

## 産業用ロボットによる面取り作業の自動化 (寸法のばらつきに対応した面取り位置決めシステムの開発)

金沢大学 清重 智也, 浅川 直紀, 平尾 政利, 田中 秀岳  
羽田合金 羽田 三郎

Automation of Chamfering by an Industrial Robot

(Development of Positioning System for Chamfering to Cope with Dimensional Error)

Kanazawa University Tomoya KIYOSHIGE, Naoki ASAKAWA, Masatoshi HIRAO and Hidetake TANAKA  
Hata Goukin Co.Ltd. Saburou HATA

The study deals with automation of chamfering by an industrial robot. The study focused on automation of chamfering without influence of dimensional error piece by piece. In general, products made by casting have dimensional error. A casted impeller, used in water pump, is treated in the study as an example of the casting product. The impeller is usually chamfered with handwork since it has individual dimensional errors. In the system, a file driven by air reciprocating actuator is used as a chamfering tool and image processing is used to compensate the dimensional error of the workpiece. The robot hand carries a workpiece instead of a chamfering tool both for machining and for material handling. From the experimental result, the system is found to have an ability to chamfer a workpiece has the dimensional error automatically.

### 1. はじめに

面取り作業は製品の価値を左右する重要な作業であるが、3K作業であるため、作業の自動化が望まれている。特に砂型などで鋳造された製品は、製品各々に寸法のばらつきが存在するため、面取りは手作業で行われている。

本報では鋳造製品の1つである羽根車を対象とし、産業用ロボットによるマテリアルハンドリングと並行して、画像処理により工作物の寸法のばらつきに対応した面取りを行うシステムを構築したので報告する。

### 2. 対象工作物

本報で対象とした工作物はウォーターポンプに使用されており、ポンプの性能を左右する部品である。本報では実際の面取り作業に対応可能なシステムを構築するため、実際に製造されている羽根車を対象とした。その形状及び寸法を図1に示す。

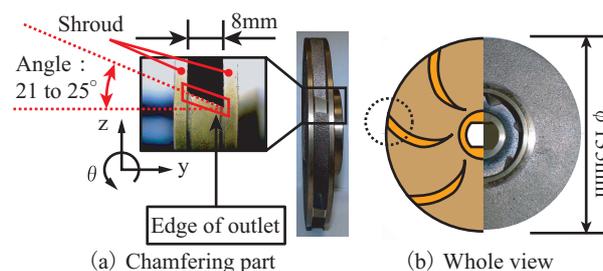


Fig.1 Shape and dimension of the impeller

図1に示すように加工対象部分は、前面、後面シュラウドに挟まれた、羽根出口側の負圧面エッジとする。この部分は羽根車1個に対し6ヶ所ある。本報における「ばらつき」とは、加工対象部分における接平面として $y, z$ 平面を定義し、 $y, z$ 方向及び接平面の法線方向回りの3つに対して発生する個体誤差を指すものとする。このようなばらつきを考慮した上で製品の性能に影響を及ぼさない程度に全てのエッジに対し面取りを行う必要がある。

