

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 1日現在

機関番号：32613
 研究種目：若手(B)
 研究期間：2011年度 ～ 2013年度
 課題番号：23760239
 研究課題名（和文） ダイナミック特性を考慮したハイブリッド型顕微作業システムに関する研究
 研究課題名（英文） The hybrid micro manipulations system inconsideration of a dynamic characteristics
 研究代表者
 見崎 大悟 (MISAKI DAIGO)
 工学院大学・工学部・機械システム工学科・准教授
 研究者番号：00361832

研究成果の概要（和文）：

我々の研究グループは、近年、顕微鏡下での微細作業を支援するシステムの研究をおこなっている。このシステムは、液架橋力を用いたマイクロマニピュレータと顕微作業の支援システムから構成される。本研究では、システムの構成要素の動特性を考慮することで、操作性を改善するための新しいメカニズムを提案する。具体的には、キャピラリの制御や入力インターフェースに関する動特性の新しいメカニズムについて設計開発をおこない、基礎実験によりそれらの有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

200 文字

We have studied a micromanipulation support system in recent years. The system consists of a micromanipulation tool that uses the liquid bridge force and its support system. In this research, the dynamic characteristic of this system is used in order to improve a previous micromanipulation system. Concretely, we investigated about the control method of a capillary, and the control method of the input interface. The effectiveness of the using the dynamic characteristic was verified from the result of basic experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：ヒューマンインターフェース，マイクロマシン

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：顕微作業，マイクロマシン，バイオテクテクノロジー

1. 研究開始当初の背景

昨今、遺伝子工学をはじめとしたバイオテクノロジーやマイクロパーツの組み立てなど多くの分野で顕微鏡下での微細作業技術が必要とされている。しかし従来の大型の機器による、顕微作業システムでは、導入運用に伴い振動・温度変化等への対策を含む多額の費用がかかる反面、可能な作業の種類や自由度が少ない現状がある。我々の研究グループでは顕微鏡下に配置した複数台のマイクロロボットで微細な作業をおこなう顕微作

業システムの構築を目指している。これまで開発したシステムでは、固定した細胞に穿刺をおこなうような顕微授精や、単一パーツの組み立てなど、範囲が限定した顕微作業のみが可能であった。しかしながら、顕微鏡下での作業の高度化の要求から、より作業自由度の高いマニピュレーションシステムのニーズが高まっている。

2. 研究の目的

本研究では、これまで開発をおこなってき

たマイクロマニピュレーションシステムに加えて柔軟性の高い顕微作業を実現するにあたり、操作対象に影響を与えることが少ないようにするために、マイクロロボットと微少流体制御によりロボットに搭載可能なサイズの動特性を考慮したマイクロマニピュレーションツールを開発する。さらに、実際にユーザが利用しやすいように、微細物操作のためのインターフェースを開発し、より実用的な顕微作業システムの構築を目指す。

3. 研究の方法

これまで研究をおこなっているマイクロロボットを用いた顕微作業システムを基礎として、顕微作業実現のための以下の研究をおこなう。

(1) 顕微鏡下微細作業支援システム

① ハプティクス・デバイス

本研究では、SensAble technologies 社が提供している「PHANToM Omni」(図 1)をインターフェース・デバイスとして使用し、OpenGL で作成した微小対象の仮想モデルを用いた作業において、操作者に疑似的な接触感覚をフィードバックをおこなう。

② 精密位置決めステージ&ステージコントローラ

本研究では、神津精機株式会社のステージコントローラ(SC-410)を使用する。本ステージコントローラは、手動による操作に加え、附属のAPIによるプログラミング制御も可能となっている。本研究では、ステージの移動方式、速度、その他補正をPHANToMの挙動や入力操作から制御する。

③ 顕微鏡からの画像取得及び画像処理

図 1 に示すように、本研究では、作業エリアに存在する微小な操作対象を、顕微鏡と CCD カメラから観測する。顕微鏡と CCD カメラは精密位置決めステージ上に設置しており、一定方向に移動しながら作業エリアの画像を撮影し、作業エリア全体の断層画像を取得する。画像取得の際の位置決めステージ移動量と断層画像から微小物体の奥行き方向の位置を把握する。また、取得した微小物体の画像に OpenCV による画像処理をおこなうことで、微小物体の二次元位置や数、形状の情報を取得する。この取得した微小物体の情報を元に、次に述べる微小環境の仮想モデル化をおこなう。

