

船舶タンク用 無溶剤型エポキシ樹脂塗料 の塗装作業性改良と その計測評価

The Improvement of Workability on Non-Solvent Epoxy Resin Paint Applied for Ship's Tanks and its New Evaluation Method.

1. はじめに

船舶で耐食性を必要とするタンクには、主に飲料水タンク（以後FWTと略す）と海水バラスタタンク（以後BWTと略す）がある。FWTは航海中に必要とされる生活用水、飲料水を積むタンクであり、後者のBWTは船の浮力を調整するために海水を出し入れし船の安定性を保つタンクである。**写真1**は建造中の船のBWT全景であり、**写真2**は塗装後のBWT内部の写真である。FWTおよびBWTの両タンクの塗装面積は、液化天然ガス（125,000 m³）運搬船の場合で約105,000 m²と非常に広い面積になる。

現在、弊社ではFWT用塗料として溶剤型エポキシ樹脂塗料「エポマリンFW100」を上市している。この塗料は溶剤を約30%含んでおり、塗装後の乾燥条件や飲料水積載前の前処理（アク抜き処理等）条件によっては飲料水積載後に稀に飲料水に溶剤臭が残ることがある。

一方、BWT用塗料としては従来溶剤型のタールエポキシ樹脂塗料が塗装されていた。近年では弊社製品「エポマリンEX21」等のハイソリッド型エポキシ樹脂塗料の使用が



分析センター
第1部
猪俣茂男
Shigeo
Inomata



SDセンター
第1部
茂木淳一
Junichi
Mogi



CM研究所
第1研究部
中岡豊人
Toyoto
Nakaoka

急増している。これは造船所のVOC対策等により溶剤量が比較的少ないハイソリッド型のニーズが高まってきたものと考えられる。今後、これらVOC問題、塗装合理化、塗装作業者の作業環境面（**写真2**のように比較的密閉された塗装空間であることから溶剤濃度は低い方がよい）から無溶剤型の要求が高まってくるものと予想される。

タンク内の塗装にはエアレス塗装機が使用される。無溶剤型塗料は一般的に高粘度になりやすく、塗装作業性が劣るため、特殊高圧縮エアレス塗装機を使用する必要がある。今回、汎用エアレス塗装機でも塗装可能な品質の開発を目標とした。また、エアレス塗装作業性を定量的に評価出来る装置を開発したので併せて紹介する。

2. 無溶剤型エポキシ樹脂塗料の開発

2.1 機能目標とコンセプト

表1に無溶剤型エポキシ樹脂塗料の機能目標を示す。一般的な塗料の基本性能以外に①汎用エアレス塗装機（**写真3**）で塗装可能なこと。②FWT用は飲料水適性試験JW



写真1 BWT全景（建造中）



写真2 塗装後のBWT内部

表1 無溶剤型エポキシ樹脂塗料の機能目標

| 項目 | 試験項目 | 目標値 |
|------------------|-------------------|--|
| 塗膜試験 | 耐水性 (耐電気防食) | 40℃(海水)×3ヶ月問題ないこと |
| | 温度差試験 (40/20℃) | 軟鋼板 300 μ m : 7日間問題ないこと サンドブラスト板 300 μ m : 14日間問題ないこと |
| | ポットライフ | 20℃ : 2時間以上 30℃ : 1時間以上 |
| | 硬化性 (歩行可能) | 20℃ : 16時間以内 5℃ : 48時間以内 |
| | 不揮発分 (105℃×1h) | 96%以上 |
| 塗装作業性 | 厚塗り性 | アプリケーション : 500 μ m以上 エアレス塗装 : 500 μ m以上 |
| | エアレス作業性 | 施工上問題のないこと |
| 飲料水適性 (FWTのみ) | JWWA K-135の試験 | 同試験に合格すること |



写真3 汎用エアレス塗装機（圧縮比：1/45）と試験部材への塗装状況

WA K-135に合格することが要求される。

弊社船舶・重防食分野では数種の無溶剤型エポキシ樹脂塗料を製品化している。しかし、高粘度エポキシ塗料であるがために、ヘラ、コテ塗りが主流で、エアレス塗装する場合もエアコンビネーションシステムを必要とし、面積が広く複雑な構造で狭隘部もあるタンク塗装には不向きである。そこで、汎用エアレス塗装機で塗装できるようにするためには塗料の低粘度化が最重要と考え、低粘度化検討を主体に行なった。

