研究速報
特集2
研究速報

光学顕微鏡下での微小物体のマニピュレーション

Micro Magnetic Suspension Using
an Optical Microscope

舩越貴則*・ハネス・ブロイレル*・川勝英樹*
Takanori FUNAKOSHI, Hannes BLEULER and Hideki KAWAKATSU

1. 要旨

我々は微小浮上物体を磁気力を用いてマニピュレートする研究を行っている．その際，微小浮上物体の位置のセンシング方法が一つの問題となる．従来の位置のセンシングではギャップセンサが用いられる場合が多いが，浮上物体が微小化するにつれ，それは困難になる．そこで我々は，レーザー光と光検出素子であるフォトダイオードを既存の光学顕微鏡と組み合わせたセンシング方法を考案した．**図1**に実験装置の概略図を示す．これを用いることにより，比較的簡便にセンシングが可能になり，光学顕微鏡の倍率を高く設定することで小さな物体でもマニピュレートすることが可能になる．この制御された微小浮上物体を用いることにより，バイオサンプルのマニピュレーションやサンプルの弾性等の測定が可能になると考えられる．

2. 基本構想

微小浮上物体の位置を能動的に制御する場合，制御対象の大きさに適し，かつ簡便な位置のセンシング機構が必要となる．その一つの例として，我々はレーザー光と素子上の光のスポットの位置がアナログ出力として得られるフォトダイオードの一種であるPSD（Position Sensitive Detector，以下，PSD）を既存の顕微鏡と組み合わせて用いる方法を考案した．微小浮上物体のマニピュレーションが可能になれば，バイオサンプルのマニピュレーションや，サンプルの弾性等の機械特性の測定にも応用できると考えられる．

上記の磁気力によるマニピュレーションは，磁気浮上機構の一種と考えられる．従来の磁気浮上物体の位置のセンシングには，主にギャップセンサを用いる手法が採用されている．この方法は，浮上物体が比較的大きなものであれば有効であるが，浮上物体の微小化に伴い，その使用が困難になる．レーザー光を用いたセンシング方法は簡便であり，非常に小さなものの変位を計測できる．既にこの方法を用いた磁気浮上機構が実現されている[1),2),3)]．

本研究では，微小浮上物体を2次元平面上でマニピュレートする．**図2**に位置検出方法の概略を示す．2次元PSDに光を当てるとPSD上のどの位置に光が当たっているかを2次元的に検出することができる（図2(a)）．今回の実験装置においては，微小浮上物体は2次元PSD上では広いレーザースポットの中の影として認識される（図2(b)）．つまり，受光面には，微小浮上物体の影を除いたレーザー光が照射される．微小浮上物体が移動すると，その影の位置が移動してレーザースポットの重心の位置が移動することになる．また，図1に示したように微小浮上物体はCCDカメラを用いて可視化しているので，直接接眼レンズを覗くことなしにその動きを観察することができる．微小浮上物体を一方向に変位させた場合の2次元PSD出力を図2(c)に示す．微小浮上物体がレーザースポットの中に収まっている場合，センサ出力のS字特性の中間部分はリニアな特性となり，この領域を用いて制御を行うことができる．

微小浮上物体をマニピュレートするために，細い鉄芯にコイルを巻いた電磁石を用い，2自由度アナログ比例微分制御を適用した．将来的には，当研究室で開発中のマイクロマシン加工によるバッチ処理のマイクロ磁気浮上用固定子電磁石を用いる[4)]．**図3**に実験構成図を示す．