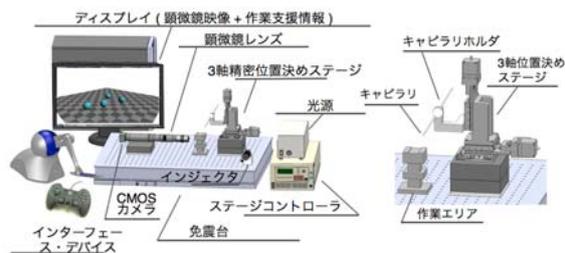


図 1: 顕微作業支援システムの構成

(2) 顕微鏡下微細作業支援システムの作業支援機能について

① 視覚的支援 - 微小な作業環境の仮想モデル化

通常、顕微鏡から見える 2 次元的映像からでは難しい顕微鏡下作業環境の空間認識を、その微小な作業環境全体を PC 上に 3D モデルで再現することで、顕微鏡の焦点範囲外にある物体の認識やその位置把握を補助し、顕微鏡からでは困難な作業環境の 3 次元的な空間認識を支援する。その作業環境の再現性は $50 \mu\text{m}$ 以内の誤差で 73% の再現性を確認した。

② 力覚支援 (1) - 仮想モデルとの接触感覚提供

ハプティクス・デバイスを使用し、仮想空間に作り出した 3DCG モデルに対する触覚フィードバックを利用することで、仮想空間の 3 次元的な空間認識を支援する。その 3DCG モデルに対する触覚フィードバックの有無による作業支援効果を、PHANToM をもちいた仮想空間におけるドラッグ操作 (3 次元的な位置決め) の操作難度の比較実験から確認した。

③ 力覚支援 (2) - 不都合操作の力覚拘束

作業者の手の動きを 3 次元的に認識し、その動作をハンドリングツールで再現する本システムにおいて、高すぎる操作自由度が作業の作業阻害要因となる場合があり、その時の不都合な操作をハプティクス・デバイスによる力覚拘束で改善 (図 2) する。実験から、ピックアップ及びプレース操作時の垂直引き上げ操作を、引き上げ方向以外の方向の移動操作自由度を力覚により拘束した場合としない場合で、その垂直引き上げ操作の確実性を検証し、操作性向上を確認した。

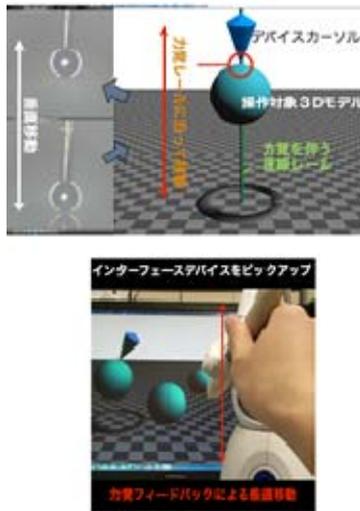


図 2：力覚拘束による垂直移動操作改善

(3) 液架橋力を利用した微小物体ハンドリング

①液架橋力について

液架橋力とは、粒子間に液体が存在し、液面が粒子の高さ以下の時に、液の界面エネルギーを最小にしようとして粒子同士を引き寄せる方向に働く力のことであり、液体の表面張力と架橋に発生するラプラス圧力の和から求められる。液架橋力によるハンドリングは、操作対象と非接触なため、マイクログリップによるハンドリングに比べ操作対象の形を問わず傷つけ難い。さらに機械的な機構が不要なため省スペース化が可能である。また、非接触ハンドリングの静電方式に比べ、構造がシンプルであり、液体に純水を使用することで、安価かつ様々な作業環境に柔軟に対応できるというメリットがある。本システムでは、液架橋力を発生させるための液体はキャピラリ（中空のガラス管の先端を細く加工したもの）から供給し、マイクロインジェクションにより液体を制御することで微小物体のハンドリングをおこなう。本システムでのハンドリングにおいて発生する液架橋力は、理論値 $38[\mu\text{N}]$ に対し、実測値 $17[\mu\text{N}]$ を得ており、微小物体ハンドリングに十分な力の発生と、発生力の正確な測定が困難であることを確認している。

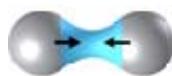


図 3：液架橋力モデル



図 4：キャピラリ

②微小物体ハンドリングにおける液架橋力の制御

本システムでは、液架橋力の架橋形成面引き離し速度による架橋形成面に発生する液架橋力の動的な変化を利用し、微小物体のハンドリングのための液架橋力を制御する。また、発生する液架橋力はその架橋形状で変化するため、引き離し速度の変化に加え、キャピラリの外径と内径の変化からも発生する液架橋力を制御することで、液架橋力を利用した微小作業における効果的なハンドリング手法を提案する。

