

# 顕微鏡下マイクロマニピュレーションのための 球面関節機構の開発

## Development of a spherical joint mechanism for micromanipulation under a microscope

○油川駿, 福田眞, 岩谷靖

○Shun Aburakawa, Makoto Fukuda, Yasushi Iwatani

弘前大学

Hirosaki University

キーワード : マイクロマニピュレーション (micromanipulation), 球面関節 (spherical joint), ワイヤ駆動機構 (wire-driven mechanism), ヒステリシス (hysteresis), ビジョン (vision)

連絡先 : 〒 036-8561 青森県弘前市文京町 3, 弘前大学 大学院理工学研究科  
岩谷靖, Tel.: (0172)39-3697, Fax.: (0172)39-3697, E-mail: iwatani.at.cc.hirosaki-u.ac.jp

### 1. はじめに

機械製品の小型化・高性能化が進む中で, 微小部品の加工・組み立て・ハンドリングに対して, 高精度な位置決め制御技術が要求されている. 一例として, 光通信を効率化するための合分波モジュール<sup>1)</sup>内の光ファイバアレイとマイクロレンズアレイのアセンブルを考える. 複数の光ファイバ先端部をまとめた光ファイバアレイに対して, 集光レンズが直線状に並んだマイクロレンズアレイを精度よく位置決めすることにより波長の異なるファイバ光を集光することが可能となる.

筆者らは, 微小部品のハンドリング機構として, 顕微鏡下で動作する 5 軸のマニピュレータを開発してきた<sup>2, 3)</sup>. 5 軸のうち 3 軸は直動関節により動作し, 3 次元空間における並進運動を可能にする. 残りの 2 軸は, 球面回転関節に

より回転動作を実現する. 本研究では, 従来型の円周支持型関節機構に対して三点支持型球面回転関節機構を開発し, 二つの回転機構に対して, 回転動作の比較検証を行う.

### 2. マニピュレータ機構

本研究で考察の対象とするマニピュレータ機構<sup>2, 3)</sup>を Fig. 1 に示す. このマニピュレータは, 並進方向 3 軸 ( $X, Y, Z$  軸) と回転方向 2 軸 ( $\alpha, \beta$  軸) の動作が可能な 5 軸のマニピュレータである. また, エンドエフェクタとしてグリップを有し, 微小部品の把持動作が可能となっている.

詳細は次章で述べるが, 回転動作は,  $\alpha$  軸と  $\beta$  軸の回転中心が同一である球面関節機構によって達成される. この 2 軸は, ステージ外に設置されたステッピングモータと, ワイヤによる力

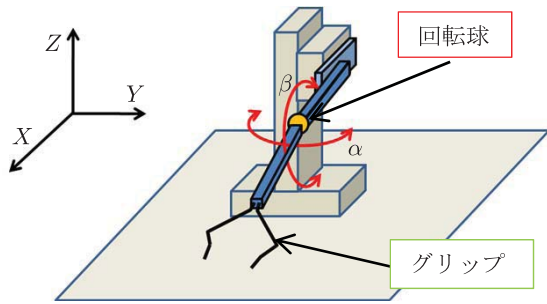


Fig. 1 Manipulator with a spherical joint.

伝達機構により動作する。

### 3. 球面関節機構

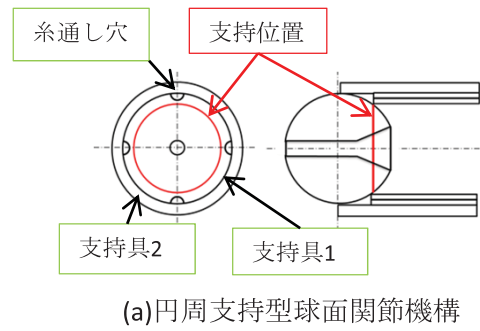
円周支持型関節機構と三点支持型球面回転関節機構の二つの回転機構 (Fig. 2) に対して、回転動作の比較検証を行う。

