

平成 30 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業
「大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発」

研究開発成果等報告書

令和元年 5 月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 公益財団法人みやぎ産業振興機構

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び課題1,2
1-2	研究体制2,3
1-3	成果概要4
1-4	当該研究開発の連絡窓口4

第 2 章 本論

2-1	大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発	.. 5,6,7,8
2-2	噴霧ガン、噴霧ノズルの開発 8,9
2-3	噴霧状態、塗膜面形成状態の可視化システム開発	... 9,10
2-4	塗料開発11
2-5	塗料コスト削減・VOC 削減率の向上 11

最終章	全体総括	...12,13
-----	------	----------

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究開発の背景】

塗装工業は、図1に示す通り平成12年度の全産業のVOC排出総量、約140万トンのうち53万トン（38%）を排出しており、全産業の中で最大のVOC排出業種となっていた。そこで塗装工業界として、平成18年改正大気汚染防止法施行に伴うVOC規制に対して、水性塗料への転換、有機溶剤塗料のハイソリッド化（塗料中の有機溶剤の量を減らして固形分濃度を高くする。粘度が高くなる。）、あるいは有害有機溶剤成分の削減など、積極的に取り組みを行っており、その結果、平成22年度には、目標（平成12年度比30%削減）を大幅に上回る45%削減を

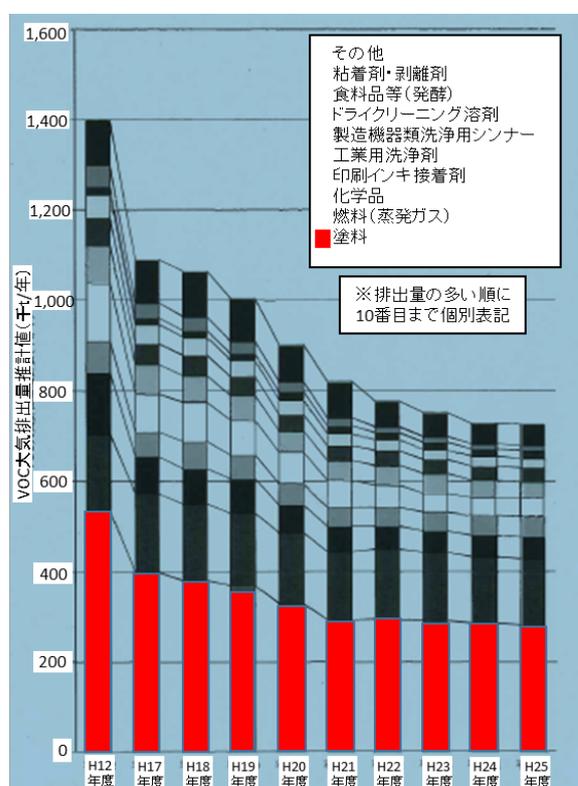


図1 発生源品目別VOC排出量の推計結果

(H27.3月揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会資料)

【研究目的】

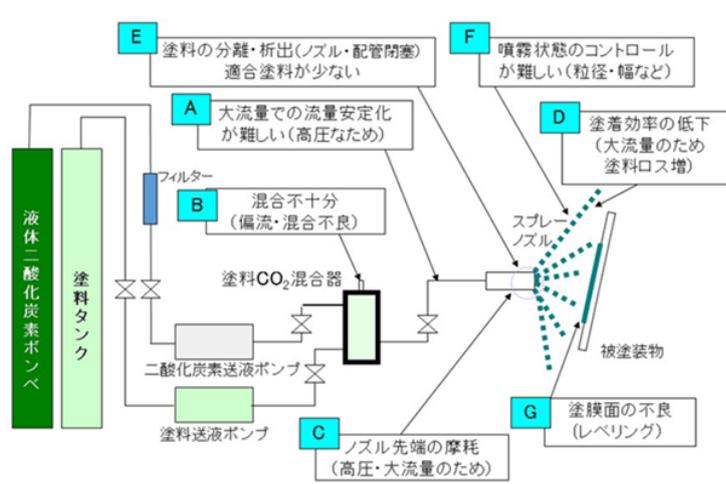
塗料の流動性を向上させる性質をもつ、高圧炭酸を利用した（希釈溶剤代替に高圧炭酸を使用）大流量吐出高圧炭酸塗装機とそれに適合した塗料を開発し、VOCの大幅削減に寄与することを目的とする。

