交通運輸技術開発推進制度

令和７年度業務実績説明書

コスト削減、品質向上、労務環境改善等を主眼とする
船舶塗装の抜本的生産性向上を図る
「高粘度液体オンデマンド吐出装置」実用化の為の新
（特許）技術の開発

令和８年３月

国立大学法人　東京農工大学

Ⅰ. 研究開発成果の要約

作成年月	令和８年１０月
研究課題名	船舶塗装の抜本的生産性向上を図る「高粘度液体オンデマンド吐出装置」実用化の為の新(特許)技術の開発（課題 ID：24036911）
研究代表者名	田川義之
研究期間	令和６年１１月１３日～令和８年３月３１日
研究の目的	研究代表者が保有する特許技術「高粘度液体オンデマンド吐出装置」を船舶塗装に適用し、従来の非効率な塗装手法を抜本的に改革することで、日本の造船業の環境を多方面から改善することを目指す。
研究成果の要旨	（１）技術面での研究：MVP（最小実行可能製品）の開発を主軸に進めた。市場調査を並行して実施したことにより、現時点での技術的課題および市場からの具体的要望を明確に把握することができた。これにより、MVP 改良策が具体化され、技術開発の方向性を市場ニーズに即した形で明確化できた点は大きな成果である。これらを踏まえ、高塗着率の塗装機 MVP および高スピードの塗装機 MVP については、いずれも当初計画に沿って開発を進め、その成立性を確認した。さらに、当初計画には含まれていなかった手持ち型 MVP についても試作・評価を実施し、現場作業者からのフィードバック取得まで到達した。これにより、本技術がロボット搭載型と手持ち型の双方に展開可能な塗装プラットフォームとして成立することが明らかとなり、船舶塗装現場への適用可能性が一層具体化した。 （２）ビジネス面での研究：市場調査と起業準備の両面において着実な進捗を達成した。市場調査では、コスト削減や生産性向上などの具体的な経済効果を定量的に示すことに成功するとともに、本技術が最も高い効果を発揮する適用領域としてバラストタンクや飲料水タンクを特定した。さらに、国内外の船舶塗装に関する環境基準および規制動向を体系的に整理し、技術的・市場的競争力を備えた製品設計の方向性を明確化した。起業には、三浦真公認会計士からの実践的な経営指導を継続的に受け、経営基盤の整備を進めてきた。令和 7 年度においては、社会実装に向けた関係各社・団体との接点がさらに拡大し、技術コンソーシアム構想の具体化および新会社 CLUTCH Nexus 株式会社の設立を完了した。これにより、技術の事業化に向けた実行体制が整備され、今後の本格的なビジネス展開に移行する準備が整った。
知的財産権 取得状況	特許出願　　０件 特許出願（予定）１件 著作権登録　　０件
研究成果発表実績	論文発表：国内　1 件、海外　6 件 口頭発表：国内　4 件、海外　7 件 その他　：表彰 1 件

