

3217 ステッピングモータをアクチュエータとする半導体ウエハ搬送ダイレクトドライブ型3関節ロボットアームの軌道計画と制御

Trajectory Planning and Control for Semiconductor Wafer Transfer of A Direct-drive Three-joint Robot Arm Driven with Stepping Motors

○本村健悟 (群馬大学) 大橋由隆 (群馬大学) 榎本剛 (メイテック)
正 小島宏行 (群馬大学) 桑野好文 (日本サーボ) 細谷肇 (群馬産業技術センター)

Kengo MOTOMURA, Gunma University, 1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu, Gunma
Yutaka OHHASHI, Gunma University
Tsuyoshi ENOMOTO, Meitec Corporation, 8-5-26 Akasaka, Minato-ku, Tokyo
Hiroyuki KOJIMA, Gunma University
Yoshifumi KUWANO, Japan Servo Co., Ltd., 3-93 Aioi-cho, Kiryu, Gunma
Hajime HOSOYA, Gunma Industrial Technology Center, 884-1 Kamesato-machi, Maebashi, Gunma

Key Words: Trajectory Planning, Direct-drive Robot Arm, Stepping Motor, Genetic Algorithm

1. 緒言

ステッピングモータは、パルスに対応する固有の回転角を持つことから、位置決めが容易である。しかし、これをアクチュエータとするロボットアームの軌道計画に関する研究は極めて少ないようである。著者らは以前、減速機付ステッピングモータをアクチュエータとする半導体ウエハ搬送ロボットアームの軌道計画を行い、提案した軌道計画法の有用性を検証したが[1], 大トルクを有するダイレクトドライブ型ステッピングモータを使用することで、バックラッシュの影響のない高精度な位置決めが実現し得るものと期待される。

本研究では、ステッピングモータをアクチュエータとするダイレクトドライブ型3関節ロボットアームを試作し、遺伝的アルゴリズムを用いて半導体ウエハ搬送のための軌道計画を行った。次いで、数値計算と実験を行い、本軌道計画法の有用性を検証したものである。

2. 実験装置

Fig.1 は実験装置として試作・使用した3関節ロボットアームの外観である。各関節にダイレクトドライブ型ステッピングモータが搭載されている。球型のマーカーをアーム先端と関節に取り付け、3次元動作計測装置によってロボットアーム先端の全体動作を計測している。