2.2 塗料の低粘度化

塗料粘度を低く抑える方策として、①低粘度希釈剤の選定、②顔料分散剤の適用、③揺変剤の選定、④低粘度硬化剤の選定といった面からの検討を行なった。

① 低粘度希釈剤の選定

液状エポキシ樹脂を基体樹脂とし塗料の低粘度化且つ塗膜への可とう性付与のために希釈剤が必要である。そこで反応性、非反応性希釈剤の検討を広範囲で行なった。表2に塗料化時の粘度、耐水性、塗膜硬度とゲル分率測定結果を示す。反応性希釈剤「グリシジルエーテル系」が各項目で優れていた。

② 顔料分散剤の適用

主顔料として使用する体質顔料を適度に湿潤させて塗料粘度を低くできるか、顔料分散剤適用検討を行なった。塗料化したときの塗料粘度と耐水性の結果を表3に示す。顔料分散時の状態は顔料分散剤なしの場合には流動性が悪く分散しにくい、顔料分散剤を少量添加することで流動性が改善され分散が容易になった。さらに、塗料化後の粘度も低くなる事が確認された。

③ 揺変剤の選定

船舶・重防食用塗料に一般的に使用されている脂肪酸ポリアミド系揺変剤では、厚塗り性を満足する配合量にすると塗料粘度が高くなりすぎて低粘度設計が難しいため、新規特殊変性揺変剤を適用することで、低粘度でも高い厚塗り性を実現できた(表4)。

④ 低粘度硬化剤の選定

表5及び図1に代表的な低粘度硬化剤を使用した時の各試験結果を示す。低粘度、硬化性、耐水性、ポットライフの試験項目について満足できる硬化剤として脂肪酸ポリアミンBを選定した。

(ポットライフ 20℃)

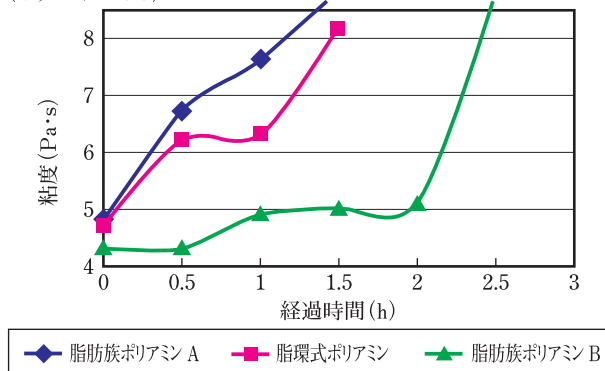


図1 低粘度硬化剤のタイプとポットライフ

表2 希釈剤の検討

| 基体樹脂 | 希釈剤 | 粘度 Pa·s (60rpm) | 鉛筆硬度 (乾燥7日後) | 折り曲げ *1 | 耐水性*2 (温度差試験) | ゲル分率 (%) |
|----------|-----------------|-----------------|--------------|---------|---------------|----------|
| 液状エポキシ樹脂 | なし | 2.77 | H | △ | ◎ | 94.1 |
| | 反応性 (グリシジルエーテル) | 0.96 | H | ○ | ◎ | 91.0 |
| | 非反応性 | 1.97 | HB | ○ | ○ | 84.4 |

*1: 折り曲げ試験・・・温度差試験14日後に実施 (JIS K 5600-5-1の試験方法に準じる φ 20mm)

*2: 耐水性・・・温度差試験14日後の耐フレク性

表3 顔料分散剤の効果

| 分散剤 | 項目 | 塗料粘度 | | 耐水性* |
|-----|----|--------------|--------------|------|
| | | ベース | ベース+硬化剤 | |
| | | 60rpm (Pa·s) | 60rpm (Pa·s) | |
| なし | | 31.8 | 6.4 | ◎ |
| あり | | 13.0 | 3.2 | ◎ |

*耐水性・・・40/20℃温度差試験 (14日)

表4 揺変剤の種類による塗料粘度

| 揺変剤の種類 | 性状値 | 塗料粘度 (Pa·s) | | | |
|--------------|-----|-------------|-----|---------|-----|
| | | ベース | | ベース+硬化剤 | |
| | | 60rpm | TI値 | 60rpm | TI値 |
| 脂肪酸ポリアミド系揺変剤 | | 26.3 | 7.2 | 5.2 | 5.4 |
| 新規特殊変性揺変剤 | | 9.0 | 6.7 | 2.5 | 5.0 |