達成していた。

それにも関わらず業種別の割合（平成22年度）では、全産業VOC総排出量79万トンのうち塗装工業は29万トン（37%）を排出しており、相変わらず、全産業の中で最大のVOC排出業種であり、平成25年度においてもほぼ横ばいで推移している。したがって更なるVOC削減対策が求められているところであるが、特に大型製品（建機・船舶、工業プロセス等）では具体的な解決方法がなく、VOC削減のニーズが極めて高い状況にある。

【研究課題】

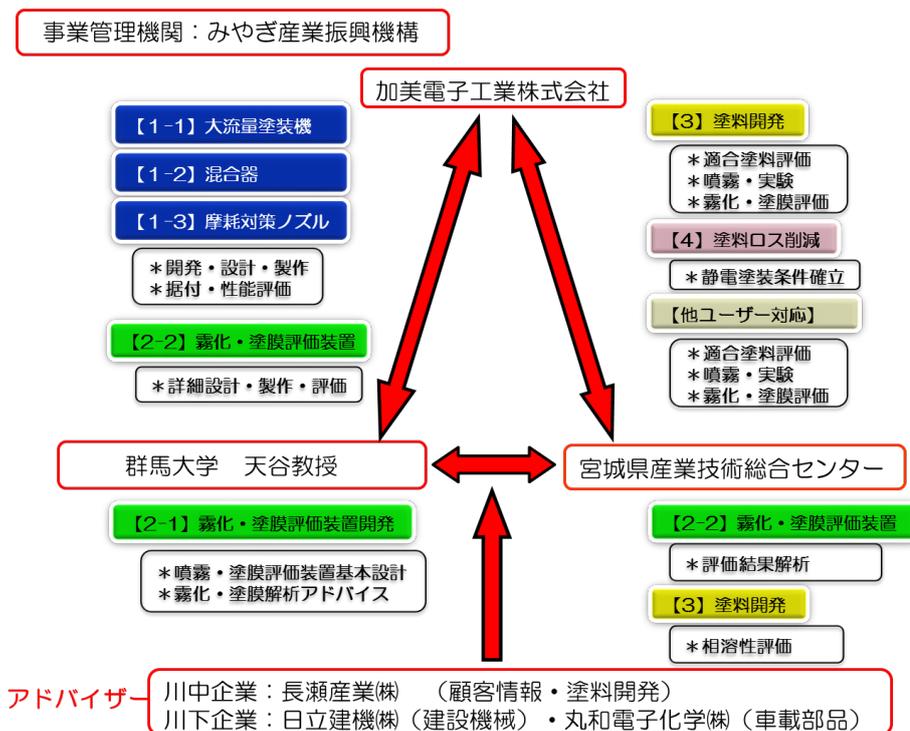
開発する大流量吐出高圧炭酸塗装機の概略図と課題は以下である。



図：大流量吐出高圧炭酸塗装機概略と開発課題

開発するのは、希釈溶剤（シンナー）の代わりに塗料に高圧炭酸を混ぜて噴霧させる大流量吐出の高圧炭酸塗装機である。大流量化のための装置的課題（A・B・C）を解決するとともに、塗着ロス（塗料の飛散）の少ない（D）、様々な客先ニーズにも適合できる塗料(E)も開発する。また、噴霧状態を評価できるシステムも開発する。（F・G）

1-2 研究体制



【研究員】

加美電子工業株式会社

氏名	所属・役職	備考
千葉 雄一	開発技術部 部長	PL
佐藤 仁	開発技術部 炭酸塗装・解析担当	SL
佐藤 幸	開発技術部 係長	
鈴木 将平	開発技術部 係長	
長谷川正治	技術顧問	

国立大学法人群馬大学

氏名	所属・役職	備考
天谷 賢児	大学院理工学府 知能機械創製部門 教授	
矢野 絢子	大学院理工学府 知能機械創製部門 助教	

宮城県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	備考
今野 政憲	材料開発・分析技術部 部長	
佐藤 勲征	材料開発・分析技術部 上席主任研究員	
氏家 博輝	材料開発・分析技術部 上席主任研究員	
浦 啓祐	材料開発・分析技術部 副主任研究員	
加藤 景輔	材料開発・分析技術部 研究員	
伊藤 克利	企画・事業推進部 上席主任研究員	

