技術資料

自動車工業におけるアーク溶接
ロボットの現状と課題*

野田直樹**

Present Situation and Problems of Arc Welding Robots
in Auto-Industries*

by Naoki Noda**

1. はじめに

産業用ロボットが本格的に自動車工業に導入され始めて既に10年以上経過したが、先行したスポット溶接ロボットはこの間に利用技術を磨き、また機種追加や性能、信頼性の向上がロボットメーカ各社で精力的に進められた結果、今や自動車ボデーのスポット溶接をロボット抜きでは考えられない程の位置を占めるに至った。そして現在は初期に導入したロボットの更新、つまり二代目登場の時期にさしかかり、初代の電気油圧サーボ機から全電動式第二世代機への置換が進み出している。

一方アーク溶接ロボットは本格的に自動車工業への導入が始まってからまだ日が浅く、メーカ・ユーザー体となって利用技術確立の努力を続けているが、スポット溶接ロボットの効用が高いだけにアーク溶接ロボットに対する期待も高く、導入当初の単独利用、すなわちロボット1台に対し治具1～数台を配しワークハンドリングは人手による利用形態から、何十台ものロボットを自動搬送機と組合せ、いわゆる全自動溶接ラインを構成する大規模システム段階へと急速に利用拡大が進んでいる。

そしてスポット溶接ロボットの時にくらべるとロボットの機能、性能及び周辺技術のレベルアップを超越して先に利用拡大が急展開しているとも言えそうである。

ちなみに単独利用からロボット30～50台で構成する大規模なシステム利用までの年数を見るとスポット溶接ロボットが7～8年かかったのに対しアーク溶接ロボットでは3～4年である。元来スポット溶接に比べ品質維持

には1オーダ厳しい条件管理を要するアーク溶接で、ロボット自体及び利用技術に若干の未消化部分を残しながら急激な利用拡大が進んでいる訳である。

自動車の性能、機能のレベルアップが絶え間なく進む中で自動車に適用する各種溶接法中、アーク溶接の比率が高まる傾向にあるため、溶接の高品質化、ローコスト化の手段としてアーク溶接ロボットへの期待は従来にも増して高まり、ロボット自体の性能が向上したこととあいまって急速な普及へとつながった。

これまでアーク溶接ロボット自体に焦点を絞って各種の紹介や検討がなされ本誌でも将来の課題まで含む包括的な討議が既に行なわれてきたが、本稿では自動車工業分野で急増しつつあるアーク溶接ロボットのシステム利用ケースを対象に、従来のロボットのいくつかの問題点・課題をユーザの立場からとりあげ、その対応策について提案する。

2. 自動車工業におけるアーク溶接ロボットの現状

2.1 溶接ロボットの普及状況

本論に入る前に自動車工業分野におけるアーク溶接ロボットの普及状況を紹介する。図1はロボット工業会の分類によるD類、すなわちブレイバックロボット以上に属する高級ロボットの自動車工業分野における導入台数推移を示す。アーク溶接ロボットはスポット溶接ロボットより数年遅れて本格的導入期に入ったが、近年の増加率はスポット溶接用のそれを大きく上回り急速に普及しつつある。57年には年間の導入数でアーク溶接ロボットがスポット溶接用を上回った。別の見方をすれば自動車工業でアーク溶接ロボットを本格的に使用し始めたのは56年で、それから3年にしかない。

*原稿受付 昭和59年11月1日

**トヨタ自動車(株) Toyota Motor Corporation

参考に図2に自動車工業を含む全製造業合計のプレイバックロボット導入数を示す。スポット溶接用は、自動車工業用で94%を占めるのに対しアーク溶接用は42%にすぎない。これはコンパクトで使いやすく、低価格のアーク溶接用が熟練溶接工の不足とも関係して幅広い分野に普及していることを示す興味深いデータである。

