

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子線、オゾン環境下で摺動に優れる部材のための
セラミック緻密膜とその製造装置の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成28年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 国立大学法人大阪大学接合科学研究所

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	・・・ 3
1－2	研究体制	・・・ 5
1－3	成果概要	・・・ 8
1－4	当該研究開発の連絡窓口	・・・ 9

第2章 本論

2－1	溶射材料の開発	・・・ 10
2－2	溶射装置の開発	・・・ 10
2－3	溶射プロセスの最適化	・・・ 14
2－4	試験片に成膜したセラミックス皮膜の検証	・・・ 16
2－5	電子線滅菌装置への施工と検証	・・・ 17

第3章 全体総括

3－1	複数年の研究開発成果	・・・ 19
3－2	研究開発後の課題・事業化展開	・・・ 19

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) 研究開発の背景

飲料、食品、薬品、化粧品等の製造工程では滅菌プロセスが必要不可欠である。例えば、毎日世界中で大量に生産される飲料の製造工程では、飲料充填前に新品の容器を滅菌する。現在、一般的に使われている湿式滅菌法は、薬液と大量の洗浄水が必要であり、かつ廃液処理も含めて環境負荷が大きいことに深刻な問題がある。

この環境負荷の高い薬液洗浄による滅菌法に代わるものとして、環境負荷の無い乾式滅菌法である電子線滅菌法の実用化が期待されている。

この電子線滅菌装置実用化のネックとなっているのが、電子線、オゾンさらに NOx 等による部材の劣化と装置内すべての駆動伝達部および摺動部のドライタッチによる摩耗である。長時間、断続的に受ける電子線暴露と、同時に発生するオゾン、NOx、さらに装置そのものを洗浄する過酸化水素水によって装置を構成する部材が劣化、損傷する。加えて、装置内全ての駆動伝達部や摺動部はドライタッチ無潤滑であり摩耗も併発する。もし、劣化した部品のかけらが飲料内に混入すれば衛生上だけでなく飲料メーカーの信用そのものも損ないかねない。

(2) 研究目的

本事業では、このような飲料・食品、薬品、化粧品等の容器の新しい滅菌法である低出力電子線滅菌装置において、その実用化のネックとなっている部材の要求に応えるべく、電子線、オゾン環境下に耐えてかつドライタッチでの安定した摺動を確保できる緻密なセラミックコーティング膜とその製造装置を開発することを目的とする。

(3) 研究目標

上記目的を達成するために、10～500nm のナノ微粒子を液体樹脂に均一分散させた溶射材料とこれをミスト化して溶射する装置を開発し、緻密膜を作製する。各テーマの目標と担当機関およびそれに対する実施結果は以下の通りである。

【1】溶射材料の開発（大阪大学接合科学研究所、日本コーティング工業株式会社）

目標を「分散量 40vol%以上で混合して微粒子が均一に分散したスラリーを作製する」とした。

まず、セラミックスとしてアルミナを選定した。高速回転により攪拌脱泡する機械式の混練装置を用いて、粒径 170nm のセラミックス微粒子を液体樹脂へ分散量 20～40vol% で混合してペースト化し、均一分散性を確認するために粘度測定を行いながら条件の最適化を行った。その結果、アルミナ微粒子を分散量 40vol%で均一分散したスラリーを作製することができた。

【2】溶射装置の開発（株式会社セイワマシン）

【2-1】ミストスプレー発生器の作製

目標を「30g/min 以上の微粒子ミストを安定供給できる」とし、まず、相当量のミストを得るために必要なスラリー量 0.1L/min 以上を 0.2 MPa 以上で送ることができるスラリー供給機を開発した。次いで、ミスト発生器内部での流体の挙動シミュレーション

の知見を参考にミストスプレー発生器を設計製作し、ミスト噴射実験を行いミスト化に成功した。

【2-2】軸方向投入式ガスフレームガンの作製

目標を「【2-1】で作製したミストで溶射が出来る。」とし、これを実現できる軸方向投入式ガスフレーム溶射ガンを設計製作した。設計にあたっては、溶射ガン内部の流体挙動のシミュレーションも参考にした。

【2-3】溶射の自動化

目標を「ナノリスク回避の目的から、ロボット溶射技術の導入により遠隔操作で作業できるようにシステムを作る」とし、溶射ガンをロボットアームに載せて遠隔操作で溶射できるようにした。ロボットは独立モードとし、溶射装置においてはスラリー供給系、ミスト発生系、溶射系の各系の最適化も進め遠隔操作により集塵ブース内で溶射施工できるようにした。

【3】溶射プロセスの最適化（日本コーティング工業株式会社）

【3-1】溶射フレーム中ナノ微粒子の挙動解析

目標を「緻密皮膜作成の制御因子を整理する。」とし、溶射フレームのシミュレーション、溶射解析装置「Accuraspray-g3」による溶射フレームの観察、作製したサンプル皮膜の状態観察から緻密膜形成の制御因子の整理を進めた。その結果、ミスト化の制御因子としてスラリー供給量、噴霧エア条件、防着用エア条件を、また溶射の制御因子として酸素ガス条件、アセチレンガス条件、エア条件、溶射距離を選定しその解析を進め、溶射プロセスの最適化に有用な知見を得た。

【3-2】溶射プロセスの最適化

目標を「・連続して安定した溶射ができる。・従来溶射による同体積の皮膜形成速度に匹敵する $1500\text{mm}^2/\text{sec}$ 以上。」とし、ミスト化および溶射の制御因子の最適化を進めた。その結果、基本的な溶射条件を策定し、成膜速度については従来溶射と同程度かそれ以上のものになり得ることが確認でき、 $1500\text{mm}^2/\text{sec}$ 以上達成の見込みができた。また、情報を【2】溶射装置の開発にフィードバックし装置最適化の参考とした。

【4】試験片に成膜したセラミックス皮膜の検証（大阪大学接合科学研究所、日本コーティング工業株式会社、株式会社セイワマシン）

【4-1】組織の検証

目標を「セラミック緻密度 96%以上、強度 800MPa」とし、電子顕微鏡による組織観察、結晶構造の解析、緻密度測定、破断評価等の検証を進めた。その結果、固相接合によって形成されたとみられる緻密なアルミナ皮膜の成膜が確認できた。