円周支持型球面関節は、回転関節である回転球を二つの円筒状の支持具で支える機構を有する。内側の球支え部品には四つの糸通し穴が設けられている。また、回転球中心には、ねじ穴があり、中空ねじを設置する。中空ねじを一つの端点として、各糸通し穴を通して一本のワイヤがステップモータに接続されている。この機構により、ワイヤを伝達機構として、ステップモータにより回転動作が達成される。

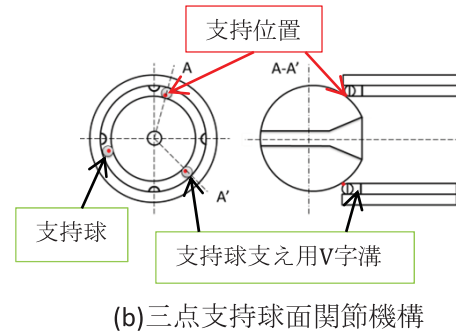
三点支持型球面関節では、円周支持型球面関節機構に回転球と円筒状支持具の間に三つの支持球を配置し、回転球を三点支持により支える。

各機構で使用する回転球と支持球は、それぞれ直径 5 mm, 0.5 mm の SUS 球を使用する。回転球には、中空ねじの穴を通り把持動作のグリップ部に動力を伝達するためのワイヤが一様な動作を行えるようにテーパ孔設けられているため、動作可能範囲は  $\pm 0.43$  rad である。

本研究内で検討する光ファイバアレイとマイクロレンズアレイのアセンブルを制御目的とするとき、 $\alpha$  軸の回転動作に  $4.2 \times 10^{-3}$  rad/pulse の分解能が要求される。これは、マイクロレンズアレイ両端のレンズ中心座標までの距離 240



(a)円周支持型球面関節機構



(b)三点支持球面関節機構

Fig. 2 Spherical joint mechanisms.

$\mu\text{m}$  に対して  $1 \mu\text{m}$  までの誤差を許容できることから、 $\tan^{-1}(1/240)$  で求められる。

## 4. 実験

光ファイバアレイに対するマイクロレンズアレイの位置決め制御問題を想定し、2.5 倍視野の顕微鏡下で  $\alpha$  軸回転動作の検証実験を行う。

### 4.1 回転角度計測

まず、シリコンの板に傷を付け、マニピュレータのグリップ部に取り付ける。つぎに、検証実験を行う回転動作間で常に観測できる二つの特徴的な箇所を事前にテンプレート (参照画像) として設定する。一定のパルスごとに画像を取得し、パターンマッチングを行う (Fig. 3)。パターンマッチングにより、各パルス入力に対するテンプレートの画像内でのピクセル位置座標が求まる。テンプレート 1 の座標を  $(x_1, y_1)$ 、テンプレート 2 の座標を  $(x_2, y_2)$  とするとき、回

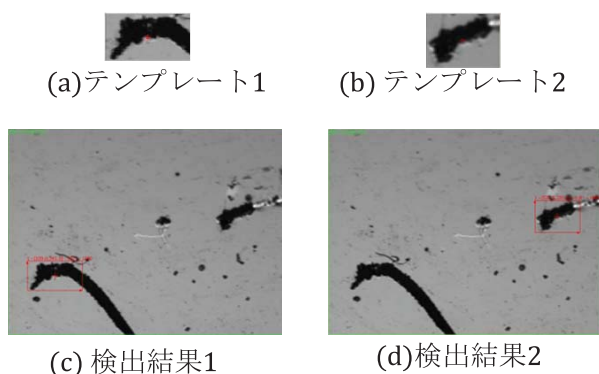


Fig. 3 Pattern matching.

