

複合型リンク機構による微細作業装置の 多機能化とプロトタイプの開発

山本佳男

Improving Performance of Micromanipulation System with Multilink Mechanism

by

Yoshio YAMAMOTO*

Abstract

Micromanipulation and nanomanipulation techniques have attracted much attention because of their potential utility not only in manufacturing fields but also in medical and bioengineering domains. Many prior systems have been developed to accommodate accurate positioning capability. However, changing the orientation of a manipulation probe is considered far more difficult in such systems than changing the translational position alone. The installation of a posture-changing mechanism, in general, requires a large complex apparatus or a highly expensive system. In this study, the author provides the posture-changing mechanism for micromanipulation at a reasonable cost using an offset planar hinge mechanism. In this report, the author presents a prototype system that has recently been developed.

Keywords: Micromanipulator, Posture control, Offset planar hinge mechanism

1 研究背景及び目的

近年、バイオ、医療、エレクトロニクス分野を中心に微細な対象物をハンドリングする作業が急増している。そのような作業を行うシステムに要求される機能は、対象物のサイズや利用環境によって大きく異なる。また環境的には、医療・バイオ関係の場合は液中または大気中が多く、エレクトロニクス分野では電子顕微鏡に代表される真空中での作業が一般的である。

通常の微細作業システムでは、 μm レベルあるいはそれ以下の精度を確保する手段として電歪素子（圧電素子）や磁歪素子が用いられる。特に電歪素子は、発熱もなく適度な線形性も得られることから頻りに用いられている。しかし、微小な作業領域における直動変位を得るためには有効な手段ではあるが、エフェクタあるいはプローブの姿勢は初期設定時の状態を維持したままであり、姿勢が不都合な場合は作業を中断して再設定をしなければならぬ。さらに、バイオ・医療分野では、作業の中断は多くの場合作業のやり直しを意味し、同じ作業領域の中で姿勢を任意に変化できる意義は極めて大きい。

本報告では、従来の並進移動型微細作業システムに付加的に取り付けるオフセット型平面ヒンジリンク機構およびその試作機について報告する。目標とする作業精度は $1\mu\text{m}$ 程度であり、主にバイオ・医療分野における適用を想定している。

2 オフセット型平面ヒンジリンク機構

6本のリンクから構成されるオフセット型平面ヒンジリンク機構は、末端リンクに回転自由度を持たせることにより3つの回転自由度を実現でき、かつ構造的にある制約を満たすようにリンクを構成すると、作業空間内に不動点が存在する特徴を有する(Fig.1).

屈曲リンク 2本 { \overline{EFG} , \overline{DFH} }

直線リンク 2本 { \overline{CE} , \overline{HI} }

末端リンク 2本 { \overline{ABCD} , \overline{KJIG} }

このとき屈曲リンクの曲がり角を ϕ 、直線リンクと末端リンクのなす角度を $\angle DCE = \theta$ とする。さらにリンク機構を構成する各所の寸法を以下の3種類のパラメータにより決定する。

L_1 : 直線 \overline{AB} および直線 \overline{JK} の交点 X から B 点および K 点までの距離 (\overline{XB} , \overline{XK})

L_2 : 末端リンクの長手方向寸法 (\overline{AB} , \overline{JK})

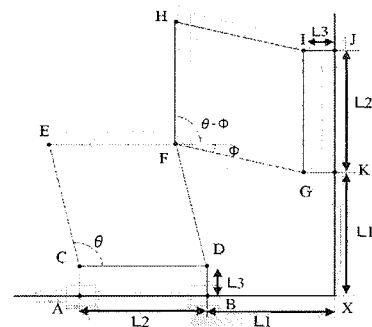


Fig.1 : Offset planar hinge link

* 工学部 精密工学科 教授

L_3 : 末端リンクの回転軸から直線リンク端部および屈曲リンク端部までの距離(\overline{AC} , \overline{BD} , \overline{KG} , \overline{JI})

リンクパラメータの選択により, Fig.1 における点 X はリンク全体の姿勢に依らない不動点となることがベクトルの証明される[1]. 実際には $L_1 = L_2$ と仮定すると, 不動点 X に作用する力とリンク内の各所に生じる力・モーメントの静力学的関係がより簡素な関係式で表されることも知られている.

以上の知見を元に製作した試作 1 号機を(Fig.2)に示す. 概略寸法は高さ 124mm, 幅 157mm で, 駆動用にフジクラ製ギアド DC モータを, 角度検出用に栄通信製ポテンシオメータを使用している. 末端リンクには, X,Y,Z の 3 軸位置補正, 及び専用のプローブを装着するための機構を取り付けてある.

実験装置はジョイスティックによるコントローラ操作で行う. 本体後方に取り付けたモータとポテンシオメータにより, リンクの駆動および回転角度の検出を行う.

以上の装置を用いて実験を行ったところ, 数十 μm の誤差は見られたものの, 針先の不動点の存在を確認することができた.

