

## 2本の垂直マイクロフィンガーを用いた微小物体の 自動ピックアンドプレース Automatic Pick and Place of Micro Objects Using Two Vertical Micro Fingers

○津田 香菜子, 川口 敏史, 井上 健司  
○Kanakano Tsuda, Toshifumi Kawaguchi, Kenji Inoue

山形大学  
Yamagata University

キーワード：マイクロマニピュレーション (Micro manipulation), マイクロフィンガー (Micro finger), ピックアンドプレース (Pick and Place), 画像処理 (Image processing)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16  
山形大学大学院理工学研究科応用生命システム工学専攻 井上健司  
TEL&FAX: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

### 1. はじめに

バイオ分野や細胞工学の進展に伴い、細胞等を扱う微細な作業が重要となっている。そのため、顕微鏡下で細胞の位置と姿勢を迅速、正確に動かす技術が求められている。著者の研究室では、2本のマイクロフィンガー(ガラス棒)を3次的に動かし、微小物体を把持・移動・回転させるマイクロマニピュレーションシステムを開発してきた[1-3]。これまでは、タッチディスプレイにリアルタイムで表示される顕微鏡画像にタッチ&ドラッグして2本のフィンガーを遠隔操作し、物体を動かしていた[2]。しかし、複数の物体をピックアンドプレースする場合、手動で一つ一つ把持・移動・回転を行わなくてはならないため、操作者の負担が大きいという問題点があった。

本研究では、2本の垂直マイクロフィンガー[3]を用いて微小物体を自動でピックアンドプレースする方法を提案する。画像処理で対象物体を検出し、2本のフィンガーで物体を把持・上昇・水平移動・下降・解放し、目標位置に置く。バイオゲル1個を自動でピックアンドプレースする実験を行い、提案手法の実現可能性を検証する。

### 2. 2本の垂直マイクロフィンガーを用いたマニピュレーションシステム

#### 2.1 システムの構成

マイクロマニピュレーションシステムの構成を図1に示す。フィンガーの3自由度並進移動には、2自由度直動ステージ SGSP20-35(XY) (シグマ光機) と1自由度直動ステージ SGSP20-35(X) (シグマ光機) を用いる。ステージの分解能は $1\mu\text{m}$ である。1自由度直動ステージは、2自由度直動ステージに対して $45\text{deg}$ 傾いている。1自由度直動ステージにインジェクションホルダーHI-9 (成茂科学器械研究所) を付け、その先端にガラス棒を取り付ける。倒立型顕微鏡IX51 (オリンパス) のステージの両側に、先端が対物レンズの上で対向するように2本のフィンガーを置く。

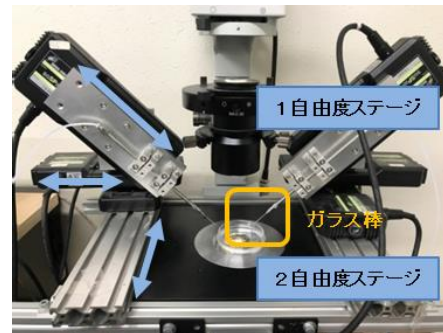


図1 マイクロマニピュレーションシステム

ユーザインタフェースにはマルチタッチディスプレイを用い、顕微鏡画像や GUI ボタンにタッチして入力・操作指令ができる。

以下、顕微鏡画像（焦点面）の横方向を  $X$  軸、縦方向を  $Y$  軸、焦点面に垂直な方向を  $Z$  軸とする。画像の 1pixel は、 $0.279\mu\text{m}$  に相当する。XY 面上の位置は pixel 単位で考え、 $\mu\text{m}$  に換算してフィンガーに指令する。Z 方向は直接  $\mu\text{m}$  単位で指令する。

## 2.2 垂直フィンガー

図 2 のように、2 本のフィンガー先端をシャーレ底面に対して垂直にし、物体を把持・移動する。この方法では、2 本のフィンガー先端を物体の両側から接近させれば、物体の高さによらず先端が必ず物体に接触する。すなわち、2 本のフィンガー先端と物体の高さを合わせなくても、物体を把持できる。また、3 者の位置関係を顕微鏡画像上で確認できるため、物体中心の把持が容易になる[3]。さらに、複数の物体を密に配置する場合に、フィンガーが隣り合う物体の隙間に入りやすくなる。

