

現場少飛散スプレー塗装の開発と市場導入

社団法人 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

福島 稔*

1. まえがき

鋼橋の塗装にはスプレー塗装と刷毛塗り塗装が適用されている。工場塗装にはスプレー塗装が用いられていて、現場塗装には刷毛塗り塗装が用いられている。スプレー塗装は刷毛塗り塗装に比べて効率がよく厚膜に塗装することができる。現場塗装でスプレー塗装が用いられていないのは、塗料が周辺に飛散して環境を損なうためである。現場でもスプレー塗装が適用できれば、現場塗装の品質と効率を大幅に向上することができる。

このため、社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会（以下、橋塗協という）は現場に適用できる新しい少飛散スプレー塗装システムの開発を計画し、研究開発を進め実橋での試験を行い、このたび、名古屋高速道路公社の塗装基準の改定に際して、わが国で最初の現場スプレー塗装基準として採用されることになった。

今後、現場スプレー塗装を本格的に導入するに当たり、開発の経過と現状を報告する。

2. 鋼橋の塗装

構造物への塗装には、エアレススプレー塗り、刷毛塗り、ローラー塗りの3種類の方法が用いられている。

エアレススプレー塗りは、効率が良く厚膜に塗装することができるが、塗料の飛散が多く周辺環境を損なう。

刷毛塗りは、構造物の形状にかかわらず塗装できるが、仕上がりが塗装工の技能に左右され1回に塗装できる量に限度があり厚膜に塗装することができない。

ローラー塗りは、刷毛塗りに比べて効率が良いが、発泡等の問題があり日本では鋼橋塗装には認められていない。

構造物は工場と現場で塗装されている。工場塗装は、すべて理想的なエアレススプレー塗装が適用されているが、現場塗装は、周辺環境への配慮からほとんど刷毛塗りが適用され、現場塗装が工場塗装に比べて劣る原因になっている。鋼道路橋塗装の塗装方法基準の現状を表1に示す。

表1 鋼橋道路塗装の塗装方法

基準等の名称	工場塗装の方法	現場塗装の方法
鋼道路橋塗装便覧 (社) 日本道路協会	スプレー塗り	一般塗料ははけ塗り 超厚膜塗料はへら塗り
日本道路公団	エアレススプレー塗り	はけ塗り または エアレススプレー塗り
首都高速道路公団	エアレススプレー塗り	はけ塗り
阪神高速道路公団	エアレススプレー塗り	はけ塗り
本州四国連絡橋公団	エアレススプレー塗り	はけ塗り
名古屋高速道路公社	エアレススプレー塗り	はけ塗り
福岡北九州道路公社	エアレススプレー塗り	はけ塗り

3. 開発の経過

現場塗装の品質向上は鋼橋のLCC（ライフサイクルコスト）改善のために必ずうであり、このため、少飛散スプレー塗装システムを開発して現場塗装に適用することにした。

少飛散スプレー塗装を行うには、飛散の少ない塗装機の開発が必要である。塗装機の開発は旭サナック（株）に委託実施した。

少飛散スプレー塗装機の開発目標について検討し、表2のような項目と目標値を選定した。

表2 少飛散スプレー塗装機の開発目標

項目	開発目標
塗装効率	刷毛塗よりも効率の良い塗装ができ、その数値は 500 m ² /日（刷毛塗りの5倍）である。 ¹⁾
付着効率	塗料の付着効率は、風速 5m/秒で 80%以上である。
塗装膜厚	厚膜塗装が可能で、1回塗りで膜厚 60 μmが可能である。
作業性	現場足場上で、塗装作業性と安全性に支障がない。
仕上がり外観	仕上がり外観に支障がない

- 1) 着効率の算出はスプレー塗装と刷毛塗り塗装の稼働時間等も考慮した実質的なものとし、表3のようとした。すなわち、一日に500㎡の塗装を行うには、作業稼働率や塗着効率を考慮すると下表のように、スプレー塗りでは5㎡/分の塗装が必要であり、単位時間当たりの塗装面積は、刷毛塗りの14倍である。