転角  $\alpha$  は

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

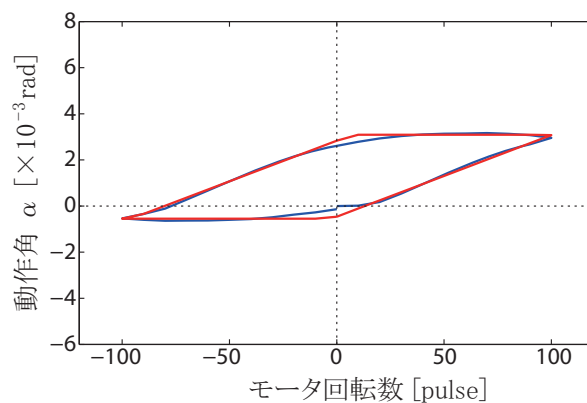
と計算できる。

#### 4.2 $\alpha$ 軸動作結果

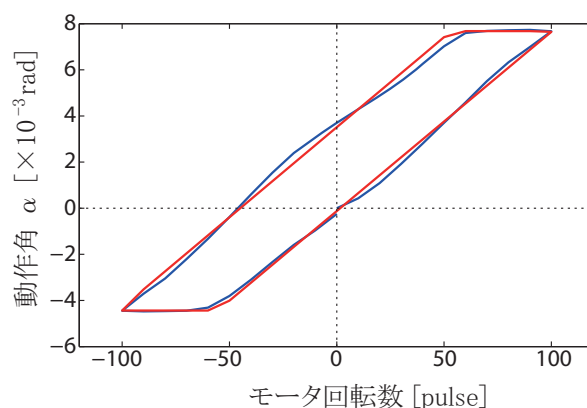
円周支持機構と三点支持機構それぞれに対して、ステッピングモータを正方向に 100 pulse 動作させたのち、負方向に 200 pulse、その後さらに正方向に 100 pulse 動作させた。実験は各 3 回行った。Fig. 4 の青線は、3 回の動作結果の平均値である。Fig. 4 の赤線は、それぞれの動作を、最小二乗近似によりヒステリシスを持つ線形関数としてモデル化したものである。

円周支持機構は、三点支持機構よりも 1 パルスあたりの動作幅が小さい。また、モデルと各計測点の誤差を比較すると、円周支持機構では最大  $4.6 \times 10^{-4}$  rad, 標準偏差  $8.9 \times 10^{-5}$ , 三点支持機構では最大  $6.4 \times 10^{-4}$  rad, 標準偏差  $1.1 \times 10^{-4}$  であった。モデルからの誤差の観点からみると、1 パルスあたりの移動量が増加しているため、三点支持機構の方がモデルからの誤差が大きい。しかし、マイクロレンズアレイの位置決めには、三点支持機構でも十分な動作幅である。

Fig. 4 のグラフには表現されていないが、円周支持機構では、焦点がずれ、画像がぼやけることがあった。これはすなわち、 $\alpha$  軸方向の動



(a) 円周支持型球面関節機構



(b) 三点支持型球面関節機構

Fig. 4 Rotational motion in  $\alpha$  axis.

作が、 $\beta$  軸方向へ干渉していることを意味する。この現象が発生すると、サブピクセルオーダで行っているパターンマッチングの精度が下がり、正しい  $\alpha$  軸の角度情報が得られない。パターンマッチングの精度を上げるためには、回転軸の干渉を避けなければならない。三点支持機構では、この干渉は見られなかった。

## 5. おわりに

本研究は、顕微鏡下マイクロマニピュレーションのための球面関節機構を開発し、その回転動作を検証した。水平方向の回転動作に関しては、2つの回転機構とも十分な精度で動作し、モデルからの誤差も同程度であった。

一方で、円周支持機構に関しては、垂直方向軸への干渉が見られた。ただし現時点では干渉度合いの詳細は未検証であり、今後の課題とし

たい.

## 参考文献

- 1) S. Ohki, Y. Tachikawa, Y. Kawajiri, S. Mitsuhiro, and M. Fukuda: Pass Band Broadening in Molded-glass Echelon-grating-based CWDM Filter Module, NTT Technical Review ,Vol. 3, pp. 50/54, 2005
- 2) 葛西, 福田, 大木 :ワイヤ駆動による顕微鏡下でのマニピュレーション機構, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.381-382, 2007
- 3) 葛西, 福田 :微小光学部品アSEMBルのためのワイヤ駆動マニピュレータの制御, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.471-472, 2009