特 集

アーク溶接ロボットの現状

Present Situation of Arc Welding Robot

技術資料

1. 序 説*

中 村 孝**

General Scope*

by Takashi Nakamura**

1. アーク溶接ロボットの歴史

アーク溶接ロボットの歴史といっても、語るに足るほど長いものではない。そもそも工業用ロボット自体わずかに20年足らずの歴史に過ぎない。もっともロボットの定義しだいでは200年にも及びかねないが、

工業用ロボットの実用機が完成したのは1963(昭和38年)で、米国のAMF社とユニメーション社がほとんど同時に完成しており、ともに翌年発売に踏み切っている。わが国には昭和42年にAMF社のロボット「パーサトラン」が紹介され、続いて川崎航空機(その後川崎重工業)が翌年ユニメーション社と技術提携している。はじめはAMF社の「パーサトラン」という商品名でも解るように、物品のトランスファ(搬送)用であったが、たまたま、自動車ボデーの最終組立ラインのスポット溶接に好適という点が歓迎されて、日本の自動車会社に数多く採り入れられ、昭和53年には1社で260台を突破というような自動車会社も現われたのである。このように急速にスポット溶接ラインにロボットが採り入れられたのは、その高生産性にあるのではなく、もっぱらロボット

のもつ「フレキシビリティ(柔軟性)」によるものであった。生産性という点では従来の大規模なマルチスポット溶接ラインにかなわなかったが、石油ショック以来、高度成長時代が不確実性多様化の時代になると、大規模専用ラインでは到底ニーズに追付けなくなったからである。すなわち、ひん繁なモデル・チェンジに対し、大規模専用ラインは設計・製造に長期間を要し、その立上りに間に合わないことや、各モデルの需要の変動に応じ切れなかった。その点ロボットは汎用機であり、溶接ジグを作ることとプログラムを組むだけでモデル・チェンジに対応することができ、しかも同一ラインでいくつかの車種を生産するいわゆる「混流生産」が可能というフレキシビリティを有していたからである。すなわち、FMS(Flexible Manufacturing System)への解答として、ロボットが打ってつけであったからである。その上、ポータブル・スポット溶接という苦役作業からの解放という点も、ロボット導入促進に大いに力があつた。

しかしながら、アーク溶接ロボットに関しては、スポット溶接よりもさらにむづかしい要求があり、その普及実用化は遅々として進まなかった。それは両者の間に表1に示すような特性上の相違があり、特に運動の複雑さと位置精度という点において、アーク溶接ロボットの方が

*原稿受付 昭和57年5月7日

**正 員 (株)電元社製作所 Member, Dengensha Mfg. Co., Ltd.

表1 ロボット作業から見たスポット溶接とアーク溶接の相違

項 目	スポット溶接	アーク溶接	
		薄板構造物	中, 厚板構造物
負 荷 重 量	大	小	小～やや大
位 置 精 度	低 精 度	高 精 度	中～高精度
移 動 速 度	大	中	小
位 置 制 御	PTP (点位置決め)	CP (連続経路)	
溶 接 条 件	少 い	多 い	特に多い
特 殊 制 御		トーチ姿勢制御, ウィーピング クレータ, フィラー等	
溶 接 姿 勢	全方向容易	下向きが望ましい(他姿勢では 溶接条件の制御が必要)	
被 溶 接 物	一般に大形	小～中形	中～大形
労 働 環 境	単 調 作 業 重 労 働	やや技能的 軽 労 働	高度技能 やや重労働
		溶接ヒューム発生	

格段にむづかしいためであった。

しかしながら, その間において地道なアーク溶接開発努力が続けられ, 新明和工業においては昭和45年以来ポジショナとの組合せによる直交座標形のアーク溶接ロボットの開発に努力し, その後次々と各サイズのロボットを完成した。昭和45年には安川電機が現物倣いのアーク溶接ロボット“アークマツ”を製作, 昭和47年には不二越—電元社のコンビで, 現物倣いティーチング方式の直交座標形アーク溶接ロボット“ウェルマン”を完成している(図1)。昭和49年には三菱重工において造船用“升目水平すみ肉溶接ロボット”を製作した。

図1 アーク溶接ロボット“ウェルマン”