表3 塗着効率の算出基準

項目 塗装方法	一日に塗装する面積	一日の稼働時間	作業稼働率	塗着効率	塗装面積 ㎡/分
刷毛塗り	100 ㎡	7 時間	0.7	0.95	0.35
スプレー塗り	500 ㎡	6 時間	0.35	0.8	5

塗装機の開発は1998年から行った。塗装機の開発は旭サナック社が行い、当会の会員と賛助会員が評価と塗料の検討を行った。

共同で開発・評価した結果、新しい少飛散スプレー塗装機を開発した。開発した塗装機は次のような特長がある。

- 1) 通常のエアレススプレー方式と同様に大吐出量の塗装が可能である。
- 2) 吐出圧4~6Mpaと低いので引き金を引いた時のショックが少なく塗装し易く、被塗面からの塗料のはね返りが少ない。
- 3) 低圧力でも微粒化がよい。
- 4) 60μm以下の飛散しやすい微細粒子の発生が少ない。
- 5) 塗装ガン先端の電極に-60kVの高電圧がかかり、スプレーミストはマイナス極性の静電気を帯びる。電流値が80μA以下と微弱で危険性はない。
- 6) 帯電したスプレーミストはアース状態にある被塗物に吸引される。
- 7) エアラップにより塗料粒子の飛散を防ぐと共に微粒化を促進した。
- 8) 電動プランジャポンプは100V電源仕様で作業が容易である。
- 9) エアコンプレッサから塗装ガンまでの距離は100m、高電圧発生ユニットから塗装ガンまでの距離は30m離れることが可能であり、現場の足場においても施工性が損なわれることはない。

