燃焼ガスに比べて低い温度の伝

熱管表面に凝縮して付着灰を形成し、塩化物または硫酸塩を含む共晶系化合物を生成し、その一部は溶融塩となり局所的な反応を促進することで腐食が進行する<sup>2)</sup>。腐食形態としては、Cr の濃度むらや偏析部を起点とした孔食（pitting）が支配的であり、腐食は一方からのガス衝突や灰付着により局在化する。

ボイラー管の溶融塩による腐食は水溶液腐食と同様



に電気化学的現象であり、各企業や公的研究機関で多く研究されており、高温腐食については 1998 年から JIS の検討が開始され 2004 年に通則を含む 5 種類の標準試験方法が制定されている。Table 1 に水蒸気酸化試験方法を含む JIS 規格の概要を示す<sup>3)</sup>。

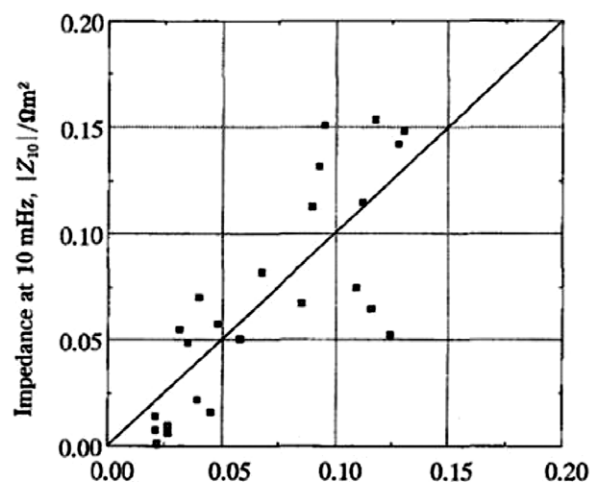
現行の防食対策としては、Ni 基合金を用いた肉盛溶接や溶射が主流であり、特に Ni 基合金の溶接肉盛は高い耐食性を有するものの、過酷環境下では長期使用での腐食孔発生が避けられず、耐孔食性の優れた肉盛材料の開発ニーズがある。ボイラー管材の腐食性溶融塩に対する耐食性を評価方法として、交流インピーダンスを電気化学的に迅速に評価する方法があり (JIS Z)、実機での腐食量と相関性があると報告<sup>4)</sup>されている (Fig.1)。

弊社では、肉盛溶接材の迅速な耐食性評価方法として王水に浸漬して、腐食減量で簡単に耐食性を評価することにした。王水は強い非酸化性酸の塩酸と強い酸化性酸の硝酸を混合した溶液で、両方の酸に対して同時に耐食性を評価でき、簡便かつ低コストで試験が実施可能であるためである。本研究では、Ni 基合金に特殊元素を添加し、特に王水環境における腐食挙動と特殊元素添加効果を評価することで、高耐食性表面処理材料の実用化に向けた知見を得ることを目的とした。

さらに、合金中の主要元素組成と腐食性の影響を調べるために、Ni 基合金の代表材である IN625 を含むいくつかの合金の王水腐食試験を行った。デンドライト組織中の元素偏析が腐食特性に大きく影響することが確認され、Fe 含有量の増加に伴い腐食減量が増大する一方、特殊元素の添加により腐食量が低減し、主要元素組成と腐食挙動の関係が明確となった。

Table 1 Corrosion weight comparison

名称	JIS番号	概要
ボイラー管用金属材料の水蒸気酸化試験方法	JIS Z 2287:2003	水蒸気発生装置を含む試験装置の基本構成を示し、試験方法、試験時間 (500時間以上)、試験片および試験結果 (酸化増量、減量) の整理方法等を規定している。
金属材料の高温腐食試験方法通則	JIS Z 2290:2004	JIS試験方法を総括し、各試験に共通した引用規格の規定、試験方法及び腐食の評価方法に関する用語を定義、腐食試験方法の選択指針や腐食環境条件の選定指針が規定されている。
金属材料の高温ガス腐食試験方法	JIS Z 2291:2004	熱天秤方式と固定方式によるガス腐食試験装置と雰囲気ガス供給装置の基本構成を規定。酸化物、硫化物、ハロゲン化物などの融点と昇華点に関するデータと、腐食生成物に昇華物が含まれる場合の質量変化データの取り扱いを解説している。
金属材料の塩塗布高温腐食試験方法	JIS Z 2292:2004	「学振法」を基本に、試験装置構成や試験片の保持方法などを規定。解説では実機ボイラー管での腐食状況を紹介、雰囲気条件の影響等を記述している。
金属材料の塩浸食および埋設高温腐食試験方法	JIS Z 2293:2004	腐食灰 (塩) をるつぽに充填し、その中へ試験片を埋め込む試験方法で、試験装置の基本構成は塗布試験と同様であるが、灰分が溶融する場合は浸漬試験、灰分が一部溶融した固液共存状態を埋没試験とし、それぞれ試験片の埋め込み深さを規定している。
金属材料の電気化学的高温腐食試験方法	JIS Z 2294:2004	腐食性溶融塩に対する各種材料の耐食性をアノード分極や交流インピーダンス等の電気化学的測定により評価するための試験装置の基本構成、電気化学セルなどの詳細を解説、具体的な試験浴と試験温度を表示している。



$$CRE = 0.0013[Cr] + 0.0063[Mo] + 0.0024[Co] + 0.012[Nb]$$

Fig.1 CRE(corrosion resistance) index for predicting the corrosion resistance of Ni-base alloys in NaCl-KCl-Na2SO4-K2SO4-ZnSO4 melt under air containing 10%[H2O] and 1000ppm[HCl] at 873K.

## 2. 実験方法

### 2.1 試料作製

本研究では、Ni 基合金に特殊元素を添加した合金を作製し、王水浸漬試験による耐食性評価と組織解析を行った。試料作製から腐食試験、組織解析までの手順を以下に示す。

基本材には Ni 基合金粉末を用い、Cr を一定量 (固定値) 添加した上で、特殊元素を 2、5、10、20 wt% の各組成に設定した。Fig.2 のようにアーク溶解法により試験片を 30 g 溶製し、得られたインゴットはワイヤーカット加工により所定寸法の試験片 (10mm × 10mm × 1mm) に切り出した後、耐水研磨紙 (#600) による研磨を施し、乾燥させて腐食試験に供した。

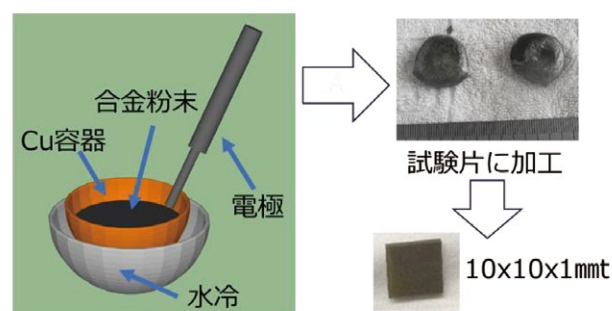


Fig.2 Test pieces made by arc welding.

### 2.2 腐食試験条件

耐食性評価には塩酸と硝酸を体積比 3:1 で混合した王水を使用した<sup>5)</sup>。試験は室温・大気圧下で 5 時間の静置浸漬により行った。試験前後で試料の質量を精

密電子天秤（測定精度 0.001 mg）にて測定し、その差を試料表面積で除して腐食質量 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) を算出した。

## 2.3 組織観察および解析

腐食形態の観察には走査型電子顕微鏡（SEM）を使用し、腐食孔の形態、深さ、分布を解析した。また、エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）により腐食表面および断面の元素分布を測定し、腐食抑制に寄与する元素（Cr、特殊元素など）の局所濃縮挙動を評価した。さらに、熱力学計算ソフト（CatCalc、株式会社計算熱力学研究所）を用い、添加元素が母相の安定性や生成相、固溶強化に与える影響を解析した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 王水浸漬試験

Ni 基合金および、Ni 基合金に特殊元素を段階的に添加した試料について、王水浸漬試験を行い、腐食減量、腐食形態、および熱力学解析結果を比較した。得られた主要な結果を以下に示す。

王水浸漬試験における腐食減量を Fig.3 に示す。Ni 基合金の腐食減量は 5hr で約  $-0.089 \text{ g}/\text{cm}^2$  であったのに対し、特殊元素添加量が 2wt% では腐食減量は  $-0.098 \text{ g}/\text{cm}^2$  で上がったが、特殊元素添加量が 5 wt% 以上の試料では腐食減量が大幅に低下し、特に 10wt% および 20wt% 添加試料では Ni 基合金に比べ 7 ～ 20 倍の耐食性向上が確認された。

Fig.4 に示す試験前後の外観では、特殊元素添加量 5wt%、10wt%、20wt% は、変化がほぼ無かったのに対して、Ni 基合金と特殊元素添加量 2wt% では、試験片表面が腐食によって黒色に変化している様子が観察された。また、Ni 基合金と特殊元素添加量 2wt% では、腐食液が黄色から緑色へ変化しており、腐食によって合金中の金属が溶け出している様子が確認された。特殊元素添加量 5wt%、10wt%、20wt% は、この腐食液の変化は少なく、王水浸漬試験の腐食減量の結果と対応している。