【4-2】形成した微粒子溶射膜の電子線照射環境での検証

アドバイザーである日立造船株式会社様のご協力で第 1 回目の電子線照射試験を実施した。試験片の分析から、本事業で開発中のアルミナ皮膜(以下、サポイン皮膜と表記する)は、従来のプラズマ溶射皮膜に生じたような粒子表面の変化もなく、変色もやや少ないという結果が得られた。引き続き、硬度や密着力などの機械的な特性の変化の検証を進めている。

【5】電子線滅菌装置への施工と検証（大阪大学接合科学研究所、日本コーティング工業株式会社、株式会社セイワマシン）

試験片での電子線照射試験結果をふまえ、実機部品での検証を行う。アドバイザー

において検証を実施していただき、その結果をもとにアドバイザーも含めて協議し、最適化を計る。

【6】プロジェクトの管理・運営（大阪大学接合科学研究所）

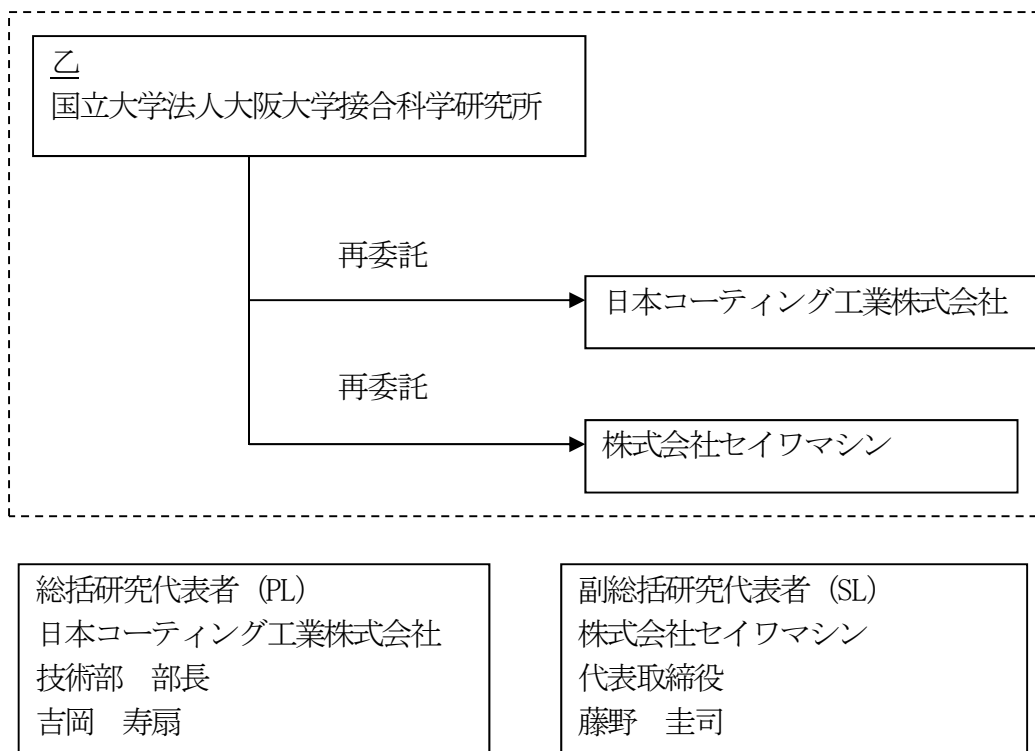
事業管理機関としてプロジェクトを管理運営する。

①年2回の委員会を開催する。

②報告書を作成する。

1－2 研究体制

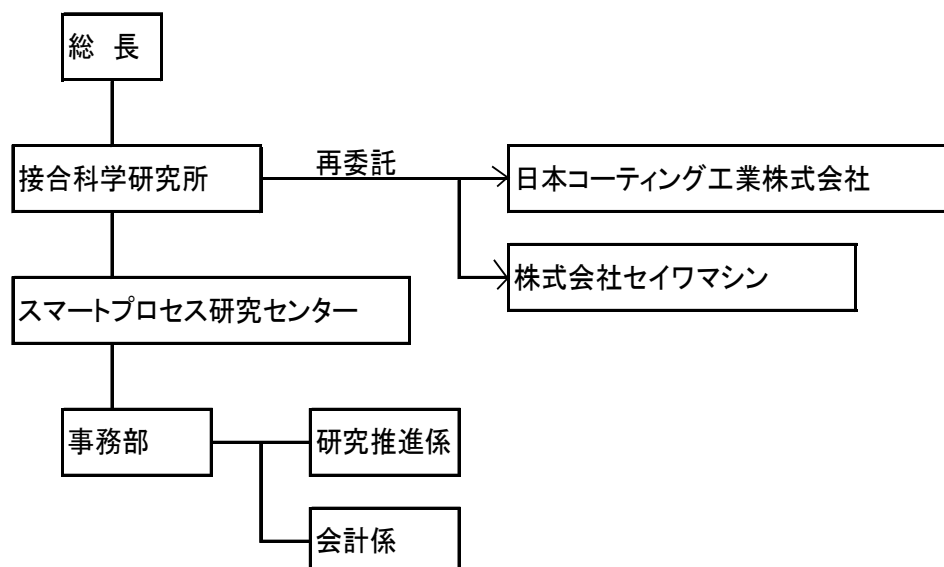
（1）研究組織（全体）



（2）管理体制

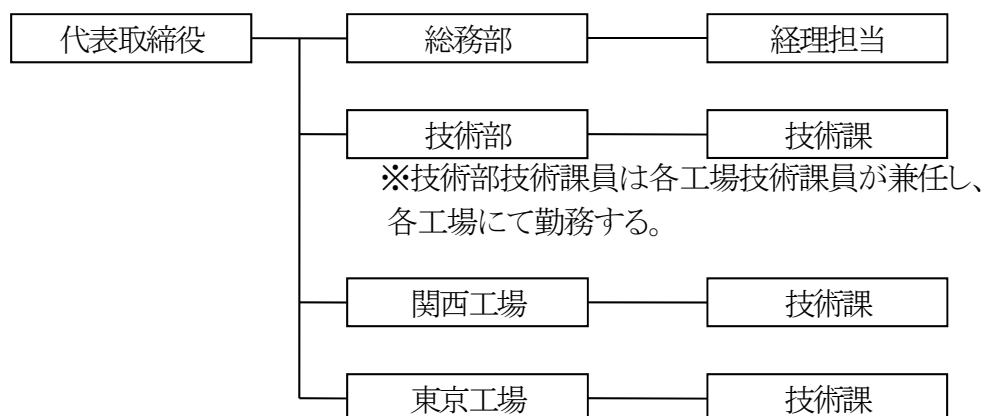
1) 事業管理機関

国立大学法人 大阪大学 接合科学研究所

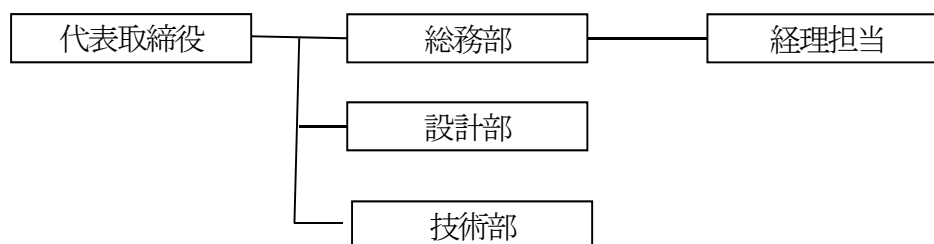


2) 再委託先

日本コーティング工業株式会社



株式会社セイワマシン



(3) 管理員及、研究員及び協力者

1) 事業管理機関

国立大学法人大阪大学接合科学研究所

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
桐原 聡秀	スマートプロセス研究センター・准教授	【6】
塩谷 崇	研究推進係・事務職員	【6】
長谷川 ゆい	研究推進係・事務職員	【6】

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
桐原 聡秀（再）	スマートプロセス研究センター・准教授	【1】【4】【5】

2) 再委託先※研究員のみ

①日本コーティング工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
吉岡 寿扇	技術部・部長	【1】【2】【3】【4】【5】
宇都宮 大剛	技術課・主任	【1】【3】【4】【5】
横山 広和	技術課・係員	【1】【3】【4】【5】
鷹井 一登	技術課・係員	【1】【3】

②株式会社セイワマシン

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
藤野 圭司	代表取締役	【2】【3】【4】【5】
横山 秀次	設計部・部長	【2】【3】【4】【5】
大西 昭彦	設計部・課長	【2】【3】【4】【5】
岡本 和雄	技術部・工場長	【2】【3】【4】【5】
市井 一也	技術部・係員	【2】【3】【4】【5】
藪岡 猛	技術部・係員	【2】【3】【4】【5】
溝口 直	設計部・係員	【2】【3】【4】【5】

3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

①事業管理機関

国立大学法人大阪大学接合科学研究所

（経理担当者） 会計係長 山中 正

（業務管理者） スマートプロセス研究センター 准教授 桐原 聡秀

②再委託先

日本コーティング工業株式会社

（経理担当者） 総務部 部長

