

パソコンコントローラをベースとした教示レス仕上げロボット

Teachingless Finishing Robot System with Robot Controller Based on Multiple Personal Computers

神野 誠
JINNO Makoto

大明 準治
OAKI Junji

辰野 恭市
TATSUNO Kyoichi

ガス溶断した鋼板のエッジ仕上げ作業用に、教示レスで実行できるロボットシステムを、パソコン(PC)ベースのコントローラを用いて構築した。PCをコントローラに用いることで、専用コントローラに比べてハードウェア、ソフトウェア、周辺機器の機能の追加が容易になり、フレキシブルなロボットコントローラを構成できる。開発したシステムでは、作業者はワーク(溶断後の鋼板)をワーク台にラフに積むだけで、ロボットシステムは、カメラでワーク形状・位置を測定して、自動的にロボット言語命令列を生成し、力制御により作業を実行する。パレットにワークを固定したり、作業教示をする前準備の必要がなく、作業者の作業効率が大幅に向上する。

Toshiba has developed a teachingless finishing robot system with a robot controller based on multiple personal computers. By using PCs for robot controllers, flexible robot controllers with force sensors and vision sensors can be realized that enable useful functions to be easily added compared with conventional dedicated controllers. The system performs finishing tasks on steel plates cut by gas cutting machine. When an operator places a steel plate on the worktable, the robot system performs finishing tasks by measuring the unknown shape of the steel plate with a CCD camera.

This paper describes the kinematic definition of finishing tasks, outlines the robot system, and presents automatically generated algorithms for the robot language program.

1 まえがき

造船、電力機器などの生産工程では、磨き(さび落とし)作業、バリ取り作業、溶接ビード研削など、様々な仕上げ作業が行われている。これらの工程で対象とするワークは多種少量であり、個々のワークに対して作業教示を行い、それを再生するという方法は、教示に多くの時間を費やし効率的ではない。当社は、これまで仕上げ作業ロボットに関する研究⁽¹⁾⁻⁽³⁾を実施してきた。そこで、ガス溶断した鋼板のエッジのバリ取り・面取り作業を行う教示レス仕上げロボットを、複数のPCを用いて機能を分散させたPCコントローラにより構築した。

ロボットによる自動化を実現するためには、いろいろなセンサや制御系を組み合わせる作業にトライすることが必要である。PCをコントローラに用いることで、専用コントローラに比べてハードウェア、ソフトウェア、周辺機器の機能の追加が容易となり、仕上げ作業に必要な力覚センサや視覚センサなどの外界センサフィードバックを取り入れた、拡張性のあるフレキシブルなロボットコントローラを構成できる。

開発したシステムは、作業者が未加工ワーク台にワークをラフに積むだけで、カメラでワーク形状・位置を計測して、自動的にロボット言語命令列(作業プログラム)を生成し、力制御により作業を実行するものである。作業者は、パレットにワークを固定したり、作業教示をする必要がなく、一つの作業工程(作業セル)を自動化することができる。

ここでは、最初にロボットが行う仕上げ作業を分析した後、開発したシステムの概要、教示レスのための作業プログラムの自動生成法について述べる。

2 仕上げ作業

2.1 作業対象物

対象とする作業は、鋼板のガス切断後の仕上げ作業である。対象とするワーク例を図1に示す。比較的単純な二次元形状ではあるが、個々の形状や厚さの異なる多種少量ワーク(縦:300mm×横:300mm程度以下、厚さ5~25mm、



図1. 仕上げ作業の対象とするワークの形状例 直線や円弧から構成される二次元形状の、ガス切断後の鋼板ワークを示す。
Examples of workpieces

質量10 kg以下)である。

2.2 作業のための工具の運動

仕上げ作業の内容は、鋼板のエッジ周辺に付いた溶断時の鉄片(溶断片)を除去するバリ取り作業(図2)と、外周りょう線(エッジ)の幅1 mm程度の面取り作業(図3)である。以下、それぞれの作業を、工具とその運動として定義する。

