

## 報告書（Ⅱ）

塗装・ブラスト作業のロボット化についての提言

塗装・ブラスト分科会

# 目 次

1、まえがき	.....	1
2、塗装・プラスト作業の現状	.....	2
1)アンケート調査結果	.....	2
2)作業要領	.....	5
3、自動化、ロボット化の可能性と問題点	.....	12
1)アンケート調査	.....	12
2)自動機、ロボットの現状	.....	15
3)自動化、ロボット化の問題点	.....	16
(1)橋梁部材の構造	.....	16
(2)塗装仕様	.....	18
(3)設備の機構	.....	19
(4)施工、品質管理	.....	23
(5)環境設備	.....	25
(6)安全衛生管理	.....	26
(7)経済効果試算	.....	31
4、自動化、ロボット化の将来展望	.....	34
1)自動化、ロボット化構想（ケーススタディー）	.....	34
2)構造および仕様変更の提言	.....	39
5、あとがき	.....	41
(巻末資料)	・ 「塗装ロボット用語」	
	・ 「塗装ロボット・システムの概要集」	

## 1、まえがき

国際化、多様化、高齢化、情報化といった社会環境の急激な変化の中、橋梁製作に於いても基盤強化のための変革が求められている。

この様な状況の中に合って、橋梁メーカーは省力化、省人化に依る生産性の向上を図り、製作費の縮減努力を続けている。又、3K職場といわれる職場環境の改善と未熟練工の減少に対処する意図からも、機械化、ロボット化による作業改善を積極的に図っている。特に、罨書、切断、孔明、組立、溶接作業に係わるNC化、ロボット化技術の進歩は目覚ましく、各橋梁メーカーも積極的にこれらの設備を導入し、作業の簡略化とコストダウンに努めている。

一方、製作の最終段階である塗装作業については、対象構造の複雑さや多様な塗装仕様等の要因から、自動化、ロボット化が立ち遅れ、大部分の作業が手作業で行われている。プラスト・塗装は劣悪な作業環境下での作業である。現在でも慢性的な人手不足の問題を抱えており、今後益々質の高い技能者を確保することが困難になるものと予想される。

建設費削減策として工場塗装を多用しようとする情勢の中、鋼橋製作に占める塗装作業の比率は増大し、作業効率の向上が求められていく。プラスト、塗装作業の自動化、ロボット化については、解決しなければならない多くの問題を抱えているものの、実現に向け真剣に検討する時期に来ている。

ロボット研究部会、塗装・プラスト分科会では、「塗装及びプラスト作業のロボット化」をテーマとして研究活動を行っている。

機械化、自動化すら十分に行われていない現状では、当分科会からいきなりロボット化の指針を提起することは困難であり、現状の作業分析から自動化、ロボット化が可能な作業要素を抽出し、その問題点と対応策について検討を重ねてきた。

本報告書は、当分科会活動での検討結果を取りまとめたものであり、報告書の内容は、現状の作業とその問題点を整理する事に主眼をおいているが、ロボット化を進める上での構造、塗装仕様の対する要求項目についても提言を試みた。

## 2、塗装・ブラスト作業の現状

### 1) アンケート調査結果

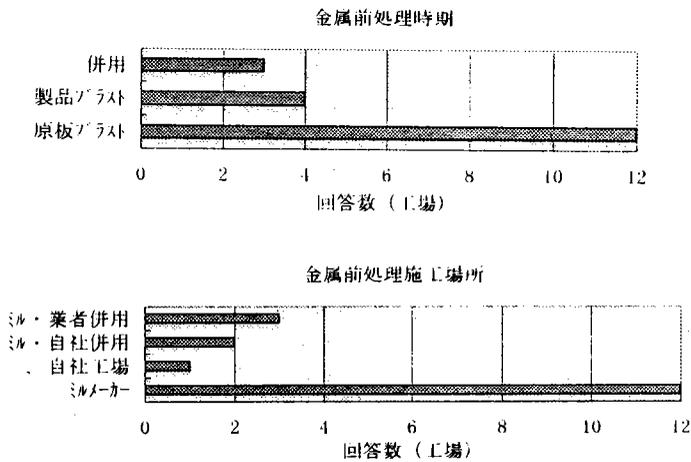
平成5年8月、製造部門を有するロボット研究部会員各社の協力を得て、「ケレン・塗装作業におけるロボット導入調査」と題したアンケート調査を実施した。18者19工場から回答が寄せられ、平成5年10月にその集計結果を取りまとめ報告した。

この章では、現状調査に関する回答の集計結果を、整理して報告する。

#### (1) ブラスト作業

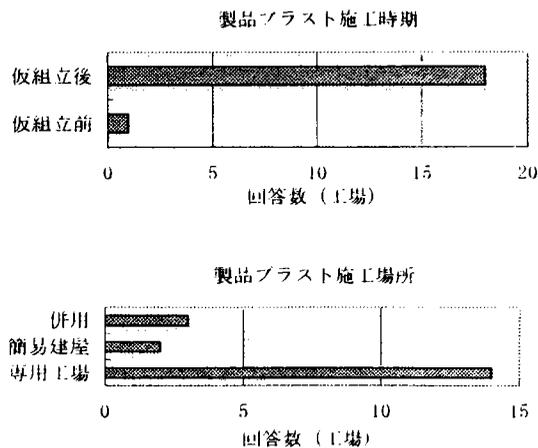
##### a. 金属前処理について

金属前処理は、ミルメーカーでの原板ブラストが大部分を占めているが、加工前のブラストを行わずに製品ブラスト施工をしている工場も見られる。



##### b. 製品ブラストについて

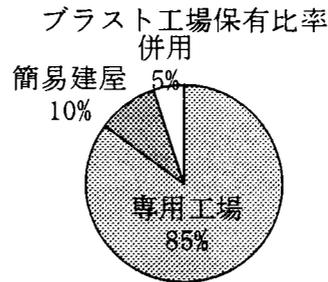
C塗装系に対しては、仮組立後に自社専用工場でグリッド材により製品ブラストを行っている工場が大勢を占めている。



c. プラスト設備について

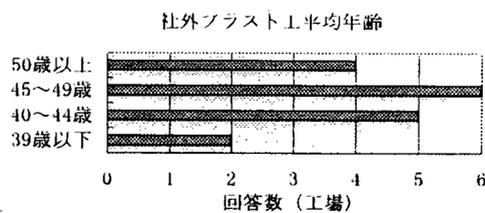
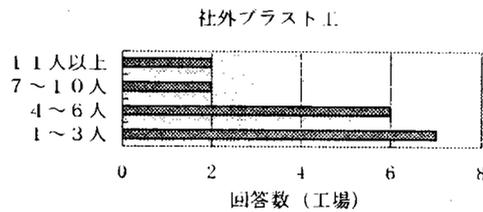
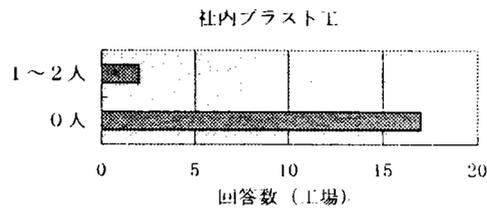
プラストについては、ほとんどの工場で専用建屋を有し、製品の搬出入も専用台車を利用している。

プラスト建屋の平均的規模は、12m(W)\*29m(L)\*8m(H)である。



d. プラスト工について

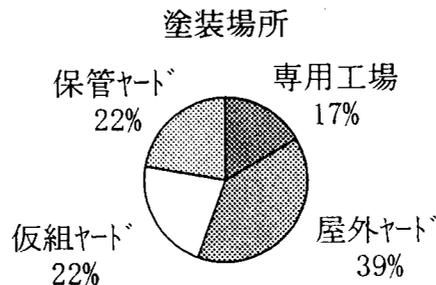
社内プラスト工が従事していると回答した工場は2工場だけであり、他は社外工に依存している。社外プラスト工は、1工場当たり5～6名で、40歳後半が主体である。



(2) 塗装作業

a. 塗装場所について

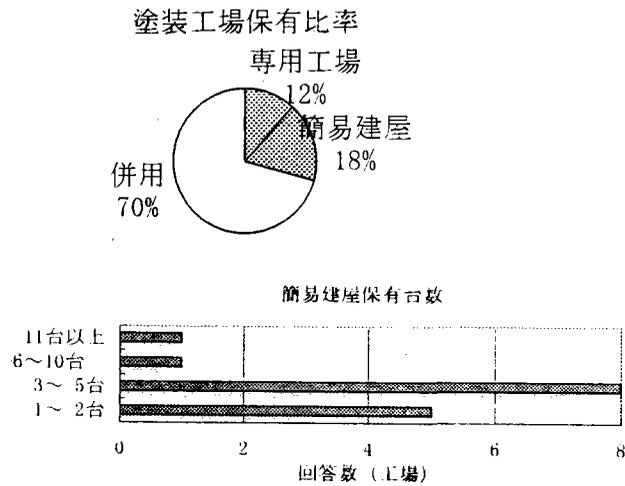
塗装作業を専用工場のみで処理の出来ている工場は1工場だけであり、大多数は屋外ヤードの施工である。



b. 塗装建屋について

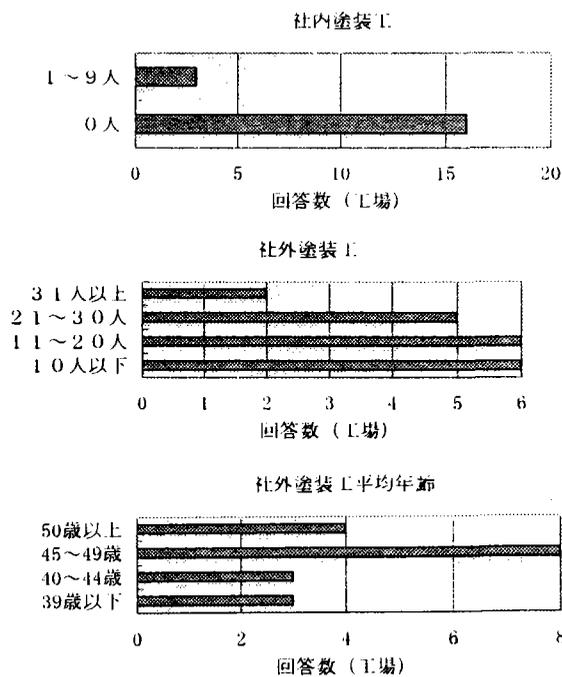
屋外塗装作業に対処するため、各工場とも複数の簡易建屋を有している。

簡易建屋の平均的規模は、16m(W)\*20m(L)\*7m(H)である。



c. 塗装工について

ブラスト工と同様、社外工に依存しており、社外塗装工は、1工場当たり約20名で、40歳後半が主体である。



## 2) 作業要領

### (1) 作業手順図

図 2. 1 に、一般橋梁についてのブラスト・塗装作業の流れを示す。

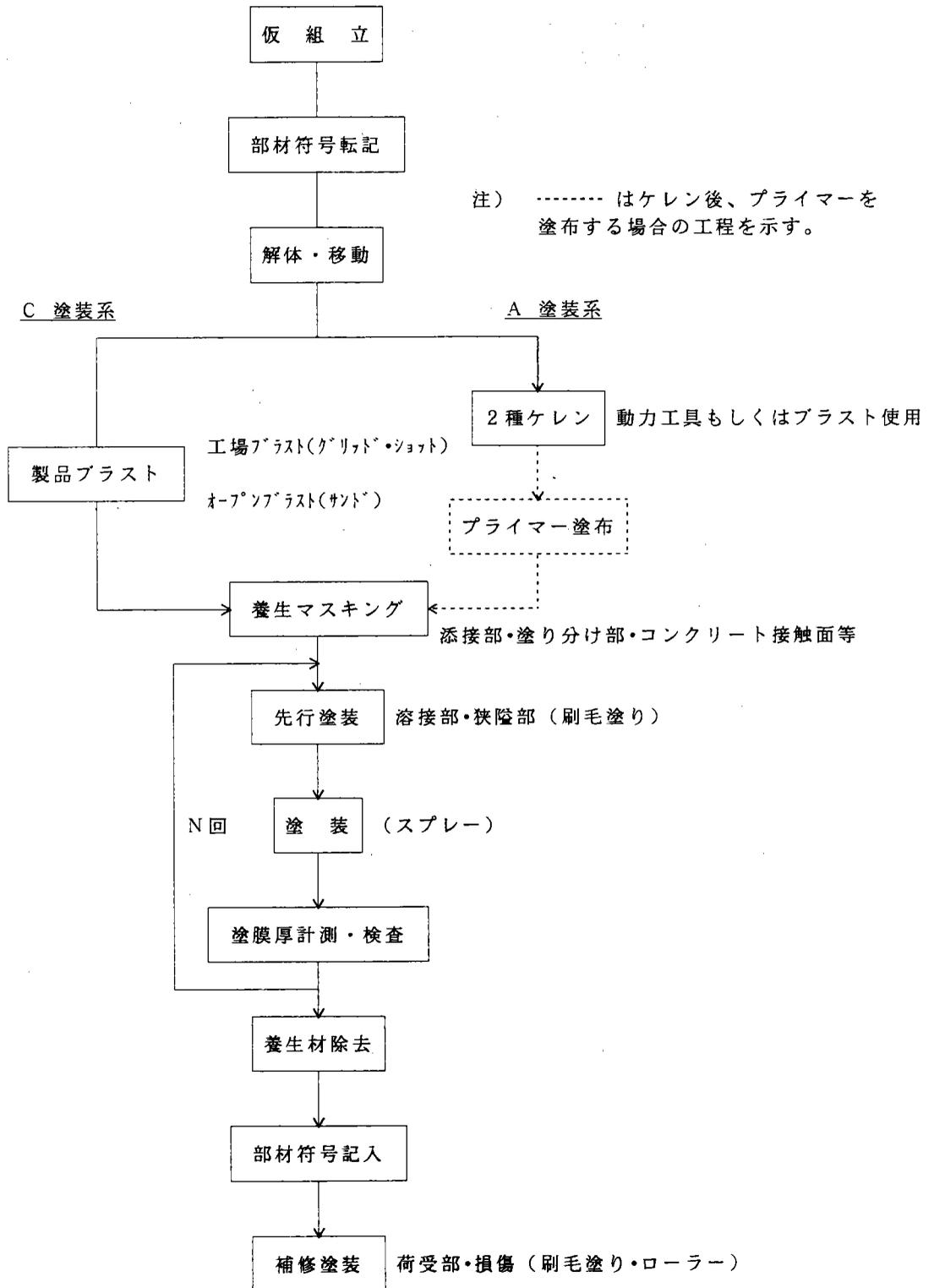


図 2. 1 ブラスト・塗装作業のフローチャート

## (2) 作業内容

### ① 素地調整

橋梁製作においては原板ブラストをミルメーカーで施し、仮組立終了後、製作工場において製品ブラストを行っている場合が大半を占める。自社工場でのブラストの専用工場もしくは、簡易建屋でブラスト作業を行っている。

ブラスト作業は鋼材表面を洗浄し、塗料の付着を良くするために適度に粗にする作業であり、ノズルから高圧で噴射される研掃材（ショット・グリッド・サンド等）を鋼材面に投射する（写真2. 1）。

主桁や横桁、対傾構などの主構造部材は、ブラスト専用工場または簡易建屋内で素地調整を行う場合が多く、添接板などについてはミニショットブラスト機などが使用される。

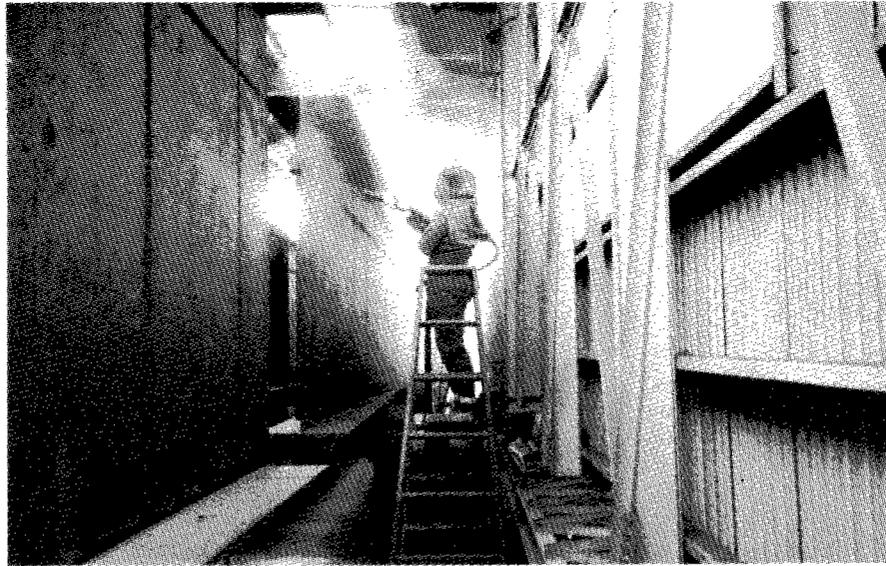


写真2. 1 ブラスト作業

また、手工具や動力工具を用いて行う2種ケレンも素地調整作業の一つである（写真2. 2）。図2. 2にショットブラスト機の構造を、図2. 3にサンドブラスト機の種類、図2. 4に手工具・動力工具の種類を示す。

