

平成21年度

「造船塗装ロボットの技術開発」事業報告書

平成22年3月

社団法人 日本中小型造船工業会

1 開発目標

ドック・船台で使用する船体外板塗装ロボットを開発し、塗装効率を手作業に比べて、60%向上させる。

2 基本コンセプト

2.1 横向き外板塗装ロボット

- (1) 移動方法 高所作業車(コンドラ籠)上での手動操作
 - X 方向: 塗装開始/停止ボタンにより塗料吐出ガンが X 方向に移動
 - Y 方向: 旋回レバーにより Y 方向に移動
 - Z 方向: 上昇/下降レバーと、フットペダルにより Z 方向に移動
- (2) 膜厚 外板塗装で必要とされる 35~250 μm / 1 コートとする。
- (3) 塗装能力 手塗り 4.5 $\text{m}^2/\text{分}$ よりも向上させる。
- (4) パターン幅 30~60cm
- (5) 吐出量 最適なノズルチップに対する塗料安定供給可能な
エアレス圧送方式ポンプシステム開発
- (6) 飛散防止 ミスト吸引捕集方式の改良
- (7) 使用塗料 船舶外板用塗料全般であるが本年度開発では下記を使用
 - 35 μm : エピコン上塗り HB
 - 125 μm : ハンノー 500
 - 250 μm : ハンノー 500S

2.2 上向き外板塗装ロボット

- (1) 移動方法 AGV 操作による自動/手動運転
 - X 方向: 塗装開始/停止信号により塗料吐出ガンが X 方向に移動
 - Y 方向: AGV により Y 方向に移動
 - Z 方向: ブロック高さに合わせ Z 方向移動(本年度は固定)
- (2) 膜厚 横向き外板塗装ロボット同様
- (3) 塗装能力 同上
- (4) パターン幅 同上
- (5) 吐出量 同上
- (6) 飛散防止 同上
- (7) 使用塗料 船舶外板用塗料全般であるが本年度開発では下記を使用
 - 125 μm : ハンノー 500

3 開発検討経緯

3.1 ラボ実験

平成20年度に実施した平面塗装(目標膜厚 125 μ m)においてエアレス塗装機性能の限界を超えたため塗膜にかすれが生じた。

原因はエアレス塗装機のポンプの息継ぎ(圧力低下)であった。

この為、圧力低下を克服するポンプ圧力に合わせた脈動吸収ダンパーを開発した。

また、35~250 μ mまでの任意膜厚を確保する為の塗装条件設定基礎データを得る為にラボ実験を実施した。

(1) 脈動防止対策

- ① 脈動防止対策として旭サナック㈱にて現行(型式 DA-2、圧力比20:1)の脈動吸収ダンパーの実験を実施し、ダンパーが効果的であることを確認した。
- ② 上記の結果により、ポンプ圧力に合わせた脈動吸収ダンパー(圧力比30:1)を開発、製作し、実験により性能を確認した。

(2) 均一膜厚塗装

- ① 目標膜厚 70 μ m、125 μ m、200 μ m のラボ実験を実施した。

3.2 横向き外板塗装ロボット開発

平成20年度に実施した平面塗装(目標膜厚 125 μ m)において高所作業車の昇降速度調整、制御に問題があったため、再現性に問題があった。

このため、高所作業車の昇降速度制御等について国内主要メーカーの製品について調査し、その結果昨年使用したアイチ製(型式:SP25B)を今年度も使用することとし、改造を行った。

上記①で実施した実験結果をデータ化し、自動塗装の制御として制御盤に組み込むと共に、オーバーラップ部の制御方法について新たに追加した。

今年度の横向き塗装範囲は、平面部に加えて曲面部を塗装する。

このため曲面塗装機能を有する塗装ユニットを製作した。

上記製作に関して、以下の設計及び検討を併せて実施した。

ミスト回収装置の改良設計、及び効率化改善方法として3ガンの検討を行った。

上向き塗装ユニットは上記ユニットを代用することとした。

(1) 高所作業車

- ① 国内主要高所作業車メーカー3社(アイチ、トヨタ、タダノ)の製品、仕様等を調査した結果、各社の間に大きな差は無く、広く造船所で実績があり、昨年使用したアイチを選定し、型式 SP25B を使用することにした。
- ② バスケットへの塗装ユニット取付け位置、任意コントロール調整機能を改造した。
- ③ 上記機種 SP25B の昇降速度を任意に制御出来るように改造した。

(2) 塗装ユニット

- ① 横向き曲面外板塗装ロボット制御として2案を検討し、自動化の観点よりB案を採用した。(500mm の範囲外はマニュアル操作方式とした。)
A案: 操作員によるマニュアル操作方式
B案: 塗装ユニットY軸方向追従方式(Y 軸ストローク 500mm)
- ② ミスト回収機能を改良するためにファンの側面取付け及びフード内に仕切板を追加した。
- ③ 塗装ガンの X 軸制御は、塗装膜厚 35~250 μm に対応できるが、塗装実験では昨年は 125 μm の確認だったが、今年は 35、250 μm も追加し3パターン確認した。
- ④ 3 ガンの検討を行ったが、下記理由より 2 ガンまでとした。
 - ポンプの能力が 1 台では足りなくなる。
 - 塗装ユニットの重量が増加し、高所作業車の最大積載荷重を超える。
 - 塗装ユニットが大きくなり、作業員の塗装面視認性と操作性が低下する。
- ⑤ オーバーラップ部位置決めは、手動にて行うこととした。
- ⑥ 横向き曲面外板塗装ロボットを製作した。

3.3 上向き外板塗装ロボット開発

速度の安定性、制御の容易性により自動走行台車(AGV)を選定し、AGVに架台を設け、今年度製作した塗装ユニットを設置し上向き外板用塗装ロボットを製作した。

また、ミスト回収方法としてエアラップ式塗装を検討した。

- ① 既存AGVを調査し、走行安定性から(株)安川メトレック製AGVを使用する事とした。
- ② AGV の基礎性能試験を行った。
- ③ AGVに塗装ユニットを設置する架台の設計、製作を行った。
- ④ 制御方式を手動、磁気テープ方式、レーザーセンサー方式を検討し、確実性から磁気テープ方式を採用した。
- ⑤ 上向き外板用塗装ロボットを製作した。

4 実験計画及び実験結果

4.1 ラボ実験

(1) 脈動吸収ダンパー性能確認実験

1) 目的

新たに能力の高い新型脈動吸収ダンパー(T4208)を開発し、その効果を検証した。

2) 仕様

●脈動吸収ダンパ(T4208)

型式	T4208
圧力比	約30 : 1
設定圧力範囲	6~22MPa (エア圧 1MPa)
最大使用流量	* 4.5 l/min (SP2554 使用時 流体:水)
使用液体温度	5~80°C

3) 構成

プランジャーポンプ



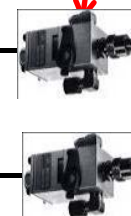
塗料ホース

脈動吸収ダンパー



塗料ホース

エアレス自動ガン



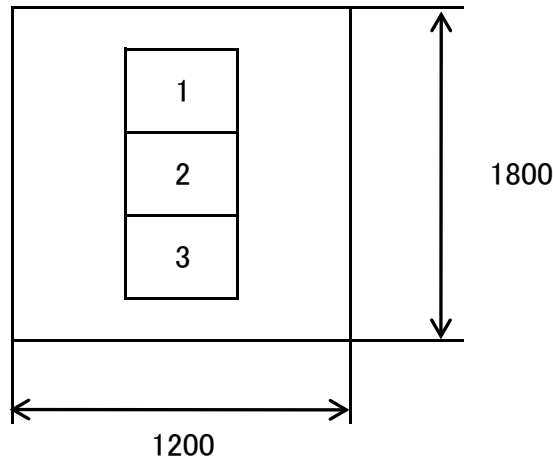
エアレス自動ガン



4) 実験概要

縦型レシプロケータ(IR25)にエアレス自動ガン(AG)を2丁搭載、経路中に脈動吸収ダンパーを取付け、塗料供給はプランジャーポンプ(NP2554)を用いて、現場での実機を想定した塗装を実施した。

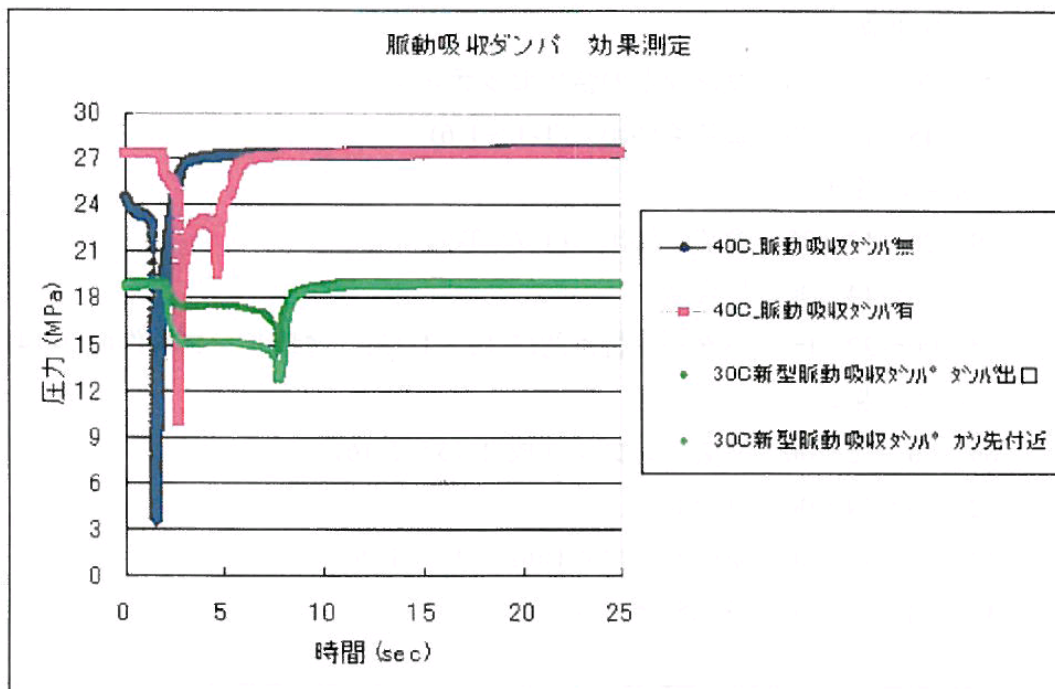
脈動吸収ダンパーの効果確認は下図のように鉄板(□600X600)を鉄板(□1200X1800)に3枚貼り付けて1パス塗装した。



5) 実験結果

先の実験で測定したノズル40C使用時の脈動吸収ダンパー有無による液圧変化を比較したグラフに新型脈動吸収ダンパーを使用したノズル30Cでの測定データを加えた物を下に示す。

●脈動吸収ダンパーの効果確認



このグラフより新型脈動吸収ダンパーは、先回の物よりも圧力低下を軽減できる事がわかった。

6) 考察

テストピースの上下端部分(黄色部)はレシプロの折り返し塗りになった為、膜厚が厚く出ている。

その他の部分は膜厚に大きな差がなく脈動がないことが確認できた。膜厚の均一性については、均一膜厚塗装実験にて確認する。

(2) ラボ均一膜厚塗装実験

1) 目的

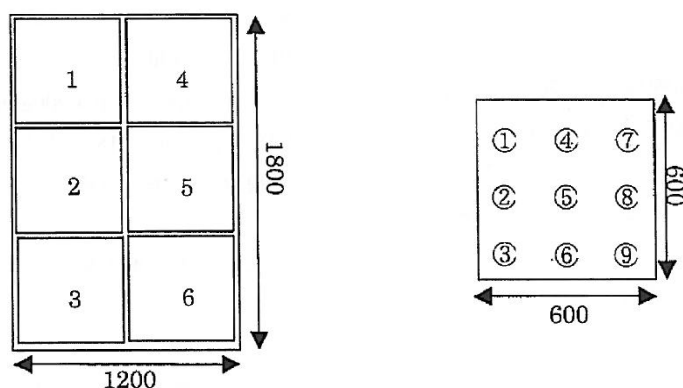
任意均一膜厚塗装を行う為に、各目標膜厚(70、125、200 μm)の塗装条件を得る均一膜厚塗装の検証を行った。

2) 実験概要

縦型レシプロケータにエアレス自動ガンを搭載、経路中に新型脈動ダンパーを取付け、塗料供給はプランジャーポンプを用いて塗装を実施した。

左図のように鉄板(1200×1800mm)に鉄板(□600mm)を6枚貼り付けて、コンベア搬送するワークに対してレシプロ塗装を実施した。

膜厚測定は右図のように1枚の鉄板に①～⑨の箇所を測定した。



3) 実験結果

以下に測定結果を示す。

No.	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
目標膜厚[μm]	70	125	125	200	125	125
平均膜厚[μm]	72.7	171	104.2	226.3	135.6	141.5
最低膜厚[μm]	70	150	90	210	120	125
最高膜厚[μm]	100	190	120	300	170	180
備考			ノズルチップ変更で対応可			

4) 考察

本実験ではT-3において膜厚が不足する結果となったが、20C09程度のノズルを使用する事で膜厚を満足すると推測する。

また、T-5では測定点18点中1点のみ膜厚が120 μm となったが、90/10ルールは満足していると判断した。

また、この実験により得た、各目標膜厚の標準塗装条件を次頁に添付する。

4.2 高所作業車

(1) 各メーカー性能比較

1) 目的

高所作業車メーカー3社を調査し、ブームを一定速で垂直に持ち上げる事を目的とした改造を行うメーカーの選定を行った。

2) 各メーカー比較

下表に要求性能項目に対する回答と見解をまとめたものを記す。

	要求性能項目（質問内容）	メーカー	回 答	西部川崎 見解
1	ブームの昇降速度を一定にしたい。 現状、ブームの起伏と伸縮の同期モードで昇降すると、昇降速度にバラツキがあるため。 (動作レバーは、端まで倒してます。)	アイチ トヨタ タダノ	昇降速度のバラツキは、ブームの起伏ハンチングと思われます。 ブーム角度が水平付近はHV制御が苦しい部分ですが、作動速度を落とすことで追従性は向上すると考えます。 2項の実施とあわせて確認が必要です。 *ブーム起伏角度の負角～10度までが追従性が苦しい部分です。 昇降速度の変化のデータはありませんが、設定速度となるように制御しているので大きなばらつきは無いと考えます。	各社とも同意見 改良可能
2	ブームの昇降速度を任意に変更したい。(3～9m/min) *現仕様 9m/minです。(150± 22 mm/sec)	アイチ トヨタ タダノ	操作ボックスの改造を実施することで可能です。 機械本体CPUを調整する必要があるため、弊社での対応となります。 公差に関してはこれ以上精度を上げることは困難です。 現行品は、下記の2つの操作方法により垂直・水平操作が可能です。 1.レバー操作(フルスロットル時での設定となり、中間ストロークでは精度が出ません。) アクセル高速:250mm/s, 低速:80mm/s 2.自動運転(フットペダルを踏んで自動運転スイッチを入れると自動的に作動する。) アクセル高速:200mm/s, 低速:50mm/s *現在はアクセルに連動させた2段階設定となっています。 3段階切替や無段階システムは現行システムでは、できません。 但し、アクセル高速時の速度は速すぎると思いますので、落とすことは可能です。	各社とも同意見 改良可能
3	バスケットの首振りをサーボモータに変え位置決めをしたい。 塗装面と塗装ユニットの平行度を制御する時、現状では困難 (レバー操作で首振りをすると微調整ができない)	アイチ トヨタ タダノ	バスケット部の操作スイッチで下部のアンロードバルブも同時にコントロールしています。 そのため単純にマニュアルバルブには変更できません。 対応として、回路中に絞りを追加し速度を落とすことで微操作が可能になると考えます。 サーボモータを使用する必要があるかどうかは疑問があります。 バスケットのシングの速度を落とすことで微動操作が可能と考えます。	各社とも同意見 改良可能
4	バスケットを無くし、塗装ユニットを直接ブームに取付けたいので、操作ボックスをペンダントスイッチに変え、地上から操作したい。	アイチ トヨタ タダノ	対応可能です。 但しバスケット部の操作ボックスは非常に重く。そのままのペンダント対応は難しいと考えます。 ハード的には対応可能と考えられますが、塗装装置のセッティング及び作動中の監視は遠隔操作では非常に難しいと思います。塗装の状況確認を含め作業員が目視で確認をしながら操作を行う方法が機器の損傷回避の点でもベターかと思えます。将来的に距離センサー等により自動制御(全自動化・ロボット化)が行えるような形になれば可能性は出てきますが、今後の課題と考えた方が良いでしょう。	各社とも同意見 改良可能
5	バスケットを取り外し、塗装ユニットを直接バスケット首振り箇所へ取付けたい。 積載荷重300kgでお願いしたい。	アイチ トヨタ タダノ	対応可能です。 但し、次の内容について確認が必要です。 ①首振り機構の実施は高所作業車側か、塗装ユニット側か。 ②ユニットの正確な重量。 ハード的な対応自体は可能だと考えられますが、4と同様、機械側及び塗装状態の監視が必要だと思いますので事実上難しいと思われます。	今回検討から削除

6	塗装ユニットへのケーブル引き回しは、ブームにケーブルサポーターを取り付け、用意に配線できるようにしたい。後々はアーム内に収納したい。	アイチ トヨタ タダノ	ブーム内への引き回しは、耐久テストなどが必要です。クレーン車のような、リール方式を推奨します。対応は可能ですが、制御装置を含めて塗装装置をユニット化してバスケット部に搭載して、駆動電源とエアといった必要最低限のものをバスケット部に供給する形が理想と思います。(制御装置の重量と大きさには制約はあります。)また、ブーム内への収納については、現行のブームの大きさからお聞きしているケーブル・ホースの本数を収納することはできません。	不可能 (ケーブルラックで対応)
7	制御盤内機器を高所作業車本体へ収納したい。	アイチ トヨタ タダノ	作動油や制御盤などのヒートバランス確保が難しいため。対応は困難です。基本的には、旋回台の外装のアレンジによって対応可能と考えます。但し、エンジン・作動油タンク・油圧機器等のメンテナンスのスペースを考慮して現行の余剰スペースの検討が必要です。	本体内の格納は不可能 外部取付ボックス形状変更で対応
8	塗装ユニットと高所作業車の同期をとり、制御したいので制御の改造をお願いしたい。	アイチ トヨタ タダノ	電気回路の回り込みなどが懸念されるため、単純な対応は困難と考えます。インターフェイス部(入出力信号等)の詳細がわかりませんが、弊社高所作業車のコントローラは高所作業車用として開発したものですので容量(入出力ポートの数・CPUの容量)に余裕が無いのが現実です。仮にコントローラの新規制作が必要となればコントローラの開発費用も発生し多大なコストがかかり現実的には対応が難しいと考えています。	電気廻り同期は困難 不可能
その他		タダノ	垂直水平制御の精度は、±300mmとなっています。(特に、動き始めに誤差が大きくなります。)これは、油圧制御による応答遅れがあること、検出器(ブームの長さ・起伏角度センサー)の分解能力の問題、ブーム、タイヤのたわみ等に起因します。工作機械のような制度の良い制御は基本的に無理であると考えています。この精度に対しては、塗装機器の損傷の回避からも基本的には塗装装置部に自由度を持たせることが必須と考えています。	各社とも同意見で対応は可能と考える。 西部川崎としては今回の開発もアイチコーポレーションで行うこととする。

3) 結果と考察

上記各メーカー比較より、各社の間に大きな差はなく対応は可能と考える。従って、今回の開発も昨年同様アイチコーポレーションで行うこととする。

(2) メーカー実験機種選定

アイチコーポレーションの高所作業車(自走式)の機種の中で最大積載荷重が大きく、最大地上高が20m以上の機種として以下を実験機種として選定した。

- 仕様
(詳細仕様は添付資料とする。)