図3は自動車工業で利用しているアーク溶接ロボットのタイプを分類したもので、ワークへの接近性が良く設置スペースも比較的小さい多関節型が圧倒的に多く、これは完成度の高い多関節型の出現により急速にアーク溶接ロボットが普及したことからもうなずける数字である。ただしその後専用自動アーク溶接機の持つ生産性の良さと安定度に対する見直しもあり、その特性にやや近い直交座標型や更に専用機に近い溶接治具に組込む方式の特殊専用型が徐々に増加しつつある。この特殊専用ロボットは特に自動車部品のようにモデルチェンジがあっても大きさ、形状とも類似性が保証される場合にはロボットも制限つきのフレキシビリティで十分なことが多く、生産性、スペース、コストなどの点で今後の増加が予想される形態である。

図3 アーク溶接ロボットのタイプ分類

2.2 アーク溶接ロボットの利用形態

前項で自動車工業におけるロボットの導入状況を紹介したが次にロボットが行なう溶接の内容について簡単に触れる。図4に自動車工業におけるアーク溶接ロボットの利用形態を示す。ロボット1台に対し治具1～数台を配して1つの工程を形づくり、他工程と直接結合しない単独利用と、1部品の溶接を多工程に分割し自動搬送装置で工程間を結び、自動溶接ラインを構成するシステムの利用とがほぼ半半ずつを占める。システム利用の中でもロボット10台以上で構成する大規模システムが既に10%を超えた。

図5に溶接継手構造の分類を示す。自動車1台あたりのアーク溶接長は長いもので50m、短いもので10m程度、一般にトラック系のアーク溶接量が多い。その継手構造中、最も多いのは重ねすみ肉で、溶接施工の安定性が高いところから別のニーズがある場合を除きこの継手を採用している。以下に突合せ、Tすみ肉継手が続く。

アーク溶接ロボットはこれら各溶接継手のほとんどに

図1 自動車工業における溶接ロボットの年間導入数

図2 53～57年の溶接ロボット導入総数（全製造業）

図4 アーク溶接ロボットの利用形態

図5 自動車のアーク溶接継手構造

利用されるに至ったが、一方専用自動アーク溶接機もいくつかの分野でその特性を生かして利用されている。例えばリヤアクスルハウジング、排気管など溶接部が直線や円弧で構成される部品、また多トーチ同時溶接してワークの熱歪を最少限に抑えたい部品、あるいは超大量生産品の場合今後も専用自動アーク溶接機が主流を成すと思われる。

2.3 ロボット溶接の効果と問題点

これまで述べた幅広い適用の効果はその狙いにより大きく異なるが、省人を主目的とする場合アーク溶接ロボット 1 台あたりの省人効果は 0.6~1.2 人の間である。2 シフト稼働なら効果はこの倍になる。一部で言われる程大きな省人効果に達していない主な原因は、溶接工の場合、多工程持ちで作業の編成効率が高いのにくらべ、ロボットではその周囲に配置できる治具数に制約があり編成効率が低下する、つまりロボットにアイドルが生じやすいこと、部品セットや仮付溶接に人手を要すること、また大規模システムではワークの自動搬送中ロボットにアイドルが生じることなどである。

一方専用自動溶接機との比較ではロボットの場合治具が若干高価になるが、ロボットの価格が徐々に下がってきており合計でかなり有利なケースが多い。

このように人及び専用自動機と比較してメリットの大きいアーク溶接用ロボットにも導入当初は多くの問題があり、メーカ、ユーザ協力してこの解決に努力した結果相当完成度の高いものになったが、ユーザ側の利用方法にも関連していくつかの課題を残しているのも事実である。これらに関しては既に多くの議論がなされているが本稿の主題であるシステム利用ケースにおける各種問題とも関係が深いので、簡単に触れておく。

まず第 1 に、ティーチング修正などを含めてメンテナンス工数が相当に増加した。第 2 にユーザ側で欲張りすぎることもあって無理な溶接姿勢が増加した。専用自動溶接機の場合下向き又は横向溶接を基本としたがロボットの普及とともに立向溶接が増加し、その分溶接機器の性能と溶接諸条件の管理に対する要求水準が高まった。

この事に関連して一部にアーク溶接ロボットによる溶接は品質上不安だという声があがっているのも事実である。第 3 はプレス部品精度に対する要求が高くなった事で、このためにプレス成形技術の向上と溶接治具構造のレベルアップが必要となった。第 4 は溶接治具設計が非常に難かしくなった事である。専用自動アーク溶接機が多トーチ単純動作の場合と異なり 1 トーチで数多くの複雑な溶接経路をカバーし、かつトーチの最適姿勢を確保するために治具設計上の制約が飛躍的に増加した。第 5