写真2. 1、2. 2に見られるように、作業内容及び環境は劣悪な状態であり、常に作業者は粉塵や高圧で噴射されるブラスト材にさらされている。特に、ケレン作業は高速で回転するディスクサンダーを使用し、狭いスペース内でノズルやサンダーを操作する作業は、いっそうの危険を伴う。環境衛生上の問題についても考慮する必要がある。密閉状態となるブラスト工場では換気に注意せねばならず、簡易建屋内の作業では周囲への粉塵飛散防止に留意しなければならない。また、研掃材の清掃、回収作業も大半の工場が人力に頼っており、形状が複雑多岐に亘る箱桁内の清掃作業では多大の労力を要する。

現状では、自動ブラスト機を備えている工場はわずかであり、数少ない高齢者のブラスト工に頼っている。このように典型的な3K職場となっている状況では、今後共若手ブラスト工を育てていくことが困難と思われる。安全面・衛生面からも早急な自動化を進めていくことが、将来の橋梁製作の合理化につながるものと思われる。

(問題点)

- ・劣悪な作業条件による作業員の不足、高齢化
- ・粉塵など衛生面からの作業環境問題
- ・危険な高圧、高速回転工具の使用
- ・複雑且つ狭隘箇所での研掃材処理
- ・複数作業員での施工が困難な非効率作業



写真 2. 2 2種ケレン作業

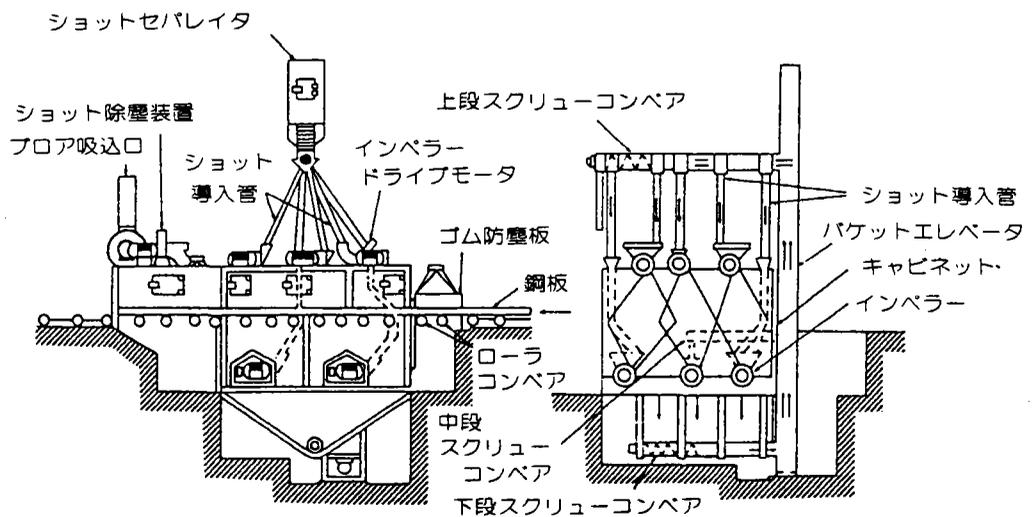


図 2. 2 ショットブラスト機の構造

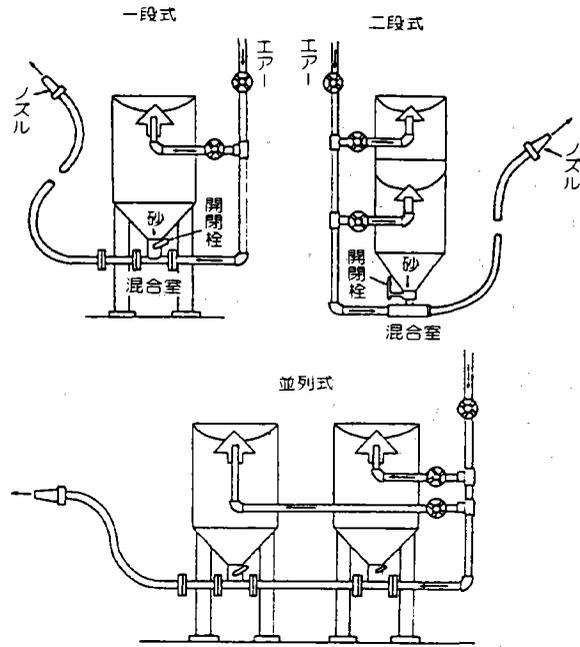
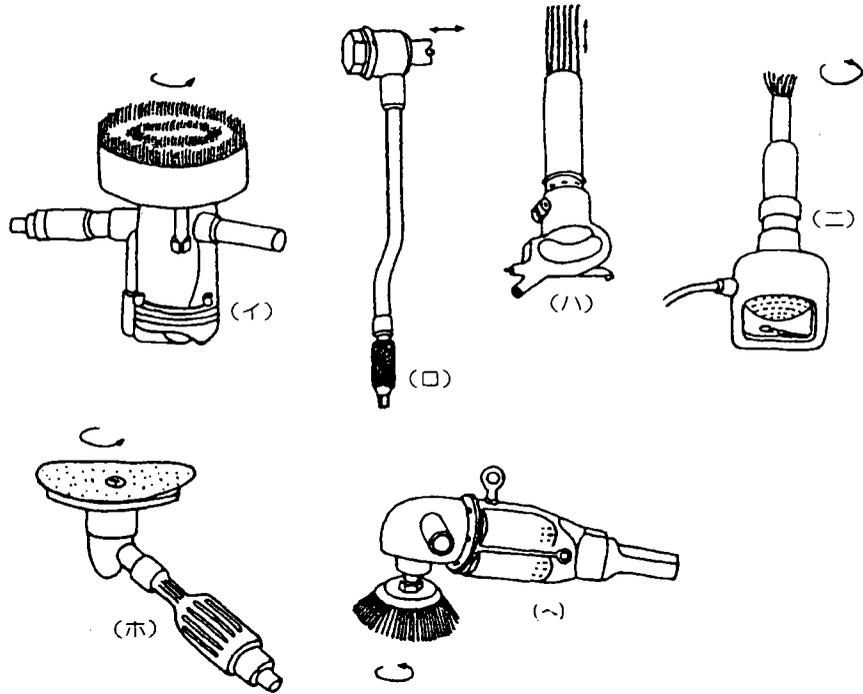


図 2. 3 サンドブラスト機の種類



図番	工具名称	運動方式	原動力	研磨	ミルスケール除去	厚さび
イ	ワイヤーブラシ	回転	空気、電気	○		
ロ	チッピングハンマー	往復	空気			○
ハ	ジェットタガネ	往復	空気		△	○
ニ	隅部用ワイヤーブラシ	回転	空気、電気	○	△	
ホ	ディスクサンダー	回転	空気、電気	○		
ヘ	楕型O.Vワイヤーブラシ	回転	空気、電気	○	△	

図 2. 4 手工具・動力工具の種類

## ② 塗装作業

塗装は鋼製品を腐食・老朽の条件から防護し、同時に色彩・光沢を与えて美化する事を目的としている。塗装方法としては、塗料をローラー・刷毛で塗布するか、エアスプレーまたはエアレススプレーなどで吹き付ける。エアスプレーは圧搾空気によって塗料を霧化し、微粒にして吹き付ける方法で、刷毛塗りに適さない塗料や大量生産や美粧仕上げに広く用いられるが、塗膜厚が薄くなりがちとなる。エアレススプレーはエアレススプレー機により塗料を直接加圧し、ノズルチップから霧状になった塗料を吹き付ける方法で施工能率が高く、均一な厚さに塗布しやすい。また、エポキシ樹脂系塗料やジンクリッチペイントなどの厚膜形塗料の塗装にも適しているが、霧状化した塗料が飛散しやすいので飛散防止の対策を講じなければならず、現場での使用例は少ない。図 2. 5 にエアスプレー方式とエアレススプレー方式の構造を示す。

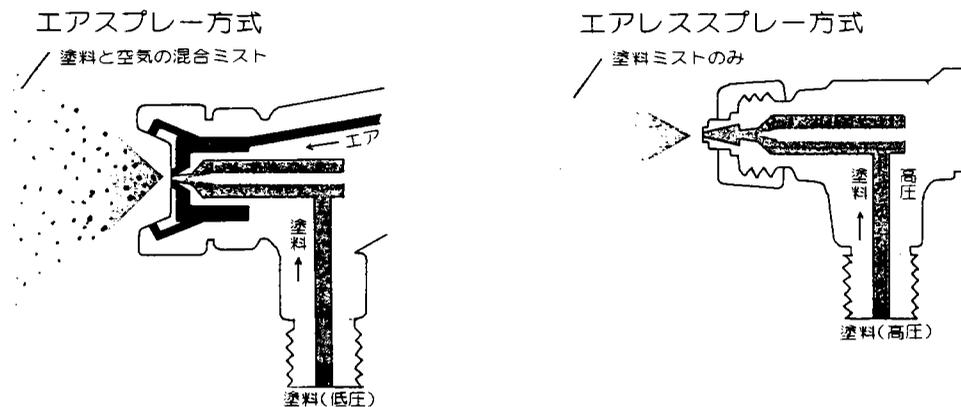


図 2. 5 エアスプレー方式とエアレススプレー方式

塗装作業においても、プラスト作業と同様、様々な問題点がある。現状の鋼橋の塗装仕様は、客先毎に多種多様な塗装系（基本的には同一と考えられる）が存在し、1橋梁内でも細かな塗り分けが生じる場合がある。その際、作業者がマスキングや養生を施し塗り分けしている（添接部や他の仕様との境目など）（写真 2. 3）。

先行作業として溶接ビード上やスカーラップ部などの塗料の付着しにくい部分は、刷毛などを用いて先行塗装を行う（写真 2. 4）。

先行塗装終了後、スプレーガンを用いて塗装を行う（写真 2. 5）。

先行作業は溶接ビード上やスカーラップ部を刷毛塗りで行うため作業効率を低下させる要因の1つとも考えられる。特に箱桁内部での作業は明かりが少ない上、形状が複雑多岐であるために作業が困難となる。

塗装作業中は、大量に噴出される塗料の中にいるために有機溶剤と長時間接することになり、衛生的にも問題がある。作業中はマスクなどの防護対策が必要である。特に、断面の小さな箱桁や鋼製橋脚の中などは換気の問題も考慮しなくてはならない。

以上のことから、プラスト作業と合わせて3Kを代表する職業といえる。作業環境は屋外もしくは簡易建屋で行われている場合が多く、天候に左右されるため製作工程に大きく影響を与える。周囲に対しても比重の軽い塗料などはミストが飛散し、悪影響を与える。最近ではミストの飛散防止のガンなども開発されているが重いため作業性を欠いている。

鋼橋製作の効率を上げるため、プラスト及び塗装の専用工場を有する

ことは今後の重要な課題である。またブラスト工同様塗装工の高齢化は進む一方であり、自動化を望む声も多くなっている。

(問題点)

- ・作業環境の改善と有機溶剤に対する安全性の確保が常に要求される
- ・塗装仕様、塗り分けの多様化に伴う養生作業の複雑化
- ・品質確保のために熟練工が必要
- ・多層の塗装作業とその乾燥時間、また気象条件により施工が左右されるなど、作業ヤードを占有する期間が長い。また、屋外作業によるミストの飛散防止を講じる必要がある
- ・桁高の高い桁においては作業足場を必要とする
- ・狭隘な箱桁内などの施工は困難である。さらに、長時間有機溶剤の中に身を置くため換気が必要である
- ・画一的な品質管理（特に塗膜厚）がしづらい



写真 2. 3 マスキング作業



写真 2. 4 先行刷毛塗り作業

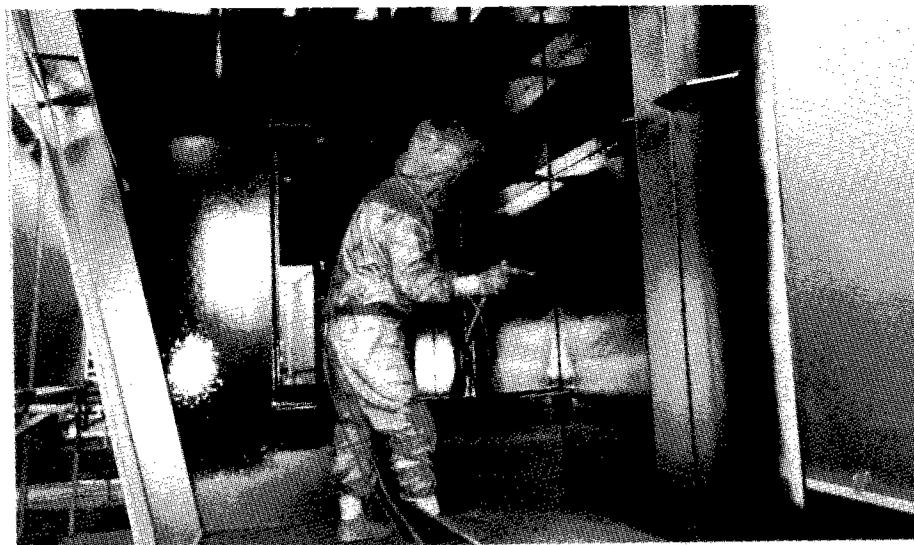


写真 2. 5 塗装作業

### ③ 塗料の管理

塗料は化学製品であるため、指定された以外にみだりに手を加えることは禁物である。また、十分な品質管理、良好な保管のもとでも塗料の有効期間は一般的な塗料で約1年以内である。この有効期間を越えた場合は、塗料品質の劣化塗装作業性の低下、乾燥不良、たれ、色分かれなどの欠陥を生ずることがあるので注意しなければならない。

塗料の混合、攪拌や取扱いは換気の良い場所で行い、塗料容器及び使用中の容器は常にふたをするように注意する。また、塗料の保管は承認を受けた危険物倉庫に貯蔵し、塗装時ならびに塗料取扱い時は換気を十分に行い、火気厳禁の標示をしなくてはならない。

### 3、自動化、ロボット化の可能性と問題点

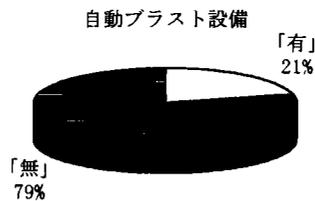
#### 1) アンケート調査結果

前述のアンケート調査結果の内、この章では、ロボット化の阻害要因、ロボット導入計画に関する回答の集計結果を、整理して報告する。

##### (1) 自動設備の有無について

###### a, 自動ブラスト設備

「有」と回答した工場は4工場であった。この内3工場は、型鋼や添接板などの小型部材に専用機を適用しているが、1工場ではインペラユニットを組み合わせた自動走行機で鉋桁、箱桁の外表面ブラスト作業を行っている。



###### b, 自動塗装設備

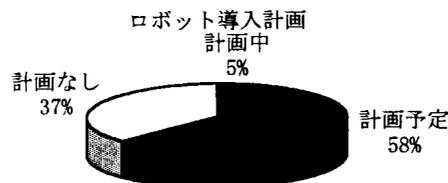
全工場とも「無」と回答している。

##### (2) ロボット導入計画について

###### a, ロボット導入計画

計画中と回答のあった工場は、桁外面の自動ブラスト施工を既に実施している。他の工場でも多くは計画の予定と回答している。

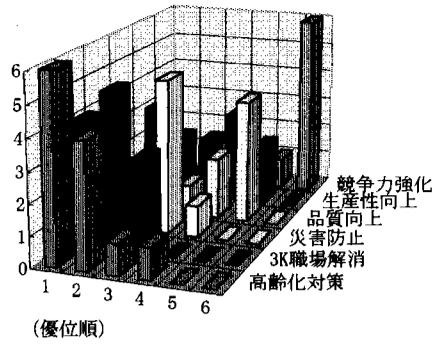
計画なしと回答した工場は塗装の専用工場を有しないところであり、ロボット導入には、専用工場の所有が前提条件と考えられる。



###### b, ロボット導入の目的

労働力不足、作業環境の改善、生産性の向上、労働災害防止の対策として、ロボットの導入を考えている傾向が強い。品質の向上や競争力の強化が低位にあるのは、導入によって必然的に得られる効果と捉えているものと考えられる。