【協力者】 アドバイザー

氏名	所属・役職	備考
中川 勇樹	日立建機株式会社 生産技術センタ 主任技師	
鈴木 康之	丸和電子化学株式会社 技術部第1 技術課 課長	
光本 政敬	長瀬産業株式会社 NAW コーティング 実験チームリーダー	
成田 昇	長瀬産業株式会社 機能化学品事業部	

【管理員】

公益財団法人みやぎ産業振興機構

氏名	所属・役職	備考
熊谷 実	産業育成支援部 部長	
清正 真砂	産業育成支援部 地域連携推進課 課長	
石川 仁	産業育成支援部 地域連携推進課 課長補佐	
菅原 崇	産業育成支援部 地域連携推進課 主査	
小野寺桂三	産業育成支援部 地域連携推進課 技術力向上専門員	
八重樫順一	産業育成支援部 地域連携推進課 技術力向上専門員	

1-3 成果概要

① 大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発

- ・大流量での塗料噴霧を安定的に行える塗装システムの開発を進め、当初計画通りに大流量吐出高圧炭酸塗装機を完成させた。

② 噴霧ガン、噴霧ノズルの開発

- ・課題を改善した噴霧ガンの開発及びテイル、スジムラのない噴霧ノズルを完成させ、あらゆる吐出量に対応可能となった。

③ 噴霧状態、塗膜面形成状態の可視化システム開発

- ・噴霧パターン観察（側面）、粒度分布計測（側面）、塗膜形成過程観察（裏面）を行える可視化装置を開発した。
- ・CO₂の可視化については可視化できることを確認できた。

④ 塗料開発

- ・ウレタン系塗料での50%希釈溶剤削減の実施
 - ・フタル酸系塗料での75%希釈溶剤削減の実施
- ウレタン系、フタル酸系共に希釈溶剤処方独自に調合、及び塗装プロセスを改善した事で目視確認できるレベルの気泡痕なく、塗膜を形成することができた。

⑤ 塗料コスト削減・VOC削減率の向上

- ・炭酸塗装に静電塗装を組み合わせる事で塗着効率を向上させる事が確認できた。
- ・静電レスにおいても、塗着効率を従来よりも向上させる事が確認できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

（事業管理機関）

公益財団法人みやぎ産業振興機構

産業育成支援部 地域連携推進課 八重樫順一

電話：022-225-6638 FAX：022-263-6923

E-mail：j-yaega@joho-miyagi.or.jp

（研究機関）

加美電子工業株式会社 開発技術部 千葉雄一

電話：0229-67-3110 FAX：0229-67-6236

E-mail：yu-chiba@kamidenshi.com

第2章 本論

2-1 大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発

〈 塗装装置 〉

- ・ 2丁ガン仕様の装置で1ガンあたりの最大吐出流量：1.5L/min、最大吐出圧力：20MPa で塗料噴霧を安定的に行える塗装システムの開発を進めた。

初年度に製作した開発機にて基本仕様の性能評価を実施し、当初目標を達成する事ができた。最終年度には開発機で得られた技術を基に、より安価でコンパクトな塗装装置を開発し、現場用（量産向け）の大流量吐出高圧炭酸塗装機を完成させた。