は安全確保と関連して大きなスペースが必要になったことで、人あるいは専用自動機の場合に比べ 2 倍以上に及ぶことも多い。

これらの問題を 1 つ 1 つ克服する一方で周辺機器の改良にも力を注ぎ現在の多量使用を可能にした。いくつかの例を紹介する。

- 1) 給電とワイヤガイド機能を分離しワイヤ狙い性とチップ寿命を向上した給電分離型トーチの開発
- 2) 終端と始端をあらかじめバット溶接しエンドレスに使用できるワイヤパック、リールの実用化
- 3) トーチ交換時位置保証ができるトーチセッティングゲージの採用
- 4) ワイヤ・チップ間溶着を防止し、かつ次のアークスタート性を高めるバーンバック制御の改良
- 5) ワイヤ母材間溶着時自動的にワイヤを溶断する制御の採用
- 6) 復元性（位置再現性）の高いトーチショックアブソーバの開発

以上概説したようにロボット自体あるいは利用技術の面で数多くの開発、改良が進んだ結果アーク溶接ロボットは完成度の高い自動溶接手段となり、現在の高い普及ペースを維持しているが自動車工業における次の用途である大規模システム利用のケースを考えると新たな課題、更に高度な要望事項が多い。次章にこの新しい用途、大規模システム利用に的を絞る課題とその解決の方向を考える。

3. システム利用における課題と解決の方向

3.1 典型的なシステム構成例

図 6 にロボットによるアーク溶接システムの代表例として自動車シャシーフレームなど大量生産部品の自動アーク溶接ラインを示す。各ステーションの機能について簡単に説明する。

1 ST は部品セット、仮付溶接工程で全部品を正確に位置決めするため多くの位置決め基準、ワーククランプ装置を有し、多種のワークに同一治具で対応するためこれらの位置決めを切替える機構を内蔵した非常に複雑な治具を用いる。2 ST~6 ST は無人の全自動溶接工程でアーク溶接ロボットを多数配置し、仮付済のワークの本溶接を行う。この工程ではロボット自体と溶接トーチの接近性向上のため、治具の位置決め基準及びクランプ数を減らすことが重要で、かなりラフな拘束状態になる。結果として溶接線近くを位置決め・クランプしないで溶接するケースが多い。

各ステーションには多数のロボットを高密度に配置し

図6 自動車シャシーフレーム溶接ライン

ており相互干渉を避ける動作インターロックをロボットのプログラムに設定する。4STはワーク姿勢転換用でロボット効率を高めるためこのような別ステーションでワークの姿勢転換を行う。7STは最終のタッチアップ工程でロボット溶接の困難な部分を手溶接すると同時に2ST～6STにおける自動溶接部位の検査・手直しを行う有人工程である。全工程をトランスファ装置で結合しワークの自動搬送を行う。

以下この図6に沿って論を進めたい。

3.2 システム利用（自動溶接ライン）の特徴

アーク溶接ロボットによる大規模自動溶接ラインの特徴をあげる。

- 1) 全自動無人溶接ゾーンを形成する。
- 2) 全体形状は類似しているが個々の溶接部品レベルでは多種多様なワークのランダム生産を行なう。
- 3) 多数のロボットを直列的に配置しトランスファ装置で直結してピッチ送りするため、ライン内にバッファストレージなどの冗長機能が無い。
- 4) ロボット稼働率が高速ワークトランスファにより相当に高い（通常80%以上）。
- 5) 多数のロボットの動作領域、作業領域がオーバーラップするためプログラム上のインターロックで干渉を防止する。
- 6) 1ワークに複数のロボットが同時溶接するためワークの溶接中の姿勢転換は出来ず、最適溶接姿勢がとりにくい。
- 7) 多工程に分割しての逐次溶接となり工程毎に熱ひずみが累積しやすい。
- 8) 安全確保のために大きなスペースを要する。