### 3. システム構成

システムの概略を図2に示す。CADシステム((株)リコーDESIGNBASE)により工作物の形状定義を行い、同カーネルの

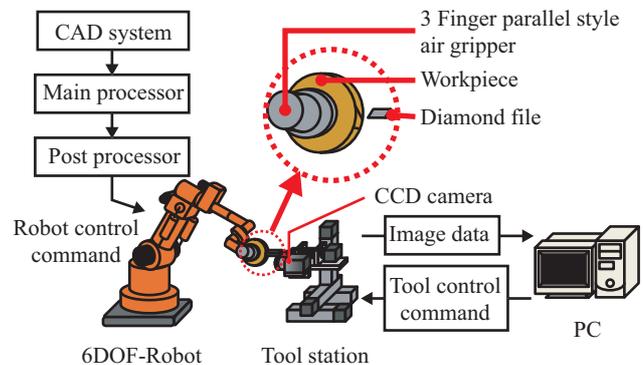


Fig.2 Configuration of the system

ライブラリを用いて開発したメインプロセッサで経路の生成を行い、ポストプロセッサでロボットの各関節角度の計算及びロボット動作プログラムの生成を行う。そのプログラムによりロボットを動作させ、工作物をハンド先端のチャックで把持しCCDカメラの前方に移動させ、画像を取得する。その画像から工具ステーションと羽根車の $y, z$ 、補正情報をPC上で生成し工具ステーションに動作制御信号を送ることで面取りを行う。ロボットは垂直多関節型6軸産業用ロボット(松下電器産業(株)AW8060)、全長2840mm、最大許容可搬重量60kgを使用した。工作物把持には3爪エアチャック平行開閉形(SMC(株)MHSL3-80D)、外径把持力500N、開閉ストローク(直径)40mm、質量2850g、を使用した。CCDカメラは高感度カラーCCDカメラ(WATEC(株)WAT-231S)、重量160g、レンズ(H1214FICS-3)を使用した。PCはPC/AT互換機(Pentium4, 2.66GHz)を使用した。

### 4. 工具ステーション

工具ステーションの外観を図3に示す。工具ステーションはCCDカメラで撮影した画像から得られた $y, z$ 、の誤差を補正し、往復ヤスリによって工作物の面取りを行う装置である。以下にその機能について述べる。

#### ア) 4軸制御機構

工具ステーションには $y, z$ 及び奥行き方向の位置を補正するための並進 $y, z, x$ 軸、 $x$ 軸回りの角度誤差を補正するための軸、が存在する。 $y, z, x$ 軸の最大ストロークは50mmであり、理

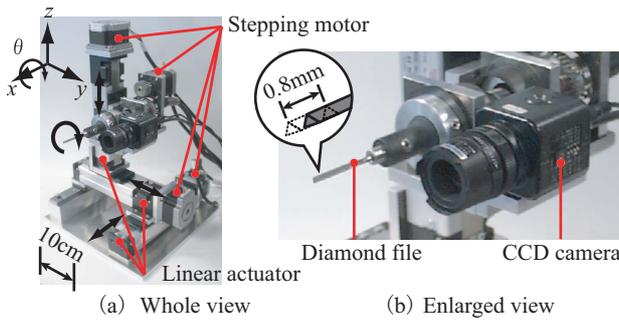


Fig.3 Tool station

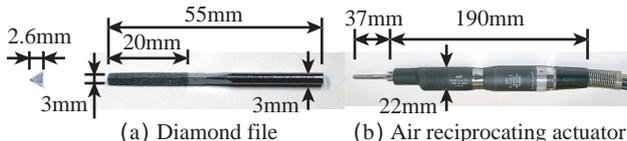


Fig.4 Air reciprocating actuator and diamond file

論分解能は0.03mmであり 軸回転分解能は0.9°である。y, z, x 軸のアクチュエータにはリニアアクチュエータ(THK(株)VLA-ST-45-06-0050)を使用し, モータはステッピングモータ(日本サーボ(株)KH56JM2-951)を使用した。軸にはステッピングモータ(KH42JM2-951)を使用した。

イ) 面取り工具

面取り部分は幅が狭く, また両端に隅部が存在することから回転工具での加工は困難である。そこで面取り工具としてペンシルタイプ空圧精密ポリリッシャー(往復動)((株)ナカニシ, ML-8, IM-301), ストローク幅0.8mm, 往復回数0 ~ 9000回/分, を使用し, 工具の先端には隅部に対応するため, 電着ダイヤモンドヤスリ((株)ナカニシ 62881)#150, 三角形形状, を使用した。形状と寸法を図4に示す。

5. 画像処理

本報では, 工作物の寸法のばらつきに対する補正を行い, 面取り角度を求める目的で画像処理を用いた。画像処理の概要を図5に示す。画像はPNM形式<sup>1)</sup>のものを使用した。以下に画像処理方法について述べる。

- (1) CCDカメラから640 × 480pixelのカラー画像(ppm)を取得し, カラー画像からグレースケール画像(pgm)に変換する。
- (2) メディアンフィルタを画像にかけて雑音を取り除く。
- (3) 画像の2値化を行う。
- (4) ラベリングを行い, 面積が最も大きいものを取り出す。
- (5) 画像を拡大し, 1pixelあたりの精度を上げる。その拡大した画像を元に, y, z,  $\theta$  を算出する。

画像の拡大には共一次内挿法<sup>2)</sup>を用いた。また, 面取り角度の算出には最小2乗法<sup>3)</sup>により直線近似を行った。これらの処理はC言語を用いた。