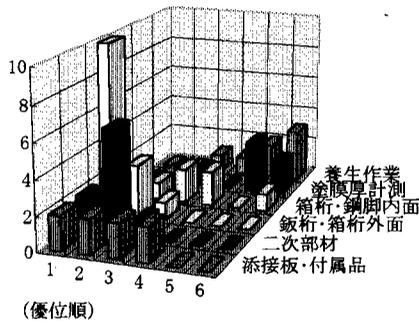
ロボットの導入目的



c, ロボットの適用目標

ロボットの適用範囲は桁の外面塗装施工までを第1優先、と回答した工場がほとんどであった。次いで二次部材、添接板・付属品の塗装となっている。これに対し、内面塗装、塗膜厚計測、養生作業についての回答はいずれも低位であった。全作業をロボット化したい気持ちであろうと思われるが、現状の技術レベルでは適用が困難であると判断しているものと思われる。

ロボット化の適用範囲

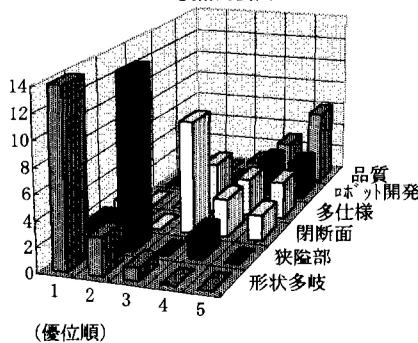


(3) ロボット化阻害要因について

a, 技術的要因

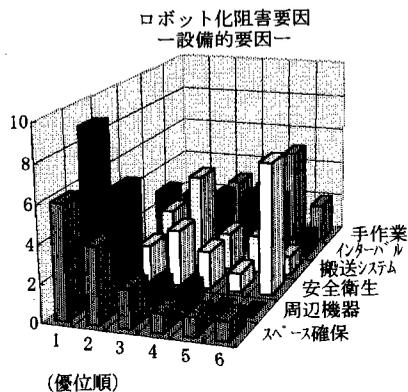
技術的問題として、橋梁構造に起因する形状の複雑さ、狭隘部、閉断面内部への適用と、多種の塗装仕様に対応が困難であるとする回答が上位を占めている。

ロボット化阻害要因  
—技術的要因—



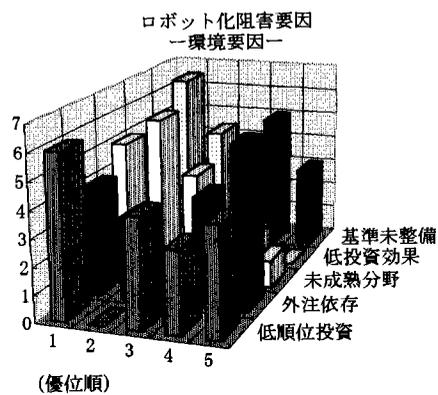
b, 設備的要因

塗装ロボットの導入に当たっては、広範な設置定盤を必要とすることや、部材搬出入や環境対策設備などの大規模な周辺機器を必要とするなど、大掛かりな設備導入計画を伴うことに懸念を示している。



c, 環境要因

現状の技術ではロボット化の実現性に疑問を感じ、導入メリットも期待できないと考えている。又、他の生産設備の導入が優先され、外注依存のプラスト・塗装作業のロボット導入には消極的な姿勢が感じられる。



## 2) 自動機・ロボットの現状

橋梁の製作は多品種少量生産で典型的な労働集約型産業の一つである。大量生産によるスケールメリットは、構造の標準化・簡素化が図られたとしてもごく限られた形でしか実現できない状況にある。その中でも塗装工程は、

- ・ 温度、湿度等の天候に左右される作業条件
- ・ 多様な塗装仕様と複雑な塗り分け
- ・ 対象とする構造物の複雑さと多様な形状
- ・ マスキング、台座設置等の段取り作業の煩雑さ
- ・ 狭隘部、台座接触面等のタッチアップ処理の煩雑さ

等の理由から最も自動化・ロボット化が遅れ、大部分の作業が人手に頼っている状況にある。また、人手不足を反映して社外工に依存し、高齢化が進んでいる。ブラスト作業についても同じ状況にある。このへんの事情は、

- ・ 投資に対するコストの問題
- ・ 専用ラインを必要とする場所の問題
- ・ 装置の稼働率と仕事量の問題

等の要因とも関連して、「現状のロボット技術に対する信頼性」と「ロボット化に向けた実現性への疑問」という形で、第1項のアンケート調査にも表れている。

このような状況を踏まえ、自動化・ロボット化を考えていく上で現状の塗装・ブラストロボットがどのような機種または性能を持っているか、現状把握を目的とする調査を行うこととした。

調査結果は、装置毎にその特徴と主要性能などを整理し、「塗装ロボット・システムの概要表」として取りまとめた。

また、調査項目に対応した用語の説明を「塗装ロボット用語」として収録した。

「塗装ロボット用語」と「塗装ロボット・システムの概要表」を巻末に添付する。

### 3) 自動化・ロボット化の問題点

アンケート調査結果からも明らかなように、塗装・ブラスト作業の自動化・ロボット化への技術的阻害要因は、大きく分けて

- ・橋梁を構成する各部材が、構造形式等の設計条件により多種多様、一品一様であること。
- ・塗装仕様、塗装区分が多岐にわたり管理上複雑であること。
- ・設備機構として、ハード・ソフト両面にわたる技術開発が必要であること。
- ・環境安全管理、施工管理、経済効果等に整合性を持たせる必要があること。

の4点が挙げられる。本項においては、これらの問題点について具体的な分析を加えることとする。

#### (1) 橋梁部材の構造

塗装・ブラスト作業で自動化としてすでに実施されているものは、形状が単純かつ定型的で、ハンドリングが容易な、添接板・横構部材等に限られている。しかも、塗膜厚管理等を必要としないブラスト作業が中心である。つまり、単純なワークで相応の品質が得られるものである。

ここから更に発展して橋梁部材の塗装・ブラスト作業の自動化・ロボット化を進めて行くためには、次のような構造的な問題点が考えられる。

##### ① 多様な構造と空間への対応……ティーンク操作、ロボットワークの単純化

橋梁の構造形式は多岐にわたっている。RC床版箱桁構造を例に考えても、その部材は主桁、横桁、縦桁、ブラケット等多品目から構成されており、同一物件においても同種の部材が共通することは少なく、一品一様になることが多い。さらに、

- ・箱桁外面には「横桁取合いの仕口」、「付属物取合いピース」、「足場用吊り金具」等の突起物があり、
- ・桁内面には「ダイヤフラム」、「横リブ」、「補剛材」等があり、

装置化を図っていく上でその構造と空間は煩雑を極め、形状認識またはロボット動作の制御面で大きな技術的ネックとなっている。

したがって、内外面の自動化・ロボット化を目指すには多関節の溶接ロボットをイメージしたものとなるが、その実用化に向けては部材の簡素化、共通化が必要不可欠の条件となる。

##### ② 橋梁部材寸法への対処

特に主桁は、シームのない大型になるとその大きさは3m(幅)\*3m(高さ)\*15m(長さ)程度になる。ロボットの作業範囲が非常に大きくなり、同時に部材重量も増大してハンドリングの難しさが加わるなど、装置化を図る上で大きな阻害要因となる。

##### ③ 狭隘部への対応

構造上、「ガンが入らない部分」と「塗膜厚が付きにくいフリーエッジ部分」がある。従来、先行塗装を行って対応していた箇所の処理が問題となり、

- ・スカーラップ構造の改善および削減

- ・材片数の削減、材片間隔の確保

等を図る構造変更が必要となる。この対応は、自動化・ロボット化を進めていく上で、構造的に処理すべき最も重要な課題とも言える。

## (2) 塗装仕様

橋梁の塗装仕様は、橋梁の架橋位置の腐食環境の厳しさと塗装系の防食性能の強さの関係が基本になっている。しかしながらその仕様は、一元化されておらず近年の景観設計も反映して益々複雑化しているように思える。また、長期にわたって美観を維持する必要があるため、塗装材料の開発は、日進月歩であるが、その施工・品質管理は非常に難しく、熟練塗装工が希少価値になる中で安定した品質を確保できる自動機・ロボットの実現が待たれるところである。

ここでは、現状の塗装仕様が自動化・ロボット化を阻害している要因を探ってみた。

① 塗装工程において、長期の防錆を保つ上で最も重要だと思われる作業に素地調整がある。一連の塗装作業工程の中でもっとも作業環境は厳しいものがあり、早期の自動化・ロボット化が望まれる。しかしながら平坦な面のみならず、箱桁外面では仕口などの突起物をいかに処理するか、又、通常電動工具等で処理することの多い箱桁内面においては、その構造から自動化・ロボット化は容易ではない。

② 同一部材（例えば、RC床版の箱桁）においても、摩擦接合の添接部、桁外面・内面、床版の接触面・埋め殺し部など塗装部位によりその使用が異なる。よって、現状の塗装仕様では、自動化・ロボット化が実現してもマスキング作業が不可欠である。

③ 現状の塗装仕様においては、数回にわたる塗り重ねが必要であり、その都度塗装材料や色調が異なり、同時に塗布量や目標管理膜厚も変わる。この現状のまま自動化・ロボット化を導入するには、塗装材料の供給方法や交換方法、施工条件の設定など設備側の負担が余りにも大きい。また、通常使用されている塗装材料が多液形塗料（主剤・硬化剤・金属粉等の調合）で、更に希釈剤も添加する必要があるため、その調合管理についても自動化・ロボット化の障害となる。

④ 塗料を塗り重ねるために下層塗膜が乾燥（硬化）状態にあることが必要である。そのために塗料毎に定められたインターバルをとらなくてはならない。よって、自動化・ロボット化に際しては、その塗膜乾燥期間を極力短縮し、作業ライン上の部材の回転率を上げる方策を検討しなければならない。また、塗装回数削減も重要な問題である。

### (3) 設備の機構

ブラスト・塗装ロボットの機構について考える時、類似の作業ロボットとして溶接ロボットが比較の対象となる。ワークの大きさや、構造、作業姿勢が同じである事から動作機構については溶接ロボットと同じ思想が適用できるが、ブラスト・塗装ロボットは

①線管理ではなく、面管理となる

②ロボットと部材は接触しない

などの違いから、制御機構では異なる思想が必要とされる。

また、ブラストと塗装用のロボットについては作業の特性から次のような機構上の違いが認められる。

ブラスト用ロボット：

- ・ノズル移動速度が遅い
- ・ノズル反力が大きい
- ・狙い位置要求精度が低い
- ・投射角度保持要求精度が高い
- ・粉塵が多い

塗装用ロボット：

- ・エアレスガンの移動速度が速い
- ・エアレスガンの反力が小さい
- ・狙い位置要求精度が高い
- ・塗布角度・ガン距離要求精度高い
- ・塗料の種類が多い  
(チップ・粘度管理等条件が多い)
- ・ミストが多く周辺が汚れる

本項では、ブラスト作業（エアーブラスト方式・・・表3. 1、インペラーブラスト方式・・・表3. 2）、塗装作業（エアレススプレー方式・・・表3. 3）の自動機・ロボットの各機構について、それぞれの長所、短所・問題点及びそれらの対策について比較記述する。

# エアブラスト方式

機構	現状	長所	短所・問題点	対策
設備 (マニピュレーター)	6軸	研掃効率が 高い (ムダ打ちが少ない)	ノズル・ノズル反力が大きいため ロボット本体が大きくなる 狭隘部への潜り込み 防塵・防爆・耐摩耗性対策	
移動機構	レール軌道上 (X, Y軸)	位置精度が高い 無人化		
	無軌道 (高所作業車+マスタースレーブ)	設備費安い	広範囲の作業エリアが必要 位置精度が低い 見えない部分の品質確保	無人化・データ化 人に頼らない施工
ティーチング方法 (教示)	ティーチングプレイバック方式	ブロックデータ不要	人間による教示に時間が掛かる 投射距離の教示方法	構造のパターン化によるデータ流用 実物と図面寸法との製作誤差の 無い方法開発(例:アークセンサー) シミュレーションとの併用
	オフラインティーチング方式	現場での教示無し 干渉チェック、施工時間等の 管理がコンピュータで出来る	データ量が多い(3次元) システム構築に時間がかかる 現場での対応が難しい	
干渉回避機構	センサー 超音波・赤外線・磁気・接触式	ブロック形状データ不要	ブロック形状の認識精度が不十分	ブロックデータとの併用
投射制御 投射流量 投射距離 投射角度			空打ち・研掃不足 研掃幅の安定 研掃不足	距離認識センサー 45～90°
研掃材回収 清掃 BOX内 床面	バキューム+エアフロー スィーパー+グレーチング	=人間 =人間	作業性、環境が悪い	磁石によるグリット回収 全床面グレーチング化により削減

表 3. 1 エアブラスト方式による設備機構の問題点

## インペラーブラスト方式

機構	現状	長所	短所・問題点	対策
設備 部材搬送機構	a. 小型ブラストブース＋ 前後ローラーコンベアー(小物)	品質の安定 設備小型	ムダ打ち(空打ち)が多い インペラー影部の研掃不可 コンベアーに乗らない形状不可	(SPL、H鋼等平板、型鋼が多い)
	b. 天井クレーン＋ 大型ブラストブース(BOX)	作業能率良い 足場不要	設備大型・費用高い インペラー影部の研掃不可	BOX内面施工への適用 (実績極少)
ティーチング方法	ティーチング無し	部材データ不要	_____	_____
投射制御 回転速度 投射流量 投射距離 投射角度	モーターの負荷電流で確認	_____	空打ち・研掃不足 研掃幅の安定 前後板厚面の研掃不足	_____
研掃材回収	スクリーコンベアーによる 自動回収	粉塵がない 省人化(集塵機の管理のみ)	_____	_____

表 3. 2 インペラーブラスト方式による設備機構の問題点

# エアレススプレー方式

機構	現状	長所	短所・問題点	対策
設備 マニピュレーター	6軸据え置き式 (自動車産業等実績)	狭隘部への潜り込み可能	防塵・防爆対策	ネタホースのインライン化 BOX内面塗装
レシプロ	3軸(上下左右回転) (鉄骨、建設産業等実績)		狭隘部への潜り込み不可能	
移動機構	レール軌道上(X,Y軸)	精度が高い 無人化	レール・ピニオンへのミスト付着	
	無軌道 (高所作業車 +マスタースレーブ)	設備費安い	広範囲の作業エリアが必要 精度が低い 見えない部分の品質確保	品質の確保
ティーチング方法 (教示)	ティーチングプレイバック方式	ブロックデータ不要	人間による教示に時間が掛かる	
	オフラインティーチング方式	現場での教示無し	データ量が多い(3次元)	シミュレーションとの併用
干渉回避機構	センサー	ブロック形状データ不要	認識精度が不十分	超音波・赤外線・磁気・接触式 ブロックデータとの併用
塗布制御	エア圧力 塗布流量 塗布距離 塗布角度 チップ詰まり 膜厚制御	1次圧管理 =人間  プラスサイドでの管理=人間	圧損圧力低下による霧化状態不良 空打ち・しょんべん 塗布幅の不安定 膜圧の不均一、ばらつき チップ詰まりによる霧化状態不良 塗装パターンの確立(特に狭隘部)	2次圧管理(ガン先端圧管理)  距離認識センサー  詰まり検出・自動洗浄機能付加 パス数を増やしての管理

表3.3 エアレススプレー方式による設備機構の問題点

#### (4) 施工、品質管理

##### ① マスキング作業

塗料・塗色の塗り分け部や、添接部・コンクリート接触面等の無塗装部の養生は、手作業によるマスキングを施している。構造を含めた塗装仕様の標準化（共通化）が図られない限り、マスキング作業の自動化は困難を極めると思われる。

##### ② ブラスト作業での表面あらさの品質管理

ブラスト処理後の表面あらさは、塗装の品質に大きく影響するため、仕様書等にも厳しく規定されている。現状は、表面あらさ見本との比較による目視での確認や表面あらさ測定器により管理がされている。

ブラスト用ロボットで表面あらさの管理を行う方法には、次の方法が考えられる。

###### a、現状の表面あらさ測定器の使用

表面あらさ測定器をロボットに取り付け、任意の箇所を測定する。規定値以下の箇所があれば、再度、自動的にブラストを行わせるようにする。

しかし、表面あらさ測定器は部材への正確な接触が必要であり、ロボットによる自動測定では部材の形状認識精度との関係から、かなり困難な問題の解決が必要になる。

###### b、非接触型の測定器の使用

CCDカメラ、レーザ、赤外線を用いた部材へ非接触型の表面あらさ測定器を開発し、ロボットに取り付ける。ただし、このような非接触型の表面あらさ測定器の実用例は現在の所見当たらない。

###### c、ロボット稼働出力値からの推定

稼働したブラスト用ロボットの投射出力や機械の移動速度などから仕上がり程度を推定管理する。

##### ③ 塗装作業の塗膜厚管理

塗膜厚管理の対象としては、塗装直後の状況の塗膜厚であるウェット膜厚と、塗面を強く押してみても塗面に指先のへこみが見つからないような硬化乾燥状態の塗膜厚であるドライ膜厚の2つがある。ウェット膜厚は、各塗料に定められたwet-dryの比を参考に、ドライ膜厚を推定するものである。ドライ膜厚を規定値通りに管理するためには、ウェット膜厚の管理が重要となる。