このような特徴を有するシステム利用では従来の単独利用レベルでは満足度のいくつかに近づいたアーク溶接ロボットに新たにいくつかの課題が生じてきた。

3.3 システム利用ケースの重要課題

20～30台のロボットを系統的に利用する全自動アーク溶接ラインにおける特に重要な課題は、まず第1にダ

ウンタイムを減らしラインのオペラビリティを高めること、換言すればロボット関係のMTBF, MTTRの改善である。この課題は究極ではメンテナンスフリーの実現につながる。第2の課題はティーチング負担の軽減である。多数のロボットに多種類のワークの複雑な溶接線を現場で教示する作業ではワイヤ狙い位置、トーチ姿勢、溶接電圧・電流などアーク溶接の基本となるファクターを十分吟味し、ロボットの性能を最大限に引出すことは難しく、高度な技能を要する。したがってこのティーチング作業をサポートし短時間で質の高い教示を可能とするシステム作りが大きな課題となる。またティーチング修正と呼ぶミリ単位の狙い位置変更を不要とすることも重要な課題と言える。

第3の課題はアーク溶接ロボットの溶接品質保証機能の充実である。従来のロボットが高級なトーチ送り装置のレベルに留まっているのに対し、今後システム利用の際に必要なのはロボット自体が判断機能を持ち、溶接諸条件の自動選択及びトーチ姿勢関係の自動ティーチングを行う機能であろう。この機能の装備によりアーク溶接ロボットが溶接品質を保証する道具になり、熟練溶接工のレベルに大きく一歩近づく。

その他、複数ロボット間または周辺装置との間の相互コミュニケーション機能の充実、溶接治具仕様及びプレス部品精度への高度な要求の緩和につながるロボット側の適応制御システム実用化などは上記3テーマとならんで重要な課題である。

3.4 具体的な課題と対応策

- 1) ダウンタイムの短縮（オペラビリティの向上）

図6のライン、すなわち20台のアーク溶接ロボットで構成する自動溶接ラインのオペラビリティは現在のロボットの平均的MTBF 1000時間（トーチ・電源を含む）、MTTR 4時間を用いて計算すると約93%となる。トランスファ装置、各工程の治具類、その他ライン全体を制御する電気系などロボット以外の故障を0と仮定してこの数字になりロボット関係だけで7%のライン停止

が生ずる訳である。大規模ラインを効率よく運用するためにはロボット関係のアベイラビリティを98%以上に改善することが必要となる。それにはまず MTBF を 5000 時間レベルに向上したい。ちなみに専用自動溶接機の治具部分を除いた MTBF は 5000 時間に達している。ロボットの MTBF 改善の1つの手段は電子部品のスクリーニングとバーニングの充実及びコントロールボックスの冷却性能の向上であろう。天井近くに設置するコントロールボックスの温度は相当上昇し、電子部品特有の初期故障だけでなく耐熱性不足に起因するトラブルも多い。MTBF 改善のもう1つの手段は手首部駆動系の信頼性、耐久性の向上である。現在のロボットの手首部は非常に巧妙なメカニズムを採用しコンパクトで、かつトーチ関係を保持するに十分な強度を有するが、ティーチング作業中あるいはリピート動作中に発生するロボット同志、又はワークや治具との接触・衝突に対してはいかにも強度不足である。これらのトラブルの多くはロボットオペレータのミス、ロボット以外の制御系のミスに起因するがここでは紙面の都合でミスの原因に言及することは省く。シンプルで強い構造にするか、フレキシブルで外力が無くなれば確実に復元する構造のいずれかに徹した手首部の設計が望まれる。

98%のアベイラビリティを実現するためのもう1つのテーマは MTTR の改善である。機械系のトラブルに対しては部品交換時の調整部位を極力減らすため部品に完全な互換性を保証する事、制御系に関しては自己診断機能を更に充実し、トラブルシュート時間を短縮する事が望まれる。また部品交換を容易にするため主要部品の取付位置を工夫しロボットをライン内に設置状態のまま修理できることが非常に重要である。こうして休憩時間内、更にはラインの稼動中の修理を可能として MTTR を 1 時間以内に向上することができる。