型式: SP25B

名称: ホイール式高所作業車

最大積載荷重: 250kg

最大地上高: 25m

最大作業半径: 17m



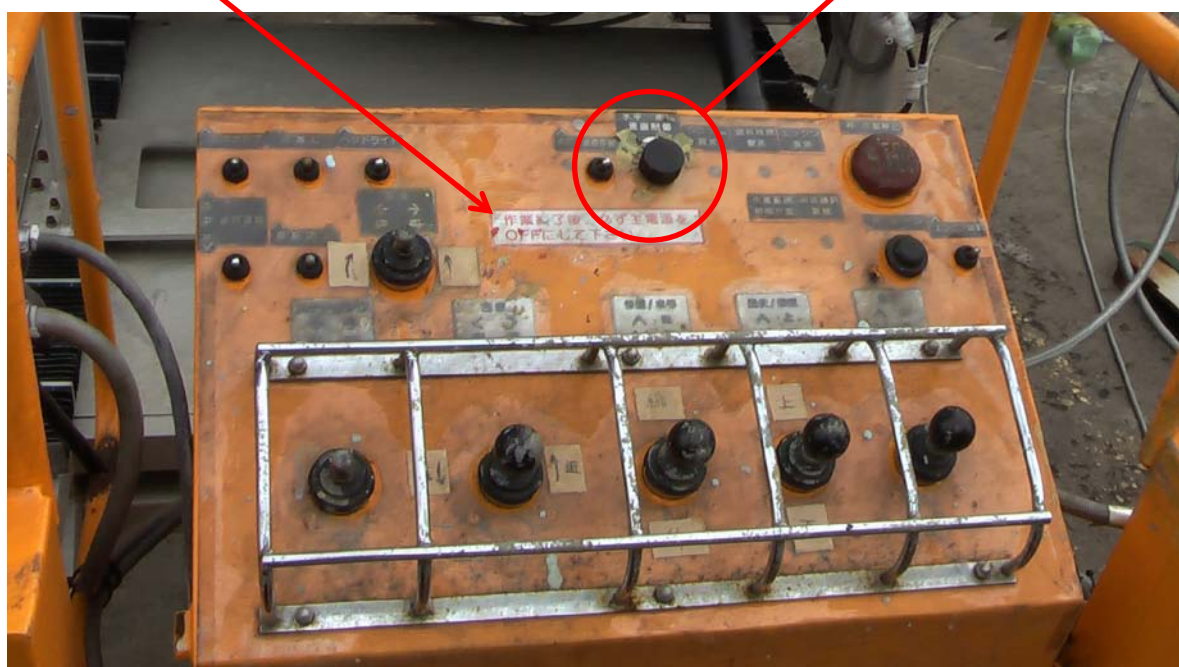
(3) 改造

ブームの昇降速度を任意に変更できるように高所作業車の改造を行った。(3~9m/min)



昇降速度 操作部 拡大

高所作業車 操作盤



(4) 試運転・基礎データ実験

1) 目的

高所作業車を垂直に一定速度で昇降させることを目的に改造を行い、昇降速度のばらつきを確認する。

2) 実験状況



3) 実験概要

- ・ テスト用外板に1m毎にマーキングする。
- ・ 高所作業車を地上から20mまで上昇、下降させ、地上3m～18m間での1m毎の昇降時間を各2回計測する。
- ・ 1m毎の昇降時間平均を出し、高所作業車の昇降速度の安定箇所を出す。
- ・ 無負荷時および負荷時(塗装機取付)で各々測定を行う。

4) 実験結果

4-1) 無負荷昇降実験

	3-18m	4-17m	
平均速度	7.3	7.2	m/min
最大	8.6	8.2	m/min
最小	6.3	6.3	m/min
標準偏差	0.57	0.48	m/min

	3-18m	4-17m	
平均速度	5.1	5.1	m/min
最大	5.9	5.5	m/min
最小	4.4	4.4	m/min
標準偏差	0.36	0.32	m/min

	3-18m	4-17m	
平均速度	2.8	2.8	m/min
最大	3.3	3.0	m/min
最小	2.5	2.5	m/min
標準偏差	0.16	0.12	m/min

4-2) 負荷昇降実験

	3-18m	4-17m	
平均速度	7.4	7.2	m/min
最大	9.9	8.1	m/min
最小	5.6	6.0	m/min
標準偏差	0.78	0.46	m/min

	3-18m	4-17m	
平均速度	5.0	5.0	m/min
最大	6.0	5.7	m/min
最小	4.5	4.5	m/min
標準偏差	0.37	0.28	m/min

	3-18m	4-17m	
平均速度	2.8	2.7	m/min
最大	3.3	3.0	m/min
最小	2.4	2.5	m/min
標準偏差	0.20	0.14	m/min

5) 考察

上記実験結果より、昇降速度のばらつきは、4m以下と17m以上では大きく、安定して使える範囲は4m~17mと考える。

また、現在の制御方式ではこのばらつきが限界と考える。

安定して使える範囲内の最大速度(平均速度+3 σ)に、塗装ユニットのガン速度を合わせており、最大速度で高所作業車が昇降した場合、塗装が2パスとなり、目標膜厚が得られるようにしている。

また、最低速度の場合は一部分が3パスとなり、塗装膜厚が50%厚くなる部分が出てくる。今後は、高所作業車の昇降速度を塗装ガン速度にフィードバック出来るようなセンサーの取付けも検討したい。

4.3 ミスト回収装置実験

(1) ミスト飛散量測定実験

1) 目的

塗装ユニットのミスト回収装置の改良効果をミスト飛散量を測定し比較する。
また、フード無(回収ファン無)とフード有(回収ファン有)の飛散量を測定しファンにより回収されたミスト量を推測する。

2) 実験概要

2-1) 実験方法

- ・ 塗装ユニットを塗装面から70mm離れた場所で固定する。
- ・ 塗装面と塗装ユニットの間全面に透明ビニールを貼る。
- ・ 下記実験条件で10パス塗装を行う。
- ・ 透明ビニールを剥ぎ、100mm角にカットする。
- ・ 透明ビニール(飛散付き)の重量を測定する。
- ・ 透明ビニール(飛散無し)の重量を測定する。
- ・ 透明ビニールの飛散有り、無しを減算しミスト重量を測定する。
- ・ 下記実験条件を基に計算を行い、飛散率を出す。

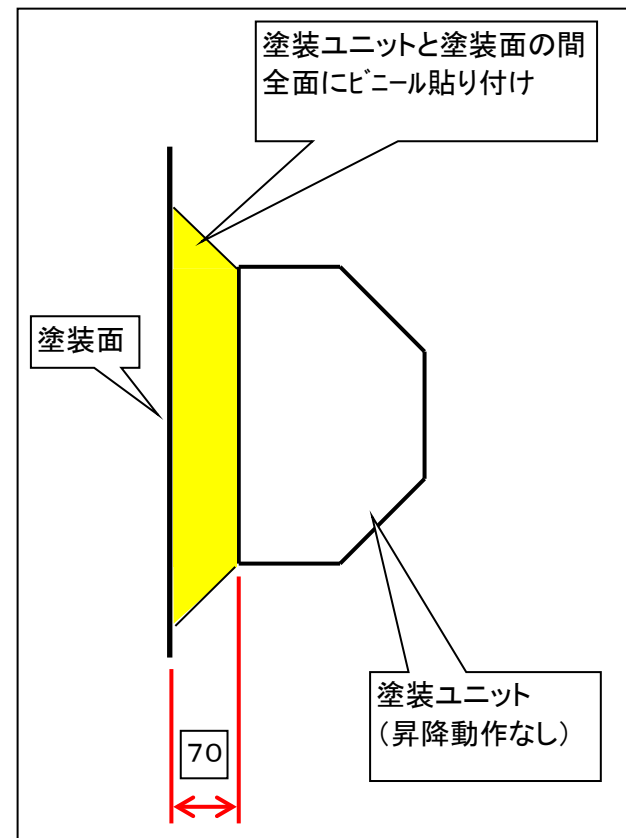
$\text{吐出量 (g/min)} \div 60 \times 1.6 \times 10 \text{パス} = 10 \text{パス使用吐出量}$

$10 \text{パス使用吐出量} \times (1 - \text{希釈率}) = \text{使用塗料重量}$

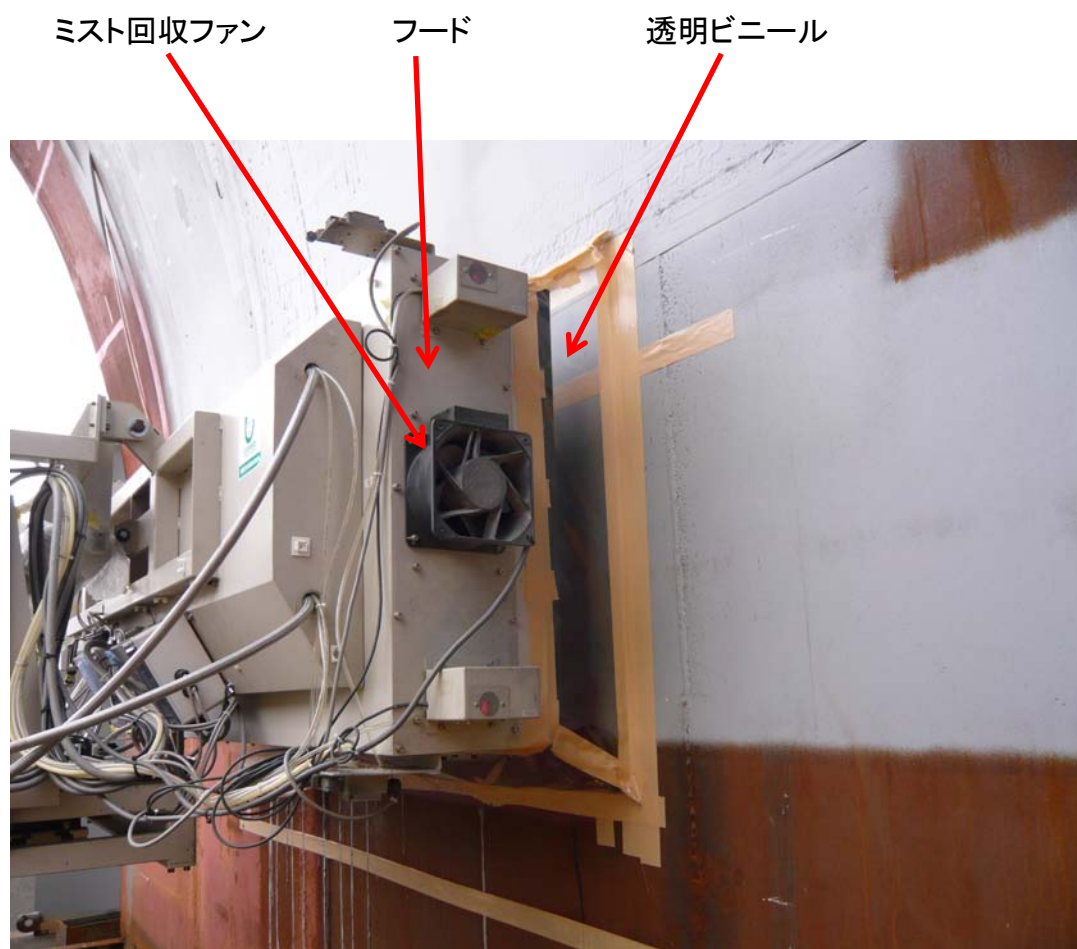
NV値が 63% なので

$\text{使用塗料重量} \times 63\% = \text{使用塗料硬化重量}$

$\text{ミスト重量} \div \text{使用塗料硬化重量} = \text{ミスト飛散率}$



2-2) 実験状況



2-3) 塗装条件

<実験1>

① フード有(改良前)

温度	8.8	°C
湿度	48.9	%
使用塗料	ハンノ-500(色グレー)	
希釈シンナー	8	%
エアーク圧	0.7	MPa
総吐出量	4800	g/min
ノズル走行速度	45	m/min

② フード有(改良後)

温度	6.3	°C
湿度	56	%
使用塗料	ハンノ-500(色赤錆)	
希釈シンナー	8	%
エアーク圧	0.7	MPa
総吐出量	4980	g/min
ノズル走行速度	45	m/min

<実験2>

③ フード無(改良後)

温度	10.5	°C
湿度	58.5	%
使用塗料	ハンノ-500(色グレー)	
希釈シンナー	8	%
エアーク圧	0.6	MPa
総吐出量	4410	g/min
ノズル走行速度	45	m/min

④ フード有(改良後)

温度	9.4	°C
湿度	67.6	%
使用塗料	ハンノ-500(色グレー)	
希釈シンナー	8	%
エアーク圧	0.6	MPa
総吐出量	4410	g/min
ノズル走行速度	45	m/min

2-4) 使用機器

計量器	DJH-300
-----	---------

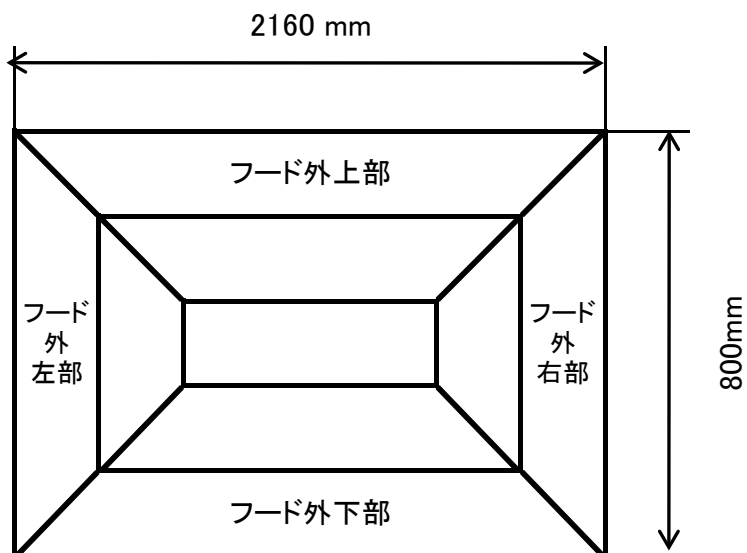
(新光電子(株)製)

2-5) ミスト重量測定状況

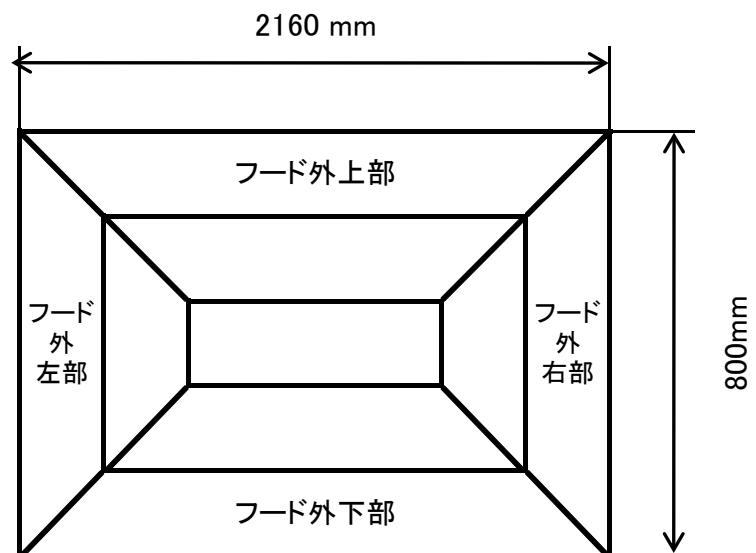
〈実験1〉

塗装ユニットの4辺に透明のビニールを貼り、各部のミスト重量を測定した。

① フード有(改良前)



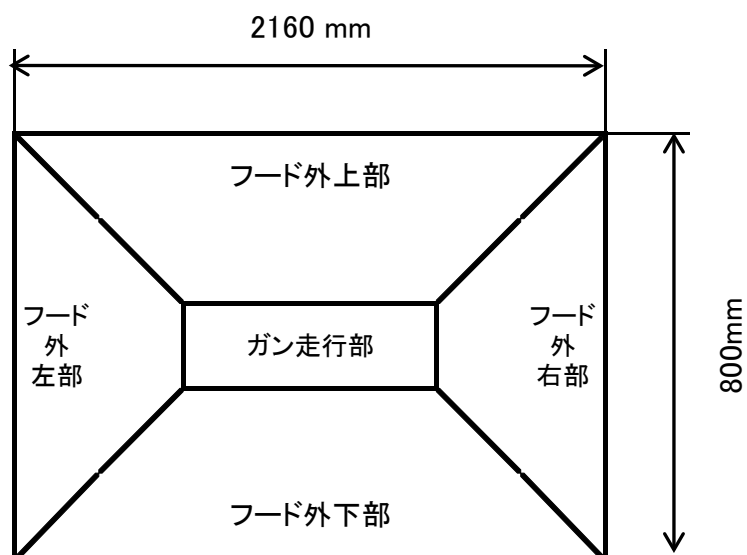
② フード有(改良後)



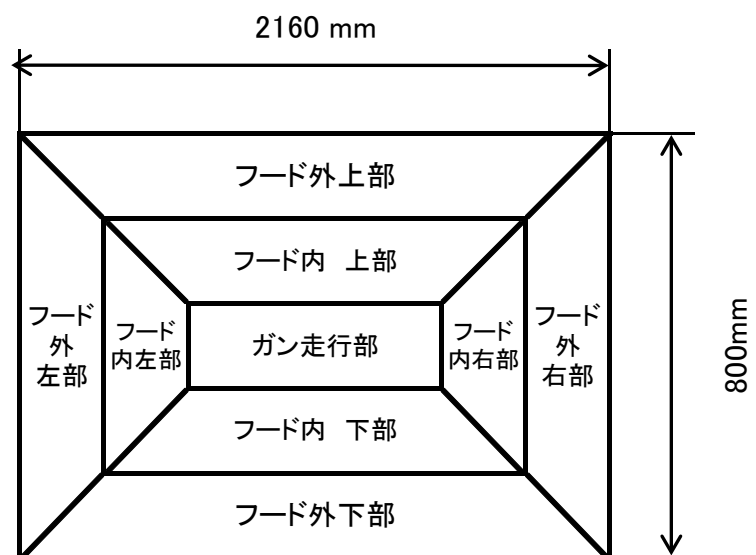
〈実験2〉

塗装ユニットの4辺、フード内部、ガン走行部に透明のビニールを貼り、各部のミスト重量を測定した。

③ フード無(改良後)



④ フード有(改良後)



3) 実験結果

3-1) ミスト回収改良効果比較

<実験1>

下表にミスト回収機構の改良前と改良後のミスト重量を比較を示す。

① フード有(改良前)

	ミスト資料枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
フード外上部	54 枚	101 g	92.3 g	8.57 g
フード外下部	53 枚	99.2 g	90.6 g	8.52 g
フード外右部	25 枚	46.1 g	42.8 g	3.34 g
フード外左部	27 枚	52.2 g	46.2 g	5.99 g
合計	159 枚	298 g	272 g	26.4 g

② フード有(改良後)

	ミスト資料枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
フード外上部	54 枚	98.4 g	92.3 g	6.04 g
フード外下部	53 枚	97 g	90.6 g	6.33 g
フード外右部	25 枚	44.6 g	42.8 g	1.81 g
フード外左部	27 枚	48.2 g	46.2 g	2 g
合計	159 枚	288 g	272 g	16.2 g

未使用シート 1 枚 1.7 g

塗料使用料(吐出量) 4800 g/min

1パス所要時間 1.6 秒

10パス所要時間 16 秒

10パス使用吐出量 1280 g

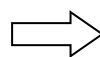
シンナー希釈 8 %

使用塗料重量 1178 g

塗料NV値 63 %

使用塗料硬化重量 742 g

ミスト飛散率 3.56 %



塗料使用料(吐出量) 4980 g/min

1パス所要時間 1.6 秒

10パス所要時間 16 秒

10パス使用吐出量 1328 g

シンナー希釈 8 %

使用塗料重量 1222 g

塗料NV値 63 %

使用塗料硬化重量 770

ミスト飛散率 2.10 %

3-2) 外部飛散量比較

<実験2>

下表に外部へ飛散したフード有無の場合のミスト飛散重量比較を示す。

③ フード無(改良後)

	ミスト資料 枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
フード 外 上部	94 枚	186 g	161 g	25.5 g
フード 外 下部	79 枚	157 g	135 g	21.6 g
フード 外 右部	40 枚	77.1 g	68.4 g	8.7 g
フード 外 左部	40 枚	78.2 g	68.4 g	9.8 g
合計	253 枚	498 g	433 g	65.6 g <A>

④ フード有(改良後)

	ミスト資料 枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
フード 外 上部	44 枚	81 g	75.2 g	5.76 g
フード 外 下部	44 枚	82.6 g	75.2 g	7.36 g
フード 外 右部	8 枚	15 g	13.7 g	1.32 g
フード 外 左部	8 枚	15.4 g	13.7 g	1.72 g
合計	104 枚	194 g	178 g	16.2 g

未使用シート 1 枚 1.7 g

塗料使用料(吐出量) 4410 g/min

1パス所要時間 1.6 秒

10パス所要時間 16 秒

10パス使用吐出量 1176 g

シンナー希釈 8 %

使用塗料重量 1082 g

塗料NV値 63 %

使用塗料硬化重量 682 g

ミスト飛散率 9.62 %

塗料使用料(吐出量) 4410 g/min

1パス所要時間 1.6 秒

10パス所要時間 16 秒

10パス使用吐出量 1176 g

シンナー希釈 8 %

使用塗料重量 1082 g

塗料NV値 63 %

使用塗料硬化重量 682

ミスト飛散率 2.37 %

3-3) 内部付着量比較

<実験2>

下表に内部に付着したフード有無の場合の内部付着重量比較を示す。

③ フード無(改良後)

	ミスト資料 枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
ガン走行部	105 枚	205 g	180 g	25.5 g
合計	105 枚	205 g	180 g	25.5 g <C>

④ フード有(改良後)

	ミスト資料 枚数	資料重量	空重量	ミスト重量
ガン走行部	108 枚	207 g	185 g	21.9 g
フード内上部	44 枚	85.2 g	75.2 g	9.96 g
フード内下部	42 枚	79 g	71.8 g	7.18 g
フード内右部	12 枚	21.8 g	20.5 g	1.28 g
フード内左部	12 枚	22.7 g	20.5 g	2.18 g
合計	218 枚	415 g	373 g	42.5 g <D>

