

平成 2 8 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「VOC排出量削減と塗装コスト削減を同時に実現する

「泡と微生物を利用したVOC高効率捕集・高分解塗装ブース」の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人新潟市産業振興財団

目次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	3
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7

第2章 本論

2-1 塗料ミスト・塵埃・VOCを効率的に捕集する泡の生成条件と破壊手法の検討	
【2-1-1】泡の生成条件の検討	8
【2-1-2】泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの捕集能力の把握	12
【2-1-3】泡の破壊手法の検討	16
2-2 溶存VOCの効率的な微生物分解の検討	
【2-2-1】溶存VOC分解微生物の選定	18
【2-2-2】溶存VOC分解微生物の適正な生育環境の検討	20
2-3 泡発生器、スクリーン、移送機構、消泡器、VOC処理槽設計技術の開発	
【2-3-1】泡発生器形状の検討	21
【2-3-2】スクリーン形状の検討	22
【2-3-3】移送器形状の検討	23
【2-3-4】消泡器形状の検討	23
【2-3-5】VOC処理槽形状の検討	24
2-4 【2-3】による開発機器と上下圧送構造を用いた試作機開発と実使用環境下での性能評価	
【2-4-1】泡発生器形状の検討	25
【2-4-2】スクリーン形状の検討	25
2-5 販路開拓への取組み	27
最終章 全体総括	28

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

(1) 研究の背景・研究目的

中小規模の塗装事業者が主に使用する「湿式塗装ブース」は、ファンによる空気の流れを利用し、塗料ミスト・塵埃を吸い込み、水膜で捕集し回収する構造となっている。ただ塗装工程におけるVOC削減は製造業にとって喫緊の課題となっており、前述の塗装ブースにはVOCの処理機能は無く、その排出を抑えるには専用の処理設備の導入が必要となる。また、VOC成分を含まない粉体塗料を使用する手段もあるが、塗料単価が高いほか専用の塗装ブースが必要になり塗装コストの増加につながる。

川下製造業者の塗装工程におけるニーズは、「効率的なVOC処理機能」を有し「溶剤・粉体含む多品種の塗料へフレキシブルに対応できる」塗装ブースを「低コスト」で導入することである。

そこで本事業では、従来塗装ブースの課題を解決し、川下ユーザーの課題である「塗装コスト削減」と「環境対応」の両立を可能とするこれまでにない塗装ブースの開発を行う。

具体的には、泡によるスクリーンと微生物を利用したVOC高効率捕集・高分解塗装ブースを開発することを目標とする。

従来製品と異なり、ブースと別にVOC処理設備を導入する必要がなく、スクリーンの両面配置と上下圧送式により粉体塗料も使用できる構造とし、導入コスト、汎用性で優位性を持たせる。加えて、消費電力を従来比 1/2 以内とし、塗装コスト削減の実現を目標とする。

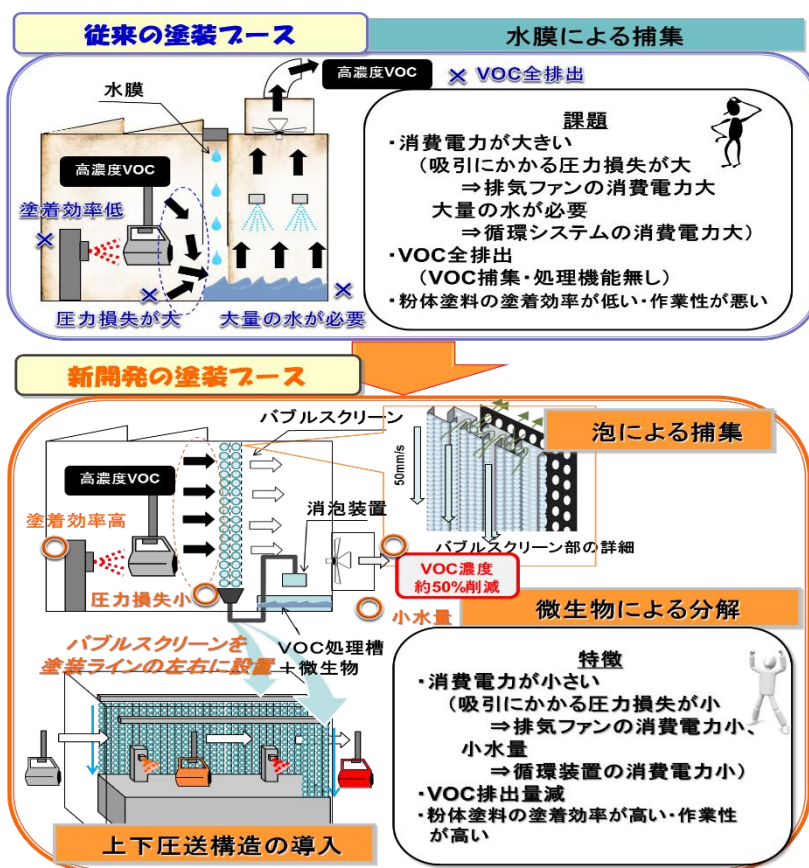


図 1-1 研究開発概要イメージ図

(2) 具体的な研究目的

①【塗料ミスト・塵埃・VOCを効率的に捕集する泡の生成条件と破壊手法の検討】

(研究実施機関：新潟工科大学、(有)田辺塗工所)

①-1 泡の生成条件の検討

＜目的＞泡生成をコントロールするため、各種条件と泡生成の関係性を明らかにする。

①-2 泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの捕集能力の把握

＜目的＞泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの捕集能力を明らかにする。

①-3 泡の破壊手法の検討

＜目的＞消泡装置の設計条件を変化させて、消泡性能の高い条件を明らかにする。

②【溶存VOCの効率的な微生物分解の検討】

(研究実施機関：新潟工科大学、(有)田辺塗工所)

②-1 溶存VOC分解微生物の選定

＜目的＞液中に溶けているVOC分解速度の大きい微生物を明らかにする。

②-2 溶存VOC分解微生物の適正な生育環境の検討

＜目的＞より長期間、微生物にVOCを分解させる環境を明らかにする。

③【泡発生器、スクリーン、移送機構、消泡器、VOC処理槽設計技術の開発】

(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所)

③-1 泡発生器形状の検討

＜目的＞最適な泡の効率的な生成を実現する。

③-2 スクリーン形状の検討

＜目的＞捕集効率の向上を実現する。

③-3 移送器形状の検討

＜目的＞泡移送方法の最適化により、泡を効率的に消泡器に導く。

③-4 消泡部形状の検討

＜目的＞消泡器形状、設置数、設置位置の最適化により、泡を効率的に破壊する。

③-5 VOC処理槽形状の検討

＜目的＞VOC分解微生物の最適な生育環境を実現する。

④【③による開発機器と上下圧送構造を用いた試作機開発と実使用環境下での性能評価】

(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所、新潟工科大学)

④-1 試作機の開発

＜目的＞試作機の作業試験運転の実施により、各工程の組み合わせの最適化を実現する。

④-2 評価試験の実施

＜目的＞VOC・塗料ミスト・塵埃捕集率、消費電力、VOC分解率の測定を行い、実使用環境下での性能評価を実施する。

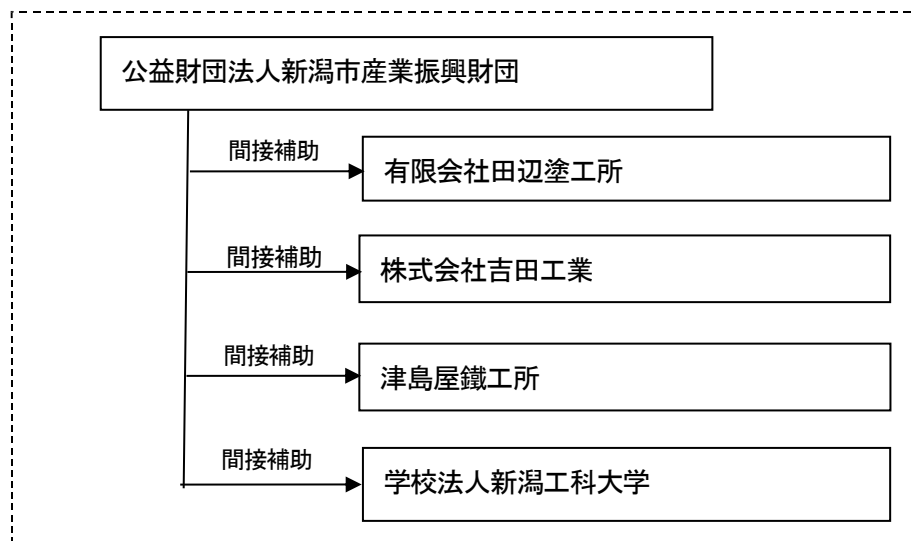
⑤【販路開拓への取り組み】(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所)

＜目的＞開発ブースのPR及びユーザー評価のフィードバックを行い、早期の普及促進を実現する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者（P L）

