

学 位 論 文 題 名

A Feature-Based Process Planning System
for Robotic Arc Welding

(ロボットアーク溶接用フィーチャーベース工程計画システム)

学位論文内容の要旨

本論文はCADをベースとした自動アーク溶接作業におけるロボットの駆動のためのオフラインプログラミングを支援するためのフィーチャーベース工程計画システムについて論じたものである。最近、コンピュータ援用工程計画(CAPP)の研究ではCAD/CAMの統合化に関する問題が重要な研究課題として取り上げられており、特に既存のソリッドモデラーを用いる代わりに、フィーチャーライブラリおよびフィーチャーデータベースを用いるフィーチャーベース解析方式に関する研究が進められている。したがって本論文では、まず最近におけるフィーチャーベースモデリング方式の機能とその適用性を論じ、さらにあらかじめ定義されたフィーチャーライブラリに獲得・統合された形状フィーチャーと技能フィーチャーを用いて製品モデルを生成する方式を開発した。しかし、これまでこのようなフィーチャーベースを用いたロボット溶接工程計画システムの開発は進められておらず、一般的な工程設計の解析法に基礎をおいたオフラインロボットプログラミングシステムの開発に関する報告が散見されるに止まっている。

このような観点から本研究ではオフラインロボットプログラミングとロボットアーク溶接を効果的に支援できるフィーチャーベース工程計画システムの提案を目的としてシステムの開発研究を行った。本研究で提案したフィーチャーベース工程計画システムは基本的に設計と工程計画間の技術的な生産設備の接続と生産情報の通信のためにあらかじめ定義されたフィーチャーを使用する創成的な工程設計システムである。このシステムは溶接構造物(Welded Plate Construction)とロボットを含めた作業系モデルリング、作業系配置、溶接作業の順序指定、ロボットの経路計画、溶接作業の工程スケジューリング、そしてIRデータ(Industrial Robot DATA)の生成等に関する溶接ロボットの作業と動作をフィーチャーデータを利用して統合的な支援を可能とするものである。

本論文は8章より構成されている。

第1章は緒論であって、CAD/CAMの統合化およびフィーチャーベース方式に関するこれまでに行われた研究の概要と問題点を論じ、さらにロボットアーク溶接及びオフラインロボットプログラミングに関する研究の動向から、本研究の必要性和目的、およびその研究範囲と概要について述べている。

第2章では、コンピュータ援用工程計画システムの現状と開発の方向を論じている。まず、

本研究であつかうフィーチャーベース工程計画システムに関する基本的な枠組み構造と、これによる主要研究主題を検討し、つづいてフィーチャーベースの3次元溶接板構造物モデラーを論じている。

第3章では、アーク溶接作業のフィーチャーを活用した、平面における2次元溶接板を3次元溶接板構造物に変換するフィーチャーベース方式の溶接構造系モデラーの開発について述べている。溶接構造物に関連するフィーチャーの定義及び分類を行い、これらのフィーチャーを利用した2次元溶接板の3次元溶接物組立体への変換・組立性の妥当性の検証とグループフィーチャーを利用した溶接線データの生成手順の開発を行った。

第4章では、ロボット溶接に用いる作業治具の一種であるポジショナーの利用例の解析から、ロボットとの統合動作制御方式の開発およびその適用方式を提案している。まず溶接ビードの品質改善のための下向溶接アルゴリズムのこれまでの研究の内容を評価し、ポジションパラメータに従う溶接作業の安定度及び安定領域の数理的モデルが溶接品質と溶接生産性に大きく影響することを論じている。あわせて、これらの研究結果を適用すると同時に溶接手順決定問題を含んだ多層-多溶接線溶接工程計画に対するアルゴリズムの構築を行っている。

第5章は、溶接用ロボットの衝突回避経路計画を論じたものであり、溶接作業中のロボットの経路生成、すなわち溶接線上での経路生成計画と、ロボットが溶接線に接近あるいは離脱するときの経路生成の問題、すなわち溶接線間での経路計画との基本的な二つの形態に分類して取り扱っている。溶接線上での経路計画では溶接トーチと溶接構造物の衝突・干渉には接近・衝突の類型によって経路の調整と生成を行い、次に溶接線間の問題ではロボット本体と溶接構造物の衝突が予知される場合には6軸多関節ロボットの疑似逆機構学的ロボット動作制御方式の同次解を利用して衝突回避経路を生成した。

第6章では、滑らかでかつ正確なロボット経路を迅速に生成するために、三つの方式によるロボット関節軌跡生成アルゴリズムを提案している。第一の方式は与えられたロボット経路の位置データのみ依存して関節軌跡を生成するものであり、第二の方式は位置データに加えて、速度データの逆変換までを利用する方式である。そして、第三の方式は速度データの直接変換及び経験的な限界数式に基礎を置いた方式である。この中で第二方式がもっとも速く滑らかな関節の駆動軌跡を算出し、特異点からの脱出も容易なアルゴリズムを求めている。第三方式は第一方式よりも算出速度が速く、根本的に特異点の影響を受けない解を提供するが、限界数式が必要となる短所を持っている。