内部付着率

3.73 %

内部付着率

6.24 %

総ミスト重量:<A> + <C> =

91.0 g

総ミスト重量: + <D> =

58.7 g

ファンにより回収されたミスト量は、

32.3 g

ファンによる回収率は、

35.5 %

フード内部付着も合わせると
(ガン走行部除く)

52.9 g

フード内部付着も合わせた回収率は

58.2 %

4) 考察

実験1では、改良前のミスト飛散率と改良後のミスト飛散率を比較すると、約4割の改善が見られた。また上下部では、約3割の改善だが、左右部では約5割の改善が出来た。

塗装ユニットには、左右にミスト回収装置が設置されており、この効果が検証された。

また、この実験は、ある一定条件での実験比較であり、必ずしも実際の塗装状態とは一致しないだろうが、ミスト回収装置の効果を数値化し、改善の有無を確認する事ができた。

実際の塗装時には、左右から(特にファンの部分から)ミストが飛散している事が目視で確認できる。ファンのフィルタ捕集性向上のために、ファンの排気側にファンの性能が低下しないように捕集性の高いフィルターを装備することを検討し、今後は塗装時に目視で飛散しない事の確認を行いたい。

また、実験2では、フード内にも透明ビニールを貼り、フード内付着も合わせて確認したため、フード無の総ミスト重量は、塗装面へ塗着しなかった塗料の重量となる。

フード有の場合、フード内部付着も合わせると、塗装面へ塗着しなかった塗料の約6割は、フードおよび回収ファンにより回収されている事が推測できる。

4.4 横向き外板塗装ロボット

(1) 塗装ユニット試運転・基礎データ実験

1) 目的

塗装ユニット各軸(ノズル走行軸、首振り軸、前後移動軸)の基礎性能実験を行うことにより、基本仕様を満足しているかを検証する。

2) 実験概要

2-1) 動作時間確認実験

各軸の移動時間を各2回ストップウォッチにて測定した。
(ノズル走行軸については、動作波形も確認した。)

2-2) 繰返し位置決め精度確認実験

各軸の繰返し位置決め精度を各2回ダイヤルゲージにて測定した。

3) 良否判定基準および実験結果

3-1) 動作時間確認実験

軸	移動速度	良否判定基準	結果	備考
ノズル走行軸 (0⇔1500mmストローク)	60m/min	1.5sec±1%	OK	各軸2回測定
	30m/min	3.0sec±1%	OK	
首振り軸 (0° ⇔30° ,90° ストローク)	90° /min	60sec±1%	OK	
	30° /min	60sec±1%	OK	
前後移動軸 (0⇔500mmストローク)	30m/min	1.0sec±1%	OK	
	10m/min	3.0sec±1%	OK	

3-2) 繰返し位置決め精度確認実験

軸	移動速度	良否判定基準	結果	備考
ノズル走行軸 (0⇔1500mmストローク)	60m/min	±1mm以下	OK	各軸2回測定
首振り軸 (0° ⇔90° ストローク)	90° /min	±1° 以下	OK	
前後移動軸 (0⇔500mmストローク)	30m/min	±1mm以下	OK	

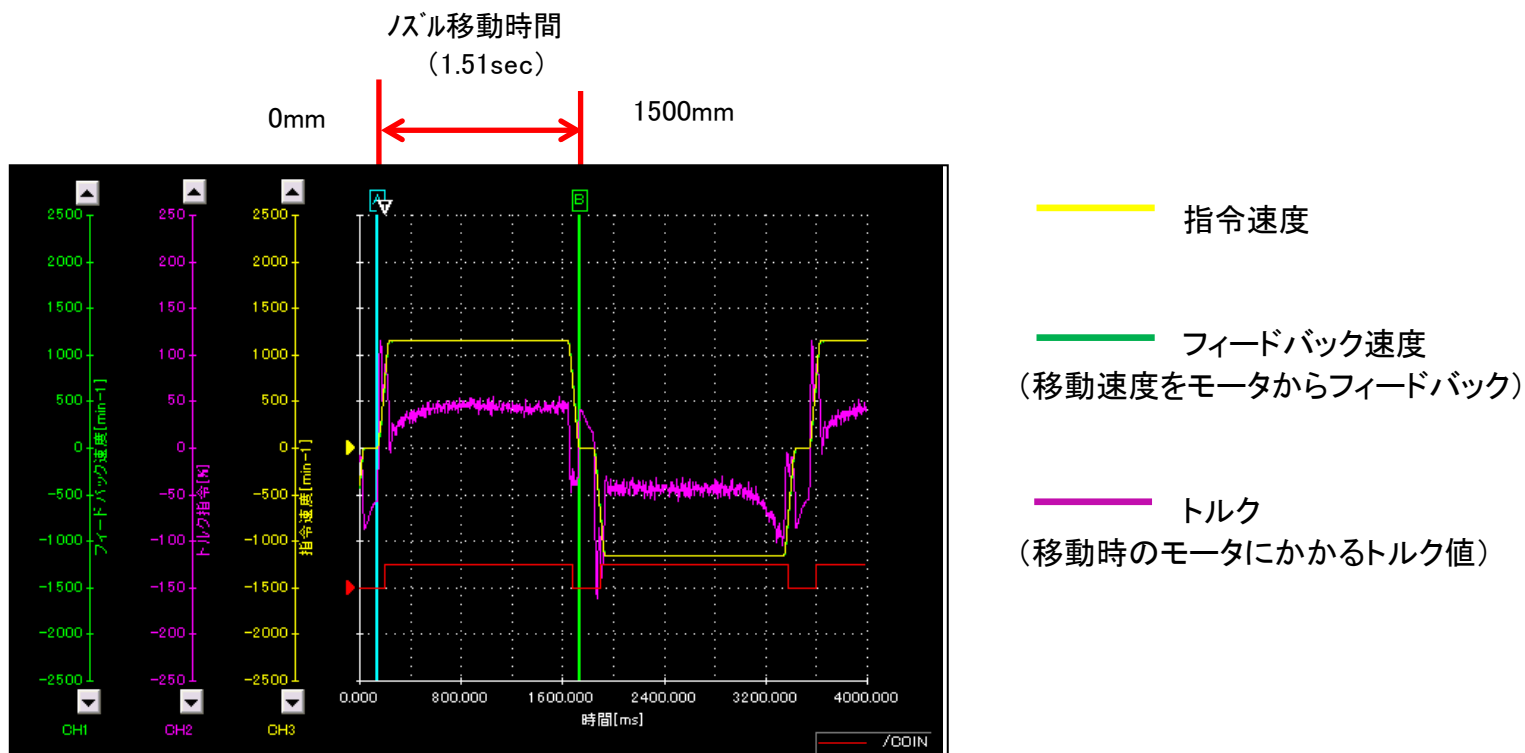


図1 ノズル走行軸(動作波形)

上図より、フィードバック速度(緑)は指令速度(黄)とほぼ重なっており、波形より加速、減速時間、速度とも安定している。

また、トルク値(紫)は波形よりトルク幅が均等なことから動作がスムーズなことがわかる。

4) 考察

実験結果より、塗装ユニット単体での基本仕様を各軸ともに満足していることが検証できた。

(2) 横向き塗装実験

1) 目的

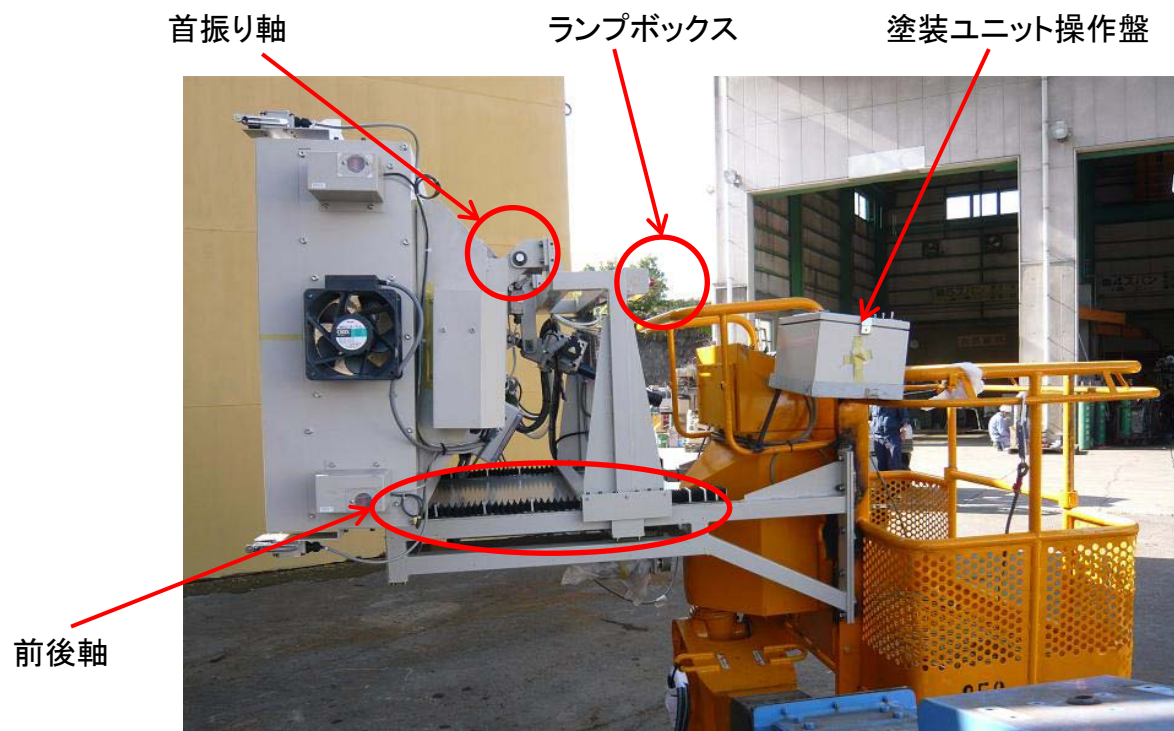
塗装ユニットを高所作業車に取付け、XYZ方向の移動と位置合わせの検証を行う事を目的に曲面、平面の塗装テスト板にて横向き塗装実験を行った。

2) 仕様

2-1) 全体構成(横向き塗装ロボット)