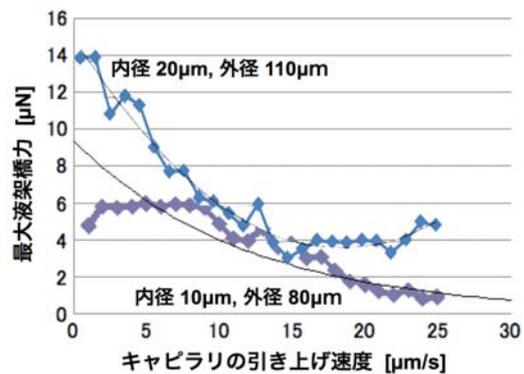


図 5：液架橋力の速度変化特性

図 5 は、本システムにおける液架橋力の動的変化であり、内径 $20\mu\text{m}$ 、外径 $110\mu\text{m}$ のキャピラリでは、x 軸を引き上げ速度、y 軸を最大液架橋力として

$$y = 0.0356x^2 - 1.3273x + 16 \quad (1)$$

の近似式が得られた。(1)式より、液架橋力の引き離し速度による動的変化は二次曲線的な変化を示し、本論の測定限界である $25\mu\text{m/s}$ 以上のより高速の引き離し速度では、発生する液架橋力が大きくなると予想され、その現象は本システムにより観察できている。

③液架橋力の動的特性を利用した微小物体ハンドリング

液架橋力の架橋形成面引き離し速度とキャピラリの内外系変化による液架橋力の制

御をすることで、発生する液架橋力が大きい速度と小さくなる速度を切り替えることで、ハンドリングにおけるピックアップとプレース操作を切り替えるハンドリング手法(図6)を提案した。実験により、キャピラリの引き上げ速度を変更することで、微小物体のピックアップと3次元位置にプレースする作業を使い分けることが可能になり、液架橋力による有効なマイクロマニピュレーション手法となり得ることを確認した。

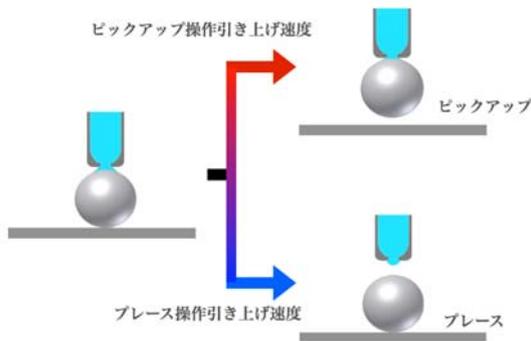


図6：液架橋力の特徴を利用したハンドリング手法

4. 研究成果

本研究の応用的な実験として、動的特性を考慮した作業支援機能を実装した顕微作業支援システムによる微小物体の3次元的な組み立て作業実験(直径 $200\mu\text{m}$ の微小球体4つをピラミッド形状に組み立てる作業)から、その操作性について検証した。検証実験の結果、作業支援のない場合の平均作業時間は $1070[\text{sec}]$ 、本システムを使用した場合は $577[\text{sec}]$ であり、平均作業時間で約46%の作業時間短縮結果を確認した。また、作業者の作業経験を問わず一律に作業時間軽減の作業支援効果があることを示した。

基礎実験および応用実験を通して、提案するシステムの研究成果として以下の項目について有効性を確認した。

- ① 微細な作業環境の仮想モデル化による作業の視覚的支援機能を実装し、その効果を検証した。
- ② 微細作業に本来感じられない動的な触覚や力覚を提供する力覚支援機能を実装し、その効果を確認した。
- ③ マイクロマニピュレーションにおける動的な液架橋力を利用したハンドリング手法を提案し、その有用性を示した。
- ④ 上記を実装したハイブリット型微細作業支援システムを開発し、微細作業実験からその作業性の効果を検証、確認した。

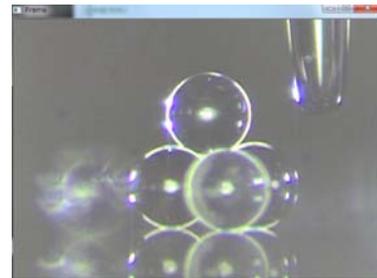
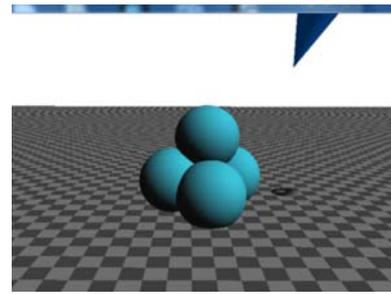


図7：微細パーツの組み立て実験

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

[1] Ryuhei Kurokawa, Daigo Misaki and Shigeomi Koshimizu, Study on the haptic feedback according to the conditions of the micro manipulation, Proc. of the 5th International Conference on Positioning Technology, (ICPT2012), Kaoshiung City, Taiwan, pp. 253-254, (2012)

[2] D. Misaki, S. Nakajima, R. Kurokawa, S. Koshimizu, The Hybrid Micro Manipulations System Inconsideration of a Dynamic Characteristics, Proc. of the 13th International Conference on New Actuators (ACTUATOR2012), pp. 721-725, (2012)

[3] Ryuhei Kurokawa, Satoshi Nakajima, Daigo Misaki and Shigeomi Koshimizu, Micro manipulation support system using a haptic device, Proc. of the 4th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2011), P019, (2011)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1043/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

見崎 大悟 (MISAKI DAIGO)

工学院大学・工学部・機械システム工学科・准教授

研究者番号：0036183