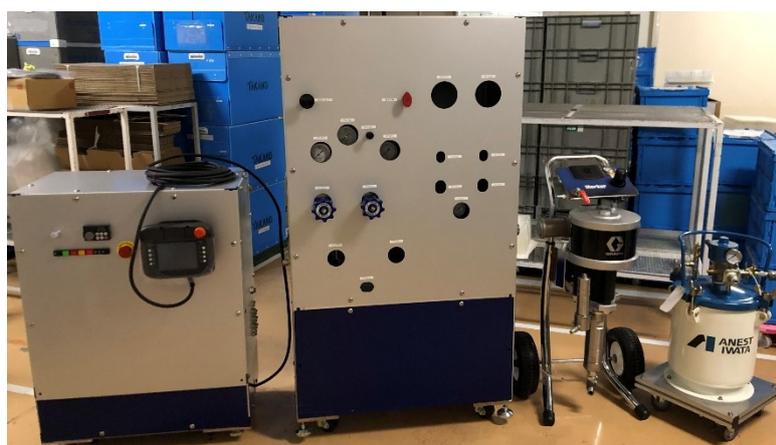


塗料混合ユニット



炭酸供給+制御ユニット

大流量吐出高圧炭酸塗装開発機



制御ユニット

塗料混合+炭酸供給

塗料タンク&ポンプ

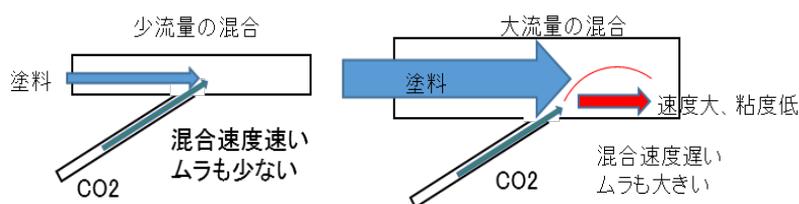
現場向け大流量吐出高圧炭酸塗装機

- 装置原価低減、ダウンサイジングを目的としたユニット毎のマニホールド化を初めとする部品点数の削減を進め、装置コストの低減、及び装置のコンパクト化を実現した。

その結果、装置サイズとしては開発機比 70%減を達成した。

< 混合ユニット >

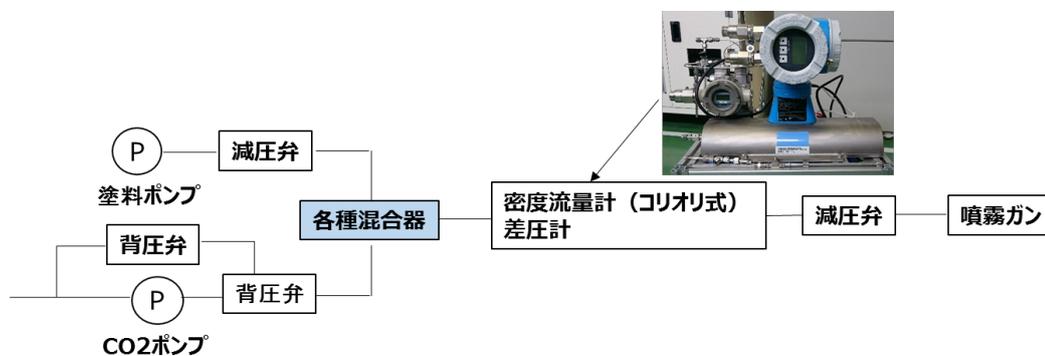
- 大流量塗装ラインにおいては、塗料と CO₂ の混合性能を上げることが重要なポイントとなる。混合性能とは均一性と混合速度である。均一性は粘度のムラを防ぎ、混合速度は粘度低下の速度に影響し、それは圧力損失と CO₂ の溶解性にも影響を及ぼす（下図に混合イメージを示す）。



図：吐出流量による混合イメージ

- 安定した噴霧を実現させる為塗料と CO₂ の混合についていくつかの方式で試作した。混合器の開発にあたっては宮城県産業技術総合センターの流体シミュレーション技術を活用し、開発期間の短縮と性能向上に繋げる事が出来た。