少飛散スプレー塗装機の概要を図1に示す。

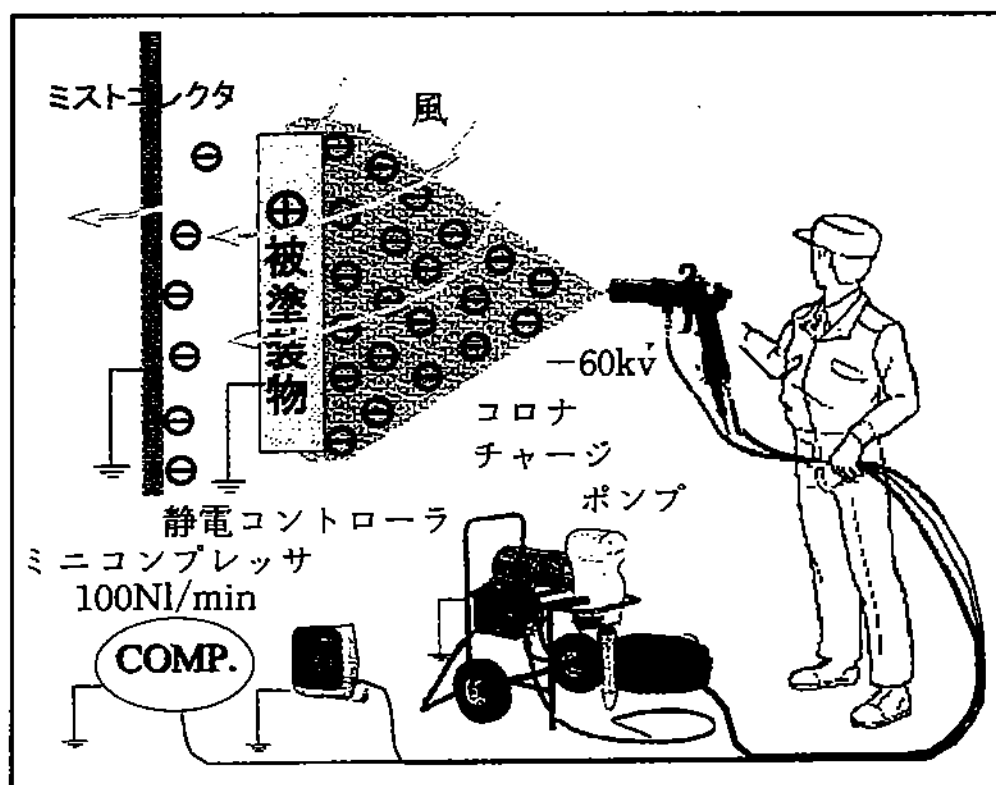


図1 少飛散スプレー塗装機の概要

- 1) 塗料ミストはマイナスに帯電している。
- 2) ミニコンプレッサから塗装ガンまでの距離は 100m、コロナチャージポンプから塗装ガンまでの距離は 30m 離れることが可能である。
- 3) 塗装区域の境界に設置したミストコレクタは導電性のネットで、静電気力により帯電したスプレーミストだけを静電吸着し、作業区域外に飛散するのを防ぐ。

4. 実験室における評価

実験室に風洞を設けて 0.5～3sec の風速を与えて試験し、塗装の最適条件の把握と性能の確認を行った。

風洞試験により表 4 に示すような塗着効率の試験結果を得た。

表4 風洞試験による塗着効率の試験結果

塗料の種類	エポキシ樹脂塗料下塗り			
風速 (m/sec)	0.5		3.0	
吹付け距離 静電電圧 (kV)	200	500	200	500
0	90.9 %	84.8 %	84.8 %	64.0 %
-60	90.9 %	86.6 %	88.9 %	71.5 %

塗料の種類	ポリウレタン樹脂塗料上塗り			
風速 (m/sec)	0.5		3.0	
吹付け距離 静電電圧 (kV)	200	500	200	500
0	92.5 %	80.9 %	83.5 %	43.1 %
-60	94.1 %	88.6 %	87.4 %	57.1 %

- 1) 塗着効率に影響の大きいのは吹付け距離で、距離が長くなると塗着効率は低下した。
- 2) 吹付け距離 200 mm、横風 3m/sec、静電電圧 -60kV の条件にて目標値の塗着効率 80%は確保できた。
- 3) 静電電圧 -60kV では電圧ゼロの場合に比べて塗着効率は改善される。とくに、風速 3m/sec で吹付け距離 500 mm の場合の改善効果が大きかった。

5. 実橋塗装試験

開発した塗装機は室内試験とフィールドテストで実用性があると判断し、名古屋高速道路公団に技術提案を行い、実橋試験で評価された。

(1) 工事名 名古屋高速道路公社万場線補修塗装工事、1998年

(2) 塗装結果 現場において中塗塗料と上塗塗料のスプレー塗装を行い、表5のような塗装結果により、目標を満足することを確認した。

表5 実橋塗装試験結果

	項目	中塗塗料	上塗塗料
塗装条件	塗料の種類	ポリウレタン用中塗	ポリウレタン上塗
	希釈率	7.5 %	15.0 %
	塗料圧力	6 Mpa	8 Mpa
	施工面積	340 m ²	340 m ²
塗装結果	塗着効率	89.3 %	87.6 %
	作業場の溶剤濃度	44.6 ppm 平均値	55.8 ppm 平均値
	塗料粒子の飛散	少ない	
	臭気	刷毛塗りに比べ刺激臭が強い	
	騒音	防音形ウェルダークの使用で問題はなかった	
	仕上がり状態	均一で良好であった	
	作業効率	3.6 m ² /分	4.0 m ² /分

希釈率と塗料圧力は、塗料の検討により改善された。

作業効率は施工面積が少ないこともあり目標をやや下回ったが刷毛塗りに比べて大幅に改善されることが確認された。

6. 実橋塗装工事

名古屋高速道路公社から、平成11年度から平成13年度まで毎年1工区のスプレー塗装の発注があり、現場塗装でも支障なく実施できることが立証された。このうち、平成13年度に実施した現場塗装の概要を示す。