一般に橋梁部材での塗膜厚測定では、ウェット膜厚はウェットゲージ、ドライ膜厚は2点調整式の電磁式膜厚計が用いられている。

塗装ロボットにより行う塗装作業においても、ウェット膜厚で塗膜厚の管理を行うのが合理的と思われる。しかしながら、ウェットゲージは部材への接触、かつ目視による測定値の確認が必要なため、ロボットにウェットゲージによる膜厚測定の機能を付加するには、困難な技術的問題を解決しなければならない。

塗装ロボット作業時のウェット膜厚管理法としては、次の方法が考えられる。

###### a、非接触型のウェット膜厚測定器による塗膜厚管理

膜厚を数値的に判断できる非接触型のウェット膜厚測定器をロボットに取り付け、部材の任意の箇所のウェット膜厚を数値的に測定

する。現状では実用例を見いだしていないものの、技術的には赤外線やレーザー等を応用した計測法が考えられる。

b、塗料使用量による塗膜厚管理

作業中に膜厚測定をすることなく、塗装ロボットが部材全体に均一な塗膜厚の塗装ができるとすれば、次式から得られる塗料の理論塗膜厚により、塗料使用量による塗膜厚管理が可能である。

塗料の理論塗膜厚は次式により算出できる。

$$t = \frac{100 \times m}{a} \times \left( \frac{1}{d t} - \frac{w s}{100 \times d s} \right)$$

- t : 理論塗膜厚
- m : 使用量 (kg)
- a : 塗装面積 (m<sup>2</sup>)
- d t : 塗料の比重
- d s : 揮発分の比重
- w s : 揮発分重量 (%)

ただし、実際には塗装時に飛散する塗料のロス、ケーブル等に残る塗料のロス、素地のあらさ(凹凸)によるロス等を考慮する必要がある。

④ 補修施工

ブラスト、塗装のロボット化を行った場合、下フランジ等の下面、受け台部の施工不可能部、形状の複雑な箇所、スカーラップ・横桁のブラケット部等の狭隘部、付属物のピースなどは、品質上完全に施工することが非常に困難である。この部位については、先行ハケ塗りやロボット作業後の補修施工がある程度は避けられないものと思われる。

ただし、受け台部の施工については、

- a、受け部の切り替えが可能な受け台を使用する(図3. 1)
- b、クレーンで吊り下げたままブラストまたは塗装を行う
- c、添接部などの塗装の不要な箇所で受ける

などの対策で比較的容易に解決できるものと考えられる。

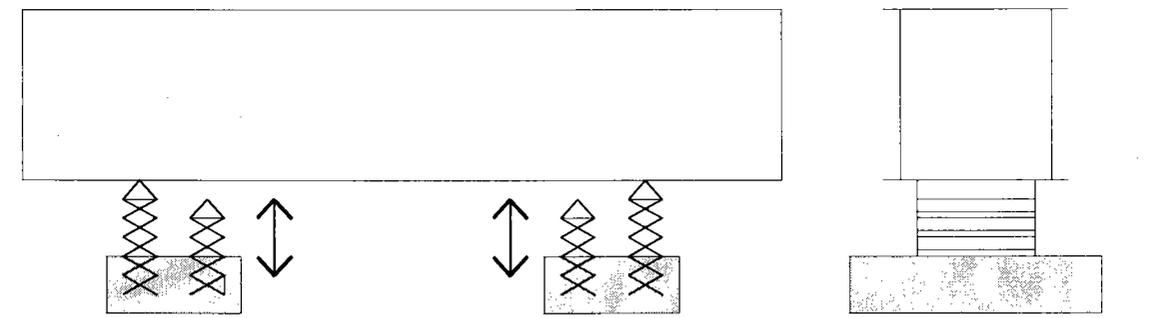


図 3. 1 受け台の切り替え装置案

## (5) 環境設備

### ① 空調設備

良質な塗装品質を得るためには、一般に温度・湿度・空気の流通の3要素の条件が必要である。

- ・ 温度 20℃
- ・ 湿度 75%以下
- ・ 空気の流通が十分であること

自然環境下ではこのような状態を一定には保てないため、ロボットの稼働率向上、品質向上、工程短縮のためには、温度・湿度・空気の流通を人工的に制御する乾燥（空調）室にて部材の養生を行う必要がある。

### ② 部材の移動・搬出入設備

ロボットの稼働率を向上させるために、ロボットの手待ち時間を極力減らす必要がある。ロボットが手待ち状態となる主な原因として以下の項目があげられる。

- a、ロボットの対象部材の交換作業時間
- b、塗料の追加、塗装系の交換
- c、塗装ロボットの清掃
- d、部材の教示、データ入力等

特にロボット塗装対象部材の交換・移動作業は、稼働率に大きな影響を及ぼす。

一般に、ロボットの設置方法では次の2つの方式に大別できる。

- ・ ロボット定置型：据えつけたロボットのところへ部材を移動する
- ・ ロボット移動型：仮置きした部材のところへロボットが移動する

ロボット定置型は高い作業精度が得られる、ロボット本体を簡素化できる、維持管理がし易いなどの利点を有するが、ロボットの稼働率を上げるためには頻繁に部材を交換・移動する必要がある。交換・移動の運搬設備としては、クレーンや台車などの設備を使用するが、クレーン運搬では自動脱着装置付き吊り治具などの利用を、台車運搬では定盤配置から軌道式（レール、路面誘導など）あるいは無軌道式（タイヤ、キャタピラなど）のより効率的な選択が必要となる。

一方、ロボット移動型では頻繁な部材移動を必要としないものの、作業範囲が広くなることにより防爆や空調設備が大規模となる。設備投資の面やロボットの稼働率向上の面からも、防爆・空調設備の完備した小規模の作業領域を数カ所設置し、その間をロボットが効率よく移動できる定盤配置が必要である。

## (6) 安全衛生管理

### ① 環境・安全規制

ブラスト、塗装作業においては、環境保全・安全衛生上注意を必要とする事項として次のことがあげられる。\*1)

- a、スプレー塗装によるスプレーダストの飛散
- b、高所作業による塗料の飛散
- c、塗料中の有機溶剤・シンナーによる大気汚染および悪臭
- d、ブラスト作業によるミルスケール・さび・砂などの粉塵、騒音
- e、有機溶剤による引火・爆発
- f、有機溶剤による中毒
- g、塗膜乾燥過程、およびさびによる酸素欠乏
- h、ミストや排出物の毒性
- i、有機溶剤の漏洩と劇毒物の盗難防止

これらの注意事項はブラスト・塗装作業のロボット化に対しても全てあてはまることであるが、塗装作業のロボット化においては、

- a. 屋内作業による、有機溶剤、毒性ガスの屋内への充満
- b. 屋内作業による、塗膜乾燥過程、およびさびによる酸素の欠乏
- c. 無人運転による、有機溶剤、毒性ガスの屋内への充満発見の遅れ
- d. 有機溶剤へのロボット装置からの引火・爆発
- e. スプレーダスト付着の対策

などの問題がさらに重要となってくる。

これらの問題は、労働安全衛生法、電気事業法、大気汚染規制等の法令にも規制されており、法令に従った作業施設の設置が必要となる。

### ② 塗装ロボットに関する防爆規制

可燃性ガス、可燃性液体などを取り扱う工場・事業所では、電気設備のもつ点火源によって爆発性雰囲気着火して爆発事故を生ずるのを防止するため、様々な安全対策が講じられなければならない。塗料に用いられる有機溶剤は、引火性の強い可燃性物質で、蒸気密度は空気より大きく、引火・爆発の危険性の高いものが多く使われる。この様な作業雰囲気の中で使用される塗装ロボットには、爆発防止（防爆）について以下の法令等により規制されている。

- ・電気機械器具防爆構造規格（労働告示）
- ・安全衛生法の第44条（検定）及び第42条（譲渡等の制限）
- ・労働安全衛生規則（労働令）

これらの法令では、防爆構造の種類や危険場所種別の定義、危険場所種別に対応する防爆構造の選定などについて、詳細な記述がされている。

本書ではその概要のみを紹介する。\*2)

#### a. 用語説明

- ・容器：電気機器において、その充電部分を取り囲む外被
- ・爆発性雰囲気：通常の大気条件におけるガス、蒸気又はミストと空気との混合物であって、それに点火したとき、燃焼が未燃焼部分全体に伝播するような状態にあるもの

#### b. 防爆構造

電気設備に起因するガス爆発を防止するためには、電気設備が爆発

性雰囲気の点火源として作用しないような技術的な手法および措置（防爆対策、防爆構造）を講じる必要がある。防爆構造の種類には構造規格及び技術的基準により表3.4のように分類されている。

c. 危険場所の分類

危険場所は、防爆電気機器及び配線方法の適正な選定を行うため、危険雰囲気の存在する時間と頻度に応じて、表3.5のごとく0種場所、1種場所及2種場所の3種類に分類される。

d. 電気機器の防爆構造の選定の原則

防爆電気機器は、危険場所での使用に適するように考案され、設計されているが、電気機器の種類、対象とするガス又は蒸気の種類、使用条件などによって防爆構造の特質に差異があるので、このようなことを考慮して、危険場所の種別（0種、1種又は2種）に適切に対応するものを選定する必要がある。各種別の危険場所に対する電気機器の防爆構造の選定の原則を表3.6に示す。

これらの法令に従って、塗装ロボット関連設備の防爆構造を検討すると、換気設備が比較的良く整備されている作業環境に塗装ロボットが設置できるものと仮定した場合、危険場所種別が1種又は2種に分類され、塗装ロボット及び周辺機器の防爆構造は表3.7に示す構造が必要となる。

勿論、防爆構造が必要となるのは危険場所内（防爆領域）に設置する設備が対象であり、安全性、経済性の面からも

- ・換気を十分に行い、危険場所分類の種別緩和を図る
- ・危険場所を壁やシャッターなど隔離して、防爆領域を狭める
- ・防爆領域には電気設備を極力設置しない
- ・防爆領域に設置する設備は、点火源となる構造としない

などの工夫が必要である。

図3.2に塗装ロボット設置時の防爆領域の例を示す。

（参考文献）

\*1) ”最新 やさしい塗装のはなし 塗る”

関西鋼構造物塗装研究会（平成元年）

\*2) ”ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド

労働省産業安全研究所（ガス防爆1994）

表 3. 4 防爆構造の分類

耐圧防爆構造	容器が、その内部に侵入した爆発性雰囲気の内爆発に対して、損傷を受けることなく耐え、かつ、容器のすべての接合部又は構造上の開口部を通して外部の対象とするガス又は上記の爆発性雰囲気への引火を生ずることのない電気機器の防爆構造。
内圧防爆構造	容器内の保護ガスの圧力を外部の雰囲気の圧力を超えるある値に保持することによって、又は容器内のガス又は上記の濃度を爆発下限界より十分に低いレベルに希釈することによって、防爆性能を確保する電気機器の防爆構造。
安全増防爆構造	正常な使用中にはアーク又は火花を発生することのない電気機器に適用する防爆構造であって、適度な温度の可能性並びに異常なアーク及び火花の発生に対して安全性を増加する手段が講じられた電気機器の防爆構造。
油入防爆構造	電気機器及び電気機器の部分が油の上又は容器の外部に存在する爆発性雰囲気中に点火することがないような方法で、これらを油に侵す電気機器の構造。
本質安全防爆構造	正常状態及び仮定した故障状態において、電気回路に発生する電気火花及び高温部が規定された試験条件で所定の試験ガスに点火しないようにした防爆構造。

表 3. 5 危険場所の分類

0 種場所	爆発性雰囲気が、連続して存在するか、又は長時間存在する場所。
1 種場所	爆発性雰囲気が、正常状態で生成することがある場所
2 種場所	爆発性雰囲気が、正常状態で生成することはなく、たとえ生成しても短時間しか存在しない場所

表 3. 6 電気機器の防爆構造の選定の原則（構造規格）

防爆構造の種類	使用 適する場 の種別		
	0 種場所	1 種場所	2 種場所
本質安全防爆構造	○	○	○
耐圧防爆構造	×	○	○
内圧防爆構造	×	○	○
安全増防爆構造	×	△	○
油入防爆構造	×	△	○

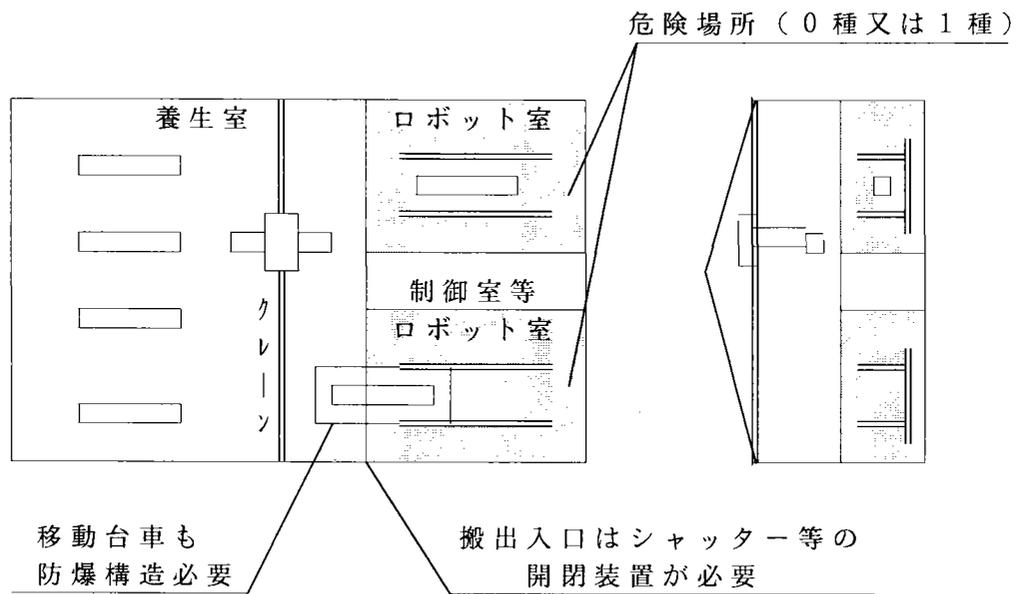
(備考) ○印：適するもの

△印：法規では容認されているが、避けたいもの

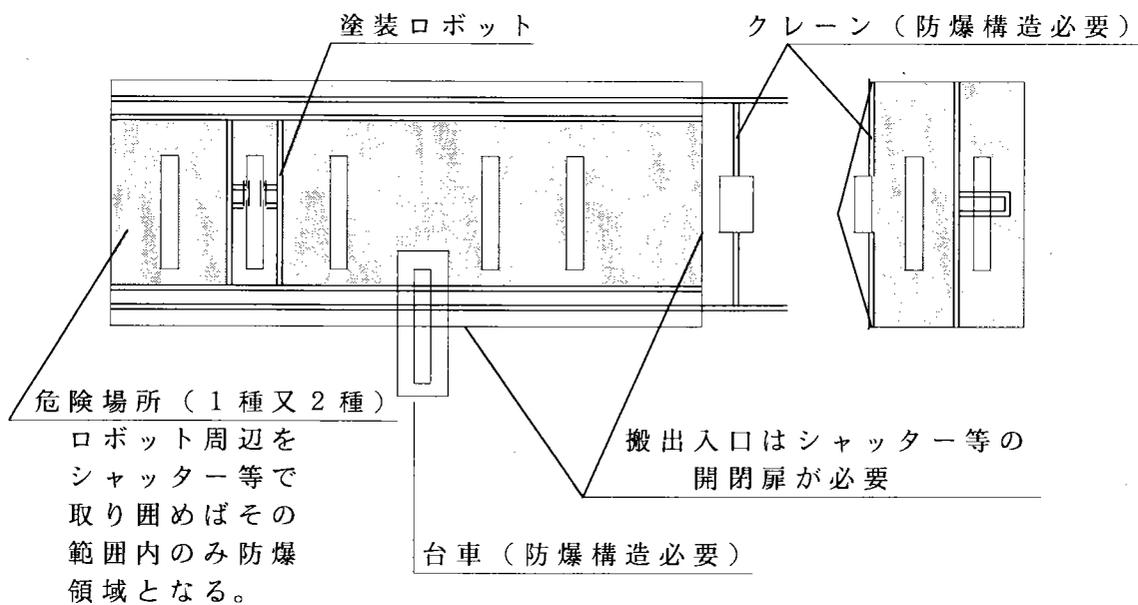
×印：法規には明記されていないが、適さないもの

表 3. 7 塗装ロボットおよび周辺機器の防爆構造例

電気機器	防爆構造の種類
塗装ロボット	内圧防爆構造、 又は、耐圧防爆構造、 又は、本質安全防爆構造と内圧防爆構造の複合型 又は、本質安全防爆構造と耐圧防爆構造の複合型
教示ペンダント	本質安全防爆構造
台車、クレーン	耐圧防爆構造 内圧防爆構造
照明等	耐圧防爆構造