(TI値: Thixotropic Index : 6rpm粘度/60rpm粘度)

表5 各種低粘度硬化剤を使用した時の塗料粘度と性能の試験結果

| 種類 | 試験項目 | 塗料粘度 Pa·s (60rpm) | 硬化性 20℃×16 h | 耐水性 温度差試験 |
|------------|------|-------------------|--------------|-----------|
| 脂肪酸ポリアミン A | | 4.8 | ○△ | ○ |
| 脂環式ポリアミン | | 4.7 | ○ | ○△ |
| 脂肪酸ポリアミン B | | 4.3 | ○ | ○ |

2.3 エアレス塗装作業性の改良

2.2の結果より、塗膜性能を満足する塗料設計が可能となったが、エアレス塗装作業性は改良の必要性があり、更に検討を行なった。

塗料製造面から、下記改良を実施した。

① 最適分散条件の確立

一般的な脂肪酸ポリアミド系揺変剤は分散温度が高くなると厚塗り性が失効するが、開発塗料に適用した揺変剤は、分散温度を最適範囲に管理することで良好な擬塑性を発現する事が可能となり良好な厚塗り性(写真4)を確保できた。

② 消泡剤の検討

高粘度塗料であることから、分散時のエアーの巻き込みが多く観察された。最適な消泡剤を添加することで消泡効果と合せ塗料粘度低減効果も認められた(表6)。

エアレス塗装作業性は上記製造方法、消泡剤の検討により改良できたものの、まだエアレス霧化均一性が不十分であった。そこで、無溶剤型塗料のエアレス塗装作業性は塗料粘度以外に下記要因があると考え、検討を行なった。

③ 最適顔料の選定

液状エポキシ樹脂と顔料のヌレ性向上を考慮し、体質顔料の種類と同一PVCでの塗料、塗膜の評価を行った(表7)。

無溶剤型塗料のエアレス塗装作業性には体質顔料の選択も重要な要素である。各体質顔料で一長一短があり、粘度、エアレス塗装作業性、海水浸漬試験でバランスの取れた体質顔料Bを選定した。

