311 視・力覚情報を用いたマイクロマニピュレーション

Micromanipulation with assistance of Visual and Force Information

非○齊藤 浩之 (茨城大院)

正 江田 弘 (茨城大工)

正 石川 友彦 (茨城県工業技術センター)

正 周 立波 (茨城大工)

非 川上 辰男 (株三友製作所)

非 太田 一史 (茨城大 SVBL)

Hiroyuki SAITO, Graduate School, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi 316-8511

Libo ZHOU, Ibaraki University

Hiroshi EDA, Ibaraki University

Tatsuo KAWAKAMI, Sanyu, Co., Ltd.

Tomohiko ISHIKAWA, Ibaraki Industrial Technology Center

Kazushi OHTA, Ibaraki University

This project aims to develop a micromanipulation system, which enables unskilled operators to implement in-situ operations to a tiny object at an environment of Scanning Electron Microscope (SEM). The current research has developed an image-processing algorithm to real time capture the movements of the tool tip, to translate the movements to the hypothetical magnification and then to adaptively control the movements of manipulator accordingly. This paper has described the visual feedback algorithm and force feedback device to enhance the operation ability of the system.

Keywords: micromanipulation system, SEM, image-processing, visual feedback, force feedback

1. 緒言

近年、微細加工技術の発達により、顕微鏡下で作業を行う機会が増えている。そこで、本研究では、視覚・力覚情報を利用し、効率的に作業を行うシステムの開発を行った。

本報告では、接触センサを用いたフォースフィードバックによる手動作業の効率化、画像処理を用いたビジュアルフィードバックによる自動作業の実現および誤差補正の効果について述べる。

2. システムの概要

本システムにおいて、試料に対し作業を行うのは Fig.1 に示す動作機構部である。動作機構部は双腕マニピュレータと可動式の試料台を持つ。双腕マニピュレータは、PZT素子の変位を15倍に拡大するアクチュエータを3段に重ねることによりXYZ方向に50nm~200 μ mの変位を得ている。アームには、平行平板機構¹⁾を用い、歪ゲージを貼付することにより接触センサの機能を持つ。また、工具にはエッチング処理を施したタングステン針を用いる。

3. フォースフィードバックシステム

試料に対し微細な作業を行う際は、対象が微小であり、かつ間接的に作業を行うことから、視覚情報のみを判断材料とする場合は、試料との接触の検知、接触力の大きさおよび試料の硬さなどの接触情報を判断するのは困難である。本研究では、検出した接触情報(接触力)を力覚情報(トルク)としてフィードバックするシステムを構築した。

システムの概念を Fig.2 に示す。接触力は、マニピュレータアーム部に装備した接触センサにより検出する。接触センサは、モーメントや他方向からの力の影響を受けにくく、構造的にも頑強で安定なものである。また、検出した接触力は、トルクモータに連結したジョイスティックにトルクとしてフィードバックされる。

本システムを用いた一例としてグミの鱗毛に接触させた場合の結果を Fig.3 に示す。a点からZ軸方向に工具を約70 μ m下ろしたb点で試料と接触し、約0.1mNの接触力を検知する。その際、ジョイスティックに0.002Nmのトルクが操作者にフィードバックされる。この状態をc点まで約4秒間保持した後、さらにジョイスティックに力を加えて、

Fig.1 Twin-arm manipulator module

Fig.2 Force control diagram

Fig.3 Sample of force control

d点まで200 μ m 工具を下ろすと、移動距離に比例して検出される接触力および操作者にフィードバックされるトルクが増加していることがわかる。e点でジョイスティックを離すと反力で工具とジョイスティックが接触開始時と同レベルの位置まで戻る。さらに、手で工具を上げると試料と工具は完全に分離し、接触力を感知なくなる。d-e間の接触力とトルクの減少は、対象物であるグミの鱗毛の弾性変位によるものである。

4. ビジュアルフィードバックシステム

機構にはアライメントの誤差やヒステリシス²⁾など種々の誤差要因が含まれているため、指令値と異なる動作を生じる場合がある。マニュアル操作を行う場合には、操作者自らが視覚情報に基づき補正を行うことができるが、作業を自動化する際には誤差補正を別途に行う必要がある。本研究では、SEM画像から得られた情報に基づいてビジュアルフィードバックするシステムを構築した。

開発した正規化相関による画像処理は、画像の濃淡を用いてパターンマッチングを行うことである。その原理をFig.4に示す。まず、ある濃淡画像をテンプレートとして登録し、その後検索する画面に対しスキャンする。そして、テンプレートと最も相関率が高いものを目標と判断し、その座標と相関率をフィードバックする。また、スキャン方法として、検索する画面の中心から外側へ渦を巻くように検索するスパイラル法を用いて、検索時間を短縮した。

本手法を用いたビジュアルフィードバックによる誤差補正の効果を確認するため、画面上に描画した円（直径約3 μ m）を5往復追従させ、補正がない場合との比較実験を行った。Fig.5に手順を示す。また、比較実験により得られた結果をFig.6(a), (b)に示す。Fig.6(a)の初回分のみ補正を行った状態では、ドリフトや機構誤差などの影響を受け、目標円に対し、往復を繰り返すごとに誤差が拡大していることがわかる。一方、同図(b)の5往復全てにおいて補正を行った状態では、目標円に対し、精度よく追従していることがわかる。また、Fig.7に本手法を用いた直線補間の例を示す。本手法は、SEM像上でツール・パスの指示と形成を行うため、ICの検査などに特に有効である。

5. 結 言

視覚・力覚情報を利用し、効率的に作業を行うシステムの開発を行い、フォースフィードバックによる手動作業の効率化、ビジュアルフィードバックによる自動作業の実現および誤差補正の効果について調べ、以下の結論を得た。

1. フォースフィードバックシステムは、微小な接触情報を力覚情報として操作者にフィードバックすることができた。
2. ビジュアルフィードバックシステムは、画面上に描画した円（直径約3 μ m）を精度よく追従することが可能であった。また、繰り返し動作に対する誤差補正の効果も確認した。
3. フィードバック実験により、手動作業の効率化および自動作業実現の可能性を明らかにした。

参考文献

- 1) 中尾政之, 畑村洋太郎: テーブルトップのマイクロマシン工場「ナノ・マニファクチャリング・ワールド」の構築, 電気学会論文集 E, Vol.117, No.1 (1997), pp45
- 2) 江他: 圧電アクチュエータヒステリシス特性の改善に関する研究 第2報, 日本機械学会論文集 66巻 649号 (2000.9) pp179-186

Fig.4 Pattern matching with normalized correlation

Fig.5 Flowchart of visual feedback

Fig.6 Tool path with visual information feedback control

Fig.7 Serial SEM view of operation on Indium