

ロボット配置計画とシミュレーション*

三 橋 寛 治**

1. はじめに

産業用ロボットの新機種およびその性能に関する論文は多い。しかし、完成された産業用ロボット（以下、ロボットと略す）を、実際の生産工程で使用する場合の導入過程について述べた論文は少なく、たとえあったとしても、個々の案件に密接な関係をもつ事例集や個別の資料にとどまることが多い。

このことは、ロボット導入前にロボットメーカーおよびユーザが、予め導入後の生産工程について行う検討内容が、そのときどきの事例に応じて現実的な解決を迫られるため、いきおい経験や勘によって判断することが多く、したがってこれを一般的な論文のがたちにまとめあげにくいからなのである。

しかしながら、このロボット導入前の事前検討の役割は非常に重要である。整然とかつスピーディに与えられた仕事をこなしていくロボットを中心とした生産システムが、ロボットの性能に負うところが多いのはいうまでもないが、それにも増して、その生産技術者やロボットの適用技術者の高度な技術力と知恵を織り込んだ、現場的なノウハウによって支えられていることを知らなければならぬ。

本稿では、ロボットを生産工程に導入する場合の、ロボットメーカー側からの適用技術の実際について、すなわちロボットの配置計画とその作業動作の事前チェックについて、概要を解説する。

2. ロボット配置計画の概要

ロボットの配置計画とは従来、専用自動機や人手作業で行っていた生産工程を、ロボットを中心とした生産工程に置換しようとする場合、特に複数台のロボットを必要とする場合において、作業目的に合ったロボットを選

択し、ロボット間の作業分担をとり決め、ロボットの動作領域を考慮して、そのロボットの能力が最大限に発揮できるよう治具やコンベアなどの周辺装置を配置し、目的に合った効率のよいロボットによる生産システムを計画することである。

2.1 適用技術の概要

ロボットによる生産システムが他の専用自動機によるそれと異なる点は、システムを中心となるロボットが、システム個有のニーズに基づいてつくられたものでないことである。すなわち、千差万別の生産条件に対して、それらのニーズを最大公約数的に満たすよう設計、製作された、いわゆる標準仕様ロボットを、オーダーメイドとしての生産システムにいかにか効率よく組み込むか、が最大の課題となることである。それ故、既存のロボットをいかにか利用するかを検討する適用技術と、生産工程としての効率化を検討する生産技術の双方によって、ロボット生産システムが構築される。

一般に、まずユーザ側において設備計画の具体案が検討され、その基本構想に基づいてロボット側からの対応力を検討することとなる。たとえば、ロボットを50台以上用いるような生産システムを計画する場合、ロボット側からみたシステムへの対応力を検討し始めてから生産システムが稼動するまでのリードタイムは約1年を要する。その間に設計条件や評価基準の重み付けが変更される場合が多い。幸いなことに専用自動機と異なって、ロボットの場合は汎用性をもっているため、このような変更に対しても、その都度対応していけるという強みはあるものの、適用検討での検証、評価という作業は、その都度行わなければならない。