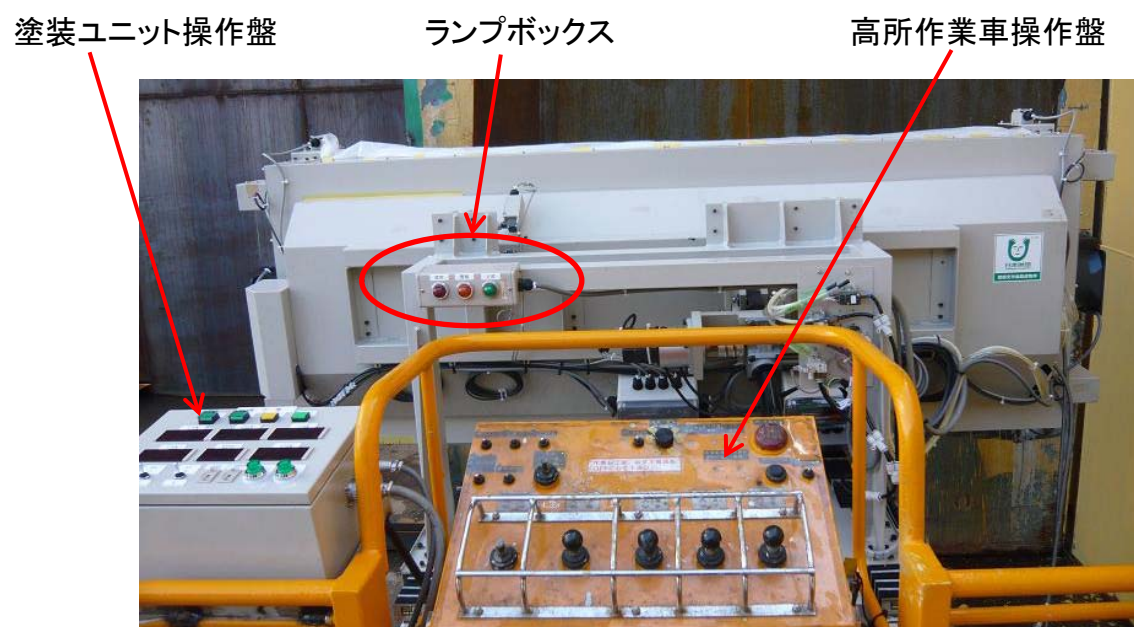


2-2) 塗装ユニット

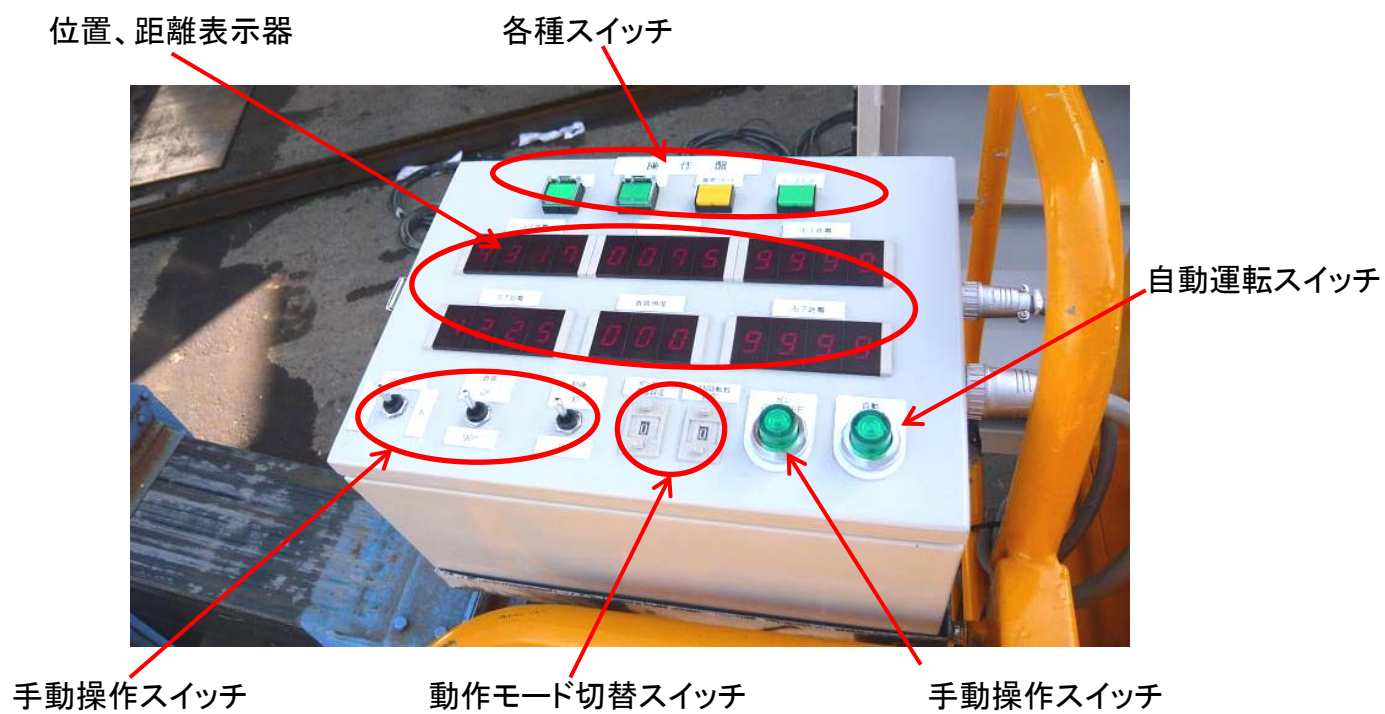




2-3) 操作部



2-4) 塗装ユニット操作盤

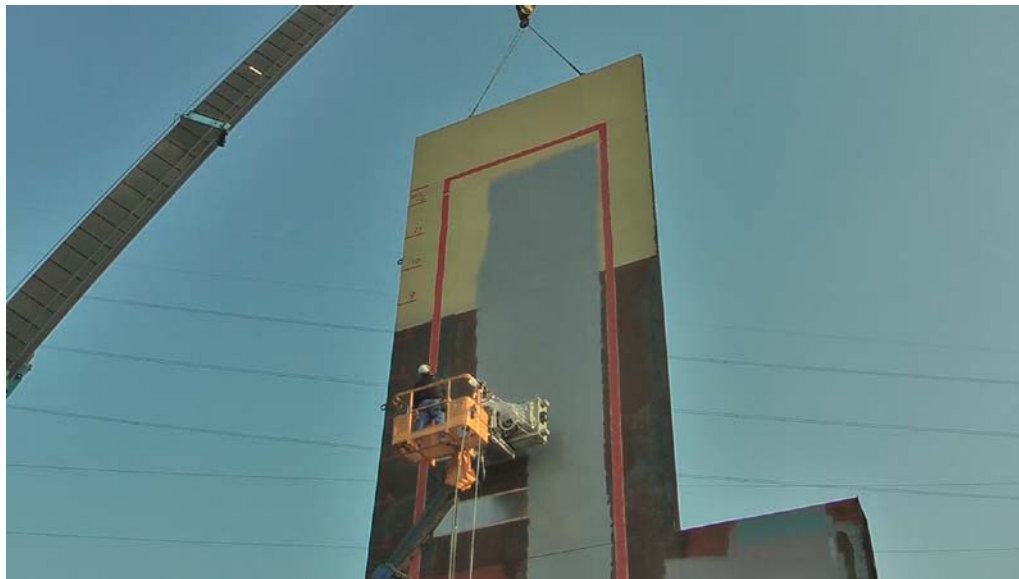


3) 実験概要

3-1) 実験場全体



3-2) 平面塗装



3-3) 曲面塗装



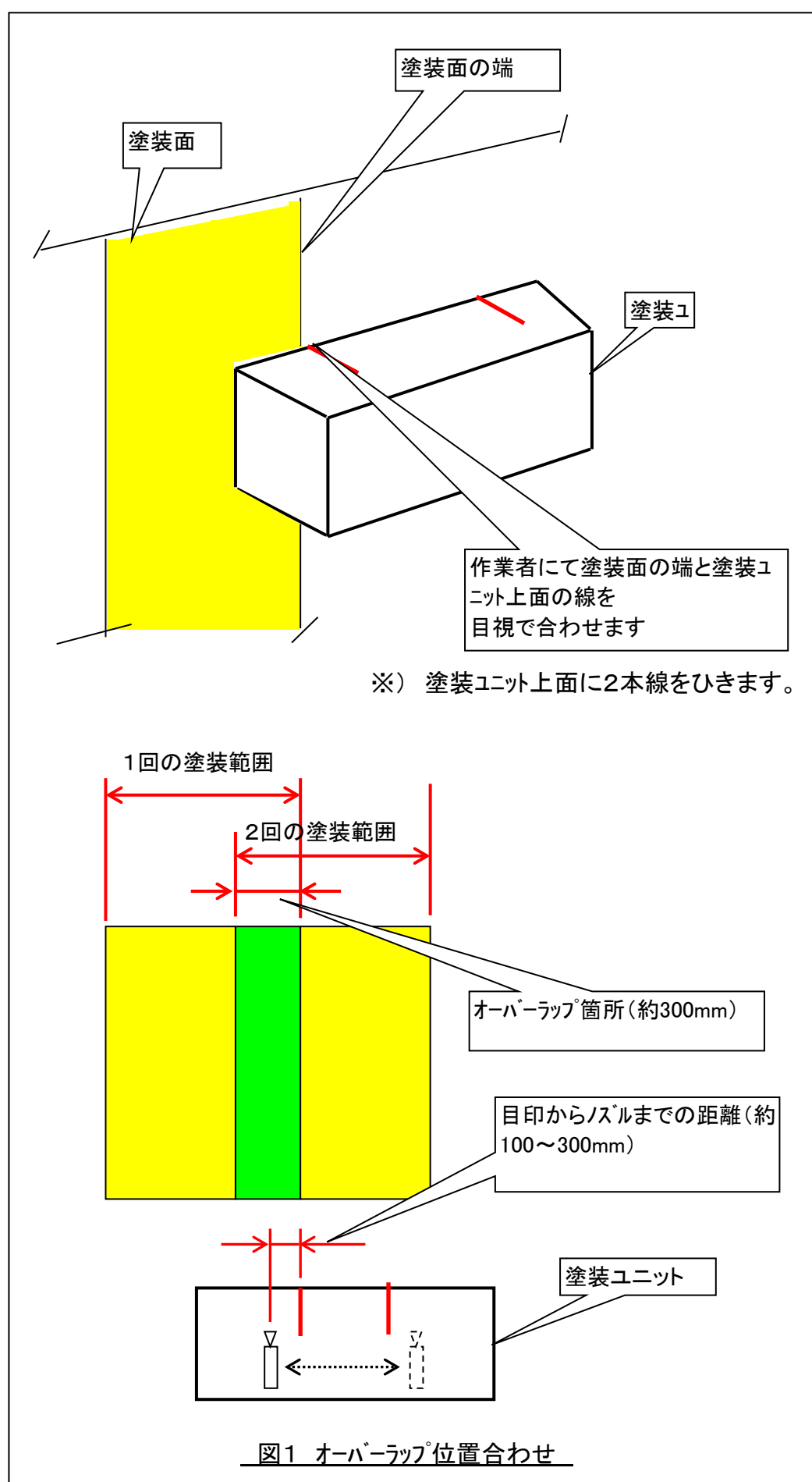
4) X方向移動と位置合わせ

塗装オーバーラップ部の位置決め方法

上下方向に塗装後、塗装ユニットをX方向移動させ再度上下塗装を行う前塗装（1回目の塗装）と後塗装（2回目の塗装）のオーバーラップ位置合わせ方法について以下に記す。

X方向位置合わせ方法手順（図1参照）

- ・ 作業員にて塗装面の塗装端と塗装ユニット上面フートの線を目視で合わせます。
- ・ 合わせ後、塗装を行います。



5) Y方向移動

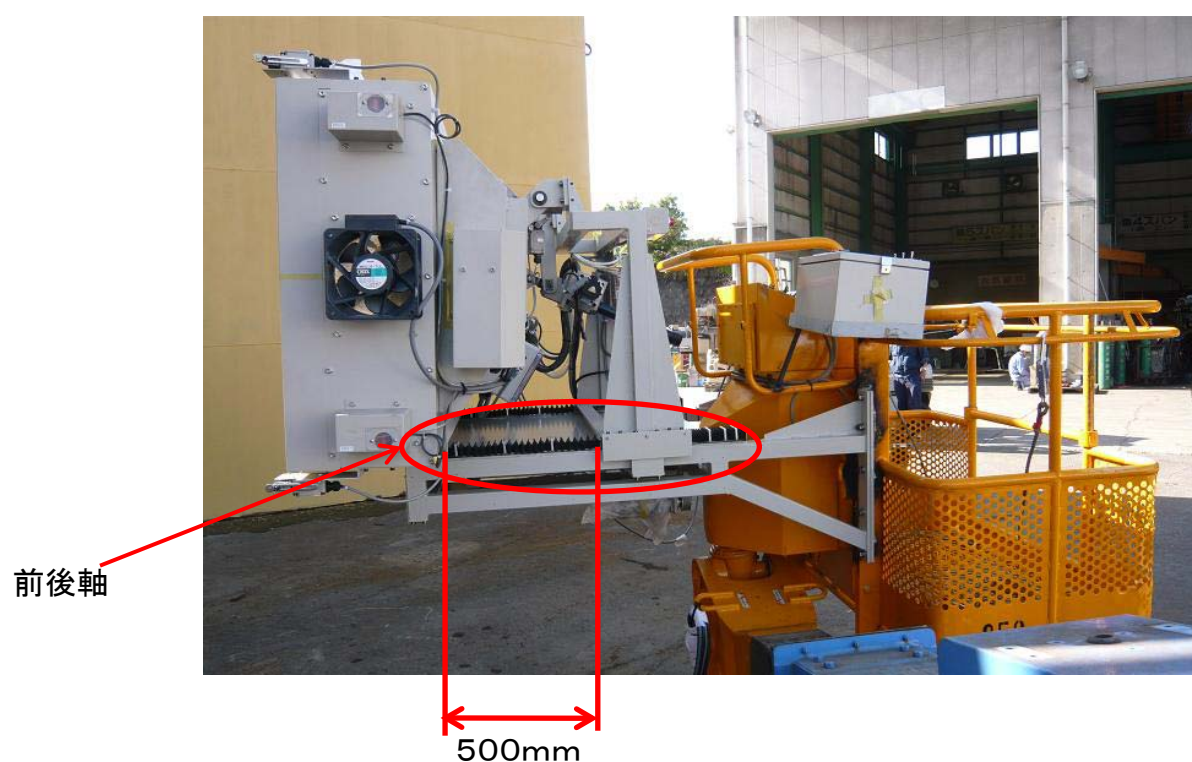
5-1) 平面塗装

平面塗装時は、基本的にY方向移動は行わない。

5-2) 曲面塗装

曲面塗装時は、Y方向移動は前後ストローク500mmの範囲内では、自動で前後軸が塗装面に追従する。

500mmを超える曲面部については、高所作業車を作業車が手動で移動させ対応する。



また、曲面塗装については首振り軸(0~90°)の範囲内で曲面に自動で追従する。



首振り軸(0°)



首振り軸(90°)

6) Z方向移動

Z方向(垂直)移動は、高所作業車を3~9m/minの範囲で任意に一定速で垂直に移動させる。

7) 考察

XYZ方向移動と平面、曲面の対応は上記塗装実験にて検証した。
均一膜厚塗装実験にて塗装の均一性を確認する。

(3) 横向き塗装膜厚均一実験

1) 目的

ラボ実験および条件設定表の塗装機条件を元に、横向き塗装ロボットにて塗装を行い、目標膜厚(125 μ m)の均一膜厚塗装の塗装条件を出すことを目的に実験を行った。

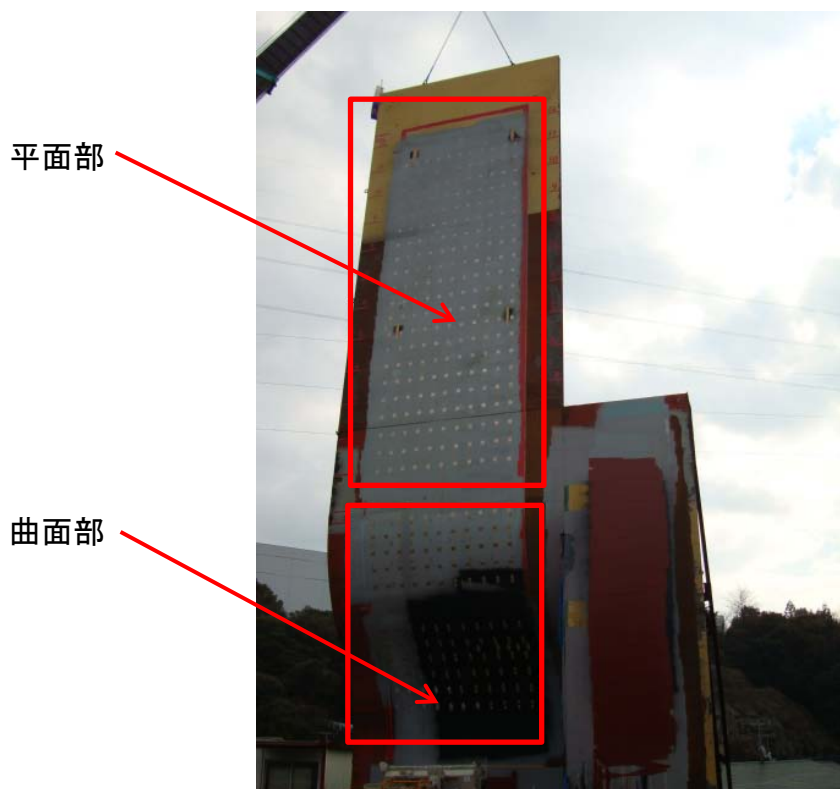
2) 実験概要

2-1) 横向き塗装実験状況

ア) 平面部(48 m^2)の塗装を行った。

イ) 曲面部(10 m^2)の塗装を自動にて行った。

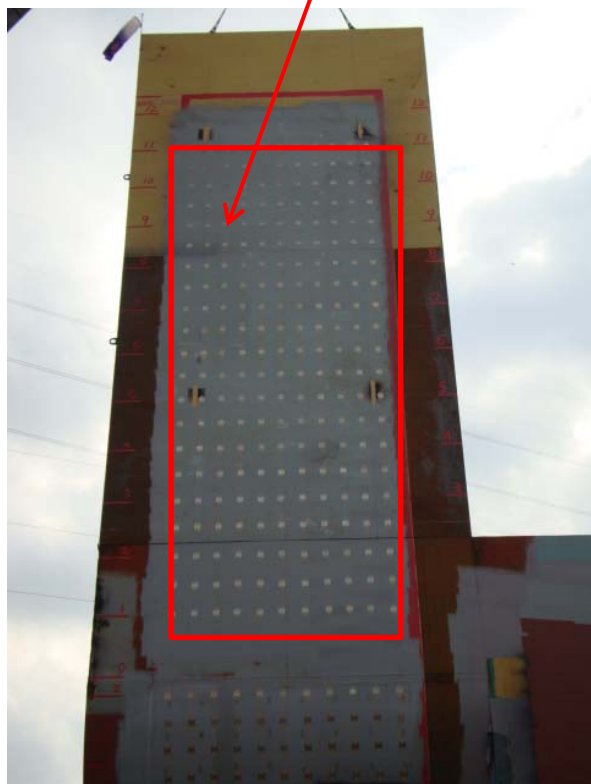
ウ) 曲面部(12 m^2)の塗装を手動にて行った。



平面部(48 m^2)

曲面自動部(10 m^2)

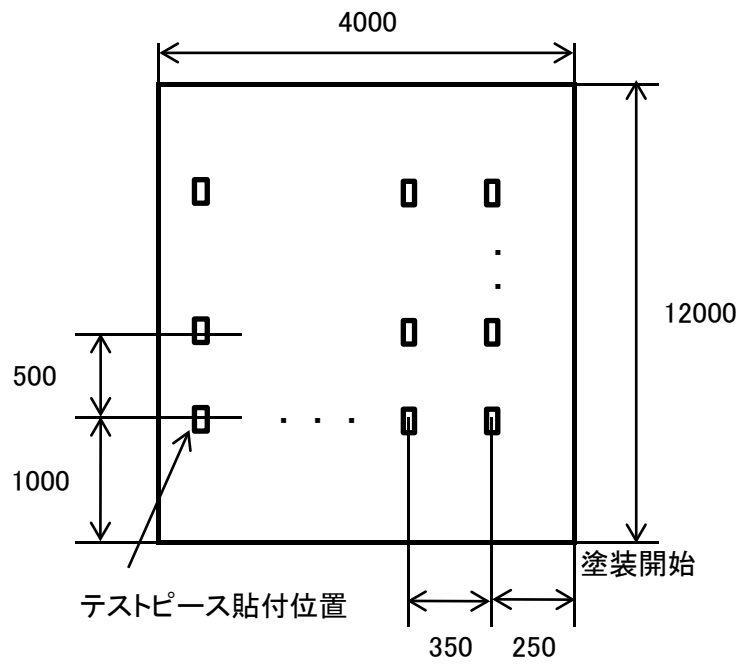
曲面手動部(12 m^2)



2-2) 塗装膜厚測定概要

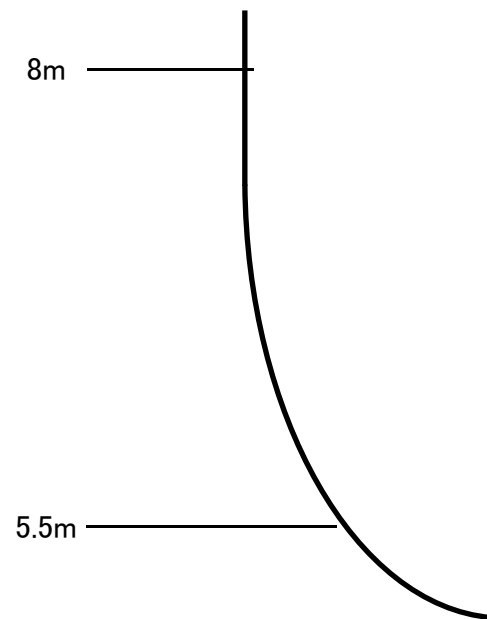
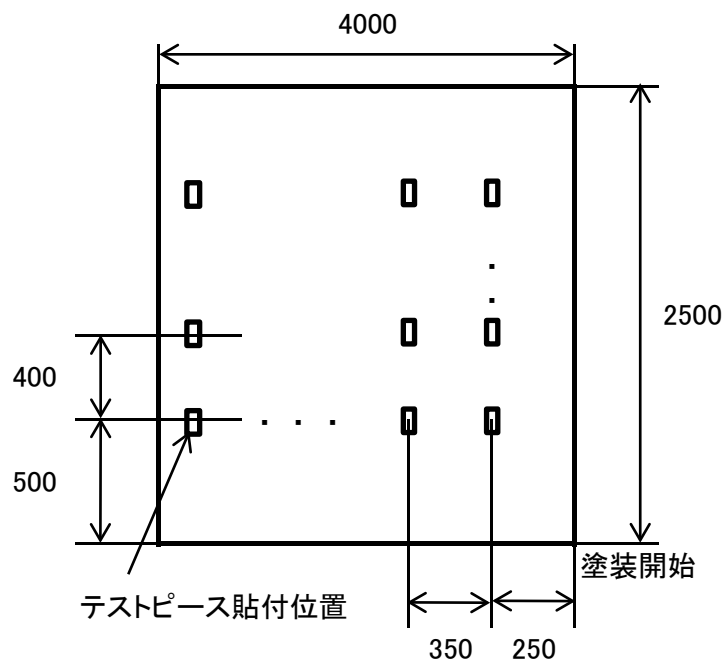
ア) 平面部

下図のように、□100mmのテストピースを、横ピッチ(350mm)×縦ピッチ(500mm)で貼り付け、膜厚測定を行った。



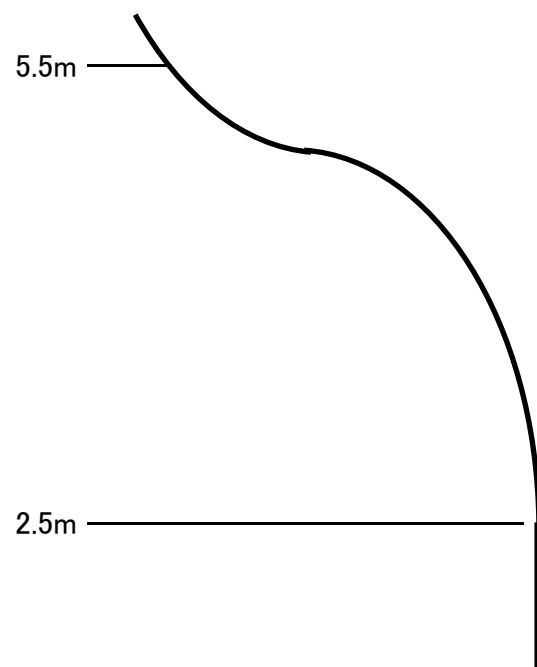
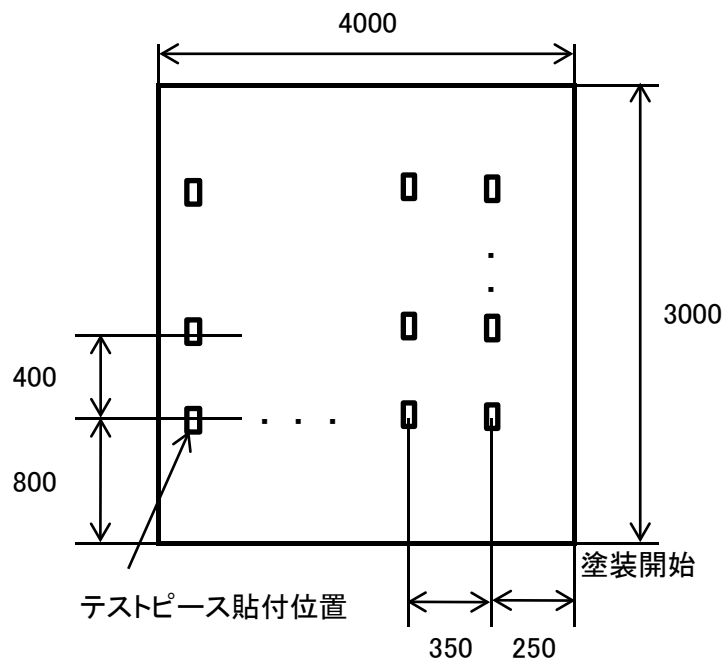
イ) 曲面部(自動)

下図のように、□100mmのテストピースを、横ピッチ(350mm)×縦ピッチ(500mm)で貼り付け、膜厚測定を行った。



ウ) 曲面部(手動)

下図のように、□100mmのテストピースを、横ピッチ(350mm)×縦ピッチ(500mm)で貼り付け、膜厚測定を行った。



3) 実験条件および結果

3-1) 横向き塗装膜厚均一実験(125 μm)

ア) 平面部 (目標膜厚: 125 μm)

① 膜厚測定データ

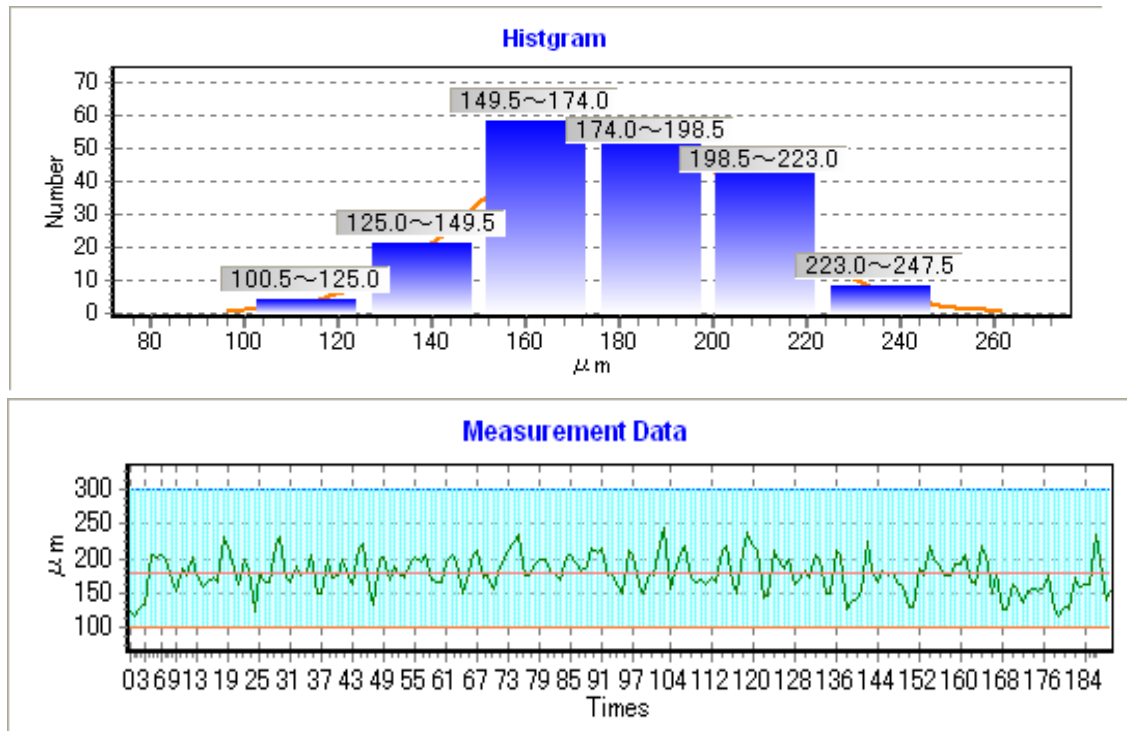
* オーバーラップ部
赤数字は、125 μm未満

高さ(m)	膜厚(μm)									
18	153	170	199	206	203	206	132	130	115	123
17.5	217	231	167	172	166	160	176	201	175	185
17	232	219	167	165	178	122	185	198	162	184
16.5	171	200	150	149	204	182	176	189	166	172
16	203	200	132	156	222	215	163	174	198	177
15.5	164	169	204	194	202	194	171	175	190	169
15	174	171	213	205	170	148	195	205	194	164
14.5	197	191	177	177	236	223	213	203	180	157
14	214	189	182	192	205	202	169	176	183	197
13.5	148	161	205	213	150	158	178	176	215	207
13	164	171	218	209	180	157	244	220	177	179
12.5	238	208	150	165	219	212	167	172	163	168
12	168	163	197	184	200	211	145	142	211	217
11.5	136	127	204	210	150	150	199	205	172	182
11	160	163	180	176	183	166	182	224	152	141
10.5	191	175	175	188	197	218	175	185	131	128
10	125	126	179	149	205	218	163	167	206	193
9.5	118	126	177	159	153	156	152	135	156	163
9	157	138	198	236	163	162	159	173	127	128

② 測定結果

最小値	115
最大値	244
平均値	179.6
標準偏差	27.6

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、平面部においては目標膜厚の125 μm より薄くなった箇所は4ヶ所のみで全体の2%以下であり、最低膜厚も115 μm とPSPC 90/10ルールを満足している。ヒストグラムを見ると、ほぼ正規分布している事がわかる。また、標準偏差28 μm とばらつきについても小さく抑えられていると考える。

イ) 曲面部(自動) (目標膜厚:125 μm)

