

## ロボットハンド用微小物体自動位置決めシステムの開発

### Development of Micro-Object Position Detecting System for Robot Hand

○ 吉田 拓文\*, 溝口 知広\*\*, 小林 義和\*\*, 白井 健二\*\*

○Takumi Yoshida\*, Tomohiro Mizoguchi \*\*, Yoshikazu Kobayashi \*\*, Kenji Shirai \*\*

\*日本大学大学院, \*\*日本大学

\*Graduate School, Nihon University, \*\*Nihon University

**キーワード:** 画像認識 (image recognition), 位置検出 (position detection), 位置測定 (position measurement)

**連絡先:** 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地

日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 生産システム工学研究室 吉田拓文,

Tel: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: g22635@cc.ce.nihon-u.ac.jp

---

#### 1. 緒言

近年の工業製品の小型化に伴い、それを構成する部品の微小化が進んでいる。その一例として、バイオテクノロジー等の分野があり、部品製作には、マイクロマニピュレータを用い、手動により操作されている。しかしながらこれらの作業には熟練技能が必要であり、その技能を習得するために多大の時間と費用を要している。

これらの問題の解決策の一つとしてマイクロマニピュレータ作業の自動化がある。このシステムの実現のためには、まず操作対象の位置と形状を正確に把握する必要がある。今回は物体の位置と形状とを画像認識し、XYステージによる自動位置決めと把持ロボットによる操作システムの開発を行った。本報告では自動化の実現方法と自動位置決めの精度の実験について報告する。

## 2. 微小物体操作システムの構成

図1に微小物体操作システムの構成を示す。本システムは、把持ロボットとXYステージ、CCDカメラおよび制御用PCにより構成されている。まず操作対象の物体をXYステージ上に配置する。CCDカメラはXYステージの真上に設置し、画像を取得することによりステージ上の物体の位置と状態を確認する。次にXYステージを移動させることにより物体を任意の位置へ移動する。その後、把持ロボットにより物体の把持、運搬をする。XYステージの最大動作幅は20mm、分解能は10nmである。XYステージはステージコントローラを介して制御用PCにRS232Cで接続されており、制御コードで指示を出すことによりこれを制御信号に変換し動作させる。カメラからの入力画像は制御用PC内にあるキャプチャボードを介して取得する。入力画像の解像度は640×480dpiである。

図2に把持ロボットの外観を示す。このロボットはハンド部、Z軸ステージおよび回転ステージから構成される自由度2のSCARA型である。ハンド部にはピンセットが取り付けられており、開閉動作によりピンセットを操作し、物体を把持する。最大動作幅が9mm、繰り返し精度は±0.01mmである。ハンド部が取り付けられるZ軸ステージを動作させることによりピンセットの高さを物体にあわせることができる。このZ軸ステージはストロークが20mm、最小分解能は0.86μmである。回転ステージの動作により把持した物体を運搬できる。回転範囲は±180°、最小分解能は0.004°である。動作のサーボモータとしてはステッピングモータを使用した。把持ロボットの各アクチュエータはコネクタボードを介して制御用PCのモーションコントロールボードに接続されており、パルス信号より動作できる。

