

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560250

研究課題名（和文） 全方向・全方位に力覚提示機能を有する遠隔微細作業システムの開発

研究課題名（英文） Development of Tele-operated micro-manipulation system with Omni-directional force feedback capability

研究代表者

山本 佳男（YAMAMOTO YOSHIO）

東海大学・工学部・教授

研究者番号：20272114

研究成果の概要（和文）：

近年、マイクロ・ナノスケールサイズの精密な技術の発展に伴い様々な分野において微細な作業を可能とする装置の開発が行われている。この場合、対象物は数 mm～数 μm と非常に微小であるため、人の手で直接操作することは困難である。そこで注目されているのが視覚情報に加え触覚情報を提供することができる力覚フィードバック装置である。本研究では上記の微細作業のニーズに対応する特殊な力センサを開発し、そのセンサを具備するマイクロマニピュレーションと力覚インターフェイスをネットワークで繋ぐことによりネットワーク環境があれば場所を選ばず遠隔操作が可能な力覚フィードバック型マイクロマニピュレーションシステムを開発した。さらにネットワークシミュレータを用いて通信の遅延に関する影響も検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

Recently, there have been increasing demands toward high precision tasks which require an optical microscope or electron microscope in a variety of fields such as semiconductor industry, material science, biology, and medicine. Typically these tasks are conducted by highly trained operators under magnified visual information alone. Since movement involved as well as associated interaction forces are so small, there is no way for humans to rely on tactile information in executing such precision tasks. However, if such interaction forces can be sensed accurately and amplified for haptic feedback, it will definitely increase operability of such micro manipulation systems. In our previous work, we developed a single-DOF force sensor and tested on a micro-manipulation system inside SEM. In this study we extends the previous research to multi-DOF force feedback. With the 3-DOF force sensor installed in the micro manipulation system, two kinds of experiments are conducted with PHANTOM haptic interface. We also conduct preliminary experiments with “Wlinee”, a network emulator which we plan to use for simulating a communication time delay.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
2013年度	0	0	0
2014年度	0	0	0
総計	3,700,000	1110,000	4,810,000

研究分野：工学

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：精密機械システム

1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロ・ナノスケールサイズの精密な技術の発展に伴い様々な分野において微細な作業を可能とする装置の開発が行われている。これらの装置の中には光学顕微鏡や電子顕微鏡の映像を元に実時間で作業を行う装置が存在する。この場合、対象物は数mm～数 μm と非常に微小であるため、人の手で直接操作することは困難である。そのためマニピュレータ等の補助器具を用いることが多いが、これらの装置は視覚情報のみで作業する場合が多く器具と試料の接触状態の把握が難しく、長時間の作業や試料及び器具の破損を招く可能性が懸念される。そこで注目されているのが視覚情報に加え触覚情報を提供することができる力覚フィードバック装置である。このような装置を用いることにより視覚情報のみでは困難な作業や器具の破損を防ぎ、単純作業の効率化を計ることが可能になる。

初期に見られる微細作業システムの多くは、単純に位置決め精度の高い動作（特に直交並進運動）を提供するにとどまっていたが、最近では、①複雑な動作を応答よく短時間で遂行可能な作業能力、②操作者に作業中の作用力を実感させるための力覚・触覚を提示する機能、③ネットワーク環境の普及に伴い遠隔操作を行う機能や、④顕微鏡など空間的制約の強い環境下で利用可能な物理的コンパクト性など、より高度な操作性・機能性が求められているが、これらを総じて実用レベルで提供可能なシステムは未だ存在しない。

2. 研究の目的

本研究は、近年の細胞やDNAのハンドリング技術に対し急増するニーズを受けて、精度の高い力覚フィードバック機能を具備することで、より操作性の高い微小物体のハンドリングシステムを核とした信頼性の高い遠隔型の微細作業システムを開発することを目的とする。実作業を行う装置を「全方向・全方位可動型」とすることで稼動範囲の死角を持たないことをハードウェア的な特徴とするとともに、インターネット等のある程度の時間遅延を有する通信回線を介した遠隔作業時においても違和感の無い操作感覚を提供できることをソフトウェア的・制御的な特徴として有している。