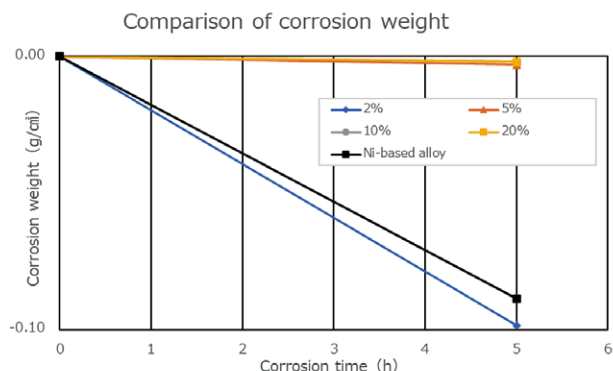
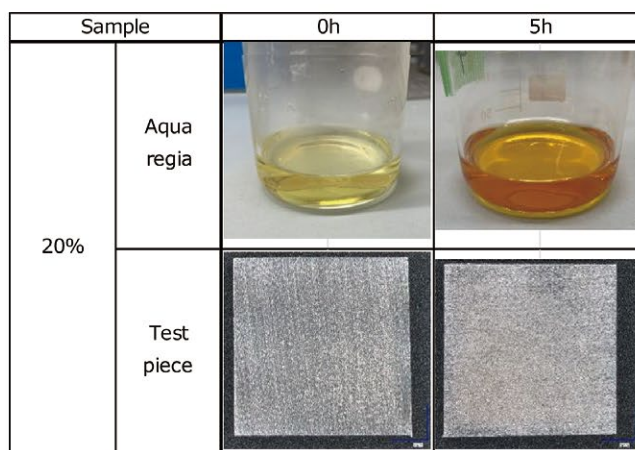
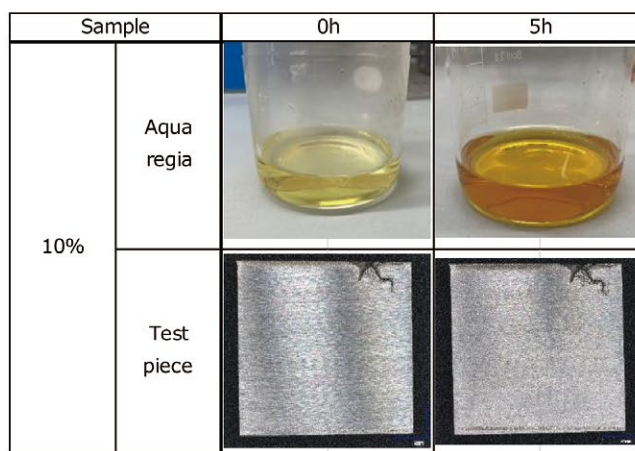
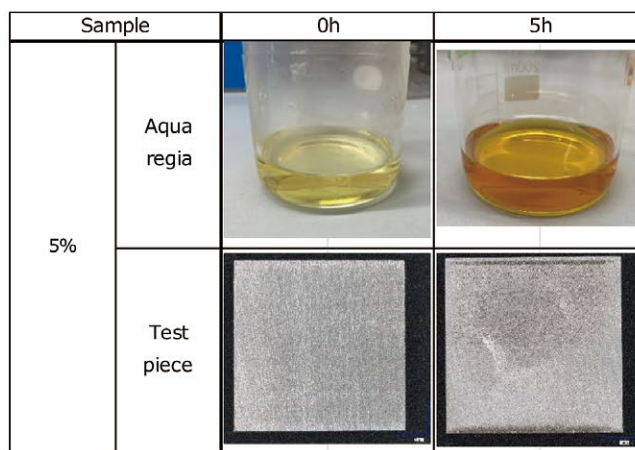
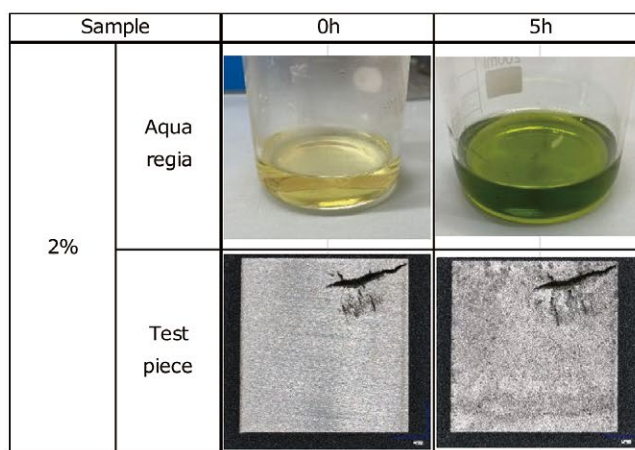


Fig.3 Comparison of corrosion weight





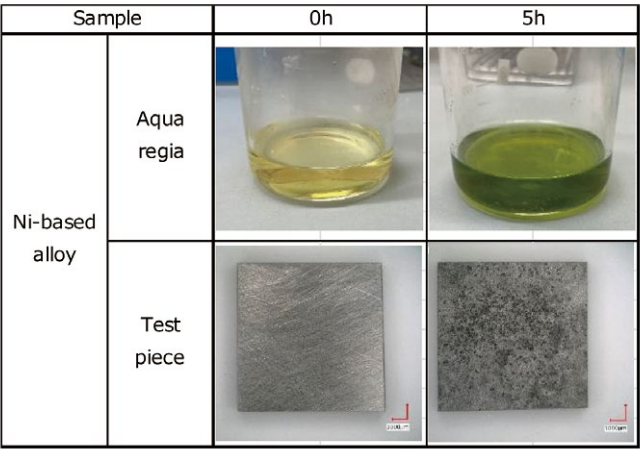


Fig.4 Appearance of aqua regia test with special element value change.

### 3.2 腐食形態の観察結果

王水浸漬試験で腐食減量の多かったNi基合金の試料を用いて、腐食箇所の詳細な調査を行った。Fig.5に示すNi基合金の王水浸漬試験後の外観では腐食孔が多数見られていることがわかる。

この腐食孔が観察された箇所におけるSEM像をFig.6に示す。腐食孔箇所の近傍では、全面にデンドライトコア部が消失しデンドライト間領域部が溶け残った形状になっていることが確認された。外観で観察される腐食孔は、デンドライト間領域部も広範囲に欠落した部位に相当していた。

EDSによる王水浸漬試験後のNi、Cr、特殊元素の変化量をTable 2に示す。また、Ni、Cr、特殊元素のマッピング分析結果をFig.7に示す。特殊元素を添加していないNi基合金はデンドライトコア部の溶損に伴って、Niが減少している。特殊元素添加量5wt%以上の試料では、マッピング分析からもデンドライトコアの溶損や腐食孔食は確認されていない。また、特殊元素は全体的に分布しているものの、所々で濃縮していることが確認された。特に特殊元素添加量20wt%ではその傾向が強く、Niが減少しているのは、特殊元素の濃縮量が影響している。



Fig.5 Results of pitting corrosion observation.

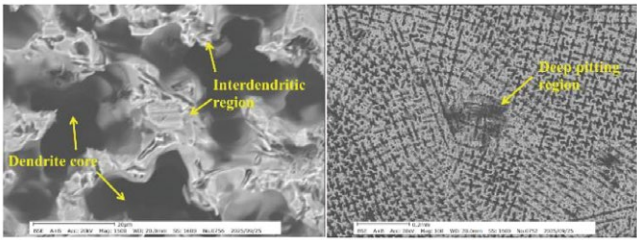
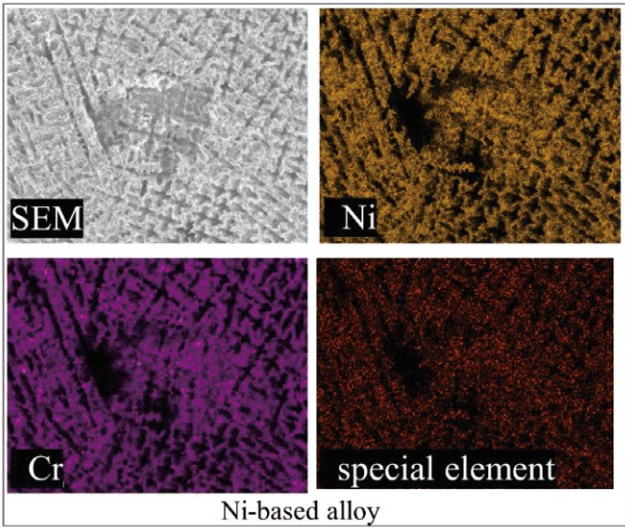


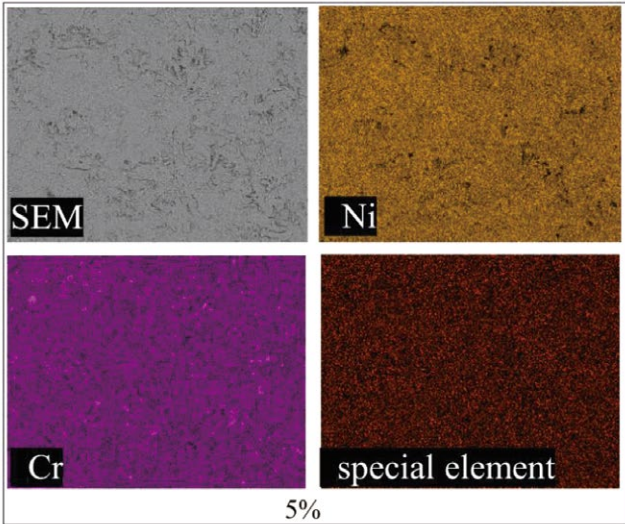
Fig.6 SEM image of Ni-based alloy after 5 hours of aqua regia corrosion.

Table 2 Change in Ni, Cr, Special element by EDS analysis

	Ni	Cr	Special element
Ni-based alloy	0.78	1.03	-
Ni-based alloy+5%	0.95	0.96	1.95
Ni-based alloy+10%	1.01	1.06	1.56
Ni-based alloy+20%	0.83	0.93	1.54



Ni-based alloy



5%



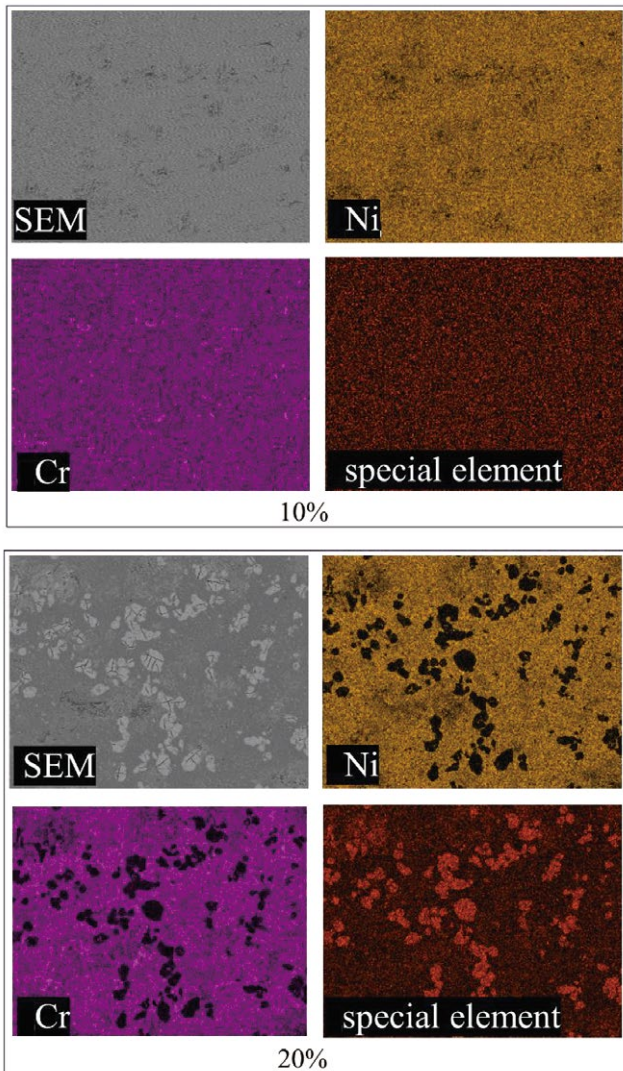


Fig.7 Results of SEM, EDS.

