

光ピンセットマイクロ操作に向けたユーザーインターフェースの開発支援

○福岡 隆彦^{a)}, 岩本 涼音^{b)}, 田中 芳夫^{b)}, 藤本 憲市^{b)}

^{a)} 香川大学技術室工学系部門, ^{b)} 香川大学創造工学部

1. はじめに

光ピンセットは、光学顕微鏡下での観察対象である微小物体を非接触で捕捉し遠隔操作できる技術であり、細胞計測・解析などの研究分野で精密マイクロ操作研究ツールとして期待されている。本発表では、光ピンセットマイクロ操作に向けたユーザーインターフェースの開発に関する研究内容と技術支援について報告を行う。

2. 研究背景

微小物体の高度かつ精密な3次元マイクロ操作技術は、マイクロマシンの組立や細胞工学・再生医療分野における細胞操作・計測などの様々な場面で必要不可欠となっている。微小物体のマイクロ操作技術の中には、光ピンセットを用いた手法がある^[1]。光ピンセットでは、レーザ光を微小物体に集光させて照射する。このとき、微小物体と周辺媒質との屈折率の違いによってレーザ光が屈折して放射圧が生じ、微小物体はレーザ光の焦点位置に引き寄せられる。このことを利用して微小物体を捕捉し、レーザ光の焦点位置を移動させることで操作する。光ピンセットは、特に生体組織・細胞を非接触・非侵襲・非破壊で遠隔操作することができるため、単一細胞計測・解析などの研究分野における研究ツールとして期待されている。今後の光ピンセットを用いたマイクロ操作技術の発展には、微小球体の移動だけではなく、非球状・不均一な多様な形状の微小物体や細胞塊の回転など、これまでの光ピンセットマイクロ操作では未だ実現されていない高度な操作法の開発が必要不可欠である。しかしながら、光ピンセットを用いてこのような高度な3次元マイクロ操作を行うためには多数の捕捉点（レーザ光焦点位置）を精密かつ同時に操作する必要があり、従来の光ピンセットマイクロ操作技術は非常に困難であった。

3. 双腕型光ピンセットシステム

これまでに先行研究として、双腕型光ピンセットシステムが開発されている^[2]。このシステムでは、操作時の接触力を検出しながら、視覚的に提示を行い、二つの捕捉点を用いて楕円体などの非球状物体に対する回転操作に成功している^[3]。しかし、捕捉点が二つに限られてしまうため、多様な形状の微小物体や細胞の汎用的3次元操作法の開発には未だに至っていない。このような汎用的な3次元マイクロ操作を実現するためには、多数の捕捉点を人間の手指による操作感覚で制御可能なユーザーインターフェースが必要である。

そこで本研究では、人間の指先の動作が検出可能であるハンドトラッキングデバイスを双腕型光ピンセットシステムのユーザーインターフェースとして適用することで、仮想空間とマイクロ実作業空間を融合し、多数の捕捉点を人間の手指による操作感覚で精密かつ同時に操作できる光ピンセットシステムを提案する。

4. ユーザーインターフェース概要

提案する光ピンセットシステムの概要図を図1に示す。操作者は、ハンドトラッキングによって検知された自身の手や指の動きにより、微小物体を操作する。仮想空間上の指での把持位置（指先座標）と多数の捕捉点（レーザ光焦点位置）を協調動作させ

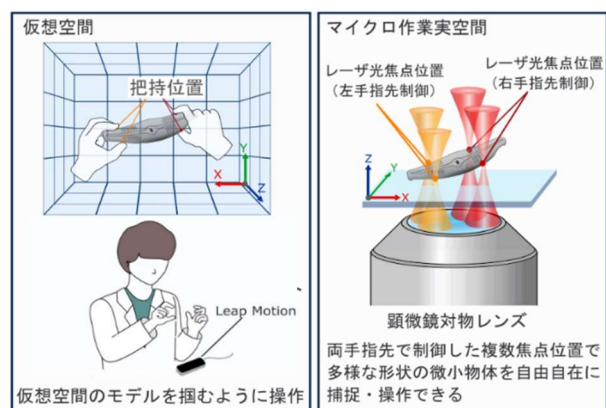


図1 提案する光ピンセットシステムの概要図

ることによって光学顕微鏡下において多様な形状の微小物体の捕捉・操作が行える。すなわち、このユーザーインターフェースを実装することにより、双腕多指ロボットのように安定する把持位置で直感的に微小物体を捕捉することが可能となる。