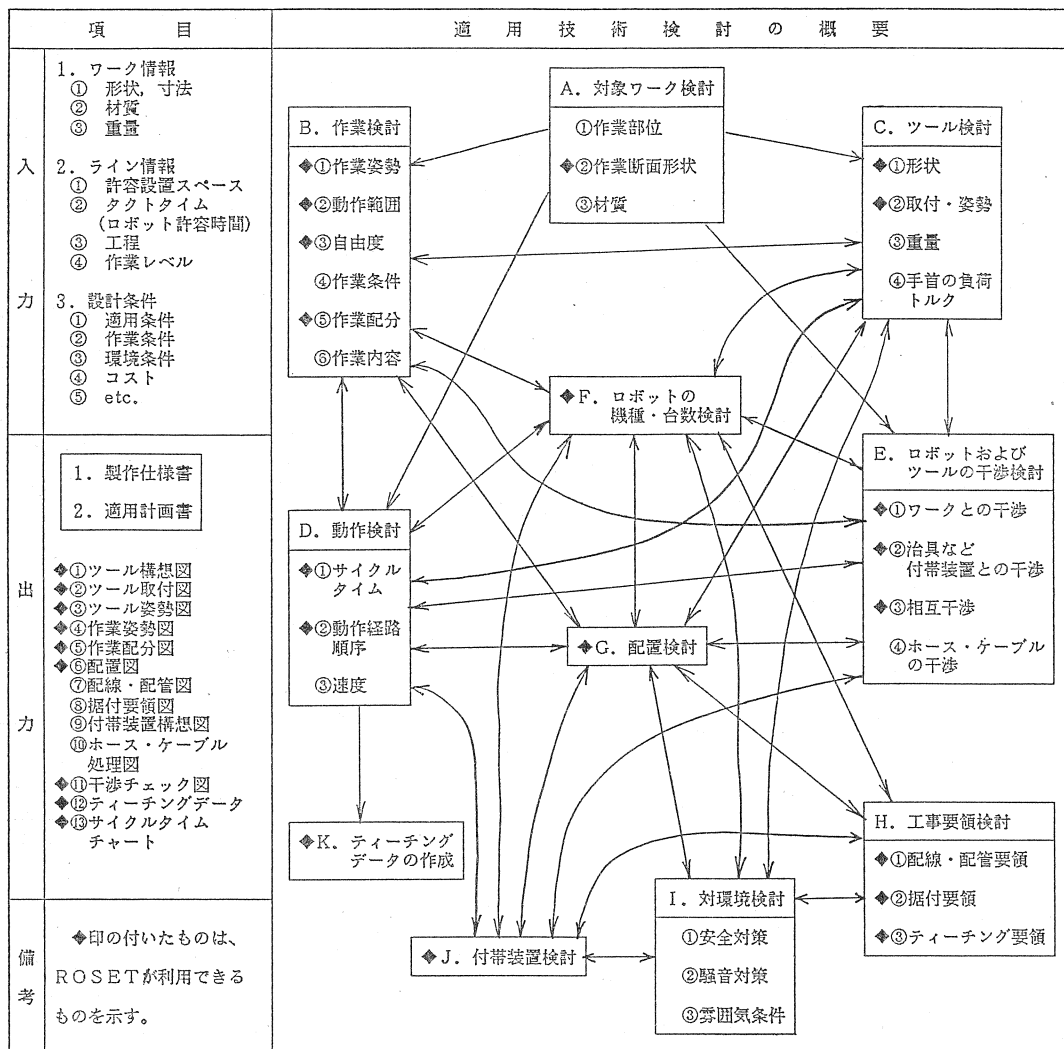
図1に、一般的な適用検討業務の項目と各項目の相互関係を示す。図中の矢印は、各業務の検討結果が相互に影響し合っていることを示し、シーケンス的に処理できないことを示している。ただ各業務のなかでは、それぞれ基本設計、概略検討、詳細検討といったレベルで作業フローが存在することはいうまでもない。