以上のセンサ方法と微小浮上物体のマニピュレート方法に従い，微小物体のマニピュレーションが可能になる．

3. 実験装置

実験装置の概略を図1に示す．本実験で使用した光学顕微鏡は，直筒部のある二眼ズームヘッドで一方の接眼部に

*東京大学生産技術研究所　第2部

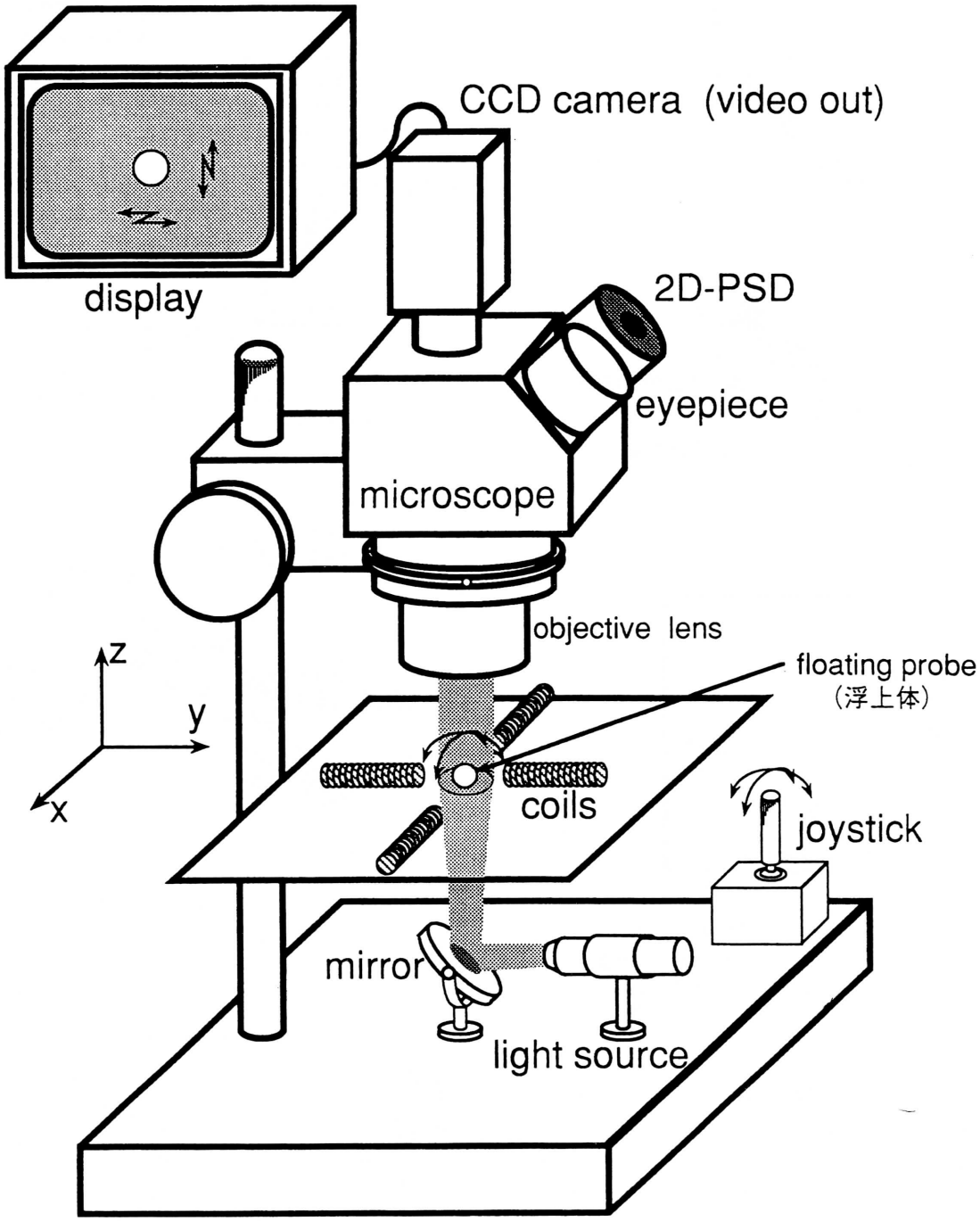

図 1　実験装置概略図.
接眼レンズ部に PSD を装着し，顕微鏡下からレーザーを照射して微小物体の位置検出を行う．ジョイスティックで微小物体のマニュピュレーションを行う．