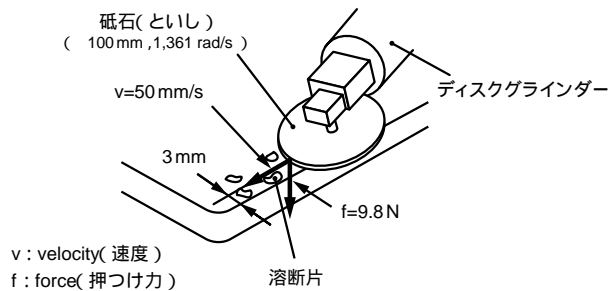


図2. バリ取り作業 ディスクグラインダーでワーク上面周囲の溶断片の除去を行う。

Deburring task on steel plate cut by gas cutting machine

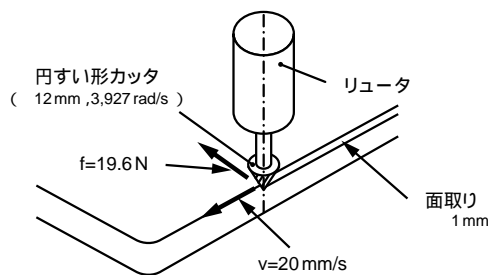


図3. 面取り作業 リユータでワーク周囲の面取りを行う。

Chamfering task on steel plate cut by gas cutting machine

(1) バリ取り作業 図2に示すようにディスクグラインダー

(直径: 100 mm, 角速度: 1,361 rad/s)を用いて、エッジから3 mm離れたところを9.8 Nの押しつけ力でワーク法線方向にディスクグラインダーを押しつけながら、エッジに平行に50 mm/sで工具を送る。ディスクグラインダーは、空気圧で回転させている。

(2) 面取り作業 図3に示すようにリユータ(底辺径:

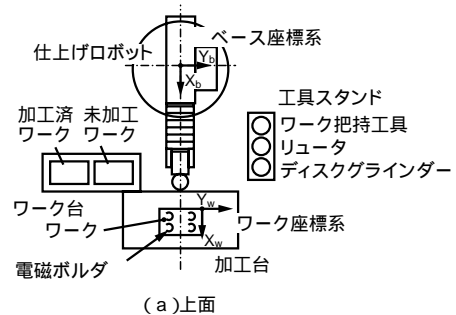
12 mm, 高さ: 6 mm, 角速度: 3,927 rad/s)を用いて、ワーク面内のエッジに垂直な方向に19.6 Nで押しつけながら、エッジと平行に20 mm/sで工具を送る。リユータは、空気圧で回転させている。

以上のように 作業により工具作用点での目標押しつけ力、目標速度が決まる。したがって、エッジの位置を測定すると目標軌道(位置)が決まり、これらの位置、速度、押しつけ力を目標値としてアームを制御すれば作業が遂行できるはず

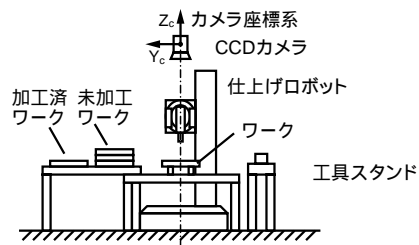
である。なお、押しつけ力や工具の送り速度は、実験により求めた値である。

2.3 ロボットのための作業シーケンス

作業環境とロボットの配置を図4に示す。この図を参照しながら、仕上げ作業時のロボットの動作シーケンスについて述べる。



(a)上面



(b)正面

X_b, Y_b : ロボットベースを基準(ロボットベースに原点)とした座標系のX方向,Y方向
 X_w, Y_w : ワークを基準(ワークに原点)とした座標系のX方向,Y方向
 Y_c, Z_c : カメラを基準(カメラに原点)とした座標系のY方向,Z方向

図4. 作業環境とロボットの配置 仕上げロボット,ワーク台,加工台,工具スタンドなどから構成されている。

Layout of teachingless finishing robot system

作業者が、いろいろな形状のワークを未加工ワーク台へ複数枚、適当に積み重ねて置き、システムをスタートさせると、以下の一連の作業が自動的に実行される。

(1) ロボットは、未加工ワーク台に置かれたワークをハンドリングして、加工台にセッティングする。

(2) 作業台の上方約1.4 mに設置されたCCD(電荷結合素子)カメラによりワークの画像を入力し、画像処理PCによりワークのエッジの位置を計測し、エッジを位置目標軌道として作業プログラムの自動生成を行う。動作プログラムの自動生成については4章で述べる。