菊池 洋介

（業務管理者） 技術部 部長

吉岡 寿扇

株式会社セイワマシン

（経理担当者） 総務部 経理担当

新垣 美妙

（業務管理者） 代表取締役

藤野 圭司

4) アドバイザー

①日立造船株式会社

所属・役職	氏 名
精密機械本部 システム機械ビジネスユニット 第2設計部長	國塩 和良

②三菱重工業株式会社

所属・役職	氏 名
技術統括本部 高砂研究所 製造技術研究室 主任	成田 竜一

1-3 成果概要

(1) 溶射材料の開発 (大阪大学接合科学研究所、日本コーティング工業株式会社)

溶射材料の開発については、液体アクリル樹脂とアルミナ微粒子を素材として混練条件を最適化し、溶射材料となる粒子径 170nm のアルミナ微粒子を分散量 40vol%で均一分散したスラリーを作製した。

(2) 溶射装置の開発 (株式会社セイワマシン)

スラリーを溶射材料とするミスト溶射装置システムを製作することが出来た。装置システムの構成としてはスラリー供給系、ミスト発生系そして溶射系の三つに大別される。

まず、スラリー供給系装置として溶射材料スラリーをミスト発生器に搬送するスラリー供給機を作製した。

次に、ミスト発生系装置としてミストスプレー発生器を作製しスラリーのミスト化に成功した。

さらに溶射系装置として、発生させたミストを溶射できる軸方向投入式ガスフレームガンを作製した。

さらに、ナノリスク回避のために、溶射ガンをロボットアームに取り付け独立モードでの遠隔操作により集塵ブース内で溶射ができるようにした。

以上の結果、スラリーを溶射材料とするミスト溶射装置システムを使って、遠隔操作により集塵ブース内で溶射ができるようになった。

しかしながら、セラミックという硬質の粒子を含むスラリーを搬送する関係で、ナノスラリー供給装置部品の消耗が激しいこともあり、長時間の運転のためには部品の寿命延長を進める必要があることも分かった。

(3) 溶射プロセスの最適化 (日本コーティング工業株式会社)

基本的な溶射条件を策定し、成膜速度については現状の溶射と同程度かそれ以上のものになり得ることが確認できた。

まず、緻密膜作成のための溶射プロセスの制御因子を整理し最適化を進めた。すなわち、ミスト化の制御因子としてスラリー供給量、噴霧エア条件、防着用エア条件を、そして溶射の制御因子として酸素ガス条件、アセチレンガス条件、エア条件、溶射距離を中心に整理を進め、溶射プロセスの最適化に有用な知見を得た。これらのデータと作製した皮膜サンプルの分析結果をもとに基本的な溶射条件を策定した。

その結果、成膜速度については現状の溶射と同程度かそれ以上のものになり得ることを確認し、1500mm²/sec 以上達成の見込みができた。

(4) 試験片に成膜したセラミックス皮膜の検証 (大阪大学接合科学研究所、日本コーティング工業株式会社、株式会社セイワマシン)

組織観察、結晶構造の解析、緻密度測定、破断評価等から皮膜の検証を進めた。その結果、固相接合によって形成されたとみられる緻密なアルミナ皮膜の成膜が確認できた。これは従来の溶射にみられるような皮膜の材料学的変質を回避し、材料本来の有用な特性の再現を期待できるとみられる。

しかしながら、皮膜中に樹脂成分に由来するとみられる少量の炭素成分Cが確認された。これについては、溶射プロセスの各因子の最適化でかなり改善されたが、まだ若干の残留が見られる。樹脂成分の過度の残存は皮膜の強度にも影響する可能性があると考えられるので更に可能な限り減少させたい。また、密着性など機械的特性に関してももっとデータが必要である。