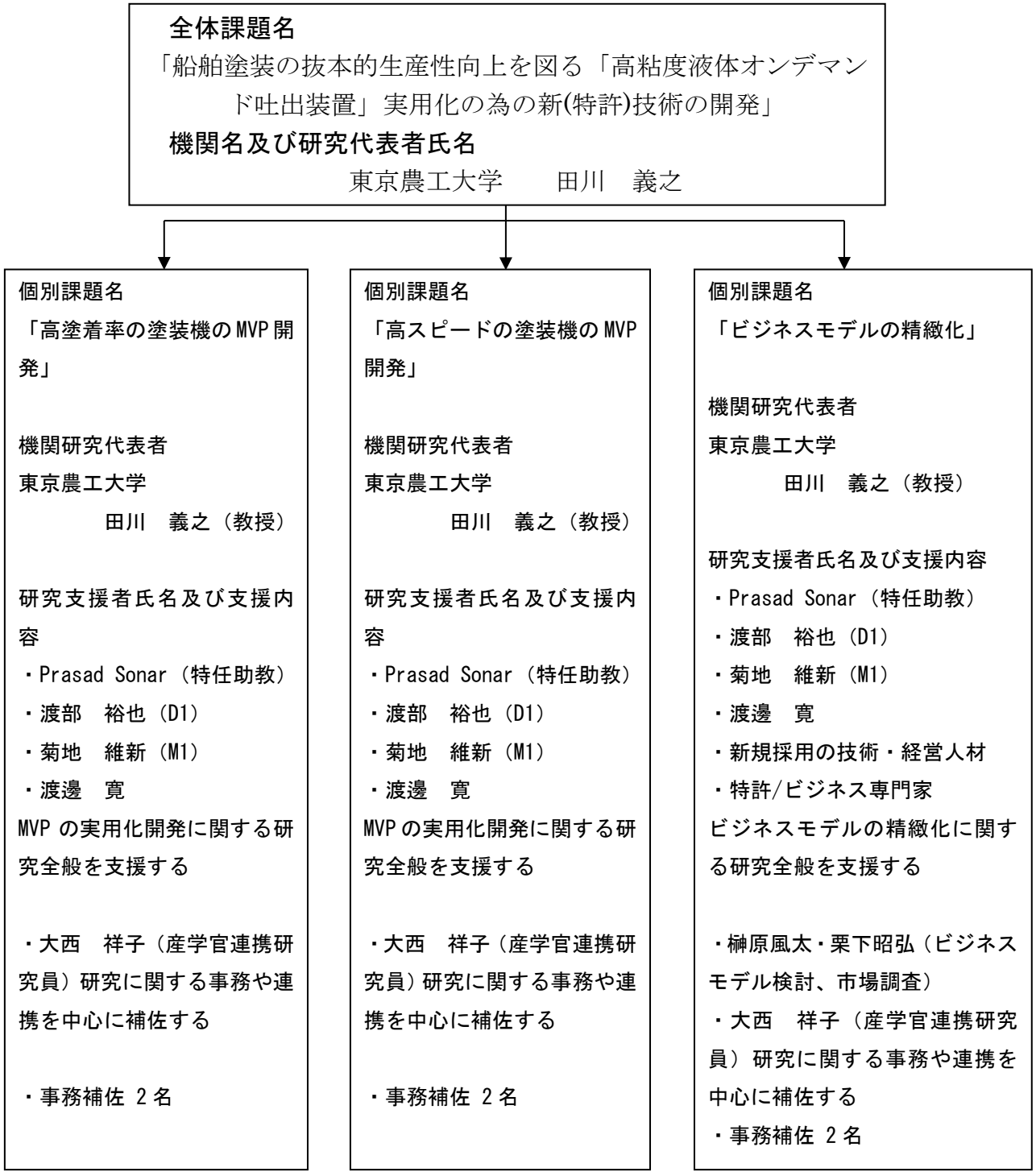
II. 研究開発の目的と実施体制

（1） 研究開発の目的

代表者が保有する特許技術「高粘度液体オンデマンド吐出装置」を船舶塗装に適用し、従来の不効率な塗装手法を抜本的に改革することで、日本の造船業の環境を多方面から改善することを目指す。

（2） 研究実施体制

本研究は東京農工大学を研究機関として実施した。研究実施の流れを示すチャートは以下の通り。



III. 研究開発の成果

１．序論

船舶塗装では、大面積・複雑形状への施工に加え、塗料の飛散、塗料ロス、作業負担、養生・乾燥待ちによる工程制約が課題である。本研究では、高粘度液体を必要な位置に必要量だけ届けるオンデマンド吐出技術を船舶塗装へ展開し、高塗着率と施工速度の両立を目指した。 船舶のバラストタンク等の防食塗装には国際的な性能基準があり、塗膜厚さの測定や防食塗装系の選定にも関連規格が整備されている［1–3］。

研究期間は令和 6 年 11 月 13 日から令和 8 年 3 月 31 日までである。当初計画の高塗着率塗装機 MVP と高スピード塗装機 MVP は基本機能の成立性を確認し、さらに当初計画にない手持ち型 MVP の試作・現場評価にも進展した。以下では達成した成果と今後の最適化課題を区別して示す。 塗装の効率化・環境負荷低減は他産業でも重要な課題であり［4］、本研究の吐出原理は既報の高粘度液体オンデマンド塗布研究［5］を基盤とする。