6.1 工事の概要

(1) 工事名 鋼桁、高欄等塗装補修工事

市道高速5号 万場線

(2) 塗装面積 鋼桁部 約 9,500 m²

(3) 塗装施工 三好塗装工業株式会社

(4) 塗装仕様

塗装仕様を表6に示す。

表6 塗装仕様

塗装系記号	塗装工程	塗料名	目標膜厚	
N04R	素地調整	3種Cケレン	—	
	補修塗 (刷毛塗り)	変性エポキシ樹脂塗料下塗り	60 μm	
	増し塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗り	60 μm	
	第1層	下塗り ¹⁾	変性エポキシ樹脂塗料下塗り	60 μm
	第2層		変性エポキシ樹脂塗料下塗り	60 μm
	第3層	中塗り	ポリウレタン樹脂塗料用中塗り	30 μm
	第4層	上塗り	ポリウレタン樹脂塗料上塗り	25 μm

1) 高力ボルト接合部約 400 m²は、下塗り 3回塗り (N04RJ仕様) による。

6.2 実施状況

事前調査

スプレー塗装では、刷毛塗りのように下地にシエアをかけて塗装することがなく被塗面に付着物があると密着不良の原因となりやすいので、旧塗膜上の付着塩分と pH を測定した。また、基盤目試験で旧塗膜の付着性も確認した。結果を表7に示す。

表7 事前調査結果

調査箇所	鋼桁部						高欄部及び鋼脚部						
調査項目													
付着塩分量 (mg/m ²)	10	10	0	10	10	20	10	20	20	20	0	20	0
	10	10	10	10	0	10	10	10	20	20	10	0	0
	20	10	10	10	20	30	20	20	20	0	10	10	0
	範囲		0~30				30	10	0				
	平均		12.2				範囲		0~30				
							平均		11.25				
pH	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	範囲		6~6				6	6	6				
	平均		6				範囲		6~6				
							平均		6				
基盤目試験	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3 (異状なし) ~0 (剥離)	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	範囲		2~3				3	3	3				
	平均		2.9				範囲		3~3				
							平均		3				

- 1) 付着塩分量は 100 mg/m²以下で水洗の必要はなかった。
- 2) pH は 6 で中性である。
- 3) 基盤目試験では付着性は良好であった。

塗装施工

狭隘部と端部は刷毛塗りで先行塗装した。

養生シートの継ぎ目とチェーンの吊り元はテープ養生して塗料の飛散を防止した。

導電性飛散防護メッシュシートを使用し静電力で帯電した塗料ミストを吸着して、作業現場外への飛散を防止した。朝顔部からの飛散防止については検討の余地があった。

上塗り塗装時にオーバースプレーによるダストの付着がありつや引けを生じた箇所があり、刷毛塗りで補修した。

安全対策

塗料は常温で引火点に達していて火花の発生で引火する危険性がある。このため、スプレー塗装作業員は導電衣を着用しアースを取ることで100～200Vという低い帯電状態（人体は1500～3000Vの帯電状態にある）であった。塗装機器、塗料は金網に載せアースを取った。

有機溶剤濃度はスプレー場所から2m付近では200ppmで、5m付近では100ppm以下であった。作業員は有機溶剤マスクを着用し肌が露出しないような服装で塗装した。作業員には有機溶剤特殊健康診断を随時行った。