(3) ロボットは自動生成された作業プログラムに従い、まず、工具スタンドに用意したディスクグラインダーで、溶断時にエッジの近傍に飛散した鉄片のバリ取り作業を行う。

- (4) 次に、工具をリユータに交換し、ワークのエッジに幅1 mm程度の面取り作業を行う。
 - (5) 面取り作業終了後、ワーク把持工具に交換し、ワークを加工済ワーク台へ移動させる。
- (1)～(5)を繰り返し、積み重ねられたワークのバリ取り・面取り作業を順次行い、未加工ワーク台に置かれたワークがなくなるまで作業を行う。

3 開発したシステムの概要

3.1 構成

開発したロボットシステム構成を図5に示す。ロボットアーム、ロボットコントローラなどから構成されている。ロボットコントローラは、4台のPCとサーボドライバやセンサ入出力装置から成る。6軸円筒座標型アームの手首部には力覚センサが装着されており、力制御が可能である。4台のPCは、それぞれ、画像処理及び作業プログラムの自動生成 (VP)、全体管理及びマンマシンインタフェース (SVP)、目標軌道生成及び力制御 (MCP)、関節角のサーボ制御 (SRV) を分担している。

3.2 コントローラの処理の流れ

SVPは、作業プログラムのコンパイルや実行シーケンスの

管理などの全体管理と、マンマシンインタフェースを担っている。2.3節で述べた作業シーケンスに沿って、ワークの搬入、バリ取り・面取り作業、ワークの搬出の順にそれぞれに対応するロボット言語で書かれたプログラムの実行を指示する。作業者がシステムをスタートさせた後の、コントローラの処理の流れは以下のとおりである。

- (1) SVPが、あらかじめ教示されたワークの搬入プログラム (ロボット言語) をコンパイルし、命令コードに変換してMCPに転送し、そのコマンドに対応するファンクションを順次実行していくことにより、ワークの搬入作業が遂行される。命令コードの実行の手順は、以下の(3)、(4)、(5)と同じである。
- (2) ワーク搬入により、ワークが作業台にセットされると、SVPはVPIに画像処理要求を出す。するとVPIは、ワーク台の鉛直上方に配置したCCDカメラでワークの画像を取り込み、エッジを抽出して、バリ取りと面取りのための作業プログラムを自動生成する。生成された作業プログラムはSVPに転送される。SVPは、転送された作業プログラムをコンパイルし、命令コードに変換する。変換された命令コードは順次MCPに転送される。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。