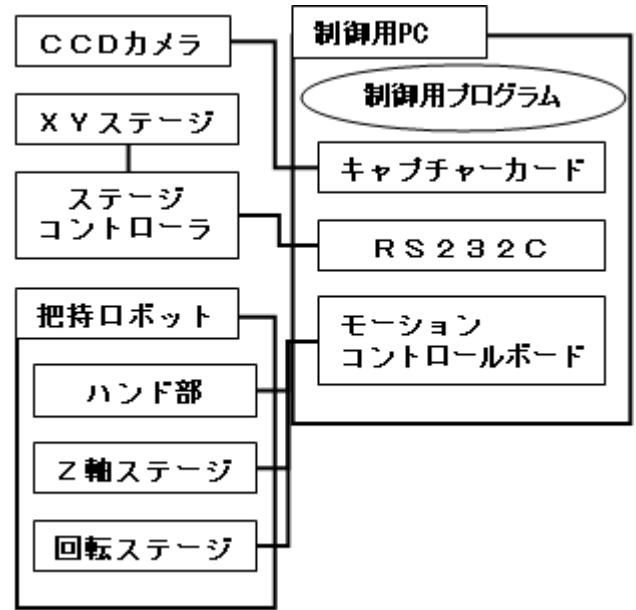


図1 微小物体把持システム

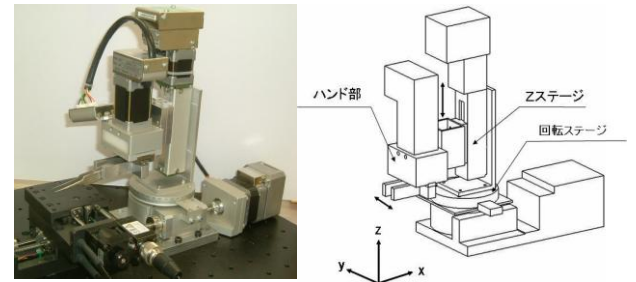


図2 把持ロボット

## 3. 微小物体把持操作の概要

### 3.1 画像認識による自動位置決め

把持操作の第一段階としてXYステージ上に配置された微小物体の位置を測定する必要がある。本システムにおいては物体の位置を確認するための認識手法としてテンプレートマッチングを用いた。テンプレートマッチングとは入力画像とテンプレート画像の画素同士を比較することにより選択領域における物体の有無を測定する手法である<sup>[1]</sup>。比較する方法として正規化相互相関照合から得られる類似度を用いた。類似度を求めるための正規化相互相関係数RNCCの計算式を式(1)に示す。

$$R_{NCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (P(i, j)T(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} P(i, j)^2 * \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} T(i, j)^2}} \quad (1)$$

ここで  $P(i, j)$  は処理対象画像の濃淡値、 $T(i, j)$  はテンプレート画像の濃淡値、 $M, N$  は画素配列の要素数を示す。この値を処理対象画像全体で求められた 0 から 1 までの類似度により物体の有無を判定する。対象物体がない場合などの誤検出を防ぐため閾値を設定する。本システムにおいては 0.85 とした。

この手法により画像上における物体の位置を求め、移動目標の位置との相対的な距離を画素単位で求める。XY ステージの動作には  $\mu\text{m}$  単位での指示が必要になるため、画素単位の距離に 1 画素当たりの幅との乗算により  $\mu\text{m}$  単位の動作量を算出する。

### 3. 2 把持ロボットの動作の概要

自動位置決めにより物体を把持ロボットの動作範囲へと移動させた後、把持ロボットにより物体の把持と運搬を行う。そのため、まず回転ステージを動作させピンセットを物体の真上に移動させる。次に Z ステージを降下させ物体の高さに合わせる。最後にハンド部を閉じる。以上の操作により物体の把持を完了し、同様の操作により物体の運搬を行う。

## 4. システムの検証実験

### 4. 1 自動位置決め精度の検証

画像認識による位置決めは画像上の情報のみで実行される。そのため実際の位置決め精度は画像認識の精度の影響を受ける。そこで自動位置決め動作により物体を移動させその移動量を測定し、位置決め精度を検証した。

まず XY ステージ上に物体を配置する。対象物体は高さ 5mm と幅 7mm の大小 2 種類の歯車と直径 5mm の球体と高さ 5mm の円筒のビーズである。ステージ上の物体の現在位置を原点とし位置決め目標に指定する。次にステージを手動で動作し位置決め理論値分移動させる。そして物体を位置検出し、位置決め目標位置まで自動的に移動させる。これによりステージは原点の位置まで移動する。このときの

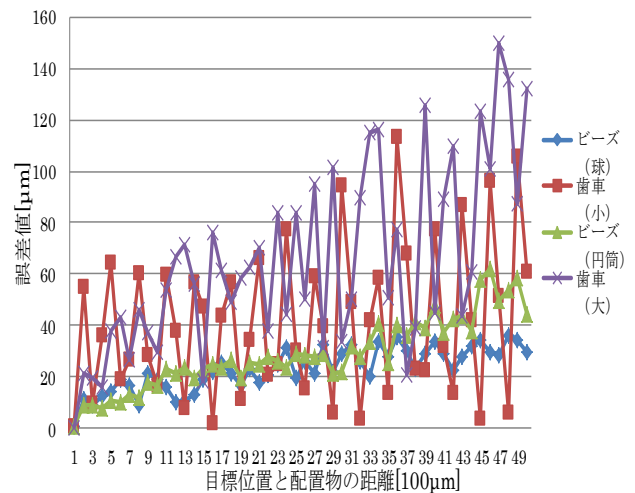


図 3 自動位置決め誤差

表 1 環境の変化による類似度の変化

|     | 基準画像 | 画素値+30  | 画素値-30  | ボケ      |
|-----|------|---------|---------|---------|
| 類似度 | 1    | 0.66874 | 0.98597 | 0.79922 |