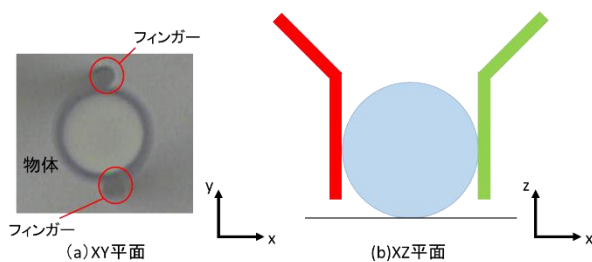


図 2 垂直フィンガー

## 3. 自動ピックアンドプレース方法

### 3.1 フィンガーの設定

自動ピックアンドプレースを始める前に、左右のフィンガーについて以下の設定を行う。

- (1) 顕微鏡画像に見えているフィンガーの輪郭の上下 2 点をタッチし、2 点の座標からフィンガーの中心の初期位置と半径を求める。フィンガーは、それぞれの初期位置を原点として移動する。左右のフィンガーの半径を  $r_1$ ,  $r_2$  とする。
- (2) フィンガーを遠隔操作で上下させ、物体に接触できる高さを調べ、基準高さに設定する。2.2 節で述べたように、厳密な高さ設定は必要なく、物体に接触できることが確認できればよい。この高さで物体を把持し、上に持ち上げて移動する。

### 3.2 物体の検出

はじめに、ランダムに置かれた複数の物体の中から、対象物体を検出する。対象物体は球状で大きさは既知とし、複数がかっついて塊になっていない単独のものを選ぶ。画像処理による検出手順を図 3 に示す。

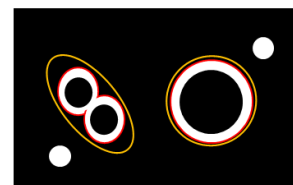
- (1) 顕微鏡画像（カラー画像）を取得し、グレースケールに変換して 2 値化する。
- (2) 2 値化画像から画像内のすべての輪郭（閉じた白黒の境界）を求め、それらの面積を計算する。
- (3) 対象物体の面積の範囲を定める。(2) で求めた輪郭のうち、面積がこの範囲にある輪郭を残す。
- (4) 複数がかっついてると輪郭は円にならない。そこで、輪郭の楕円近似を行い、楕円の長軸と短軸の比率を求める。(3) で残した輪郭のうち、比率が 1 に近い輪郭を残す。
- (5) (4) で残した輪郭のうち、面積最大の輪郭を物体とみなし、その中心位置  $C$  の XY 座標と半径  $R$  を求める。



(a) 輪郭抽出と面積の計算



(b) 面積による絞り込み



(c) 楕円近似による絞り込み



(d) 面積最大の輪郭を選択

図 3 物体の検出

### 3.3 物体の把持

物体の把持の手順を図4に示す。

- (1) 2本のフィンガーを基準高さから上げる。これは、移動中にフィンガーがシャーレ底面とぶつかり、破損することを防ぐためである。
- (2) 3.2節で求めた物体の中心位置 $C$ から $Y$ 方向に十分離れた位置 $A_1, A_2$ を設定し、2本のフィンガーを $Y$ 方向、 $X$ 方向の順に動かして、 $A_1, A_2$ に移動する。
- (3) 2本のフィンガーを基準高さに下げる。
- (4) 物体を把持するためのフィンガーの位置 $B_1, B_2$ を設定し、2本フィンガーを $Y$ 方向に $B_1, B_2$ まで動かして、物体を挟む。 $B_k(k=1,2)$ と物体の中心位置 $C$ との距離は、物体の半径 $R$ とフィンガーの半径 $r_k$ の和から締付量 $\delta$ だけ引いた値とする。 $\delta$ によって、物体を挟む強さが決まる。