① 膜厚測定データ

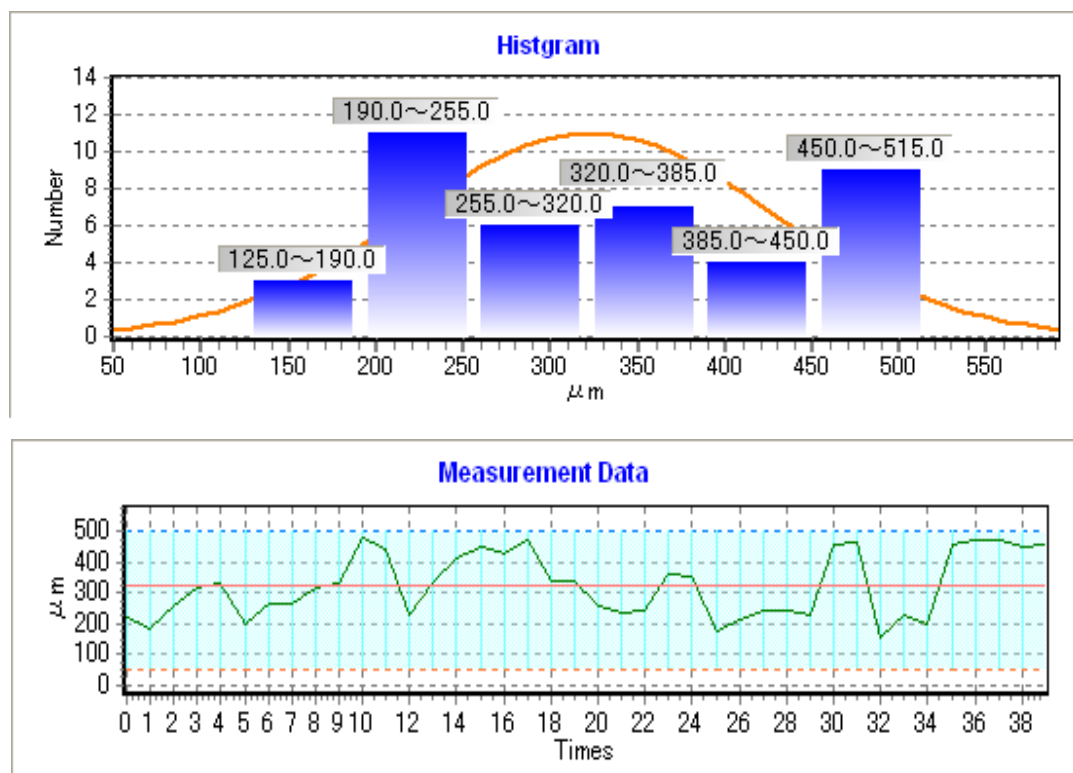
* オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚(μm)									
7.2	330	319	261	266	196	327	314	258	183	220
6.8	340	338	471	428	447	408	331	227	441	478
6.4	224	239	242	209	176	355	357	243	234	259
6	453	451	467	467	454	200	226	151	466	457

② 測定結果

最小値	151
最大値	471
平均値	319.4
標準偏差	102.4

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 um)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面(自動)部においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、二山分布となっており、またばらつきも大きい。

ウ) 曲面部(手動) (目標膜厚:125 μm)

① 膜厚測定データ

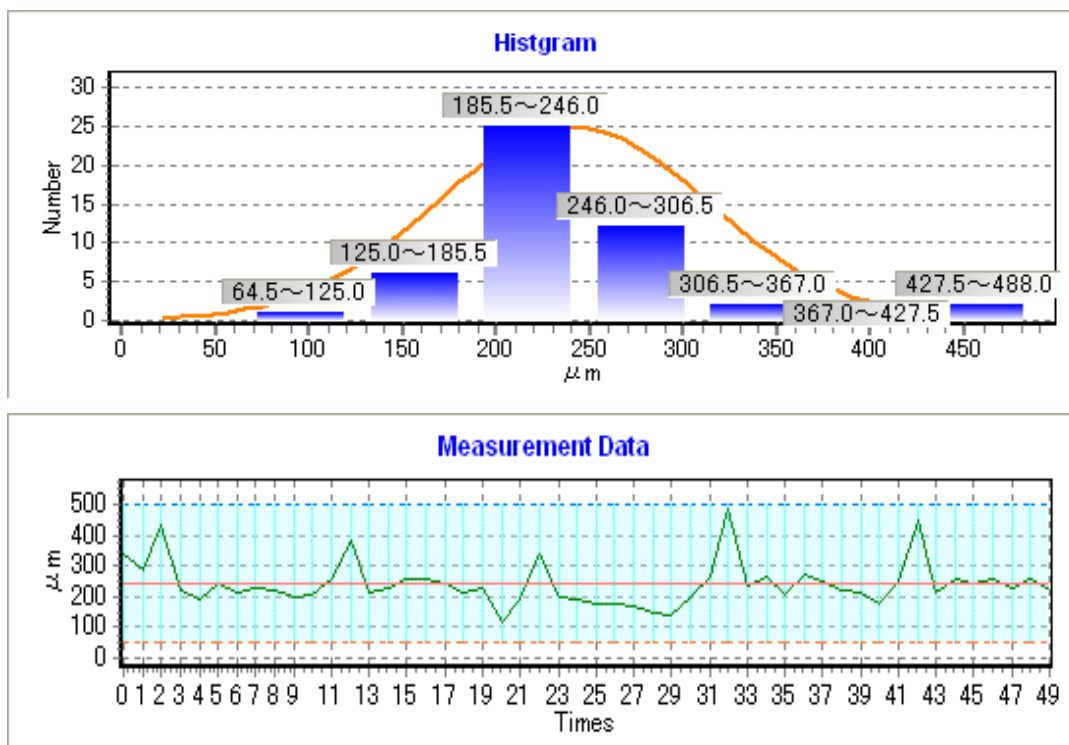
* オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚(μm)									
4.9	201	222	226	212	239	187	217	433	288	336
4.5	228	212	245	255	257	228	210	381	254	207
4.1	136	146	165	177	179	191	201	336	187	115
3.7	215	223	249	268	207	264	232	488	267	197
3.3	222	255	224	258	239	256	210	449	252	177

② 測定結果

最小値	136
最大値	488
平均値	244.2
標準偏差	72.0

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面(手動)部においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、離れ小島となっており、またばらつきも大きい。

4) 考察

ラボ実験、条件設定表の塗装機条件を元に、膜厚 $125\mu\text{m}$ の均一膜厚塗装条件を調査した。結果として平面、曲面(自動、手動)においてPSPC 90/10ルールは、全て満足できた。全膜厚において平面部より曲面部の方が平均膜厚が厚く、ばらつきも大きい結果となっている。これは、曲面部のばらつきが大きいので最小膜厚を確保するため、結果的に厚めの条件となったと考える。このばらつきを小さくするためには、塗装ユニットの曲面追従性の改善が必要と考える。

(4) 横向き塗装任意膜厚実験

1) 目的

造船用外板塗装の膜厚の仕様は、35～250 μm の仕様があり、その内、35、125、250 μm で横向き塗装ロボットにて塗装を行い、任意膜厚条件を出す為に実験を行った。

2) 実験概要


実験概要については、前述の(3)横向き塗装膜厚均一実験と同様である。

3) 実験条件および結果

3-1) 横向き塗装実験 (35 μm)

ア) 平面部 (目標膜厚:35 μm)

① 膜厚測定データ

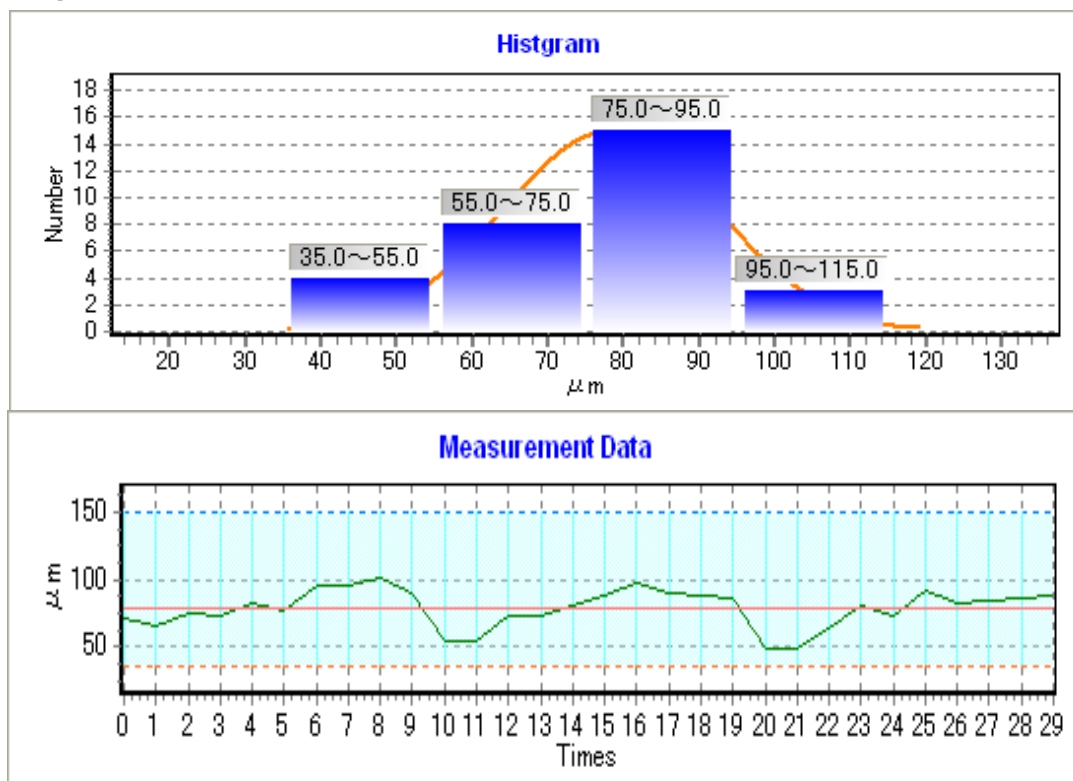
*  オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚 (μm)									
13	90.1	101	94.8	95.1	76.7	81.3	71.9	74.3	65.6	71
12.5	85.3	87.8	89.7	97.7	88.1	80.8	72	72.1	53.8	53.5
12	87.4	85	83.1	81.7	91.5	73	80.1	63.3	48.9	49.1

② 測定結果

最小値	48.9
最大値	101
平均値	80.4
標準偏差	12.7

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、平面部においてPSPC 90/10ルールは満足している。
ヒストグラムを見ると、ほぼ正規分布しており、標準偏差も13 μmとばらつきも抑えられている。

イ) 曲面部(自動) (目標膜厚: 35 μm)

① 膜厚測定データ

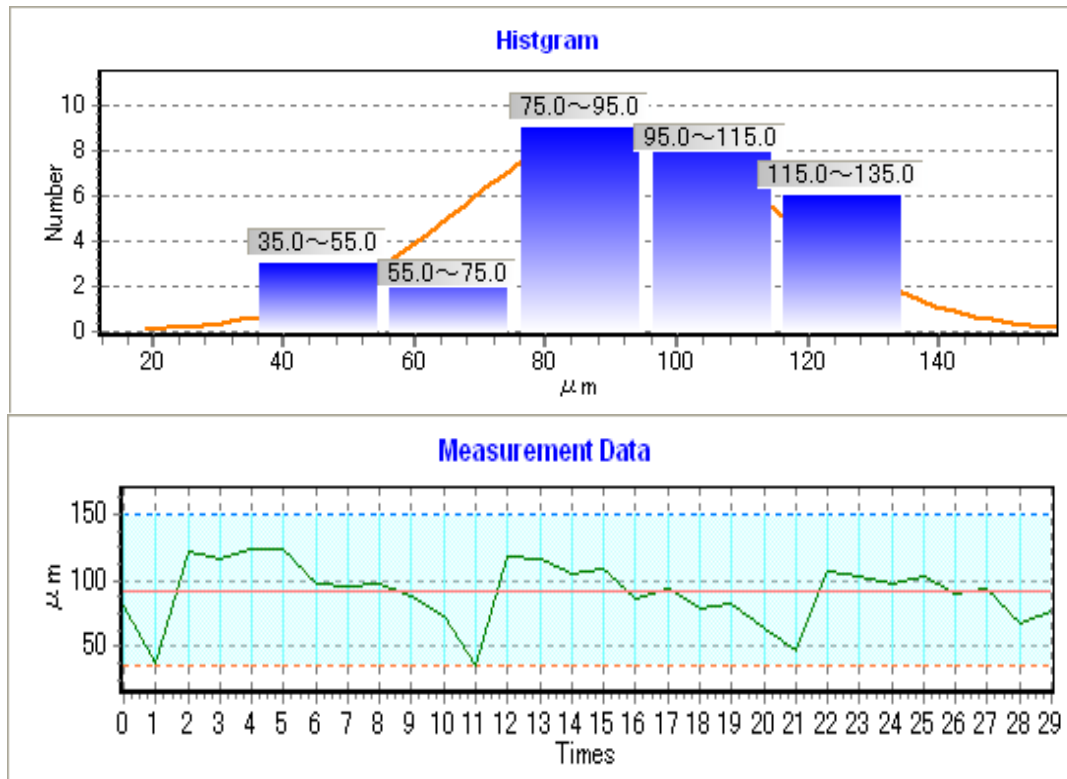
* オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚(μm)									
6.8	88.7	96.6	95.2	97.1	124	124	117	121	36.7	80.7
6.4	81.4	77.8	94	85.9	109	104	117	118	35.7	72.9
6	77.2	67.4	93.5	90.1	102	97.3	102	107	46.1	63.2

② 測定結果

最小値	35.7
最大値	124
平均値	92.8
標準偏差	24.2

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面部(自動)においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、少し上側に片寄った分布している事がわかる。また、標準偏差24 μmとばらつきについては小さく抑えられていると考える。

ウ) 曲面部(手動) (目標膜厚:35 μm)

① 膜厚測定データ

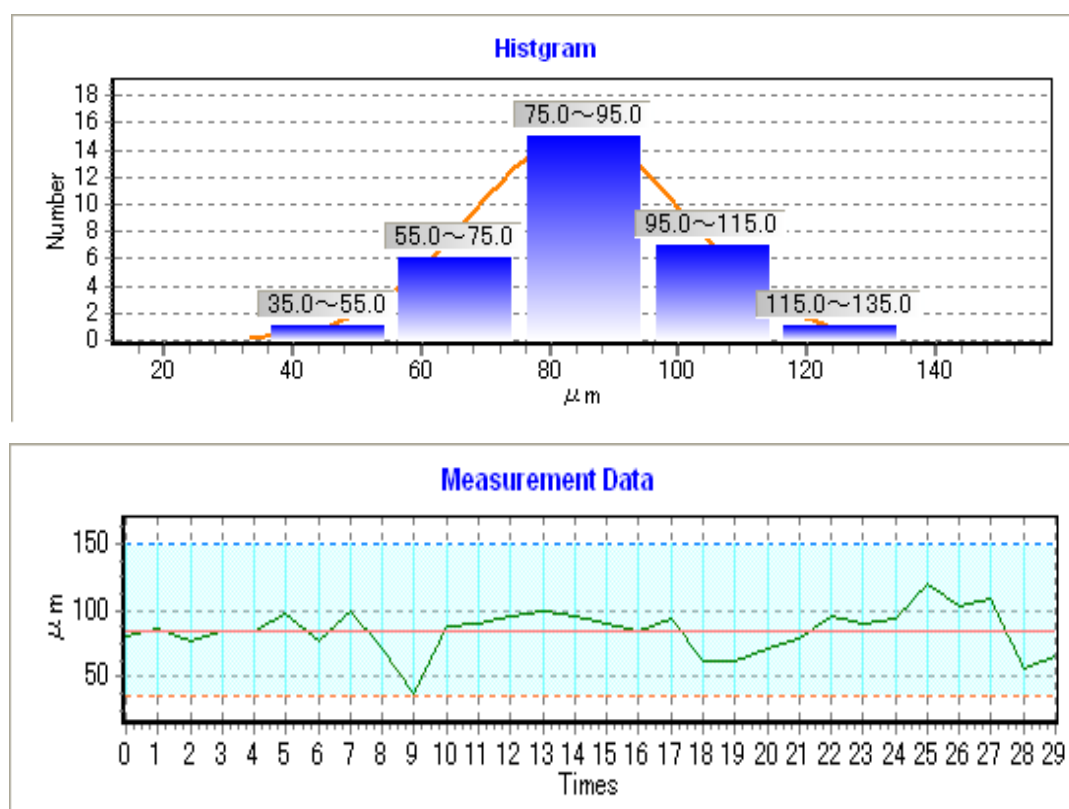
* オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚(μm)									
4.1	37.7	71	99	76.2	96.7	84.3	83.8	77.4	85.1	80
3.7	61	61.3	94	84	90	94.9	99.4	95.9	90	86.9
3.3	66	55.4	108	102	120	93.4	90.6	95.4	78.1	71.1

② 測定結果

最小値	37.7
最大値	120
平均値	84.8
標準偏差	17.7

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面部(手動)においてPSPC 90/10ルールは満足している。
ヒストグラムを見ると、ほぼ正規分布しており、標準偏差も18 μmとばらつきも抑えられている。

3-2) 横向き塗装実験(250 μm)

ア) 平面部 (目標膜厚: 250 μm)

① 膜厚測定データ

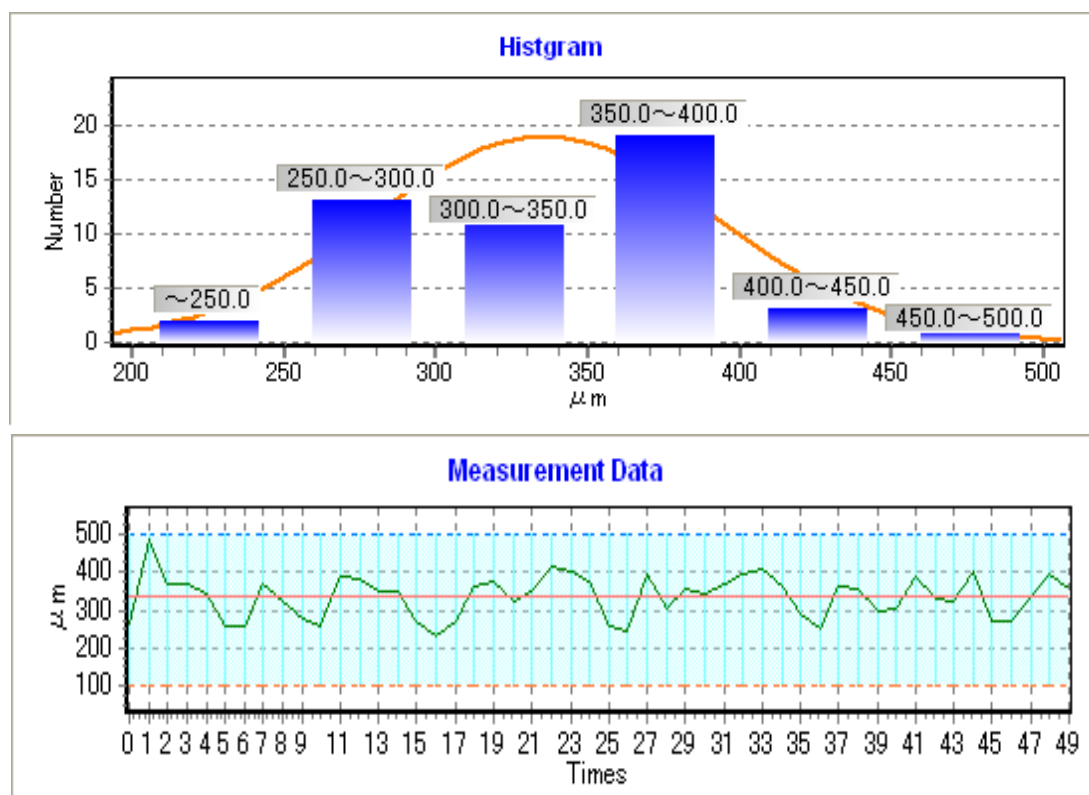
* オーバーラップ部
赤数字は、250 μm未満

高さ(m)	膜厚(μm)									
14	266	488	366	372	344	260	260	371	321	277
13.5	256	387	383	348	347	272	228	269	360	375
13	321	347	415	401	376	255	243	396	301	359
12.5	343	371	393	408	361	288	251	363	354	299
12	305	390	332	323	399	269	268	336	396	357

② 測定結果

最小値	228
最大値	488
平均値	335.4
標準偏差	56.6

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、平面部においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、二山分布となっており、またばらつきも大きい。

イ) 曲面部(自動) (目標膜厚:250 μm)