２．研究開発の主な成果

（１）高塗着率塗装機 MVP【当初計画：達成】

従来のスプレー方式とは異なり、高粘度塗料を液体ジェットとして目標部位へ届ける方式を採用し、ノズル径 φ6 mm で平均膜厚約 277 μm、φ10 mm で約 405 μm を記録し、塗着率 80～99%を確認した。これに基づき、高塗着率 MVP の実用化に向け、サテライト液滴の低減、ノズル出口形状や循環口配置の改良、塗料粘度と吐出安定性の関係などを検討した。得られたノズルフード等の知見も活用し、低飛散性能と施工性の両立に向けた設計因子を整理した。

性能・検討項目	確認事項
平均膜厚	φ6 mm：約 277 μm、φ10 mm：約 405 μm
塗着率	試験条件により 80～99%
MVP 改良	サテライト対策、ノズル・循環系の検討

（２）高スピード塗装機 MVP【当初計画：達成】

これまでの開発では、被塗布体を固定して吐出ヘッド側を等速移動させる試験において、60 分以上の安定連射を確認した。塗着間隔の標準偏差はステージ移動型 0.09 mm、ヘッド移動型 0.16 mm であり、移動に伴う顕著な性能低下は認められなかった。これらの知見を活用し、船舶塗装向け高スピード MVP の構築と改良を進めた。

産業用ロボットアームに小型吐出ヘッド、ノズル、循環型補給機構を統合し、10 Hz でドット塗り・面塗りを評価した。三次元形状の試験片を用いた知見も活用し、ロボット軌道と吐出を同期させる移動塗装の成立性を確認した。

10 Hz・ピッチ 1.0 mm（移動速度約 10 mm/s 相当）では良好な塗布結果を得た。一方、ピッチを広げて約 20 mm/s 相当とした条件ではムラが見られ、狭めすぎると液垂れが発生した。これは MVP としての移動塗装成立と、より高速な条件での品質最適化を区別すべきことを示す。また 15 分間の停止後も、数回の駆動で吐出が再開し、膜厚 10 μm 以上を確認した。

PZT 微振動、塗料高粘度化、マルチノズル化も比較したが、実装性・安定性の観点から単一ノズルの

最適化を優先する設計方針を得た。

（３）手持ち型 MVP【計画を上回る成果】

船舶塗装には、ロボット化が適する広い平面と、骨材周辺・狭隘部・部分補修など人手作業が必要な領域が共存する。塗装関係者からの要望を受け、ロボット搭載型の吐出原理を基盤として、作業者が保持・操作できる手持ち型 MVP を追加試作した。把持部、重心、ホースの取り回し、ノズルの視認性などを検討した。

試作機を塗装関係者に実際に持ってもらい、操作感や現場適合性に関するフィードバックを取得した。これは、装置の可搬化だけでなく、長時間保持、作業姿勢、清掃・保守といった実用上の要求を具体化できた点に意義がある。長期施工性能や安全性の検証は今後の課題である。



図 1　手持ち型 MVP 試作機（SBIR で追加開発）

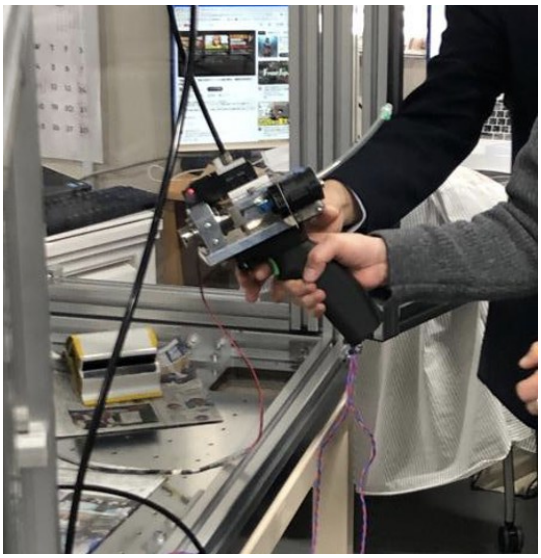


図 2　塗装関係者による手持ち型 MVP の操作評価（SBIR）

（４）市場適合性と社会実装への進展

市場調査では、厚膜形成・低飛散・狙い塗りの利点を活かす重点用途として、バラストタンクと飲料水タンクを特定した。関連企業・団体との対話を深め、技術コンソーシアム構想を具体化するとともに、CLUTCH Nexus 株式会社の設立を完了した。技術の製品化と現場実証へ移行するための基盤が整った。