図6のような自動溶接ラインは車両全体のアセンブリ工程にわずかなバッファを介してほぼ直結しておりライン計画時アベイラビリティを95%以上に設定する。この数字を達成するため現実のライン運用にあたっては、故障ロボットをラインから切離しそのロボットの担当溶接部を最終タッチアップ工程で溶接工によりカバーするが、突発的に起きるトラブルに熟練溶接工を即座に配することは難かしく、ライン全体の混乱が避けられない。

2) ティーチング負担の軽減

図6のラインに10種類の製品を流すと仮定して20台のロボットにティーチングする工数を考えてみる。1台のロボットに1種類の溶接作業を教示する時間はシャシーフレームのように大形・複雑なワークでは初回約4時間、

以後の修正ティーチングには約1時間を要するので20台合計では初回延べ800時間、修正時でも200時間となり20人の熟練オペレータを動員して最低5日を要する。実際には初回ティーチングの後、溶接テストをして部分的なティーチング修正を繰り返すため更に2~3日を必要とする。アーク溶接ロボットの採用により自動溶接ラインのフレキシブル化が急速に進展し、製品のモデルチェンジでラインを改造する場合専用機時代の設備総入れ替えに比べ、設備投資上非常に有利になった。しかし切替時このような多大なティーチング時間・工数を要する事はロボット以外の設備にも莫大な切替業務が発生する時期だけにピークが重なり大きな問題になってきた。

前置きが長くなったがここで特にとりあげ、対応策について考えるのは前述の2回目以降のティーチング修正と呼ばれるものについてである。図6の20台のロボットにティーチング修正について200時間、20人で同時に全ロボットの修正作業をしても1回あたり10時間を要する。製品が変わり溶接作業内容がすっかり変わる初回のティーチングはまだしも、その後に何回も続く修正作業は非常に負担になる。

この改善の目標はまず第1ステップとしてロボット側(含トーチ系)に起因するティーチング修正を無くすること、すなわちワーク側の小変化に対する修正作業だけに限定する事である。第2のステップは溶接線トレース機能をロボットに付加する事であろう。この機能は溶接品質の維持という点で効果の大きいものと期待しており後でやや詳しく取上げる。

次にアーク溶接ロボットに特に多いティーチング修正がどのような原因で必要になるかを考えてみたい。この修正作業は大別すると3つの原因によって必要となる。第1は量産開始前の準備段階、いわゆる生産準備中の数次の修正、第2は量産開始後プレス部品のロット間精度変化などに対応した溶接狙い位置修正、そして第3はトーチ系を含むロボット自体のずれを補正するために必要となるティーチング修正で、これはロボット自体の故障による部品交換時や、オペレータのミスなどによるロボット同志、あるいはワーク、治具などとの接触・衝突時に発生する。

第1の生産準備段階は手作的試作部品から始め、プレス金型を使う量産トライ部品まで数回のトライアウトを繰り返して製品としての機能・精度の保証と生産性の改良を行う過程で各部品の溶接部形状と精度を修正することが多く、そのつどロボットのティーチング修正が必要となる。

第2の量産開始後のティーチング修正は主としてプレス部品精度のロット間変化に起因する。1例として自動車シャシーフレームを見ると全長4m以上で100点を

を超える構成部品をアーク溶接で組付けるため溶接量は30～40 m に及ぶ。この100点を超すプレス部品は鋼板の材料特性や板厚の僅かな差によりスプリングバック量が大きく変化する。この変化を最少限にするため材料特性に影響されにくいプレス成形法や部品形状を採用しているがそれでもアセンブリ状態でアーク溶接の芯ずれ許容量 0.6～1 mm を超すずれが発生しそのつどティーチング修正が必要になる。

第3のロボット側のずれに起因する修正こそまず解消したい問題点であるが、これはトーチ系のショックアブソーバ機構（ショックセンサを含む）の復元性能やロボット駆動系のオーバーロードプロテクタ、更には駆動系のメカニズム自体に深く関係している。ひとたびこのメカニズムにずれが発生すると、現在の5～6自由度を有す多関節型ロボットでは全動作領域でアーク溶接に支障の無いレベルまで正確にその座標系を復元することは非常に難しく、結局最後はティーチング修正によって微調整をすることが多い。