① 膜厚測定データ

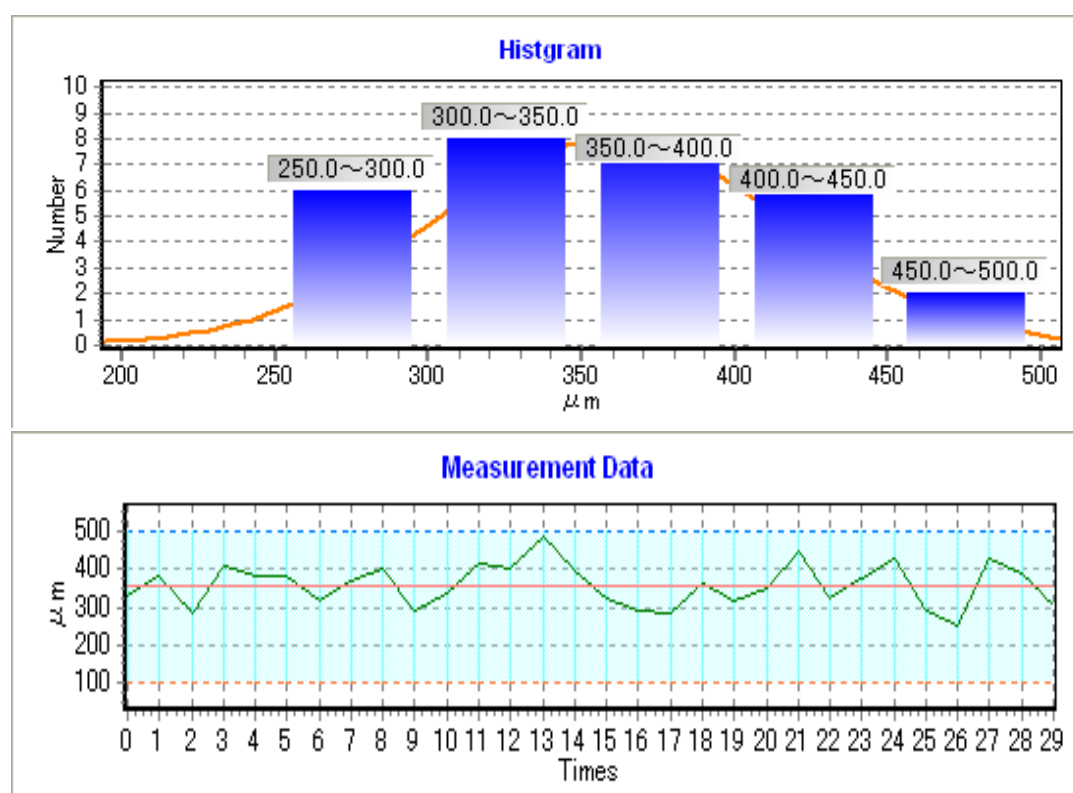
* オーバーラップ部

高さ(m)	膜厚(μm)									
6.8	332	383	286	409	382	383	315	371	404	293
6.4	338	417	404	485	394	323	288	283	365	319
6	347	450	326	376	430	292	252	425	390	303

② 測定結果

最小値	252
最大値	485
平均値	358.8
標準偏差	57.1

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 um)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面(自動)部においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、少し下側に片寄った分布している事がわかる。ばらつきは、平面と同程度で大きい。

ウ) 曲面部(手動) (目標膜厚:250 μm)

① 膜厚測定データ

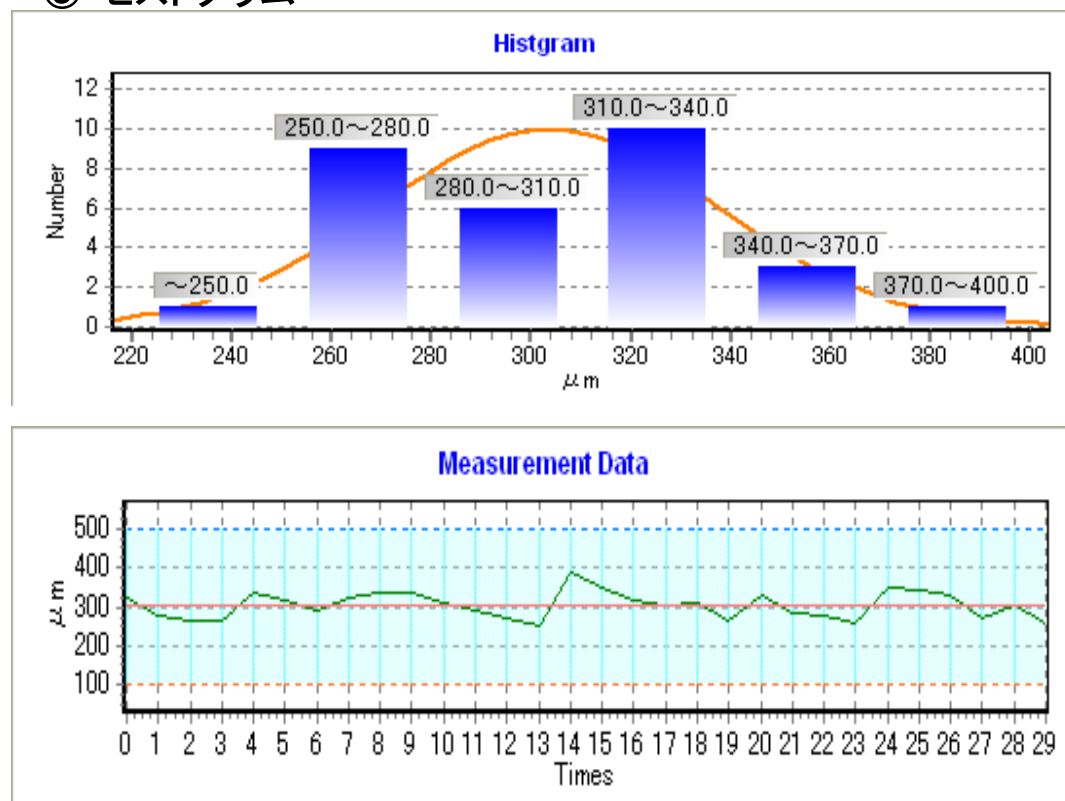
* オーバーラップ部
赤数字は、250 μm未満

高さ(m)	膜厚(μm)									
4.1	326	274	264	267	334	317	289	323	335	333
3.7	311	290	272	248	387	348	315	302	308	265
3.3	329	286	277	257	346	344	327	270	302	258

② 測定結果

最小値	248
最大値	387
平均値	303.5
標準偏差	34.1

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

⑤ 結果及び評価考察

実験結果より、曲面部(手動)においてPSPC 90/10ルールは満足している。ヒストグラムを見ると、二山分布となっている。また、標準偏差34 μmとばらつきについては小さく抑えられていると考える。

4) 横向き塗装任意膜厚実験結果(まとめ)

以下にラボ実験による任意膜厚塗装条件設定表とその条件を元に横向き塗装ロボットにて実験を行った結果をまとめた表を記す。

ラボ実験塗装条件設定表

目標膜厚[μm]	ラボ実験			条件設定 早見表			
	125			35		250	
最低膜厚[μm]	150	125	120	-	-	-	-
最高膜厚[μm]	190	180	170	-	-	-	-
平均膜厚[μm]	171	142	136				
備考					14Cより小さい ノズル詰まり		

横向き塗装ロボット塗装実験結果

目標膜厚[μm]	125			35		250	
最低膜厚[μm]	115	116	151	49	36	228	252
最高膜厚[μm]	244	348	471	101	124	488	485
平均膜厚[μm]	180	197	319	80	93	335	359
標準偏差[μm]	28	43	102	13	24	57	57
備考	平面	平面	曲面	平面	曲面	平面	曲面

5) 考察

ラボ実験および条件設定表の塗装機条件を元に、横向き塗装ロボットに合った条件を調査した。結果として125 μm 、35 μm 、250 μm の各膜厚においてPSPC 90/10ルールは、全て満足できた。曲面部のばらつきを改善するという課題は残っているが、各膜厚における塗装条件の検証ができた。

(5) ロボット塗装と手作業塗装との比較

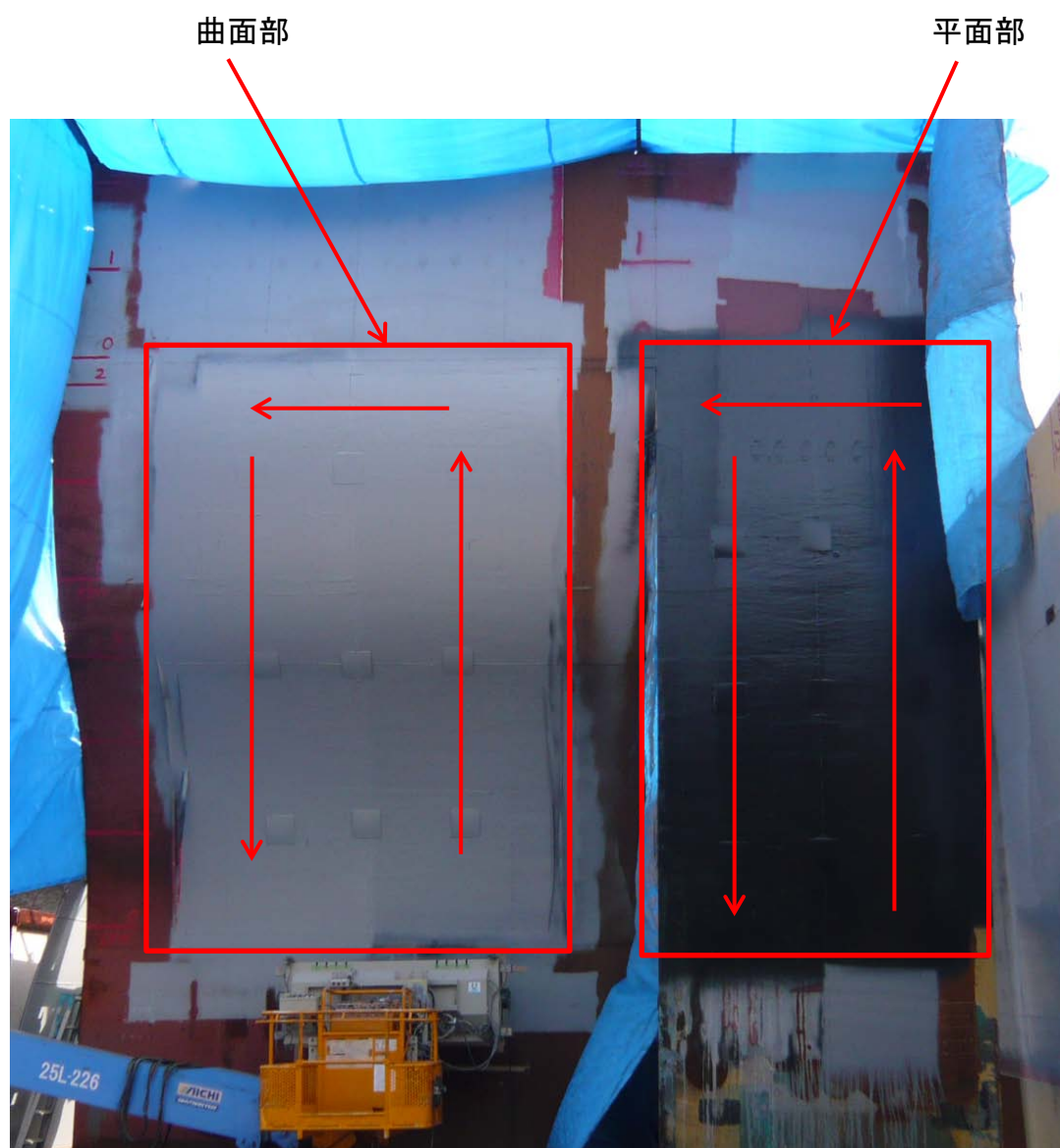
1) 目的

ロボット塗装と手作業塗装の作業時間、品質、塗料使用量比較の塗装実験を行った。

2) 実験概要

2-1) 塗装実験概要

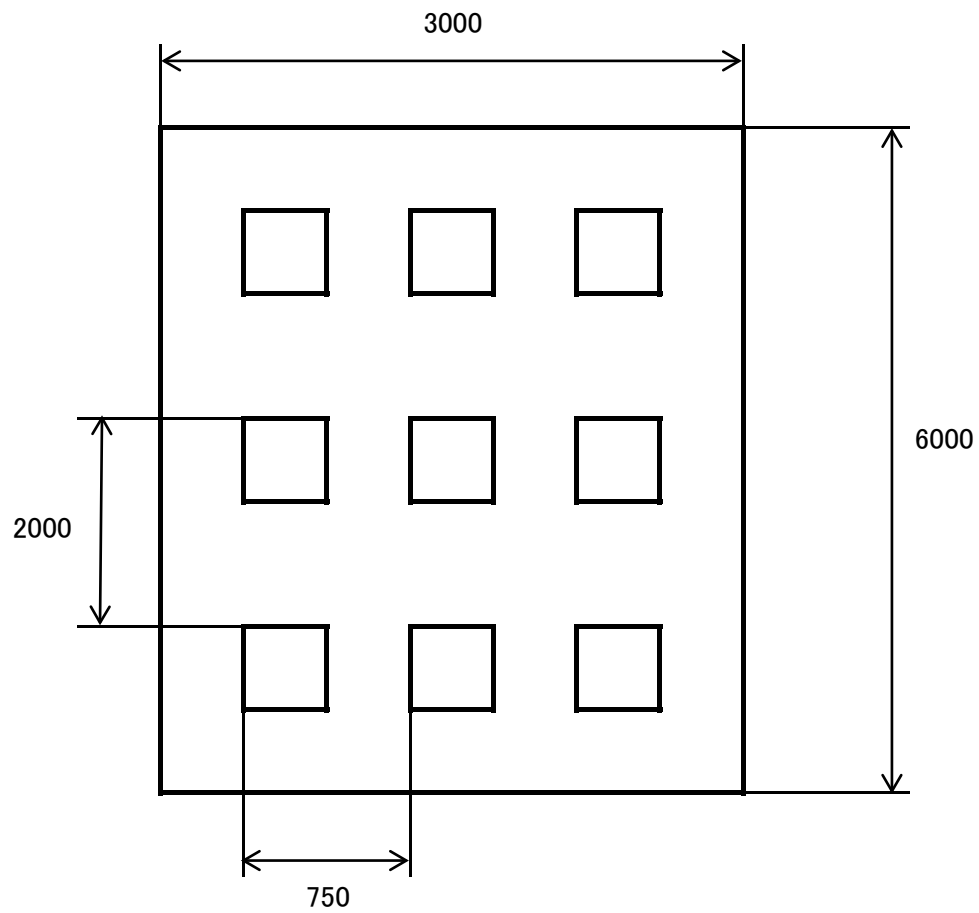
- ① 手作業(ポールガン)にて平面部(18㎡)、曲面部(23.8㎡)の塗装を行った。
- ② 塗装は、高所作業車で上昇1回、横移動後下降1回の2ラインで行った。
- ③ 作業時間、膜厚、塗料使用量を測定し比較する。
- ④ 横向き塗装ロボットにて平面部(18㎡)、曲面部(23.8㎡)の塗装時間を測定した。
(膜厚については、既測定の数値を使用することとした。)



2-2) 塗装膜厚測定概要

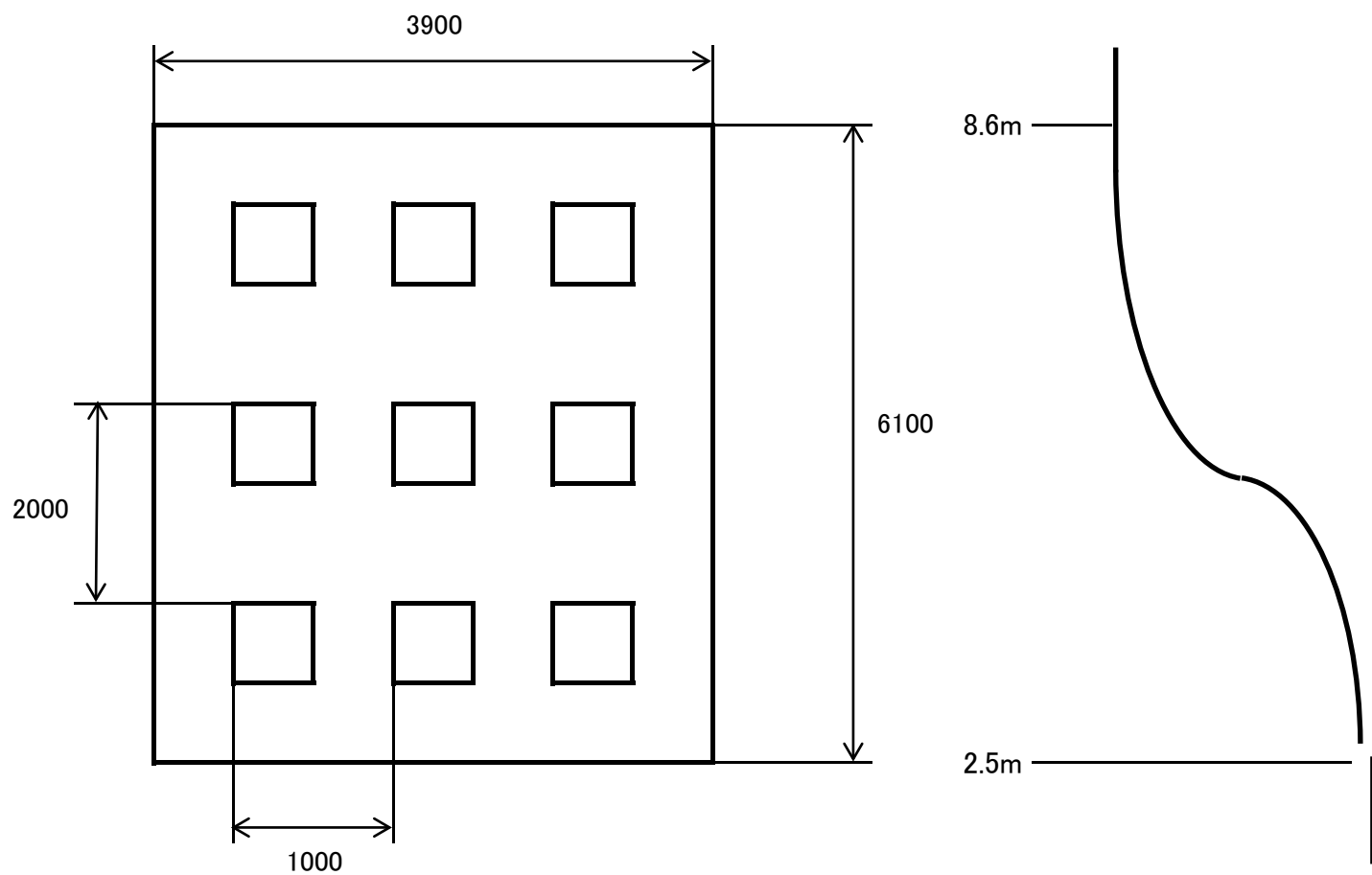
① 平面部 (塗装面積:18㎡)

下図のように□200mmのテストピースを、横ピッチ(750mm)×縦ピッチ(2000mm)で貼り付け、膜厚測定を行った。



② 曲面部 (塗装面積:23.8㎡)

下図のように□200mmのテストピースを、横ピッチ(1000mm)×縦ピッチ(2000mm)で貼り付け、膜厚測定を行った。



3) 実験条件および結果

3-1) 塗装品質比較

ア) 手作業 曲面部 (目標膜厚:125 μm)

① 膜厚測定データ

膜厚 (μm) 赤字は、125 μm 未満

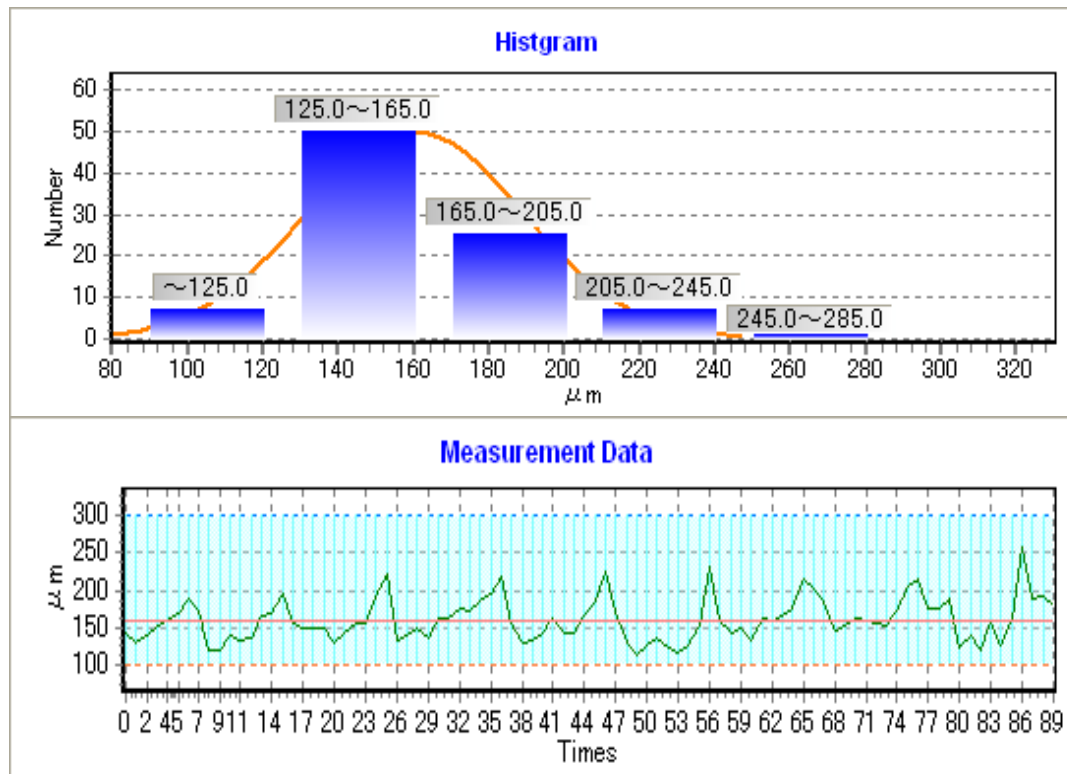
141	129	140	151	159	169	188	172	119	121
138	134	136	166	169	194	157	148	150	150
131	144	155	157	193	221	133	138	150	137
163	162	174	171	184	194	218	156	129	134
142	161	144	141	165	184	226	171	131	113
127	137	122	117	127	154	231	158	142	150
133	161	159	165	175	214	201	184	145	152
161	159	156	154	173	206	214	174	177	190
122	139	120	158	125	163	256	187	192	180