試作した混合器の性能評価を下記評価システムにより実施した。



図：混合器性能評価システム概要

- 今回、性能評価を行った混合器は従来から使用しているものを含めて全5種類での比較を実施した。

※1・・・ 混合性能は混合後塗料密度の安定性で比較

※2・・・ 従来方式以外の混合器は全て本事業にて開発し、試作した混合器

評価条件

①試験塗料粘度：400CP

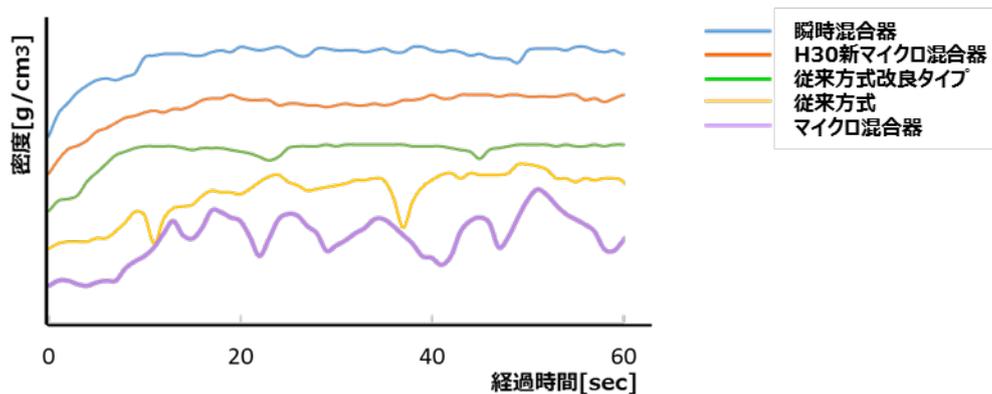
②CO₂ 添加率：10%

③吐出圧力：15MPa

④混合器：1) 従来方式 2) 従来方式改良タイプ 3) マイクロ混合器

4) H30 新マイクロ混合器 5) 瞬時混合器

・評価結果



※見やすいようにY軸はオフセットして表示

採取したデータより次の結果を得られた。

1. 瞬時混合器、H30 マイクロ混合器、従来方式改良タイプの3種類については同等の混合性能と評価。(他の2種類の混合方式では密度は安定しておらず、大流量での混合性能としては不十分と評価)
2. CO₂ 添加後、約10秒を過ぎたあたりから性能的に安定領域に入っている(逆に言うと混合状態が安定するまでには10秒程度必要とも言える)

それぞれの混合器には下記の特徴がある。

1. 従来方式・・・塗料配管内部にCO₂を送り込む、非常にシンプルな構造。
これまでの小流量炭酸塗装では採用している方式。但し、大流量塗装では混合性能の安定性に乏しい。
2. 従来方式改良タイプ・・・従来方式の出口側にミキサーを追加した構造の混合器。
密度安定性は非常に優れている。但し、ミキサーを追加した事で混合器が非常に大きいものになってしまう。
3. マイクロ混合器・・・塗料とCO₂の配管経路内に乱流を起こさせる機構を設け、混合性能を向上させようとしたもの。
しかし、混合性能の安定性に乏しい結果となった。

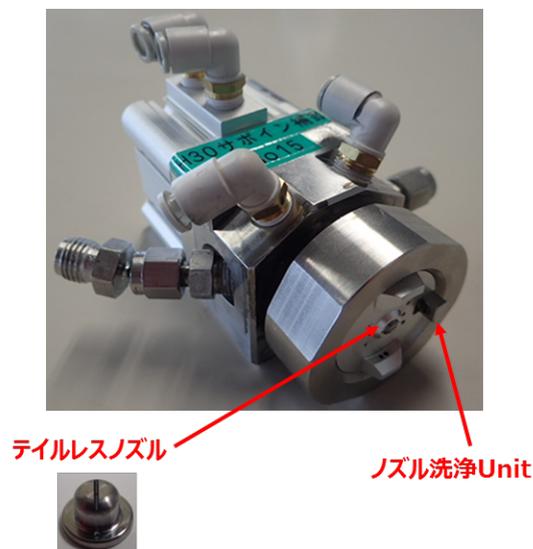
4. H30 新マイクロ混合器・・・マイクロ混合器で得られた結果と宮城県産業技術総合センターのシミュレーション技術を活用して開発した混合器。大流量塗装での混合性能は問題無い。

5. 瞬時混合器・・・噴霧ガンへの取り付けを目指して開発した混合器。構造は宮城県産業技術総合センターのシミュレーション技術を活用し、積層型ミキサーを搭載したもの。性能的には問題ないが、噴霧ガンへ取り付けるには大きさに改良が必要。