### 3.3 相安定性および固溶強化解析結果

次に、平衡状態の合金中に生成する相を示す CatCalc 解析結果を Table 3 に示す。特殊元素添加によって、液相温度と $\gamma$ 相の生成温度が上がる傾向が確認された。また、10% 以上の特殊元素添加では、 $\alpha$  (特殊元素) の相と Ni と特殊元素で構成された相の生成が起こることがわかった。さらに、 $\alpha$  Cr の生成量も特殊元素の添加量によって増加する結果となっている。

ただし、本研究での試料作成における溶接の急冷凝固組織では、上記のような特殊元素を含む新たな相が生成する前に凝固が完了する傾向となる。そのため、凝固初期に生成するデンドライトコア部 ( $\gamma$ 相) に過飽和な特殊元素等を固溶することとなり、これが何らかし王水浸漬試験での $\gamma$ 相の溶出低減に作用したと考えられる。特殊元素が耐食性を向上させるメカニズムや生成相の影響については今後詳細の調査を行っていく予定である。

Table 3 CatCalc analysis

	Temperature range °C (maximum generate amount mol%)				
	Ni-based alloy	2%	5%	10%	20%
Liquid	>base(SL)	>+3	>+7	>+11	>+12
L12( $\gamma$ )	<base(LL)	<+4	<+4	<+4	<+26
$\alpha$ Cr	<306(3.9)	<380(5.7)	<491(8)	<586(13)	<566(21)
$\alpha$ (Special element)	-(-)	-(-)	-(-)	511~566(0.3)	498~663(4.9)
Ni3M	<base	< $\pm 0$ ( $\pm 0$ )	<+4(+1.3)	<+4(+1.3)	<-26(+0.3)
Ni Special element	-(-)	-(-)	-(-)	24~478(1.7)	<498(+10)

### 4. 王水による Ni 基合金の腐食減量

最後に、一般的な耐食材料 (IN625、C22、C276、IN718) についても王水浸漬試験を行い、本研究で添加した特殊元素を含めて主要な元素が耐食性に及ぼす影響について調査した結果について報告する。

ボイラー管の肉盛材料で広く普及している IN625 は Ni ベースの Cr、Mo、Nb を含む合金で、デンドライトの凝固組織となる。デンドライトのコア部は低融点元素の Ni および Cr が先行して凝固し、高融点元素の Mo および Nb はデンドライト間領域に取り残され偏析が生じる。王水浸漬試験では、Mo および Nb 量の比較的低いデンドライトコア部が多く腐食している。

アーク溶解した IN625 と鋼材へ肉盛した IN625 の 2 種類の試料を作成し、Fe 量はそれぞれ 0.37wt%、6.30wt% であったが、肉盛すると素材を溶融させるため Fe 量が多くなり、Fe 量が多くなるほど腐食減量が増大する傾向となっていた。Ni 基合金の市販材料の腐食度減量においても、IN625 (Fe0.37wt%)  $\div$  C22 (Fe3.8wt%) < C276 (Fe5.5wt%) < IN718 (Fe16.6wt%) の順で Fe 量が多いほど腐食減量が増大する傾向があった。

本研究で基本材とした Ni 基合金、および Ni 基合金に特殊元素添加した腐食量と配合成分の主要成分の Ni、Cr、Fe、Mo 及び特殊元素の配合値から回帰式で求めた腐食量の予測値を Fig.8 に示す。回帰分析の結果、相関係数 0.88 の正の相関性が確認され、腐食量の係数は Cr (-1)、Mo (-0.23)、特殊元素 (-0.57)、Ni (0.21)、Fe (2.51) であった。Cr や Mo、特殊元素を添加することで腐食量の低減に効果があり、一方、腐食量に悪影響を及ぼす元素は Fe であり、微量の含有でも腐食量を増大させる傾向が認められた。



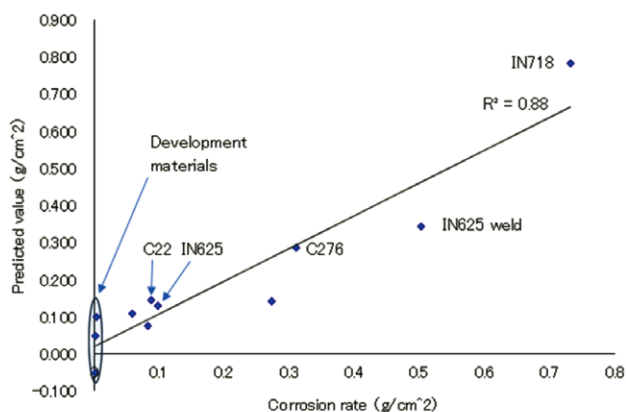


Fig.8 The results of predicting the amount of corrosion using a regression equation based on the composition of the materials.

## 5. 結論

本研究では、Ni 基合金に特殊元素を添加し、王水環境下での腐食挙動および耐食性向上効果を評価した。

### 1) 特殊元素の添加効果

Ni 基合金に特殊元素を 5 wt% 以上添加することで腐食減量が大幅に低下し、基本材とした Ni 基合金と比較して 7 ～ 20 倍の耐食性向上が確認された。

### 2) 腐食形態と組織変化

SEM/EDS 観察により、特殊元素無添加材ではデンドライトコア部の溶解に起因する腐食孔が発生したが、特殊元素添加材では腐食孔は発生しなかった。

### 3) 相安定性および固溶強化の効果

平衡状態の生成相の CatCalc 解析から、特殊元素添加は  $\gamma$  相の生成温度を上昇させ、特殊元素を含む新たな相を生成することが示唆された。溶接のような急冷組織では  $\gamma$  相に固溶した特殊元素が何らか耐食性向上に作用したと考えられる。

### 4) 実用的意義

本開発材料は、従来の Ni 基合金に比べて高い耐食性を有するため、長期耐用性の向上によりメンテナンス頻度の削減にも寄与する。

### 5) 王水浸漬試験

王水浸漬試験は、簡便かつ低コストで試験が実施可能である。本研究では合金中の主要元素が耐食性に及ぼす影響を確認することができ、今後の合金設計の指標を得た。

以上の結果より、本研究で開発した特殊元素添加 Ni 基合金は、廃棄物焼却ボイラー管など高温・高腐食性環境下での長寿命化に有効であり、実用化に向けた有望な表面処理材料であることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) 永吉：フジコー技報 No.11 (2003) pp.32
- 2) 溶接学会誌 83 巻 (2014) 第 1 号 pp.45-52
- 3) 中森：ボイラー燃焼ガスによる高温腐食事例とその対策 pp.349、テクノシステム (2012)
- 4) 日本金属学会誌 第 60 巻 (1996) 第 10 号 pp.970 - 979
- 5) 内田：組織学とエッチングマニュアル pp.83、日刊工業新聞社 (2001)

## 新型脱臭除菌機の開発に向けた ファンモーター選定及び評価手法の検討

### Selection of a Fan Motor and Consideration of Evaluation Methods for the Development of the Next Model Air Purifiers

技術開発センター  
第二開発室 主任技師  
亀田 倫之  
Noriyuki Kameda

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

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

技術開発センター  
第二開発室 主任技師  
安河内 航  
Wataru Yasukochi

技術開発センター  
第二開発室 技師  
坂石 竜文  
Tatsuyuki Sakaishi

#### 要 旨

新型脱臭除菌機 MC-S311C の開発に向けて、最適なファンモーターを選定するための選定手法と評価手法の検討を行った。複数種のファンモーターを対象とし、従来同様の風量、騒音の評価に加えて騒音の周波数特性と開発重要項目を含めてスコア化し、比較することで開発に適したファンモーターの選定を試みた。その結果、本開発では最も高いスコアを示したブロアファンを採用した。本稿ではそれぞれの評価結果とスコア化によるファンモーターの選定結果について報告する。

#### Abstract:

This technical report considers a selection and evaluation methodology for selecting the most suitable fan motor for the development of the new antibacterial deodorizer, model MC-S311C. Usually, several types of fan motors are evaluated acoustic noise and airflow. In addition, a scoring table that included frequency characteristics of acoustic noise and key factors of development is constructed for comparison, in an attempt to select the most suitable fan motor for development. As a result, the blower fan with the highest score was selected for this development. This paper reports the results of evaluation results and fan motor selection based on scoring.

#### 1. 緒言

本稿では、新型脱臭除菌機 MC-S311C の開発に向けて、最適なファンモーターを選定するための評価手法について検討を行った。従来機種 MC-S201 ではブロアファンが採用されていたが、本機では軸流ファン、遠心ファン、ラインフローファンも含めて市場探索を実施した。探索対象は探索期間、組立およびメンテナンスの容易性、入手性を考慮し、汎用品のファン（羽根）とモーターが一体となった製品に限定した。

MC-S311C では、コストと騒音値が最も重要な項目

である一方、風量・静圧・回転数制御範囲等の仕様についても従来機種と同等以上の性能が求められる。そのため、従来機種 MC-S201 使用品を基準とし、モーター単体状態（free-air）および筐体に組み込んだ状態（with pressure loss）の両方で性能比較を実施した。また、従来の風量、騒音評価に加え、騒音の周波数特性も評価することで、不快音の抑制につながる評価手法を新たに検討した。さらに、評価結果と開発重要項目を並べてスコア化することで定量的な比較を可能とし、本開発に最適なファンモーターの選定を試みた。

## 2. 背景と目的

脱臭除菌機や脱臭機等におけるファンモーターは空気の循環およびフィルター通過効率に影響を及ぼす重要な部品であり、その種類や構造が製品の性能に直結する。MC-S311Cでは、より高い清浄化と静音性の両立が求められたため、従来採用していたブローア型に加え、他方式のファンモーターについても検討を行う必要があった。本稿では複数のファン方式<sup>1)</sup>について、性能や特徴を整理した後、入手できたファンモーターで風量・騒音の比較評価、不快音抑制のための騒音の周波数特性の評価手法の検討を行い、その評価結果と開発重要項目のスコア化による定量比較によりMC-S311Cに最適なファンモーターを選定することを目的とする。

## 3. 選定候補と比較方針

本検討では、以下の4方式を選定対象とし、それぞれの特長を記載した上で、Table1に特性をまとめた。

### ① ブローアファン<sup>2)</sup>

羽根数が多く、限られた容積のケーシングとなるため静圧が高くできる。風量よりも静圧に特性を絞ったファンモーターで騒音値は比較的高い。風量 - 静圧特性に旋回失速領域（不安定状態）がなく、制御が容易。吸気と排気は90度の関係となる。

### ② 軸流ファン<sup>2)</sup>

羽根数は少なく構造がシンプル。風量は多いが静圧が不足しやすい。騒音値は比較的低い。風量 - 静圧特性に旋回失速領域（不安定状態）がある。吸気と排気の関係は同一方向となる。

### ③ 遠心ファン<sup>2)</sup>

羽根数は少なめだが静圧が高い。動作速度が遅く風量が少ない。軸流よりも騒音値は高い。風量 - 静圧特性に旋回失速領域（不安定状態）が無く制御しやすい。吸気と排気は90度の関係で、インレットノズルや外装となるケーシングの設計が必要となる。

### ④ ラインフローファン（クロスフローファン）<sup>3)</sup>

羽根数は遠心ファン程度。風速を広範囲に均一に分布できる。騒音と静圧は低め。吸気と排気はU字形的関係となる。

商社依頼と自己探索による市場調査の結果、十数社のカタログやファン情報を入手できた。絞り込みの条件としては、MC-S201 使用品と仕様比較を行い、コスト、最大風量、最大静圧、騒音値等の特性が類似したものか同等以上のものを選定した。その結果、ブローアファン3種（うち1種は従来品）および軸流ファン2種にて比較評価を行う方針とした。他種のファンについては、遠心ファンは特性に近い製品があったが、見積りみの過程で廃版予定、購入条件未達成等の理由から選定対象外となり、ラインフローファンは最大静圧が従来比で1/3と低く、かつコストも大幅に増加するため不採用とした。

比較方針としては、コスト・サイズ・最大風量・最大静圧・回転数制御範囲・騒音値平均・騒音値ピークの項目を点数化し、総合点が最も高いファンを採用する事とした。尚、MC-S311CとMC-S201のフィルターによる圧損は同程度と見込まれていたため、この前提で比較を進めた。

## 4. 風量及び騒音の評価

単体および組込の2状態で風量および騒音の比較評価を行った。単体はファンモーター単体（free-air）の状態、組込は従来筐体（MC-S201）にファンを組み込んだ状態（with pressure loss）と定義する。

風量試験はJIS B 8330を準拠し<sup>5)</sup>、ダクトと整流格子を吹出口に取り付け、風速計で測定した風速から風量を算出した。尚、軸流ファンは筐体への取り付けが困難であったため、代替として、フィルター部を風路に取り付けて測定を行った。