② 測定結果

単位 μm

最小値	113
最大値	256
平均値	160.1
標準偏差	28.8

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

イ) ロボット 曲面部 (目標膜厚:125 μm)

① 膜厚測定データ

* オーバーラップ部
赤数字は、125 μm未満

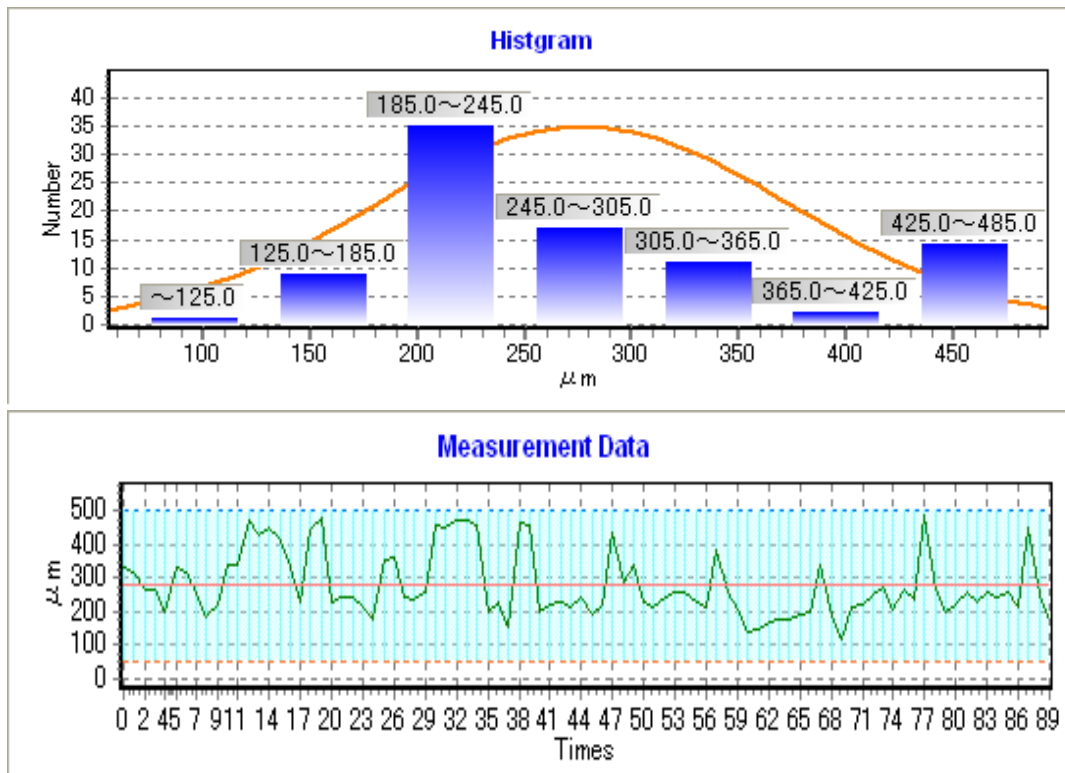
膜厚 (μm)									
330	319	261	266	196	327	314	258	183	220
340	338	471	428	447	408	331	227	441	478
224	239	242	209	176	355	357	243	234	259
453	451	467	467	454	200	226	151	466	457
201	222	226	212	239	187	217	433	288	336
228	212	245	255	257	228	210	381	254	207
136	146	165	177	179	191	201	336	187	115
215	223	249	268	207	264	232	488	267	197
222	255	224	258	239	256	210	449	252	177

② 測定結果

単位 μm

最小値	115
最大値	488
平均値	277.1
標準偏差	96.9

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 um)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

ウ) 手作業 平面部 (目標膜厚:35 μm)

① 膜厚測定データ

膜厚 (μm)

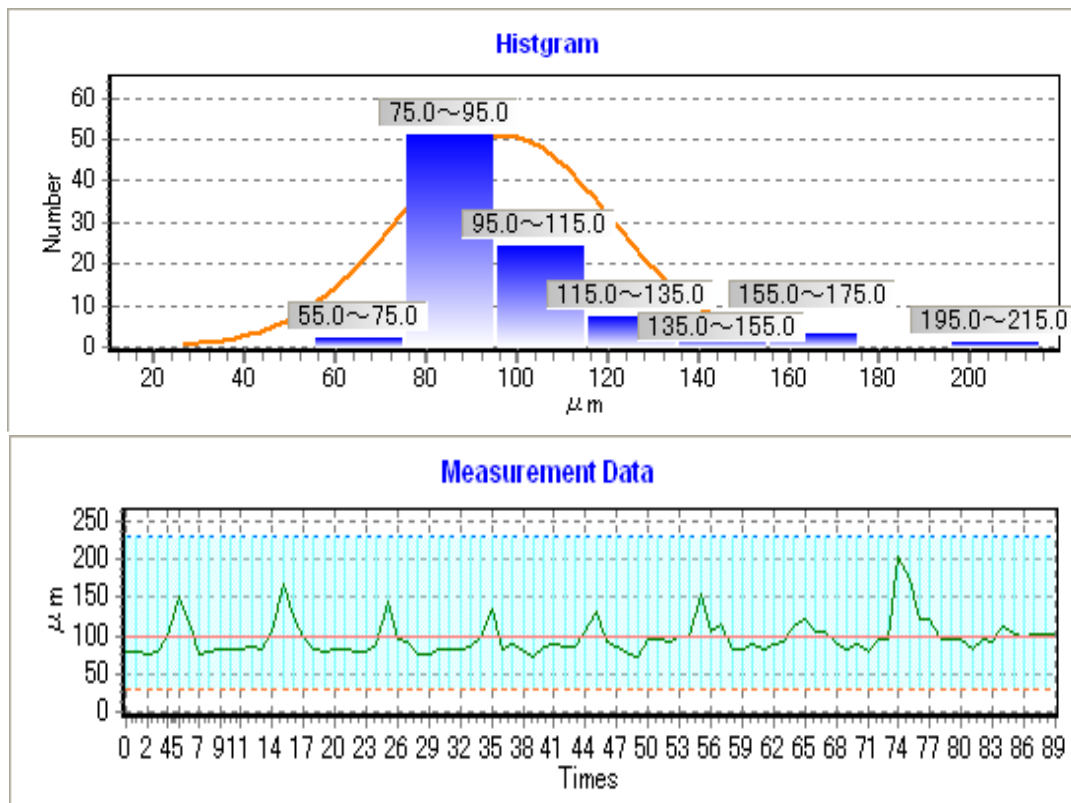
78	78	77	79	98	151	119	77	80	81
83	81	86	84	107	167	126	98	81	80
82	82	80	78	88	146	96	92	75	76
82	84	82	86	100	134	81	88	80	71
85	89	86	87	107	131	93	87	75	74
96	96	93	98	100	156	106	114	84	83
88	84	89	92	112	123	105	106	88	84
89	78	95	96	203	174	121	122	97	94
94	83	94	92	113	102	100	102	101	101

② 測定結果

単位 μm

最小値	71
最大値	203
平均値	97.3
標準偏差	23.5

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(35 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

エ) ロボット 平面部 (目標膜厚:35 μ m)

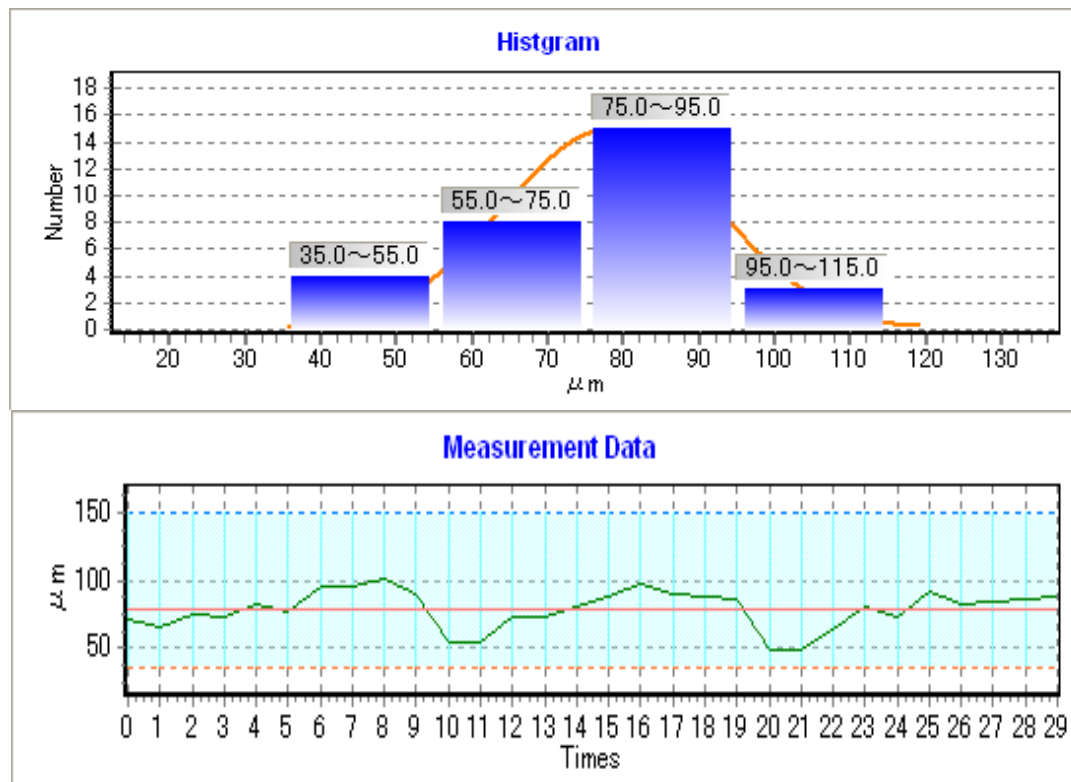
① 膜厚測定データ

膜厚(μ m)							*	オーバーラップ部		
90.1	101	94.8	95.1	76.7	81.3	71.9	74.3	65.6	71	
85.3	87.8	89.7	97.7	88.1	80.8	72	72.1	53.8	53.5	
87.4	85	83.1	81.7	91.5	73	80.1	63.3	48.9	49.1	

② 測定結果

単位 μ m	
最小値	48.9
最大値	101
平均値	78.2
標準偏差	14.2

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(35 μ m)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

才) 手作業 曲面部 (目標膜厚:35 μ m)

① 膜厚測定データ

膜厚(μ m)

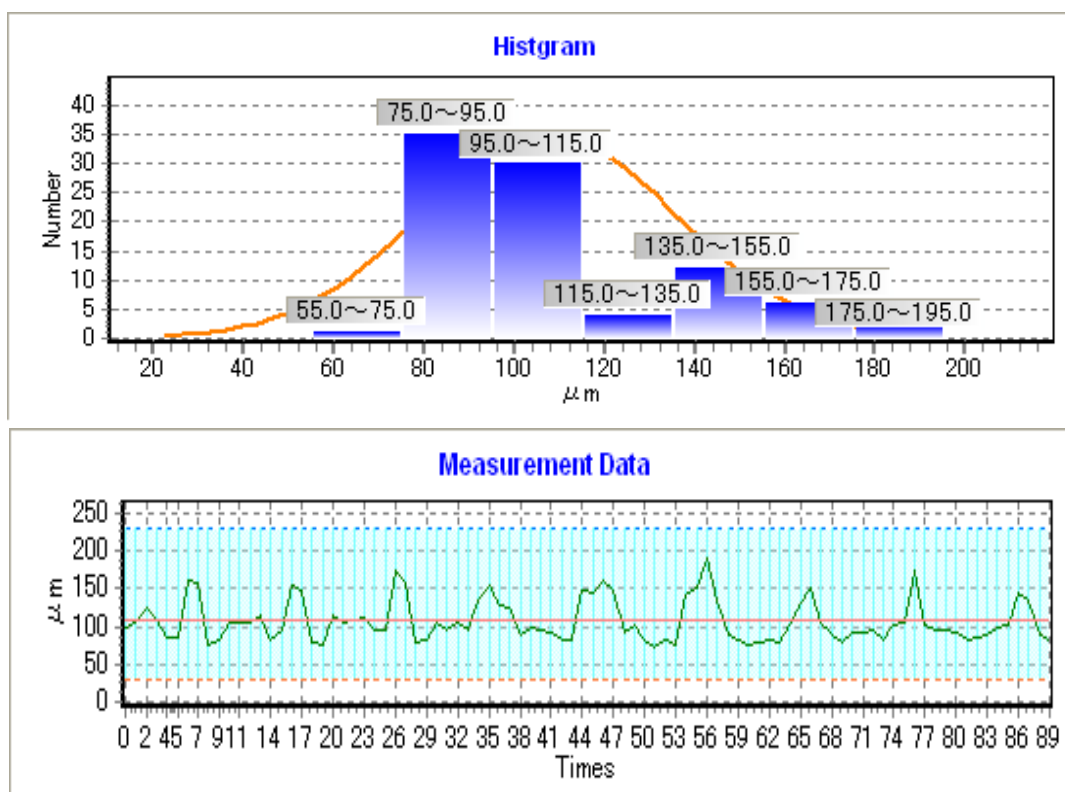
98	106	126	110	86	85	162	159	76	82
107	106	105	114	84	96	154	149	79	77
114	106	108	113	95	97	175	159	78	83
104	97	106	96	135	155	129	124	90	100
94	91	84	82	148	146	161	148	91	102
81	74	82	76	141	152	192	135	89	83
77	78	81	80	101	131	150	106	88	80
92	92	96	84	103	107	173	101	95	96
91	82	85	88	100	102	144	136	88	81

② 測定結果

単位 μ m

最小値	74
最大値	192
平均値	107.6
標準偏差	28.3

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(35 μ m)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

カ) ロボット 曲面部 (目標膜厚:35 μm)

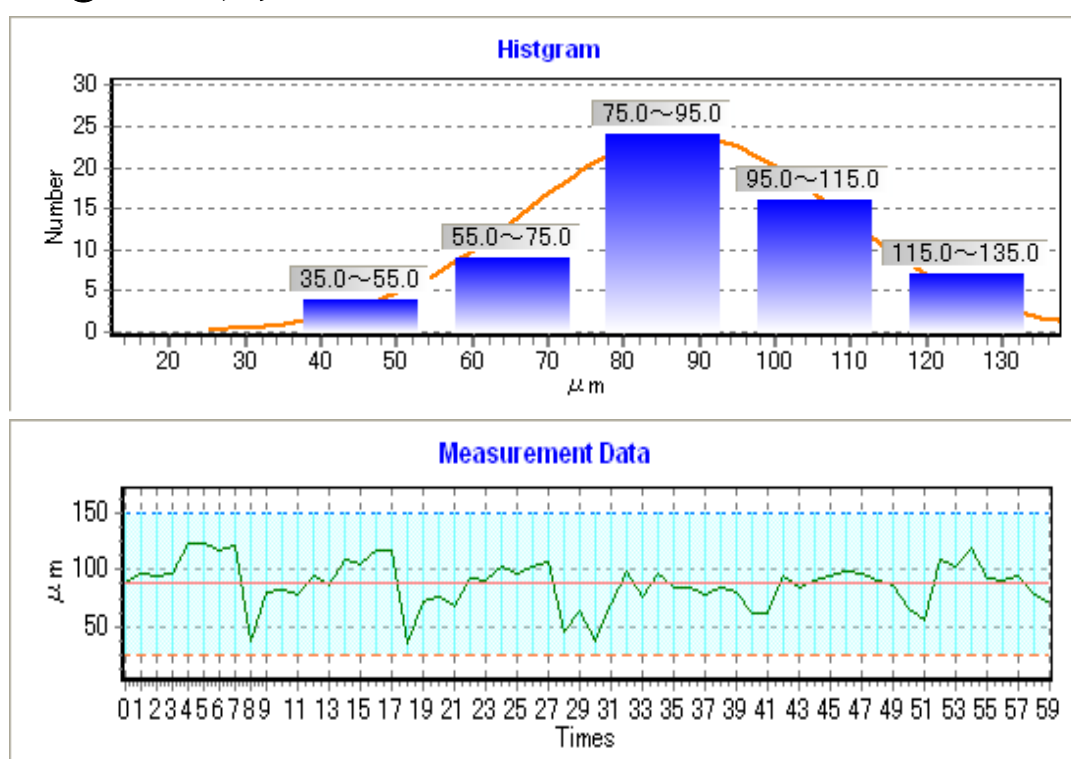
① 膜厚測定データ

膜厚 (μm)						* オーバーラップ部			
88.7	96.6	95.2	97.1	124	124	117	121	36.7	80.7
81.4	77.8	94	85.9	109	104	117	118	35.7	72.9
77.2	67.4	93.5	90.1	102	97.3	102	107	46.1	63.2
37.7	71	99	76.2	96.7	84.3	83.8	77.4	85.1	80
61	61.3	94	84	90	94.9	99.4	95.9	90	86.9
66	55.4	108	102	120	93.4	90.6	95.4	78.1	71.1

② 測定結果

単位 μm	
最小値	35.7
最大値	124
平均値	87.5
標準偏差	20.8

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(35 μm)

PSPC(90/10)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

3-2) 塗装作業時間比較

① 塗装作業時間

	単位 μm	単位 sec	単位 sec
	目標膜厚	手作業	ロボット
平面部	125	240	80
曲面部	125	380	320
平面部	35	320	144
曲面部	35	406	320

② 塗装作業効率

塗装時間と各塗装面積(平面部:18 m^2 、曲面部:23.8 m^2)より塗装作業効率を以下に示す。

	単位 μm	単位 m^2/min	単位 m^2/min
	目標膜厚	手作業	ロボット
平面部	125	4.5	13.5
曲面部	125	3.8	4.5
平面部	35	3.4	7.5
曲面部	35	3.5	4.5

3-3) 塗料使用量比較

① 塗装時間

	単位 μm	単位 sec	単位 sec
	目標膜厚	手作業	ロボット
平面部	125	120	80
曲面部	125	216	320
平面部	35	167	144
曲面部	35	215	320

② 塗料使用量

塗装時間と、各塗装時の総吐出量より塗料使用量を以下に示す。

	単位 μm	単位 g	単位 g
	目標膜厚	手作業	ロボット
平面部	125	4,800	3,253
曲面部	125	8,640	13,013
平面部	35	3,591	3,456
曲面部	35	4,623	7,840

4) 考察

品質においては、手作業、ロボット塗装ともに、PSPC90/10ルールを満足する事が出来た。目標膜厚125 μm での曲面部 ロボット塗装は、ばらつきが大きいですが、それ以外はほぼ同等の結果となっており、差異はほとんどないと判断する。塗装作業効率については、平面部において手作業と比較して100%以上の効率向上が出来た。曲面部において手作業と比較して20%程度の効率向上となった。塗料使用量については、平面部においてほぼ同程度の使用量となった。曲面部においては、ロボットの方が60%程度使用量が増える結果となった。今年度の横向き塗装範囲として曲面部塗装を追加し、膜厚を満足する条件を得る事ができた。しかしながら、手作業よりも作業効率を向上するためには、塗装条件のさらなる検討と詰めが必要と考える。

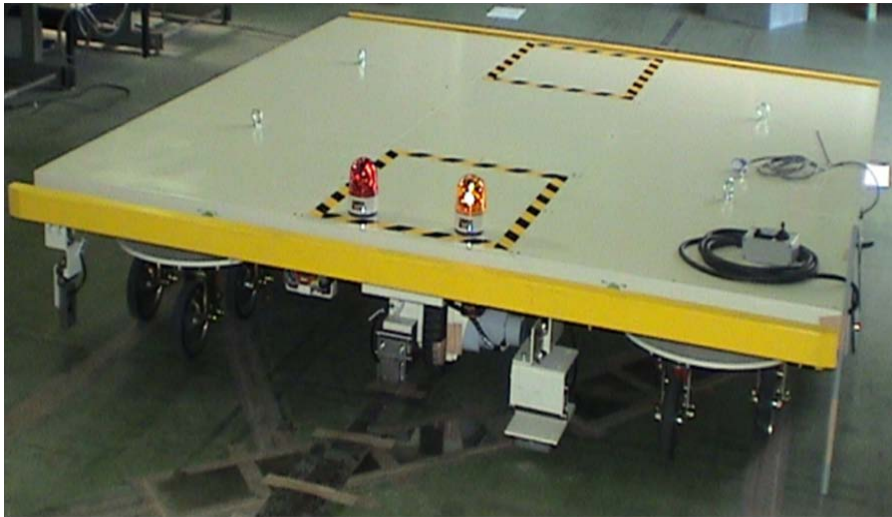
4.5 上向き塗装ロボット

(1) AGV試運転・基礎データ実験

1) 目的

AGVの走行速度が安定していて上向き塗装の ベース機として使用できるか確認する為の試験を行う。

2) 仕様



(主な仕様) (詳細は添付資料による)