2 次元型 PSD 素子を取り付けてある．光源としてレーザー光を使用するため，接眼レンズから直接視野を見ることが出来ない．そのため，直筒部にはCマウントアダプターを介して CCD カメラを取り付けている．レーザーは出力約1.5mW の半導体レーザーを用いている．今回用いた微小浮上物体は直径0.8mm の鉄球であり，その大きさにあわせて光学顕微鏡の倍率は40倍に設定した．微小浮上物体の電磁石への吸着を防ぎ，かつ水中でのマニピュレー

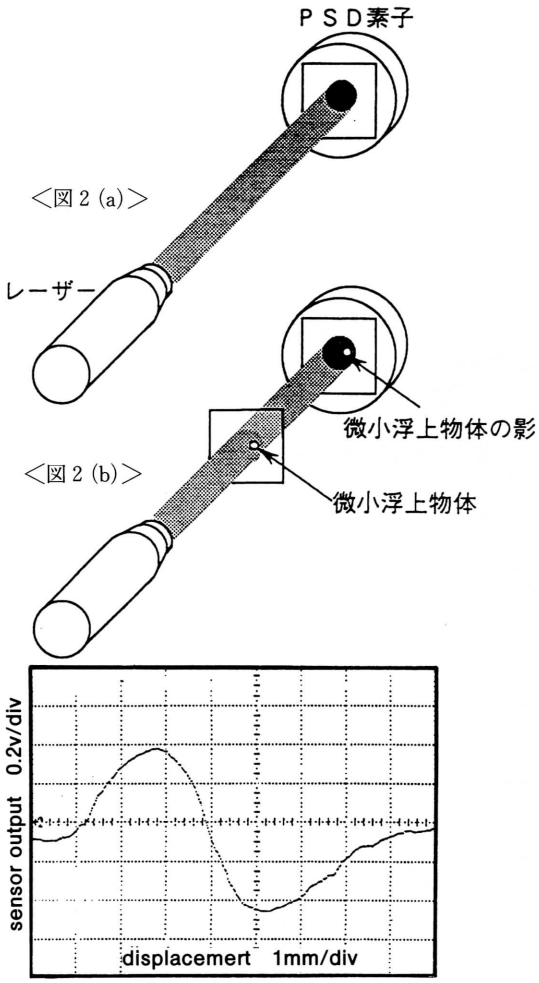

図2　微小浮上物体の位置検出方法と位置検出の結果.
（a）PSDによる光スポットの位置（重心）の検出方法
（b）今回用いた微小浮上物体の位置検出方法
（c）微小浮上物体の位置とPSDの1軸分の出力の関係

ションをも可能にするために**図4**に示すように微小浮上物体を直径2.5mmの穴の開いたアクリルで囲んだ．ステータは直径0.2mmのエナメル線をϕ1.6mmの鉄芯に120ターン巻いたものを使用した．X方向，Y方向，共に比例微分制御により，互いに干渉し合うことなく独立に各々のコイルの電流制御を行う．

4. 実験結果および考察

微小浮上物体が制御され，目標点で静止するのが確認された．また，**図5**に示すように，前記の状態において1Hzの正弦波をオフセット信号として加えた場合，約30μmp-pの正弦波状の運動を生じさせられることが確

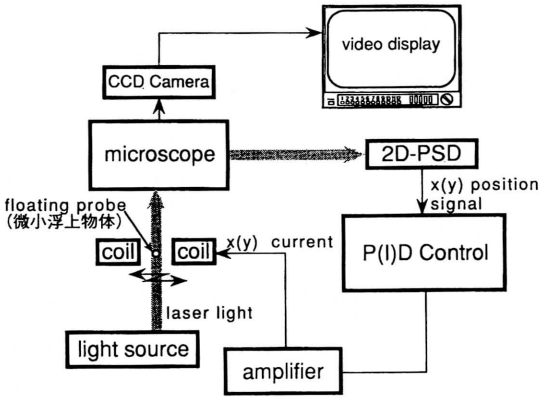

図3　微小浮上物体のマニピュレーションのための実験装置構成図．フォトダイオードにより検出された位置信号により，比例微分制御を行い，微小浮上物体のマニピュレーションを行う．