上記最適要因の組み合わせにより、エアレス塗装作業性の改良ができた(表8)。

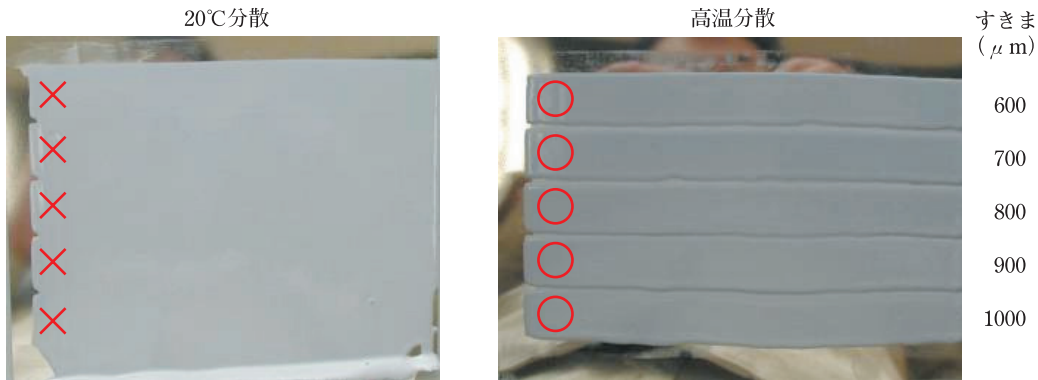


写真4 サグテスターによる厚塗り性評価

表6 消泡剤の検討

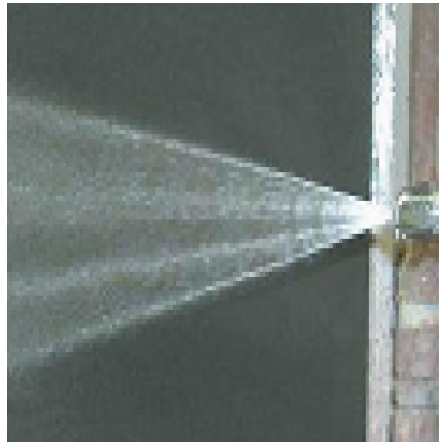
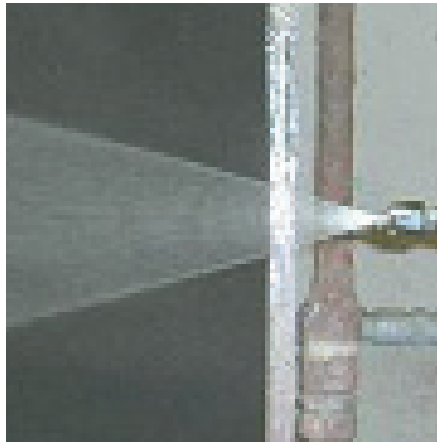
| | | 消泡剤なし | 消泡剤あり |
|----------|-----------------|-------|-------|
| クリアー塗膜評価 | 外観 | | |
| | マイクロスコープ (×200) | | |

表7 体質顔料の種類の検討

| 項目 | | 顔料種 | 体質顔料 A | 体質顔料 B | 体質顔料 C |
|-------------------|-------|-----|--------|--------|--------|
| 塗料粘度 Pa·s (60rpm) | | | 7.7 | 3.8 | 3.0 |
| TI値 | | | 6.1 | 5.2 | 5.8 |
| エアレス 作業性 | 霧化性 | | × | ○△ | ○ |
| | パターン幅 | | 24cm | 24cm | 24cm |
| 40℃海水浸漬 (4ヶ月) | | | ○△ | ◎ | × |

(TI値：Thixotropic Index : 6rpm粘度/60rpm粘度)

表8 最終改良品のエアレス霧化性評価

| | | 初期配合品 | 最終改良品 |
|-------------------|-------|--|---|
| 塗料粘度 Pa·s (60rpm) | | 3.8 | 3.5 |
| TI値 | | 5.2 | 5.0 |
| エアレス 作業性 | 霧化性 | △ | ○ |
| | パターン幅 | 20cm | 24cm |
| スプレーパターン | |  |  |

(TI値：Thixotropic Index : 6rpm粘度/60rpm粘度)

表9 機能目標に対する達成度

| 項目 | 試験項目 | 目標値 | 判定 |
|------------------|-------------------|--|----|
| 塗膜試験 | 耐水性 (耐電気防食) | 40℃ (海水) × 3ヶ月問題ないこと | 合格 |
| | 温度差試験 (40/20℃) | 軟鋼板 300μm : 7日間問題ないこと サンドプラスチック板 300μm : 14日間問題ないこと | 合格 |
| | ポットライフ | 20℃ : 2時間以上 30℃ : 1時間以上 | 合格 |
| | 硬化性 (歩行可能) | 20℃ : 16時間以内 5℃ : 48時間以内 | 合格 |
| | 不揮発分 (105℃×1h) | 96%以上 | 合格 |
| 塗装作業性 | 厚塗り性 | アプリケーション : 500μm以上 エアレス塗装 : 500μm以上 | 合格 |
| | エアレス作業性 | 施工上問題のないこと | 合格 |
| 飲料水適性 (FWTのみ) | JWWA K-135の 試験 | 同試験に合格すること | 合格 |

2.4 開発塗料の特徴

今回開発した船舶タンク用無溶剤型エポキシ樹脂塗料の機能目標に対する達成度を表9に示す。この塗料の特長を以下にまとめた。

① エアレス塗装性

汎用エアレス塗装機（圧縮比1/45）で塗装可能であり、700～800 μ m以上の厚塗り性を有する。塗装膜厚がほぼそのまま乾燥膜厚として得られる。

② 硬化性（歩行可能）

16時間後（20℃）に歩行可能であり、現行溶剤型塗料と同等の硬化性を有する。

③ 防食性

表10に40℃海水浸漬1年後の結果を示す。弊社溶剤型エポキシ樹脂塗料と同等以上の性能を有する。

④ 低内部応力

硬化時に収縮応力がほとんど発生せず、上塗り性に優れる(写真5)。

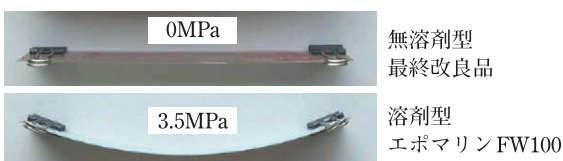
⑤ 水質安全性

JWWA K-135の水質試験に合格し、高い水質安全性を有する。

表10 40℃海水浸漬1年後の塗膜状態

| 試料 | エポマリンFW100 (現行溶剤型塗料) | 最終改良品 (無溶剤型) |
|---|-------------------------|----------------------|
| 付着強度 | 2.0N/mm ² | 3.8N/mm ² |
| 塗膜状態 | 良好 | 良好 |
| 素地： サンド プラスチック板 膜厚：300 μ m | | |