5. ユーザーインターフェースの構築

構築したユーザーインターフェースを操作している様子を図2に示す。ハンドトラッキングデバイスには Ultraleap 社の Leap Motion を用いた。Leap Motion をディスプレイ前方に設置し、操作者はディスプレイ上の仮想空間を目視しながら自身の手で仮想空間上のモデルを操作する。仮想空間の構築には、ゲーム開発エンジンである Unity を用いた。また、検出した指先座標と連動させて、アナログ出力ボード電圧を変化させ、光学系(図3)に配置した焦点可変レンズと2軸走査ミラーの制御を行う。焦点可変レンズは、入力電圧を変化させることによってレンズの焦点距離を制御でき、レーザ光焦点位置の z 軸方向の動きを制御することができる。また、2軸走査ミラーは反射鏡の傾きを変化させ、レーザ光焦点位置の x 軸, y 軸方向の動きを制御することがで

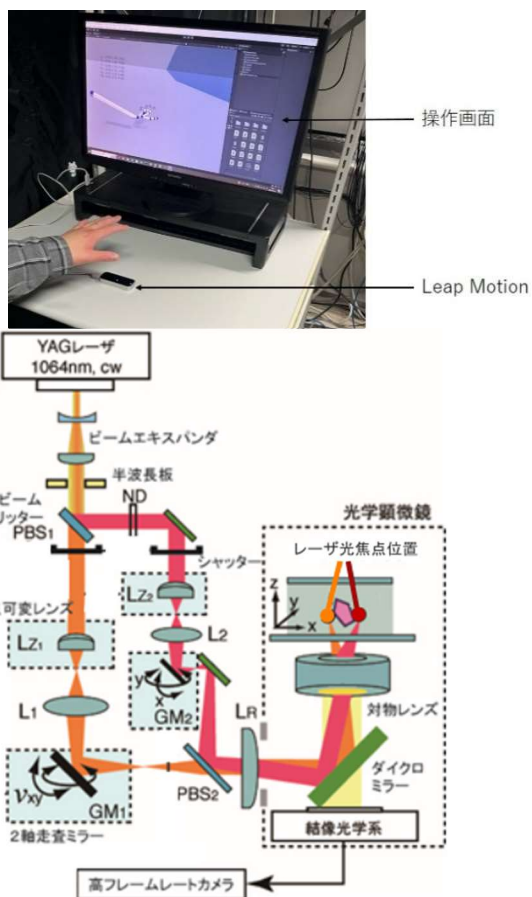


図3 光学系

きる。これらを C#スクリプトで実装することにより、仮想空間の指先座標と実空間のレーザ光焦点位置を協調動作させることが可能になる。本研究における開発環境を整えるには、レーザや顕微鏡の取扱い、光学系の光軸調整、化学物質の取扱い、Unity での C#プログラミングなど必要な基本知識や技術が多岐にわたるため、筆者が全面的に研究支援を行った。

6. 酵母菌の操作実験

構築したユーザーインターフェースを使用して酵母菌の操作を行った。酵母菌は一つあたりの大きさが約 $5\sim 8\ \mu\text{m}$ であり、今回は約 $20\ \mu\text{m}$ の酵母菌の塊を3点の捕捉点によって操作した。図4に示すように酵母菌の回転操作に成功した。

今後は、操作対象モデルを仮想空間上に提示して、より直感的な操作が行えるユーザーインターフェースを構築する予定である。

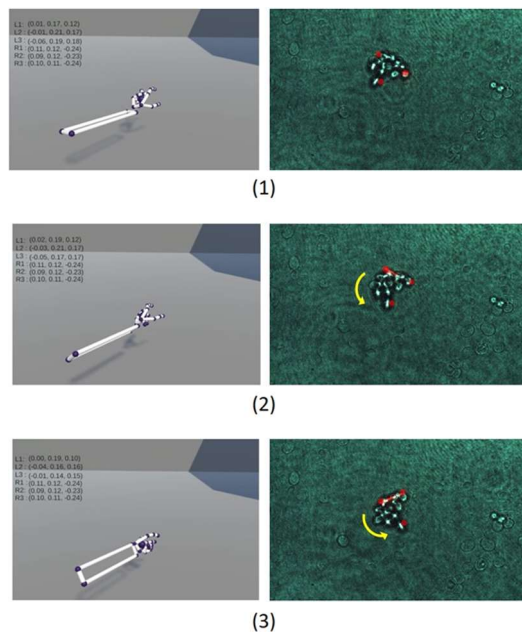


図4 酵母菌の回転操作

参考文献

- [1] 増原極微変換プロジェクト, “マイクロ化学-微小空間の反応を操る-”, 化学同人, 1993.
- [2] Y. Tanaka, and K. Fujimoto, “Dual-Arm Visuo-Haptic Optical Tweezers for Bimanual Cooperative Micromanipulation of Non-spherical Objects”, *Micromachines*, Vol. 13, No. 11, 1830, 2022.
- [3] 田中芳夫, 藤本憲市, 福岡隆彦, “視触覚双腕光ピンセットを用いた非球状物の協調マイクロ操作”, 第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 7P2-PS-60, 2023.