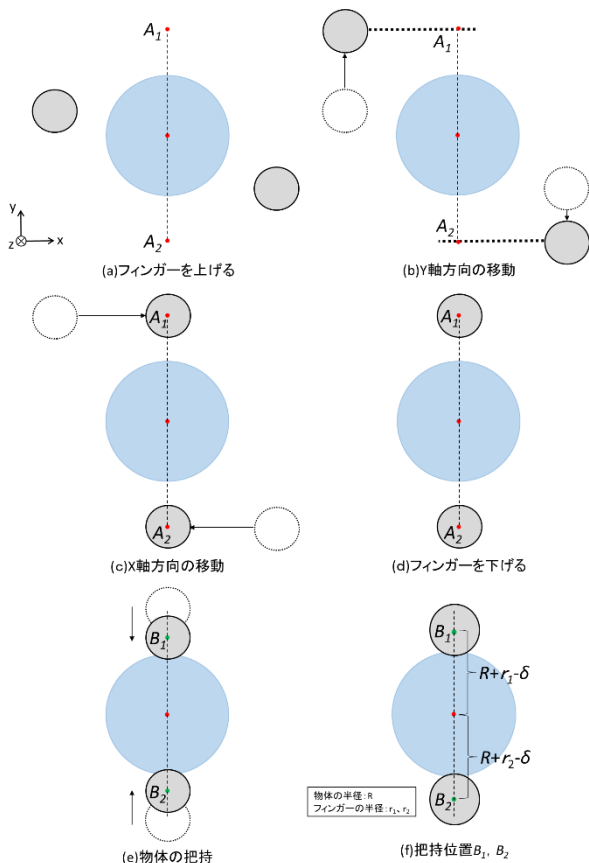


図4 物体の把持

### 3.4 物体の移動

物体の移動の手順を図5に示す。2本のフィンガーは、把持した際の位置関係を保持したまま平行移動し、物体を動かす。

- (1) 物体をシャーレ底面から離すため、2本のフィンガーを $h$ だけ上げる。

- (2) 物体を現在位置から目標位置 $G$ に移動するため、現在位置から物体の移動量と同じ分だけ離れたフィンガーの目標位置 $E_1, E_2$ を設定し、2本のフィンガーを $E_1, E_2$ まで平行移動する。

- (3) 2本のフィンガーを基準高さに下げる。なお、(1)(2)(3)の動作が切り替わる際には、2本のフィンガーを時間 $T$ だけ停止する。これは、移動方向が変化する際に生じる揺れで物体が落ちるのを防ぐためである。

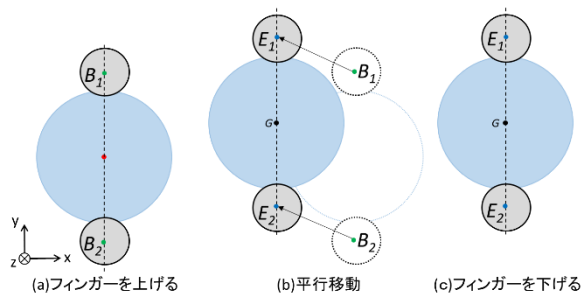


図5 物体の移動

### 3.5 物体の解放

単純に2本のフィンガーの間隔を広げるだけでは、物体が片方のフィンガーにくっついて離れないことがある。そこで、図6のように2本のフィンガーを $Y$ 方向に $\delta$ だけ動かし、間隔を広げて把持を緩める。その後、2本のフィンガーを速度 $v$ で $Z$ 方向に引き上げる。すばやく引き上げれば、物体は離れやすくなる。