3. 遺伝的アルゴリズムを用いた準最適軌道計画

Fig.2 は、半導体ウエハの取り出し動作における直線軌道

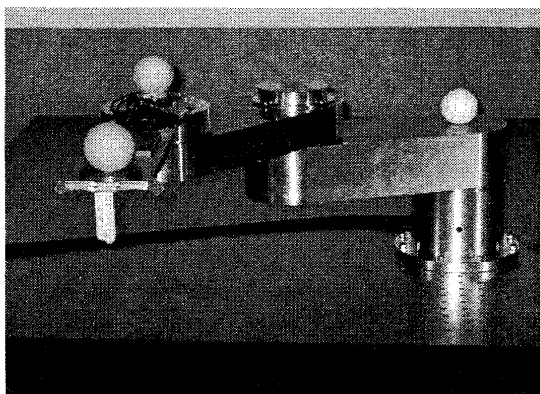


Fig.1 Appearance of robot arm

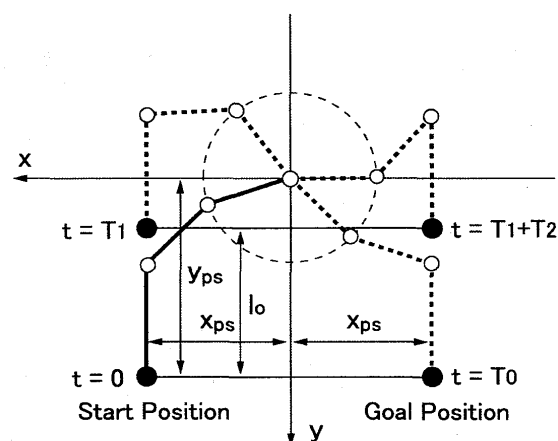


Fig.2 Trajectory planning

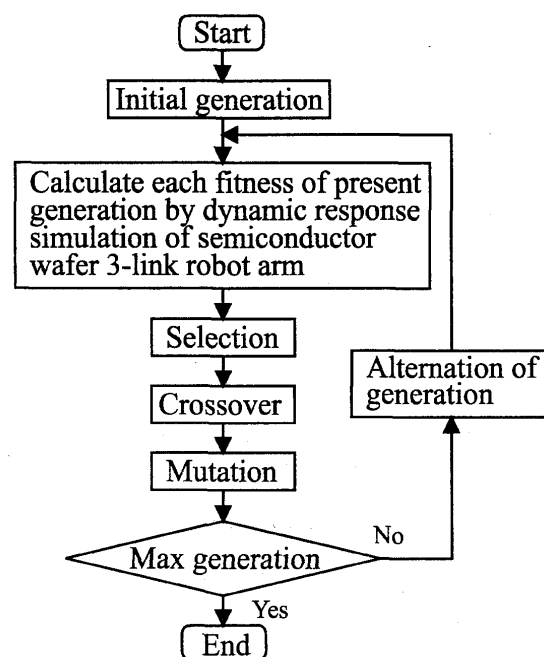


Fig.3 Flowchart of genetic algorithm

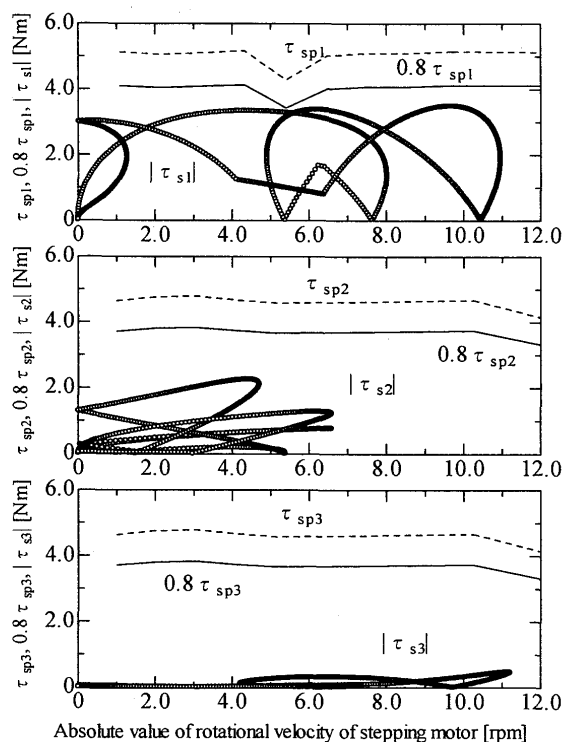


Fig.4 Torque characteristic obtained by simulation

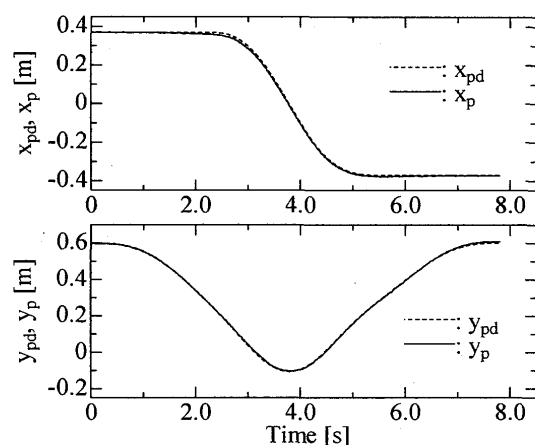


Fig.5 Experimental results

区間 ($0 \leq t \leq T_1$), PTP 動作による曲線軌道区間 ($T_1 \leq t \leq T_1 + T_2$), 半導体ウエハのセット動作における直線軌道区間 ($T_1 + T_2 \leq t \leq T_0$) から構成されるロボットアームの軌道を示したものである。軌道計画の準最適化のために Fig.3 のような遺伝的アルゴリズムを用いている。軌道は 5 個のパラメータ ($T_1, T_2, T_3, \sigma_1, \sigma_3$) を遺伝子とする染色体で記述している。ここに、 σ_1 は T_1 に対する加速時間の割合、 σ_3 は T_3 に対する減速時間の割合である。遺伝的アルゴリズムでは、染色体に対応する軌道において各関節のステッピングモータのトルクが、余裕率 α を考慮したプリアウトトルクを超えないという拘束条件を前提に、ロボットアームの総動作時間 $T_0 (=T_1+T_2+T_3)$ が最も小さくなる軌道を求めている。

4. 数値計算結果および実験結果

Fig.4 は、ステッピングモータのトルク $|\tau_{si}|$ ($i=1, 2, 3$) と余裕率 $\alpha=0.8$ のプリアウトトルク $0.8 \tau_{spi}$ ($i=1, 2, 3$) を比較した数値計算結果である。 $|\tau_{si}|$ が $0.8 \tau_{spi}$ 以下の値となって