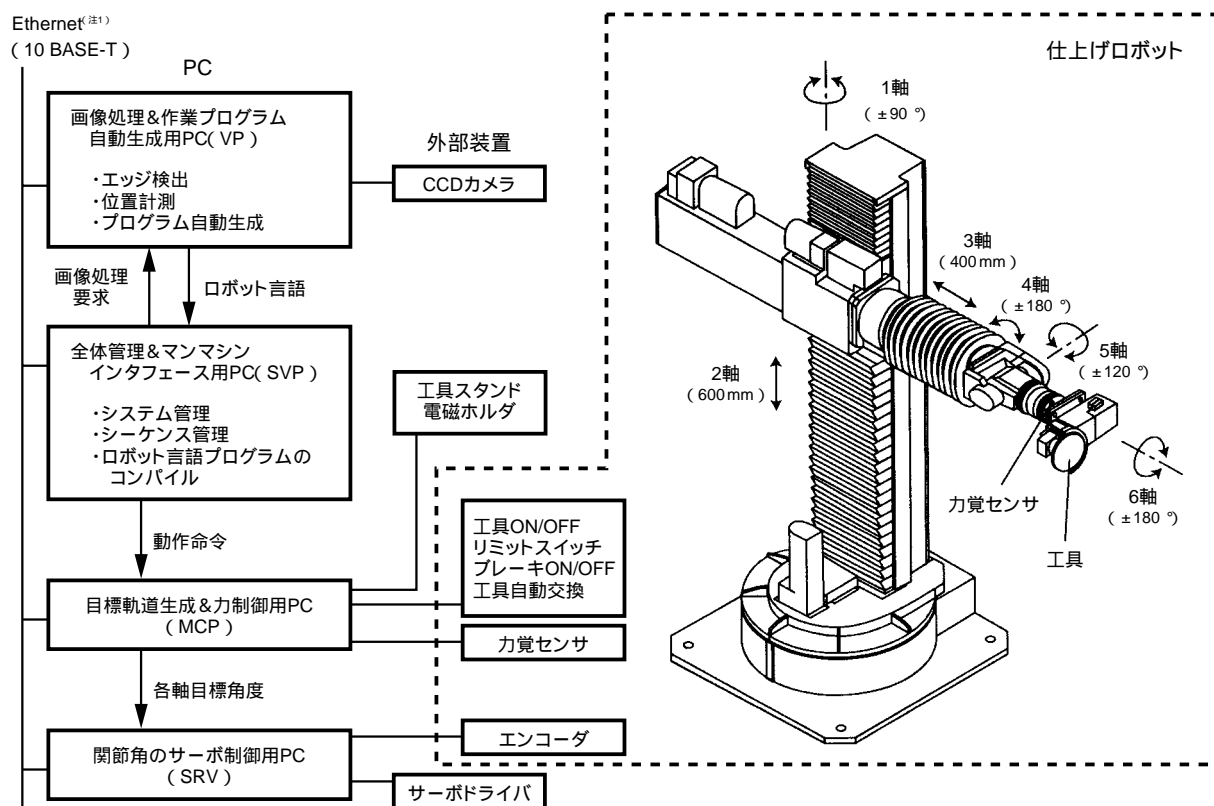
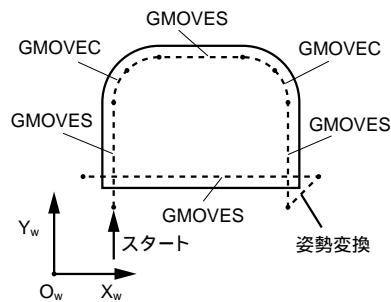


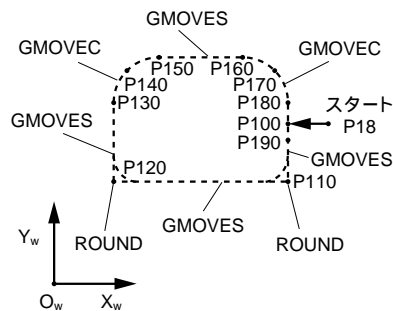
図5 . ロボットのシステム構成 System configuration
 ロボットコントローラは、4台のPCとサーボドライバやセンサ入出力装置から成る。

- (3) MCPは命令コードを解釈し,その命令に対応するファンクションを実行する。この命令コードが位置制御移動命令(MOVEなどに対応)である場合は,ワーク座標系(図4内の)で軌道生成し,それを関節角に逆変換する。逆変換された関節角目標値をSRVに転送する。
- (4) SRVは,エンコーダから現時点の関節角を入力し,サーボ演算(速度ループ,位置ループ)を行い,モータドライバへ駆動指令(電流指令)を出力する。
- (5) 命令コードが,力制御移動命令 GMOVEなどに対応)であれば,ワーク座標系で軌道生成し,力制御演算(力制御のために位置補正計算)を実施した後,関節角に逆変換してSRVに目標関節角を転送する。力制御の場合は目標位置より力の制御が優先され,力覚センサで検出された力が一定になるように目標位置を修正する。すなわち,メカニカルな弾性を利用し,力を位置の変位に変換して制御している。
- (6) 自動生成したバリ取り・面取り作業プログラムの実行が終了すると,工具をワーク把持工具に交換し,作業台からワークを加工済ワーク台に搬出する。ワーク



X_w, Y_w, O_w : ワークを基準(ワークに原点)とした座標系のX方向, Y方向, 原点

(a)バリ取り作業



P : Point(位置及び姿勢を定義するために,位置成分(X, Y, Z)と姿勢成分(a, b, c)から構成される。)