騒音試験はJEM1467を準拠し<sup>6)</sup>、外部機関の無響室で騒音計を用いて試料から1[m]地点の騒音値を測定した。騒音値は周囲4面（左・正面・右・上面）を測定し、それぞれのオーバーオール値の平均値とした。測定時の風量条件は比較の容易性と従来機種風の風量仕様から選定し、単体での風量評価は0.3, 1.0, 2.7[m<sup>3</sup>/min]とし、組込での風量評価は0.1, 0.2, 0.7[m<sup>3</sup>/min]で行った。単体の風量および騒音評価結果をFig.1, Fig.3に示し、組込の風量および騒音評価結果をFig.2, Fig.4に示す。

Table1 Types and features of fan motors<sup>4)</sup>

Type	Characteristics			
	Acoustic noise	Static pressure	Air flow	Intake and exhaust
Blower	Middle	High	Low	Vertical
Axial	Low	Low	High	Horizontal
Centrifugal	Middle	High	Middle	Vertical
Line flow	Low	Low	Middle	U-shaped



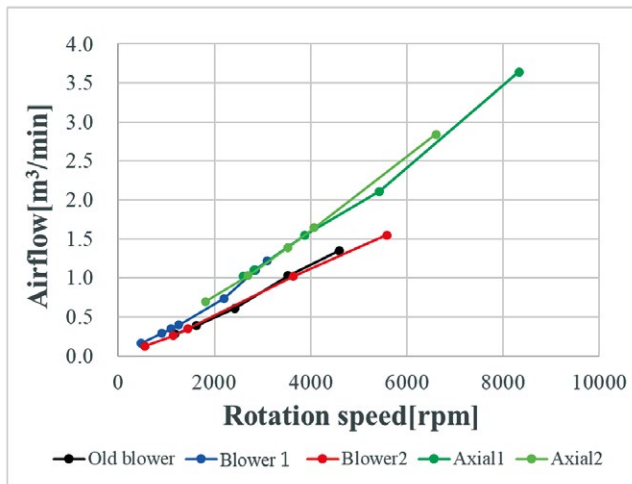


Fig.1 Rotation speed vs airflow under free-air conditions.

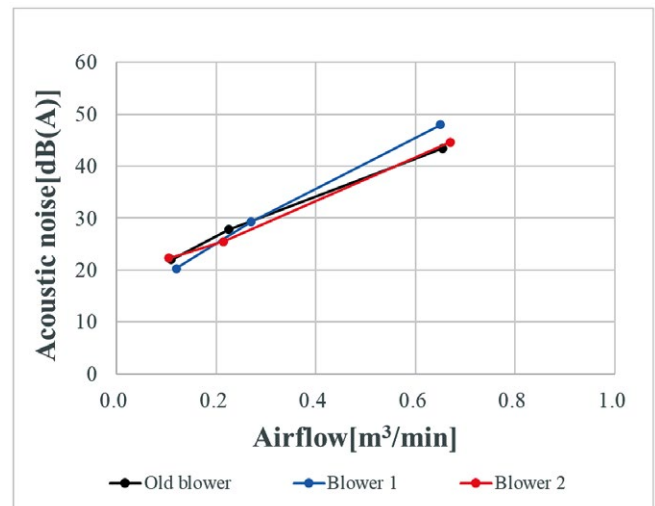


Fig.4 Airflow vs average acoustic noise with pressure loss.

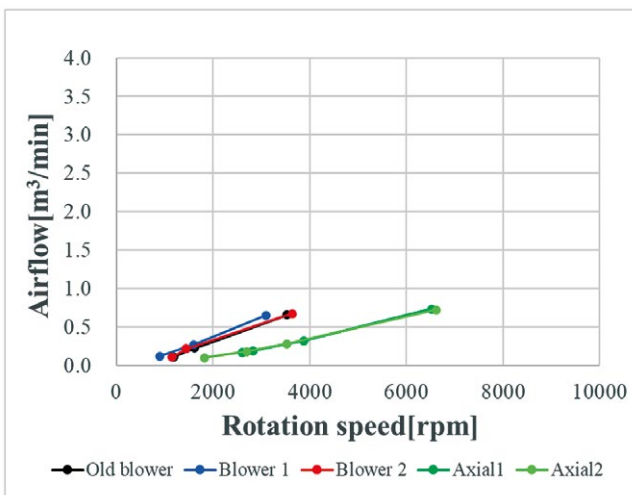


Fig.2 Rotation speed vs airflow with pressure loss.

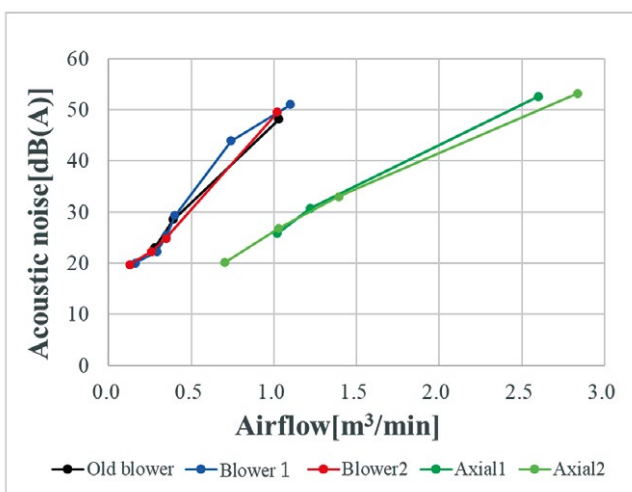


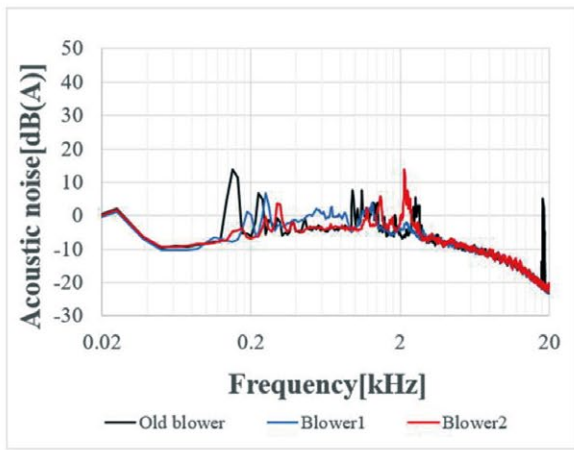
Fig.3 Airflow vs average acoustic noise under free-air conditions.

同一回転数での風量を比較すると、Fig.1の単体では軸流ファンの方が多いが、Fig.2の組込ではブロアファンの方が多くなっていることが分かる。例えば、回転数3000[rpm]付近において、従来ブロアおよびブロア2は風量が0.2[m³/min]程度しか減衰していないが、ブロア1は0.4[m³/min]、軸流2種は0.7[m³/min]も減衰している。これは、ファン種による静圧特性が大きく関係している。単体と組込での風量を比較した結果、低回転でも多くの風量を得られるブロアファンが本開発に適していることが分かった。

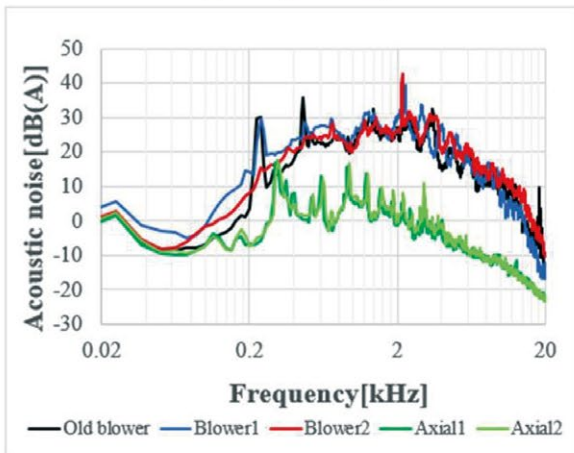
次に、同一風量での騒音値を比較すると、Fig.3の単体では軸流ファンの方が小さいことが分かる。また、風量1.0[m³/min]（回転数約3000[rpm]）の時、騒音値は25[dB(A)]と小さく十分使用可能と考えられる。しかし、Fig.2の組込では、0.7[m³/min]の風量を出すために約7000[rpm]もの回転数が必要となり、この高回転時は耳障りな音が聞こえて不快に感じられた。ここで、軸流ファンの組込での騒音値は測定していない。これは従来筐体への組み込みが困難であり同条件となる筐体の準備や不快音低減対策に期間や費用が発生することが分かったためである。そのため、組込の騒音評価はブロアファン3種とした。Fig.4より、各種ブロアファンの騒音値を同風量で比較すると大きな変化はなく、同様の傾向となった。

## 5. 騒音の周波数特性の評価手法検討

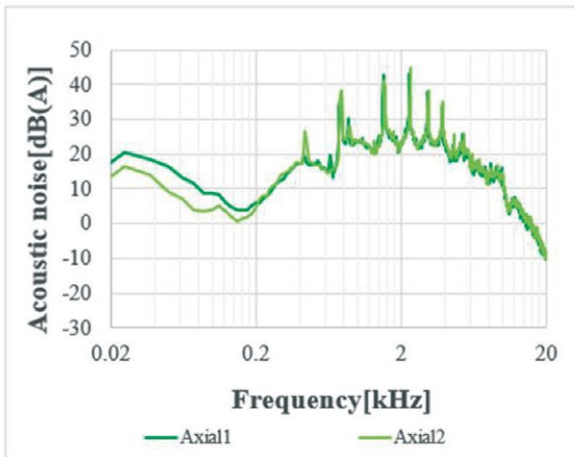
前項の軸流ファンの騒音評価で高回転時に感じた不快音の要因を検討する。一般的に人の耳は2～5[kHz]の音の周波数感度が高く（ラウドネス曲線<sup>7)</sup>）、聞き取り易いことが示されているため、騒音の周波数特性の比較評価を行った。騒音測定は周囲4面を実施した結果、上面および正面の騒音値が高くなったため、本稿では上面の周波数特性を示す。単体の周波数特性をFig.5に示し、組込の周波数特性をFig.6に示す。



(a) 0.3[m³/min]



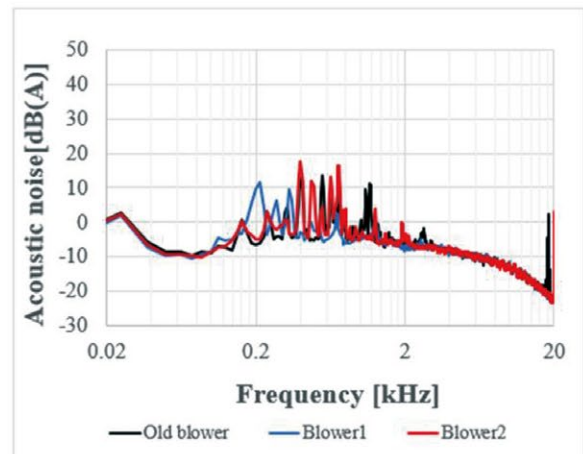
(b) 1.0[m³/min]



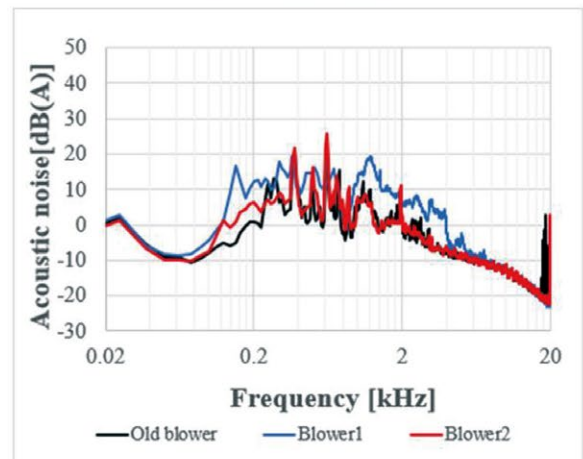
(c) 2.7[m³/min]

Fig.5. Frequency characteristics of acoustic noise under free-air condition.