- ・いずれの試料もカット部からの劣化に差はない。
- ・アドヒージョンテスターによる付着強度は最終改良品は現行溶剤型塗料より高い。



- ・無溶剤型最終改良品の内部応力は溶剤型塗料に比べて極めて小さい。

写真5 収縮応力の測定結果

3. エアレス塗装作業性評価方法の開発

3.1 エアレス塗装作業性評価装置の開発

エアレス塗装作業性は、実機を用いてエアレス塗装し、パターンなどの吐出状態を評価している。従来の評価方法の問題として、①塗料仕込みから洗浄まで多くの工数を必要とすること②多量の塗料が必要であること③精度の高い定量的評価が困難であることが挙げられる。そこで、少量のサンプルで簡便にエアレス塗装の作業性評価ができる装置の開発に着手した。

3.1.1 評価装置に求められる機能と特徴

① 少量サンプル（目標：200ml以下）で評価できること。

原材料のスケールダウンが可能となり、環境負荷を低減できる。

② 省工程で作業性評価が可能なこと。

作業効率が向上し、時間短縮ができる。

③ パターン開度と吐出圧力をリアルタイムにセンシングすること。

エアレス塗装の作業性評価に重要な項目は、パターン状態および吐出圧力を精度よく観察できることである。上記の機能を達成することができれば、塗料設計のスピードアップに貢献することが可能となる。

3.1.2 評価装置の仕様概要

装置概要を図2に示す。

- ① エアレス塗装同等のノズル先端部のせん断応力が得られる推力装置（アクチュエータ）
- ② パターン幅を計測するレーザー式寸法測定器（パターン開度計測センサー）
- ③ 吐出時の圧力を計測する圧力センサー
- ④ 上記②③のデータを取得するデータ収集モジュール
- ⑤ 少量サンプルを仕込むための高耐圧塗料充填用シリンジ
- ⑥ エアレスノズルチップ（市販のノズルチップを取り付け可能）

上記の各装置を具備し、塗料吐出状態のリアルタイムセンシングを行うことが可能な評価装置である。

3.2 エアレス塗装作業性評価装置でのモデル配合塗料の評価結果

本検討では、前述した開発段階で作成された飲料水タンク用塗料のモデル配合3種を用いた。モデル配合3種は、エアレス塗装作業性がこれまでに判っている、①初期品（△）、②改良品（○△）、③最終改良品（○）とした。なお、○～×評価はスプレーパターン等を目視でみた官能評価である。

3.2.1 パターン幅とエアレス塗装評価について

図3に、パターン幅計測結果を示す。縦軸はパターン幅（mm）、横軸は測定時間（秒）を示す。なお、パターン幅の計測は吐出状態を十分確認できるようノズル先端より10mmの