有限会社田辺塗工所

代表取締役 田辺 直

副総括研究代表者（S L）

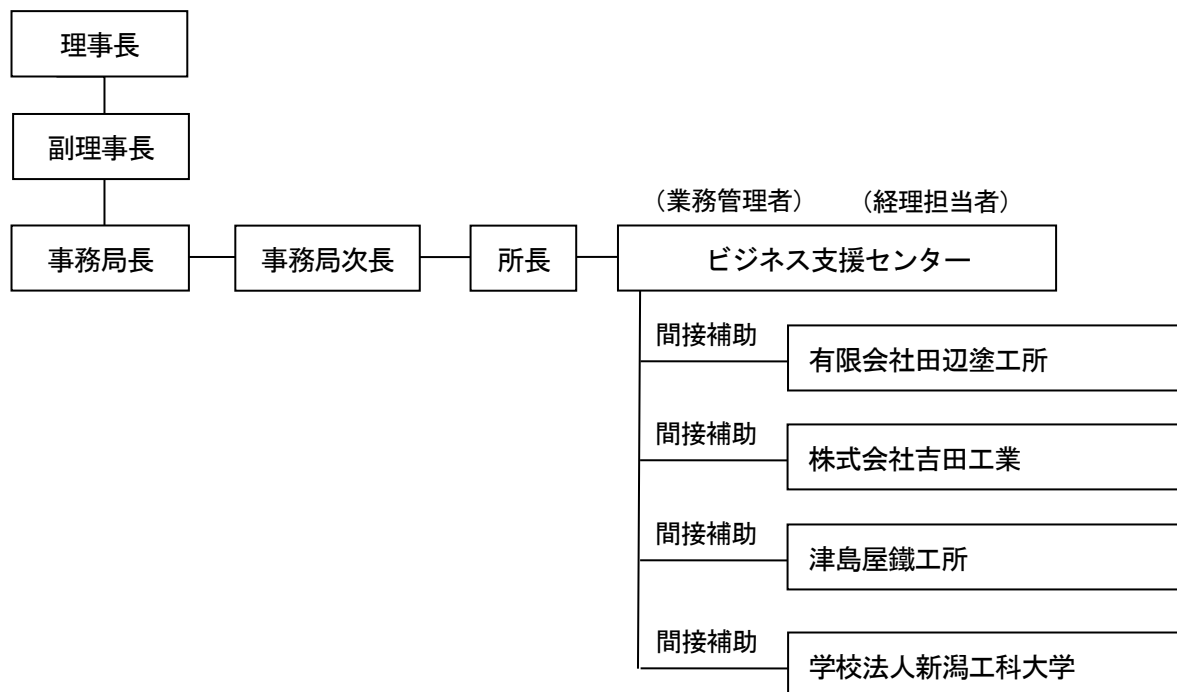
学校法人新潟工科大学

教授 竹園 恵

2) 管理体制

①事業管理機関

【公益財団法人新潟市産業振興財団】



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人新潟市産業振興財団

① 管理員

氏名	所属・役職
小林 正幸	ビジネス支援センター 所長
長谷川 央	ビジネス支援センター チーフ
関田 桂子	ビジネス支援センター スタッフ
坪谷 壮祐	ビジネス支援センター スタッフ
矢島 綾	ビジネス支援センター スタッフ

【研究等実施機関】

(研究員)

有限会社田辺塗工所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
田辺 直	代表取締役	①, ②, ③, ④, ⑤
牛山 隆之	工場長	①, ②, ③, ④, ⑤

株式会社吉田工業

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
吉田 徳夫	取締役	③, ④, ⑤
吉田 篤	専務取締役	③, ④, ⑤
青柳 真介		③, ④, ⑤
小林 直弘		③, ④, ⑤
篠崎 博		③, ④, ⑤
中野 翔太		③, ④, ⑤
行田 育司		③, ④, ⑤
八幡 吉之		③, ④, ⑤

津島屋鐵工所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
宮路 義明		③, ④, ⑤
宮路 義則	工場長	③, ④, ⑤
小林 昭一		③, ④, ⑤

学校法人新潟工科大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
竹園 恵	工学部 工学科 教授	①, ②, ④

（３）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

公益財団法人新潟市産業振興財団

（経理担当者） ビジネス支援センター スタッフ 坪谷 壮祐

（業務管理者） ビジネス支援センター チーフ 長谷川 央

（間接補助事業者）

有限会社田辺塗工所

（経理担当者） 田辺 綾子

（業務管理者） 代表取締役 田辺 直

株式会社吉田工業

（経理担当者） 吉田 加奈子

（業務管理者） 取締役 吉田 徳夫

専務取締役 吉田 篤

津島屋鐵工所

（経理担当者） 宮路 義則

(業務管理者)

宮路 義明

学校法人新潟工科大学

(経理担当者)

総務課会計係

田原 郁也

(業務管理者)

工学部工学科教授

竹園 恵

(4) 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
田辺 直	有限会社田辺塗工所 代表取締役	P L
竹園 恵	学校法人新潟工科大学 教授	S L
吉田 徳夫	株式会社吉田工業 取締役	
宮路 義明	津島屋鐵工所	
小林 正幸	公益財団法人新潟市産業振興財団 ビジネス支援センター 所長	
樋川 浩一	アネスト岩田株式会社	アドバイザー
小山 英俊	パーカーエンジニアリング株式会社	アドバイザー
内山 貴識	東和酵素株式会社	アドバイザー
平野 克己	日本塗装機械工業会	アドバイザー
福田 良介	日本パウダーコーティング協同組合	アドバイザー

1-3 成果概要

①【塗料ミスト・塵埃・VOCを効率的に捕集する泡の生成条件と破壊手法の検討】

「レプリカ用泡ブース」の運転条件や各種条件と泡径の関係性について把握した。また測定環境・手法を確立し、泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの吸収性能を把握した。

消泡前後の泡液密度を測定することによる最適な運転条件を把握した。

②【溶存VOCの効率的な微生物分解の検討】

2種類の微生物による溶存VOCの分解速度を評価し、選定した微生物の生菌数の経時変化を確認した。

③【泡発生器、スクリーン、移送機構、消泡器、VOC処理槽設計技術の開発】

「レプリカ用泡ブース」から得られた知見をもとに泡発生器形状について検討を行い、最適化を実現。シミュレーションを活用し、より捕集効率の高い1次、2次遮敷板の形状を明らかにし、改良を実施。移送器形状や距離について検討を行い、効率的な移送器形状・距離を実現した。

消泡処理量の把握及び消泡器数の最適化を実現。また消泡器の運転条件について最適化を実現。

メンテナンスにかかる工数削減のため、VOC処理槽の仕様を開放型＋フィルター機構へ改良。

④【③による開発機器と上下圧送構造を用いた試作機開発と実使用環境下での性能評価】

実作業試験運転を行い、各工程の組み合わせの最適化を検証し各機器の設計・運転条件へフィードバックを行った。

消費電力の測定を行い、開口面積あたりの消費電力について、対ベンチュリーブースで最大約85.5%、対水洗式ブースで最大約77.6%削減を実現した。

⑤【販路開拓への取組み】

各種関係機関の会合などで開発ブースのPRを行い、効率的な周知活動を実施した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人新潟市産業振興財団 ビジネス支援センター スタッフ 平賀 恵一

Tel: 025-226-0550 Fax: 025-226-0555

E-mail: info@niigata-ipc.or.jp

第2章 本論

2-1 塗料ミスト・塵埃・VOCを効率的に捕集する泡の生成条件と破壊手法の検討

(研究実施機関：新潟工科大学、(有)田辺塗工所)

【2-1-1】泡の生成条件の検討

＜目的＞泡生成をコントロールするため、各種条件と泡生成の関係性を明らかにする。

＜実施内容＞

●泡特性の評価

界面活性剤の種類と濃度により泡立ちが変化するため、泡立ち試験装置（図 2-1）を用いて、界面活性剤溶液の泡特性を調べた。試験装置及び評価方法は、JIS K3362 に従った。3種類の界面活性剤の濃度を変化させて、泡立ちやすさを表す起泡性と、泡の消えにくさを表す泡安定性を評価した（図 2-2）。ライポン F は工業用の洗剤、トライトン X-100 も工業的に洗剤や乳化剤として使用されている界面活性剤である。発泡剤 T は、泡塗装ブースで使用している、安価で入手しやすい界面活性剤である。図 2-2 に示されるように、発泡剤 T は、トライトン X-100 とほぼ同じ泡特性であることが分かった。

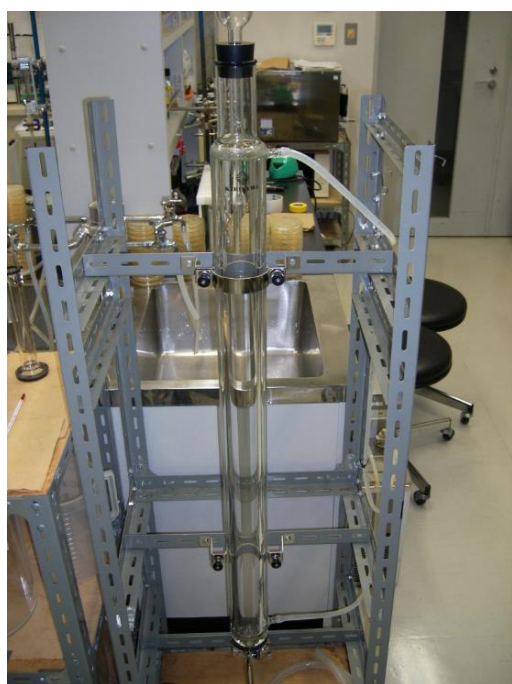


図 2-1 泡立ち試験装置

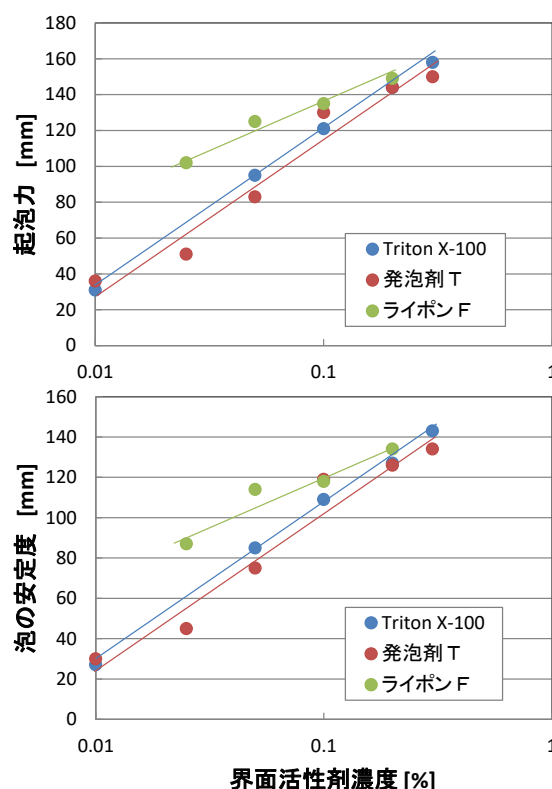


図 2-2 界面活性剤溶液の起泡力と泡の安定度

●泡の流下速度の評価

泡発生機で生成させた泡がバブルスクリーン上を流れ落ちる速度を評価した。泡の流下速度は、ハイスピー

ドカメラ（図 2-3）で流れ落ちる泡を撮影し、PIV 解析により測定した。図 2-4 に、1 枚のスクリーン上に流れる泡の流下速度の結果を示す。スクリーンの幅は 15cm、長さは 92.5cm である。横軸は、スクリーンの幅を表している。スクリーンの上部、中部、下部で測定した結果をプロットした。泡の流下速度は、幅方向で平均すると、6.7~7.6 cm/s であった。スクリーンの中央の泡の流下速度は、端に比べて 3~4 cm/s 程度大きかった。また、スクリーン下部において、泡の流下速度はやや小さくなる傾向にあった。