現場スプレー塗装は特殊作業のためKYT・安全教育に配慮した。

効率化

補助作業員は増加したが、塗装の効率化で全体の作業員は減らすことができた。塗装機については詰まり等の事故による手待ちがあり予備機の用意等が必要である。

結論と課題

- 1) スプレー塗装における事故及び失敗はなく良好な施工ができた。
- 2) 次のような課題があった。

狭隘部と端部の刷毛塗り併用は必要である。

スプレー作業は風向や養生の状態を見て塗装方向を変える。

作業員にはスプレー塗装及び機械の扱いと安全作業について事前に教育する。

7. 塗装基準の作成

名古屋高速道路公社で制定が予定されている、鋼橋の現場塗装に適用する塗装基準の概要を次に示す。

基準の名称 高塗着スプレー塗装基準

適用範囲

構造物および附属物等の現場における高塗着スプレー塗装工事に適用する。

目的

塗装の合理化によるコスト削減と将来の技術革新や社会情勢の変化にも対応するために制定する。

構造物および附属物等の現場塗装は原則としてはけ塗りとされている。

現場塗装にもスプレー塗装を導入することで、塗装を合理化しコスト削減が期待できるとともに、将来の塗料の厚膜化や速乾化にも対応が可能であり、熟練塗装工の減少などの社会情勢の変化にも対応することができる。

現場のスプレー塗装については環境への影響が懸念されるので、高塗着スプレー塗装システムを開発した。高塗着スプレー塗装は現場作業においても支障なく行えることが確認されている。

塗装計画

塗装計画については、鋼桁等の構造、周辺環境、指定された塗装系及び塗装工程等を考慮して、適切な塗装機を選定して塗装計画を立てなければならない。

スプレー塗装は周辺に対して臭気、塗料ミストによる影響のないようにする必要があり、現場環境で適切な塗装を行い、周辺環境を損なわないようにするためには適切な高塗着スプレー塗装機を選定が必要である。

高塗着スプレー塗装に対する要求性能の概要は次のようである。

- ・ 塗装効率：実作業で1日当たり 500 m²の塗装ができる。
- ・ 塗着効率：風速が横風 5m/秒で、80%以上
- ・ 塗膜：1回塗りで、60 μm以上の膜厚が得られること。

