特集

溶接プロセスの高効率化

最近のCAD/CAM・システム化技術*

勘 定 義 弘**

Latest CAD/CAM・Systemization Technology in Welding*

by KANJO Yoshihiro**

キーワード CAD/CAM, シミュレーション, マルチロボット, CAPM

1. はじめに

近年のコンピュータ技術の著しい進歩にともない、従来、困難とされてきた多品種少量生産の業種においても、溶接ロボットの適用事例が増加している。近年の特徴として、CAD/CAMと組み合わされたマルチロボットシステムとして高効率化が図られている点に注目することができる。

その背景として、設計ツールであるCADが2次元から3次元へ進化するとともにロボットシミュレーション技術が発達し、パソコン内の仮想空間にて干渉チェックなどのシミュレーションが容易に行えるようになったことがある。

本稿では、いくつかのCAD/CAM開発事例とシステム最適化技術の概要を紹介する。さらに、ロボットをより効率的に活用するためのシステム化技術として、シミュレーション技術および、日程計画システムを簡単に紹介する。

2. CAD/CAM 技術

生産ラインの停止など、現場でのロボットのティーチング作業に起因する生産性の低下を解消する手段として開発されたオフラインティーチングシステムは、CADとリンクさせることでCAD/CAMシステムとして発展、進化してきた。以下、いくつかのシステムを紹介する。

2.1 建築鉄骨のCAM

建築鉄骨の業種では、柱の大組立工程に溶接ロボットが利用されている。対象が比較的単純な柱構造をしていることから、図1に示すようなコンピュータ画面より、

柱寸法、板厚などの部材形状情報をオペレータが入力することで、ティーチングデータと同等のロボット動作プログラムが自動生成されるCAMシステムが開発されている。本システムの特徴はCAD情報を必要としない点であり、本システムを利用して図2に示すような鉄骨柱大組立ロボット溶接システムが開発されている。

図1 建築鉄骨用CAMシステム

図2 建築鉄骨用溶接ロボットシステム

*原稿受付 平成15年1月8日

**正 員 日本鋼管株 Member, NKK CORPORATION

2.2 機械・鋼構造物の CAD/CAM

工作機械や建設機械に類する業種においては CAD を利用した設計が普及しており、CAD でモデリングした対象ワークの 3 次元形状情報が構造解析 (CAE) に利用されたり、NC 工作機械用情報として利用¹⁾されたりしている。これらの業種では、多品種少量とはいえ類似ワークが繰返し組立られることから、ワーク種類ごとにロボット溶接に必要な溶接属性情報をあらかじめ定義しておき、CAD の 3 次元形状情報と合わせることでマルチロボットの動作プログラムを自動生成させる方式の CAD/CAM システムが開発²⁾されている。

図 3 は、本方式の例として、地下トンネルに利用される鋼製セグメントのマルチロボット溶接システム³⁾に利用されている CAD/CAM システム構成を示したものである。CAD には市販の 3 次元 CAD が利用されているが、溶接線を識別させるための溶接線定義機能が追加されており、ワーク形状情報と溶接線情報が各々 CAM 側に渡される。

図3 機械・鋼構造物用 CAD/CAM システム構成

CAM では、別途読み込んだ溶接属性情報と各溶接線の位置情報とを照合する溶接線情報生成処理、ロボットの作業分担を行うタスク分割処理、ポジショナー角度ごとの溶接順序決定処理、動作パターンデータベースと溶接条件データベースを利用した溶接施工パターン展開処理が順次実施され、ロボット動作プログラムが自動生成される。自動処理に不可欠な溶接属性情報には、図 4 に示すように溶接線ごとに、担当ロボット、溶接線名、溶接順序、ポジショナー角度と、アプローチから溶接、リトラクトに至る一連のロボット動作を定義する溶接施工パターン名がテキスト形式で定義されている。このように溶接属性情報を定義しておくことで CAM システム処理を簡易化している。

生成されたロボット動作プログラムは、図 5 に示すようにロボットシミュレータにかけられ、ロボットがワークに干渉しないかが自動的にチェックされる。対象ワークの 3 次元形状情報はこのシミュレーションに利用される。干渉が発生した場合にのみオペレータがロボット位置・姿勢を修正する。以上の処理の後、ロボット動作プログラムは、各ロボットへと送信される。近年、LAN 対応のロボット制御装置が開発されており、上位の CAD から末端のロボットまで同一のネットワークで接続が可能となっている。

2.3 橋梁・造船の CAD/CAM

橋梁業界では、鈑桁、箱桁のパネル構造部材の組立に、また、造船業界では、トランスパネルの組立にマルチロボット溶接システムが適用されている。これらの業界では、工作情報を作成する目的の専用 CAD が開発利用されており、CAD からの出力情報は、溶接線の位置情報の他に、溶接対象となる部材の高さ、板厚、部材端形状、溶接設計情報としての隅肉脚長などが、特定の書式で出力される。

本 CAM システムの特徴は、図 4 にて説明した溶接属性情報を必要とせず、すべて自動処理されている点である。図 6 に示した造船用 CAD/CAM システム⁴⁾では、ロボットの作業領域に対応した自動タスク分割処理、所定のアルゴリズムによる自動溶接順序決定処理、溶接施工パターンの自動決定処理、自動干渉回避処理が機能として具備されている。本 CAM システムは、ロボット動作データ生成システム、ロボットプログラム生成システム、