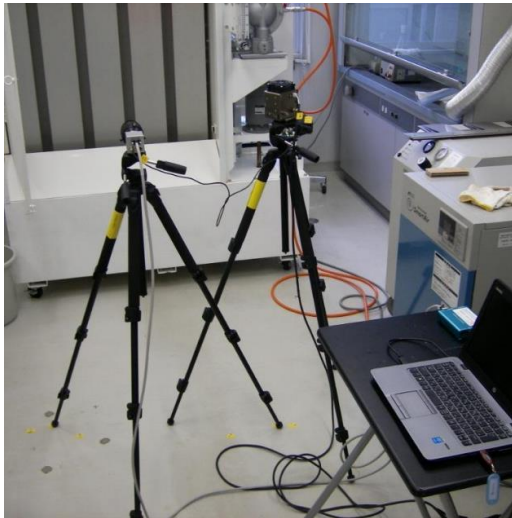


図 2-3 ハイスピードカメラ

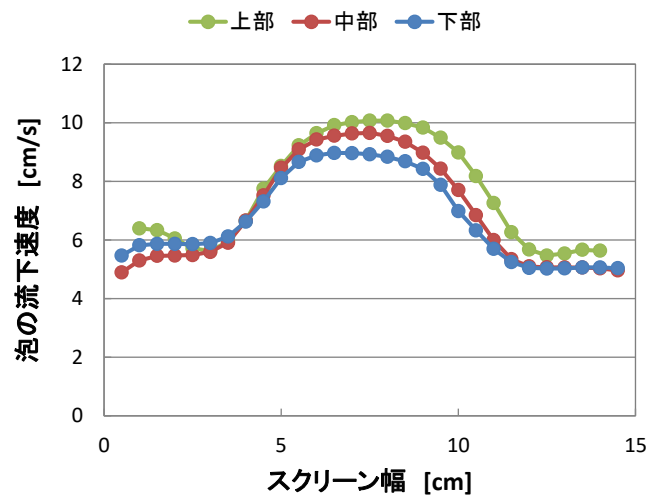


図 2-4 バブルスクリーン上の泡の流下速度

操作条件と泡の流下速度の関係を調べるため、スクリーン中部で測定した値の、幅方向での平均流下速度を評価した。図 2-5 は、ガス流量 20L/min の場合において、液流量をパラメータとして、泡の平均流下速度と羽根回転数の関係を示したものである。液流量が 2L/min の場合には、羽根回転数を変化させても泡の流下速度は、あまり変化ないが、液流量が 4L/min の場合には、羽根回転数の増加とともに大きくなる傾向がみられた。この傾向は、ガス流量を変化させても同じであった。図 6 は、液流量と羽根回転数を一定として、泡の流下速度に及ぼすガス流量の影響を見たものである。ガス流量の増加とともに、泡の流下速度は、わずかに増加する傾向にあった。

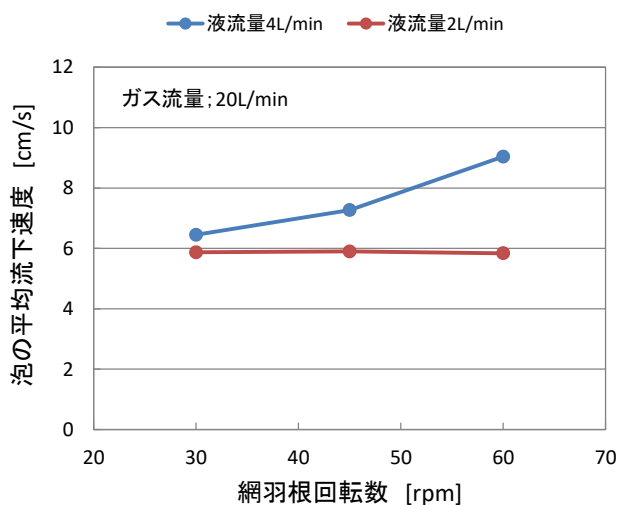


図 2-5 泡の平均流下速度と網羽根回転数の関係

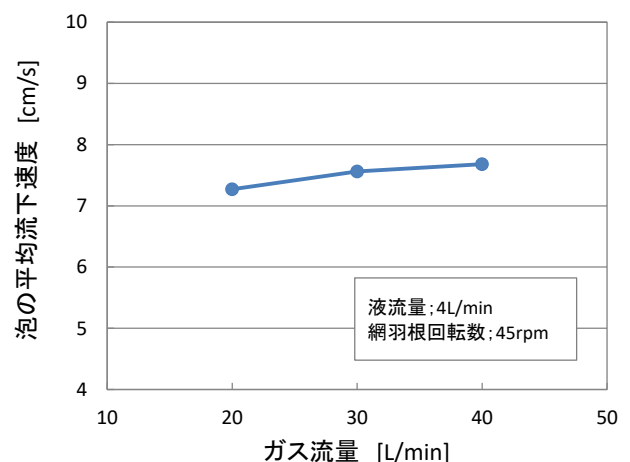


図 2-6 泡の平均流下速度とガス流量の関係

図 2-7 は、液流量 4L/min と網羽根回転数 45rpm の条件で、ガス流量を変化させた場合の、スクリーンを流れる泡の流下速度を比較したものである。流下速度の大きさは、赤色に近い方が大きく、青色に近い方が小さいことを表している。図 2-4 で示したように、スクリーンの中央部分で流下速度が大きくなっていたが、ガス流量を高めると流下速度が均一になることがわかった。

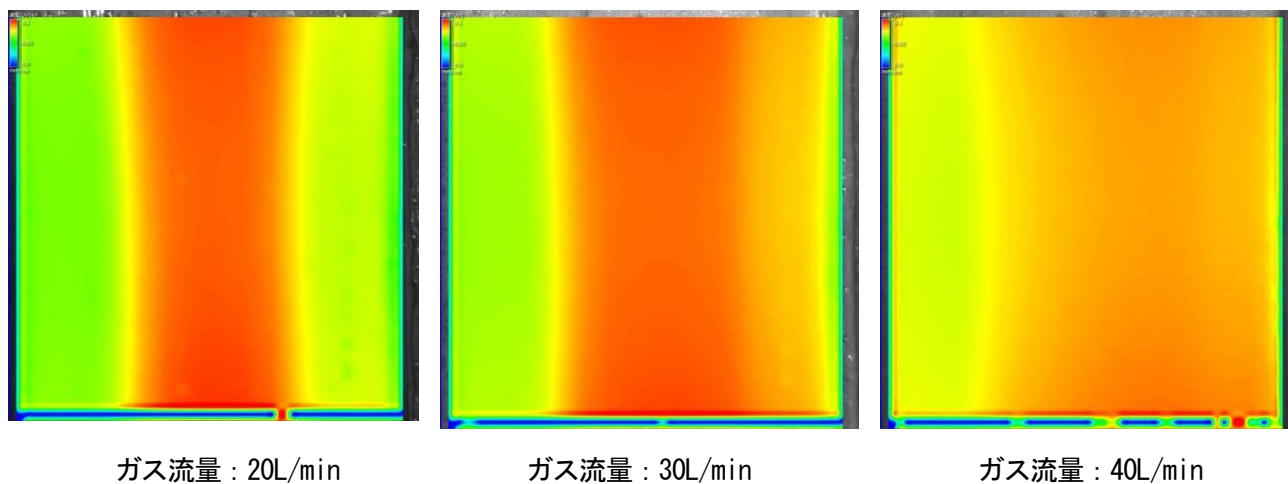
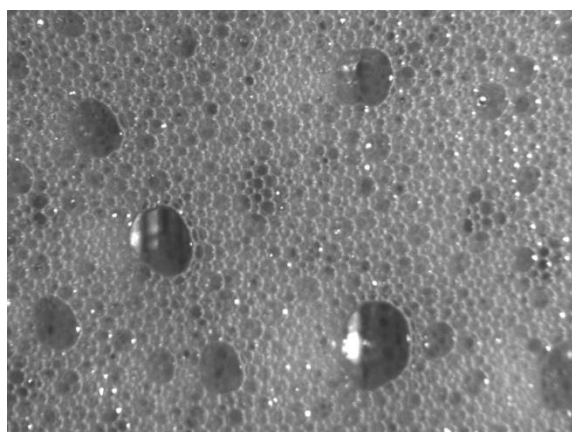


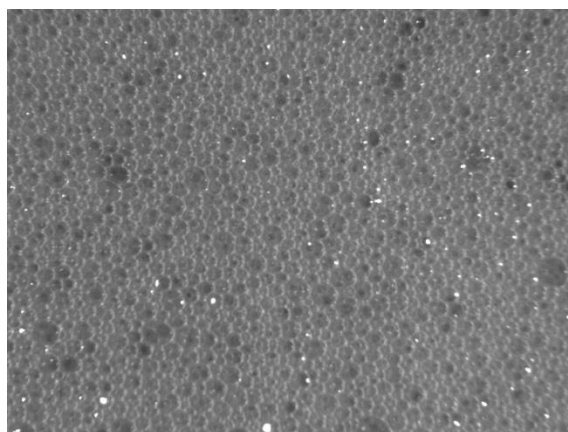
図 2-7 泡の流下速度分布

●泡径の評価

ハイスピードカメラを使用して、バブルスクリーンを流れる泡の画像を撮影し、泡径を評価した。図 2-8 は、泡の生成条件（ガス流量、液流量、網羽根回転数）を変化させた場合の、泡の大きさを比較したものである。ハイスピードカメラの撮影条件は同じである。明らかに泡の大きさに違いがあり、右側の条件の方が、均一で小さい泡が流れていることがわかる。