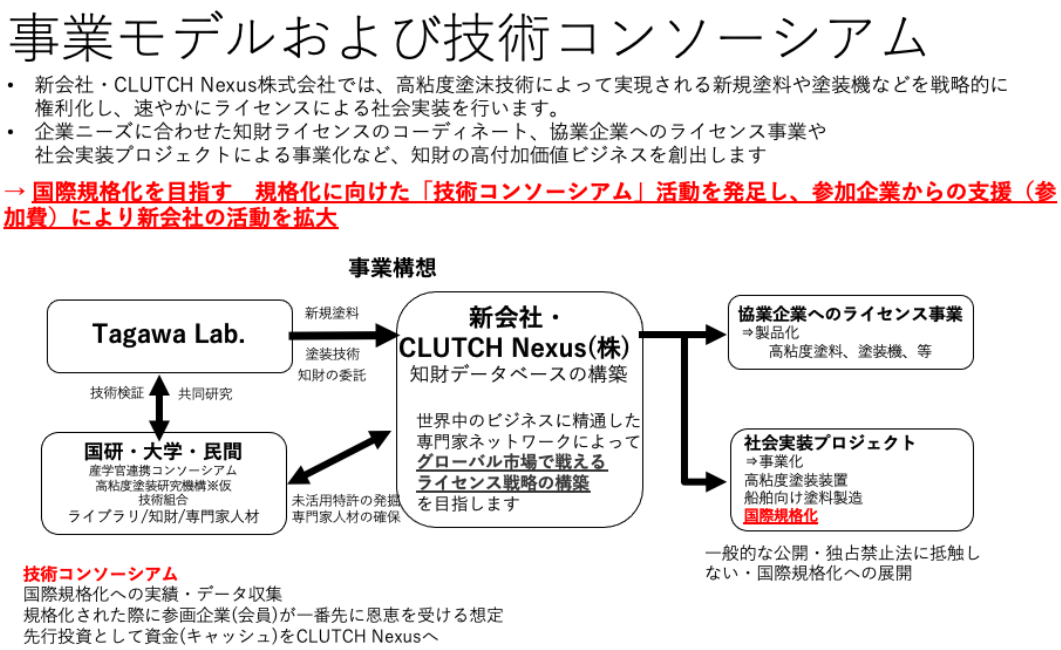


図 3　SBIR 事業化に向けた事業モデル・技術コンソーシアム構想

３．結論

高塗着率 MVP と高スピード MVP について当初計画に沿った基本機能の成立を確認した。加えて手持ち型 MVP を追加開発し、現場評価を実施したことは計画以上の進展である。高粘度塗料を必要箇所に必要量だけ届ける本技術は、塗料ロス削減、低飛散、作業環境改善に資する塗装プラットフォームとしての展開可能性を示した。

項目	到達点	今後の課題
高塗着率 MVP	厚膜形成・高塗着率、サテライト対策	実船用塗料・姿勢への適合、保守性
高スピード MVP	長時間移動吐出・ロボット塗装	高速時の均一性、施工幅、耐久性
手持ち型 MVP	追加試作と現場フィードバック	軽量化、操作性、安全性

今後は、船舶用塗料・実船体片を用いた検証、塗膜品質・耐久性、VOC 削減量、施工時間、工程並列化の効果を定量評価する。MVP の成立性を確認したことと、全施工条件での最終性能の保証とは区別し、現場要求に沿った最適化を進める。

４．知的財産権取得状況

特許出願：０件（出願準備中１件）。著作権登録：０件。発明者・発明名称・出願日等は、出願完了後に確定するため、現時点では記載しない。

５．研究成果発表実績

１）論文発表（国内１件、海外６件）

本研究期間中における研究代表者および研究グループの関連研究成果発表を、以下に示す。

[1] Watanabe, H., Kusuno, H., and Tagawa, Y., Effect of converging shape of container on the velocity of impact-induced focused liquid jet, International Journal of Multiphase Flow 193, 105348 (2025).