以上アーク溶接ロボットではスポット溶接用と異なりティーチング修正をかなりの頻度で必要とし、大規模なシステムではその負担が非常に大きいことを説明したがこの問題の解決策のうちロボット自体に期待するものの1つは前述の第3のケースで、ロボットメカニズムに生じたズレの部位（軸）とズレ量が容易にわかり正確に復元できる構造とする事、そして更に効果の大きい解決策は溶接線トレース機能の付加である。この溶接線トレースに関しては様々な方法が提案され一部は既に実用化している。現在の流れは日本で主流を占めるアークセンシング方式と米国などで主流を成すビジョンセンシング方式の2つに大別できる。自動車部品のアーク溶接では複雑な溶接線で狭い部分にトーチが入ることが必要となり、トーチ周辺に外付のセンサを必要としないアークセンシング方式が当面の主流になると予想されるが、この方式の溶接線トレース機能を自動車工業の分野で広く利用するためには、現状レベルより数段の性能向上が望まれる。性能向上の目標は当面下記のレベルであろう。

- (1) 溶接速度 2 m/min までトレース可能
- (2) パルス MAG 溶接に適用可能
- (3) 立向下進溶接に適用可能
- (4) 板厚 2 mm 程度の重ねすみ肉溶接に適用可能
- (5) トレース精度 ± 1 mm 以内
- 3) 溶接品質保証機能の充実

アーク溶接ロボットによる大規模自動溶接ラインの実用化に伴ない多数のロボットの複雑な溶接内容すべてに最適な溶接諸条件をセットする技術（技能）の問題が表

面化しつつある。ワイヤ狙い位置、トーチ姿勢、溶接条件、溶接順序まで自由に設定できる事がロボットの最大の特長であるが、反面これら溶接品質を左右する重要なファクターがティーチングする人の技能にかかるということになった。ロボットが急増し、専門技術者の目が導入当初のように届ききらないようになった現在、望まれるのは熟練溶接工の持つ技能のすべてを、ロボットに持たせることである。従来の熟練溶接工をそのまま高度なマシンであるアーク溶接ロボットのオペレータにすることは難しく、ロボットのティーチングにあたるのはこれ迄機械や制御関係のメンテナンスを主業務とし、アーク溶接固有の技能には縁の薄かった人達であることがこの必要性を一層切実なものにしている。この課題は別の言い方をすれば、アーク溶接ロボットを従来のフレキシブルトーチ送り機械のレベルから真のフレキシブル自動溶接機へ一歩進めることである。この課題には2つのアプローチが考えられる。

第1はオペレータによるティーチング時に役立つサポート機能である。ワークの継手構造と板厚、溶接姿勢、溶接速度を指定し、溶接線をティーチングすればロボット内部の演算装置とデータテーブルにより最適トーチ姿勢、溶接電圧・電流、更には狙い位置補正まで自動設定できる機能が望まれる。

第2は生産時に必要となる溶接線トレース、ワークギャップやビード不良の検出と補償動作など、適応制御機能の追加である。全自動溶接ラインの場合、溶接工程内で不良を自動検出しリアルタイムで補償する機能は溶接品質維持上欠かせないものと言え、この実現により図6の最終タッチアップ工程の負担軽減効果も大きい。

4) コミュニケート機能の充実

現在のアーク溶接ロボットは8ビット又は16ビットのプロセッサをCPUとして内蔵し、高度なアルゴリズムにより多関節型の機体の動作を直交座標や円筒座標に変換してティーチング操作の便をはかり、また空間の任意の直線や円弧を補間する機能まで備えているが、その充実した内部情報処理能力に比べ外部とのコミュニケーション機能が非常に貧弱である。

まず第1にロボット間の相互コミュニケーション機能の充実が課題であろう。図6の2STには6台のロボットを配置し1台のワークの各部分を分担して同時にアーク溶接しているが、これら6台のロボットの作業領域が相当オーバーラップする。そのためロボットの外部信号端子により相互にインターロックをかけて不十分ながら衝突を防止している。しかしこのインターロックは非常に不十分でロボットの不必要な待機によるロボット効率の低

下やティーチングミス、ワークミスなどに起因する接触・衝突トラブルを招きやすい。できれば高性能 CPU を生かしリアルタイムで隣接するロボットの位置データを取込み、常時自動的に接触を回避する制御が望まれる。