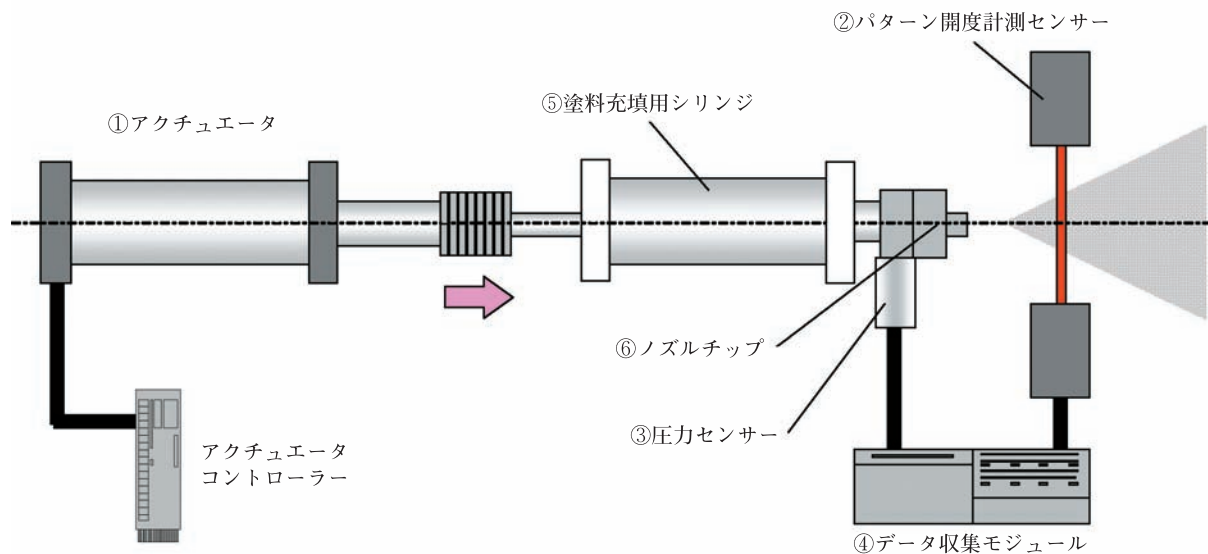


図2 エアレス塗装作業性評価装置の概要

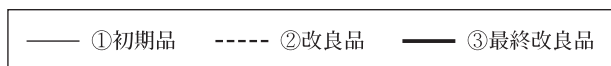
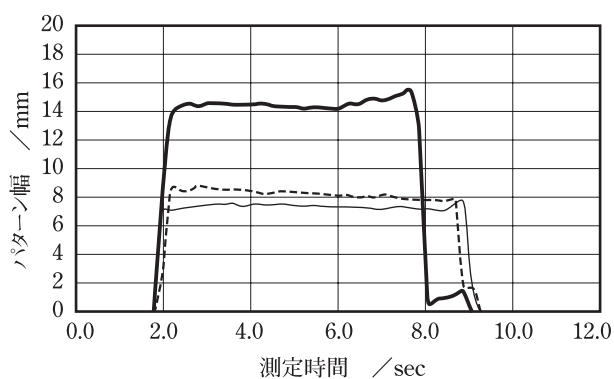


図3 パターン幅と測定時間の関係

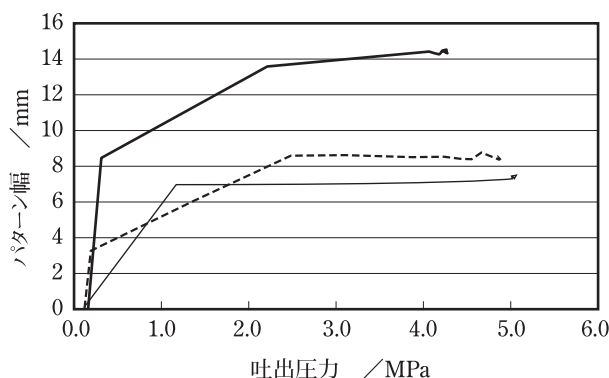


図4 パターン幅と吐出圧力の関係

位置とした。この図から判るように、作業性の良いもの程パターン幅が広がっていることが判る。また、リアルタイムに検出できることから瞬時に評価可能であり、少量サンプルでも実機と同等にパターン開度を観察できることが明らかとなった。

3.2.2 吐出圧力とパターン幅からの考察

次に、図4に計測したパターン幅と同時計測した吐出圧力の関係を示す。縦軸にパターン幅、横軸に吐出圧力を示す。作業性良好な③最終改良品は、低圧力(0.3MPa以上)からパターン幅が開きやすく、同じパターン幅を得るために必要な吐出圧力が他のサンプルと比較して小さいことが分かる。一方作業性の劣る①初期品では、高い圧力(5MPa以上)においてもパターン幅が小さく、塗装適性も劣ることが推定できる。これらのことから、作業性に優れる塗料の条件と

して、0.5MPa未満の低い圧力からパターンが開き、4MPa程度の圧力にてパターン幅が安定して開くことが必要となる。

4. おわりに

今回、配合面、製造技術面等の検討から従来の溶剤型塗料と同等以上の塗膜性能及び塗装作業性の優れた環境負荷の小さい無溶剤型エポキシ樹脂塗料を開発することができた。

また、エアレス塗装作業性を少量の塗料サンプルで定量化できる装置を開発し、塗装作業性評価の効率化も図ることができた。今後、この装置を用い多方面での塗料開発に役立てていきたい。