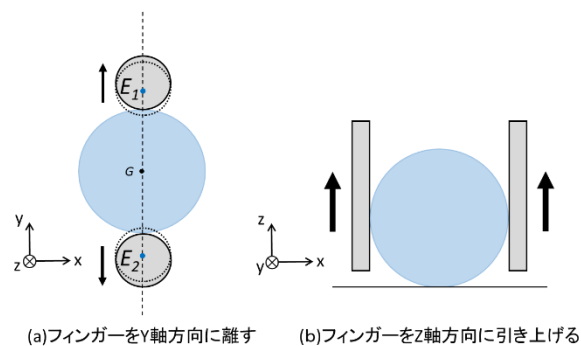


図6 物体の解放

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

半径 $R$ が約  $30\mu\text{m}$  のバイオゲル1個を自動でピックアンドプレースする実験を行った。実験の設定は以下の通りである。

- 把持: 締付量 $\delta = 30\text{pixel}(8.37\mu\text{m})$ .
- 移動: 持上量 $h = 50\mu\text{m}$ . 待機時間 $T = 1.5\text{s}$ . 水平移動の速度 $33.3\text{pixel/s}(9.3\mu\text{m/s})$ . 上

下動の速度 $33.3\mu\text{m}/\text{s}$ .

- 解放：速度 $v = 167\mu\text{m}/\text{s}$ .
- 目標位置：初期位置から  $X$  軸方向に  $-100\text{pixel}(27.9\mu\text{m})$ 離れた位置.
- 制御周期： $0.03\text{s}$

## 4.2 実験結果

実験結果を図7に示す.

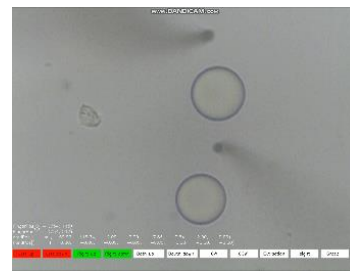
## 5. おわりに

2本の垂直マイクロフィンガーを用いて微小物体を自動でピックアンドプレースする方法を提案した. 実験の結果, 半径約 $30\mu\text{m}$ のバイオゲル1個を自動でピックアンドプレースすることができた.

物体の把持と移動は確実にできたものの, 解放時に物体が片方のフィンガーにくっついてしまうケースがあった. 今後の課題は, この問題を解決すること, 複数の物体の自動ピックアンドプレースを実現することである.

## 参考文献

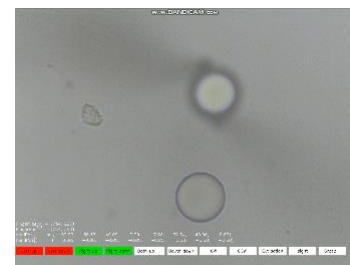
- [1] K. Inoue, Y. Matsuzaki, S. Lee: Micromanipulation using micro hand with two rotational fingers, J. Micro-Nano Mechatronics, Vol.7, No.1-3, pp.33-44, 2012.
- [2] 今埜, 井上: 対向する2本のマイクロフィンガーを用いた微小物体の3次元操作システム, 第34回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2016AC1U2-02, 2016.
- [3] 長エキ, 川口, 井上: 2本の垂直マイクロフィンガーを用いた微小物体のマニピュレーション, 第19回システムインテグレーション部門講演会, pp.2419-2422, 2018.



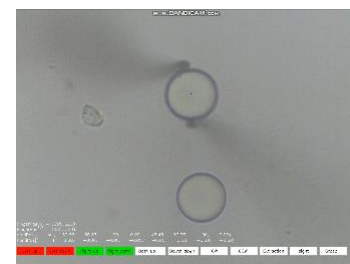
(a) フィンガーを下ろす



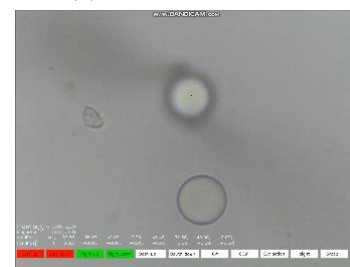
(b) 物体を把持する



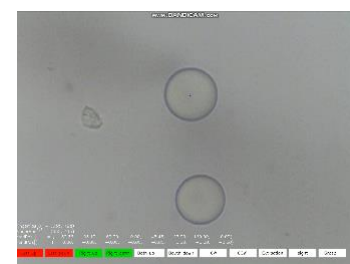
(c) 物体を持ち上げる



(d) 物体を移動する



(e) 物体を下ろす



(f) 物体を解放する

図7 実験結果