(a) 塗装室を設ける場合の例



(b) 塗装室を設けない場合の例

図3. 2 塗装ロボットの防爆領域の例

## (7) 経済効果試算

### ① 投資額

橋梁塗装作業の自動化、ロボット化を検討する場合、対象物が比較的大型かつ寸法形状が多岐にわたることから設備が極めて大がかりとなることが予想され、投資効果が得にくいという問題が生じやすい。さらに当該機械設備のみでなく、新たに建屋を新設あるいは増設、改造する必要がある場合、搬出入設備を新設する必要がある場合、敷地を確保する必要がある場合などでは、その投資額は莫大なものとなり、自動化、ロボット化を断念せざるを得ないのが現状であると考えられる。

ここでは、特定の前提条件の下で経済効果の試算を行い、現在の環境下において、どの程度の投資額の範囲であれば、鋼橋塗装作業の自動化、ロボット化の経済性が成り立つかを検討した結果を示す。

### (前提条件)

- a. 塗装設備（工場）は箱桁専用とする。
- b. 箱桁の生産量は10,000トン/年とし、W3.0m×H3.0m×L16.0mの箱桁換算で年間400ブロックを生産するものとする。  
(1ブロック当たりの重量：25トン)
- c. ブロック1台当たりの処理面積は以下の通りとする。

ブラスト	200 m <sup>2</sup>	(3×4×16=192 m <sup>2</sup> )
一般外面塗装面積	150 m <sup>2</sup>	(3×3×16=144 m <sup>2</sup> )
内面塗装面積	250 m <sup>2</sup>	(3×4×16×1.3=250 m <sup>2</sup> )
- d. ブラスト、塗装建屋、敷地、搬送設備等は既設であって、自動化、ロボット化に際しての大がかりな改造の必要はないものとする。
- e. 塗装系はC-1（外面下塗り3回、内面2回）とし、年間のブラスト、塗装面積は以下の通りとする。

ブラスト面積	80,000 m <sup>2</sup> /年
一般外面塗装面積	180,000 m <sup>2</sup> /年
内面塗装面積	200,000 m <sup>2</sup> /年
- f. 自動化、ロボット化設備の適用範囲は、以下の3通りについて試算する。
  - ・ブラスト作業のみに適用する場合
  - ・一般外面塗装作業のみに適用する場合
  - ・内外面すべての塗装作業に適用する場合
- g. 投資金額回収期間は5年とする。
- h. 投資設備に関するメンテナンス費用、固定資産税、金利等は無視する。

### (投資可能額試算)

上記の前提条件の下、投資可能額を試算した結果を表3.8に示す。試算方法は以下の単純な乗算とし、単価は建設物価－鋼橋塗装工（1995年12月（財）建設物価調査会）から塗料費を減じた値を用いた。

$$\text{投資可能額} = 5(\text{年}) \times \Sigma (\text{処理面積}(\text{m}^2/\text{年}) \times \text{単価}(\text{円}/\text{m}^2))$$

表 3. 8 鋼橋塗装作業の自動化、ロボット化設備投資可能額試算結果

設備適用範囲	ブラストのみ	一般外面塗装のみ	内外面塗装
投資可能額(千円)	1,954,000	855,000	1,998,000

② 必要処理能力

ブラスト、塗装ロボットの必要処理能力(面積)について述べる。

(前提条件)

- a. 年間の稼働日数は250日(8H/日×250日=2000H)とする。
- b. その他の条件は投資額での前提条件と同様とする。

(必要処理能力試算)

各作業のロボットの必要処理能力を以下に示す。

a. ブラスト

$$\begin{aligned}
 & 400(\text{台}) / 250(\text{日}) \\
 & = 1.6(\text{台/日}) \\
 & \approx 2(\text{台/日}) \\
 & 200(\text{m}^2/\text{台}) \times 2(\text{台/日}) \\
 & = 400(\text{m}^2/\text{日}) \\
 & = 50(\text{m}^2/\text{H})
 \end{aligned}$$

b. 一般外面塗装

$$\begin{aligned}
 & 400(\text{台}) \times 3(\text{回}) / 250(\text{日}) \\
 & = 4.8(\text{台}\cdot\text{回/日}) \\
 & \approx 5(\text{台}\cdot\text{回/日}) \\
 & 5(\text{台}\cdot\text{回/日}) \times 150(\text{m}^2/\text{台}\cdot\text{回}) \\
 & = 750(\text{m}^2/\text{日}) \\
 & = 94(\text{m}^2/\text{H})
 \end{aligned}$$

c. 内面塗装

$$\begin{aligned}
 & 400(\text{台}) \times 2(\text{回}) / 250(\text{日}) \\
 & = 3.2(\text{台}\cdot\text{回/日}) \\
 & \approx 3(\text{台}\cdot\text{回/日}) \\
 & 3(\text{台}\cdot\text{回/日}) \times 250(\text{m}^2/\text{台}\cdot\text{回}) \\
 & = 750(\text{m}^2/\text{日}) \\
 & = 94(\text{m}^2/\text{H})
 \end{aligned}$$

以上の必要処理能力のまとめを表 3. 9 に示す。

表 3. 9 必要処理能力

必要処理能力	ブラスト	一般外面塗装	内外面塗装
年間(m <sup>2</sup> /年)	80,000	180,000	380,000
1日(m <sup>2</sup> /日)	400	750	1,500
1時間(m <sup>2</sup> /H)	50	94	188

以上述べた、投資額内で、必要処理能力、要求される仕様、機能を満足する設備が実現可能か否かは今後の検討課題である。一方前述のアンケート結果でも示されているように、ブラスト、塗装作業の自動化、ロボット化の大きな目的は、塗装作業不足対策および作業環境であって、これらの問題解決が緊急課題であるとするれば、現在の環境下での経済性のみで、自動化、ロボット化の可否を論ずることは得策ではないといえる。したがって、近い将来予想される、ブラスト、塗装作業の人的費用高騰、作業者の高齢化、ブラスト、塗装という3K作業からの作業者の解放要求などの環境条件をふまえて総合的に判断すべきと考えられる。

## 4、自動化・ロボット化の将来展望

### 1) 自動化、ロボット化の構想 (ケーススタディー)

これまでの現状分析と問題点の検討結果を踏まえ、ブラスト・塗装ロボットの構造とロボット化されたときの周辺設備配置と作業要領についての構想を挙げてみる。

構想に当たっては、下記緒元の箱桁部材を対象とした。(図4. 1)

構造	箱桁 (RC床版)
概寸	3,000×3,000×16,000
現地取合	ボルト接合
塗装系	C塗装系

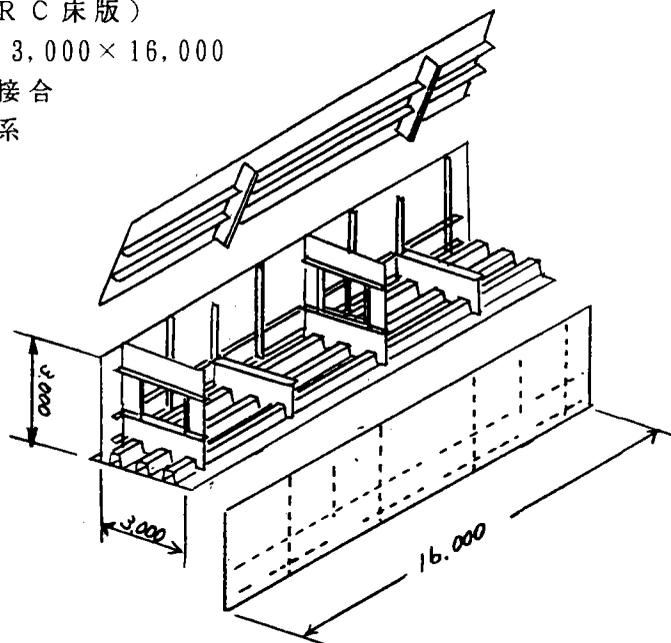


図4. 1 対象構造物 (モデルブロック)

#### (1) ブラスト・塗装ロボット構想

表4. 1 にブラスト・塗装ロボット化構想 タイプ別比較表 (その1, その2) を示す。

タイプ別分類については設置方法や操作方法から、本グループが独断で命名したものであり、公的に認知されたものではない。また、一般塗装の他、防錆の観点から粉体塗装や電着塗装についても比較を行った。比較項目の内、設備費については感覚的な目安として大・中・小の分類を、また品質については構想のロボットで期待される程度を良否で示してある。不明な項目についてはあえて(?)で表示した。

#### (2) ロボット化全体構想

図4. 2と図4. 3にロボットを使用した時の各設備の配置と作業の流れを模式的に示した。

細部については詳細な検討を行っていない。本項では全体的な概念図提案するものである。

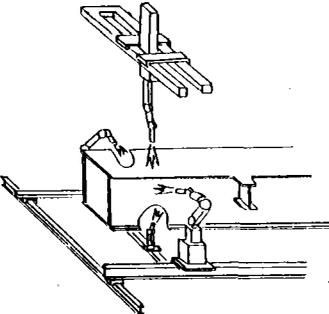
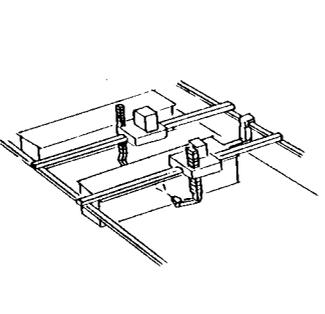
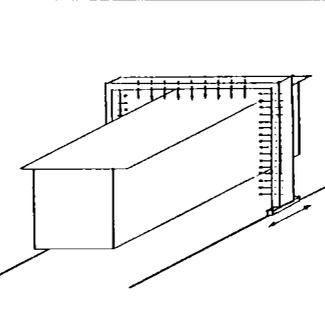
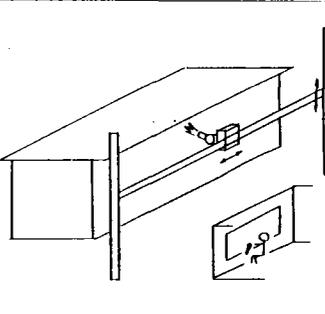
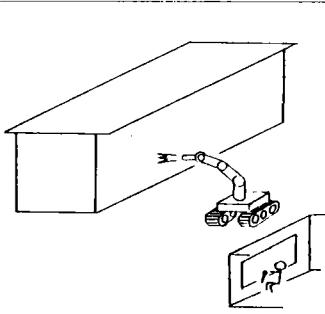
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
					
タイプ名	6軸多台型	天井クレーン吊下げ型	形状認識型	遠隔操作型(レシプロ)	遠隔操作型(キャタピラ)
対象工程	ブラスト/塗装	塗装	ブラスト/塗装	ブラスト/塗装	ブラスト/塗装
対象範囲	BOX外面(上下左右)	BOX外面(左右)	BOX外面(上左右)	BOX外面(左右)	BOX外面(左右)
自動機・ロボット	6軸×4台	4軸×2台(OHC 2軸)	6軸×3台	直交軸(上下左右回転)	6軸
ティーチング	OLT(オプ・ライン・ティーチング)	OLT	なし	なし	なし
自動機移動方法	レール軌道上	ガ-ダ-上、建て屋レール	レール軌道上	ガ-ダ-上	無軌道
施工場所	固定・建屋内(狭)	移動建屋内(広)	固定・建屋内(狭)	固定・建屋内	建屋間、屋外移動可
周辺設備	スライダ-	移動建屋、OCスライダ-	形状認識センサー、架台	遠隔操作室	なし
設備費(全体)	大	大	大	中	中
品質					
ブラスト	良 (○)	良 (○)	中 (○)	中 (○)	中 (○)
塗装	良 (○)	良 (○)	中(センサー精度による△)	否 (×)	否 (×)
能率/稼働率	高/低	中/高	低/中	中/中	低/中
実績	自動車産業等広範囲	(?)	極少	(?)	(?)
長所	機能付加可能 (品質管理用測定機器等) 粉体・静電塗装の適用での 品質向上可能か	ブロック横持ち少ない 広範囲適用可能(移動建屋)	3次元データ・ ティーチング不要	設備費安価	施工場所を選ばない(塗装)
短所・問題点	部材移動待ちによる稼働率 の低下 ロボット間での干渉・防汚 対策必要	大型建屋必要 塗料置場所 塗料ホースのさばき	形状認識に時間がかかる 認識精度の向上	不可視部の品質確保	施工能率悪い 不可視部の品質確保

表4. 1 自動化・ロボット化構想 タイプ別比較表(その1)

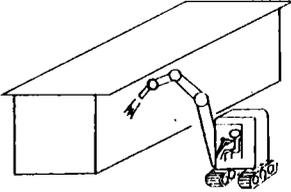
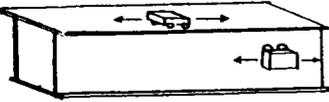
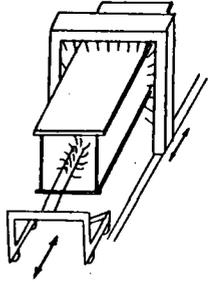
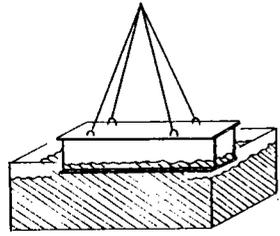
	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	
					
タイプ名	直接運転型	自走式塗装ロボ	粉体塗装シャワー式	電着塗装型	
対象工程	ブラスト/塗装	塗装	塗装	塗装	
対象範囲	BOX外面(上左右)	DECK上・WEB等フラット面	BOX内外面	BOX内外面	
自動機・ロボット	6軸マスタースレーブ	---	なし(?)	---	
ティーチング方法	なし	不必要(センサー付)	形状認識(外)/なし(内)	なし	
自動機移動方法	無軌道(高所作業車等)	自走(マグネット)	レール軌道上	---	
施工場所	移動可能	持ち運び可能	固定・建屋内	建屋内固定	
周辺設備	なし	なし	形状認識センサー、架台	電着用浴槽	
設備費(全体)	中	中	大	大	
品質					
ブラスト	良(○)	---	---	---	
塗装	否(△)	(?)	(?)	良(?)	
能率/稼働率	中/中	否/(?)	良/中	良(○)	
実績	ブラストのみ極少	(?)	(?)	(?)	
長所	施工場所が限定されない	大型設備不要 現地施工への可能性有り	BOX内面のデータ不要	データ不要 高能率	
短所・問題点	広範囲の施工エリア必要	構想段階である 技術的裏付けなし	構想段階である 技術的裏付けなし	塗装仕様・構造形式の 大幅な変更必要 大型部材不向き 塗り分け困難(添接部等)	

表4. 1 自動化・ロボット化構想 タイプ別比較表(その2)