以上のような努力にもかかわらず, スポット溶接ほどにはアーク溶接ロボットは進展を見せなかったが, 1974(昭和49年)にスウェーデンの ASEA 社が, 画期的な全電動式関節形ロボット(図2)を発表するや, これが非

図2 ASEA 社の全電動式関節アーム形ロボット

常な刺激となり, 昭和52年には逸早く安川電機によって, 同形式のロボットが完成, 同年秋から“モートマン L-10”として発売された。この頃にはマイクロコンピュータを初めとするエレクトロニクスの異常ともいえる急進展により, 品質, 価格とも非常な変革があり, スポット溶接ロボットに対する遅れが, 内部圧力として蓄積されていたことと相まって昭和55年には爆発的な売れ行きを見せた。同年をしてロボット普及元年と言わしめるに至ったほどであり, その後はスポット溶接用ロボットを大きく引離す伸長ぶりを見せているのである。

2. ロボットの種類

そもそも“ロボット”という言葉は, 1920年(大正9年)にチェコスロバキアの劇作家カレル・チャペック作の戯曲「ロッサムのユニバーサル・ロボット」に由来するものである。このロボットは全く「人造人間」——人が造り出した人にそっくりの人間で SF 的なものであるが, われわれの扱う工業用ロボットとなると, 人間とは似ても似つかぬしろ物である。しかもその定義たるや, はなはだあいまいである。欧米では, 一応 programmable manipulator—(自由に)プログラムをすることのできるマニピュレータということになっている。マニピュレータというのは, 近ごろ評判の研究社の新英和大辞典によると, 「操縦者(人の代りに物をつかんだり動

かしたりする)操縦機」となっているが、JIS B 0134「産業用ロボット用語」の定義では、次のように特別な意味を持たせている。

マニプレータ：人間のし（肢）の機能に類似した機能を持ち、対象物を空間的に移動させるものとなっている。ついでに上記 JIS によるロボットの種類を掲げると、表2のごとく6種となる。実はこの分類は困ったもので、欧米諸国から“ロボット王国日本”と過大評価される原因ともなっている。すなわち欧米諸国では、ロボットとして扱っていないマニュアル・マニプレータや固定シーケンス・ロボットまで含めているため、日本には75,000台ものロボットがある、と驚ろかれることになるが、欧米で工業用ロボットと考えているプレイバック・ロボット以上に限れば、約7,000台（昭和56年末現在）と推定され、75,000台の1割にも満たない。参考に掲げておいた平均単価を見ても、マニュアル・マニプレータや固定シーケンス・ロボットは、いずれも150万円前後であり、800万円以上的高级ロボットと比べても異質のものであることが解る。

表2 産業用ロボットの種類
—入力情報・教示からの分類—

番号	用 語	意 味	(参 考) 平均単価*
1102	マニュアル・マニプレータ	人間が操作するマニプレータ。	147万円
1104	固定シーケンス・ロボット	あらかじめ設定された順序と条件及び位置に従って動作の各段階を逐次進めてゆくマニプレータで、設定情報の変更が容易にできないもの。	167万円
1105	可変シーケンス・ロボット	あらかじめ設定された順序と条件及び位置に従って動作の各段階を逐次進めてゆくマニプレータで、設定情報の変更が容易にできるもの。	377万円
1106	プレイバック・ロボット	あらかじめ人間がマニプレータを動かして教示することにより、その作業の順序、位置及びその他の情報を記憶させ、それを必要に応じて読み出すことにより、その作業を行えるマニプレータ。	872万円
1107	数値制御ロボット	順序、位置及びその他の情報を、数値により指令された作業を行えるマニプレータ。 例：せん孔紙テープ、カードやデジタルスイッチなどによるもの。	2,132万円
1108	知能ロボット	感覚機能及び認識機能によって行動決定のできるロボット。	818万円

註）*最近5カ年間（昭和51～55年）の平均値

高級ロボットに関しては、欧米諸国にもわが国とはほぼ同数かそれ以上の台数があり、伝えられているようにわが国が世界の大半を抑えているというのは誤りである。しかし、日本1国で世界の40%以上のロボットを保有しているのであるから、やはりロボット大国であることは確かであろう。

図3 最近6カ年間の各種工業用ロボットの生産額

最近の工業用ロボット生産の足どりを見ると、図3のごとくである。このうちプレイバック・ロボットの大半は溶接ロボットである（NCロボットは昭和55年だけ異常に伸びているが、これはほとんど全量 LSI 用ワイヤ・ボンダである）。昭和56年末現在では溶接ロボットの台数は、およそ4,000台と推定され、その内また約半数の2,000台がアーク溶接ロボットである。