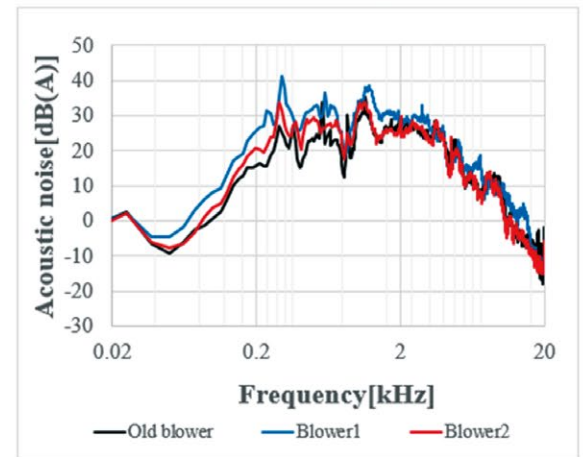
Fig.5(b) と (c) の結果を比較すると軸流ファンは風量が多くなると 2[kHz] 付近の帯域にプロアファンよりも複数のピークが発生している事が分かる。前項で軸流ファンは高回転時に耳障りで不快な音が聞こえた」と記載したが、人の耳の高感度帯域にこのような複数のピークがあることが要因であると考えられる。不快に感じる周波数レベルの詳細はさらに調査および検討が必要である。軸流ファンが組込で 0.7[m³/min] の風量を出す



(a) 0.1[m³/min]



(b) 0.2[m³/min]



(c) 0.7[m³/min]

Fig.6 Frequency characteristics of acoustic noise with pressure loss.

ために必要な回転数と Fig.5 の 2.7[m³/min] 時の回転数はほぼ同様となる。準備期間や費用がかかるため組込評価で軸流ファンの騒音測定は実施しなかったが、同様のピークが現れて不快音が発生することが想定できたため選考対象から除外した。次に、Fig.6(c) と Fig.5(b) が同様の回転数となるため比較すると、プロアファンの周波数特性は概ね類似した結果となっている。また、Fig.6 は全体的にプロア 1 の騒音値が大きく見え

るが、実際に音を聞いてみるとブロー 1 が最も小さく感じられた。これらの騒音のピークの影響を定量化するために Fig.3, Fig.4 の騒音値を周囲 4 面それぞれの最大ピーク値の平均値としてみて比較した。単体の評価結果を Fig.7 に示し、組込の評価結果を Fig.8 に示す。

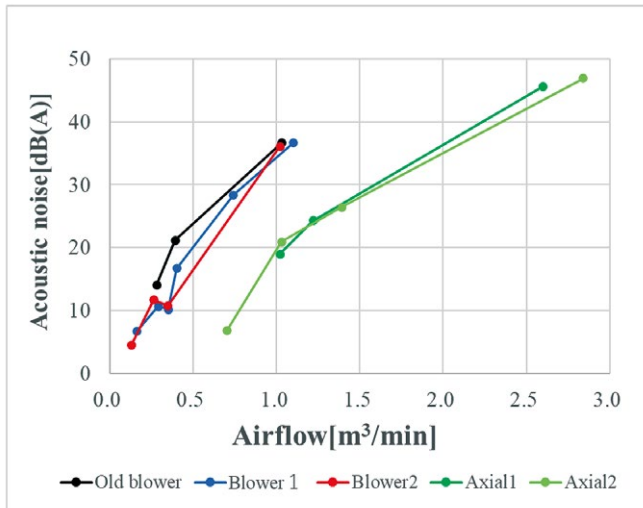


Fig.7 Airflow vs peak acoustic noise level under free-air condition.

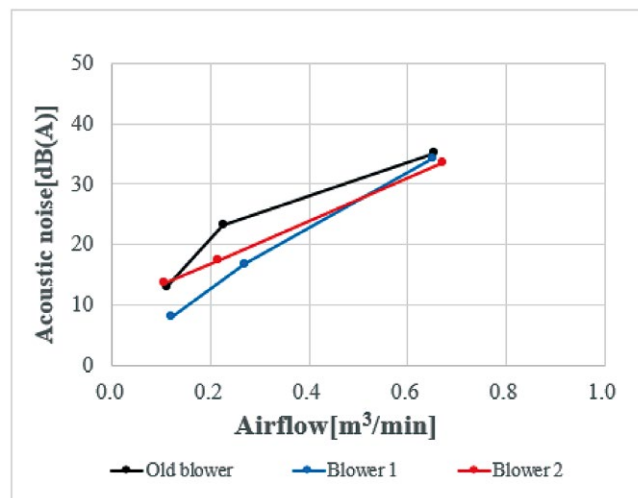


Fig.8 Airflow[m³/min] vs peak acoustic noise with pressure loss.

前項の単体の騒音評価結果では軸流ファンとブローファンの騒音の最大値は共に約 50[dB(A)] となり、ほぼ同等だった。一方、Fig.7 では最大値に約 10[dB(A)] もの差が見られた。この差異に着目することで、不快音を含む定量的な評価が可能と考えた。次に、前項の組込の騒音評価結果ではブローファンの騒音値はどれもほぼ類似した結果であったが、ピーク値で比較すると Fig.8 のように 0.1 [m³/min], 0.2 [m³/min] 付近では明確な差が現れている。差は約 10[dB(A)] となるが、音の強さとして約 3 倍の違いとなるため、値としては大きいと考える。実際、低回転時におけるブロー 1 の音は

ほぼ聞き取れず、不快音も感じられなかったため、実測時の感覚が結果に反映されていると考えられる。この事から騒音値のオーバーオール の平均値だけでなくピーク値の平均値も比較評価項目に加えてスコア化を行う。

## 6. スコア化による定量比較

各ファンのコスト及び製品仕様と評価結果を下記にまとめた。Table2 に調査結果および組込での評価結果、Table3 に Table2 のデータを点数化したスコアを示す。スコアは Table2 の各項で最大値と最小値から 5 段階の等分割として Table4 のように配分し、各項の合計とした。また、開発において最重要項目とされたコストと 0.1[m³/min] 時の騒音値を 2 倍の重みでスコア化した。また、小型化に必要なサイズ、流用性を考慮して最大風量、最大静圧、最小デューティーサイクル(回転数制御範囲)と、想定したモードに対応する風量 0.2[m³/min], 0.7[m³/min] での騒音値を項目とした。尚、コストは見積額とし、サイズ・静圧・最小デューティーサイクルは仕様書から抜粋した。騒音値の平均とピークは 4 項と 5 項で測定した値を使用し、Table2 の軸流ファンの騒音値は単体と組込で同一回転数の騒音値はほぼ同等として記載した。

Table 2 Fan specifications and acoustic noise with pressure loss

Item	unit	Old blower	Blower1	Blower2	Axial1	Axial2	MIN	MAX
Cost	¥	1100	1090	1032	1450	1420	1032	1450
Size	cm <sup>3</sup>	304	461	304	243	243	243	461
Maximum airflow	m <sup>3</sup> /min	1.04	0.86	1.25	2.96	2.42	0.86	2.96
Maximum static pressure	Pa	410	279	844	375	375	279	844
Minimum duty		20	10	10	20	20	10	20
Average level of acoustic noise								
At 0.1[m³/min]	dBA	22.0	20.3	22.3	25.8	20.1	20.1	25.8
At 0.2[m³/min]	dBA	27.8	29.3	25.5	30.7	33.0	25.5	33.0
At 0.7[m³/min]	dBA	43.5	48.0	44.6	52.6	53.2	43.5	53.2
Peak level of acoustic noise								
At 0.1[m³/min]	dBA	13.0	8.0	13.7	19.0	6.8	6.8	19.0
At 0.2[m³/min]	dBA	23.3	16.8	17.4	24.3	20.9	16.8	24.3
At 0.7[m³/min]	dBA	35.2	34.2	33.6	45.6	46.9	33.6	46.9

Table 3 Score table of table 2

Item	Old blower	Blower1	Blower2	Axial1	Axial2
Cost	8	8	10	2	2
Size	3	1	3	5	5
Maximum airflow	1	1	1	5	3
Maximum static pressure	1	1	5	1	1
Minimum duty	2	4	4	2	2
Average level of acoustic noise					
At 0.1[m³/min]	6	8	6	2	10
At 0.2[m³/min]	3	3	5	2	1
At 0.7[m³/min]	5	3	4	1	1
Peak level of acoustic noise					
At 0.1[m³/min]	4	8	4	2	10
At 0.2[m³/min]	1	5	4	1	2
At 0.7[m³/min]	4	4	5	1	1
Total score	38	46	51	24	38



Table 4 Score conversion table of table2

Item	unit	Score					Multiplier
		5	4	3	2	1	
Cost	¥	1032	1137	1241	1346	1450	2
Size	cm <sup>3</sup>	243	298	352	406	461	1
Maximum airflow	m <sup>3</sup> /min	~ 2.96	~ 2.44	~ 1.91	~ 1.39	~ 0.86	1
Maximum static pressure	Pa	844	703	562	420	279	1
Minimum duty	-	-	10	-	20	-	1
Average level of acoustic noise							
At 0.1[m <sup>3</sup> /min]	dBA	20.1	21.5	23.0	24.4	25.8	2
At 0.2[m <sup>3</sup> /min]	dBA	~ 25.5	~ 27.4	~ 29.3	~ 31.1	~ 33.0	1
At 0.7[m <sup>3</sup> /min]	dBA	43.5	45.9	48.4	50.8	53.2	1
Peak level of acoustic noise							
At 0.1[m <sup>3</sup> /min]	dBA	6.8	9.9	12.9	16.0	19.0	2
At 0.2[m <sup>3</sup> /min]	dBA	~ 16.8	~ 18.7	~ 20.6	~ 22.4	~ 24.3	1
At 0.7[m <sup>3</sup> /min]	dBA	33.6	36.9	40.3	43.6	46.9	1

Table3 より、組込ではブロー2 が最もスコアが高い結果となった。平均およびピーク騒音値とコスト、最大静圧のスコアが全体的に良好な結果となり、バランスの取れた性能を有していることが分かった。一方、軸流ファン2 は低回転時では静音性が優れていたが、圧力損失の影響により目標風量を確保するためには高回転数が必要となった。その結果、騒音ピーク値も増加し2[kHz] 帯に複数のピークが発生するという課題が確認された。スコアも低回転時は高いが高回転時は低く、ブローファンよりも低い結果となっている。

## 7. 結論

本検討により、MC-S311C に最適なファンモーターとして、従来同様のブロー型のブロー2 を選定するに至った。仕様、コスト、騒音ピークの定量的な比較評価を通じて静音性と総合性能のバランスに優れたファンモーターを選定できた。しかしながら、スコア項目は開発内容や用途に応じて変更の必要があり、項目とスコアの最適化については検討していく必要があると考える。