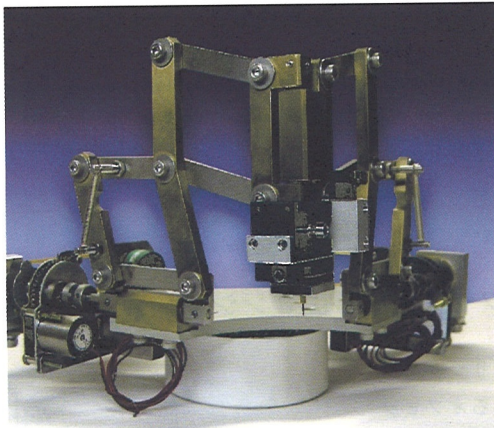


Fig.2 : Prototype I of the link mechanism

3 改良型試作 2 号機

3.1 試作 2 号機概要

前節で述べた装置には幾つかの問題点が見られたため, それらを改良した新たな試作機を製作した(Fig.3). そこでは, リンクを構成する各部品の組み立て・加工精度を高め, 特に誤差が大きく発生した箇所であるリンクと土台との接合部に用いる軸をそれぞれの軸方向から不動点方向へネジで押し付けることで緩みを解消した. また従来の機構では, モータからのトルクを伝える軸に取り付けられていたプーリがポテンシオメータとの間で滑りを生じていたため, 安定な操作を行うことが困難であった. そこでプーリを使用せず, モータとポテンシオメータを一体型にすることで動作の安定化を図った. 装置全体も小型化し, 高さ 97.5mm, 幅 116.0mm となった. さらに補正用の 3 軸移動テーブルの代わりに, 末端リンクの先端にプローブ先端を任意の方向に調節する機構を設けた.

3.2 画像処理を用いた操作系の向上

試作 1 号機からの改良により, 試作 2 号機ではリンク機構の回転動作に伴うプローブ先端の位置誤差は大幅に改善された. しかし部品の加工誤差や, 各リンク間の接合誤差に伴うプロー

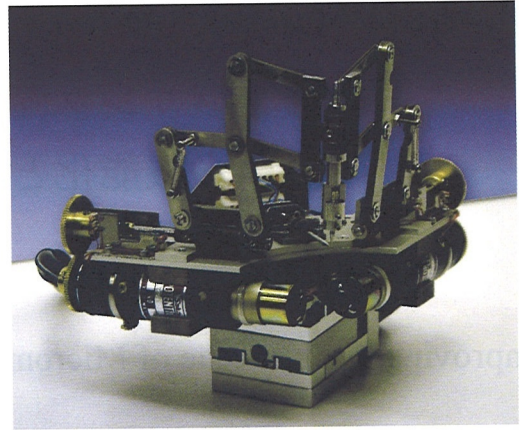


Fig.3 : Modified Prototype II

ブ先端の位置誤差は未だに 33.8 μm 生じており, 目標の 5 μm 以内に届いていない. そこで機構的に生じたプローブの誤差分をリンク機構下部に取り付けた水平 2 軸移動台により補正する. 具体的には, リンクの回転動作によって生じるプローブ先端の位置ズレを光学顕微鏡によって実時間で撮影し, そのズレを下部の水平 2 軸テーブルの駆動により補償することで, プローブ先端部の精度向上を目指す(Fig.4).

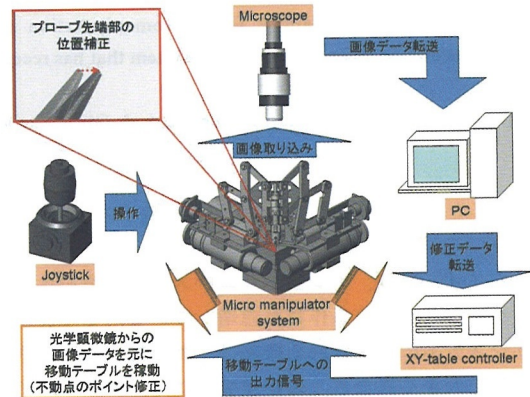


Fig.4 : Position error compensation with visual feedback

4 結言

試作機を製作し動作確認および予備的な性能評価を行ったところ, 当初の目標精度を達成できていないものの, 機構の基本的な有効性を確認することができた. さらに, それらのデータを元に新たな試作の開発を行い, 性能の向上を図った.

今後は以下の課題に取り組んでいく予定である.

- ・画像処理を用いたリンク機構の精度向上システムの開発
- ・双腕プローブシステムの構築とそれを用いた遠隔制御

謝辞

本研究は, 2005 年度学部等研究教育補助金の助成を受けて実施いたしました. ここに謝意を表します.

[1] Hamlin, G.J. and Sanderson, A.C : A Novel Concentric Multilink Spherical Joint with Parallel Robotics Applications, Proceedings of ICRA 1994, 1267.
 [2] Yoshio YAMAMOTO : Development of Concentric Micro Manipulation System, Proceedings of AIM 2005, pp 396-401.