第 2 にロボット自体と溶接機器あるいは溶接現象との間のコミュニケーションの充実が課題である。アークスタート不良、アーク切れ、溶着あるいはブローホール発生など溶接上のトラブルを検出し溶接機器だけでなくロボット自体の動作にもフィードバックする機能の追加が望まれる。

第 3 に性質の異なるテーマとしてトーチ系を含むロボット自体の位置精度チェックとその結果に基づく座標系の自動補正機能の追加がある。トーチ先端の位置保証という点で広い意味でのロボットの外部コミュニケーション機能に属する。現在のアーク溶接ロボットのカタログによればほとんどの機種が位置再現精度 0.2 mm を保証している。しかしトーチ、コンジットケーブル、エアホースなどを装着した実動状態でトーチ部位置再現精度を測定したところ 4000 時間使用後のロボットでは位置ばらつき約 1.5 mm (2σ 値) という予想外の悪いデータを記録した。トーチ先端部の測定のためこのばらつきすべてがロボット自体に起因するとは断定できないが、1 つの解決策としてロボット内部の高度な演算機能を利用し、ロボットに付属させたトーチ先端位置計測装置からのデータによって座標系原点の補正をする方法も考えられる。ただしこのトーチ位置補正機能は前述の溶接線トレースが実現すれば必要性が小さくなる。

この他高速 CPU、大容量メモリをフル活用すれば現在とは比較にならない多くのコミュニケーション機能がソフトウェアの工夫だけで可能になると思われ、多数のロボットを高密度に配置しシステムとして運用する図 6 のようなラインのパフォーマンスが高まると期待している。

5) 溶接治具の簡略化

補間機能など高度な機能を持つアーク溶接ロボットの實用化により溶接手段のフレキシブルな自動化が実現した。しかしこのフレキシブルな溶接手段によって高い溶接品質を安定的に保証するために溶接治具への負担が高まり、熟練溶接工による手溶接、専用機による自動溶接などに比べてロボット用溶接治具は重装備になってきた。溶接手段の汎用化効果を専用でしかも重装備な治具が幾分減殺しているのが現状である。アーク溶接ロボットは単なる自動化手段としてもメリットの大きい機械であるが、もう 1 つの利用価値はそのフレキシブルな点にあるはずで、究極の目標は熟練溶接工のように必要最小限の治具で高度な溶接を行なうことであろう。

更に前述の課題とも関連するが、アーク溶接ロボット

工程では、プレス部品精度に対する要求が熟練溶接工の場合に比べ格段に厳しくなり、通常の自動車部品に機能上必要とする以上の精度をロボット溶接のために必要とするケースも時に生ずる。プレス部品のコストはその精度と密接に関係するだけに治具重装備化と同様アーク溶接ロボットのメリットを差し引くファクターとなる。

これらの問題の解決手段として最も近い位置にあるのが前述の溶接線トレースとギャップ検知・補償の機能である。また別の解決へのアプローチとしては、芯ずれおよびギャップに強い高余裕度アーク溶接技術の實用化が考えられる。

多種類のワークの混流生産に必要な治具の汎用化への近道はその簡略化にあるだけにこのテーマへの期待は高い。

6) ロボット周辺機器の改良

ロボット周辺機器にもいくつかの問題を抱えているが紙面の都合で 2 点だけ簡単に触れるに留める。

第 1 は溶接電源とワイヤ送給系の問題で、ロボットの場合アークスタートとアーク終了の回数が非常に多く、スタート不良や溶着が生じやすい。この改善のために応答性の高いワイヤ送給系とアークスタートとエンドを確実にコントロールする電源特性が望まれる。ワイヤ送給系の一部を成すコンジットケーブルもロボットの場合一般的に長くなりがちで、送給抵抗の低減と安定化が課題である。

第 2 の課題はトーチのスパッタ対策である。芯ずれ余裕度の大きい MAG 溶接が増加しつつあるがこのブローホール感度が CO_2 溶接に比べてかなり鋭く、トーチノズル周辺へのスパッタ付着によるブローホール発生が多い。スパッタ付着の少ないトーチ及びノズルの開発と付着したスパッタを短時間で確実に除去する自動ノズルクリーナ、スパッタ発生を更に少なくする溶接システムの開発が待たれる。