混合性能はもちろんだが、塗装機を小型化する為にも混合ユニットは小さい方が望ましく、H30 新マイクロ混合器を大流量高圧炭酸塗装機へ採用する事とした。

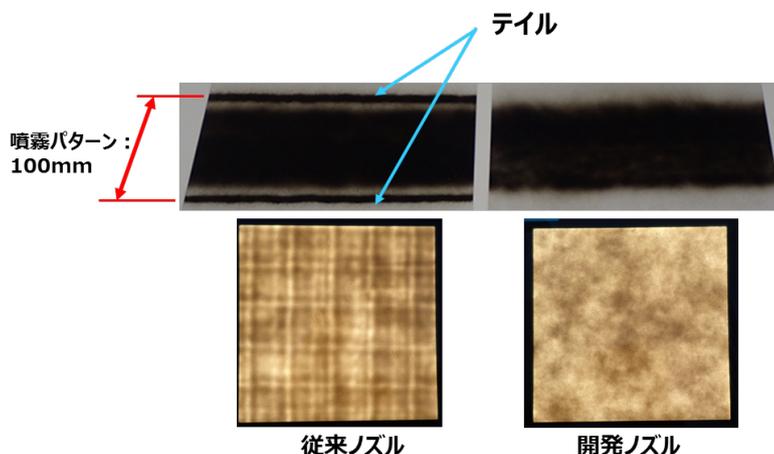
2-2 噴霧ガン、噴霧ノズルの開発

- ・課題とされていた噴霧ノズル先端の液ダレ防止、洗浄 Unit を組込んだ噴霧ガンを独自に開発した。また、宮城県産業技術総合センターの流体シミュレーション技術をベースにテイル・スジムラのない噴霧ノズルを完成させ、小流量から大流量までのあらゆる口径（吐出量）に対応が可能となった。



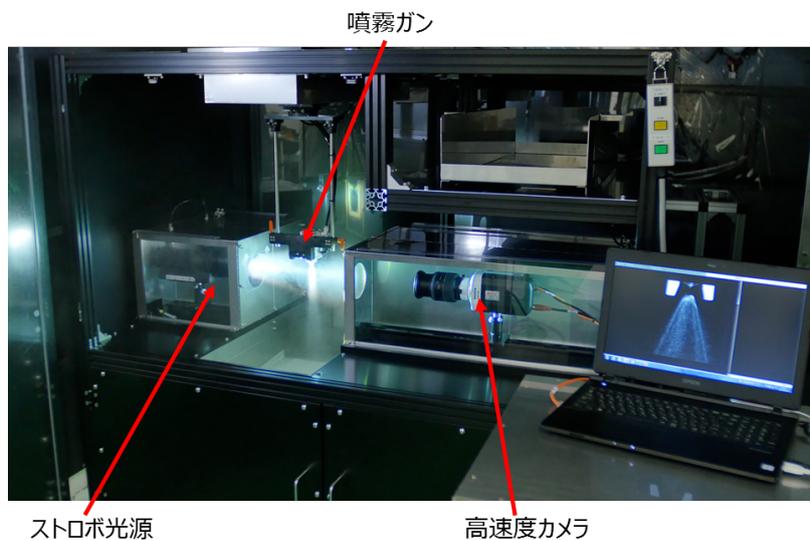
写真：独自開発した高圧炭酸塗装用噴霧ガン及びテイルレスノズル

開発したテイルレスノズルを使用しての塗装状態は下記になる。噴霧パターン幅：100mm程度で従来ノズルではパターン両端にはっきりとしたテイルが確認できる。それに対し、開発ノズルにはテイルは確認できない。実際の塗膜裏面より光をあてて見てみると写真のように違いがわかる。