さて、図1に基づいて適用技術の概要を述べる。

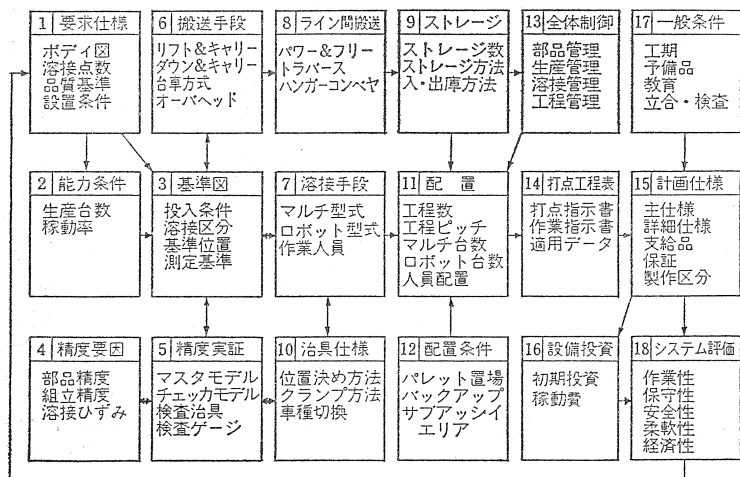
原稿受付 1984年12月26日

* Layout Planning and Simulation for Application of Robots

** 川崎重工業(株)ロボット事業部技術部



↑ 図 1 適用技術検討の概要



← 図 2 設備計画の検討過程

(A) 最初に、ロボットが作業対象とするワークについて作業すべき個所、その形状、材質などを調査する。次に(B)目的とする作業を行うには、ロボットとしていかなる作業要件を満たしていなければならないか、について作業姿勢、動作範囲、とりうる自由度、作業条件(周辺装置とのインターロック用入出力点数など)、作業配分(ロボットと専用機、またはロボット同士など)、作業内容(アーク溶接、塗装など)などを調査する。また(C)ワークに対する作業治具について、治具の形状、ロボットの取り付け方法、その重量、ロボットの手首にかかる負荷トルクなどを調査する。更に(D)目的とする作業時間について、作業サイクルタイム、これに関連してロボットが動作しうる空間経路の指定およびその順序、ロボットアームの移動速度などを調査する。このように、必要とされるロボットおよび作業治具のイメージが明確になってくると(E)ワークとロボットおよび治具、ロボット同士、ロボットと周辺装置、ロボットと作業用ケーブル、などの間に不必要な衝突や干渉がないかを調査する。以上のような検討過程のなかから、(F)既存のロボットのどれがこの作業に適しているかを明確にしていき、ロボットの機種および必要台数を具体的に選択する。次に(G)選択されたロボットを実際に配置した場合、上記検討結果と矛盾がないかどうかを調査する。更に(H)ロボットを現場に据付けるときの工事について、工場電源、ロボットへの配線、据付け時の条件などの検討、(I)対環境性について、ロボットに課せられる安全対策、騒音規制、温度、湿度などの検討、(J)ロボットにまつわる付帯装置(溶接機、インターロック装置など)の仕様の検討、などを行う。

なお最近では、各社とも(K)前述の作業サイクルタイム、動作経路の検討に関連して、ロボットのティーチングデータをも、この適用検討の時点で作成しようとする動きがあり、これによって実際のロボットを用いた現場でのティーチングを削除または簡略化しようとする傾向にある。