今後の課題として、さらなる静音化のためには以下の検討も必要と考える。

- 1) フィルターの圧力損失が今後増加する場合  
羽根形状、モーター、筐体設計を最適化した遠心ファンの検討（カスタム設計）
- 2) フィルター圧力損失の低減が可能である場合  
本検討では不採用となったが、軸流ファンは低回転時において高い静音性と風量性能があることが分かった。特に、騒音ピークの発生しない低回転域での運転を活用することも有効なアプローチであると考え。

## 参考文献

- 1) 山洋電気株式会社「山洋電気の製品・技術情報サイト TECH COMPASS ファンの種類」  
[https://techcompass.sanyodenki.com/jp/training/cooling/fan\\_basic/002/index.html](https://techcompass.sanyodenki.com/jp/training/cooling/fan_basic/002/index.html)
- 2) ミネベアミツミ株式会社「ミネベアミツミ モーター ルーム」  
[https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/blower\\_fan\\_motor/](https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/blower_fan_motor/)  
[https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/axial\\_fan\\_motor/](https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/axial_fan_motor/)  
[https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/centrifugal\\_fan\\_motor/](https://product.minebeamitsumi.com/tech/motor/motor/centrifugal_fan_motor/)
- 3) 大和電機株式会社「クロスフローファンモーター」  
<https://www.daiwa-ele.com/crossflow/>
- 4) 三菱電機株式会社「換気扇・送風機の種類」  
[https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/guide/support/knowledge/detail\\_03.html](https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/guide/support/knowledge/detail_03.html)
- 5) JISB8330 送風機の試験及び検査方法
- 6) JEM1467 家庭用空気清浄機
- 7) 総務省「騒音に関わる苦情とその解決方法」  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000352509.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000352509.pdf)

## ディッピング塗装工程の引き上げ速度条件が 超親水性被膜特性に及ぼす影響評価

### Evaluating the Effect of Lifting up Speed Conditions in the Dip Coating Process on the Properties of Super Hydrophilic Coatings

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  
第三開発室 リーダー  
柏井 昌彦  
Masahiko Kashiwai

技術開発センター  
第一開発室 主任技師  
博士(工学) 山本 清司  
Kiyoshi Yamamoto

#### 要 旨

熱交換器の放熱フィンに光触媒による超親水性を付与することで、伝熱性の向上や結露による通風抵抗の発生が抑制できると考えられている。しかしウェーブフィンのような曲げ形状を持つ金属材料に対して塗装する場合、ディッピング塗装では塗装ムラに起因する薄膜部の被膜特性低下や厚膜部の剥がれが発生するという課題がある。本稿では、高温高圧環境下の工業用熱交換器で主に使用される SUS 製放熱フィン に対しディッピング塗装による均一な超親水性被膜形成を実現するため、曲げ加工を加えた SUS304 試験片に対してコーティング液浸漬後の引き上げ速度条件を変えることで均一性の改善及び親水性と耐久性の両立を試みた。その結果、3.0mm/s で引き上げることで比較的均一かつテープ剥離後も超親水性が持続する被膜が得られた。

#### Abstract:

It is considered that by imparting super hydrophilic properties to the heat dissipation fins of heat exchangers using a photocatalyst, it is possible to improve heat transfer and suppress the occurrence of ventilation resistance due to condensation. However, when coating metal materials with bent shapes like wave fins, dip coating can result in uneven coating, which can lead to a decrease in film properties in thin areas, and peeling in thick areas. In this paper, in order to achieve the formation of a uniform super hydrophilic coating on a SUS heat dissipation fin by dip coating which are primarily used in industrial heat exchangers in high-temperature, high-pressure environments. We attempted to improve uniformity and achieve both hydrophilicity and durability by changing the lift-up speed conditions after immersion in the coating solution on a bent SUS304 test piece. As a result, by lifting up at 3.0 mm/s, a relatively uniform coating was obtained that maintained its superhydrophilicity even after tape peeling.

#### 1. 緒言

酸化チタンに代表される光触媒を固体表面に塗装すると、Fig. 1 のように塗装面に親水基である OH 基が形成し超親水性が付与されることが知られている。先

行研究によると、熱交換器の放熱フィンに対する超親水性被膜の形成で、フィン間の結露水によるブリッジング防止、伝熱性の向上、結露による通風抵抗の低減が発揮されたという報告がある<sup>1)</sup>。

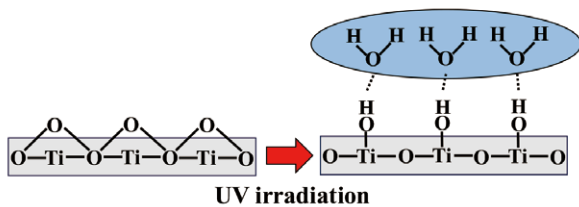


Fig.1 Super hydrophilic mechanism of photocatalyst.

しかし、著者らがウェーブフィンのような曲げ形状を持つ金属材料に対してディッピング塗装による超親水性被膜の形成を試みた結果、コーティング液面に対して鉛直に引き上げていない塗装面では Fig. 2 のような塗装ムラが発生し、薄膜部の被膜特性低下や厚膜部の剥がれが生じるという課題が発生した。熱交換器に組み込まれたフィンにアフターコートする場合、引き上げ方向の制限から上記のような塗装ムラが発生する恐れがある。

そこで、本研究では高温高圧環境下の工業用熱交換器用途で使用されることが多い SUS 製ウェーブフィンへの均一なディッピング塗装を行うことを目的に、曲げ加工を加えた SUS304 試験片に対して均一な超親水性被膜を形成する塗装条件の最適化を試みた。本稿では、ディッピング塗装工程でコーティング液に浸漬した状態からの引き上げ速度条件を変更することによって、被膜特性の違いを評価した。

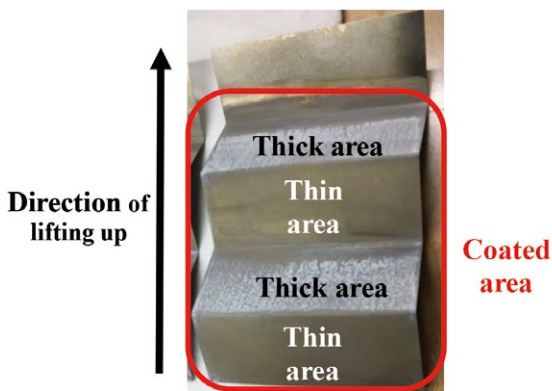


Fig.2 Surfaces with different thickness on wave fins.

## 2. 塗装評価の概要

### 2.1 試料の塗装条件

試験片として、寸法が 100mm × 50mm × 0.1mm の SUS304 平板を用いた。熱交換器内のウェーブフィンへの塗装を想定し、超親水性被膜の塗装前に Fig. 3 のように検討中のフィン形状を模して 22° の曲げ加工を加えた。試験片の上部両面 20mm × 50mm の範囲はディッピング塗装時の持ち代としてテープでマスキングし、残りの面を塗装対象とした。塗装面は折り曲げ部で区切られた 40mm × 50mm の範囲に 4 つに区分けし (area 1 ~ 4)、各面の被膜特性を評価した。

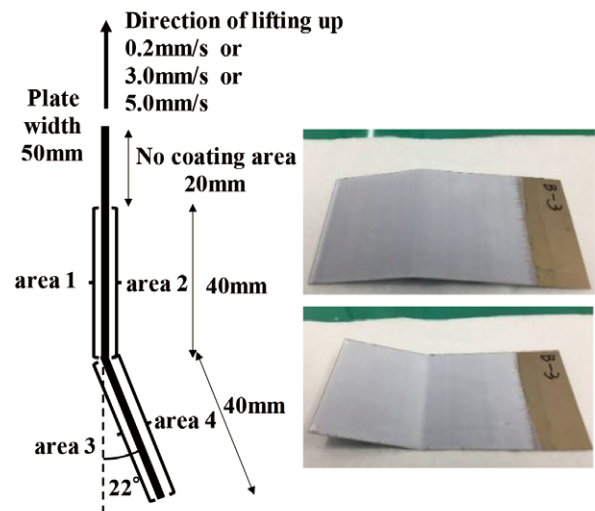


Fig.3 Each surface of the test piece and the lifting direction in the dip coating process.

次に、超親水性被膜の塗装手順を Fig.4 に示す。手順は 5 つの工程で構成され、まず試験片はエタノール及び精製水の混合液を用いて超音波洗浄処理と乾燥によって表面を清浄化する。その後、アンカー効果による超親水性被膜の密着性向上を目的として塩化第二鉄液によるウェットエッチングを実施し表面にサブミクロン程度の粗度を付与した。エッチング後の試験片は速やかに水洗後、再度超音波洗浄と乾燥を実施した。これらの前処理を経たのち、酸化チタンコーティング液を用いてディッピング塗装を行った。ディッピング塗装工程では酸化チタン濃度 15wt% のコーティング液に試験片を浸漬後、以下の 3 条件の速度で引き上げたのちドライヤーで乾燥させた。

- ① 0.2mm/s
- ② 3.0mm/s
- ③ 5.0mm/s

このディッピング塗装工程は各サンプルに対し 2 回ずつ実施した。その後、焼成工程として電気炉で 300°C × 3 時間焼成した。

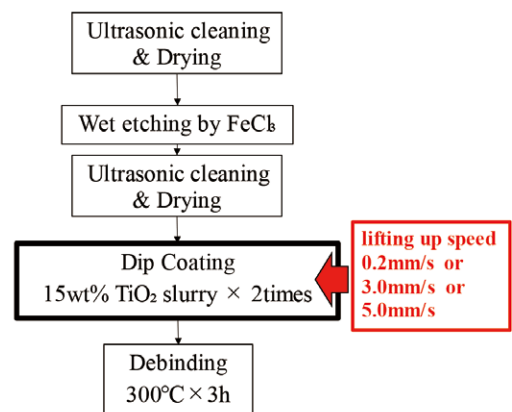


Fig.4 Application process for super hydrophilic coated test piece.



## 2.2 試料の評価項目

超親水性被膜特性の評価については、各条件における試料の膜厚と精製水の濡れ拡がり径、テープ剥離時の重量変化をそれぞれ測定し、以下の3項目の基準で評価した。

- ① 被膜均一性・・・各塗装面の「膜厚絶対量のばらつき（ $\equiv$ 標準偏差）」と「平均膜厚に対する膜厚相対量のばらつき（ $\equiv$ 相対標準偏差）」がいずれも小さくなる塗装条件を模索
- ② 超親水性・・・精製水 5mm<sup>3</sup> 滴下時の濡れ拡がり径が 8.4mm 以上となる（ $\equiv$ 接触角 5° 以下に相当）
- ③ 被膜耐久性・・・テープ剥離後も超親水性が維持され、剥離痕が目視で残らない（超親水性と被膜耐久性の両立）

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 各塗装面の膜厚測定による被膜均一性評価

超親水性被膜の塗装前後の重量を測定し、各引き上げ速度条件での成膜重量を算出した。その後、各塗装面の一部に引っ掻き傷を入れ、Fig. 5 に示すように 3 次元レーザー顕微鏡（VK-X3000、キーエンス）で観察された高低差から各面の平均膜厚を算出した。

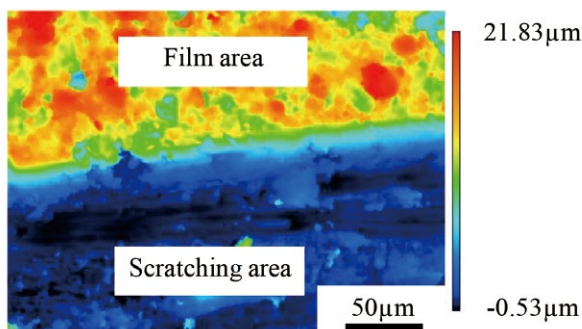


Fig. 5 Film area and scratching area on test piece.