4. 今後の全自動アーク溶接システムの方向

前章で取上げたアーク溶接ロボットの様々な課題を解決し更に高度な機能を付加した次の時代の全自動アーク溶接システムモデルを図 7 に示す。このシステムの重点テーマは次の 3 点である。

- (1) 溶接品質の自動保証
- (2) ライン内各構成要素の有機的結合
- (3) ティーチングの合理化

図 7 のシステムの各機能を簡単に説明する。1ST は部品セット・仮付溶接工程で治具はサーボ機構内蔵の汎用ロボット治具、仮付はロボットで行う。2ST はワーク確認工程でロボットがレーザ測定器を操作し溶接部品

図7 将来の自動溶接システムモデル

の有無判定と溶接位置のずれ量計測を行う。3ST～8STは本溶接工程で簡単な汎用治具と溶接線トレース機能などの適応制御系を装備したロボットで構成する。9STは自動検査工程でロボットの持つTVカメラにより溶接不良の検出と重要部位のワーク精度を測定する。10STは補修・後加工工程でアーク溶接ロボットとNC孔明け機で構成する。0STはオフラインティーチングステーションで2～10STと同じ汎用治具とティーチング専用ロボットで構成する。このロボットはタッチ部をオペレータが直接手動操作し溶接線をなぞることにより位置情報をアウトプットする。これら全ステーションをホストコンピュータに結び双方向のデータ受授を行う。次にこのシステムの働きについて説明する。

1) オフラインティーチングステーションでワークに合わせて汎用治具のセットを行い、次にティーチング専用ロボットのタッチをオペレータが手動操作しワークの全溶接線をトレースする。この治具及びロボットよりのデータはすべてホストコンピュータにメモリする。

2) このデータはラインタクトを指定することによりホストコンピュータで3ST～8STの各ロボットの作業に分解し、それぞれに動作指令として出力する。

3) 2ST、9STへも同様にホストコンピュータから全溶接部位の位置測定指令を出力する。9STの重要部位精度検査に関してはその座標値をあらかじめホストコンピュータに直接入力しておく。

以上のようにホストコンピュータを中心として全ステーションにオフラインティーチングデータを加工して動作指令を出力するが、一方各ステーションからのフィードバック情報もホストコンピュータに集め適応制御系を構成する。

4) 2STで計測した溶接位置データをホストコンピュータに一時ストアし、そのワークが3ST以降の各工程に入る都度その工程のロボットに対して出力する動作指

令をこの位置データで修正する。

5) 3ST～8STの本溶接用ロボットは溶接線トレース機能、ビード不良モニタ機能、ロボット自体の自己診断機能を有し、溶接中これらを作動させて異常発生時にはホストコンピュータにデータをフィードバックする。

6) ホストコンピュータはこれら異常データを処理し溶接条件変更、トーチノズルクリーニングなどの指令をまたロボット故障時には10STのロボットに対しバックアップ指令を出力する。

7) 9STのテレビカメラによる総合検査データもホストコンピュータにフィードバックし繰り返し性のある不良については関係するロボット又は治具に諸条件の修正を指令する。

このような双方向のデータ受授を基本にした本格的な適応制御系を持つ自動溶接ラインの実現は制御技術の急速な進歩により目前に迫っていると思われる。

5. む す び

ここ数年間の自動車工業におけるアーク溶接ロボットの急速な普及をデータを中心に説明し特に最近増加している大規模システム利用の場合に新たに表面化したいいくつか問題を取上げ解決の方向を提案した。また本稿ではこれらの問題がなぜシステム利用の場合特にクローズアップされるのかを理解していただくため、やや詳しく利用形態と問題の生ずる理由を述べた。

今後一層アーク溶接ロボットシステムが完成度を高め真のフレキシブル生産手段に近づくために、これまでロボット自体の性能・機能の向上に取組み多大な成果をあげておられるロボットメーカーの方々や新しいアーク溶接技術の開発、機器のレベルアップに取組んでおられる方々と我々ユーザが十分に連携し本稿で紹介した課題の1つ1つを解決していくことを提案して本稿の締めくくりとする。