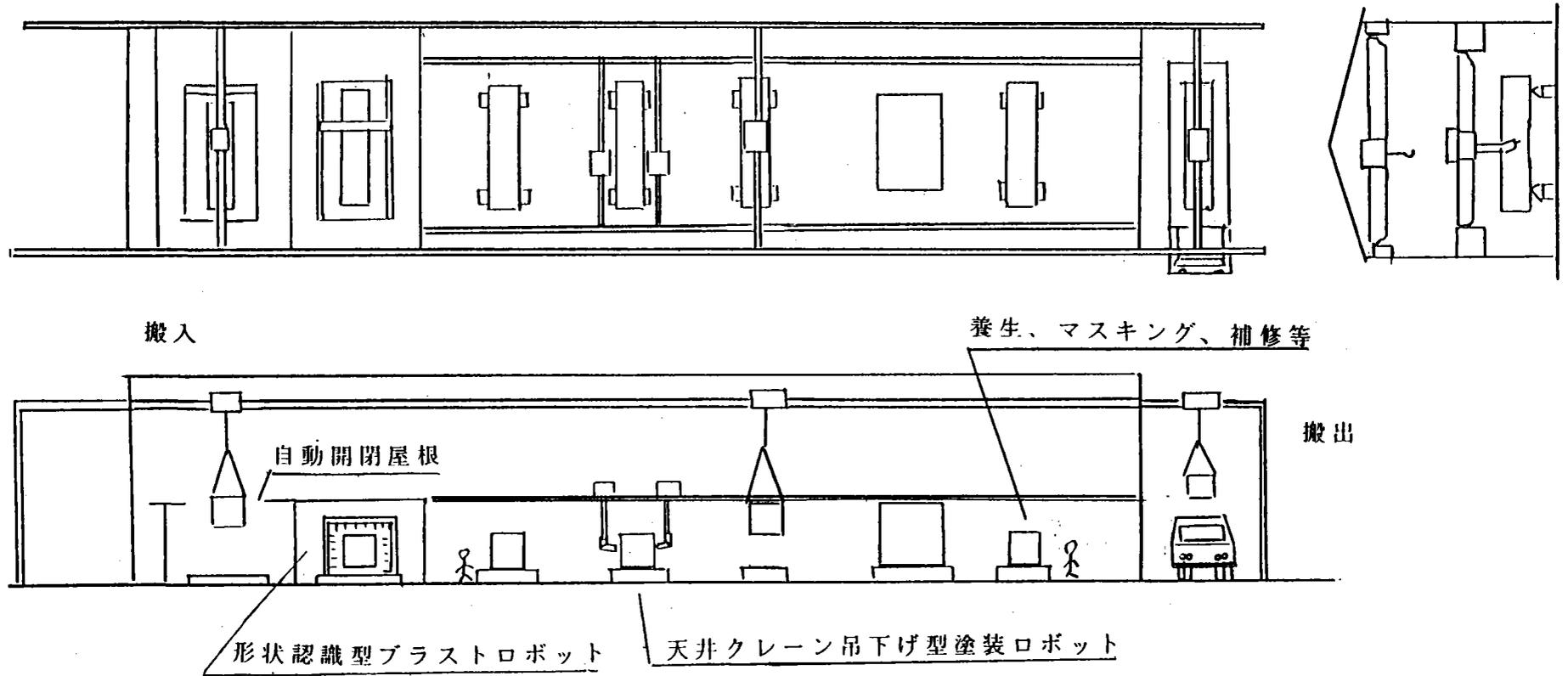


図4. 2 各設備の配置と作業の流れ（クレーン移動）

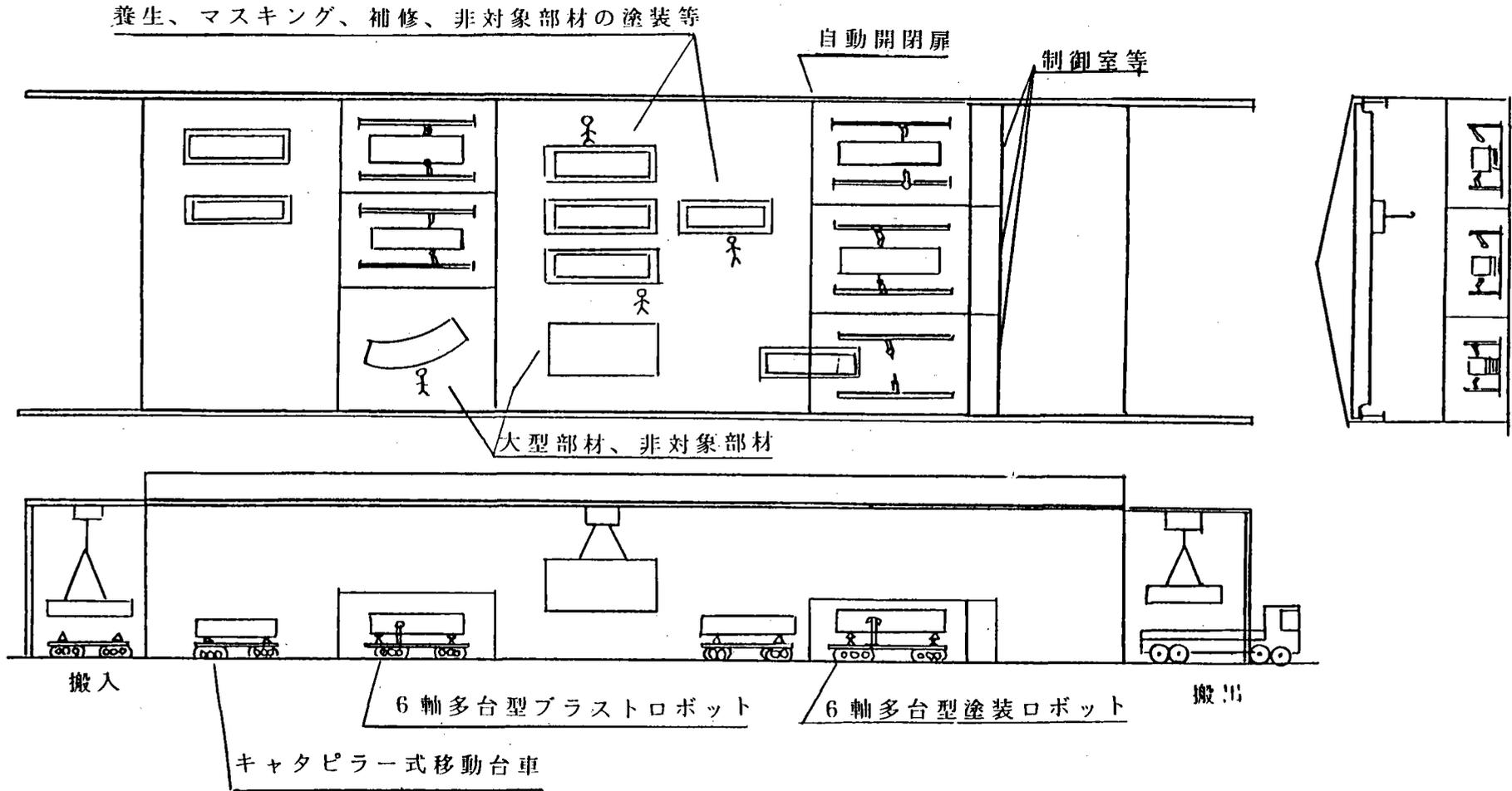


図4.3 各設備の配置と作業の流れ(台車移動)

## 2) 構造および仕様変更の提言

橋梁部材のブラスト・塗装作業をロボット化するに際し、現行の構造形式や塗装仕様に全て適応し得るロボットを製作しようとするならば、大型のロボットとなるばかりでなく、大規模な付帯設備も必要となる。設備投資も膨大となり償却を考えた経済面から、実現の可能性は遠のくばかりである。

特定の構造、特定の作業に限定したロボット化を選択する方向も一つの道であろう。又、ロボットに適した構造形式や塗装仕様の改訂の中で、ロボット化を推進していくことも道であろう。

ブラスト・塗装作業のロボット化を進める上で、どのような構造形式や塗装仕様であれば、技術的にも、経済的にも、実現の可能性があるのか、2、3の提言を試みた。

### (1) 構造詳細の変更

塗装ロボットに適合した構造とは、

- ・ガンの接近が可能であり、
- ・ガンをワークに正対させた時にアームが部材と干渉しない、
- ・センサーの利用に適している

など、溶接ロボットの要求構造と基本的に類似している。

しかし、溶接が線の作業であるのに対し、ブラスト・塗装は面の作業であるため、よりシンプルな構造が求められる。

#### ① 構造の簡素化

ガン操作が部材と干渉しない構造への変更

- ・スカーラップの廃止（先行ハケ塗り作業の排斥）
- ・補剛材、リブ材の材片間隔拡大と材片数削減
- ・型鋼部材の利用拡大など

#### ② 構造の標準化

標準構造形式によるティーチング操作の単純化

- ・一部材一断面
- ・共通部材化など

#### ③ 構造思想の変革

無塗装構造、塗り分け領域の単純化

- ・完全密封閉断面構造（内面無塗装…空調設置）
- ・モーメントプレートの廃止など

### (2) 塗装仕様の変更

現状の塗装仕様では、色彩も含めて多種の塗料が使い分けられ、且つ、塗り分け、塗り回数、インターバルなど作業の制約条件が多岐に亘る。これらの条件を満足し、効率的に作業を行うには膨大な設備を必要とする。

塗装系の改正、塗装ロボットに適した塗料の開発が望まれる。あるいは、塗装＝防錆という一つの目的から、防錆法の使い分けにより、塗装ロボットの適用が見直される可能性もある。

① 塗装仕様の統一

塗装作業の簡略化と工期短縮

- ・仕様の一元化（C塗装系に統一）
- ・厚膜塗料の採用による塗り回数の削減など

② 塗料の改良

塗料の改良・開発に依る塗装作業の効率化

- ・超速乾・速硬化型塗料（1 day 1 coat…塗り重ね間隔の短縮）
- ・低研掃用塗料（ブラスト作業の省略）
- ・耐熱プライマー・耐熱塗料（焼け領域の減少…ケレン面積の削減）
- ・1液型重防食塗料（設備・管理の簡略化）
- ・無溶剤塗料（安全衛生対策の簡易化）など

③ 防錆方法の変更

- ・他塗装法の採用（粉体塗装・電着塗装等…箱桁内面）など

いずれの提言内容も、個々の担当部署で解決できるものではなく、ロボット化の推進に当たっては、発注者、ロボット機器メーカー、塗料メーカー、橋梁製作会社が協力して、問題解決に努めていく場が必要であろう。

## 5、あしがき

1年間に亘るグループ活動で、「ブラスト・塗装作業のロボット化」について考えてきた。必ずしも、塗装を専門とするメンバーの集まりではないが、現状の3K作業をロボット化するにはどうしたらよいかを真剣に議論してきたつもりである。

今回の活動テーマの中心は、ブラスト・塗装作業の現状分析と、作業を自動化、ロボット化する上での問題点の抽出であった。今後は、その実現化に向けた対策の具体的検討を行っていく必要がある。

鋼橋製作において、省力化、省人化が積極的に推進されている中、作業環境の改善、生産性の向上、高品質の確保を目的とした、ブラスト・塗装作業のロボット化は時代の要請であるともいえる。本報告書がまた、ロボット化を検討する際のタタキ台となれば幸いである。

以 上

平成8年3月記

# 「塗装ロボット用語」

塗装ロボット用語

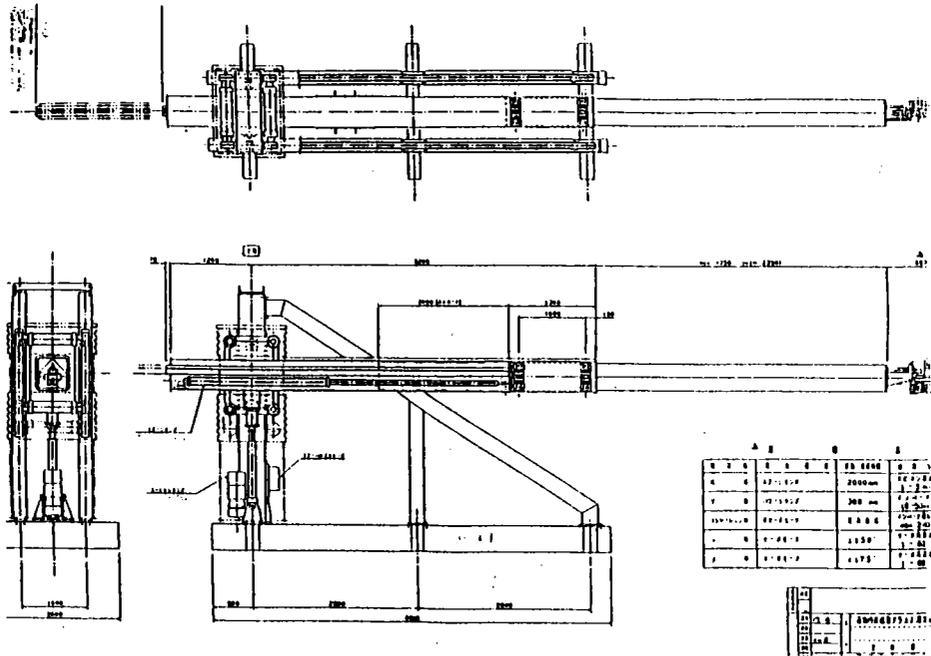
用語	説明	対応英語 (参考)
ロボットシステム	次のものから構成される <ul style="list-style-type: none"> <li>・機械構造部</li> <li>・動力源及び制御装置</li> <li>・直接働きかける機能(エンドエフェクタ)</li> <li>・作業遂行に必要な機器, センサー</li> <li>・ロボット, 装置, センサー等の運転監視用通信インターフェース</li> </ul>	robot system  end effector
アクチュエーター	多関節	articulated
ティーチング 教示	ロボットに、作業を実行するために必要な情報を指示し記憶させること	teaching
オフラインティーチング 間接教示	ロボットは動かさずにデータ入力などの方法によって教示する	indirect teaching
リモートティーチング 遠隔教示	直接教示の一種であって、ペンダントなどを使用して、ロボットの腕等を動かして教示する	remote teaching
ダイレクトティーチング 直接教示	ロボットの腕等を直接人が動かして教示する	direct teaching
最大領域	可動領域に、エンドエフェクタ及びワークによって掃引することができる領域を加えたもの	maximum space
作業領域	手首基準点によって掃引される領域とそこにおける手首の各ジョイントの可動範囲とを合わせた領域	working space
作動範囲	各軸毎の作動可能な距離または角度	operating range
制限領域	最大領域の一部で、ロボットが故障・誤動作を生じても超えることがない限界を設定するリミット装置によって制限された領域	restricted space
タスクプログラム	ロボットシステムに作業を実行させる手順・動作・条件などを指示するプログラム	task program
制御プログラム	ロボットシステムの機能を実現するための固有のプログラム	control program
P T P制御	飛び飛びの点のポーズだけを指定した命令によって行われる制御	pose-to-pose control
C P制御	全軌道又は全経路を指定した命令によって行われる制御	continuous path control
感覚制御	各種のセンサ情報によるロボットの動作の制御	sensory control

# 塗装ロボット・システムの概要集

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	橋梁ブロック内面研掃装置	整理NO	1
適用・対象ワーク	箱桁内面	製造会社名	福山共同機工(株)

装置概要図



特徴・特記事項：伸縮可能な長尺ビームの先端に旋回を含めて3軸に移動可能なノズルを設置した自動ブラスト設備  
研掃材との接触部は超硬材を使用

主要仕様	教示方式	
	アクチュエータ形式	3軸 (ACサーボモータ)
	作動エリア寸法	2~3m断面×4,250mm L
	ワーク検出システム	
	ケルン装置形式	ガン エアープラスト, 研掃巾 (1m離れた位置でφ500の研掃面積) その他
その他	ショット回収 (バケットエレベーター)	

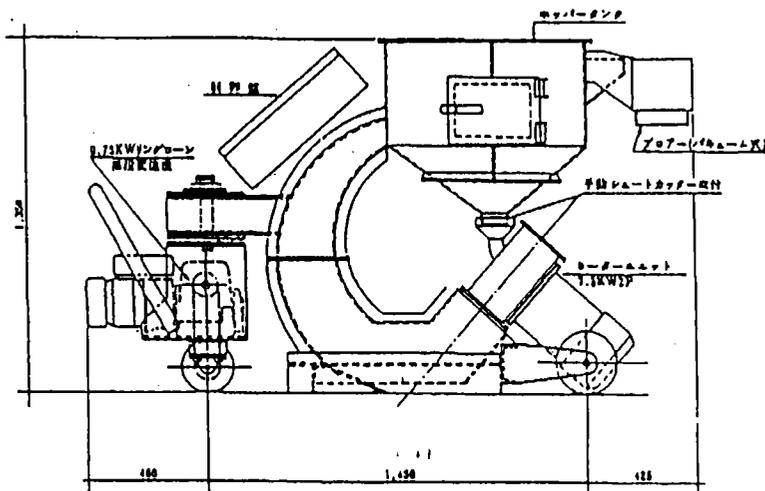
安全・衛生関連装置又は機能	
メーカー希望価格 (標準タイプ)	



塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	自動床面研掃機 (YTF-1002)	整理NO	3
適用・対象ワーク	床面	製造 会社名	

装置概要図



特徴・特記事項：自動床面研掃機（キャビネット、インペラユニット、ショットタンク、配電盤）、ブロー、集塵機より構成され、ショットと同時に粉塵が自動回収される。  
電動機直結方式のインペラが特徴。

主要仕様	教示方式	
	アクチュエータ形式	
	作動エリア寸法	
	ワーク検出システム	
	ケル装置形式 ガン その他	
その他		

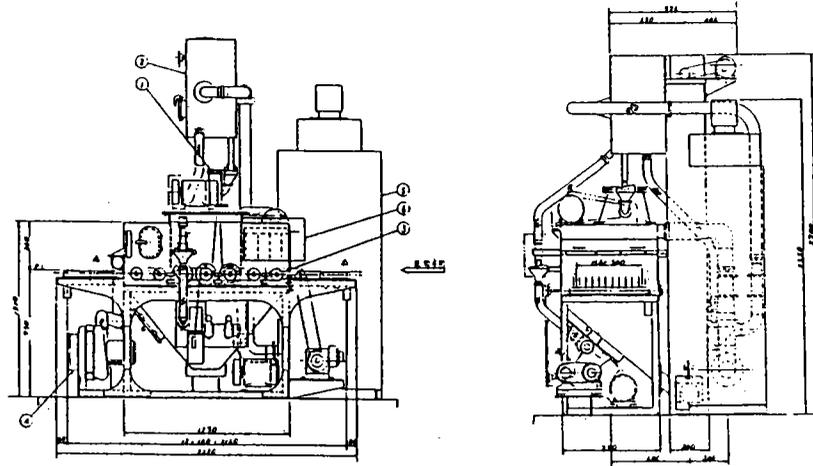
オプション・周辺機器：自動壁面（立向上進）研掃機の使用例あり

安全・衛生関連装置又は機能	
メーカー希望価格（標準タイプ）	

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	ショットブラストマシン (FK-5010型)	整理NO	4
適用・対象ワーク	ガゼット・スプライスプレート	製造会社名	福山共同機工(株)