ガス流量 : 20L/min、液流量 : 2L/min、
網羽根回転数 : 45rpm



ガス流量 : 40L/min、液流量 : 4L/min、
網羽根回転数 : 45rpm

図 2-8 スクリーン上を流れ落ちる泡の様子

泡径は、撮影した画像中の泡を 500 個以上測定し、円相当径の平均値として評価した。図 2-9 に、操作条件と泡径の関係を示す。泡径の大きさは、1mm 前後であった。操作条件の影響としては、ガス流量、液流量、および羽根回転数のいずれの条件でも高めた場合に、泡径は小さくなる傾向にあった。

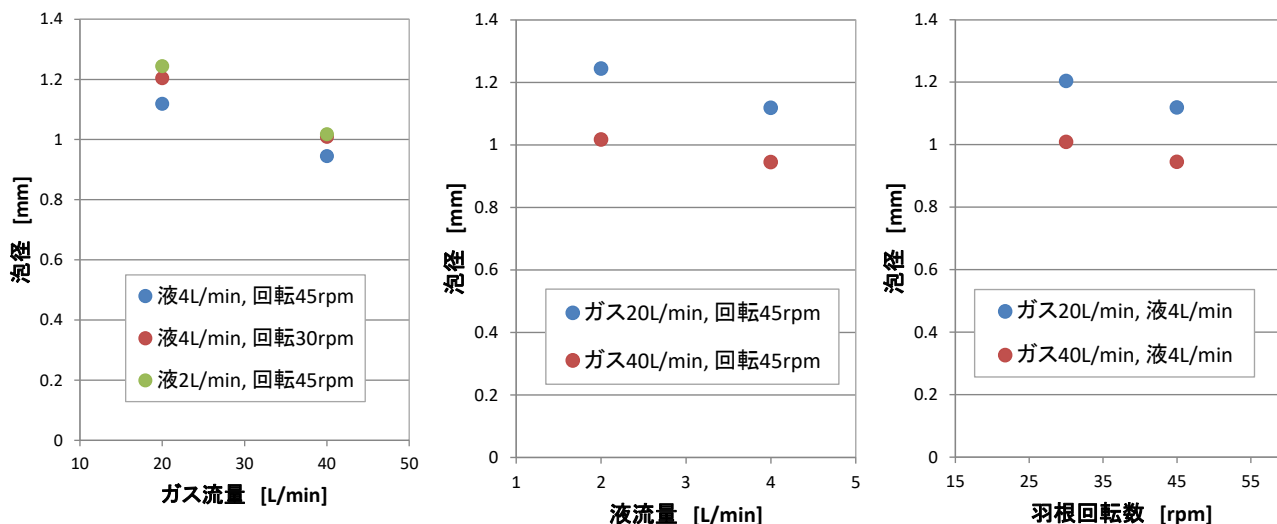


図 2-9 操作条件を変化させた場合の泡径

図 2-10 は、泡の流下速度と泡径の関係を示したものである。縦軸は泡の平均流下速度、横軸は泡径を表す。バブルスクリーンを流れる泡の流下速度が小さい条件では、泡径は大きくなる傾向にあった。

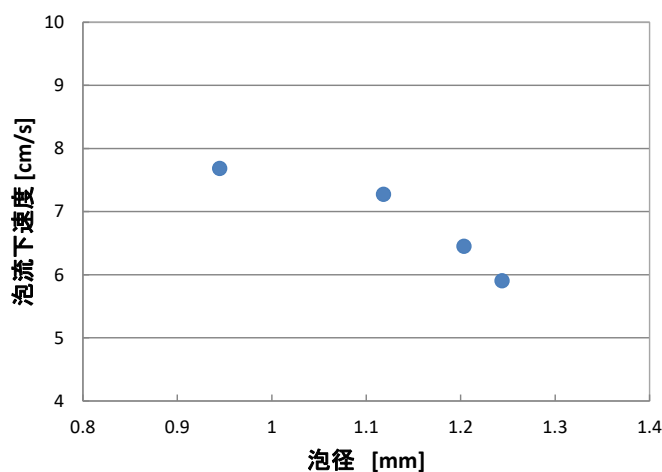


図 2-10 泡の流下速度と泡径の関係

【2-1-2】泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの捕集能力の把握

＜目的＞泡による塗料ミスト・塵埃・VOCの捕集能力を明らかにする。

＜実施内容＞

●塗料ミスト・塵埃の捕集率の測定

レプリカ用泡塗装ブースを使用して、塗料ミスト・塵埃の捕集率を測定した（図 2-11）。捕集率を算出した結果、98.5%であった。

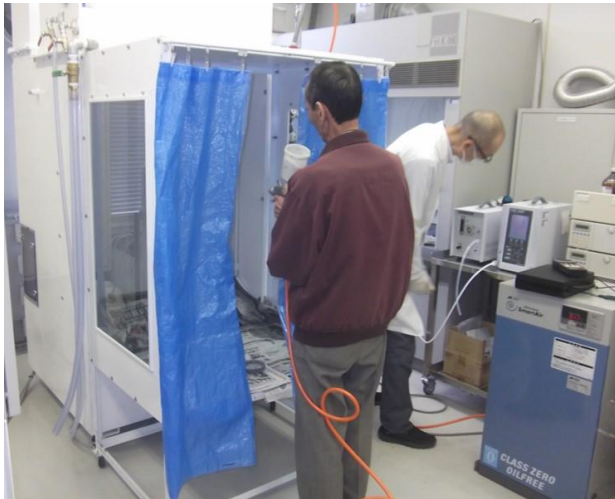


図 2-11 塗料ミスト・塵埃の捕集率測定の様子

●泡によるVOC吸収性能の測定

レプリカ用泡塗装ブースを使用して、VOC吸収性能を測定した。泡塗装ブースには、スプレーガンから噴出させたVOC（または塗料）が、周りに拡散せず、ブース内に吸い込まれるようにフードを取り付けた（図 2-12）。図 2-13 にVOC濃度の測定方法の概略を示す。VOC濃度の測定には、VOC分析計を使用した。ブース入口（流入ガス）のVOC濃度値のバラツキが大きかったため、排気ファン後ろの出口ガス（流出ガス）の測定値で、VOC吸収性能の比較を行った。なお、VOC濃度測定は連続で行い、同一の操作条件での出口ガス中のVOC濃度の再現性は確認した。

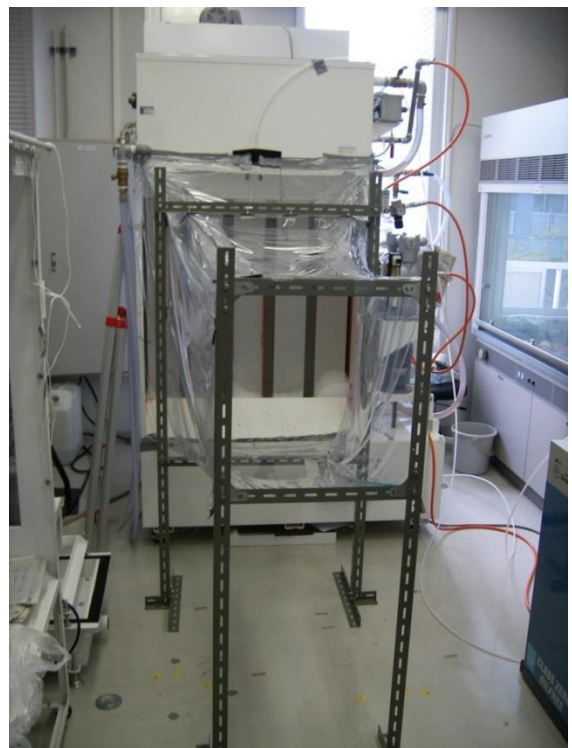


図 2-12 フードを取付けた泡塗装ブース

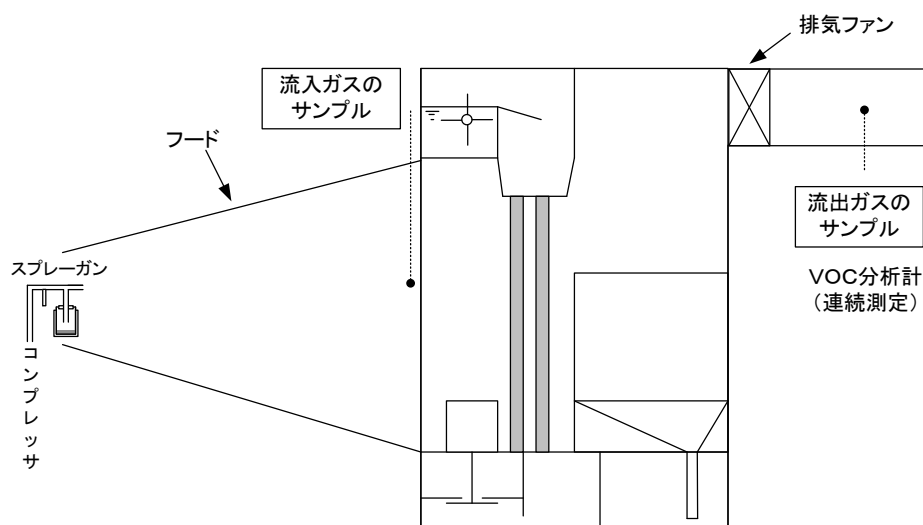


図 2-13 VOC濃度の測定方法

バブルスクリーンに沿って連続的に流下する泡に、ガス中のVOC成分が吸収されるかどうかを明らかにするため、泡を流下させた場合（泡有り）と流下させない場合（泡無し）の出口ガス中のVOC濃度を比較した。図 2-14 に、スプレー液としてキシレンを使用した場合の結果を示す。泡塗装ブースの泡生成条件は、次の通りである：網羽根回転数 45rpm、ガス流量 40L/min、液流量 4L/min。ブース前面の風速は、ファン 13 Hz で 0.566m/s、18Hz で 0.724m/s であった。実験では、コンプレッサー内の空気圧が低下し、噴出速度が変化した時点で、スプレーの噴霧操作を停止した。風速が小さい方が（ファン 13Hz）、出口のVOC濃度が大きくなることが確認できた。ファン 13Hz、18Hz のどちらの風速の場合においても、泡有りと泡無しの条件では、出口のVOC濃度の変化はほとんど同じであった。これは、流下する泡にキシレン（VOC成分）が吸収されないことを示唆する。

