

# 画像認識を用いたマイクロマニピュレータにおける 微小物体操作の自動化

## Automation of Micro-Object Manipulation by a Micro Manipulator Using Image Recognition

○ 高橋 善重\*, 小林 義和\*\*, 白井 健二\*\*

○Yoshie Takahashi\*, 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 高橋善重,

Tel: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: y\_takahashi@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

### 1. 緒言

近年の工業製品は小型化が進み、それを構成する部品は微小なものが多くなっている。また、バイオテクノロジーの分野においては微小な生物や細胞などの $\mu\text{m}$ ,  $\text{nm}$ の物体を扱っている。これらの分野における微小物体のハンドリング、組立てはマイクロマニピュレータを人間が操作することにより行われている。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

技能を修得するには多大の費用を要している。

これらの問題の解決策としてマイクロマニピュレータの作業の自動化がある。本研究では、その作業をカメラから取得した画像を使用し、物体の位置や姿勢を測定することで自動的に行うマイクロマニピュレーションシステムを目標とし、画像認識を用いた物体の自動的な位置決めとロボットの自動動作で物体を把持するシステムを開発した。

## 2. システム構成

### 2.1 微小物体把持システム

図1に微小物体把持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。ロボットは物体の把持、運搬を行う。これは制御用PCに搭載されるモーションコントローラボードからのパルス信号により動作する。XYステージは自由度2の高精度フィードバック機能があり、物体をこの上に配置し、任意の位置に移動できる。これは制御用PCからステージコントローラに制御指令コードを送信することにより動作する。最大動作幅は20mm、分解能は10nmである。CCDカメラは、物体の位置確認のために使用される。カメラの高さを調整するZ軸ステージを動作させることにより焦点合わせができる。そして、制御用PCにはキャプチャボードが取り付けられており、これを介してCCDカメラからの出力をモニタに表示させる。キャプチャボードの最大解像度は640×480、画像の表示速度は30フレーム/秒である。

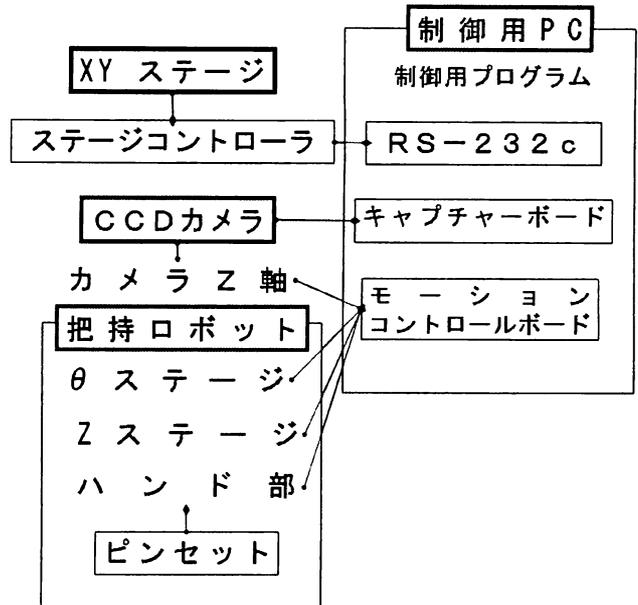


図1 微小物体把持システム

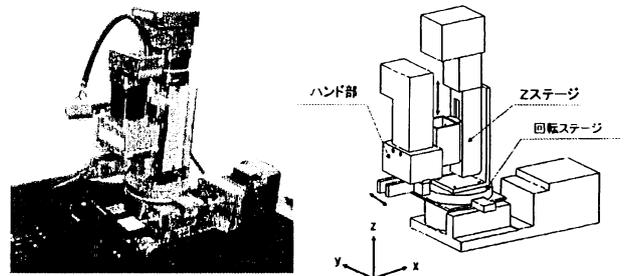


図2 把持ロボット

### 2.2 把持ロボット本体の構成

図2に把持ロボットを示す。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、開閉動作でピンセットを操作し、物体を把持できる。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。構成部品のサーボモータはステッピングモータを使用している。

