

産業用ロボットのためのCAD/CAMインタフェースの一提案

永田寅臣 (山口東京理科大学) 草野孝正 (SOLIC Co. Ltd.) 渡辺桂吾 (岡山大学)

1. はじめに

消失模型を用いるフルモールド鋳造法で使用される樹脂型の製造工程では、数値制御 (NC) 工作機械などを用いて発泡材の切削加工が行われていたが、最近ではコストや設置スペース、動作自由度などの優位性から産業用ロボットを代替的に利用したいというニーズがある。産業用ロボットの教示方法としては、オペレータがティーチングペンダント (TP) を用いて行うマニュアル教示が一般的であったが、最近では TP による手動入力を必要とせず PC 上の操作のみで教示ができ、教示データの検証から動作シミュレーションまでを可能とするオフラインプログラミングと呼ばれるソフトウェアが提供されている。しかしながら、加工ロボットに適用された場合、ワークに応じて非常に多くの入力が必要とすること、設計加工の支援ツールである CAD/CAM とのインターフェイスが不十分であることなど、実用性に欠けるといった問題がある。

本研究ではこのような問題点を解決するために FANUC 製の大型産業用ロボット R-2000iC を対象にし、一般的な CAD/CAM により作成可能な工具経路である CLS (Cutter Location Source) データから、FANUC のロボット言語である LS データを自動生成できるポストプロセッサを提案する。提案したポストプロセッサの妥当性と有用性は、シミュレーション環境 RoboGuide 上でのプレイバック実験と実機を用いた加工実験により評価したので報告する。

2. FANUC ロボット言語

図 1 にはテキスト形式で書かれた FANUC 製の産業用ロボットのプログラムの構造を示す。ファイル拡張子が LS であるため、LS フォーマットで書かれた LS ファイルあるいは LS データのように呼ばれている。一つの LS ファイルは、ヘッダー領域、プログラム領域、データ領域から構成される。ヘッダ領域は次のような固定行長を持ち、プログラムの基本情報が記述がされている。

```
/PROG fs
/ATTR
OWNER = MNEDITOR;
COMMENT = "Robot";
PROG.SIZE = 1030;
CREATE = DATE 16-06-12 TIME 23:33:50;
MODIFIED = DATE 16-06-12 TIME 23:33:50;
FILE.NAME = ;
VERSION = 0;
LINE.COUNT = 20;
MEMORY.SIZE = 1318;
PROTECT = READ.WRITE;
TCD: STACK.SIZE = 0,
TASK.PRIORITY = 50,
TIME.SLICE = 0,
BUSY.LAMP.OFF = 0,
```

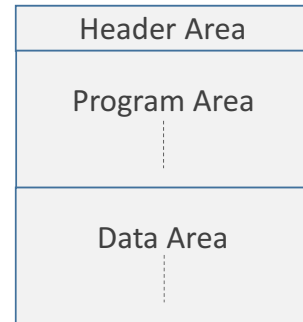


図 1 Structure of FANUC robotic program.

```
ABORT.REQUEST = 0,
PAUSE.REQUEST = 0;
DEFAULT.GROUP = 1,*,*,*;
CONTROL.CODE = 00000000 00000000;
```

ヘッダー領域に続くプリプログラム領域は次のような記述になっている。

```
1:JP[1] 100% CNT50 ;
2:JP[2] 100% CNT50 ;
3:LP[3] 250 mm/sec CNT50 ;
4:LP[4] 250 mm/sec CNT50 ;
5:LP[5] 250 mm/sec CNT50 ;
6:LP[6] 250 mm/sec CNT50 ;
7:LP[7] 250 mm/sec CNT50 ;
8:LP[8] 250 mm/sec CNT50 ;
9:LP[9] 250 mm/sec CNT50 ;
10:LP[10] 250 mm/sec CNT50 ;
11:LP[11] 250 mm/sec CNT50 ;
12:LP[12] 250 mm/sec CNT50 ;
:
:
```