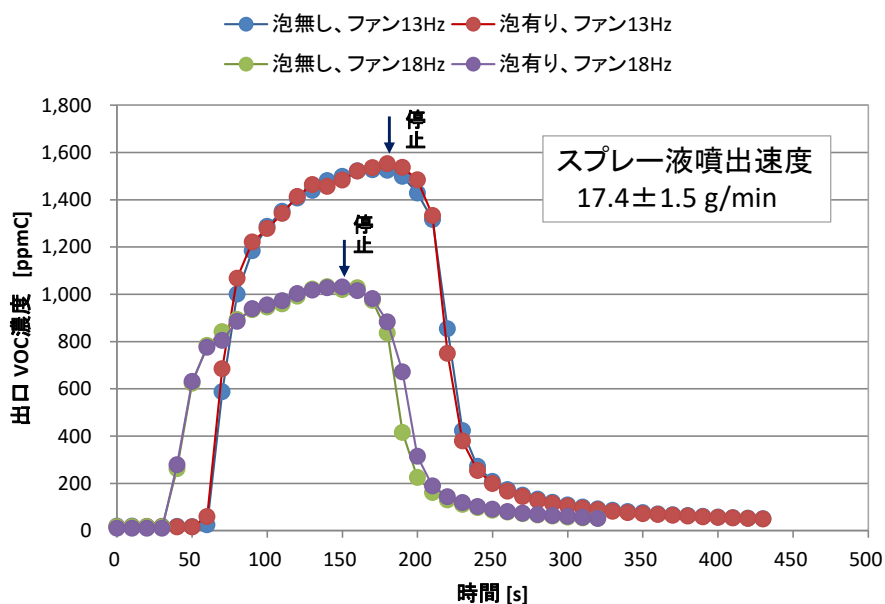


図 2-14 キシレンを使用した場合の出口ガス中のVOC濃度の経時変化

図 2-15 に、スプレー液としてメラミン樹脂塗料（溶剤：ラッカーシンナー 80%）を使用し、泡塗装ブースの泡生成条件を変化させた場合の結果を示す。左図は、網羽根回転数 45rpm、ガス流量 40L/min、液流量 4L/min であり、泡径が小さく、泡の流下速度は大きい条件である。右図は、網羽根回転数 30rpm、ガス流量 20L/min、液流量 2L/min であり、泡径が大きく、泡の流下速度は小さい条件である。ブース前面の風速は、ファン 13Hz で 0.566m/s である。スプレー液噴出速度は、同程度の条件で比較した。メラミン樹脂塗料（溶剤：ラッカーシンナー 80%）を使用し、泡の条件を変化させた場合でも、泡有り と泡無し の条件で出口 VOC 濃度の変化は同じであり、泡に VOC 成分はほとんど吸収されないことがわかった。

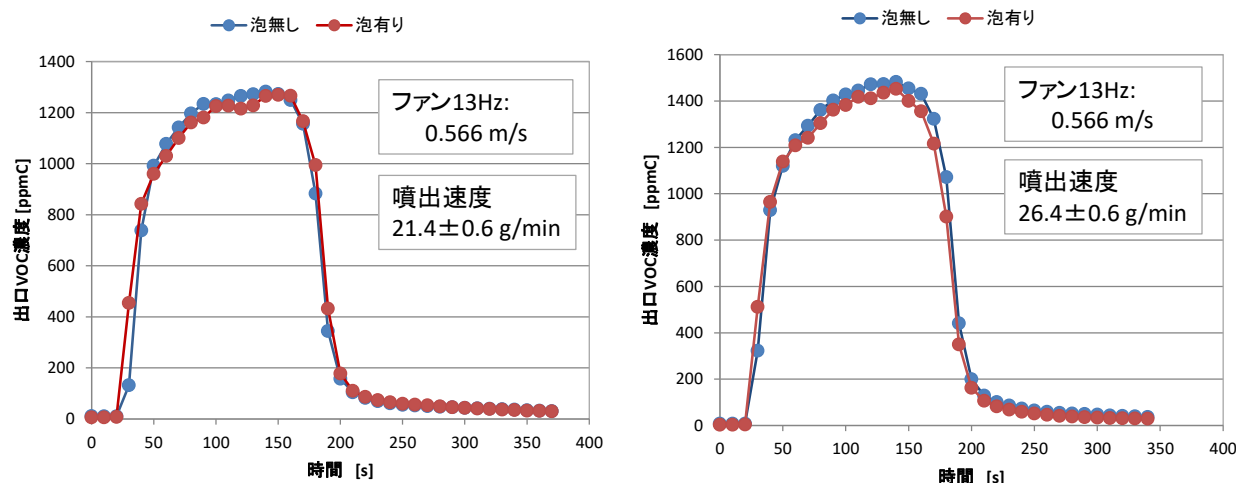


図 2-15 メラミン樹脂塗料（ラッカーシンナー 80%）を使用した場合の出口ガス中のVOC濃度の経時変化

図 2-16 に、実際に塗装工程で使用しているメラミン樹脂塗料（溶剤：ラッカーシンナー 60%）を使用した場合の結果を示す。泡生成条件は、網羽根回転数 45rpm、ガス流量 40L/min、液流量 4L/min であり、風速は、ファン 13Hz で 0.566m/s である。スプレー液噴出速度を変化させた場合でも、泡有り と泡無し の条件で出口 VOC 濃度の変化は同じであり、泡に VOC 成分はほとんど吸収されなかった。

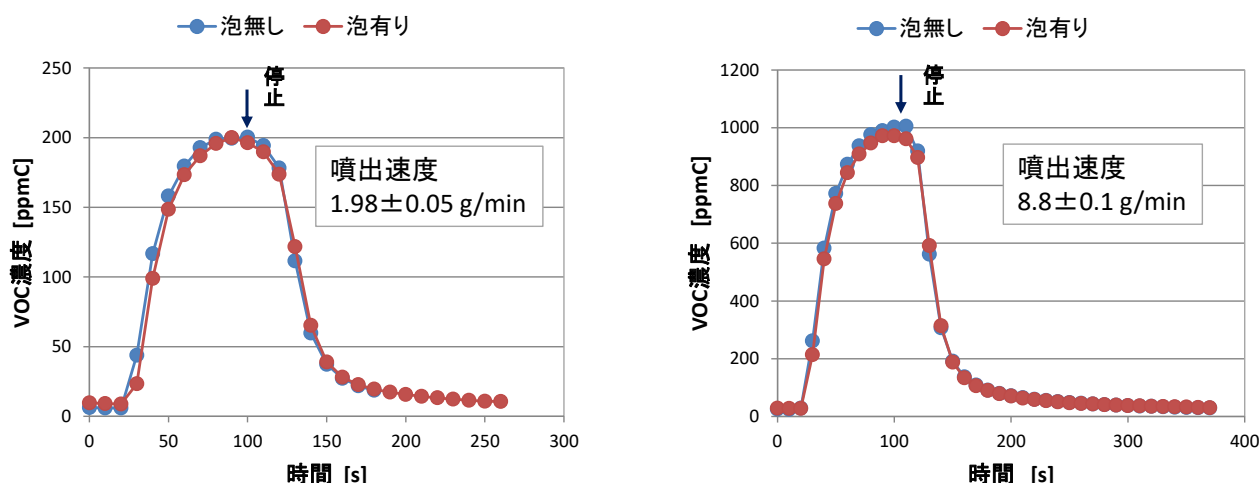


図 2-16 メラミン樹脂塗料（ラッカーシンナー 60%）を使用した場合の出口ガス中のVOC濃度の経時変化

レプリカ用泡塗装ブースにおいて、バブルスクリーンに沿って連続的に流下する泡に、ガス中のVOC成分が吸収されず、VOCはそのまま排出されることがわかった。そこで、オゾンを利用した出口ガス中のVOC分解を検討した。図2-17に、実験の概略図を示す。オゾン発生器で発生させたオゾンを、マイクロバブル発生装置に導入し、水中にオゾンのマイクロバブルを生成させる。液はオゾン水となる。このオゾン水を、泡塗装ブースの出口ガスに噴霧して、通過後のVOC濃度を測定した。図2-18に、VOC成分としてキシレンを使用した場合の結果を示す。オゾン水のオゾン濃度は19.4ppmであり、均等分布スプレーノズルからの噴霧量は0.67L/minであった。ガスサンプル位置での風速は1.0m/sであった。図には、オゾン水を噴霧した場合（オゾン水）、オゾン水と同じ噴霧量で水を噴霧した場合（水）、液は噴霧しなかった場合（水無し）のデータをプロットした。水無しの条件よりも、液を噴霧した方がVOC濃度の最大値はやや小さくなるが、水とオゾン水ではほとんど違いが認められなかった。これは、今回実施したオゾン水の噴霧方法および条件では、出口ガス中のVOCは分解されていないことを示唆している。