2.2 配置計画の実際

前述からも明らかなように、ロボットの配置計画とは、適用検討の結果が表面に現われた結論の一つである。ロボットの配置計画を行う場合に特に難しいのは、生産工

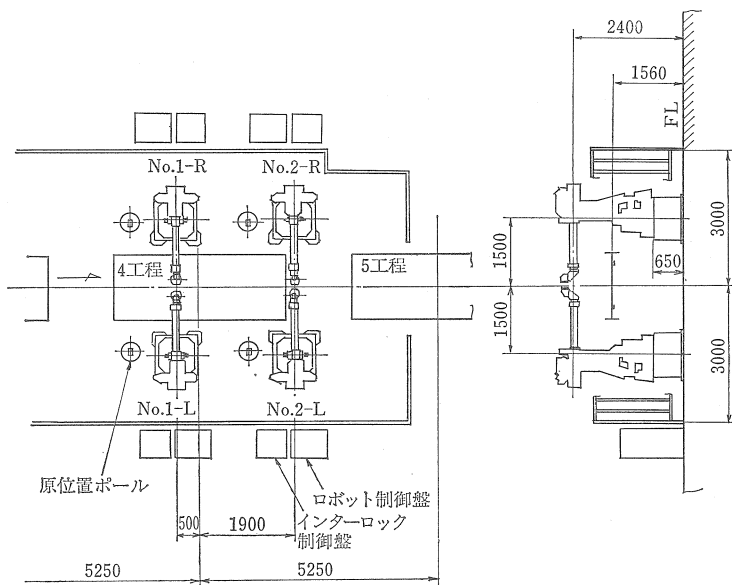


図 3 ロボット配置図の例

表 1 車体組立工場の主仕様

1	名 称	車体スポット溶接ライン
2	生産台数	65台/時間
3	タクトタイム	44秒
4	品 質	溶接品質, ボディ精度
5	ライン構成	リヤフロアライン センタフロアライン フロントボディライン フロアシャシライン フロアシャシ仕上ライン ボディサイドライン R/L ボディサイドインナライン R/L ボディクリップライン ボディメインライン ボディメイン仕上ライン
6	全体制御	CPU
7	ロ ボ ッ ト	203台
8	マルチ溶接機	20工程
9	車 体	車 種: 4車種 寸 度: 3700(L)×1600(W)×1170(H)mm 重 量: 250kg 供給部品: 88点 溶接点数: 3000点 ロボット化率: 85%
10	設置スペース	252m(L)×97m(W)
11	動 力 源	電 源 圧縮空気 冷却水

程がライン化されている場合である。ロボットの適用分野を、スポット溶接、塗装、組立、ハンドリング/パレットタイズと大別するならば、生産工程がライン化される多くの場合は、スポット溶接、塗装、組立であるといえよ

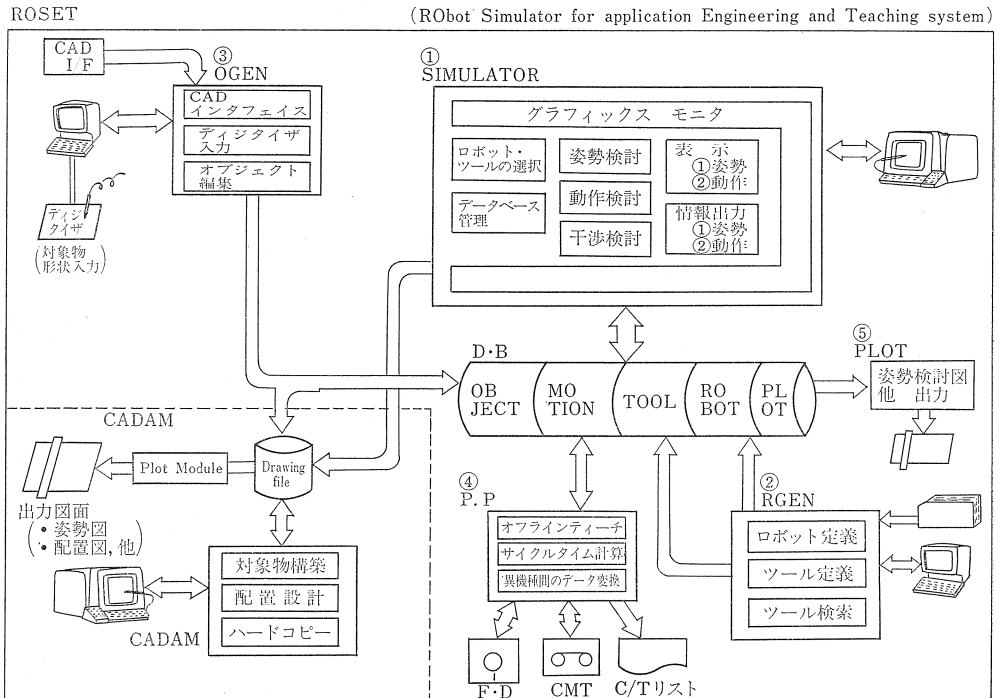


図4 “ROSET” CAD システムの構成

う。

以下に、自動車工場の車体組立工程にスポット溶接用ロボットを導入する場合の事例について紹介する。

ユーザ側における車体組立工程の設備計画は、計画生産台数と設備の使用年数とから設備の基本が検討される。図2に設備計画の検討過程を示す。図に示すように、まず要求仕様（ボディ図、溶接打点数、品質基準、設置条件）と能力要件（生産台数、稼働率）から組立工程の基本図が決定される。この基本図をもとにして、車体の各部分がどのような形で、どの順序でラインに投入され、どの順序で溶接されていくかが展開されていき、図2の配置の段階（図中の11ステップ）で車体組立工場の主仕様決定される。その一例を表1に示す。この段階ですでに概略のロボット台数は想定されるが、その後の検討すなわち図1に示したような適用検討によって、最終的なロボットの台数および配置が決定される。図3に検討結果のロボット配置図の一例を示す。