3. ロボット溶接の特質

ロボット・アーク溶接には二つの流れがある、それは、
薄板・多量生産向けロボット溶接
中厚板・中量生産向けロボット溶接
の二つであり、それぞれによって適するロボットの形態も、具備すべき条件、導入上の注意などもいささか趣を異にしている。

3.1 薄板・多量生産向けロボット溶接

このロボットは、自動車ボデーの組立ラインに使用されるロボットと同様に“フレキシビリティ”を最大の狙いとしているものである。一般に薄板・多量生産部品はプレス成形品であり、溶接線は複雑な三次元の形状をなしていることが多いから、マルチヘッドの専用自動アーク溶接装置を設計・製作するには長期間を要し、製品の

立上りに間に合わないし、また変動する需要に応ずるために多モデルの混流生産を行わねばならないなど、生産のフレキシビリティを要求されることが多くなったのである。また、中小企業における熟練溶接工の確保がむづかしいこともロボットの採用に拍車をかけている。したがって上記のような FMS 的な要求のない単純多量生産の場合や、溶接線が単純な直線や円（平面円、円周とも）である場合などには、ロボットによるべきではない。

また、形状複雑な部品においては、トーチが反対側まで回り込んで溶接することを要求されることも少くないので、バーアーム形のロボットでは、バーが部品と干渉して溶接できない部分が生ずる惧れがあり、行動の自由度の高い関節アーム形ロボットの方が適している。

この種の多量生産品においてロボット導入上最大の問題点は部品精度である。溶接線の位置精度を少くとも溶接ワイヤ径の2分の1程度（1.2mmのワイヤならば、±0.6mm）に保つべきであり、極言すればそのような精度が出せない限りロボット溶接を採用すべきではない。溶接線の精度不良を補うために、ウィーピングを加えたり、各種センサによって実物倣いを行わせたりすることも可能であるが、量産品においてはこのような逃げ道を選ぶべきではない。量産品においては最も重要なことは製品の品質であり、その品質は生産工程における品質管理において確保すべきものである。安く作るためには良くなければならない「良からう安からう」であるのが、量産品の生産技術上の特質であることを考えれば、精度確保が大前提であり、ウィーピングやセンサによるシーム・トラッキングなどの安易な道を探るべきでないことが解るであろう。

3.2 中厚板中量生産向けロボット溶接

各種機械構造物の構成部品や、建築物の構成部材など中厚板（たとえば6～20mm）構造物では、生産数量も薄板部品ほどではなく、反対に溶接線は比較的単純である場合が多い。一方、板厚が大になれば、溶接速度を向上するためには positioned welding（下向き溶接）にしなければならないから、ロボットによるトーチの操縦だけでは不十分で、部品の方も回転させる必要がある。そのため、ターンテーブル、ポジショナ、ターニング・ロールなど対象物を動かすマニピュレータと組合せて使用するのが原則である。したがって自由度の軸数も、溶接ロボットとマニピュレータの自由度の和となる。

中厚板構造物は一般に大形となるので、溶接トーチの運動範囲が広いことが必要であり、これに適しているバーアーム形のロボットが使用される。マニピュレータと組合せられるために、ロボットの方にはそれほど器用さは必要とせず、直角座標形のロボットが使われることが

多いが、深い箱状構造の底の方を溶接するために、垂直バーアーム形のロボットが歓迎される。

中厚板構造物は、薄板・多量生産部品ほどに高い精度を要求されることは少く、部品精度もそれほど高め得ないので、いろいろなセンサによるシーム・トラッキングが付いていることが望ましいし、溶接のサイズも大きいのでウィーピング機構も必要であろう。

4. アーク溶接ロボットの普及促進施策

工業用ロボットは、悪労働環境、苦役作業からの解放、労働安全衛生、若年労働力、熟練工不足への対応、生産性の向上など多くの特長によって、その需要は増加の一路をたどっているが、何分にもロボットは高価な機械であり、しかも技術的進歩が速く、陳腐化の惧れがあるので、導入ニーズは強いにもかかわらず、購入を躊躇しがちである。こうした状況に応じて昭和55年から、特別償却制度、リース制度、融資制度など政策的な優遇措置がいくつか講ぜられている。