要求に適合する高塗着スプレー塗装機の一例を示す。

- ・ 塗料の吐出量は 600ml/sec 以上とする。
- ・ 塗料圧送圧力は 4~7 MPaとする。

- ・ 静電塗装システムである。
- ・ 装置は低騒音形とする。

作業効率を確保するために、塗料の吐出量は 600ml/sec 以上とする。

被塗面からのはね返りと外部への飛散を防ぐために、塗料圧送圧力は 4~7 MPa とする。

外部への飛散防止、導電性ネットによる塗料ミストの捕捉と通気性・照明の確保のために、静電塗装システムとする。

周辺への影響を考慮して、装置は低騒音形とする。

足場及び防護工

足場はスプレー塗装を行うための十分な強度と場所が確保されなければならない。

防護工は塗料ミストが外部に漏れないような材質と形状とする。作業床に用いるプラスチックシートには帯電性シートを用い接地するものとする。

足場構造上耳桁の上部からの飛散が考えられるので注意する必要がある。

素地調整

素地調整面は、塩分、塵埃、油脂類を清掃により除去する。

塩分の付着量は 100 mg/m²以下とする。

旧塗膜の劣化程度に応じて 2 種ケレンまたは 3 種ケレンまたは 4 種ケレンの素地調整を行う。

素地調整後は、十分な清掃を行い塵埃等を除去する。

スプレー塗装では、はけ塗りのように塗装面に強いシエアがかからないので、素地調整後の十分な清掃が必要である。

塗装管理者及び塗装作業者

高塗着スプレー塗装を行う塗装管理者及び塗装作業者はスプレー塗装に十分な経験と技能を有していなければならない。

スプレー塗装を行う作業者は、作業者自身の帯電による火花の発生による引火・爆発の危険を避けるために帯電防止用の作業衣と靴を着用する。

塗装作業の準備

請負者は下記の作業計画を作成し、監督員に提出するものとする。

- (1) 使用する塗装器具の概要
- (2) 使用する塗料
- (3) 配電及び配線計画

塗装方法

均一でかつ周辺への塗料ミスとの飛散を防ぐために、塗装は高塗着スプレー塗装とする。

端部や凹部等は、必要に応じてはけ塗りで先行塗装を行う。

スプレー塗装が困難ではけ塗りのほうが有効な狭あい部、端部、アングル材については、はけ塗りとしてもよい

塗装作業

塗料の混合とシンナーによる希釈は規定に従って行う。

高塗着スプレー塗装では塗装粘度の影響が大きいので、シンナーによる希釈は規定の塗装粘度になるように行う。

塗装作業は塗り残しや膜厚が過剰な部分がないように行う。

塗装作業中は、湿潤膜厚計により膜厚を確認する。

スプレーガンの運行は外部への塗料ミスが飛散しないように行う。

安全管理

作業者は安全眼鏡、マスクを着用する。

作業場は火気厳禁とする。

作業場の溶剤濃度を測定し、作業者の周辺で溶剤濃度が 100ppm 以下であることを確認する。

溶剤濃度が規定値を超える場合は、溶剤吸収マスク、エア・ホースマスク等を着用する。

必要に応じて換気を行う。

塗装管理

作業管理項目は次に示すとおりとする。

- (1) 素地調整程度及び下地の状態
- (2) 塗料の粘度
- (3) 作業場の気象条件（気温、湿度）
- (4) 作業場の環境条件（溶剤濃度）
- (5) 塗膜の仕上がり外観
- (6) 塗膜厚
- (7) 塗料の使用量

塗装前に塗装する面に異常のないことを確認する。

塗装は規定の塗装粘度で行う。

作業場の気象条件、塗膜厚の測定は、塗装作業基準に従って行う。

仕上がり塗膜は、均一で、われ・しわ・むら・すけ。がん肌のないこと。

8. まとめ

悲願とも言うべき現場スプレー塗装が可能になり、今後の現場塗装の大きな改善が期待できるようになった。

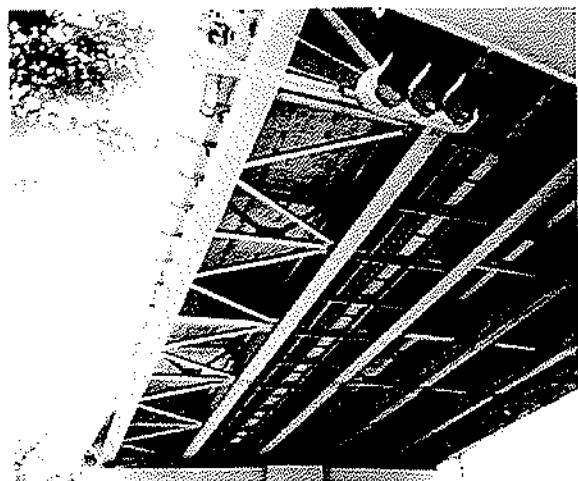
改善の第一は作業効率の向上によるコスト削減効果である。従来の刷毛塗りに比べて厚膜塗装が可能になり、耐久性の向上や工程短縮も期待できる。また、刷毛塗り作業性の悪い超速乾型塗料の塗装にも適用できて、塗装の抜本的な改善の可能性もある。

この開発には、塗料機器メーカー、塗料メーカー、施工者が参加し、それぞれ立場が異なることから意見の相違もあったが、協会組織の元で一体となって開発と評価を行ったことが成功の理由であったと考えられる。また、名古屋道路公社の新技術の採用に対する積極的な姿勢が実用化に到達した最大の要素であったと考えている。

この少飛散スプレー塗装システムの開発は、下記の団体・企業と担当者の協力で行われた。

団体	(社) 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会
会員会社	磯部(株)、大豊塗装工業(株)、(株)佐野塗工店 建中部塗装(株)、明治塗工(株)、三好塗装工業(株) 大同塗装工業(株)、
賛助会員	日本ペイント(株)、トウペ(株)、神東塗料(株)、 大日本塗料(株)、関西ペイント、中国塗料(株)
その他	旭サナック(株)