[2] Jiajue, J., et al., Generation of cell-sized liposome using laser-induced microjets, Lab on a Chip 25, 2644–2653

(2025).

[3] Kobayashi, U. K., Pradipto, and Tagawa, Y., Granular focused jet, arXiv:2508.11905 (2025).

[4] Yokoyama, Y., et al., Scaling crossover in droplet impact force on elastic substrates, Nature Communications 17, 607 (2026).

[5] Kamamoto, K., Hosokawa, A., and Tagawa, Y., Impact-induced viscoelastic bungee-jumper jets with uniform extension and stress, Applied Physics Letters (2026).

[6] Miyoshi, H., et al., Impulse-induced liquid jets from bubbles with arbitrary contact angles, arXiv:2602.03185 (2026).

[7] 栗田雅章・田川義之「連続式インクジェットプリンターの液滴生成過程におけるノズル流量の周期的変動の影響」日本画像学会誌 65(1), 66–71 (2026).

２）口頭発表（国内４件、海外７件）

[1] Tagawa, Y., Three-Dimensional Stress-Measurement Using Flow Birefringence, APS DFD, Salt Lake City (2024).

[2] Kikuchi, I., Effect of stiffness of the base on impact-induced liquid jet velocity, APS DFD, Salt Lake City (2024).

[3] Yamagata, K., Injection behavior into skin-simulating soft materials using an impact-induced liquid jet, Salt Lake City (2024).

[4] Tagawa, Y., Jetting and stress dynamics in soft multiphase systems, ISMPE, Shimane (2025), keynote.

[5] Tagawa, Y., Advances in Focused Jets and Cavitation, Yonsei Engineering Symposium, Seoul (2025), invited.

[6] He, D., et al., Formation of impact-induced granular jets, POWDERS & GRAINS, Goa (2025).

[7] Watanabe, H., et al., Velocity of an impact-induced focused liquid jet, Dublin (2025).

[8] He, D., et al., Formation of Focused Granular Jets, DEM10, Hyogo (2025).

[9] Kikuchi, I., et al., Effect of stiffness of the base on impact-induced liquid jet velocity, ICMF, Toulouse (2025).

[10] 田川義之ほか「Solvent-free ejection of high-viscosity liquids using impulsive acceleration」日本船舶海洋工学会秋季講演会、姫路（2025）、ポスター・企業展示。

[11] 田川義之ほか「SBIR の第二段階における協業先の模索・検討のための情報収集および発信」高機能素材 Week 東京展、幕張（2025）。

３）その他

日本画像学会論文賞 1 件（2025 年 3 月 14 日）。対象論文：「高粘度液体オンデマンド連続吐出機構の開発および性能評価」（原報告書記載）。

６．参考文献

本節の研究成果・数値は、本事業の令和７年度研究成果報告書（東京農工大学、令和８年３月）に基づく。背景となる基準・先行研究を以下に示す。

［1］International Maritime Organization (IMO), Resolution MSC.215(82), Performance Standard for Protective Coatings for Dedicated Seawater Ballast Tanks in All Types of Ships and Double-Side Skin Spaces of Bulk Carriers (2006).

［2］ISO 19840:2012, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Measurement of, and acceptance criteria for, the thickness of dry films on rough surfaces.

［3］ISO 12944-5:2019, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 5: Protective paint systems.

［4］Akafuah, N. K. et al., “Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review,” Coatings, 6(2), 24 (2016). doi:10.3390/coatings6020024.

［5］Kamamoto, K., Onuki, H. and Tagawa, Y., “Drop-on-demand painting of highly viscous liquids,” Flow, 1, E6 (2021). doi:10.1017/flo.2021.7.

［6］JST, A-STEP 研究成果「高粘度液体を安定吐出する車体塗装用オンデマンドヘッドの開発」（公開成果ページ、2026 年閲覧）。