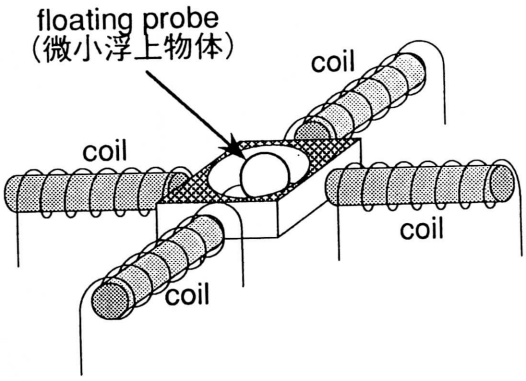

図4　微小物体のマニピュレーション．X方向，Y方向共にPD Controlにより2次元で制御する．微小浮上物体としては径0.8mmの鉄球を用いた．将来的にはより小さいものを用いる．

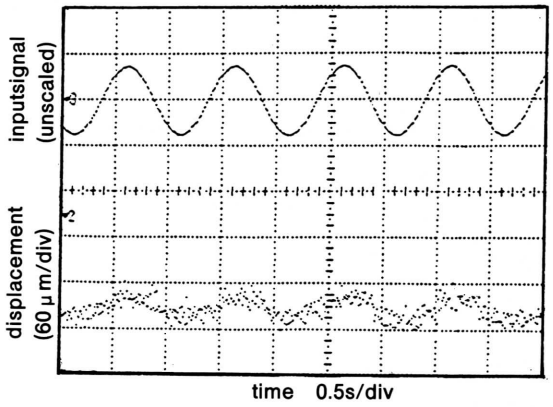

図5　微小浮上物体に30μmp-pの正弦波変位を生じさせた実験結果．上が入力信号，下が出力信号である．

認された．この実験では次に挙げられる点が期待できる．

・光学顕微鏡の倍率を高くすることによる浮上物体のさらなる微小化
・3次元でのマニピュレーションへの拡張
・微小浮上物体への振動印加による試料の加工・切断
・細胞等の仕分けや弾性測定
・液中ではダンピングがかかり，遅い制御で高い剛性を得られるので微分制御の不要

等が挙げられる．

また，逆に本実験から得られた課題点は，

・浮上物体の形状及び個数に制限があること
・形状に異方性のあるものの姿勢制御とその有効利用
・顕微鏡の倍率に制限されること
・試料の影が動いたときの制御への干渉
・バッチ処理によるマイクロ固定子電磁石の製作
・浮上精度の向上

等が挙げられる．

5. 結　　言

本報では光学顕微鏡下での微小浮上物体のマニピュレーションを行った．本実験で使用した微小浮上物体はバイオサンプル等のマニピュレーションを行うには多少大きめであるが，光学顕微鏡を使用しているため，その倍率さえ高く設定すれば本実験で用いた方法でさらなる微小化が可能であると思われる．

謝　　辞

本研究の実施にあたりご協力頂きました生産技術研究所試作工場の皆さんに深く御礼申し上げます．

（1995年1月9日受理）

参考文献

1) Hideki KAWAKATSU, Hannes BLEULER, Michihito WATANABE ; A Laser Guided Magnetic Suspension System for a linear Slider, SEISAN-KENKYU, 448-450, (1993-6)
2) 川勝英樹，ブロイレルハネス，渡辺道仁，斉藤孝史；1993年精密機械工学会春季大会講演論文集
3) Hideki KAWAKATSU, Hannes BLEULER, Takashi SAITO, Takehisa YAHIRO ; A Laser Guided Magnetically Suspended Slider, SEISAN-KENKYU, 670-681, (1994-12)
4) Hannes BLEULER, Hideki KAWAKATSU, Weilong TANG, Wen HSIEH, Denny K. MIU, Yu-Chong TAI ; Micromachined Active Magnetic Bearing, SEISAN-KENKYU, 6-8, (1994-7)