

マイクロハンドリング用ステージおよびエンドエフェクタに関する研究

Study on Microstage with the Endeffector for Microhandling

○ 関根 吾朗・日本工業大学

Goro SEKINE

Nippon Institute of Technology

神雅彦・日本工業大学

Masahiko JIN

Nippon Institute of Technology

竹内 貞雄・日本工業大学

Sadao TAKEUCHI

Nippon Institute of Technology

正 有賀 幸則・日本工業大学

Yukinori ARIGA

Nippon Institute of Technology

正 中里 裕一・日本工業大学

Yuichi NAKAZATO

Nippon Institute of Technology

宮澤 肇・日本工業大学

Hajime MIYAZAWA

Nippon Institute of Technology

正 村川 正夫・日本工業大学

Masao MURAKAWA

Nippon Institute of Technology

1. 緒言

現在、フォトファブリケーションなどの IC 製造技術などを用いて μm 単位の部品加工が可能になり、シリコン基板上に微小な歯車や軸を作成することが出来るようになっていく。それらの観察技術としては光学顕微鏡を始め、走査型電子顕微鏡(SEM)や走査トンネル顕微鏡(STM)、原子間力顕微鏡(AFM)などがある。しかし、 $10\text{nm}\sim 100\mu\text{m}$ 程度までの微小物は観察する技術はあるが、ハンドリング技術が完全には確立していない把持不能領域であると言われている⁽¹⁾。現在までに、これらの微小物の把持操作を行う際、もっとも多く採用されている方法が吸着や吸引によるマニピュレーション方法である⁽²⁾。微細な細管を用いて、表面間力などを利用して簡単にシステムが構築できる。しかしながら、組み立てやはめ合いなどの複雑な作業を行う場合、操作対象物をしっかり把持し、姿勢を細かに維持制御しない限り十分な作業が行えない。また、複数の操作対象物を把持しなければならない場合、対象物間の表面間力により、把持操作自体が困難になる可能性も発生する。本研究では、複数の微小な指を持つエンドエフェクタを開発することにより、複数の指を用いて、対象物を確実に挟み込み、把持することで、上記問題点を克服しようとした。そこで、エンドエフェクタの素材にダイヤモンド材を採用し、アクチュエータに形状記憶合金 (Shape Memory Alloy: 以下 SMA) を採用することによって、上記コンセプトのマニピュレータを開発した。現在までに、小型の SMA により駆動されるダイヤモンド製のエンドエフェクタを製作し、光学顕微鏡下において $10\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ の微小物を把持可能なエンドエフェクタを製作した。しかし、これでは $10\mu\text{m}$ 程度の領域にしか適応していない。更なる微小領域を克服するためには、観察技術の改良から設計変更を行う必要がある。本報では、観察装置として走査型電子顕微鏡を採用し、マイクロマニピュレーションシステムを、この観測系に対応できるように改良することで更なる微小領域での把持操作可能なマニピュレーションシステムの設計および製作を行う。特に本報では、X-Y-Z テーブル位置決め装置などに着目し、開発を行ったので報告する。

2. エンドエフェクタの設計方針

2-1 把持形態 本研究では吸着や吸引によるマニピュレーションではなく、機械的な構造を持った把持部、つまり、数本の微小な指を持ち把持対象を確実に挟み込んで持つことが出来る機構とする。

2-2 アクチュエータの選択 SMA は静電アクチュエータ

や圧電アクチュエータに比べ、駆動量が大きく、収縮弛緩動作を行うため、柔軟な動きが可能で力覚制御が行いやすいなど、マニピュレータのエンドエフェクタ用アクチュエータとして優れた特徴を有している。これらのことから、SMA アクチュエータを採用する。SMA をアクチュエータに応用する際、最大の障害になっている課題に応答性の問題が挙げられる。SMA の応答性は最終的に加熱・冷却を繰り返す温度制御に依存するため、効率的な加熱・冷却方法の開発が急務となっている。加熱方法に関しては直接通電加熱によって、比較的高速に行えるものの、冷却方法に関しては決定的な方法がなく、現在いくつかの解決方法が提案されている。研究者らは寸法効果から、SMA を小型化することによって冷却効率の改善が見込まれることに注目し、SMA の小型化による動作速度の改善を実験的に確認している⁽³⁾。