2-3 噴霧状態、塗膜面形成状態の可視化システム開発

〈噴霧パターン観察（側面）〉



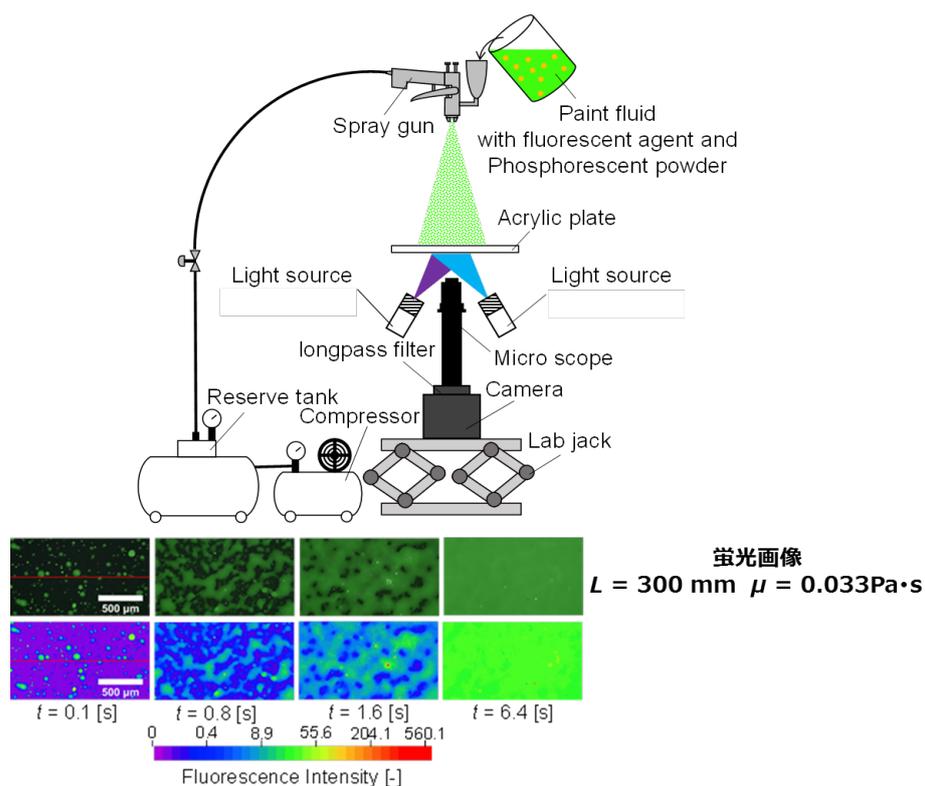
写真：噴霧パターン可視化装置

噴霧ガンから噴霧された塗料を両側から挟むようなレイアウト構成とし、噴霧奥側からのストロボ光源から光を照射し、それを高速度カメラで撮影した後、画像処理にて解析できる装置を開発した。

この装置で行える評価としては

- 噴霧パターン観察（解析）
- 粒度分布（粒子径測定）測定 などがある

<塗膜形成過程観察（裏面）>



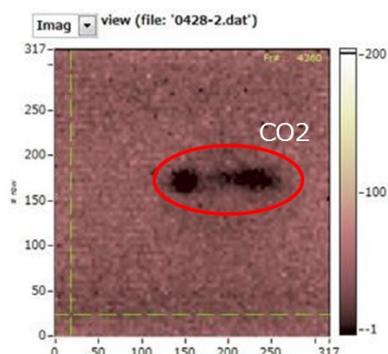
図：塗料付着過程の計測システム構成

群馬大学 天谷教授主導のもと、塗粒がどのように積み重なって塗膜を形成していくかを計測（観察）するシステムを構築した。

計測（観察）は、蛍光試薬を添加したクリア塗料を噴霧し、透明塗装物（例えばガラス板）の裏面より画像データを採取する。光源には UV 光を使用し、蛍光強度を測定する事で経時的に変化する塗膜の膜厚を測定する事ができた。

<CO₂ 可視化>

群馬大学 天谷教授主導のもと、CO₂ の可視化を検討した。CO₂ が波長 4.27 μm の光を吸収する性質を利用したシステムを考案。CO₂ により赤外光が遮られ、CO₂ の部分が黒く見え、可視化に成功した。課題として光源の防爆対策が残る。



2-4 塗料開発

- ウレタン系塗料での50%希釈溶剤削減の実施

希釈溶剤処方を独自に調合、及び塗装プロセスを改善した事で目視確認できるレベルの気泡痕なく、塗装することができた。

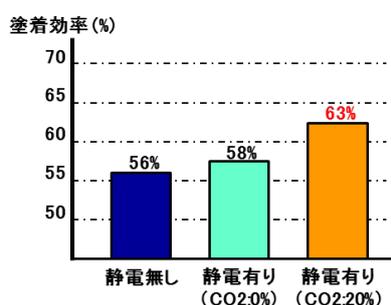
- フタル酸系塗料での75%希釈溶剤削減の実施

希釈溶剤処方を独自に調合、及び塗装プロセスを改善した事で目視確認できるレベルの気泡痕なく、塗装することができた。

2-5 塗料コスト削減・VOC削減率の向上

- 炭酸塗装と静電塗装を組み合わせる事で更に塗着効率を向上させる事が確認できた。
- 静電レス塗装においてもテイルレスノズルの完成により、噴霧ガンと被塗装物との距離を近づけられるようになり、塗着効率は従来よりも向上させる事ができた。