装置概要図



特徴・特記事項：切板の両面荒し専用機  
研掃機（グリット）完全リサイクル方式

主要仕様	教示方式	
	アクチュエータ形式	
	作動エリア寸法	
	ワーク検出システム	
	ケレン装置 形式	ガン その他
その他	投射装置 2台	

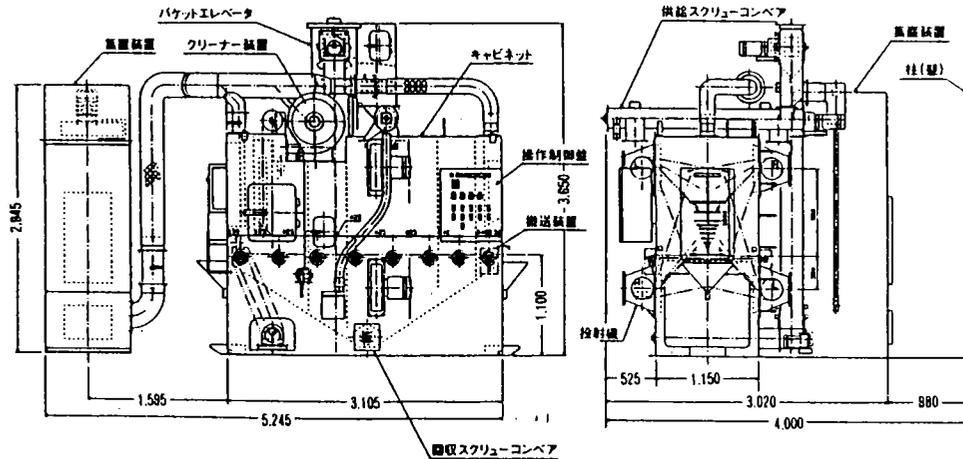
オプション・周辺機器：

安全・衛生関連装置又は機能	集塵機組込式
メーカー希望価格（標準タイプ）	

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	ショットブラストマシン (FK9050V型)	整理NO	5
適用・対象ワーク	H形鋼	製造会社名	福山共同機工(株)

装置概要図



特徴・特記事項：低騒音型

研掃機 (グリット) 完全リサイクル方式  
 投射機はモーター直接型

主要仕様	教示方式	
	アクトエーター形式	
	作動エリア寸法	
	ワーク検出システム	
	ケン装置 形式 ガン その他	
その他	投射装置 4 台	

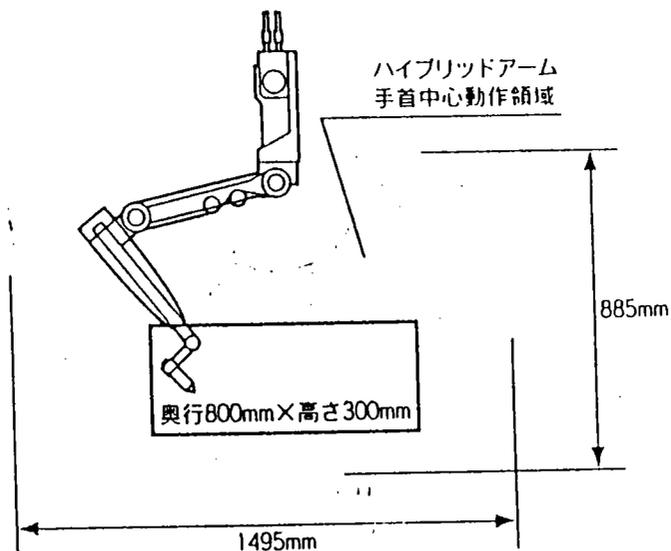
オプション・周辺機器：

安全・衛生関連装置又は機能	集塵機組込式
メーカー希望価格 (標準タイプ)	

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	ソフトボーイ “アルプス”	整理NO	6
適用・対象ワーク	指定なし	製造 会社名	

装置概要図



特徴・特記事項：全面吸込型オイルブース内塗装  
天吊り式

主要仕様	教示方式	動作パターン入力 (スタートポイント教示)
	アクチュエータ形式	4軸ハイブリッドアーム
	作動エリア寸法	885mm×1,495mm
	ワーク検出システム	
	塗装装置 形式	ガン その他
その他		

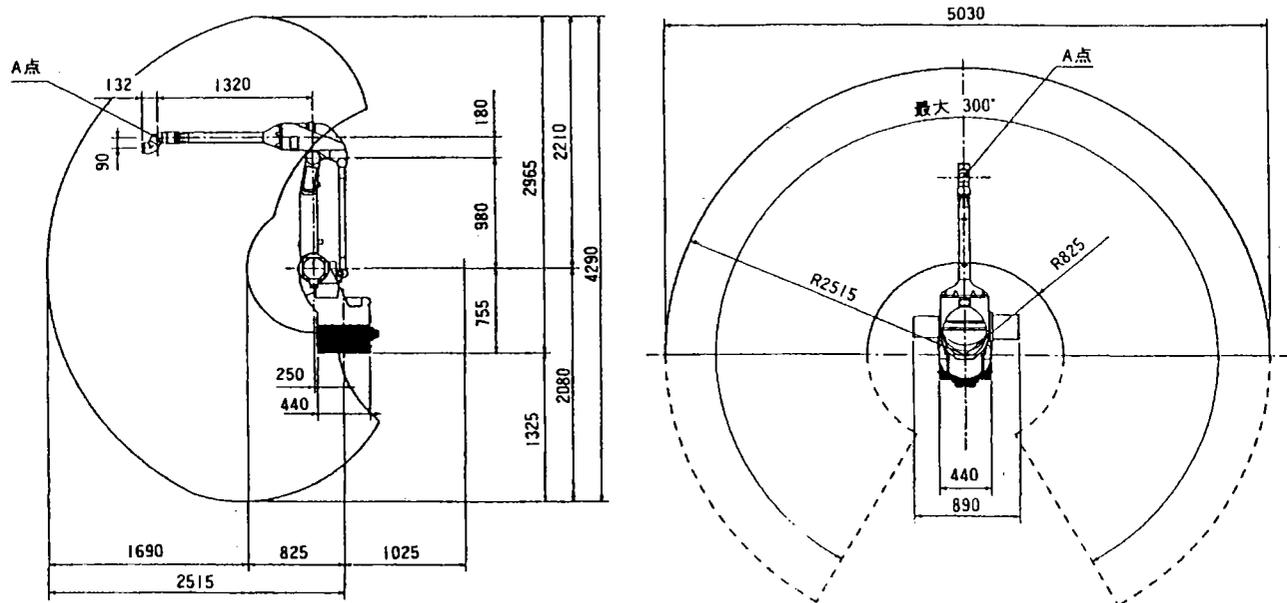
オプション・周辺機器：レーザーポインター (ガン狙い位置確認)  
ロボットアーム収納 (手塗り)  
カラーチェンジバルブ (色替え)

安全・衛生関連装置又は機能	クリーンルーム+給気ユニット
メーカー希望価格 (標準タイプ)	

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	電動塗装ロボット KRE320	整理NO	7
適用・対象ワーク	連続ライン用	製造会社名	神戸製鋼所 (株)

装置概要図



特徴・特記事項：始動時の原点合わせ不要  
 手首の関節が一直線上に並んでいる  
 メニュー対話式表示入力  
 データ：3.5インチ“フロッピーディスク”  
 32bitCPU使用

主要仕様	教示方式	リモート教示
	アクチュエータ形式	多関節型 6軸, ACサーボモータ
	作動エリア寸法	3,180~5,030×2,570~4,290mm×1,590~2,515mm
	ワーク検出システム	ロボット本体に含まずシステムとして可能
	塗装装置 形式 ガン その他	静電オートガン、自動スプレー、リバーシブルガン、ロータリースプレー
その他	自己診断装置	

オプション・周辺機器：L, M, Sの3タイプ

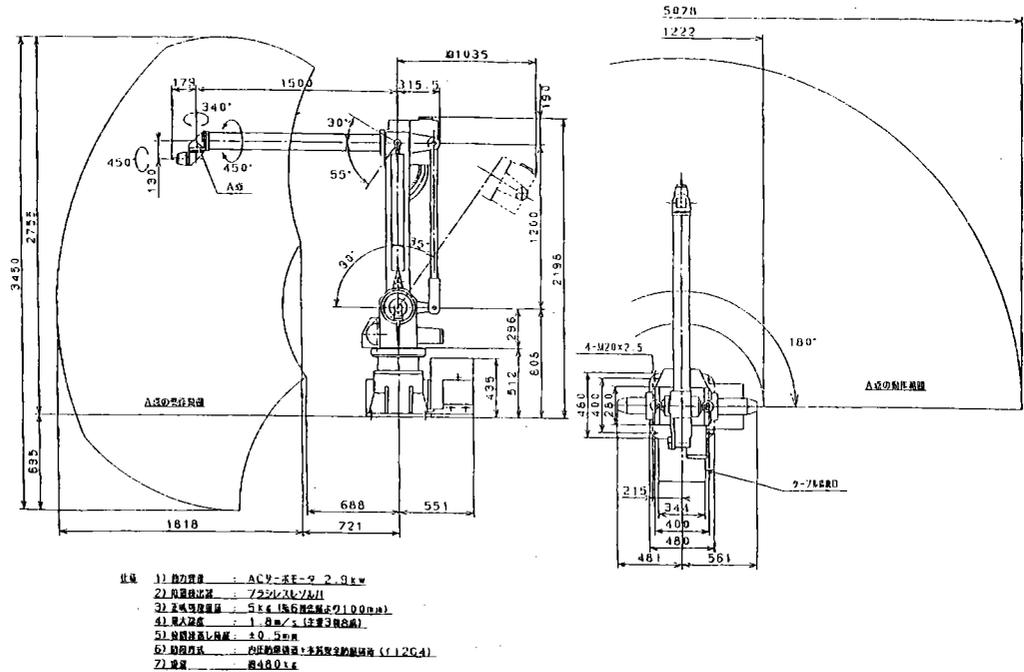
安全・衛生関連装置又は機能	防爆型
メーカー希望価格 (標準タイプ)	



塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	塗装ロボット ARMSTAR AMS 300シリーズ	整理NO	9
適用・対象ワーク	建機、自動車および、部品、家電製品、銅製家具等	製造会社名	トキコ (株)

装置概要図



特徴・特記事項：(1)バランスアームで第2軸（第1アーム）、第3軸（第2アーム）はバネバランスにより重力バランスがとられ、動力OFF時は、ロボットアームを手で操作することが可能  
 (2)手動はW形とV形を選択  
 (3)制御装置は、漢字・カタ文字表示による対話方式で、初心者の方でも容易に操作可能。数々のメッセージと操作がダンスに従って、ロボットとあたかも会話を行うような操作フィーリング（ヘルプ機能付）が可能

主要仕様	教示方式	リモート教示
	アクチュエータ形式	6軸（ACサーボモーター）※最大8軸まで可
	作動エリア寸法	4,236mm×1,500mm×2,850～5,132×1,818×3,450mm
	ワーク検出システム	カメラによる検出他
	塗装装置 形式	システムにあわせた塗装機器の取扱が可能
ガン	同上	
その他	メンテナンスは、全国70ヶ所にあるトキコメンテナンスが迅速に対応	
その他	自己診断	

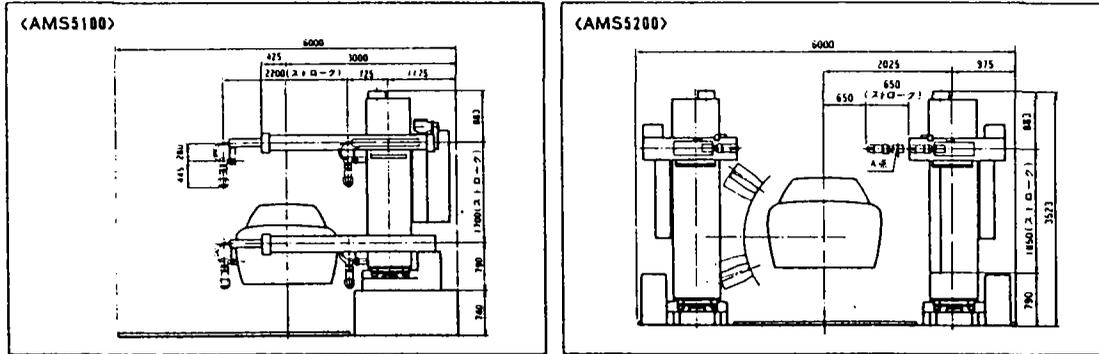
オプション・周辺機器：(1)塗料流量計、走行装置、コンバ同期装置等  
 (2)マルチフォトセンサーを使用したティーチングレス動作システム  
 (3)3次元キャドを利用したオフラインプログラミングシステム

安全・衛生関連装置又は機能	防爆
メーカー希望価格（標準タイプ）	¥12,000,000-

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	塗装ロボット ARMSTAR AMS 500シリーズ	整理NO	10
適用・対象ワーク		製造会社名	トキコ(株)

装置概要図



特徴・特記事項：形状に合わせた塗装軌跡の創成が可能  
高速塗装

主要仕様	教示方式	数値教示
	アクチュエータ形式	4～5軸
	作動エリア寸法	900～1,800mm×650～2,200mm×1,700～1,850mm
	ワーク検出システム	ブラシレスレゾルバ
	塗装装置 形式	ガン その他
その他		

オプション・周辺機器：カラーチェンジバルブ等の塗装機器搭載機構

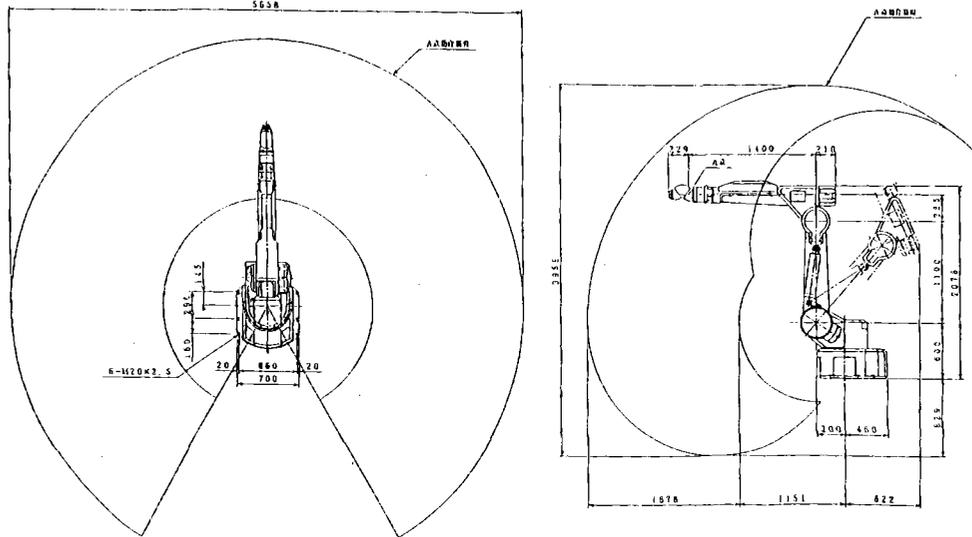
安全・衛生関連装置又は機能

メーカー希望価格(標準タイプ)

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	塗装ロボット ARMSTAR AMS 700シリーズ	整理NO	11
適用・対象ワーク	建機、自動車および部品家電製品 銅製家具等	製造 会社名	トキコ (株)

装置概要図



④	20	20	AMS700 (カタログ用)	2MM2565
三角	20	20	トキコ株式会社	

特徴・特記事項：(1)アーム上最大20Kg+手動10Kgの可搬重量を持ち、アーム上に流量計やCCVを搭載することが可能  
 (2)ティーチングペダントは、ジョイスティック方式によるロボット操作可能  
 (3)制御装置は、小型・軽量で、32bitの高速CPUを搭載  
 (4)異常来歴管理機能、異常内容のメッセージ表示に加え、メンテナンス時期が近づくと自動的にその内容を知らせる保守管理メッセージ機能有り

主要仕様	教示方式	リモート教示
	アクチュエータ形式	6軸(ACサーボモータ) ※最大8軸まで可
	作動エリア寸法	5.658×1.678×3,958mm
	ワーク検出システム	カメラによる検出他
	塗装装置形式 ガン その他	システムにあわせた塗装機器の取付が可能 同上
その他		