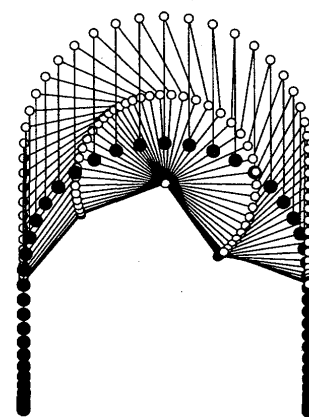


Fig.6 Loci of robot arm obtained by numerical calculation

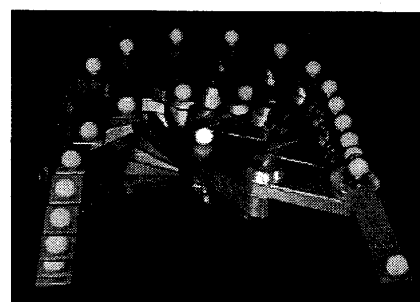


Fig.7 Loci of robot arm obtained by experiment

おり、遺伝的アルゴリズムによる軌道計画が適切に行われていることが確認できる。

Fig.5 は、Fig.4 と同じ軌道パラメータを用いた実験結果である。ロボットアーム先端の位置 (x_p, y_p) は、目標値 (x_{pd}, y_{pd}) に良好に追従していることから、本研究で提案した軌道計画法の有用性が実験的に立証されたとと言える。

Fig.6 は、Fig.4 と同じ軌道パラメータを用いた数値計算によるロボットアームの運動軌跡を示したものである。Fig.7 は、Fig.5 の実験におけるロボットアームの運動軌跡を示したものである。Fig.6, 7 より、ロボットアームの運動の様子を視覚的に理解することが可能であり、両者はほぼ同様の軌跡を辿っていることがわかる。

5. 結言

本研究では、ステッピングモータをアクチュエータとするダイレクトドライブ型 3 関節ロボットアームを試作するとともに、遺伝的アルゴリズムを用いることにより、半導体ウエハ搬送のための軌道計画法を構築した。その内容を要約すると以下のようになる。

- (1) 数値計算の結果、ステッピングモータのトルクが余裕率を考慮したプリアウトトルク以下となり、ロボットアームの総動作時間を最小とするような準最適軌道が得られた。
- (2) 実験の結果、数値計算によって得られた準最適軌道が良好に実現し得ることが確かめられた。

参考文献

- [1] 小島, 橋本, 桑野, 阿部, 細谷: “GA を用いたステッピングモータ駆動方式半導体ウエハ搬送ロボットアームの最適軌道計画”, 第 24 回ロボット学会学術講演会講演論文集, IG13, pp.1-4, 2006.