●炭酸塗装+静電塗装

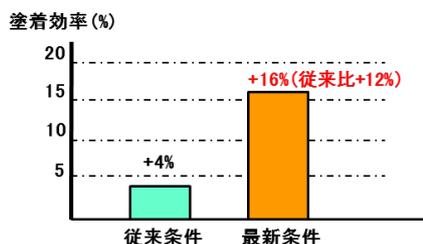


試験条件

- ・吐出圧力: 13MPa
- ・ガン距離: 250mm
- ・吐出量: 400g/min
- ・噴霧範囲: 400mm角
- ・オーバースプレー無し

炭酸塗装+静電塗装で塗着効率63%を達成

●炭酸塗装最適条件



	リファレンス	従来炭酸塗装	最新炭酸塗装
吐出圧力(MPa)	8	8	8
ガン距離(mm)	150	120	50
吐出量(g/min)	60	60	60
使用ノズル	市販ノズル (テイル有)	オリジナル (テイル有)	オリジナル (テイルレス)
噴霧範囲	A4サイズプレート上を1パス通過		
塗着効率		対リファレンス+4%	対従来条件+12%

テイルレスノズルの完成で、ガン距離を近づける事が可能となり、塗着効率が従来条件比12%向上

最終章 全体総括

〈 塗装装置開発 〉

- ・大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発を通して、大流量安定供給、瞬時混合、ノズルのテイルレス形状、塗着効率向上、適合塗料レシピの完成等、具体的な要素技術を得る事ができた。また、それらを盛り込んだ現場用塗装機を完成させ、市場に提示できることとなった。これにより少流量から大流量の装置 Line Up が揃った。

〈 噴霧・塗膜面形成評価装置開発 〉

- ・噴霧状態・塗膜面形成状態の可視化装置の開発により、噴霧粒子の観察、粒径測定、粒径分布、塗膜面形成過程の観察と定量化及び可視化が可能となったことで、顧客への具体的なアピールができるようになり、スムーズに試作対応を進める事ができるようになった。

〈 炭酸塗装課題 〉

- ・炭酸塗装最大の課題は「塗膜中の気泡」である。これを解決するには塗料との混合状態を向上させ、微粒化することで塗料粒子着弾後に気泡を抜けやすくすることが重要であることが分かった。いわゆる「レベリング」においても流動状態が観察できることによって、次の手がスムーズに打てることになった。

尚、「気泡対策」は塗料粒子の着弾前に抜くことを目指して継続検討を進めていく。

総じて、本事業の成果は当初目的通り、塗装における VOC の大幅削減（削減率 30%～70%）と塗着効率の向上（向上率 15～30%）が実際の塗装において実現できた。

〈 事業化展開 〉

- ・販売先については、環境規制が最も厳しく、市場規模も大きい中国市場を第 1 優先としてとらえている。具体的に進めている案件として少流量塗装機だが、中国塗料メーカーへ 1 台、中国代理店契約を締結する設備メーカーへ 1 台、弊社中国工場へ 1 台のデモ機を輸出済みである。又、造船メーカーへの大流量塗装機のデモ機設置も決まっており、6 月初旬に輸出する予定である。他に鉄骨構造物メーカーへのデモ機設置も計画している。

一方、国内ユーザーは、主に自動車関連メーカーを中心とした試作を継続中である。

- ・装置販売目標として 2019 年度中に国内 1 台、中国 10 台の販売を計画している。

- 事業化に向けては、長瀬産業との協業を基本として現在着々と進めている。

特筆すべきは、中国での展開を加速させるべく、中国代理店としてビジネス契約締結を進め、6月に締結できるところまでできたことである。

本事業の目標である大流量吐出高圧炭酸塗装機の開発は当初の計画通り、完了した。

これにより高圧炭酸塗装機の Line Up が整い、顧客要求に対して広くカバーできる体制が構築できた。