電子線照射環境での検証として、サンプルを作製してアドバイザーに提供し、第1回目の電子線照射試験を実施した。この電子線照射試験により、サポイン皮膜は、従来のプラズマ溶射皮膜と比べて高い耐性を有している可能性が期待できることが分かった。引き続き検証を進めべく検討している。

(5) 電子線滅菌装置への施工と検証

現時点で、電子線滅菌装置実機での評価実施までには至らなかった。試験片での電子線照射試験結果をふまえ、引き続きアドバイザーに検証のご協力をいただき、その結果をアドバイザーも含めて協議しながら最適化を進める予定である。

(6) プロジェクトの管理・運営 (大阪大学接合科学研究所)

毎年、2回の委員会を開催し進捗を管理するとともに、研究経緯と成果についてとりまとめ成果報告書を作成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口 日本コーティング工業株式会社 技術部 吉岡寿扇
TEL 0791-48-1751 FAX 0791-48-1756
E-mail yoshioka@nipponcoating.co.jp

第2章 本論

2-1 溶射材料の開発

セラミックス材料としてアルミナを選定し、基本混合条件をもとに、粒径 170nm のセラミックス微粒子とアクリル樹脂を用いて、混合条件や素材成分の影響を調べる実験を行い材料製造条件の適正化を行った。下図 1 に示すように、円筒容器を公転自転式高速回転装置に固定し、公転により混合液に遠心力を負荷して、比重の差による脱泡を達成するとともに、同時に自転させることで、微粒子を溶媒中に分散し混合する。設定した 700rpm 程度の回転数で 15 分程度攪拌すれば十分であることがわかった。

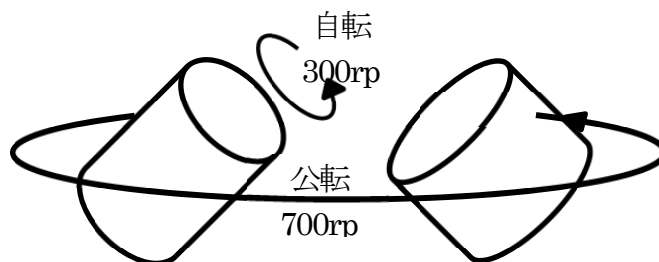


図1 公転自転式高速回転装置での混合要領

ナノ微粒子が液体樹脂にきちんと分散したかどうかを見極めるために、ペースト素材の粘度測定を行った。液体樹脂に対する粒子の分散量を 20% から 40% まで変化させペースト素材の調合を行い、粘度測定を行った結果を図 2 に示す。これから分かるように 40% の高濃度条件でも、均一分散性を示す良好な流体特性（チクソ特性）が得られることが分かった。

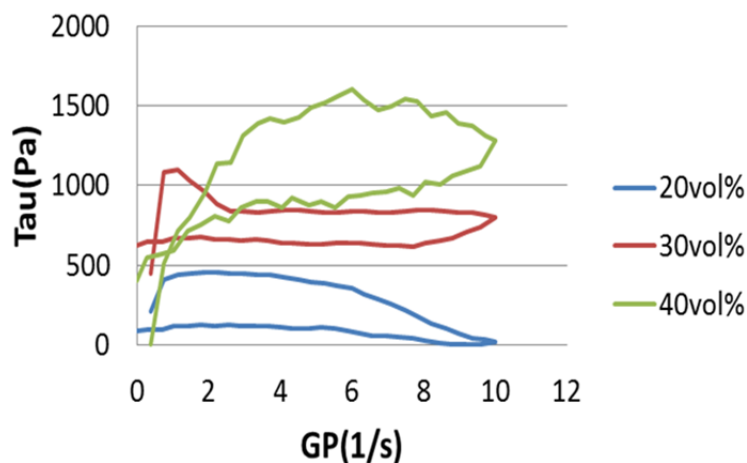


図2 各分散量における粘性特性

2-2 溶射装置の開発

(1) ミストスプレー発生器の開発

1) 微粒子スラリー供給装置の開発

安定したミストを発生するため、安定したスラリー供給が可能なスラリー供給装置を設計し試作した。図 3 に、試作機と性能試験結果を示す。目標である 30g/min のミストを得るために必要な 0.1L/min 以上を 0.2 MPa 以上で送ることができた。

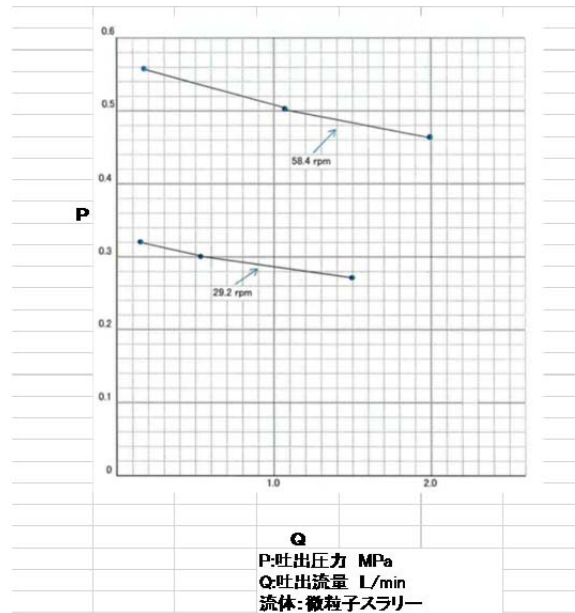


図3 微粒子スラリー供給装置と性能試験結果

しかし、課題として流量計やシール部での損傷が大きく随時改良を重ねた。流量計については市販のものでは損傷が激しく耐用しえないことが判明したので、自作して対応している。

2) ミストスプレー発生器の作製

①ミスト発生ノズル設計のための流体シミュレーション

設計図面をベースにノズル内部の構造を3DCADにより作成した。この3次元データをもとに、大阪大学の有限要素法シミュレータを使用して内部を流れる流体の可視化を行いノズル構造の適正化を行った。ノズル出口から噴出される流体の軌跡をはじめとするいくつかのシミュレーションを実施した。図4に流体の可視化シミュレーション結果を示す。