## 3. 制御プログラム

### 3.1 画像認識手法

本システムにおいてXYステージ上の物体の位置を確認するための画像認識手法としてパターンマッチングを用いた<sup>1)</sup>。この手法により画像上における物体の位置を求め、移動したい位置との相対的な距離を画素単位で求められる。XYステージの動作にはμm単位での指示が必要である。そこで、画素単位の距離に1画素当たりの幅を乗算することによりμm単位の動作量を算出する。位置決め指示によりこの量を動作させる。これにより自動位置決めを可能とした。さらにテンプレート画像から図形の慣性モーメントを求め、物体の重心を測定しこの値を移動量に加えることにより物体の重心を基準に位置決めすることを可能とした<sup>2)</sup>。

### 3. 2 ロボットの動作プログラム

この動作プログラムでは、把持動作指示前にあらかじめロボットの回転ステージとハンド部を動作させ画像認識によりピンセット位置を読み込ませることによりピンセットの位置決めと開閉動作に必要な移動パルス数およびピンセットの移動可能な範囲を取得する。図3にピンセットの検出(a)と移動可能範囲(b)の例を図3に示す。このとき取得した範囲を物体の位置決めにおける移動目標位置とした。このときピンセットの位置は先端の重心2点の midpoint と定義した。これにより回転ステージの動作でピンセット先端間の直下に物体の重心が重なるように位置決めすることを可能とした。物体のXYステージによる位置決め動作後の位置とテンプレート画像から取得した物体の幅から回転ステージとハンド部の動作量を決定し動作させることにより、物体の自動的な把持を可能とした。

### 4. システムの検証実験

#### 4. 1 位置検出実験

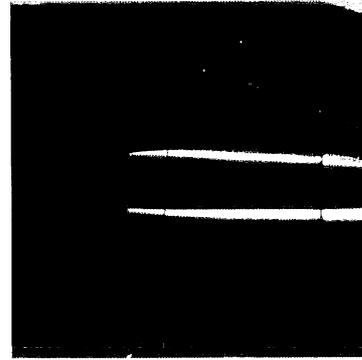
本システムでは物体の検出にカメラ画像を使用するため、環境の変化が物体の検出精度に影響する。そこで入力画像の明るさの変化とピンセットのボケが発生した状態でそれぞれ静止画と動画においてパターンマッチングを行い、類似度の比較検証をおこなった。静止画における明るさは画素値の加減により調整し、ボケの調整も画像処理により調整した。動画における明るさは絞りを変更することにより調整し、ボケはカメラの焦点距離を変更することにより調整した。実験結果を表1に示す。類似度は最大値が1、最小値が0となっている。実験結果から基準値(F値=8×√2)の状態では高い類似度が取得されているが、明るさの変化やボケの発生により静止画像と動画でともに類似度が大きく減少しており、誤検出が発生した。

#### 4. 2 位置決め実験

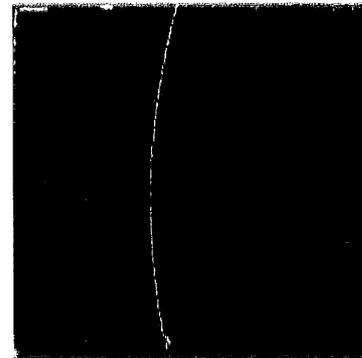
取得した画像から画素単位で距離を求めため、目標位置との誤差が最大で1画素あたりの

表1 環境の変化による類似度の変化

	$F=8 \times \sqrt{2}$	$F=8$	$F=16$	ボケ
静止画	1	0.66874	0.98597	0.79922
動画	0.96079	0.80192	0.93956	0.78821