3. 研究の方法

本研究で使用するシステムは、マイクロマニピュレーションシステム(MMS)とハプティックデバイス(HDS)から構成される。この構成図を図1に示す。MMSの制御用PCとHDSの制御用PCとのデータの送受信はソケットインターフェイスを用いたTCP/IP通信でリンクされている。

起動時のリンクの確立はMMS制御用PCをサーバーとして起動後、HDS制御用PCをクライアントとして起動させる。クライアント用PCからIPアドレスまたはコンピュータ名を指定することで両者の接続が確立される。リンク確立後はHDSにおける位置変化をMMSの微小変位に変換すると同時に、HDSにおける微小な操作力をMMSの反力として作業者の手先に伝達することができる。このように、マニピュレータのプロープに働く力を作業者に認識させることにより操作性の向上を図ることができる。

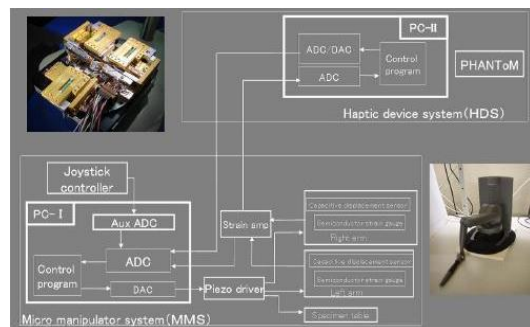


図1 システム構成図

本研究で使用するMMSの外観を図2に示す。MMSは走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)内に設置され、作業者はSEMにより映し出されたマニピュレータの映像を見ながら操作する。本システムは左右2つのマニピュレータと試料ステージから構成される。それぞれXYZ軸方の移動が可能である。また試料ステージにおいてはDCモータを使用しZ軸に対して回転が可能である。



図2 MMS外観

それぞれのユニットには手動による操作が可能な粗動部と自動位置制御が可能な微動部を有する。粗動部は送りねじ機構を有しており、微動部にはXYZ軸に対応したアクチュエータが付属している。このアクチュエータにはピエゾ(PZT)素子を用いている。動作範囲は各軸共に $200\mu\text{m}$ となっており、位置決め分解能は 50nm となっている。粗動部は

手動による動作になっており，動作範囲は $\pm 2\text{mm}$ である．主な仕様を表1に示す．

表1. MMSの主な仕様

	ステージ	マニピュレータ
微動部	並進自由度	X/Y/Z軸
	駆動方法	PZT
	移動範囲	200 μm
	分解能	50nm
粗動部	並進自由度	X/Y/Z軸
	駆動方法	マニュアル
	移動範囲	$\pm 2\text{mm}$
	分解能	10 μm
	回転自由度	θ_z
	駆動方法	DCモータ
回転範囲	360°	
	エンドレス	

4. 研究成果

(1) ピエゾ素子用の変位拡大機構は，弾性ヒンジを用いたこの原理に基づき変位比を高くする機構(ヒンジ機構)を用いた構造となっている．この機構はピエゾ素子の変位をこの原理で拡大し，次のブロックに伝えていく．ブロック右側の穴部を固定しピエゾ素子を駆動すると，素子はブロックの剛性の低い右側方向に伸びる．そして2段を介してブロック左端は縦方向に変位することになる．この変位拡大機構を有限要素法を用いて変位解析した様子を図3に示す．

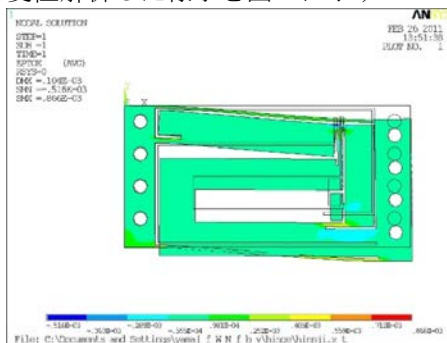


図3 変位拡大機構のFEM解析

(2) 本研究で開発した3軸力覚センサを図4に示す．先端のプロブは試料表面に対し45度の角度で取り付けられている．各軸に4枚の歪ゲージが貼り付けられており平行平板構造を有している．また，歪ゲージはブリッジ上に構成されている．この構造により出力の向上と曲げの影響を低減することができる．この歪ゲージにより各軸に対応した力覚情報(プロブの接触力)の検出を行う．