ここで、“JP”はNCファイル内の“G00”のような位置決めのための早送り指令である。“LP”は“G01”のような直線補間による送り指令であり、250 mm/secのように任意の送り速度を設定できる。“CNT50”を加えることでコーナーが半径 50 mm で丸められた軌道をとる。さらに、プログラム領域に続くデータ領域には作業座標系における位置と姿勢から構成される教示点が格納されており、次のような記述となっている。

```
/POS
P[1] GP1:
UF : 1, UT : 1, CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
X =-100.000 mm, Y =158.030 mm, Z =-97.559 mm,
W =143.130 deg, P =0.000 deg, R =0.000 deg ;
P[2] GP1:
UF : 1, UT : 1, CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
```

```

X =-100.000 mm, Y =156.992 mm, Z =-98.944 mm,
W =180.000 deg, P =0.000 deg, R =0.000 deg ;
P[3] GP1:
UF : 1, UT : 1, CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
X =-100.000 mm, Y =156.335 mm, Z =-99.672 mm,
W =180.000 deg, P =0.000 deg, R =0.000 deg ;
P[4] GP1:
UF : 1, UT : 1, CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
X =-100.000 mm, Y =155.550 mm, Z =-100.258 mm,
W =180.000 deg, P =0.000 deg, R =0.000 deg ;
P[5] GP1:
UF : 1, UT : 1, CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
X =-100.000 mm, Y =154.665 mm, Z =-100.679 mm,
W =180.000 deg, P =0.000 deg, R =0.000 deg ;
:

```

ここで, X, Y, Z は位置ベクトルを, W, P, R は x, y, z 軸回りの回転角度をそれぞれ表す. UF と UT はそれぞれ, ユーザ側で定義できるユーザ座標系と工具座標系である.

3. FANUC ロボット言語のためのポストプロセッサ

提案するポストプロセッサの役割は, 市販の CAD/CAM で作成できる CLS データから LS フォーマットの LS データを生成させることで NC 工作機械のような CAD/CAM の利用環境を提供することである. 直線近似による補間で作成した CLS データのサンプルを下記に示す.

```

:
GOTO/0.025,0.000,0.000,0.00833333,0.00000000,0.99996527
GOTO/0.006,-0.024,0.000,-0.00185434,0.00812439,0.99996527
GOTO/0.025,0.000,0.000,-0.00833333,0.00000000,0.99996527
GOTO/-0.006,0.024,0.000,0.00185434,-0.00812433,0.99996527
GOTO/-0.025,0.000,0.000,0.00833333,0.00000000,0.99996527
GOTO/0.006,-0.034,0.000,-0.00213149,0.01141874,0.99993253
:

```

ここで, 各 “GOTO” コードの後には位置ベクトル $x = [x \ y \ z]^T$ と正規化法線ベクトル $n = [n_x \ n_y \ n_z]^T$ が書かれているため, n から回転角度 W, P, R [deg.] を出力する必要がある. FANUC R2000iC の場合, W, P は次式から求めることができる.

$$W = -\text{atan2}(-n_y, -n_z) \quad (1)$$

$$P = \text{asin}(n_x) \quad (2)$$

産業用ロボットを材料の切削加工に用いる場合, アーム先端にはボールエンドミルなどの回転工具が装着される. 回転工具の軸対称性から z 軸回りの回転角度 R は 0 など固定値を与えればよい.

4. 実験

ポストプロセッサの有効性を確認するために 2 種類の変換実験 (CLS データ → LS データ) を行った. 図 2 に示す平面ワークに沿ったジグザグパス (520×500 mm) と, 図 3 に示す自由曲面に沿ったジグザグパス ($1200 \times 400 \times 65$ mm) で評価した. まず, それぞれの CLS データをポスト処理することで対応する LS データを生成することができた. 次に生成された LS データの妥当性を検証するために FANUC が提供するシミュレーション環境 RoboGuide 上でプレイバック実験を行った. 図 4 と図 5 には, FANUC R2000iC のモデルを使った軌道追従制御の実験風景を示す. RoboGuide からの警告メッセージなどが発生することなく, 工具先端の位置と姿勢を目標軌道に追従させることができた.