Type	RBI	PRG	Name	PosJ	MsaApp	MstSet	MstPnt	MstPnt	MstEsc
MPRG	RBT1	2							
PRG	RBT1	951							
PRG	RBT1	941							
BLOCK	RBT1	101	RL04HRL-01	0	AWBBL004	CW-BL004	SFLBL004	EFLBL004	
BLOCK	RBT1	102	RL04HRL-02	0		CW-TL004	SW-TL004	EW-TL004	
BLOCK	RBT1	103	RL04HRL-03	0		CR-RL004	SR-RL004	ER-RL004	RRBRL004
PRG	RBT1	952							
MPRG	RBT2	5							
PRG	RBT2	951							
PRG	RBT2	942							
BLOCK	RBT2	601	RL04HLL-01	90	AWBBL006	CW-BL006	SFLBL006	EFLBL006	
BLOCK	RBT2	602	RL04HLL-02	90		CW-TL006	SW-TL006	EW-TL006	
BLOCK	RBT2	603	RL04HLL-03	90		CW-L006	SW-TL006	EW-TL006	
BLOCK	RBT2	604	RL04HLL-04	90		CR-RL006	SR-RL006	ER-RL006	RRBRL006
PRG	RBT2	952	RL04HLL-05						

図4 溶接属性情報

図5 ロボットシミュレーション

図6 造船用CAD/CAMシステム構成

図7 造船マルチロボットシステム構成

ロボットシミュレータ、ロボットデータ伝送システムから構成される。

2.4 CAD/CAM 最適化技術

図7は造船に用いられているマルチロボット溶接システム構成を示すが、このように多数台のロボットを高密度に配置したシステムレイアウトでは、ロボット動作時の相互干渉が問題となってくる。この課題に対して、近年、遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて溶接順序の入れ替えを行い、ロボット相互の干渉を回避する経路最適化の研究⁹⁾がなされている。遺伝的アルゴリズムとは、自然界において生物が遺伝子の交叉や突然変異そして淘汰により進化していく過程を模擬した最適化手法である。

図8に今回の遺伝的アルゴリズムの処理フローを示す。

- 1) 溶接経路の遺伝子表現 GAにおいて一般的な0から1の2値表現ではなく、図9に示すようなR1からR10までの10台のロボットの担当する溶接線番号を一列に並べて溶接経路の遺伝子表現としている。

図8 遺伝的アルゴリズムの処理フロー

図9 溶接経路の遺伝子表現

図10 マルチロボットシミュレータ

- 2) 交叉の方法 特定のロボットをひとつ選択し、その中の特定区間の溶接線番号列を同一ロボット内の別の位置に移動させる。
- 3) 適応度の計算方法 図10に示すような専用のロボットシミュレータにより、全ロボットの動作をシミュレーションすることで、全体の作業時間を求める。
- 4) 淘汰の方法 作業時間の短い個体が優先的に選択し、次世代に残されるようなランキング戦略を用いている。

3. シミュレーション技術

3.1 ロボットシミュレーション

すでに述べたようにロボットシミュレーション技術は、

図11 物流シミュレーション

CAD/CAM システムには不可欠な技術であり，対象ワークとロボットとの干渉チェックに用いられている．その他，新規設備導入時や新製品の開発時の事前ロボット施工検討にも用いられており，例えば，ロボットとポジションの配置関係を調整することで，対象となる溶接線に無理なくロボットがアプローチできるかをCRT上で確認できる．

3.2 物流シミュレーション

溶接を中心とする組立工程においてはライン化が図られており，設備の効率的運用が課題となっている．物流シミュレータは，設備の稼働状況を仮想空間上でシミュレーションできるツールであり，ライン設備の稼働率，工程間ストック，ライン処理能力などの時間的推移を定量的に把握できるとともに，図11に示すようにCRT画面上で可視的な判断が可能であることが特徴である．例えば，ライン上のどの工程がボトルネックになっているのかということを簡単に確認することができる．このような物流シミュレーションは，工場全体という大きな規模⁶⁾でも実施されており，生産技術者が机上で検討していたレベルをしのぐものであり，まさに技術革新である．

4. 生産管理システム

生産管理システム（CAPM: Computer Aided Production Management）開発に関しては，重工製造業においても積極的に取り組まれてきている．中核となる生産計画については，図12に示すように階層的なシステム化がなされていることが多い．業種によって様々ではあるが，1年

図12 階層型日程計画システムの例

間程度の作業計画を立案する大日程計画，3ヶ月程度の生産計画を立案する中日程計画，そして1ヶ月程度の工程実施計画を立案する小日程計画から構成されている．

これらの業種では様々な外乱発生による作業進捗の遅れを早期に把握し，その対応を取ることが重要であることから，進捗管理のシステム化にも取り組みがなされている．

5. おわりに

高効率生産に不可欠なマルチロボットを中核とした溶接のシステム化に関して，CAD/CAM 開発事例を中心に紹介した．物流シミュレーション，生産管理システムに関しては十分な説明ができていないが，コンピュータ技術革新により，これらの技術がものづくりの全体最適化，高効率化に貢献している．また，システムの最適化技術は，今後ますます発達していくことを期待する．

参考文献

- 1) 長尾ら：船用ディーゼルエンジンの溶接ロボット用 CAD/CAM システムの開発，本会溶接法研究委員会，SW 2709-00 (2000)
- 2) 芝池：オフラインティーチングシステムを組み合わせた溶接ロボットシステム，神戸製鋼技術がいにど，No. 380, vol. 41 (2001)，pp6-10
- 3) 勘定ら：MMST 鋼製セグメント溶接ロボットシステムの開発，本会溶接法研究委員会，SW 2877-02 (2002)
- 4) 勘定ら：造船小組立マルチロボット溶接システムの開発と実用化，本会溶接法研究委員会，SW 2398-95 (1995)
- 5) 勘定ら：マルチロボット溶接における溶接経路最適化，本会概要，No. 69 (2001)，pp376-377
- 6) 藤田ら：受注生産品工場におけるバーチャルファクトリーの取り組み，SW 2769-01 (2001)