(3) 本システムを用いて試料表面を一定のスピードで摺動させた際に検出される力を用いて試料の動摩擦係数の測定を行った．試料として協和工業社製のシリコンラバー(ショアA硬度70)を使用した．この試料

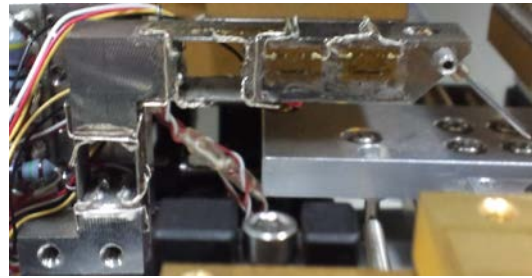
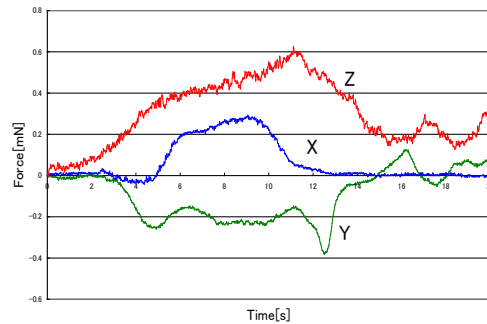
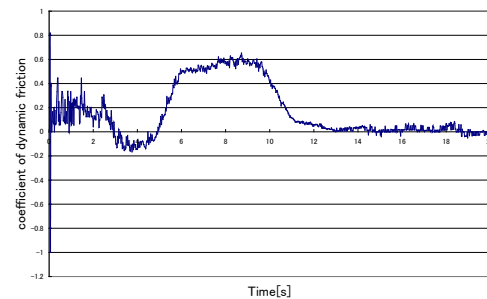


図4 3軸力覚センサ外観

の動摩擦係数の公称値は0.514~0.572である．実験結果のグラフを図5に示す．(a)のグラフはX,Y,Z各軸の接触力を示す．X軸の力は試料に対し水平方向，Y軸は奥行き方向の力，Z軸は垂直方向の力を示している．(b)のグラフは(a)のグラフのX軸とZ軸の力から求めた動摩擦係数の時間変化を示す．グラフから見て取れるようにこの実験で求めた動摩擦係数は6.1~9.8秒の平均を取ると0.553と公称値に非常に近い結果となった．



(a) Forces in dragging experiment



(b) Dynamic friction coefficient vs. time

図5 動摩擦係数の検出

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① A.I. Cahyadi, Y.Yamamoto, A New Tool for Input to State Stabilization of

Delayed System via FDE Dissipativity, *ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications*, Vol. 8, No.2, 2010, pp.239-245.

- ② A.I. Cahyadi, R. Yusof, M. Khalid, Y.Yamamoto, Robustness of reduction method for stabilization of uncertain input-delayed process plant, Proc. 2011 4th Int. Conf. on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)
- ③ Y. Y. Lwin, Y.Yamamoto, Obstacle-responsive navigation scheme of a wheeled mobile robot based on look-ahead control, *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 39, No.3, 2012.
- ④ Ryo Matoba, Y.Yamamoto, Real-Time Teleoperation with Multiple-DOF Force Feedback in a Micro-Manipulation System Proc. MJIT-JUC Joint Symposium (MJJS) pp. 189-192 2012.

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① N. H. Bin Aziz, 山本佳男, 2 台の PHANTOM OMNI を用いた多自由度ハプティックシステム, 日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会, 2012.
- ② 相澤隆介, 晝間亮太, 山本佳男, 複数のカメラを用いた自律型移動ロボットの屋外ナビゲーション, 日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会, 2012.
- ③ 晝間亮太, 松井暁, 山本佳男, 磁歪素子を用いた環境発電技術に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012. 他

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 佳男 (YAMAMOTO YOSHIO)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：20272114