3. CAD システムによるシミュレーション

以上述べた適用検討によって、ロボットの配置計画がほぼ定まると、この配置計画の妥当性を確認するためにも、その作業サイクルタイムが規定のタクトタイムに入っているかどうか、またロボット同士の動作領域が重なりあっている場合には、作業中に互いにアームが衝突す

るような事態がないかどうか、更にロボットとワーク、周辺装置が干渉することがないかどうか、などを検討する必要がある。このようなロボットの動的な作業状態をチェックするためには、同時性の検討を要し、従来はここでも試行錯誤の検討を余儀なくされていた。

しかし、最近のコンピュータによるシミュレーション技術の進歩により、このようなダイナミックスの検討も容易になってきた。とはいうものの、前述のように適用検討という業務は、単にロボット側の課題にとどまらず、システム全体に対する高度な経験的判断を必要とするため、そのコンピュータシステムへの置換も、実用レベルでは人手作業の支援システムとして実施されているのが現状のようである。

以下に、CAD システムの一例として当社の実施例である、“ROSET” (ROBOT SIMULATION FOR APPLICATION ENGINEERING AND TEACHING SYSTEM) の概要を紹介する。

3.1 CAD システム—ROSET—の概要

ROSET は、ロボットの配置計画のシミュレーションを主目的としながらも、配置計画自体の構築も可能なCAD システムである。全適用検討のなかで、ROSETが利用できる作業項目を図示すると、図1における◆印となる。

図4は ROSET の全体構成を示す。図より明らかなよ

表 2 ROSET サブシステムの概要

No	サブシステム	機器構成	機能	特徴	入 力		出 力	
					項 目	入力元	項 目	出力先
①	SIMULATOR	<ul style="list-style-type: none"> 表示装置 グラフィックスディスプレイ (G.D.) ファンクションキーボード ライトペン 	<ul style="list-style-type: none"> 以下の作業に利用される。 ①適用設計作業 <ul style="list-style-type: none"> ツールの形状構想 ロボットの配置検討 ロボット、ツールの姿勢検討 ロボットの動作範囲検討 動作経路の検討 サイクルタイムの検討 干渉検討 (目視) 動作の検討 ②ティーチング作業 <ul style="list-style-type: none"> ティーチングデータの作成 	<ul style="list-style-type: none"> ROSET の中核となるサブシステムで G.D. 上でロボットとツールを自由に組合せて対象物に対するロボットの姿勢動作、サイクルタイムなどの検討が対話的に行なえる。 検討結果を G.D. 上で確認できる。 	<ul style="list-style-type: none"> リンクデータ ロボット ツール 形状データ ロボット ツール 対象物 	<ul style="list-style-type: none"> RGEN RGEN OGEN 	<ul style="list-style-type: none"> 配置情報 姿勢情報 動作情報 サイクルタイム 計算値 ティーチングデータ など 	<ul style="list-style-type: none"> P. P PLOT CRT CADAM
②	RGEN	CRT	<ul style="list-style-type: none"> ①ロボットやツールのリンクデータを定義する。 ②ロボットやツールの形状を円柱、角柱、円錐台などの多面体モデルとして定義する。 ③登録ツールの選択 	<ul style="list-style-type: none"> ツールの形状構築は、形状パターンによるパラメトリック方式によって簡単にできる。 CRT に表示される形状を見ながらツールの選択ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> リンクデータ ロボット ツール 形状データ ロボット ツール キーワード 型式、重量、寸法など 	<ul style="list-style-type: none"> 使用者 使用者 	<ul style="list-style-type: none"> リンクデータ ロボット ツール 形状データ ロボット ツール 登録ツールの名前 	<ul style="list-style-type: none"> SIMULATOR RGEN (CRT)
③	OGEN	<ul style="list-style-type: none"> グラフィックスディスプレイ ディジタイザ CRT 	<ul style="list-style-type: none"> 対象物の CAD 情報を定義する。 	<ul style="list-style-type: none"> 情報定義の方法として ①操作が簡単なディジタイザを利用する方法と ②他 CAD システムを利用する方法とがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 図面情報 	<ul style="list-style-type: none"> 使用者 	<ul style="list-style-type: none"> 対象物形状データ 	<ul style="list-style-type: none"> SIMULATOR
④	P. P	<ul style="list-style-type: none"> プリンター カセットデッキ ディスクドライブユニット CRT 	<ul style="list-style-type: none"> ①各種検討結果を出力する。 <ul style="list-style-type: none"> 各種リスト サイクルタイム (C/T) チャート ティーチングデータ など ②異機種間のティーチングデータ変換を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 豊富な出力機能を有している。 	<ul style="list-style-type: none"> 各種出力情報 	<ul style="list-style-type: none"> SIMULATOR 	<ul style="list-style-type: none"> C/T チャート リスト類 姿勢情報、動作情報など ティーチングデータ 	<ul style="list-style-type: none"> *出力媒体 プリンター *カセットテープ or ディスケット CRT
⑤	PLOT	プロッター	各種図面を出力する。	図面出力が簡単にできる。	図面情報	SIMULATOR	<ul style="list-style-type: none"> 図面類 配置図、姿勢図 ツール形状図 	<ul style="list-style-type: none"> *出力媒体 プロッター