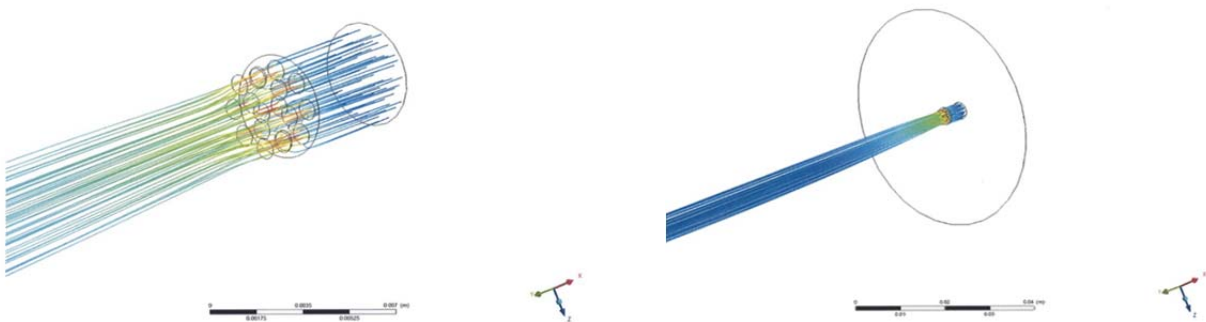


図4 ミスト発生器ノズルでの流体の可視化シミュレーション

②ミスト発生器の設計、製作

これらの予測結果を基に、ノズルの構造を最適化し、ミストノズルを設計しミスト発生器を製作した。

ミスト発生ノズルは、ノズルと周辺部品の精度が厳しく複雑であるため、その製作には高精度加工が必要となる。設計要求に応える仕様の高精度切削装置を平成25年度に導入し活用した。

以上の実施の結果、図5に示すようなミスト発生器を完成した。製作したミスト発生ノズルによるマイクロミスト噴射実験の様子を図6に示す。ノズル直下に設置されたガラス基板の表面が白く曇っており、微粒子ペーストが効率よくマイクロミスト化されていることが、視覚的

に分かる。噴出されたミスト液滴の直径や形状を顕微鏡観察した場合においても、微小で均一な噴射パターンが得られていることが確認された。



図5 ミスト発生器

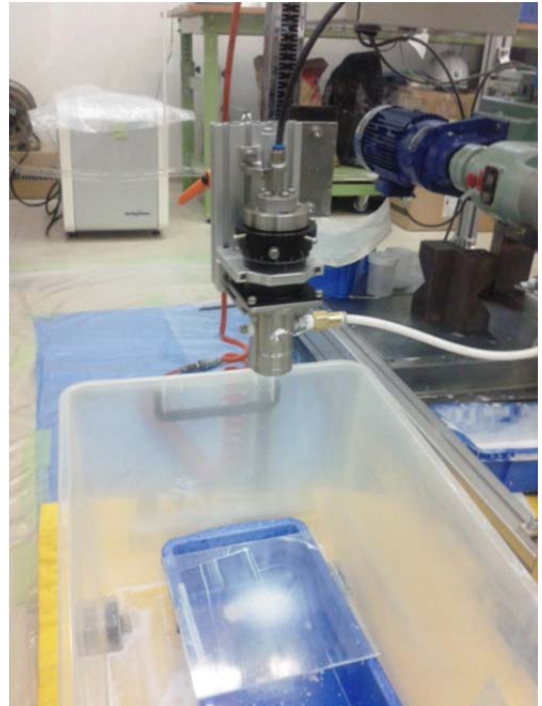


図6 マイクロミスト噴射実験

(2) 軸方向投入式ガスフレームガンの作製

1) 軸方向投入式ガスフレーム溶射ガンの構造最適化

前述のミストスプレー装置の構造最適化と同様に、軸方向投入式ガスフレーム溶射ガンにおいてもコンピュータグラフィックスを用いた設計手法を基盤として、流体シミュレーションと組み合わせることで、実パーツのトライアンドエラー試作を極力減らす試みを進めた。軸方向投入式ガスフレーム溶射ガンの内部の構造をCADにより作成し、大阪大学の有限要素法シミュレータを使用して解析を行った。

この三次元データを用いて行ったガン内部の流体シミュレーションの結果を図7に示す。軸方向に投入された流体が溶射フレームに入っていく様子をシミュレーションしたものである。

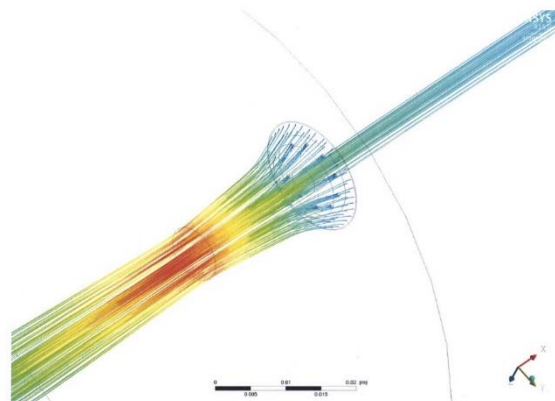


図7 溶射ガン内部における流体の可視化シミュレーション

2) 軸方向投入式ガスフレイム溶射ガンの設計、作製

上記シミュレーションを参考にしながら軸方向投入式ガスフレイム溶射ガンを設計し、スラリー溶射材料をミスト化して溶射する軸方向投入式ガスフレイム溶射ガンを作製した。図8にその外観を示す。