Fig. 6 に各引き上げ速度条件での被膜重量と各塗装面の膜厚を、Fig. 7 に各引き上げ速度条件の平均膜厚  $\mu$  とその標準偏差  $\sigma$  及び相対標準偏差  $\sigma/\mu$  を示す。引き上げ速度が高くなるほど、平均膜厚  $\mu$  と被膜重量が増加する傾向が見られた。これは、低速条件でコーティング液から引き上げる場合の成膜メカニズムがコーティング液の表面張力と引き上げ速度に依存しているためである<sup>2)</sup>。また、いずれの引き上げ速度条件においても、塗装面 1~4 の中で塗装面 4 の膜厚が最も大きくなるという傾向が確認された。これは、コーティング液に対して面がほぼ垂直な状態で引き上げた塗装面 1 及び 2 とは異なり、塗装面 4 はコーティング液に対して受け面になっているためコーティング液を他面と比べて物理的に持ち上げやすい状態になっていたと考えられる。

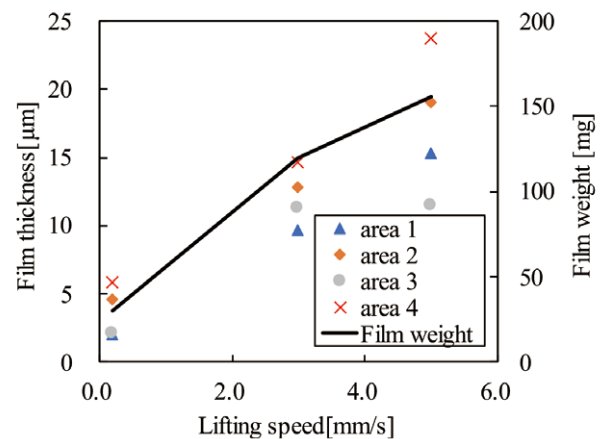


Fig. 6 Film thickness and weight at each lifting speed.

次に、Fig. 7 に示した膜厚の標準偏差  $\sigma$  (Standard deviation) によって、膜厚絶対量のばらつきを評価した。引き上げ速度 0.2 mm/s と 3.0 mm/s の条件は、標準偏差が 2.0  $\mu$ m 程度しかないのに対し、5.0 mm/s の標準偏差は 4.6  $\mu$ m と倍以上となった。前述した引き上げ速度と平均膜厚の相関とあわせて考察すると、引き上げ速度が一定以上に速い場合、膜厚絶対量のばらつきが大きくなり、厚膜形成からのひび割れや剥がれに繋がる恐れがあると考えられる。

一方、膜厚の相対標準偏差  $\sigma/\mu$  (Relative standard deviation) は、標準偏差を平均膜厚で除した値で、平均膜厚に対する相対的なばらつきを示す指標である。相対標準偏差は平均膜厚が薄い引き上げ速度 0.2 mm/s の条件で 45% と最大になり、3.0 mm/s の条件で 15% と最も低くなった。このことから、引き上げ速度が一定以上に遅いと膜厚が薄くなり、被膜特性が不十分な箇所が形成される恐れがあることが示唆される。標準偏差と相対標準偏差を踏まえると、引き上げ速度 3.0 mm/s の条件で塗装することで膜厚のばらつきを抑えた成膜が出来ると考えられる。

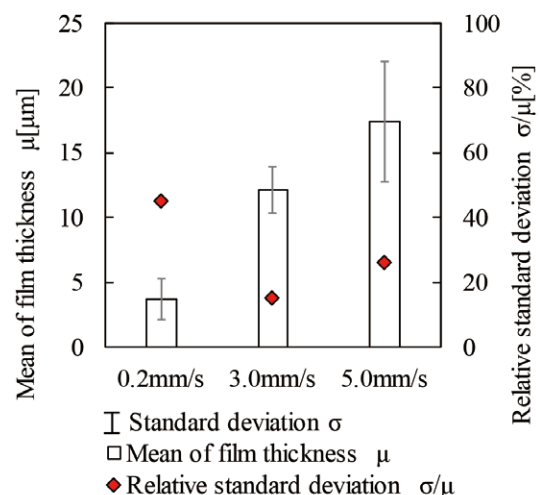


Fig. 7 Film thickness statistics.

### 3.2 濡れ拡がり径測定による親水性評価

被膜の親水性を評価する手段としては、接触角測定が一般的だが、より簡易な方法として精製水滴下時の濡れ拡がり径を測定した。接触角は、Fig.8 に示す理論液滴モデル体積と濡れ拡がり径の関係から近似値を算出可能である<sup>3)</sup>。超親水性の明確な学術的定義はないが、一般的には接触角が 5° 以下であることが一つの判断基準とされており<sup>4)</sup>、この理論液滴モデルから 5mm<sup>3</sup> 滴下時の濡れ拡がり径を算出すると 8.4mm 以上に相当する。これを踏まえ、各塗装面の濡れ拡がり径が 8.4mm 以上か否かで超親水性の有無を評価した。本稿では、ガスタイトシリンジを用いて精製水 5mm<sup>3</sup> を被膜に滴下し、5 秒後の濡れ拡がりを Fig. 9 のように撮影して、濡れ拡がり径を測定した。

V · · · Theoretical droplet model volume  
D · · · Wet spreading diameter  
θ · · · contact angle

$$V = \frac{\pi}{3} \times \left(\frac{D}{2}\right)^3 \times \frac{\sin \theta}{(1 + \cos \theta)^2} \times (2 + \cos \theta)$$

$$(= 5\text{mm}^3)$$

Fig.8 Theoretical droplet model and contact angle.

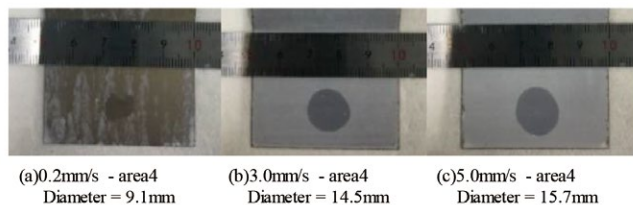


Fig.9 Wetting spread diameter at each lifting speed on area 4.

Fig. 10 に各条件の膜厚と濡れ拡がり径の測定結果を示す。被膜塗装前の試験片の濡れ拡がり径は 2.8 mm (接触角 84.6° に相当) であるのに対し、被膜塗装後の濡れ拡がり径はいずれも 8.4mm より大きくなった。このことから、本研究における光触媒被膜塗装によって試験片は超親水性が付与されたといえる。ただし、引き上げ速度 0.2mm/s の試験片は、いくつかの塗装面で濡れ拡がり径が円形にならなかった。これは 3.1 項で述べたように 0.2mm/s 条件では膜厚の相対標準偏差  $\sigma / \mu$  が大きく、膜厚が一部不足しているためであると考えられる。

また、3.0mm/s 以上の条件では、膜厚が 10  $\mu\text{m}$  以上の被膜が成膜されているため、安定した親水性特性が示された。濡れ拡がり径は膜厚 15  $\mu\text{m}$  程度までは膜厚の増加に伴い単調増加したが、15  $\mu\text{m}$  以上では

濡れ拡がり径は 15mm 程度 (接触角 0.9° に相当) で飽和した。これは、膜厚の増加に伴い水の一部が膜内部へ浸透し、表層に残る水の総量が減ったことによるものと考えられる。

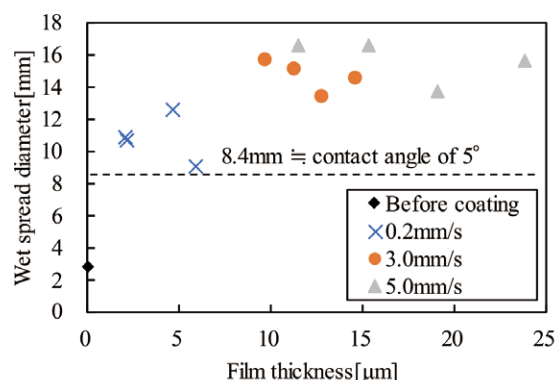


Fig.10 Wet spread diameter of each film area.

### 3.3 テープ剥離試験による耐久性評価

被膜の耐久性を評価するためにテープ剥離試験を実施した。試験方法は以下の通りである。

試験片の各塗装面に対し、25mm × 50mm の範囲でテープを密着させ剥離させた。使用したテープは 3M 社製スコッチ® 平面紙マスキングテープ 250 (流通終了品) で、ローラーに 2kg 負荷で 8 回通し密着させた。剥離後は、試験片の重量変化と目視で剥離痕の有無を確認することにより被膜耐久性を評価した。また、剥離試験後の剥離面で再度濡れ拡がり径を測定し、超親水性の基準となる 8.4mm 以上を維持しているか否かを確認した。

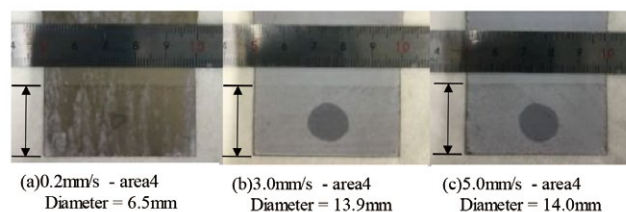


Fig.11 Wetting spread diameter on area 4 after tape peeling.

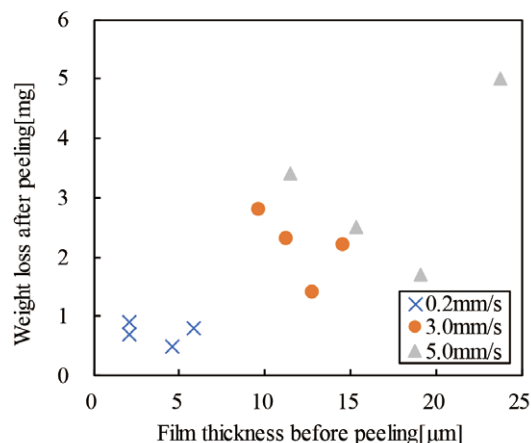


Fig.12 Weight change due to tape peeling.

Fig. 11 に示すように、引き上げ速度条件によらず、いずれの塗装面においても剥離痕は目視で確認された。これにより、被膜耐久性については被膜成分や前処理条件といった引き上げ速度以外でのアプローチが必要になると考えられる。また、各塗装面でのテープ剥離時の重量変化について検証すると、Fig. 12 に示すように剥離前の膜厚が大きい面ほど剥離重量も大きい傾向が見られ、膜厚の増加に伴い被膜の耐久性が低下する傾向が示された。

さらに、剥離前の膜厚と剥離後の濡れ拡がり径の結果を Fig. 13 に示す。引き上げ速度 0.2mm/s の試験片は、剥離後に濡れ拡がり径 8.4mm 以下の面が発生した。これは、剥離によって超親水性が失われたことを意味している。一方、引き上げ速度 3.0mm/s と 5.0mm/s の試験片では剥離後も全ての面で濡れ拡がり径が 8.4mm を超えていることから、超親水性が持続していることがわかる。

以上を踏まえ、剥離後も超親水性が持続しテープ剥離重量が小さかった引き上げ速度 3.0mm/s の条件が今回の 3 条件の中では耐久性が比較的優れていると考えられる。

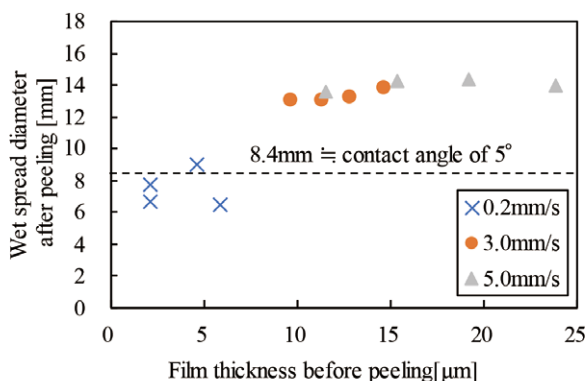


Fig. 13 Wet spread diameter of each film area after tape peeling.