うに、システム全体は5つのサブシステムから構成される。表2に各サブシステムの機器構成、機能、特徴などを示す。なお ROSET は、CADAM (注1) とのインターフェイスも有しており、CADAM をワーク形状の入力、配置計画の出力図修正などに利用することができる。

3.2 CAD システム—ROSET—の機能

(1) ROSET の適用分野

ROSET はスポット溶接、ハンドリング、アーク溶接の3つの分野に利用することができる。将来的には、塗装、シーリングにも適用可能とする。

(2) 対象ロボットの機種

上記適用分野に対して、当社が有する代表的な標準ロボットはすべて対象とする。

(3) 利用時における有効な機能

図5に ROSET を利用する場合の作業フローを示す。

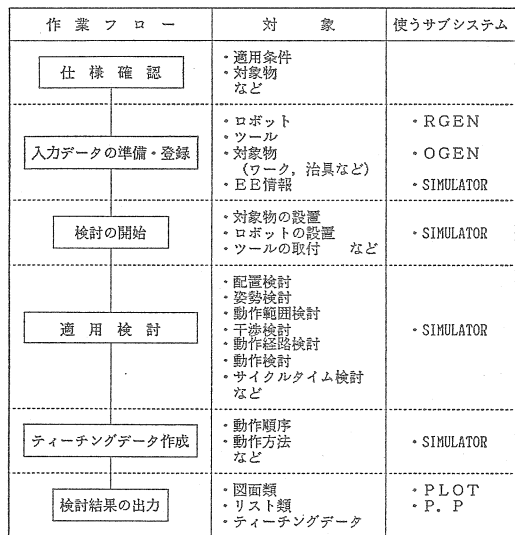


図 5 ROSET を用いた作業フロー

注1) ロッキード社が開発した CAD/CAM システムの商標名で、Computer Augmented Design And Manufacturing の略。

図に示すように、入力データの準備、登録が前作業として必要であるが、既に登録されているデータが利用できる場合は、これを省略することができる。なお新規登録の場合にも、ワーク情報に関しては、他の CAD システムで作成されたデータを直接入力することができる有効な機能がある。以下に、ROSET 利用時における特徴的な機能を示す。

(i) ツールの形状設定機能

この機能は、ユーザから提供されたワーク情報に基づいて使用するツールの形状や寸法などの主仕様を検討するときに利用する機能で、ROSET では、ツールの多面体モデルを入力する手段として、サブシステム RGEN のなかに、以下に示す3つの方法を準備している。

- ① 形状パターン化によるパラメトリック方式
- ② 形状定義のために寸法値を直接キーインする方式
- ③ 検索システムにより実績ツールを選択し、これを手直しする方式