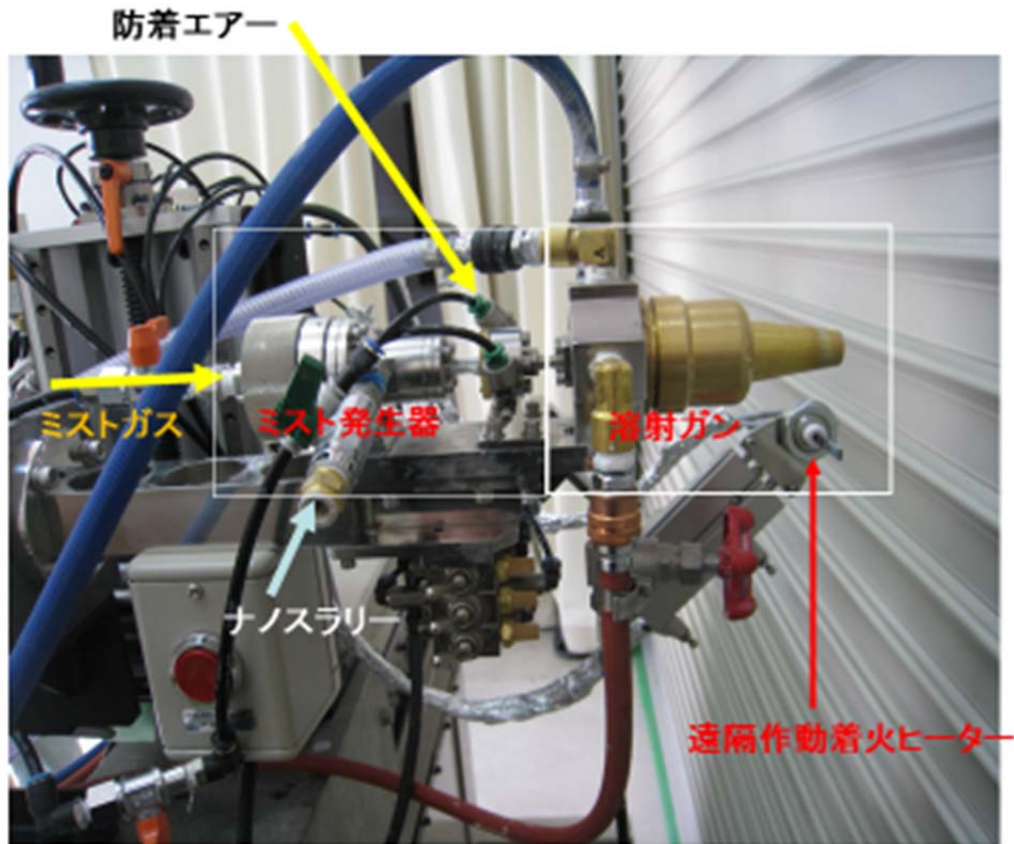


図8 ナノ微粒子スラリーミスト溶射ガン全体の外観

3) 溶射の自動化

ナノリスク回避の目的から、ロボット溶射技術の導入により遠隔操作で作業できるシステムを作るために以下のように実施し成果を上げることができた。

①ナノ微粒子溶射用ロボットの導入

ナノ微粒子溶射用ロボットとして、防塵性と気密性に優れた機種を選定し導入した。最も懸念される点は、稼働部分に微粒子が混入し、装置の動作性能が低下することであるが、当該ロボット装置は、駆動部分が十分にシールされておりさらに改造を加えることで、施工における目標を、十分に達成できる。

②遠隔操作と自動化

ロボットは独立モードとし、遠隔操作により集塵ブース内で溶射施工できるようにした。操作モードは、遠隔・手元いずれのモードでも選択できるようにし、着火、溶射、消火、冷却の一連の動作ができるようにした。

③各系での最適化

自動化と並行して、安定した遠隔操作での溶射を可能とするためにシステムを構成するスラリー供給系、ミスト発生系、溶射系の各装置の最適化も進めた。

以上の実施により遠隔で自動溶射ができるようになった。

2-3 溶射プロセスの最適化

(1) 溶射フレーム中のナノ微粒子の挙動解析

以下のような溶射実験を進めデータを蓄積した。

1) フレーム温度分布の観察

溶射条件の変化によるフレームの温度分布や粒子温度・速度の変化を溶射解析装置によって計測し、有用な知見を得ることができた。図9のように測定画面においては、温度はアルミナの融点よりやや低めの 2080℃を表示しており粒子が溶融に至っていないと推定された。本プロセスでは、成膜プロセスとして溶射粒子が固相状態のままでの焼結成膜を想定しているので、このような粒子温度がプロセス上の重要な一つの要素となった。

粒子温度表示：2080℃

粒子速度表示：375m/sec

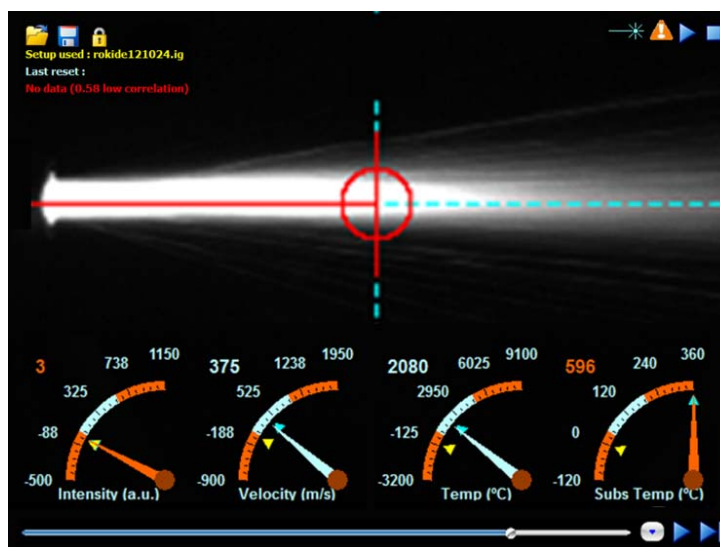


図9 アキュラスプレー測定画面

2) 溶射粒子の観察

溶射粒子を捕集し、粒子の状態を分析走査型電子顕微鏡にて分析、観察しフレーム中での状態変化を確認した。

捕集粒子の表面微細構造を分析電子顕微鏡によって観察した写真を図10に示す。これから分かるように、マイクロバルク状に結晶粒界が観察できた。バルク表面に原材料としての一次粒子のナノ粒子が残っているのが観察される。また、エックス線回折からこの粒子の結晶構造が原材料と同じ α 相であることが確認された。一般に、従来溶射ではアルミナ粒子が溶融後に急冷されることから原材料が α 相であっても粒子や皮膜は γ 相に変化することが知られている。これらのことから、本プロセスでは、粒子が溶融過程を経ず固相のまま焼結する現象が起きているものと推察された。