■産業用ロボットの特別償却制度

昭和53年3月末に新設された「重要複合機械装置の特別償却制度」に、「高性能電子計算機制御産業用ロボット」が追加され、昭和55年4月1日～58年3月31日までの3年間に購入した対象ロボットについては、初年度普通償却のほかに13%の特別償却が認められ、取得会計年度の損金として計上することができる。

■アーク溶接ロボットの租税特別措置法

エネルギー対策投資促進税制として、租税特別措置法の「高効率製造設備等」に次の品目が追加され、

「不活性ガス利用アーク溶接機」（炭酸ガス又はアルゴンガスの雰囲気中でアークを発生させて溶接を行うもので、溶接トーチ、溶接電源装置及びワイヤ送給装置を同時に設置する場合のこれらのものに限るものとし、これらと同時に設置する専用の自動走行装置、冷却装置、ガス流量調整器又は自動調整装置を含む）

この条文中の「専用の自動走行装置」に産業用ロボットを当てはめることが認められ、(社)日本溶接協会がメーカーからの申請に基づき、これらの機種を認定している。

この認定機種については、昭和56年4月～59年3月までに炭酸ガスアーク溶接機の専用付帯設備として購入したものに對し、取得額の7%を税額控除するか、通常の償却のほかに、30%を特別償却できる。前項の特別償却制度よりもいかに有利であるかが解るであろう。

■産業用ロボット・リース制度

産業用ロボットの普及を促進する政策手段として、政府財政投融资々金（日本開発銀行融資）によるリース制

図4 リースの手続き

度が設けられている。すなわち、昭和55年4月9日を期して、ロボット・メーカ24社と損害保険会社10社の出資により「日本ロボット・リース株式会社」(略称 JAROL) が設立され、図4に示すような流れに従ってリース契約の手続きが決められている。

リース料は、期間6年のリースとすれば、1000万円のロボットに対し、月額約20万円（年額240万円）で済むし、これは全額経費処分ができるので非常に有利である。すでに多くの会社、特に中小企業において利用者が多く、初年度すでに20億円、第2年度においてはさらに25%以上の増額が見込まれるということである。

■産業安全衛生施設等特別融資

この制度は、危険、苦役作業等労働安全面から問題のある生産工程にロボットを導入しようとする中小企業に対し、中小企業金融公庫、国民金融公庫が、低利の設備資金を融資することにより、その導入を容易にするもので、対象機種は日本産業用ロボット工業会の認定委員会が、安全基準に基づいて認定したものに限られる。

■中小企業近代化資金貸付制度及び設備貸与制度

この制度は、中小企業が近代化設備を導入し、設備の合理化、生産性の向上を図るのを助成するため、国と都道府県が各々同額の資金を出し合って、中小企業に対し設備資金を貸付け、あるいは設備そのものを貸与するもので、昭和55年度からこの対象機種に産業用ロボットが指定された。

5. 今後の課題

ロボット普及元年と称せられた昭和55年以来、アーク溶接用ロボットは順調なというより異常な急伸が続いている。アーク溶接ロボットは、フレキシビリティに富んだ自動溶接装置という意味で、多種中量生産に打ってつけであり、また中小企業における熟練溶接工の充足難と

図5 アーク溶接ロボットの生産台数

いう点からも、当分の間は急成長し普及を続けるものと思われる。昭和56年までの生産台数は図5のごとくであるが、新規参入組を加え、すでにアーク溶接ロボット・メーカは12社を数えるに至っており、今年末における生産能力は内輪に見積もっても年間4,000台を超えと考えられる。しかしながら、これに必ずしも需要ないし販売能力は2,000台前後と想定され、そのはなはだしい需給ギャップは異常な乱売戦を招くと憂慮される。

アーク溶接ロボット普及のためには、その前段階として普及啓蒙を図る必要があり、講習会や実習訓練を通じてロボット技術者の養成が急務であり、乱売の泥試合になることはメーカにとってはもちろん、ユーザにとっても好ましいこととは思われない。