2-3 弾性ヒンジ機構の採用 空間スケールを小さくすると摩擦力や表面張力が相対的に増大し、回転対偶やすべり対偶では、加工精度を上げない限り十分な性能が得られないと予想される。すでにいくつかの先見的な研究⁽⁴⁾により、ナノメカニズムの機構には回転対偶やすべり対偶を用いない弾性ヒンジ機構を応用したリンク機構の例が紹介されている。このため本研究では、極力回転対偶およびすべり対偶を用いず、弾性ヒンジ機構のみで構成されるエンドエフェクタの設計を行った。

2-4 ダイヤモンド材の採用 マイクロメカニズムの構成部品として要求される諸仕様はいろいろと考えられるが、加工後の分解や組み立てが比較的容易に行えないことから、メンテナンスフリーであることが条件として挙げられる。このため耐食性や機械的強度が高く、自己潤滑性を持った材料が必要となる。本研究ではマイクロメカニズム、特にエンドエフェクタの構成材としてダイヤモンドに着目した。ダイヤモンドは地球上で天然に存在する物質でもっとも硬く、機械的強度に優れ、耐食性や耐磨耗性に優れている。熱伝導率が高く、摩擦係数が低いことから自己潤滑性を持つ。以上の特性から本研究ではエンドエフェクタの構成材料としてダイヤモンドを採用した。

3. 位置決め装置

マニピュレーションシステムには、高精度をもつ位置決め装置が必要とされる。位置決め装置は、Fig.1 に示すアクチュエータとステージを組み合わせることで構成される。また、その他に専用のドライバ、ジョイスティックなどの制御系・操作系により構成されている。

3-1 アクチュエータの選択 代表的な位置決め装置のアクチュエータとして、ステッピングモータや超音波モータ、圧電素子、油圧アクチュエータなどがある。アクチュエータは、チャンバ内という限られた領域で使用するため小型化が可能であること、真空中において正常に動作することを考慮し、圧電素子を採用する。圧電素子は応答性がよく、変位が微小なため高分解能な位置制御が可能になる。採用したアクチュエータは約 30nm の分解能をもっている。

3-2 移動制御 X,Y,Z 方向に移動が行える必要があるため、同様のアクチュエータを 3 つ使い、Fig.1 に示す専用のドライバを用いて、ジョイスティックより手動で操作を行う。また、RS232C を介してパルス制御を行うことが可能で、手動を用いずコンピュータによる制御を行うことも可能である。

4. マニピュレーションシステム

2 章で述べた基本コンセプトを元に、エンドエフェクタの製作を行い、エンドエフェクタに SMA を取り付けるため、Fig.2 に示すような機構を開発し、エンドエフェクタの駆動を行った。マニピュレーションシステムは、この機構と位置決め装置により構成される。Fig.3 に光学顕微鏡下におけるマニピュレーションシステムを示す。把持操作方法として、把持操作時にエンドエフェクタを固定し、把持対象物が載っているステージを動かすことにより、エンドエフェクタ先端を常に観察視野に入れて作業を行う。このようにシステムを構成することによって作業効率の向上を図る。

5. 研究成果

製作した位置決め装置およびエンドエフェクタを用いて把持実験を行った。把持対象物には、 $10\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ 程度のダイヤモンド粒子を使用した。Fig.4 の (a) に $30\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ 程度の粒子の把持の様子、(b) に同様の粒子の積み重ね作業の様子を示す。また、Fig.5 に同様の粒子を用いて「日工大」の文字を製作した。