(ii) ロボットの動作範囲および姿勢に関する検討機能

この機能には、以下に示す2つのモードがある。

- ① ティーチングモード：実際にロボットを操作するが如く、グラフィックディスプレイ上でロボットを動かすことができるモード
- ② 解析モード：予め定義されている EE 点^{注2)}を基準にして、すでに配置されたロボットの位置関係から、可能なロボットの姿勢や動作範囲を解析的に求めるモード

(iii) 姿勢の再解析機能

この機能は、ひとたび登録された姿勢情報をもとに、ロボットの据付位置やロボット、ツールの変更の際して、対象となるロボットの全姿勢を解析的に作成する機能である。

(iv) 干渉検出用表示機能

この機能は、ロボットとツール、ロボットとワーク、ツールとワーク、さらにはロボット同士の干渉検出を行うために、グラフィックディスプレイ上に多方向からこれら機器間の位置関係を表示することができる機能である。ただし、干渉チェック自身は目視で行う。なお将来的には、自動干渉判別機能とする。

(v) ダイナミックスの検討機能

この機能は、登録された姿勢情報をもとに、動作順序(経路)、動作速度、動作方法 (PTP^{注3)}/CP^{注4)}) などを

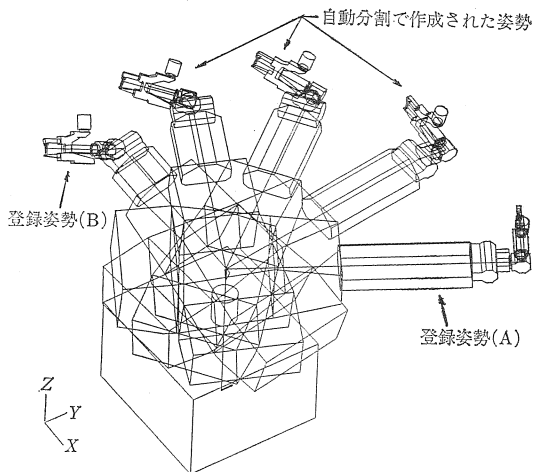


図 6 極座標型ロボットの連続動作の例

指定して、ロボットの動作情報を作成する機能である。この動作情報を利用することによって、ロボットの姿勢を動作順に連続表示 (アニメーション) することができる。それ故、オペレータは実際にロボットが動いているような状態でシミュレーション検討が可能である。図 6 は姿勢を変更しつつ動作するロボットのシミュレーション検討図である。図より明らかなように、表示の視点を変えることができ、本図では、XY 面上で X 軸を -55° 、Z 軸を -45° 回転させた場合を示している。

(vi) 作業サイクルタイムの算定機能

この機能は、ロボットの動作情報を作成した時点で、予め登録されている内部テーブルを検索して、作業に要する動作時間の算定を行う機能である。将来的には、ロボットの制御アルゴリズムを本システムに組み込み、動作時間の算定精度を上げる。

(vii) オフラインティーチング用データ作成機能

この機能は、上述の動作情報をもとにして、これをロボットコントローラで使われるデータ形式に変換し、データ授受媒体 (カセットテープまたはフロッピーディスク) に出力する機能である。出力されたデータには、動作順序や位置情報などのほかに動作方法 (PTP/CP) などが織り込まれている。このデータを用いることにより、実際のロボットを用いたティーチング作業が大幅に短縮される利点がある。

3.3 配置計画とシミュレーションの出力例

図 7 に ROSET の出力図の一例を示す。本例は当社製多関節型電動ロボット (EA-65S) を 10 台使ったスポット溶接ラインの例であり、これはある時間断面においてとられた配置図兼姿勢図の平面図であるが、正面図、側面図と合わせて利用することによって、連動運転時の

注 2) END EFFECTER の略で、ツールの姿勢を決めるための情報 (作業対象となる 3 次元点の座標値、面直方向、ツール進入方向の 3 つの情報) が定義された点