オプション・周辺機器：(1)塗料流量計、走行装置、コンベア同期装置等  
 (2)マルチフォトセンサーを使用したティーチングレス動作システム  
 (5)3次元キヤドを利用したオフラインプログラミングシステム

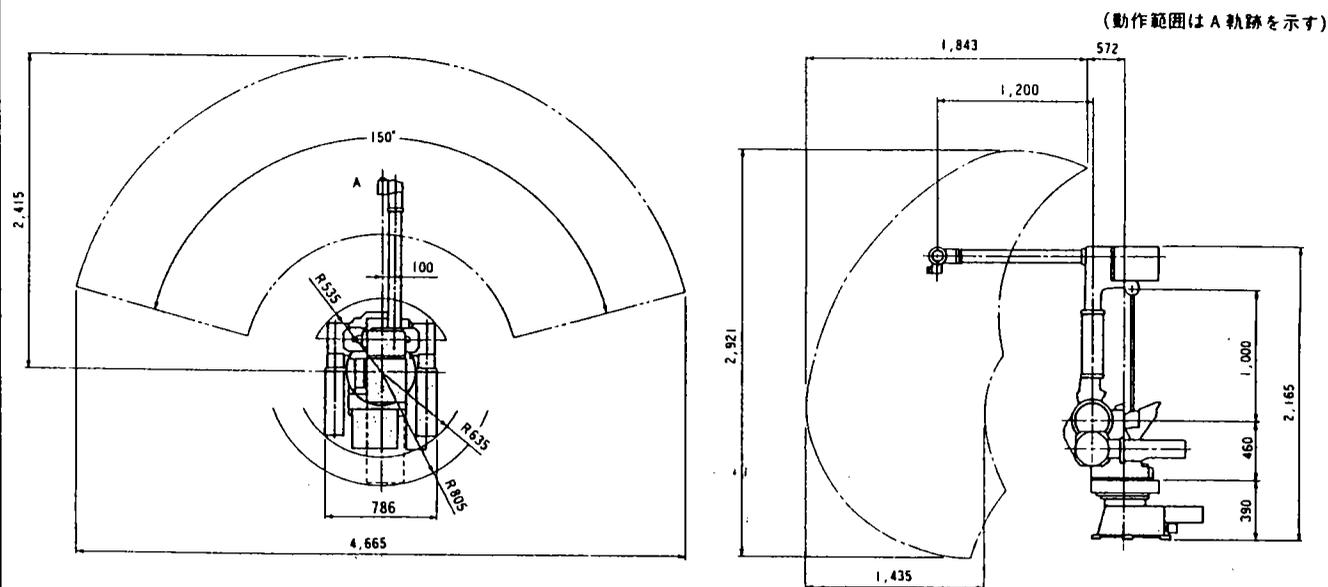
安全・衛生関連装置又は機能	防爆
メーカー希望価格(標準タイプ)	¥10,500,000-

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	塗王 (TUWANG)	整理NO	12
適用・対象ワーク	特に指定なし	製造会社名	岩田塗装機工業株式会社

装置概要図

■動作範囲 (単位: mm)



特徴・特記事項：4種類の座標系で動作できる

アームブレ修正機能

コンベアーとの連動ソフト

オートラン・オートストップ記憶機能

ティ칭ングデータは全て専用ICカード方式

主要仕様	教示方式	CADからオフラインティ칭ングシステム
	アクチュエータ形式	多関節型
	作動エリア寸法	装置概略図参照
	ワーク検出システム	
	塗装装置形式	静電オートガン、自動スプレー、リバーシブルガン、ロータリースプレーガン その他
その他		

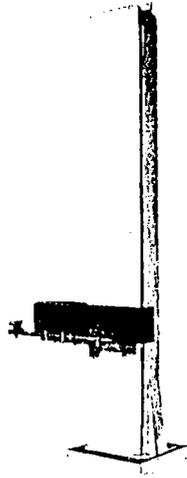
オプション・周辺機器：専用ワーク搬送装置、各種マニプレーター

安全・衛生関連装置又は機能	防爆型
メーカー希望価格 (標準タイプ)	

塗装ロボット・システム概要表

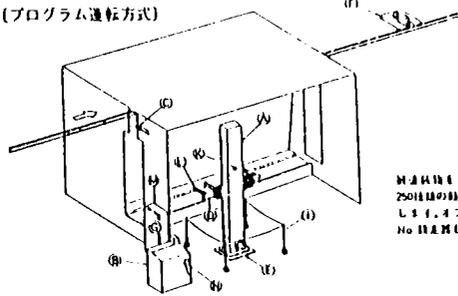
システム・装置名称	塗装ロボット KRE530シリーズ	整理NO	13
適用・対象ワーク		製造会社名	神戸製鋼(株)

装置概要図



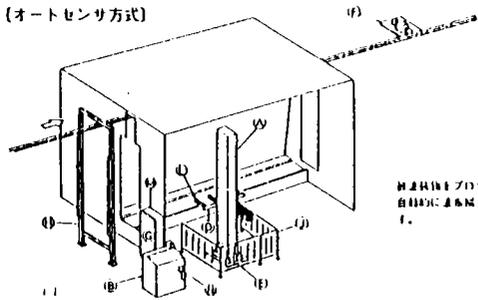
KRE530

(プログラム運転方式)



被塗物もプログラムで管理して250種類の動作・進路パターンで塗装します。オプションのプログラムNo.11も併用してください。

(オートセンサ方式)



被塗物もプログラムで管理せずに自動的に進路検出で塗装します。

- (a) マニピュレータ } レジプロ方式
- (b) 制御盤
- (c) スタートレリス
- (d) ガンステアモータ
- (e) ベースプレート
- (f) コンベア駆動ユニット
- (g) コピー装置
- (h) オートセンサユニット
- (i) 安全ボールスイッチ
- (j) 安全鎖
- (k) エラーOH表示灯
- (l) ガン
- (m) エアコンプレッサ
- (n) 圧縮機
- (o) ティーインポートノズル

特徴・特記事項：新世代レジプロケータ(スーパーレジプロ)  
軸動サーボ制御 (前後・上下軸)

主要仕様	教示方式	レジプロ教示(上下軌跡教示)、ロボット教示、オートセンサー
	アクチュエータ形式	2軸レジプロ方式(ACサーボモータ制御)
	作動エリア寸法	上下方向(1,000~3,200mm)、水平(0~600mm)
	ワーク検出システム	
	塗装装置形式	取付ガン数4丁/1ロボット
	ガン	
	その他	
	その他	異常監視機能

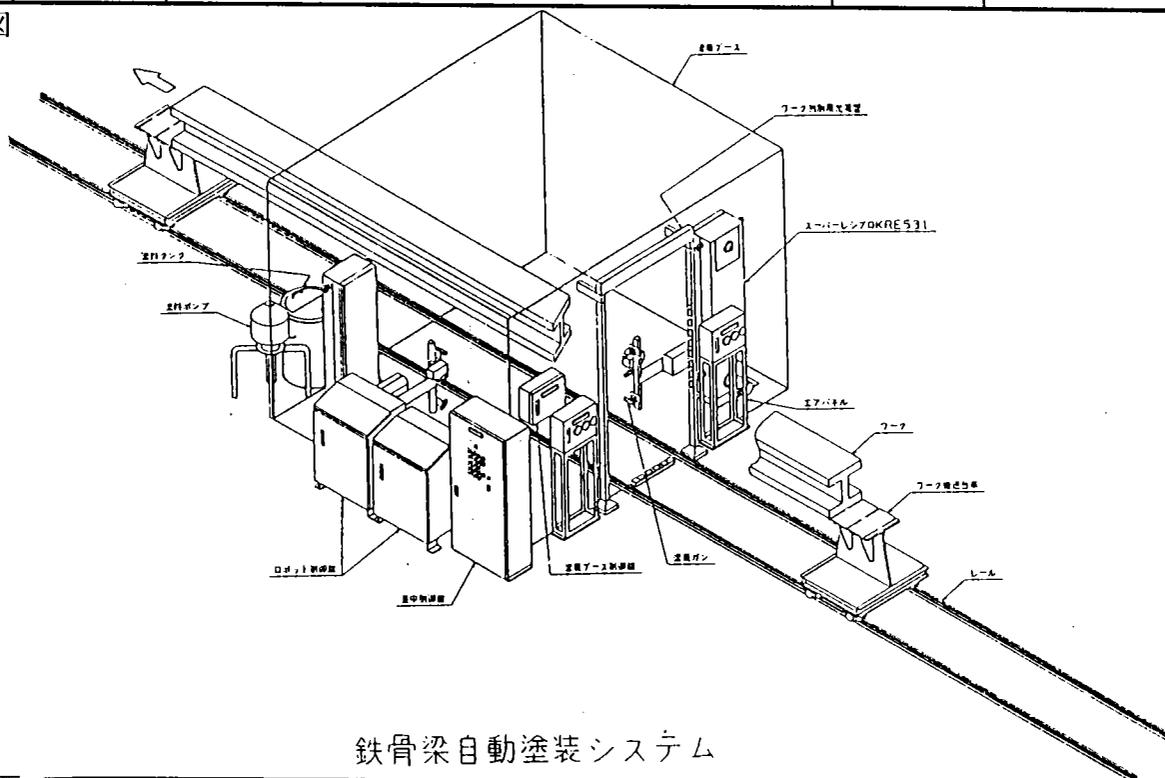
オプション・周辺機器：オートセンサーユニット(被塗装面との距離検出)  
走行ユニット、コンベア周期ユニット  
ガンチルトユニット他

安全・衛生関連装置又は機能	
メーカー希望価格(標準タイプ)	

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	鉄骨梁塗装システム	整理NO	14
適用・対象ワーク	鉄骨梁部材 (I型、チャンネル、Uコラム)	製造会社名	神戸製鋼(株)

装置概要図



特徴・特記事項：広範囲の鉄骨梁に適用可能  
若干のタッチアップ作業が必要

主要仕様	教示方式	オンライン教示 (KOTS)
	アクチュエータ形式	3軸直交型 (ACサーボモーター)
	作動エリア寸法	上下 (1,200mm)、左右 (1,000mm)、前後 (600mm)
	ワーク検出システム	光電センサー、超音波センサー併用
	塗装装置 形式	エアレスガンスプレー (3丁/1ロボット)
	ガン その他	塗装ポンプ (エアレス) ・エアパネル
その他	塗装ブース (ドライブース)	

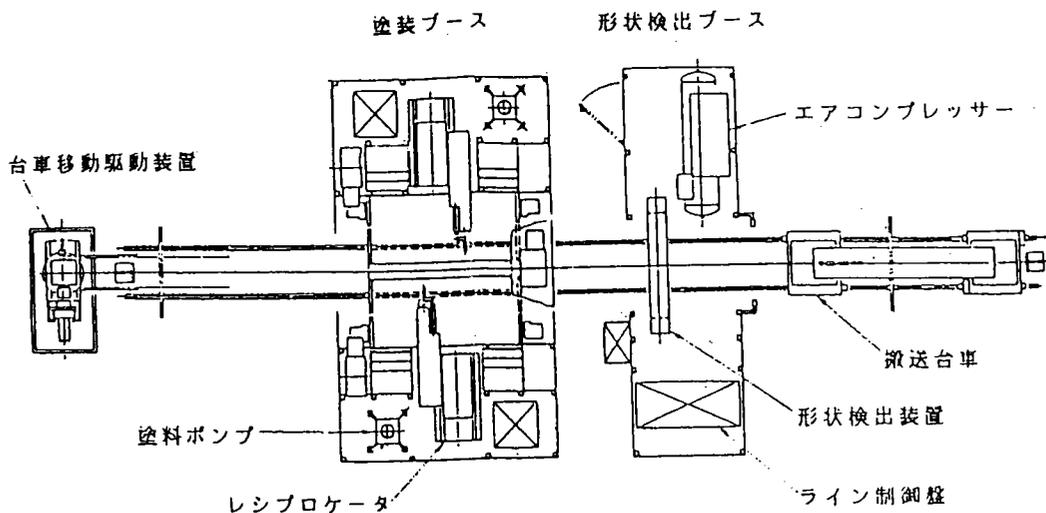
オプション・周辺機器：走行装置 (レール走行台車方式)  
ストローク 19m  
駆動部にはパネルジェネレーター取付 (移動量検出)

安全・衛生関連装置又は機能	塗装ブースで自然吸気強制排気
メーカー希望価格 (標準タイプ)	30,000千円

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	梁自動塗装装置／省スペース型もある	整理NO	15
適用・対象ワーク	I桁梁	製造会社名	日立造船(株)

装置概要図



特徴・特記事項：片面往復塗装型（作業占有面積の削減）…省スペース型  
 主断面寸法内の突起物も同時施工  
 寸法外突起物に対する自動退避機構

主要仕様	教示方式	I桁のウェブ高、フランジ巾を入力
	アクトエータ形式	レシプロ方式
	作動エリア寸法	ウェブ高 (300~900mm)、フランジ巾 (100~400mm)、長さ (6~12m)
	ワーク検出システム	光電管および超音波センサー固定式
	塗装装置形式	エアレススプレー
	ガン	
	その他	
	その他	塗装ブース（ドライブース）…省スペース型は移動式

オプション・周辺機器：搬入台車、台車移動駆動装置…省スペース型では不要

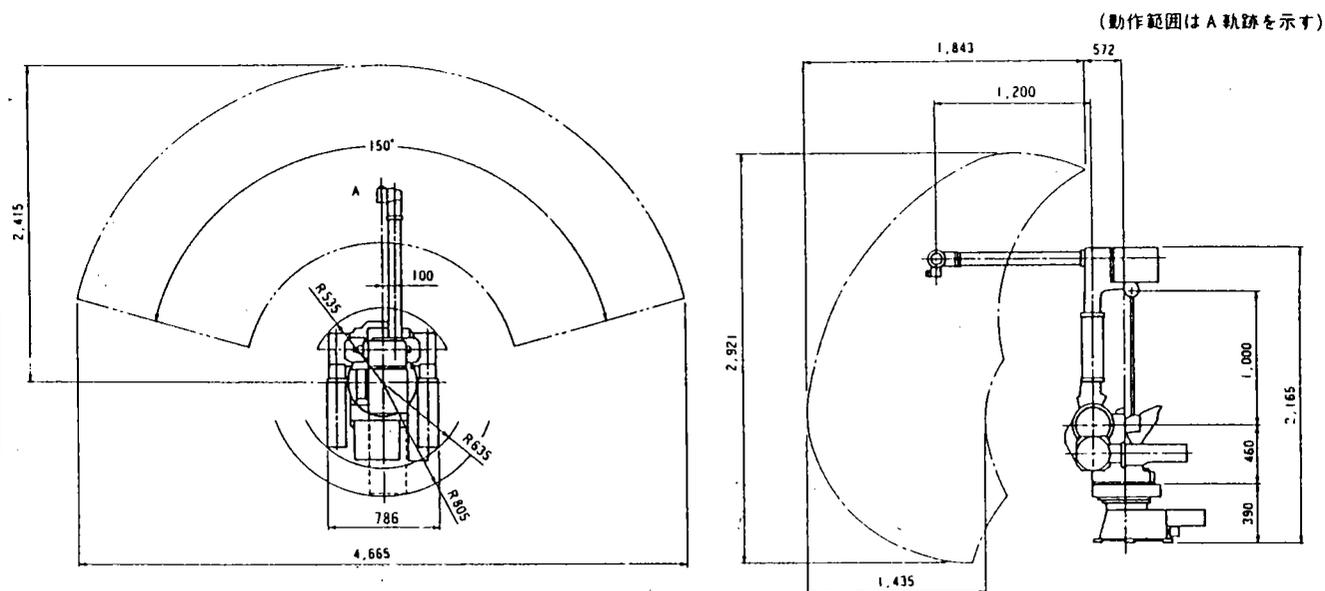
安全・衛生関連装置又は機能	ブース内遮蔽（エアカーテン）、ブース内排気（電動ファン）
メーカー希望価格（標準タイプ）	28,000千円

塗装ロボット・システム概要表

システム・装置名称	塗王 (TUWANG)	整理NO	16
適用・対象ワーク	特に指定なし	製造会社名	岩田塗装機工業株式会社

装置概要図

■動作範囲 (単位: mm)



特徴・特記事項：4種の座標系で作動できる  
 アームブレ修正機能  
 コンベアとの連動ソフト  
 オートラン・オートストップ記憶機能  
 ティーチングデータはすべて専用ICカード方式

主要仕様	教示方式	CADからのオフラインティーチングシステム
	アクチュエータ形式	多関節型
	作動エリア寸法	装置概略図参照
	ワーク検出システム	
	塗装装置形式 ガン その他	静電オートガン、自動スプレーガン、リバーシブルガン、 ロタリースプレー
その他		

オプション・周辺機器：専用ワーク搬送装置、各種マニプレーター

安全・衛生関連装置又は機能	防爆型
メーカー希望価格 (標準タイプ)	