第7章は、対話式プロトタイプシステムである本研究で提案したフィーチャーベース工程計画システムがフレーム構造及びそのアルゴリズムを基本として開発されたことを示し、開発されたシステムをフィーチャーベースの溶接構造物モデラーを含め、9個のモジュールで構成した。また各工程計画による事例研究をエキスカベーターの腰部分の部品であるセンターフレームを対象に行い、その成果を示している。

第8章は結論と総括であって、本研究において得られた結果を総括して述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 斎 藤 勝 政

副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

副 査 教 授 岸 浪 建 史

学 位 論 文 題 名

A Feature-Based Process Planning System for Robotic Arc Welding

(ロボットアーク溶接用フィーチャーベース工程計画システム)

本論文は CAD をベースとしたアーク溶接作業におけるロボットの駆動のためのオフラインプログラミングを支援するためのフィーチャーベース工程計画システムについて論じたものである。

最近、コンピュータ援用工程計画(CAPP)の研究では CAD/CAM の統合化に関する問題が重要な研究課題として取り上げられており、特に既存のソリッドモデラーを用いる代わりに、フィーチャーライブラリおよびフィーチャーデータベースを用いるフィーチャーベース解析方式に関する研究が進められている。

そこで本研究では、オフラインロボットプログラミングとロボットアーク溶接を効果的に支援できるフィーチャーベース工程計画システムの提案を目的としてシステムの開発研究を行った。本論文で提案したフィーチャーベース工程計画システムは基本的に設計と工程計画間の技術的な生産設備の接続と生産情報の通信のためにあらかじめ定義されたフィーチャーを使用する創成的な工程設計システムである。このシステムは溶接構造物 (Welded Plate Construction) とロボットを含めた作業系のモデリング、作業系配置、溶接作業の順序指定、ロボットの経路計画、溶接作業の工程スケジューリング、そしてIRデータ (Industrial Robot DATA) の生成等に関する溶接ロボットの作業と動作をフィーチャーデータを利用して統合的な支援を可能とするものである。

本論文は8章より構成されている。

第1章は緒論であって、CAD/CAM の統合化およびフィーチャーベース方式に関するこれまでに行われた研究の概要と問題点を論じ、さらにロボットアーク溶接及びオフラインロボットプログラミングに関する研究の動向から、本研究の必要性和目的、およびその研究

範囲と概要について述べている。

第2章は、コンピュータ援用工程計画システムの現状と開発の方向を論じたものであり、フィーチャーベース工程計画システムに関する基本的な枠組み構造と、フィーチャーベースの3次元溶接板構造物モデラーについて論じている。

第3章は、アーク溶接作業のフィーチャーを活用した、平面における2次元溶接板を3次元溶接板構造物に変換するフィーチャーベース方式の溶接構造系モデラーの開発について述べ、2次元溶接板の3次元溶接物組立体への変換・組立性の妥当性の検証とグループフィーチャーを利用した溶接線データの生成手順を論じたものである。

第4章では、ロボット溶接に用いる作業治具の一種であるポジショナーの利用例の解析から、ロボットとの統合動作制御方式の開発およびその適用方式を提案している。まずポジションパラメータに従う溶接作業の安定度及び安定領域の数理的モデルが溶接品質と溶接生産性に大きく影響することを論じ、あわせて、溶接手順決定問題を含んだ多層-多溶接線溶接工程計画に対するアルゴリズムの構築を行っている。

第5章は、溶接用ロボットの衝突回避経路計画を論じたものであり、溶接作業中のロボットの経路生成計画と、ロボットが溶接線に接近あるいは離脱するときの経路生成の問題、すなわち溶接線間での経路計画との基本的な二つの形態に分類して取り扱っている。

第6章では、滑らかでかつ正確なロボット経路を迅速に生成するために、三つの方式によるロボット関節軌跡生成アルゴリズムを提案し、工業的な有用性を論じている。第一の方式は与えられたロボット経路の位置データのみに依存して関節軌跡を生成するものであり、第二の方式は位置データに加えて、速度データの逆変換までを利用する方式である。そして、第三の方式は速度データの直接変換及び経験的な限界数式に基礎を置いた方式である。

第7章は、対話式プロトタイプシステムである本研究で提案したフィーチャーベース工程計画システムがフレーム構造及びそのアルゴリズムを基本として開発されたことを示し、開発されたシステムをフィーチャーベースの溶接構造体モデラーを含め、9個のモジュールで構成した。また各工程計画による事例研究をエキスカベーターの腰部分の部品であるセンターフレームを対象に行い、その成果を示している。

第8章は結論と総括であって、本研究において得られた結果を総括して述べている。

これを要するに、著者は、アーク溶接用ロボットのためのフィーチャーベース工程計画の新知見を得たものであり、工程設計の自動化を可能としており、精密工学および生産情報処理工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。