アーク溶接ロボットとしては、パターン認識センサとか、CAD（コンピュータ設計方式）→CAM（コンピュータ生産方式）への組入れなど、種々の高度化についての研究が行われているが、これらは学問的興味は別として経済的にはとうてい人間の競争相手になれるとは考えられない。むしろ実用的ロボットとしては、できるだけ単純で使い易い、故障のない、そして安価なロボットを製作することに努力すべきであろう。むつかしい溶接は、何も無理して高度のロボットを作ってこれに溶接させなくとも、神様が作られたすばらしい能力を持った人間がいるのである。苦役作業、悪環境作業からの解放のためのロボットも、すべて人間尊重を根底におかないと雇用問題、高齢化社会問題等々、カレル・チャペックの戯曲ではないが、ロボットから手痛いしっぺ返しを食うこと

になるであろう。

アーク溶接ロボットが人間に代れる経済的限界は、私見として5%程度であろうと考える。アーク溶接工50万人として、25,000台である。これは究極的には年間買換え需要3,600台、同量の輸出を見込んで月産600台に過ぎないが、これに達するまでのこと10年間は、まだまだ

有望な分野であるし、前述のような品質の安定とコスト・ダウンに努力するならば、5%をさらに6%、7%にすることも可能であろうし、1台で兼用させるところを2台、3台と分散配置することも考えられる。かくして上記の私的予想が外れるような結果が招来されることを望むのである。

2. アーク溶接ロボットの分類と特性*

荒 谷 雄**

Classification and Characteristics of Arc Welding Robots*

by Takeshi Araya**

2. アーク溶接ロボットの分類と特性

近年における産業用ロボットの急速な発展は、工作機械などへの被加工物のローディング、アンローディングと言う単純な繰返し作業の自動化に端を発したと考えるが、その目的とするところは過酷かつ危険な作業環境からの作業者の解放にあると言える。当初産業用ロボットは、熱処理炉に高温の部品を出し入れする作業、ダイカストで成型した部品を金型から取出す作業、スポット溶接用ガンを取扱う重労働作業などにその特徴が発揮された。これらの作業はそれまでの自動機と異なり、作業内容を事前に人間が位置指定で教示し、それを再生する位置決め制御のため、一台のロボットで種々の作業を行うことができ、多様化生産にその長所を示した。

さらに産業用ロボットは、その後の技術開発、周辺機器の発達等によって、実物をもとに作業内容が教示されるとその作業経路を再現できる連続経路制御の機能をもつようになり、アーク溶接、塗装作業にも利用されるに至った。またセンサ、機械要素、制御機器、ソフトウェア面の開発研究により、今後産業用ロボットは知能化の方向に発展するものと考えられ、すでに溶接ロボットでは一部溶接線検出センサや多層溶接アルゴリズムを取入れた例も出ている²⁾。

これらの産業用ロボットは、昭和43年(1968年)頃より国内における研究開発及び米国からの導入が進み、70

年代にかけての揺籃期から、80年代初頭の実用化時代を経て、本格的普及時代に入った。一般に1980年に産業用ロボット需要が急成長したことから、この年は“産業用ロボット普及元年”とも言われている^{21,22)}。今後、自動化が困難な多品種少量製品の生産や混流製品の生産に産業用ロボットが適用され、生産性向上に著しく貢献していくものと考えられる。

本章では主に、各社で標準化されたプレイバック方式のアーク溶接ロボットを中心にその機構の分類ならびに

表1 産業用ロボットの入力情報・教示からの分類²⁾

用 語	意 味
マニプレータ	人間のうし(肢)の機能に類似した機能を持ち、対象物を空間的に移動させるもの。
マニュアル・マニプレータ	人間が操作するマニプレータ。
シーケンス・ロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニプレータ。
固定シーケンス・ロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニプレータで、設定情報の変更が容易にできないもの。
可変シーケンス・ロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニプレータで、設定情報の変更が容易にできるもの。
プレイバック・ロボット	あらかじめ人間がマニプレータを動かして教示することにより、その作業の順序、位置およびその他の情報を記憶させ、それを必要に応じて読み出すことにより、その作業を行なえるマニプレータ。
数値制御ロボット	順序、位置およびその他の情報を、数値により指令されて作業を行なえるマニプレータ。 例：せん孔紙テープ、カードやデジタルスイッチなどによるもの。
知能ロボット	感覚機能および認識機能によって行動決定のできるロボット。

*原稿受付 昭和57年5月31日

**正 員 (株)日立製作所機械研究所 Member, Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi Ltd.