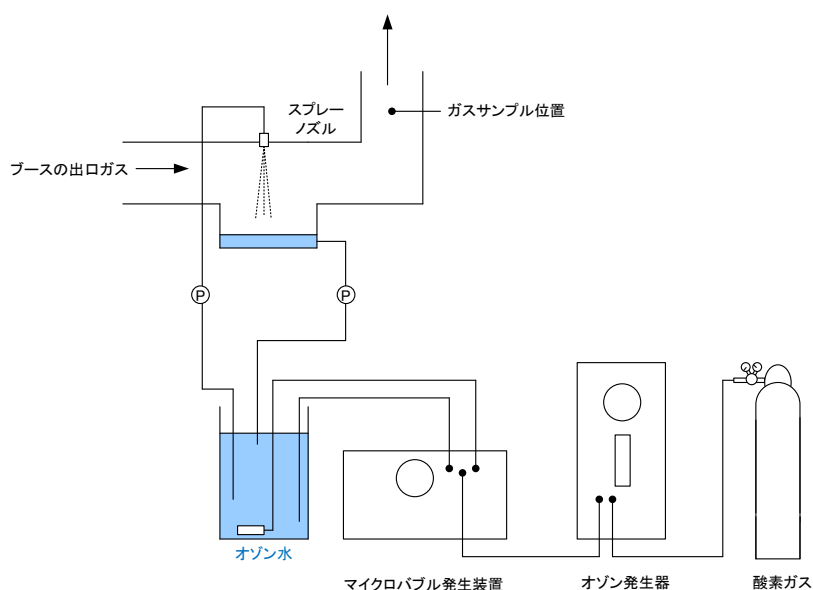


図2-17 オゾンを利用したVOC分解実験の概略

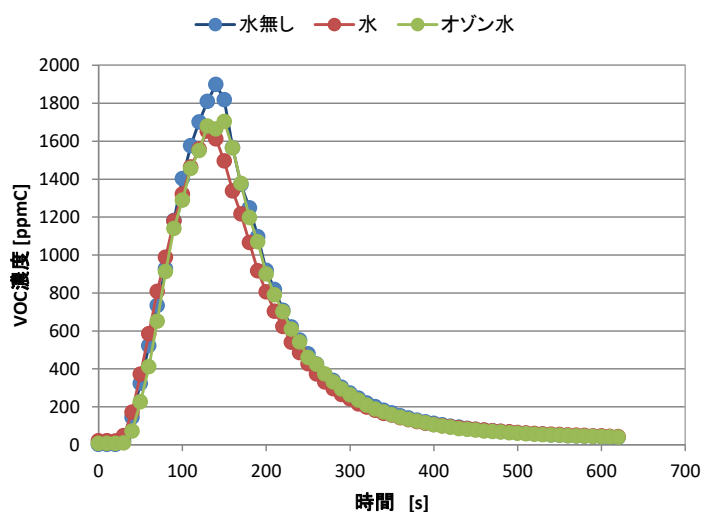


図2-18 オゾン水噴霧後のVOC濃度の経時変化

【2-1-3】泡の破壊手法の検討

<目的> 消泡装置の設計条件を変化させて、消泡性能の高い条件を明らかにする。

<実施内容>

●機外用消泡装置の製作

「レプリカ用泡ブース」に付随している消泡装置では、オリフィス孔、オリフィス板と円板との隙間を変化させることや、消泡後の液をサンプルすることが困難であった。そのため、泡塗装ブースの装置と同寸法の消泡装置を新たに製作し、機外に設置した（図 2-19）。

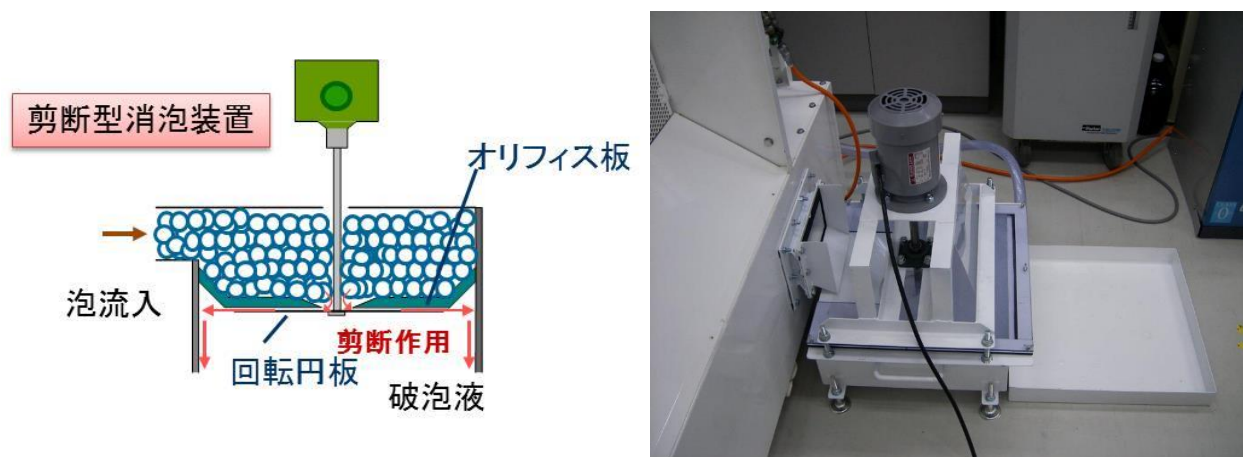


図 2-19 泡塗装ブースの機外に設置した剪断型消泡装置

●消泡装置の設計条件と消泡後の泡密度の関係の把握

機外に設置した消泡装置を用いて、消泡装置の設計条件と消泡後の泡密度の関係を調べた。円板径は 240mm で一定として、オリフィス孔径、オリフィス板と円板との隙間、円板回転数を変化させた。消泡後の泡密度は、機外の消泡装置から排出される泡を、一定体積の容器でサンプリングし、質量を測定することから評価した。図 2-20 に消泡結果を示す。図 2-20(a) は、オリフィス孔径を 125mm とし、オリフィス板と円板との隙間を変化させた場合の泡密度の結果を示したものである。縦軸の泡密度 1000kg/m^3 は、泡が破壊されて完全に気体と液体が分離できたことを示す。消泡前のデータは消泡装置に入る前の泡の密度、消泡後のデータは消泡装置による消泡後の泡の密度を表している。消泡前に比べて、消泡後の泡密度が大きくなることから、消泡装置により泡が破壊されていることがわかる。また、オリフィス板と円板との隙間を小さくするほど、せん断の効果が高まるため、泡密度は大きくなることが確認された。図 2-20(b) は、オリフィス孔径を変化させた場合の結果である。円板径を一定とし、オリフィス径を変化させると剪断面積が変化するため、図中に剪断面積の値を示す。オリフィス孔径を大きくして剪断面積を小さくすると、泡の密度が小さくなり、オリフィス板と円板との隙間が大きくなると、泡の密度が小さくなることがわかった。図 2-20(c) は、円板の回転数を変化させた場合の、消泡後の泡密度の変化を示したものである。円板の回転数を高めるほど、剪断効果は高まるので、泡破壊能が高まり、泡の密度が大きくなる傾向が示された。回転モーターの最高回転数 3280rpm において、消泡後の泡密度は 800kg/m^3 程度になることがわかった。

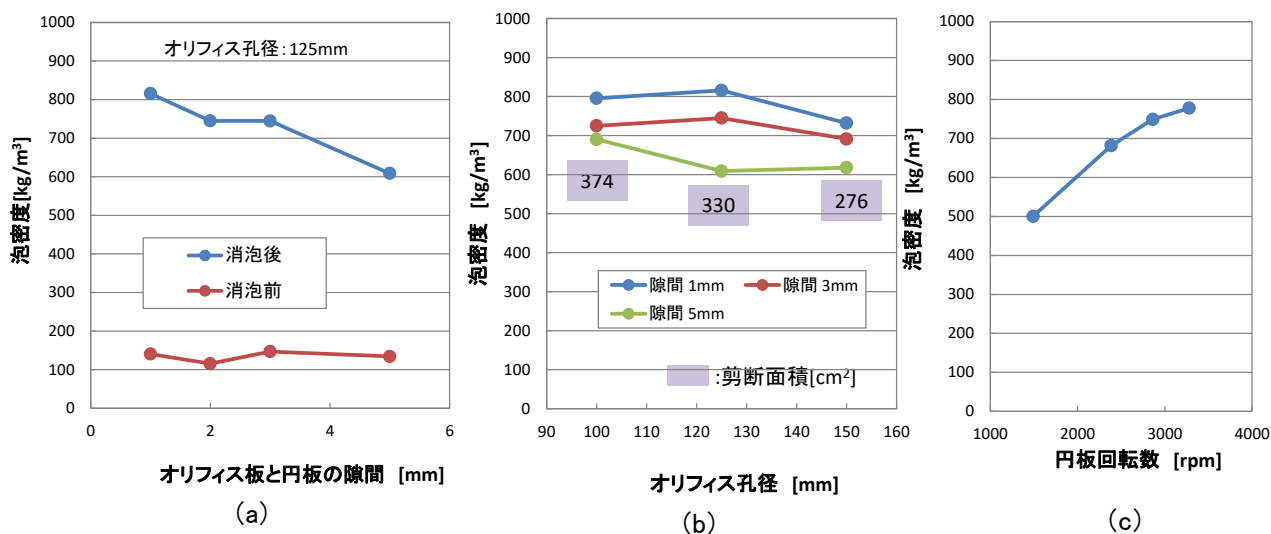


図 2-20 消泡装置の設計条件と消泡操作後の泡密度の関係

●改良レプリカ用泡塗装ブースの消泡特性の評価

レプリカ用泡塗装ブースでは、消泡装置への泡の流れがスムーズでない、液を多く含む泡が消泡装置に流れるためモーターにかかる負荷が大きいといった課題があった。そのため、泡をスクリーコンベアで移送する方式に改良した（図 2-21）。縦方向にもスクリーコンベアを設けることにより、液を下方に落とし、液の少ない泡を消泡装置に流した。改良レプリカ用泡ブースにおいて、消泡装置の性能を評価した。