ステージの移動位置と原点との距離を誤差とした。繰り返し位置決め量を変更しながら X 軸方向に対して  $100\mu\text{m} \sim 5\text{mm}$  まで  $100\mu\text{m}$  毎の測定をそれぞれ 50 回行った。その結果を図 3 に示す。ここで最大誤差は歯車 (小) が理論値として  $3.6\text{mm}$  のとき約  $113\mu\text{m}$ 、歯車 (大) が理論値  $4.7\text{mm}$  のとき約  $150\mu\text{m}$ 、ビーズ (球) が理論値  $4.8\text{mm}$  のとき約  $36\mu\text{m}$ 、ビーズ (円筒) が理論値  $4.6\text{mm}$  のとき約  $62\mu\text{m}$  である。球体のような形状の物体の場合ステージの移動したとき物体の見え方の変化が少ないため類似度の変動が少ない。逆に円筒や歯車のような形状の物体の場合、見え方の変化が大きくなり類似度が大きく変化したため誤差が球体と比べて大きくなったと考えられる。

また環境の変化が物体の検出精度に影響する。そこで入力画像の明るさの変化とピントのボケが発生した状態でパターンマッチングを行い、類似度の比較検証をおこなった。実験結果を表 1 に示す。類似度は最大値が 1、最小値が 0 となっている。実験結果から明るさの変化やボケの発生により類似度が大きく減少しており、誤検出が発生した。

## 4.2 改良と検証実験

本システムのテンプレートマッチングは物体の回転に対応できていないため、テンプレート画像と同じ物体でも角度によっては検出できない場合がある。そこで図4に示すように物体の検出時にテンプレート画像を1画素ごとに1度ずつ回転させ検出を行うことにより物体の回転に対応できる。また、精度の向上を検証するために物体を回転させた際の類似度の変化を測定し比較した。その実験方法を次に示す。

まずXYステージ上に物体を配置する。対象物体は高さ5mm、幅5mmの歯車である。次にテンプレートマッチングにより物体を検出した。その後、物体を $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ まで $5^{\circ}$ ずつ回転させ、このときの類似度を測定した。改良前と改良後の測定結果を図4に示す。今回使用した歯車の形状は $45^{\circ}$ 回転させると元のテンプレートと形状が一致する。そのため改良前では $0^{\circ}$   $45^{\circ}$   $90^{\circ}$   $135^{\circ}$   $180^{\circ}$ と同じか近い値の場合は高い類似度を示している。しかしながら $160^{\circ}$ のとき類似度が0.547と最も低い値を示しているようにそれ以外の角度では低い類似度となる。そのため対象となる物体が検出出来なくなる可能性がある。一方、改良後においては最も低い類似度の値も0.867と高い値を示しており、平均値でも0.894と高い値となった。また今回の実験において変化させたすべての角度で検出を行うことが出来た。

## 5. 結言

### 5.1 結論

微小物体自動位置決めシステムの開発を目的として画像認識による自動位置決めを検証実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 今回の実験において改良後の類似度の平均値が0.143向上した。
- (2) 本システムにおいて物体の回転に対応した検出が可能となった。

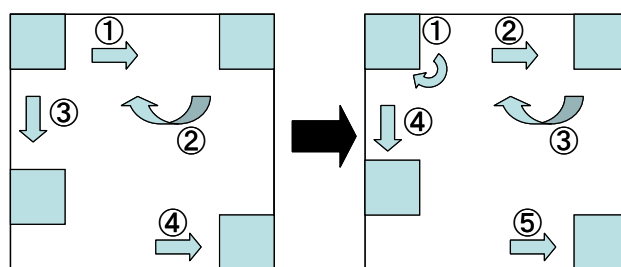


図4 テンプレートマッチングの改良

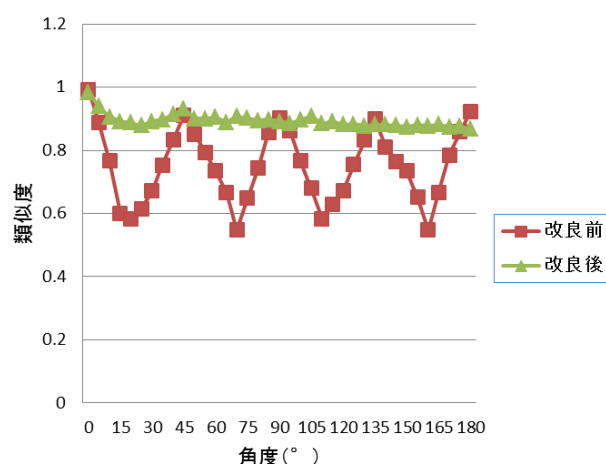


図5 類似度の比較

## 5.2 今後の課題

- (1) 自動位置決めの高精度化
- (2) 把持ロボットのZ軸ステージの動作量を取得するための手法の検討

## 参考文献

- 1) 福瀧 僚浩：微小物体を対象としたマイクロマニピュレータ用位置検出システムの開発  
2007 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、pp.472-474