#### 4. 結論

これまでの試験で評価した被膜特性について以下にまとめる。

##### ① 被膜均一性

いずれの塗装条件においても、コーティング面に対して受け面になっている塗装面は、被膜が過剰に厚くなる傾向が見られた。引き上げ速度が速い 5.0mm/s の条件では他の速度条件と比べ膜厚ばらつきの絶対量が大きくなった。引き上げ速度が遅い 0.2mm/s の条件では膜厚絶対量のばらつきが大きくなった。今回の 3 条件では引き上げ速度 3.0mm/s で膜厚の絶対的及び相対的なばらつきが小さく、10 μm 前後の安定した被膜が得られた。

##### ② 超親水性

今回の 3 条件では全ての引き上げ速度条件で超親水性特性が付与された。0.2mm/s 条件では親水性にムラが生じた。濡れ拡がり径は膜厚 15 μm 前後までは膜厚の増加に伴い大きくなったが、それより厚い条件では膜内部への水の浸透により 15mm 程度（接触角 0.9° に相当）で飽和した。

##### ③ 被膜耐久性

今回の 3 条件ではテープ剥離痕が残らない被膜は実現しなかったため、耐久性については引き上げ速度以外のアプローチが必要となる。テープ剥離時の重量変化については剥離前の膜厚が大きい面ほど重量変化も大きい傾向が見られ、膜厚の増加に伴い被膜の耐久性が低下する傾向が示された。

膜厚が薄い 0.2mm/s 条件では剥離後に超親水性が失われた一方で、引き上げ速度 3.0mm/s と 5.0mm/s の条件は超親水性を維持していた。

重量変化と剥離後濡れ拡がり径を考慮すると、引き上げ速度 3.0mm/s の条件で成膜された膜厚 10 μm 程度が望ましく、比較的耐久性に優れていた。

これらの知見を踏まえ、曲げ加工を加えた SUS304 試験片への超親水性被膜を塗装する条件としては、引き上げ速度 3.0mm/s で均一な親水性とある程度の耐久性を両立する超親水性光触媒被膜を塗装できるという結論となった。ただし、耐久性については一部課題が残ったため、被膜成分や前処理条件といった要素から引き続き改良を進める。

#### 参考文献

- 岡部 明吉, 竹村 竜太ら: 日本機械学会九州支部講演論文集 2007 年 60 巻 p357-358
- 株式会社あすみ技研「引上げ速度と膜厚の関係について」  
<https://www.dip-coater.com/dipcoating/pullup.html>
- Stephen K. Wilson, Hannah-May D'Ambrosio: Annual Review of Fluid Mechanics 2023 Volume 55 p481-509
- Yunqian Zou, et al.: Journal of Chemical Education 2024 Volume 101(9) p3883-3890



## パートナー企業のご紹介 ―積水化学工業株式会社様の管更生工法―

本稿の特集論文にてご紹介している積水化学工業株式会社様の管更生工法である SPR® 工法について、下水道以外の配管への対応として工場内配管の更新も実施している「管きょ更生工法」についてご紹介します。

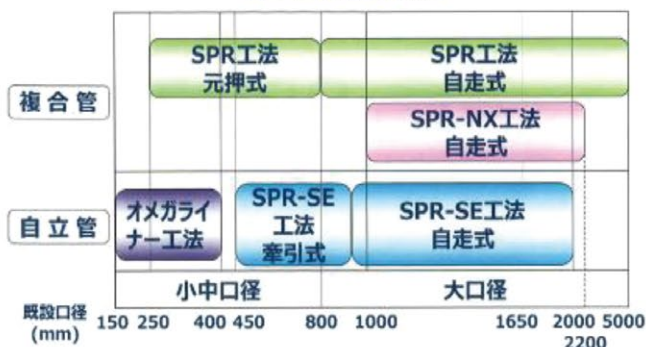
管きょ更生工法とは、老朽化による既設管きょの破損や耐震性能など不安のある管きょに対し、非開削で内面から新たな管を構築して性能回復、リニューアルする工法です。

管きょ更生工法のメリットは主に 4 点が挙げられます。

- ①開削と比較して工期が短い
- ②建造物の下にある管路でも最小限の開削で施工可能
- ③開削と比較して施工コストが安い
- ④廃棄物、CO2 排出量など環境負荷が少ない

上記のメリットに加え、SPR® 工法では、管種も鉄筋コンクリート以外の材質も取り揃えており、既設管口径や構造形式等対象物によって様々な対応が可能になっています。

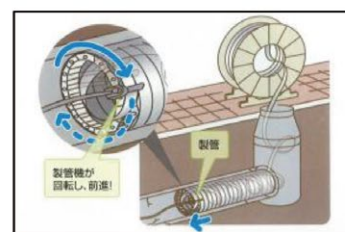
各工法の適用範囲



更生工法	
自立管	複合管
既設管を考慮せず、更生材のみで自立	既設管を考慮し、更生材と一体化し強度復元
概要	概要

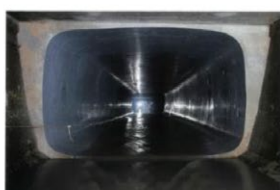
SPR® 工法の特長として、

- ・小口径から大口径（適用口径：φ 250 ～ 4750）まで施工が可能
- ・水を流したまま施工することが可能  
（水位は管径の 30% かつ 60cm 以下、流速 1m/s 以下）
- ・あらゆる断面形状（円形・矩形・馬蹄形・卵型等）に対応でき、  
自走式であれば長距離施工、曲線施工も可能  
となっています。



卵形きょ

矩形きょ



馬蹄形きょ



管路施設の耐震化や配管更新のお困りごとがございましたら、お気軽にご相談ください。

江川 太郎（エンジニアリング事業部）

お問い合わせ先

積水化学工業株式会社  
管路更生営業部 西日本管路更生営業所  
九州管路更生グループ  
グループ長  
大安 正和 様

TEL 092 (271) 1314

<https://www.sekisui.co.jp/newfrontier/fact/spr/>

## 建築・建材展 2025

2025 年 3 月 4 日（火）～ 7 日（金）に東京ビックサイトにて開催された『建築・建材展 2025』に初出展しました。本展示会は、建築設計事務所や住宅メーカー・工務店・リフォーム業者などに向けて、各種建材、設備機器、ソフトウェア、工法、関連サービスをまとめて紹介する国内有数の建築関連の総合提示会です。

当社は、光除菌床材「ヒカリノユカ」として、既存商品である塩ビ系タイル、セラミックタイルに加え、2025 年末に販売を開始する新製品の塩ビ系シートを展示いたしました。本展示会では、光除菌床材「ヒカリノユカ」の施工方法や床材商品の種類などについてのご質問を頂いたり、スポーツジムなど臭いの問題を抱える企業様に当社の除菌・消臭技術について関心を持って頂きました。

2025 年末に発売開始を予定している新たな床材である塩ビ系シートについても PR する良い機会となりましたので、今後も様々な展示会にて当社製品や技術についてご紹介し皆様のお役に立てるよう努めて参ります。

### ・ 出展内容 ・



※ブルーデオ、ヒカリノユカは、株式会社フジコーの登録商標です。

大園 純（株式会社マスクフジコー）

## リフォーム産業フェア2025

2025年9月17日（水）・18日（木）に東京ビックサイトにて開催された『リフォーム産業フェア2025』に出展しました。本展示会は、リフォーム業のプロを対象にした日本最大級の総合展示会です。

当社は、本展示会では唯一のペット関連ブースで他企業様との合同出展として、光除菌床材「ヒカリノユカ」と脱臭除菌機「ブルーデオ S にゃんこモデル（MC-S311C）」を展示いたしました。

本展示会では床材に関心を持たれる来場者の方が非常に多く、「ヒカリノユカ」を用いて消臭技術の説明をし、その消臭能力を「ブルーデオ S にゃんこモデル（MC-S311C）」の消臭デモにて実感して頂くことができました。また、ペット向けの建材に関するご質問を頂く中で、新たな商品ニーズを探索することができ貴重な機会となりました。

### ・ 出展内容 ・



※ブルーデオ、ヒカリノユカは、株式会社フジコーの登録商標です。

大園 純（株式会社マスクフジコー）



## ライフスタイル Week OSAKA 2025（国際雑貨 EXPO 展）

2025 年 9 月 24 日（水）～ 26 日（金）にインテックス大阪にて開催された『ライフスタイル Week OSAKA 2025（国際雑貨 EXPO 展）』に出展しました。本展示会は、雑貨・インテリア・美容・食品など、多彩な商材が一堂に会する西日本最大級のライフスタイル総合展です。

当社は空気清浄機「ブルーデオ」シリーズをはじめ、清潔で快適な空間づくりに貢献する各種製品を紹介しました。特にブルーデオシリーズの新製品として、11/1 に発売した猫特有の臭い排泄臭に対応した脱臭除菌機「ブルーデオ S にゃんこモデル（MC-S311C）」を展示ブースに設置いたしました。

今回のブースでは空気清浄機を通路側前面に展示していたので、当社商品に興味を持たれた多くの方々に立ち止まっていただき、特に猫オーナーの方々から新商品「ブルーデオ S にゃんこモデル」についてのご質問を頂く機会を得ることができました。また、海外からの来場者も多く、現地販売についての要望も伺うことができました。

今後もペット関連や建材関連の展示会に出展し、当社商品の認知向上や販路開拓を通じ、より多くのお客様のお役に立つことができるよう販売活動を推進いたします。

### ・ 出展内容 ・



※ブルーデオ、ヒカリノユカは、株式会社フジコーの登録商標です。

中島 祐一郎（若松響工場）

## 編集後記

この度、FUJICO技報「創る」の第33号を無事発刊することができました。

本誌の制作にご協力・ご尽力頂きました関係者の皆様、特に巻頭言を執筆頂きました北九州市教育委員会教育長 太田清治様には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

本号では、鉄鋼事業から立ち上がった建設業を担うエンジニアリング事業部の取組について協力会社様と併せてご紹介しました。

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

### フジコー技報アンケートのご案内

今後、更なる内容を充実させていくためアンケートにご協力いただけますと幸甚です。

右記載のQRコードよりご回答くださいますよう、よろしくお願い致します。



フジコー技報 技報 -tsukuru No.33 令和7年12月発行

---

編集発行人 中山 輝路

発行所 株式会社フジコー 技術開発センター  
〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目110-10  
Tel 093-701-4500  
<https://www.kfjc.co.jp/>

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

本誌の著作権は当社に帰属しており、無断での転載・複製を禁じます。



TSUKURU