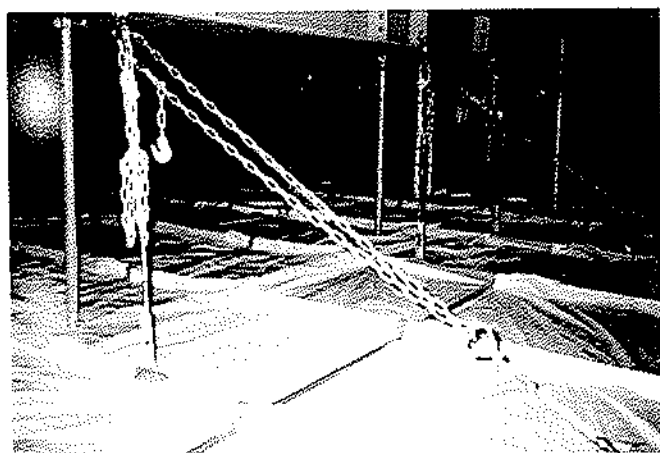
高塗着スプレー塗装実橋塗装状況



スプレー塗装前

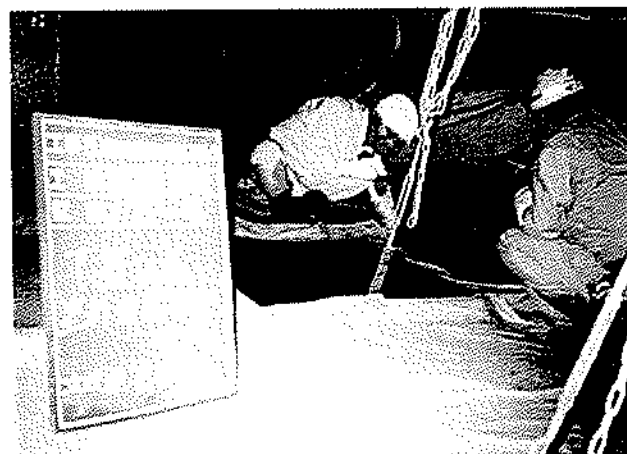


スプレー塗装後



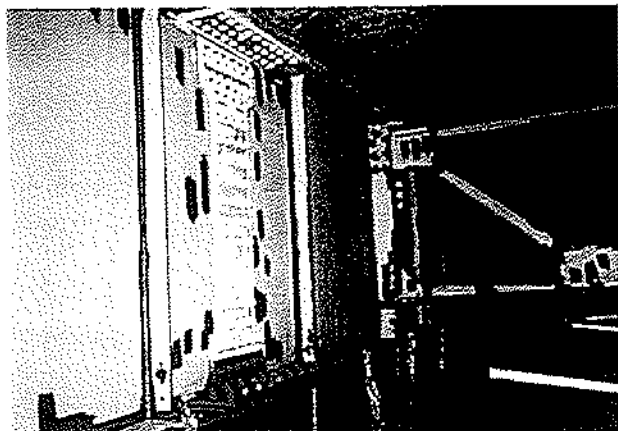
内部の養生状況

シートの継ぎ目とチェーンの吊り元はテープで完全に養生した。



塗料の飛散状況の検査状況

高塗着スプレー塗装実橋塗装状況



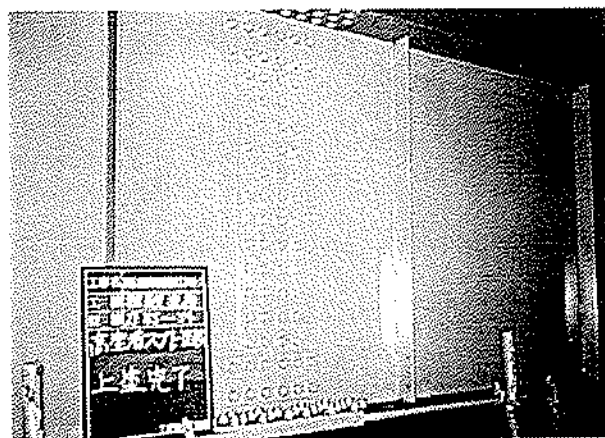
刷毛塗りによる先行塗装



作業員へのアース取り付け



スプレー塗装状況



上塗り完了