図 2-21 改良レプリカ用泡塗装ブース

表 2-1 に、改良レプリカ用泡塗装ブースにおける消泡後の泡密度の結果を示す。泡塗装ブースの運転条件は次の通りである；界面活性剤：発泡剤 T 0.05%、ガス流量 30L/min、液流量 3L/min、網羽根回転数 20rpm、横スクリーコンベア回転数 180rpm、縦スクリーコンベア回転数 225rpm。消泡部の設計条件は、円板径 290mm、オリフィス孔径 120mm とした。円板の回転数を高めると、消泡後の泡密度が大きくなることが確認された。また、円板回転数 2400rpm では、オリフィス板と円板との隙間を 2mm と 3mm に変化させても、消泡後の泡密度に大きな違いはなかった。

表 2-1 消泡後の泡密度

円板との隙間 [mm]	円板回転数 [rpm]	消泡後の泡密度 [kg/m ³]
2	1500	509
2	2400	692
3	1800	566
3	2400	682

2-2 溶存 V O C の効率的な微生物分解の検討

(研究実施機関：新潟工科大学、(有)田辺塗工所)

【2-2-1】溶存 V O C 分解微生物の選定

<目的> 液中に溶けている V O C の分解速度の大きい微生物を明らかにする。

<実施内容>

●キシレン分解菌の探索

o-キシレンを分解する菌を自然界から探索する実験を行った。

10カ所で採取した土壌の中から、*o*-キシレンを摂取して増殖する菌（キシレン分解菌）を探し、培地にはアルキルベンゼン資化菌用培地を使用。炭素源として *o*-キシレンを 1% 添加。50mL のバイアル瓶に培地 10mL、*o*-キシレン 0.1mL、少量の土を入れて、キシレンが逃げないようにアルミキャップで密栓した。10本のバイアル瓶を往復振とう機に入れ、30℃で1次培養。4日後、2次集積培養として、新しい培地 10mL、一次培養液 1mL、*o*-キシレン 0.1mL をバイアル瓶に入れて密栓して6日間振とう培養した。さらに、3次集積培養として、新しい培地 10mL、二次培養液 0.5mL、*o*-キシレン 0.1mL をバイアル瓶に入れて密栓して6日間振とう培養した。

キシレンを摂取する菌が増殖すれば液体は濁るため、最も濁りが強かったバイアル瓶にキシレン分解菌が存在すると判断した。図 2-22 に、分離したキシレン分解菌を培養した時の様子を示す。培地には、アルキルベンゼン資化菌用培地を用い、炭素源として *o*-キシレンを 1% 添加した。温度は 30℃、120rpm で振とう培養。左の写真は培養前、右の写真は6日間培養後のものである。培養前の透明な液から、培養後の液は濁ることから、菌が *o*-キシレンを摂取して増殖していることがわかった。また、この菌が、*m*-キシレン、*p*-キシレン、エチル

ベンゼンでも増殖することを確認した。



図 2-22 土壌から分離したキシレン分解菌の培養の様子

●土壌から分離した菌およびミタゲン菌によるキシレン分解特性の評価

ミタゲン菌は、東和酵素株式会社が販売している塗装ブース用の微生物製剤である。ミタゲン菌は、納豆菌と同じ分類の菌であり、塗装ブースで発生する汚泥の処理に利用されている。そこで、土壌から分離した菌およびミタゲン菌による α -キシレン分解特性を評価した(図 2-23)。縦軸は、ガスクロマトグラフで測定した α -キシレンのピークエリア比に相当する、溶存キシレン濃度比である。土壌から分離した菌は、ミタゲン菌よりもキシレン分解速度は小さいことがわかった。ミタゲン菌の場合は、溶存キシレン濃度は、72 時間で最初の濃度の 46%に低下した。

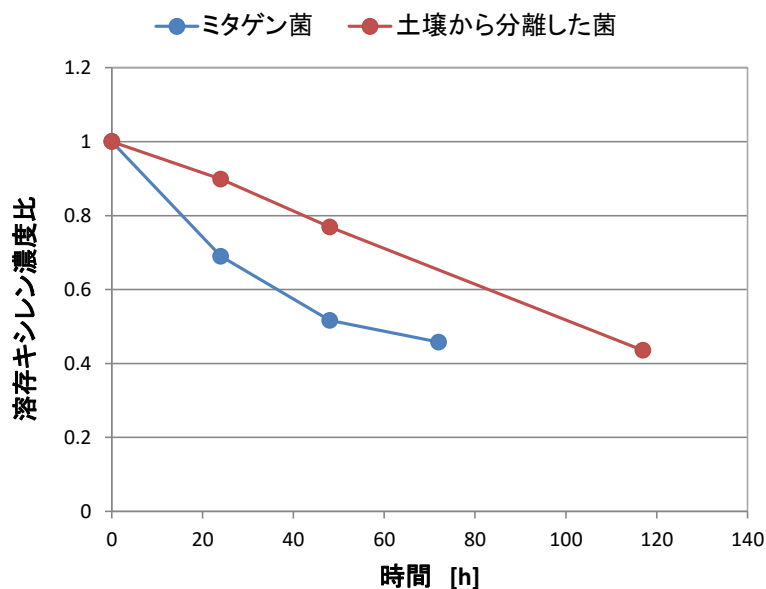


図 2-23 微生物による α -キシレン分解特性

【2-2-2】溶存VOC分解微生物の適正な生育環境の検討

<目的>より長期間、微生物に溶存VOCを分解させる環境を明らかにする。

<実施内容>

●ミタゲン菌の生存期間の調査

曝気槽を使用して、ミタゲン菌の生存期間の調査を4日間行った。曝気槽に4Lの水を入れ、ミタゲン菌を1.2g添加した(0.3g/L)。通気量は1L/minとし、溶存酸素濃度(DO)、液温度、pH、生菌数を測定した(図2-24)。左図に生菌数の変化、右図にDO、pH、液温の変化を示す。

24時間までは、生菌数が大きく増え、その後減少する傾向にあった。ミタゲン菌は、酸素を必要とする好気性菌であるため、大きく増殖する24時間までは、溶存酸素濃度の値は減少することがわかった。これは、溶存VOC分解のためミタゲン菌を長期間生存させるには、酸素供給を要することを示唆している。

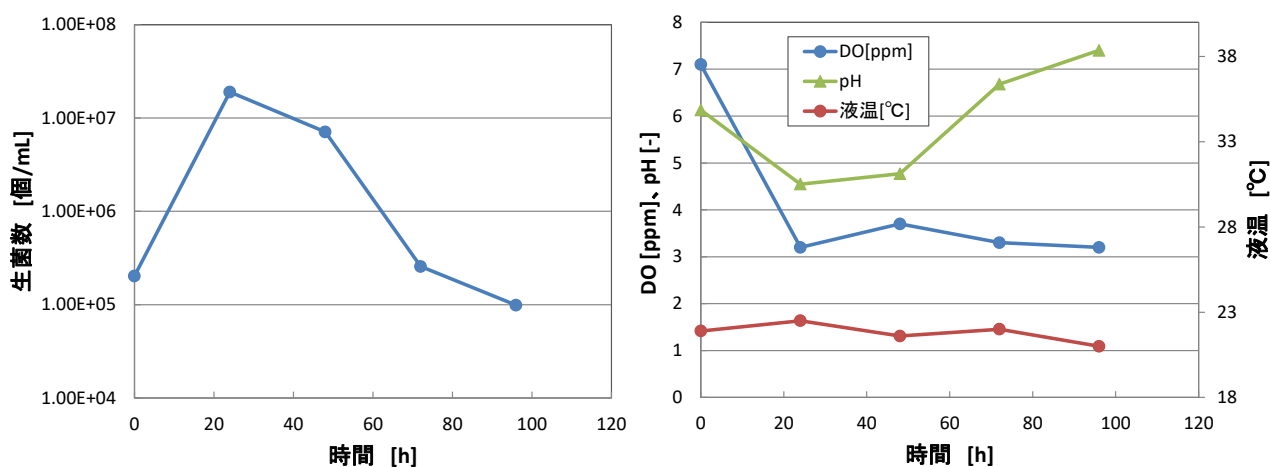


図 2-24 ミタゲン菌の生菌数、DO、pH、および液温度の変化

2-3 泡発生器、スクリーン、移送機構、消泡器、VOC処理槽設計技術の開発

(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所)