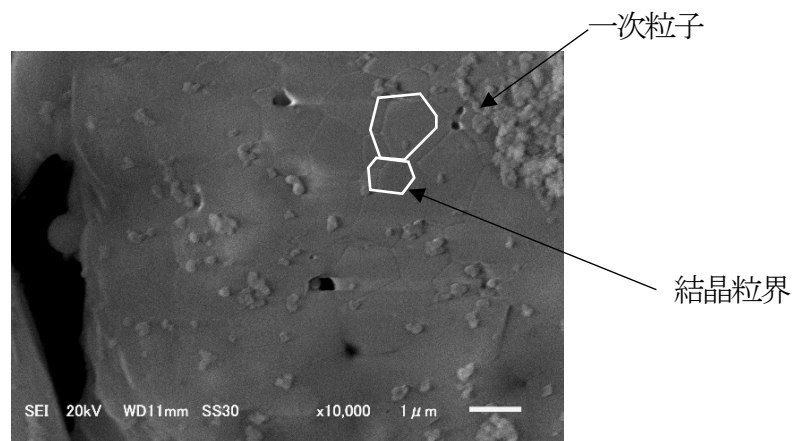


図10 捕集粒子の外観

(2) 溶射プロセスの最適化

1) フレーム中の微粒子挙動シミュレーション

フレームの挙動を予測するために、有限要素法シミュレータを用いてノズルから噴出されたフレーム挙動のシミュレーション解析を、阪大接合研で所有する解析ソフトウェアANSYSにて実施した。図11に溶射フレームの高速ガス流体可視化シミュレーション図を示す。燃焼ガスフレーム中心に軸方向から投入されたミスト流がノズルからフレームとともに放出される様子を示している。

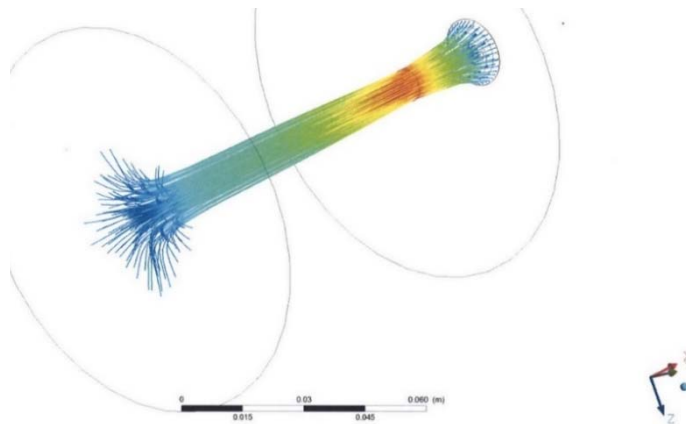
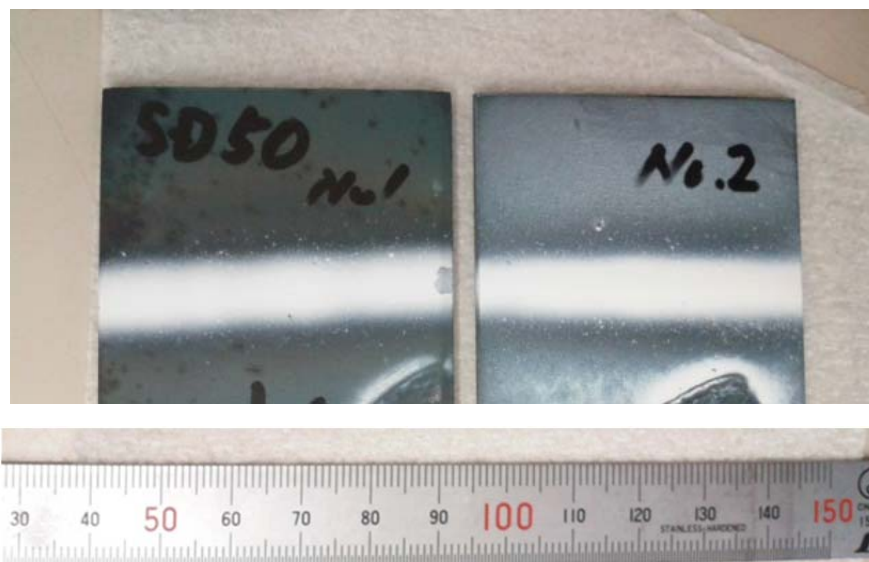


図11 溶射フレームの高速ガス流体可視化シミュレーション図

2) 成膜の実現

溶射フレーム観察、シミュレーション、溶射粒子および作製したサンプル皮膜の状態観察から得られたデータをもとに、ミスト化の制御因子であるスラリー供給量、噴霧エア条件、防着エア条件そして溶射の制御因子である酸素ガス条件、アセチレンガス条件、エア条件、溶射距離を制御因子として最適化を進め、基本的な溶射条件を策定した。

図12に溶射した試験片を示す。およそ $150\mu\text{m}$ 程度の厚さの皮膜を往復3回のトラバースで得ることができた。成膜速度は、現状の一般の溶射と同程度かそれ以上のものになり得ることが確認できた。



基材 SS400
 アルミナ粒子径 170nm
 中央の白い部分が溶射成膜

図1 2 ミスト溶射試験片

2-4 試験片に成膜したセラミックス皮膜の検証

(1) 組織の検証

以下の項目を実施し組織の検証を行った。

- ①光学及び分析走査型電子顕微鏡による組織観察
- ②X線回折による結晶構造の解析
- ③テラヘルツ波による緻密度測定
- ④皮膜密着力の評価

これらの検証から、固相接合によって形成されたとみられる緻密なアルミナ皮膜の成膜が確認された。図1 3に皮膜組織を示す。しかし、分析電子顕微鏡による皮膜の分析結果では、少量の炭素成分Cが確認された。炭素成分は、樹脂の残存からくるものと考えられる。これについては、溶射プロセスの各因子の最適化でかなり改善されたが、まだ若干の残留が見られる。樹脂成分の過度の残存は皮膜の強度にも影響する可能性があると考えられるので更に可能な限り減少させた。