(b)面取り作業



(1)ワーク搬入



(2)工具自動交換



(3)バリ取り作業



(4)面取り作業

図6. 自動生成する工具の目標軌道 ディスクグラインダーを使用するバリ取り作業では,コーナーでいったん工具をワークから離し,姿勢を変える。

Automatically generated desired trajectories for deburring and chamfering

図7. 教示レス仕上げ作業の各工程 作業者は,パレットにワークを固定したり,作業教示をする必要がない。

Teachingless finishing

搬出時のコントローラの動作は、(1)の搬入時と同じである。

4 作業プログラムの自動生成方法

わかりやすくするために、ワーク形状が図6(a)のように簡単な場合を例にとり、作業プログラムの生成方法を述べる。まず、作業を行う目標軌道であるワークのエッジを、CCDカメラの画像から抽出し、直線と円弧で近似し、ワーク形状データファイルを生成する。次に、このワーク形状データファイルと、あらかじめ作られている工具の送り速度などの加工条件を記述した加工条件ファイルを用いて、バリ取りと面取り作業の作業プログラムを生成する。

原則として図6(a)に示すように、ワーク座標系で左下を加工開始点として、時計回りに工具を動かす。ワークの形状データファイルの順ではない。直線の部分の移動にはGMOVES(力制御直線移動命令)を、円弧の移動部分にはGMOVEC(力制御円弧移動命令)を用いる。

ディスクグラインダーを使用するバリ取り作業(図6(a))ではコーナーを連続して加工できないので、コーナーでいったん工具をワークから離し、姿勢を変えている。リユータを使用する面取り作業(図6(b))では、コーナーをスムーズに加工するため、コーナーに円弧軌道を生成する命令(ROUND)を用いる。最終的に生成されるのは、ロボット言語のソースプログラム(キャラクタファイル)である。

5 実験

試作したシステムを用いて、ガス溶断した鋼板の仕上げ作業を実施した。実験では、作業者が未加工ワーク台にラフに置いたワークをロボットがハンドリングして、ワーク台にワークをセッティングし、画像処理により自動生成した動作プログラムに従い、必要に応じて工具交換などを行いながら作業を実行した。形状・厚さの異なる鋼板ワーク(図1)の仕上げ作業を、個々のワークに対する教示作業なしに自動で行えることを確認した。作業のようすを図7に示す。

6 あとがき

ガス溶断した鋼板のエッジの仕上げ作業用に、教示レスで実行できるロボットシステムをPCベースのコントローラを用いて構築した。仕上げ作業に必要な力覚センサや視覚センサなどを組み込み、拡張性のあるフレキシブルなロボットコントローラを構成することができた。

開発したシステムでは、作業者は未加工ワーク台にワークをラフに積むだけで、ロボットシステムは、カメラでワーク形状・位置を測定して自動的に作業プログラムを生成し、力制御により作業を実行できた。パレットにワークを固定したり、作業教示をする前準備の必要がなく、作業者の作業効率が大幅に向上する。

文献

- (1) 神野 誠,ほか.タスク指向のロボット言語を有する力制御仕上げロボットの開発.日本ロボット学会誌.14,8,1996,p.1178-1185.
- (2) 神野 誠,ほか.機械加工バリ取り作業を対象とした力制御の追従性向上.日本ロボット学会誌.17,1,1999,p.147-155.
- (3) 神野 誠,ほか.仕上げ作業における力制御の基本構成と制御方法.日本機械学会論文集(C編).66,643,2000,p.893-900.



神野 誠 JINNO Makoto, D.Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員, 工博。ロボット技術の研究・開発に従事。日本機械学会, 日本ロボット学会会員。

Mechanical Systems Lab.



大明 準治 OAKI Junji

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主務。ロボット制御の研究・開発に従事。日本ロボット学会, 計測自動制御学会会員。

Mechanical Systems Lab.



辰野 恭市 TATSUNO Kyoichi, D.Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主幹, 工博。ロボットシステム及び光応用計測技術の研究・開発に従事。日本機械学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会会員。

Mechanical Systems Lab.