【2-3-1】泡発生器形状の検討

<目的>最適な泡の効率的な生成を実現する。

<実施内容>

●「導泡板」形状の最適化

「レプリカ泡ブース」から得られた結果を反映させ、「導泡板」の形状を改良。寸法は「レプリカ泡ブース」で用いている寸法を採用。

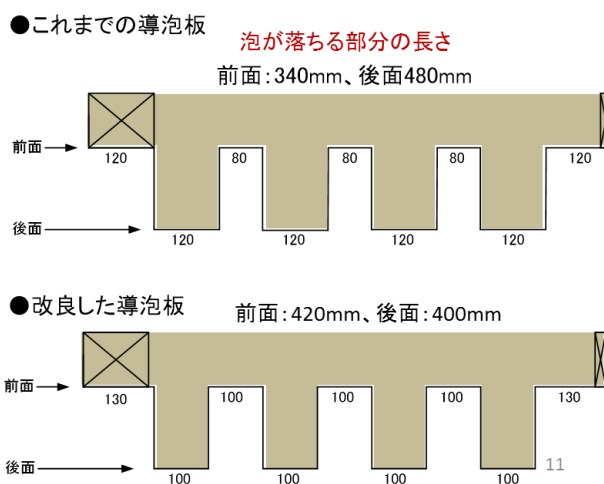


図 2-25 導泡板の形状（改良前後）

●「攪拌翼」の形状・運転条件の最適化

攪拌翼の目の大きさ、形状、回転数について条件探索を行い、泡発生条件の最適化を行った。

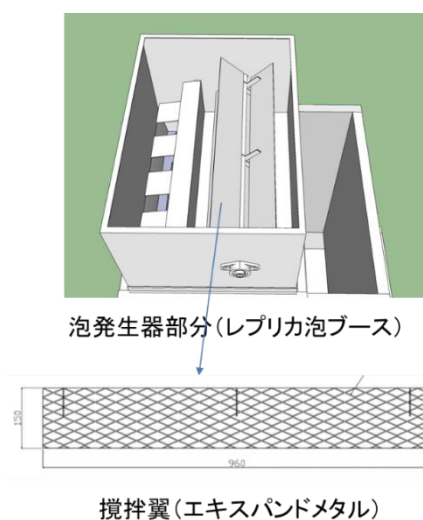


図 2-26 泡発生器の構造

【2-3-2】スクリーン形状の検討

<目的>捕集効率の向上を実現する。

<実施内容>

● 1次、2次遮蔽板の形状及び最適な組み合わせ

「レプリカ泡ブース」で得られたデータ及びシミュレーションを活用し、吸引抵抗と捕集率の関係性から最適な条件を明らかにした。

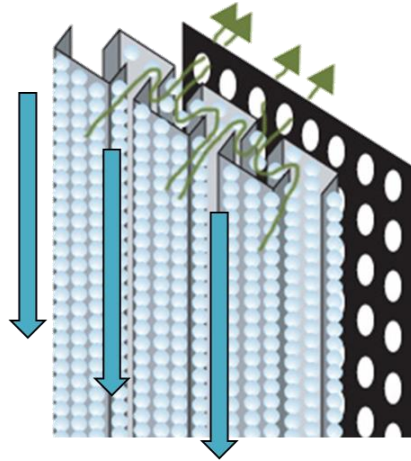


図 2-27 遮蔽板部分の概要

●塗料付着防止策の検討

スクリーンへの塗料付着防止策として、熱収縮樹脂の活用を検討。しかし収縮力不足により遮蔽板への密着が困難であった。そこで、ストリップペイントによる保護膜作成を実施したところ、スクリーンへの密着が可能であった。実作業試験下での塗料付着防止性を評価したところ良好な結果であった。

またスクリーンに塗料が付着した状態（実作業試験運転を約 20 日間実施した状態に相当）でストリップペイントの剥し作業を実施したところ、作業は容易で良好な結果。保護膜としての有効性を確認した。



図 2-28 ストリップペイントの剥し作業の様子

【2-3-3】移送器形状の検討

＜目的＞移送方法の最適化により、泡を効率的に消泡器へ導く。

＜実施内容＞

●移送機構の検討

「レプリカ泡ブース」から得た知見により泡の移送機構を製作。

しかし、泡の移送距離が長く勾配も小さかったため、移送部分における泡の滞留問題が発生。そこで移送距離の見直しを行い、移送経路の改良を実施。また消泡器への吐出口形状について最適化を図った。



図 2-29 消泡器までの移送部分

【2-3-4】消泡器形状の検討

＜目的＞消泡器形状、設置数、設置位置の最適化により、泡を効率的に破壊すること。

＜実施内容＞

●消泡処理量の把握及び消泡器数の最適化

泡発生量と消泡処理量の算出を行い関係性を把握。当初ブース 2 基に対し消泡器 1 基を設置していたが、泡発生量と消泡処理量の関係から消泡器の数を 2 基へ増設。消泡器数の最適化を実現することができた。

●運転条件の最適化

「レプリカ泡ブース」で得られた結果を反映させ、オリフィスと円板とのクリアランスについて最適化を実施。

2-4 【2-3】による開発機器と上下圧送構造を用いた試作機開発と実使用環境下での性能評価

(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所、新潟工科大学)

【2-4-1】試作機の開発

＜目的＞試作機の作業試験運転の実施により、各工程の組合わせの最適化を実現する。

＜実施内容＞

実際の作業試験運転実施のため「ハイブリッド自動塗装ライン」を設計し製作。また「自動静電塗装機器」を導入し実作業試験運転を実施。

実作業試験運転を行うことで各工程及びその組み合わせについて検証を行い、各機器へフィードバックを行った。



図 2-32 「自動静電塗装機器」



図 2-33 試作機の塗装工程部

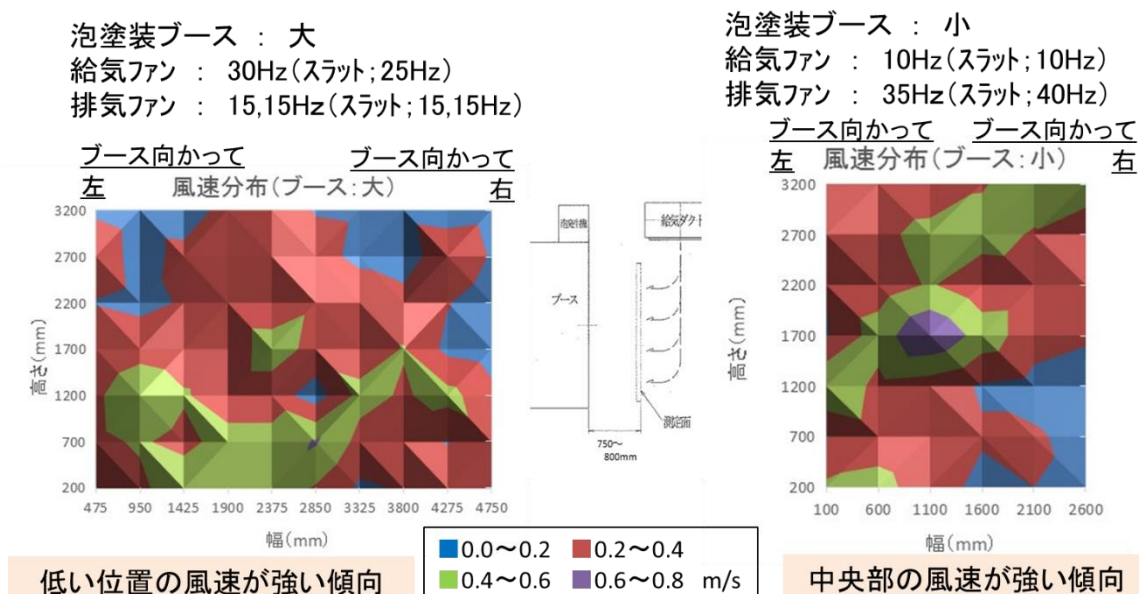
【2-4-2】評価試験の実施

＜目的＞実使用環境下での性能評価を実施し、その評価をフィードバックすることで、各工程の最適な組合わせを実現する。

＜実施内容＞

●気流速度や気流分布の確認

気流測定を実施し風速分布を確認。泡塗装ブース（大）については、低い位置の風速が強い傾向。泡塗装ブース（小）については、中央部の風速が強い傾向であった。



●他タイプのブースと消費電力の比較

泡塗装ブースの消費電力を測定し、開口面積 1m² あたりの消費電力について他タイプブースと比較を行った。条件①では、水洗式から約 77.6%削減、ベンチュリーブースから約 85.5%削減を実現した。条件②では、水洗式から約 85.4%削減、ベンチュリーブースから約 90.6%削減した。

ブースタイプ	消費電力 (kW)	開口面積 (m ²)	開口面積あたりの消費電力 (kW/m ²)
泡塗装ブース (条件①)	4.49	28	約0.160
泡塗装ブース (条件②)	2.91	28	約0.104
ベンチュリーブース	7.75	7	約1.107
水洗式ブース	5.00	7	約0.714

約77.6%
削減

約85.5%
削減

約85.4%
削減

約90.6%
削減

年間のランニングコストに換算すると、下記のとおりであった。

条件① 約 3.7 万円/ (年・m²) 【対 VB】、約 2.1 万円/ (年・m²) 【対水洗】削減

条件② 約 3.9 万円/ (年・m²) 【対 VB】、約 2.4 万円/ (年・m²) 【対水洗】削減

※8h/日×245 日稼働、20 円/kWh で算出

●粉体塗料の塗着効率評価

使用した塗料量と膜厚の関係から、粉体塗料の塗着効率を測定。結果として塗着効率 64.5%を達成 (従来比 9%向上)。

2-5 販路開拓への取組み

(研究実施機関：(有)田辺塗工所、(株)吉田工業、津島屋鐵工所)

＜目的＞開発ブースのPR及びユーザー評価のフィードバックを行い、早期の普及促進を目指す。

＜実施内容＞

●ユーザーへの開発ブースPR

本装置の有効性を実使用により認識してもらうことに加え、ユーザーからの評価を仕様へフィードバックさせるために小・中型ブースのデモ機を製作。デモ機の実使用に加え工場見学の際に実際に運転状況を見てもらうことでユーザーに効果的な商品PRを行うことができた。

また各種関係機関の会合などで商品PRを行い、効率的な周知活動を実施した。

＜各種発表による開発ブースPR＞

10月18日 日本パウダーコーティング協同組合の研究会にて

10月28日 CEMAシンポジウムにて

※アドバイザーである東和酵素内山様が代理発表

＜工場見学の受け入れによる開発ブースPR＞

11月26日 日本パウダーコーティング協同組合の工場見学会にて

12月6日 粉体塗装研究会の工場見学会にて

最終章 全体総括

本研究開発で取り組んだ、「VOC排出量削減と塗装コスト削減を同時に実現する「泡と微生物を利用したVOC高効率捕集・高分解塗装ブース」の開発」については、3ヶ年でほぼ目標を達成した。

VOCの捕集率については当初目標に届かなかったが、高い捕集率、粉体塗料の塗着効率の向上に加え、従来品からの大幅なランニングコストの低減を実現することができたため、開発の目的自体は概ね達成したものと評価する。

<事業化展開>

バブルスクリーンブース（手吹き用）、バブルスクリーンブース（ライン用：中型）（ライン用：大型）については、川下ユーザーでありアドバイザーであるアネスト岩田（株）、パーカーエンジニアリング（株）と事業提携を行い、耐久性試験などの追加試験を実施した後、商品としての販売を見込む。

市場への展開手法については、（有）田辺塗工所が中心となり、国内展開に関してはアネスト岩田（株）、海外展開についてはパーカーエンジニアリング（株）と連携し、2社が持っている販路を活用しながら販路開拓を進める。

事業化した際の生産体制については、（有）田辺塗工所が塗装ブースメーカーへの提案・受注・販売等の窓口、（株）吉田工業、津島屋鐵工所が各機器製造の役割を担う。また、新潟工科大学には技術的な相談・指導等、継続して連携をとっていく。