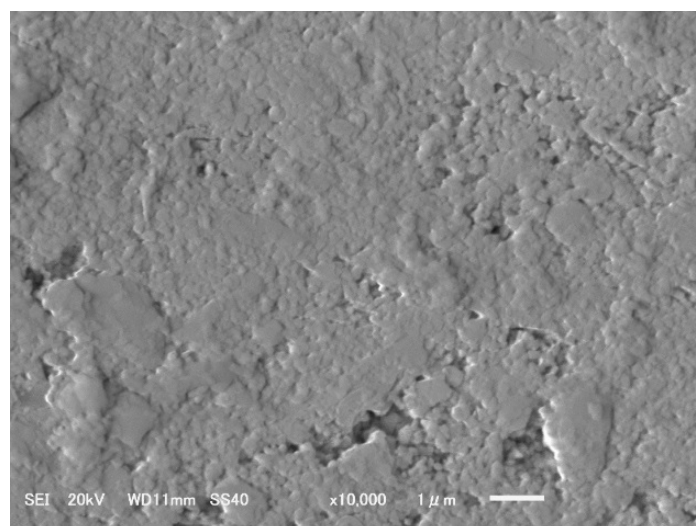


図13 分析電子顕微鏡による皮膜断面組織写真

(2) 評価装置の作製

アドバイザー（日立造船株式会社）様のご協力により、電子線照射試験は同社の装置で実施して頂いた。実際的な評価であるので有用である。

(3) 形成した微粒子溶射膜の検証とフィードバック

アドバイザーである日立造船株式会社様のご協力で第1回目の電子線照射試験を実施した。基材はステンレス鋼 SUS304 とアルミニウム 5052 系の2種類とし、それぞれにサポイン皮膜と従来のプラズマ溶射皮膜を成膜して比較した。電子線照射前後での皮膜表面の電子顕微鏡による観察写真を図14に示す。観察の結果、従来のプラズマ溶射皮膜には照射前にみられた粒子表面の微小な凹凸が照射後には消失しており何らかの変化が起きているようだが、サポイン皮膜にはそのような粒子表面の変化はみられなかった。また、目視での観察でも変色もやや少ないという結果が得られた。従来にない電子線照射環境で耐性のある皮膜に至る可能性が高いと考えられる。さらに、硬度や密着力などの機械的な特性の変化の検証を進めている。

2-5 電子線滅菌装置への施工と検証

試験片での電子線照射試験結果をふまえ、実機部品での検証を進めるべく検討している。アドバイザーにおいて検証を実施していただき、その結果をもとにアドバイザーも含めて協議し、最適化を計る予定である。



a. 電子線照射前

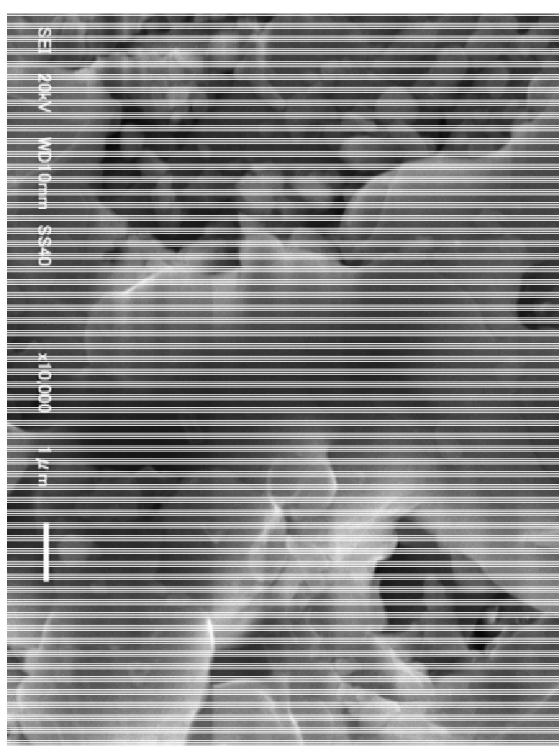


b. 電子線照射後

A. プラズマ溶射皮膜



a. 電子線照射前



b. 電子線照射後

B. サポイン溶射皮膜

図 1 4 電子線照射前後におけるプラズマ溶射皮膜とサポイン皮膜との比較

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

平成25年度から27年度にわたる「電子線、オゾン環境下で摺動に優れる部材のためのセラミック緻密膜とその製造装置の研究開発」の遂行にあたり、川下業者も含めたコンソーシアムで研究開発を進めてきた。ナノ微粒子セラミックスと液体樹脂からなる均一分散スラリー溶射材料とミスト溶射装置を開発しその溶射プロセスを最適化して、溶射装置の製造・販売と溶射施工サービスの事業化をめざしている。現状では、一部未達の部分もあるが、本事業で開発した材料、装置と溶射プロセスの知見をもって、当コンソーシアムメンバーによる補完研究で事業化できると確信している。

通年の経緯は以下の通りである。

初年度には、溶射材料の開発においては、セラミック選定と基本混練条件の策定を行った。溶射装置の開発においては、ナノスラリー供給装置の作製とミスト発生器の基本的な設計を行い溶射装置開発の基本的な項目を実施した。溶射プロセスの最適化においては、最適化のための測定・解析手法の確立と固形材による実験を開始した。シミュレーションの実施について検討を重ねた。

2年次には、溶射材料の開発においては、溶射材料の作製条件の最適化を実施し、これを確定した。溶射装置の開発においては、ミスト発生ノズル内部と溶射ガン内部の流体シミュレーションを行い、これらの知見を参考にしながらミスト発生器と溶射ガンを設計製作した。溶射プロセスの最適化においては、フレームや溶射粒子の解析を中心に進めた。

3年次には、装置の最適化を進めさらに改良を加えた。また、遠隔操作と自動化を進めてシステムとして構築した。そして、溶射プロセスの最適化をさらに進めて溶射サンプルを作製した。

作製したサンプルをアドバイザーに提供し、実用化に向けての第1回目の電子線照射試験を実施した。この電子線照射試験により、サポイン皮膜は、従来のプラズマ溶射皮膜と比べて高い耐性を有する可能性が期待できると考えられた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

事業化に向けて、検討を予定している項目として次のようなものがある。

(1) 長時間溶射のための検証と溶射ガンの最適化

セラミックという硬質の粒子を含むスラリーを搬送する関係で、ナノスラリー供給装置部品の消耗が激しいこともあり、長時間の運転のためには部品の寿命延長を進める必要がある。

また、溶射中にノズル出口付近でスラリーが固化して狭窄するということが度々発生するのでこのあたりにも改善が必要である。

(2) 樹脂残渣をさらに減らすための配合の高濃度化

溶射皮膜中に残存する樹脂由来の炭素成分を減らし、さらに皮膜性能を上げるために、材料スラリーの配合比を上げる。このことにより、樹脂残渣に起因するとみられる部分的な欠陥を解消させる。

(3) 実機評価に向けての電子線照射試験

どのような計画でサンプルを作製し試験を実施するかアドバイザーと協議し、計画的に進める。

(4) 電子線照射装置実機での施工と評価

実用化に向けて、ユーザーの実機による評価は重要である。どのような計画で実機部品に施工し評価するかアドバイザーと協議し、計画的に進める。

今後、以上の課題を解決しながら、事業化へと進めていく。アドバイザーのご協力を頂きながら電子線滅菌装置での評価実績を蓄積してこの分野での事業を進め、装置の製作・販売と溶射施工の実績をつくる。その後、他分野への展開も検討する。