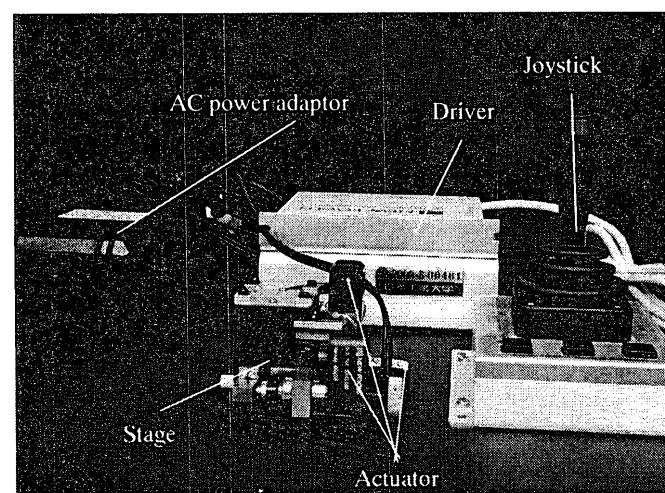


Fig.1 Placement system

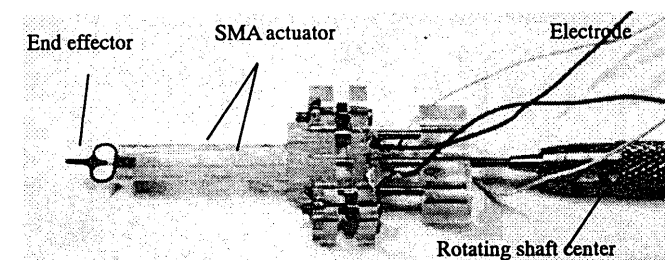


Fig.2 Prepared endeffector and the system

6. 結言

マニピュレーションシステムの一端を担う、高精度位置決め装置の開発を行うことにより、光学顕微鏡下において、サブミクロンの分解能で位置決めが可能であることを実証した。今後は、大気から真空への作業環境の変化に伴い、対象物間に発生する表面間力の影響、電子顕微鏡内で発生する磁場の影響など、把持操作に大きな影響を与える問題が考えられる。これらの問題を低減させ、良好な把持操作が行えるよう検討を行っていく。

参考文献

- (1) 宮崎英樹、手作りマイクロピラミッド、日本機械学会誌、100, 6 1997, pp. 943.
- (2) 佐藤知正、畑村洋太郎、マイクロマニピュレーション、日本ロボット学会誌、1994, Vol. 12 No. 4, pp. 54-59.
- (3) Yuichi NAKAZATO, Taketoshi WATANABE, and Yukinori ARIGA "STUDY ON HEATING METHOD OF SHAPE MEMORY ALLOY SHEET FOR MICROACTUATOR," TENTH WORLD CONGRESS of IFTOMM, vol. 2, pp. 880-885, 1999.
- (4) 大岩 孝彰、杉本 敏彦、弾性ヒンジの形状最適化に関する研究、精密工学会誌、1997, vol. 63, pp. 1454

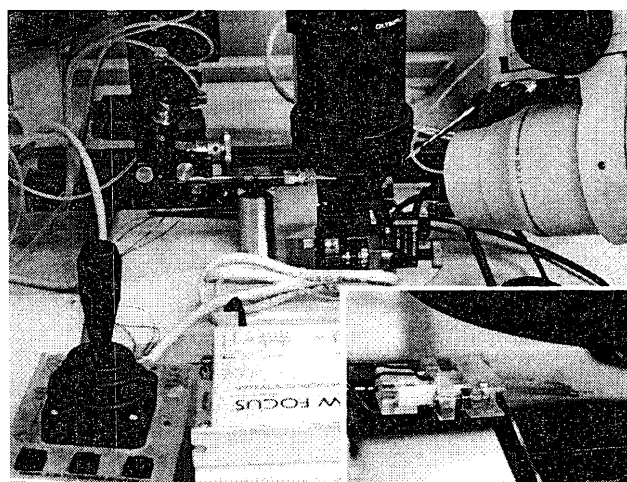
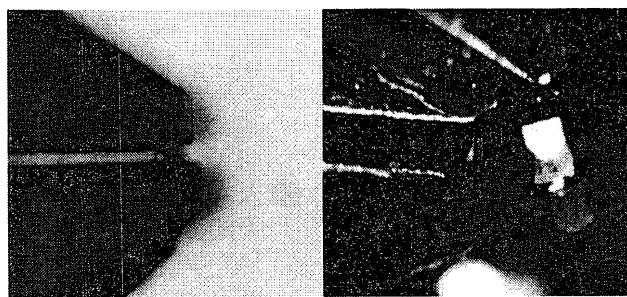


Fig.3 micromanipulation system



(a) handling (b) heaping up
Fig.4 Diamond grains handled by endeffector



Fig.5 Diamond grains arranged using the micromanipulator