6. 実験

以上のシステムにより面取り実験を行った。図1に示す工作物を面取り対象として面取り部分6ヶ所のうち, 1ヶ所の面取り実験を行った。工作物の材質は銅合金CAC406, 重量は約1kg, 実験条件は送り速度0.72mm/s, 目標面取り幅0.2 ~ 0.7mmである。また面取り時の工具の初期位置, 動作方向, 面取り実験の様子を図6に示す。

また実験結果を図7に示す。加工前の面取り角度は24.3°であり, 加工後の面取り角度は24.1°であった。このことから工作物に対し工具の角度を正確に設定することができたことが分かる。面取り幅は約0.3mmであり, 目標範囲内に収まった。工

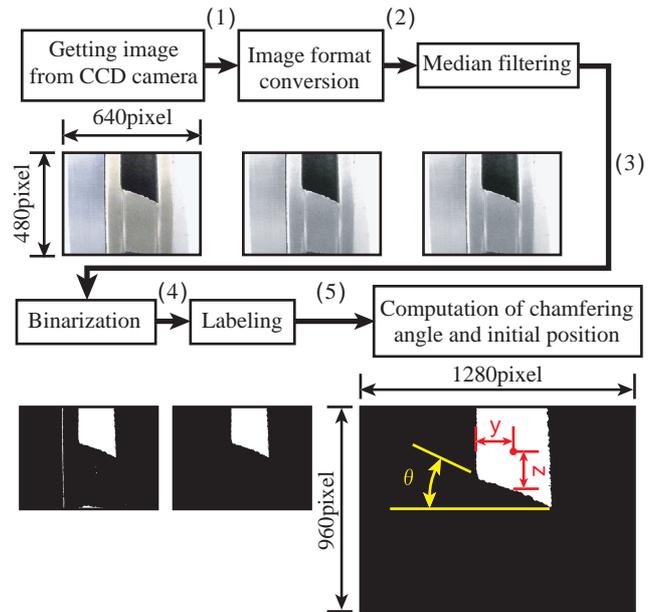


Fig.5 Flow of Image Processing

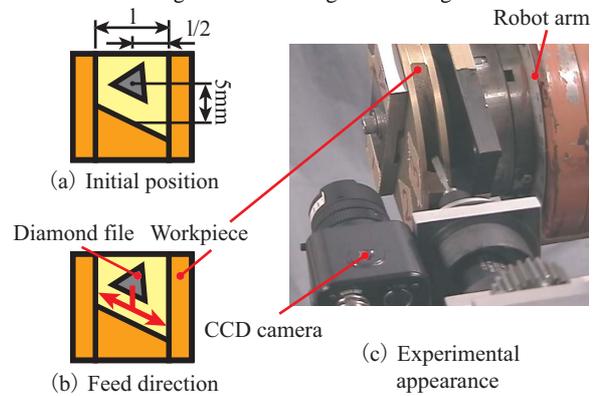


Fig.6 Appearance of tool and experiment

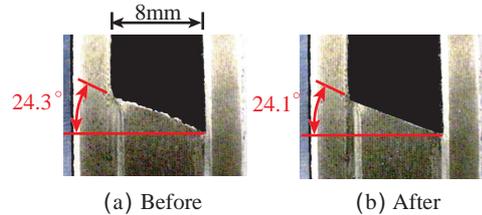


Fig.7 Experimental result

具とシュラウドの内側に干渉が見られたが, 製品の品質に問題は無かった。加工時間は画像処理も含め, 約30秒程度であり, 手作業の約2倍程度であるため若干の改善の余地がある。

7. おわりに

産業用ロボットを用いて, マテリアルハンドリングと並行して, 画像処理により工作物の寸法のばらつきに対応した面取りを行うシステムを開発した。

開発したシステムを用いて面取り実験を行い, y, z,  $\theta$  のばらつきを正確に補正し, システムの有効性を確認できた。

参考文献

- 1) Jef Poskanzer : The PNM Format, <http://netpbm.sourceforge.net/doc/pnm.html>.
- 2) 井上, 八木, 林, 中須, 三谷, 奥井 : C言語で学ぶ実践画像処理, オーム社, 2003.
- 3) 新濃, 船田 : 数値解析の基礎 - 理論とPAD・PASCAL・C-培風館, 1999, 69.