さらに, 実加工実験により, CLS データをポスト処

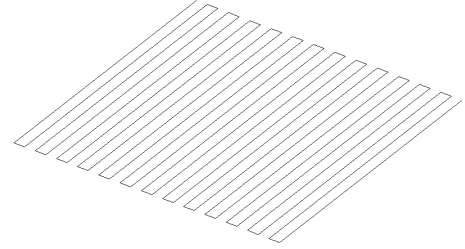


図 2 A part of zigzag path-based CLS data for machining a plane surface.

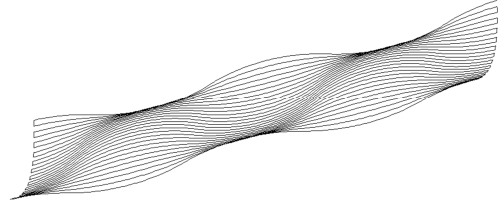


図 3 Zigzag path-based CLS data generated for a free-formed surface designed by CAD/CAM.

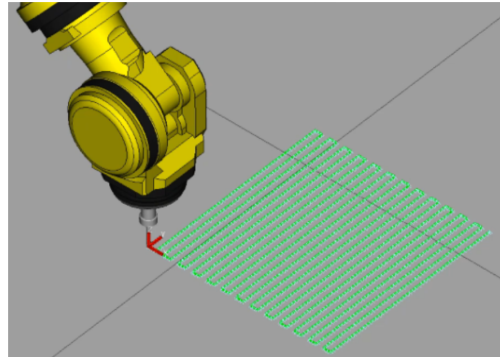


図 4 Trajectory following simulation using the CLS data shown in Fig. 2.

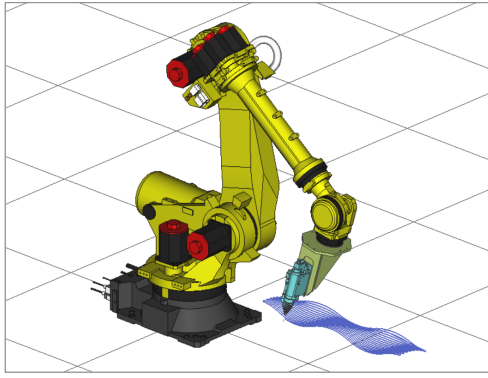


図 5 Trajectory following control of the tip of an end mill using the CLS data shown in Fig. 3.



図 7 Machining scene of the impeller model shown in Fig. 6 using a FANUC R2000iC with a ball-end mill (SOLIC Co. Ltd.).

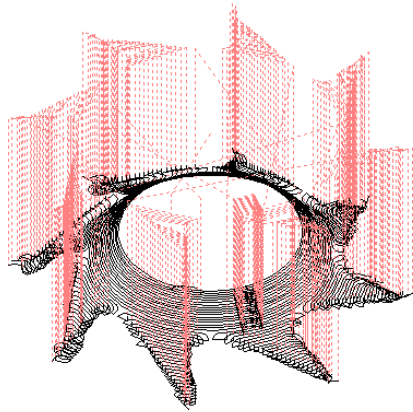


図 6 Complex CLS data for roughly machining an impeller model.

理することで得られた LS データの妥当性を評価した。図 6 には、CAD/CAM のメインプロセッサで生成させたインペラーモデルの荒加工実験用の CLS データを示す。図 7 には、ポスト処理された LS データを使った発泡材料の加工風景を示す。ボールエンドミルの先端が目標の位置・姿勢情報に追従しながら良好に切削加工できることが確認された。

5. 結言

従来、ポストプロセッサは NC 工作機械を対象としたソフトウェアである。本研究では、FANUC 製産業用ロボット R2000iC のためのポストプロセッサを提案した。従来の教示工程を必要とせず、CLS データから FANUC 製産業用ロボットの厳格なプログラム言語で書かれた LS データを簡単に生成できるようになった。その結果、CAD/CAM と産業用ロボットとの間の信頼性の高いデータインターフェイスを構築でき、教示レスで産業用ロボットを材料の切削加工に適用できるようになった。

謝辞

本研究の成果は JSPS 科研費 JP16K06203 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] F. Nagata, Y. Okada, T. Kusano, K. Watanabe, “CLS data interpolation with spline curves and its post processing for generating a robot language”, *Procs. of the 5th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering (ICIAE2017)*, pp. 358–363, 2017.