3) Point To Point の略

4) Continuous Path の略

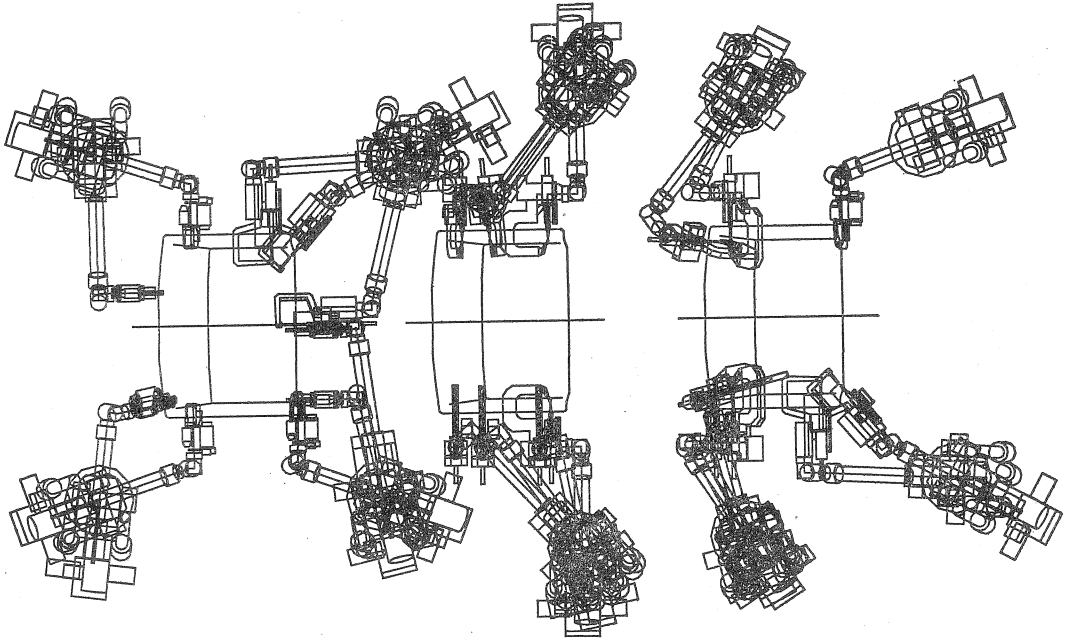


図 7 出力図例：スポット溶接での作業姿勢（ロボット機種：EA-65）

隣接するロボット同士の干渉チェックも行うことができる。

4. おわりに

ロボットを生産工程に導入する場合の計画段階におい
さ、予めロボットの作業状態を想定することができ
ば、導入後の生産ラインを短期間に立上らせることが
でき、ユーザ・メーカ共に多大な効果をもたらすこと
はいうまでもない。しかし、本文でも述べたように、こ
れらの事前検討の多くは実用レベルではほとんど手
作業に負っているため、正確に想定できないのが現
状である。

しかしながら、昨今の急速なコンピュータ関連技
術の進歩により、試行錯誤も次第に論理化される
ぎざしがあ。当社が開発した CAD システムもその
一例であり、“ROSET”は今や当社にとって必要不
可欠な道具となっている。

今後、ますますこの分野の技術が進展しつつある
ことから判断して、近い将来ロボットの動特性を実
機に即し

た状態でモデル化することも行われ、実時間でロボ
ットの動作順序、周辺装置との関係、ロボット同
士の干渉、作業時間などをチェックできるシステム
が出現することだろう。

最後に、本稿執筆に関して種々御協力下さった
当社電算室の方々および当技術部関係各位に深謝
します。



三橋寛治

(Kanji MITSUHASHI)

昭和 36 年姫路工業大学電気工学科卒業。
同年川崎重工業株式会社入社。同社技術開
発本部制御技術部においてデジタル電子
技術および制御用計算機応用技術の研究開
発に従事。43 年産業用ロボット国産化研究に着手。以来
ロボット関係の研究開発に従事し、56 年 3 月同社
ロボット事業部門に転籍。現在同社ロボット事業部
技術部開発課主査として電気電子制御関係の開
発部門担当。計測自動制御学会会員

(日本ロボット学会正会員)