型式: EMX-CO-S8b-PI34

最大積載荷重: 1000kg

最高走行速度: 1.5~24m/min 可変

最小旋回半径: 2000mm

直進性: ±20mm

登坂能力: 約1°

3) 実験概要

- ・ AGVを前進、後退させ0~9m間での1m毎の移動時間を計測する。
- ・ 1mごとの移動平均時間を出し、走行速度に換算する。
- ・ 無負荷時および負荷時(塗装機取付)での各々測定を行う。

4) 実験結果

4-1) 無負荷走行実験

最大	9.2	m/min
最小	8.0	m/min
平均	8.7	m/min
標準偏差	0.22	m/min

最大	6.2	m/min
最小	5.5	m/min
平均	5.8	m/min
標準偏差	0.17	m/min

最大	3.0	m/min
最小	2.8	m/min
平均	2.9	m/min
標準偏差	0.07	m/min

4-2) 負荷走行実験

最大	9.6	m/min
最小	8.3	m/min
平均	8.8	m/min
標準偏差	0.26	m/min

最大	6.2	m/min
最小	5.5	m/min
平均	5.8	m/min
標準偏差	0.17	m/min

最大	3.2	m/min
最小	2.7	m/min
平均	2.9	m/min
標準偏差	0.12	m/min

5) 考察

AGVの走行速度は、ばらつきが少ないが、AGV速度の塗装ガン速度へのフィードバックは必要と考える。

(2)上向き塗装実験

1) 目的

横向き塗装ユニットをAGVに乗せ、上向きにし横向き塗装条件と同一条件にて目標膜厚 $125\mu\text{m}$ の均一膜厚が得られるかを確認するために実験を行った。

2) 仕様

横向き塗装ユニットをAGVに組合せ、首振り軸を 90° 回転させた。
(この形ではXY軸のみ制御可能であり、Z軸は固定である。)



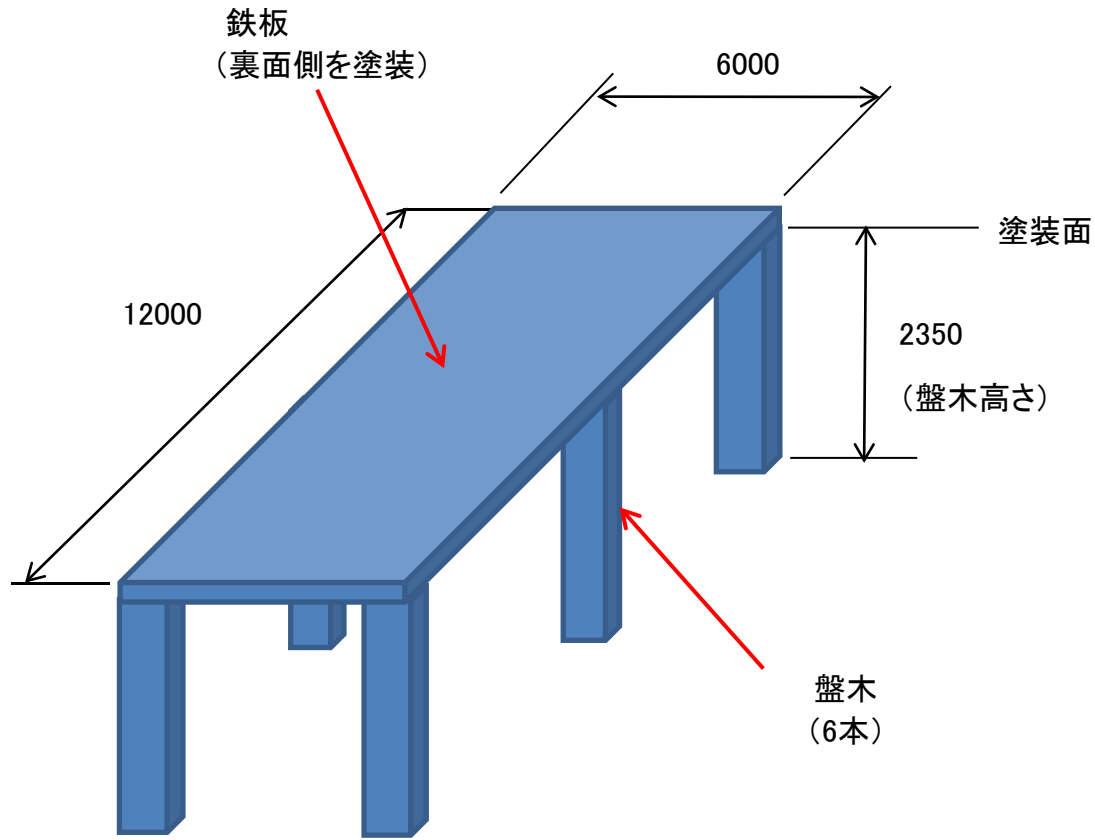
3) 実験概要

横向き塗装ロボットを上向きにし、平面部(36 m^2)の塗装を自動にて行った。

3-1) 上向き塗装状況

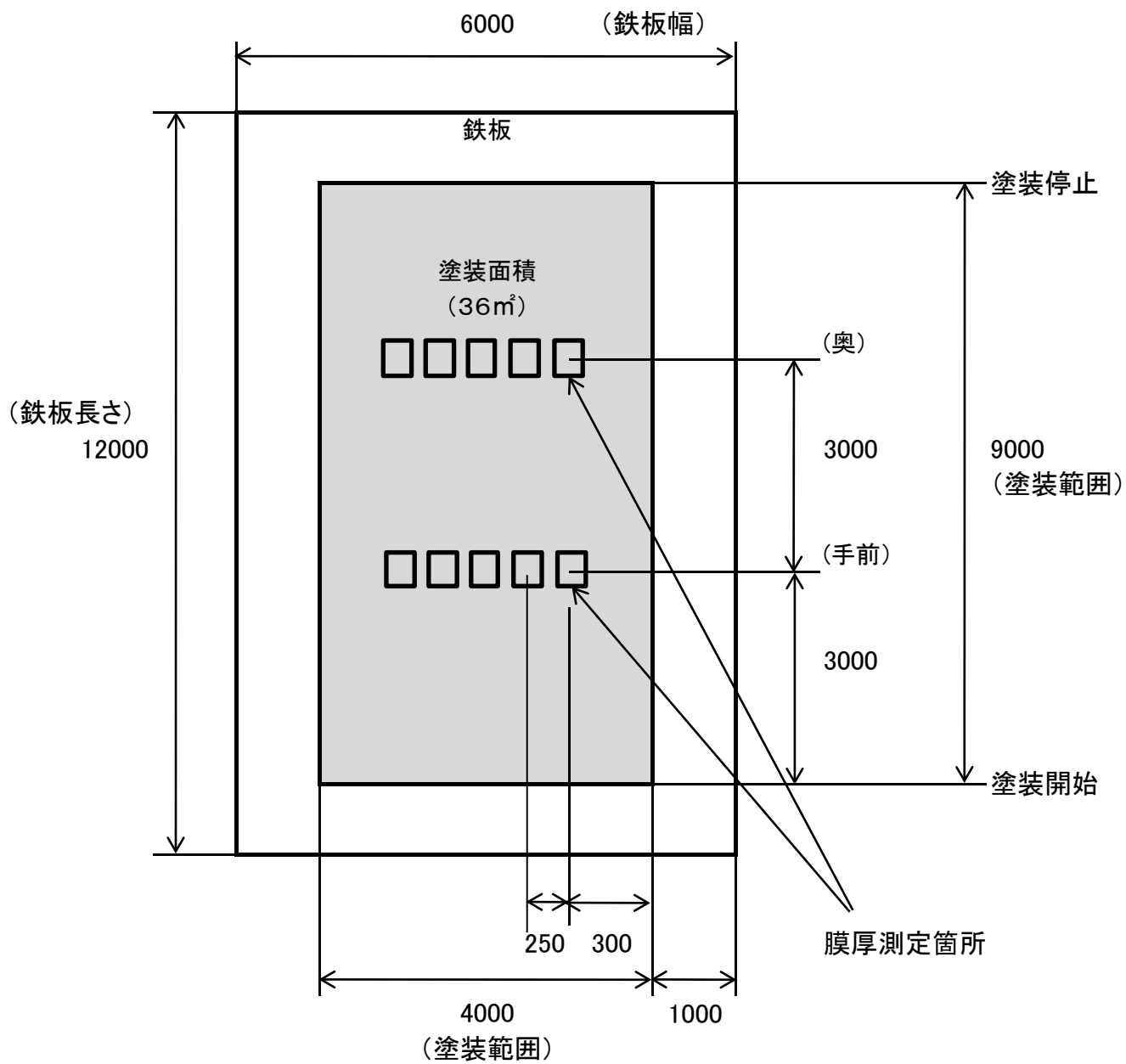


3-2) 上向き塗装実験概要



3-3) 塗装膜厚測定概要

下図のように、□100mmのテストピースを塗装開始から3mと6mの位置に横ピッチ(250mm)で各々5枚貼り付け膜厚測定を行った。



4) 実験条件および結果

4-1) 上向き塗装実験(125 μm)

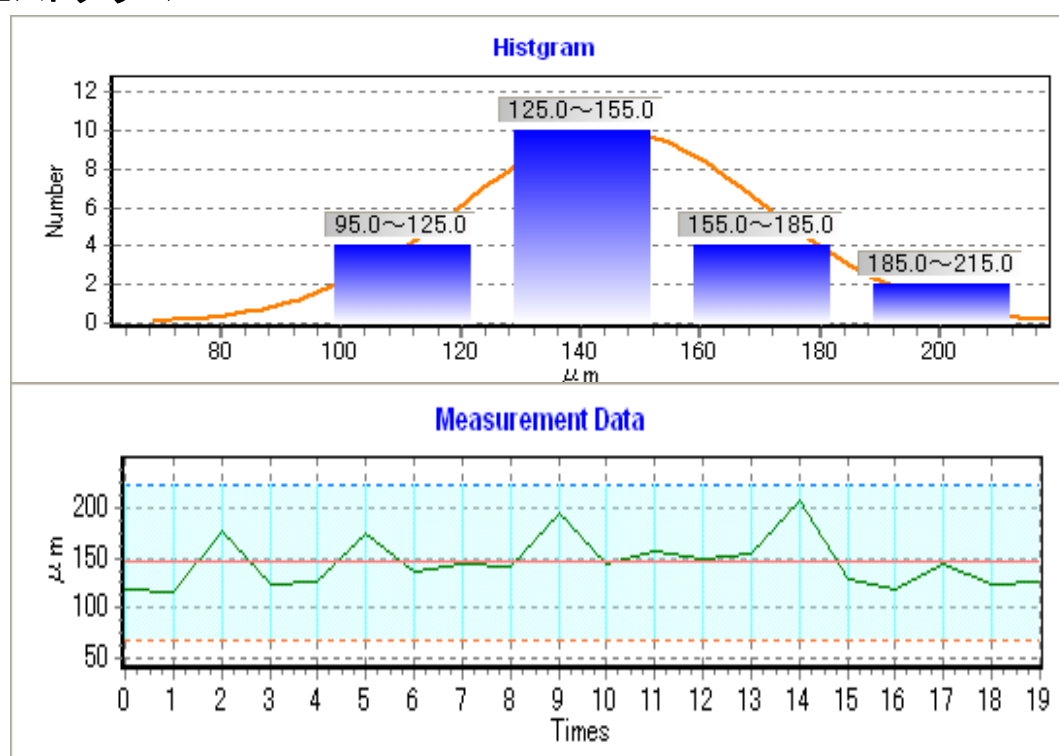
① 膜厚測定データ

	膜厚(μm)								*	オーバーラップ部
(奥)	119	116	176	123	126	175	137	144	141	194
(手前)	145	157	149	155	207	128	120	144	125	126

② 測定結果

最小値	116
最大値	207
平均値	145.4
標準偏差	25.6

③ ヒストグラム



④ PSPC 90/10 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(90/10)	FAIL
90% Rule	fail
10% Rule	pass

⑤ PSPC 80/20 mode : NDFT(125 μm)

PSPC(80/20)	PASS
90% Rule	pass
10% Rule	pass

5) 上向き塗装均一膜厚実験結果(まとめ)

以下にラボ実験による任意膜厚塗装条件設定表とその条件を元に上向き塗装ロボットにて実験を行った結果をまとめた表を記す。

ラボ実験塗装条件設定表

目標膜厚[μm]	ラボ実験		
	125		
最低膜厚[μm]	150	125	120
最高膜厚[μm]	190	180	170
平均膜厚[μm]	171	142	136
備考			

上向き塗装ロボット塗装実験結果

目標膜厚[μm]	125	
最低膜厚[μm]	116	208
最高膜厚[μm]	207	268
平均膜厚[μm]	145	232
標準偏差[μm]	26	21
備考		

6) 考察

横向き塗装条件と同一条件にて目標膜厚 $125\mu\text{m}$ の均一膜厚が得られるかを確認した。結果として、平均値は $125\mu\text{m}$ 以上あり、80/20ルールでは満足する事が出来た。、しかし、PSPC 90/10ルールは満足しなかった。横向き塗装条件との違いは、高所作業車昇降は $9\text{m}/\text{min}$ の設定時でも平均速度はそれ以下であり、AGVの走行はほぼ同程度の速度で走行する事による違いなのかを今後検証したい。

(3) ロボット塗装と手作業塗装との比較

1) 目的

ロボット塗装と手作業塗装の作業時間の比較を行った。
(上向き塗装の手作業データは追加するが、今回は横向き塗装の手作業と同等として比較。)

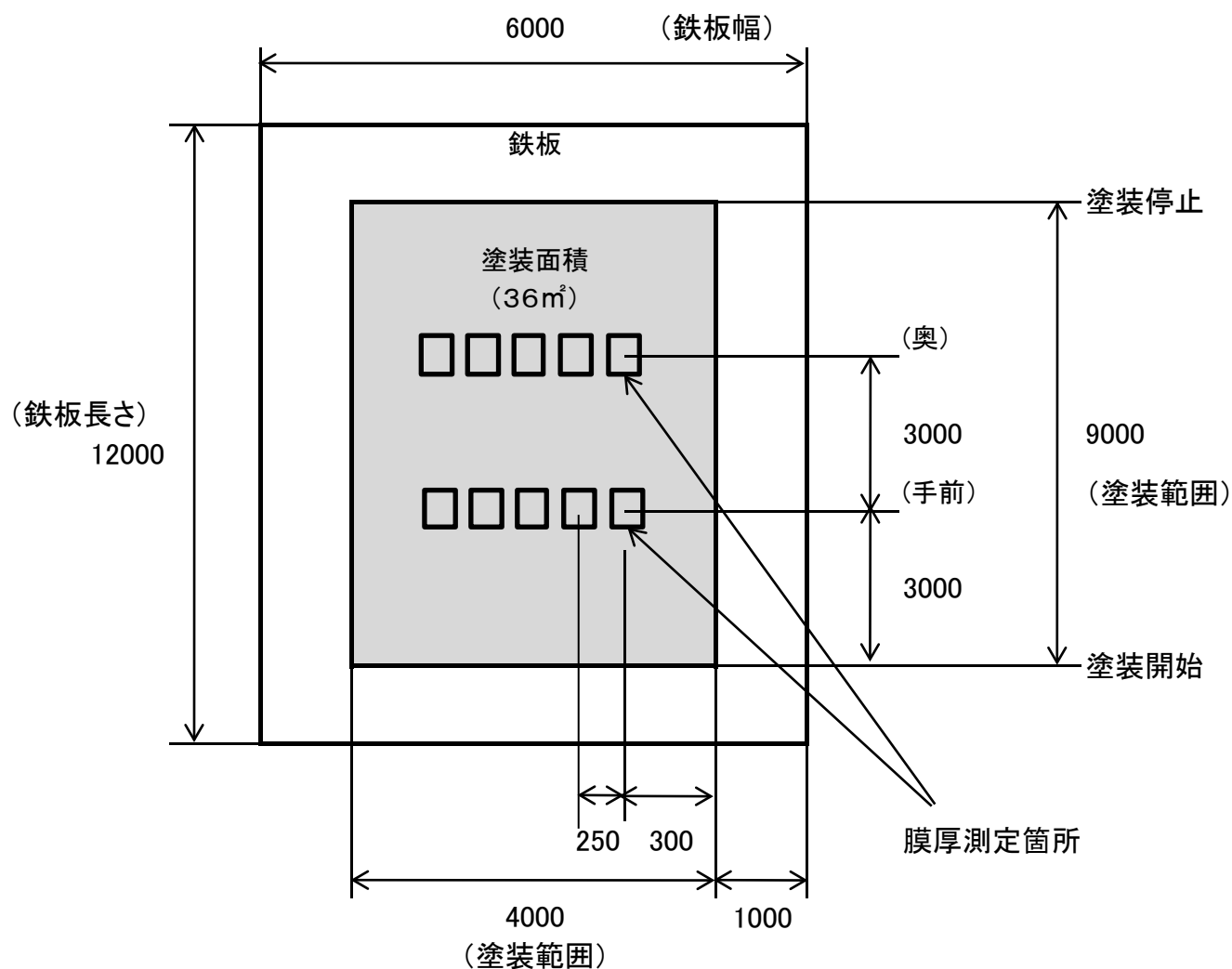
2) 実験概要

2-1) 上向き塗装状況



2-2) 上向き塗装実験概要

下図のように、 $\square 100\text{mm}$ のテストピースを塗装開始から3mと6mの位置に横ピッチ(250mm)で各々5枚貼り付け、平面部(36 m^2)の塗装を行い、膜厚測定を行った。



3) 塗装作業時間比較

① 塗装作業時間

単位 μm	単位 sec	単位 sec
目標膜厚	手作業	ロボット
125	480	160

② 塗装作業効率

上記塗装作業時間と、各塗装面積より塗装作業効率を以下に示す。

単位 μm	単位 m^2/min	単位 m^2/min
目標膜厚	手作業	ロボット
125	4.5	13.5

4) 考察

品質については、手作業のデータ追加を待っての比較とする。
塗装作業効率については、手作業は横向き塗装のデータを使用し比較した。
手作業と比較すると、200% ロボットの方が、効率向上となる。

5 成果

5.1 横向き外板塗装ロボット

横向き外板ロボットの試作機を製作し、以下の成果を得た。

- (1) ミスト回収装置を改良したことにより、昨年度より約40%ミスト飛散率を改善することができた。
ミスト回収装置の効果は、ミスト回収装置がない場合(現状の外板塗装)に比べ、約75%ミスト飛散率を低減する事ができた。
- (2) 均一膜厚塗装をするため、エアレス塗装機のポンプ圧力低下を防止するため、圧力比30:1の脈動吸収ダンパーを開発し、且つ、70 μ m、125 μ m、200 μ mの塗装条件のデータベースを作成し、システムに組み込んだ。
- (3) 上記システム制御により、平面部及び曲面部外板を任意の膜厚で塗装することができた。
- (4) 上記結果として、平面部塗装では手作業に比べて100%以上の効率向上ができた。曲面部塗装では手作業に比べて20%の効率向上ができた。
- (5) しかしながら、塗料使用量は平面部では約32%減少したが、曲面部では約50%増加した。

5.2 上向き外板塗装ロボット

上向き外板ロボットの試作機を製作し、以下の成果を得た。

- (1) 自動走行台車(AGV)が上向き塗装のXY方向移動に使用することができた。
- (2) 横向き塗装の任意膜厚塗装のデータベースを使用し、目標膜厚125 μ mの塗装が80/20ルールで塗装することができ、データベースが上向き塗装で使用可能である目処が立った。
- (3) 上記結果として、上向き塗装では手作業に比べて3倍の効率向上ができた。
- (4) 今年度は、塗装ユニットを横向き塗装のものを使用したため、高所作業車の昇降精度とAGVの走行精度に差があり、90/10ルールでは膜厚が足りない箇所があり、専用塗装ユニットの制御方法を精査する必要がある。

5.3 総括

上記により、今年度の船舶外板用塗装ロボット開発は当初の目的を達成できた。

横向き外板塗装ロボット 全体構成



上向き外板塗装ロボット 全体構成



6 次年度の課題

6.1 横向き外板塗装ロボット

- (1) 膜厚管理を更に向上させるために、塗装条件等を精査し、塗料の使用量を減らす。
- (2) 大面積を塗装するための準備。
- (3) 段取り、位置合わせ等塗装作業以外の時間短縮。

6.2 上向き外板塗装ロボット

- (1) 移動制御方式の検証。
- (2) 段取り、位置合わせ等塗装作業以外の時間短縮。

この報告書は競艇の交付金による
日本財団の助成を受けて作成しました。