(a) ピンセットの検出



(b) ピンセット先端の移動範囲

図3 ピンセットの位置検出と移動可能範囲

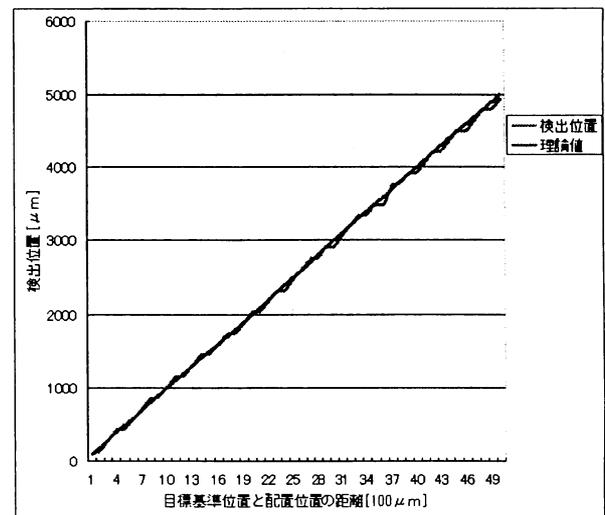


図4 移動位置と目標基準位置の誤差

幅だけ生じる。そこでパターンマッチングを用いた位置決め実験を行い、その精度を検証した。物体の配置位置と移動目標基準位置との距離を変更しながら位置決め動作を行い、移動量に対する誤差を計測した。配置した物体と移動目標基準位置との距離を  $100\mu\text{m}$  単位で  $5\text{mm}$  まで、逐次  $50$  回計測した。その結果を図4に示す。今回の最大誤差は  $113\mu\text{m}$  であった。この値は予測される画素単位での位置決め最大誤差  $145\mu\text{m}$  の範囲内にある。

#### 4.3 ロボットによる把持実験

ロボットを用いて把持実験を行い、動作の有効性を検証した。物体は直径  $5\text{mm}$ 、高さ  $5\text{mm}$  の歯車である。まず、物体をXYステージ上に配置し、パターンマッチングにより物体の検出を開始する。次に物体の位置決め動作を指示しXYステージを動作させ移動する。そしてロボットの動作により物体の把持、持ち上げ動作を実行することにより操作の可能性を検証した。

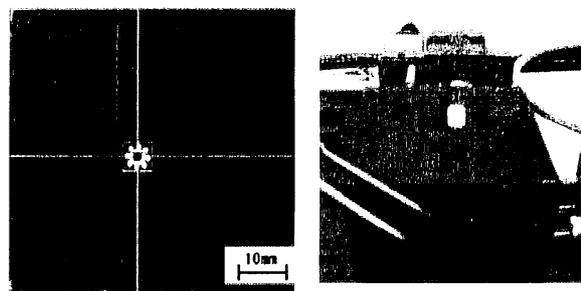
実験の結果を図5に示す。図5において物体の配置がされた状態(a)では画像認識によりその位置が検出されている。位置決めが実行された状態(b)から物体の位置がピンセットの移動可能範囲に位置決めされている。また回転ステージを動作させ物体の位置に自動的にピンセット先端が移動できている。物体の把持(c)ではハンド部がテンプレートから取得した物体の幅をもとに算出した移動パルス数で動作している。

### 5. 結言

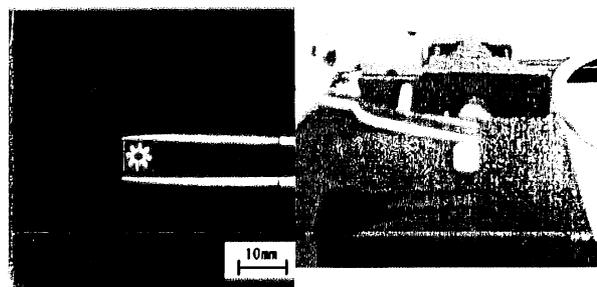
#### 5.1 結論

画像認識による位置決めと動作実験により、以下の結論を得た。

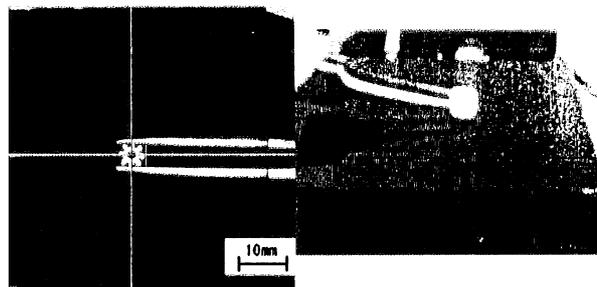
- (1) 位置決め精度は画素単位で距離を求めるための誤差  $145\mu\text{m}$  以下であることを確認した。
- (2) ロボットが物体を持ち上げる動作を観察することにより動作プログラムの有効性を確認した。



(a) 物体の配置



(b) 位置決め動作後



(c) 物体の自動把持

図5 自動動作による把持実験

- (3) 明るさやボケの発生が物体の検出精度に大きな影響を与えることを確認した。

#### 5.2 今後の課題

- (1) 画像認識による物体の適切な把持位置の検出
- (2) 作業の例として複数物体の分別機能の開発と実験による検証

#### 参考文献

- 1) 田村 秀行: コンピュータ画像処理, オーム社、(2002)、p 252~255
- 2) 木内 雄二: 画像認識のはなし[第2版]、日刊工業新聞社(1993)、p 30~31