

1. 緒 論

シリコンウェハや液晶パネル生産向上のために搬送用ロボットの高速・高精度化が求められている。ロボットアームの関節駆動部には減速機やベルト・プーリー駆動系が用いられており⁽¹⁾, これらの剛性が低い場合ロボットアームの動作中の振動および停止時の残留振動が発生し, 高速な位置決めが困難であるという問題が起きている。

本研究では, ウェハ搬送用に用いられるベルト駆動ロボットについて多慣性のモデリングを行い⁽²⁾, アーム先端の加速度を用いた振動抑制制御系のシミュレーションを行う。

2. 実験装置

実験装置の構成を図1に示す。装置は, 制御システムと制御対象となるベルト駆動ロボットから構成される。

制御システムは, PC, サーボコントローラ, サーボアンプから構成される。サーボコントローラとしてCPUボード, D/A・A/D出力, カウンタ入力^{が1体化となった MechatroS³-C(安川情報システム製)を設置した。PC において制御プログラムと制御パラメータ, 指令ファイルを作成する。これらを USB 通信でサーボコントローラへ送る。ダウンロードした指令値とサーボアンプから送られてくるエンコーダ値を基に制御プログラムと制御パラメータにより演算を行い, トルク指令電圧を算出し, サーボアンプへ出力する。電圧をトルク指令電流へと変換し, サーボモータへ出力する。}

ベルト駆動ロボットは, 半導体製造装置のウェハ搬送用に利用される。ロボットは, ベルト, サーボモータ, ハーモニックドライブ, プーリーと3つのアームによって構成される。モータからのトルクをプーリー, ベルト, ハーモニックドライブを介してアームに伝達する多慣性系機構である。サーボモータは制御システムからのトルク指令電圧によって, 定まったトルクを出力し, ハーモニックドライブによって減速し, プーリーを回転させる。プーリーは, モータから伝達された運動をベルトに伝達させる。歯数の異なる2つのプーリーをベルトによってつなげることで減速したプーリーがアームにトルクを伝達する。図に示すように各アームをS軸アーム, R軸アーム, エンドエフェクタと呼ぶ。S軸アーム, R軸アームはそれぞれサーボモータで

駆動され, S 軸モータ, R 軸モータと呼ぶ, エンドエフェクタは, R 軸のプーリーとベルトで連結されており, その減速比は 0.5 である。

3. 残留振動の測定

動作指令を図2に示す。ウェハ搬送を想定したアームの伸縮運動を 2.0sec 実行し, それ以降は停止する。図3に動作時のアーム先端の加速度応答を示す。応答には 2.0sec 以降の停止時に残留振動が発生していることがわかる。

また, ロボットの伝達関数を計測し, 固有振動数を求める。S 軸モータをランダム波で加振してアームの加速度を測定し, 伝達関数を測定した。伝達関数を図4に示す。入力はトルク, 出力はア

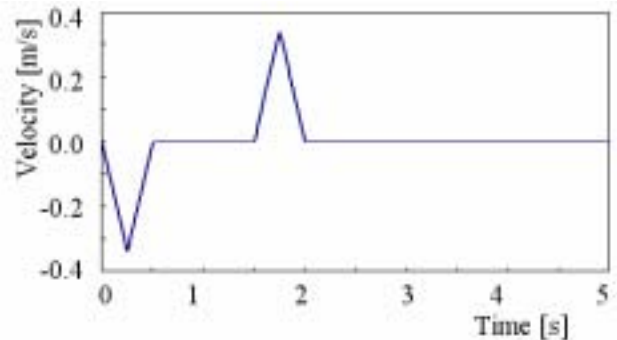


Fig.2 Motor velocity reference

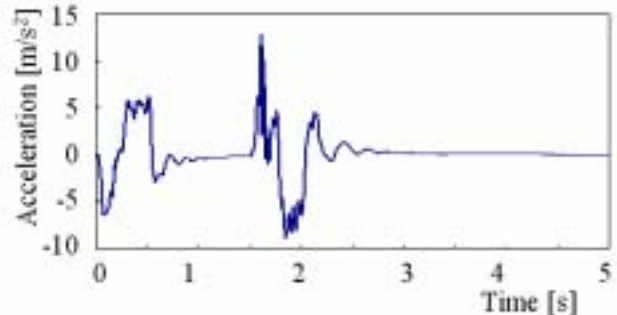


Fig.3 Arm Acceleration

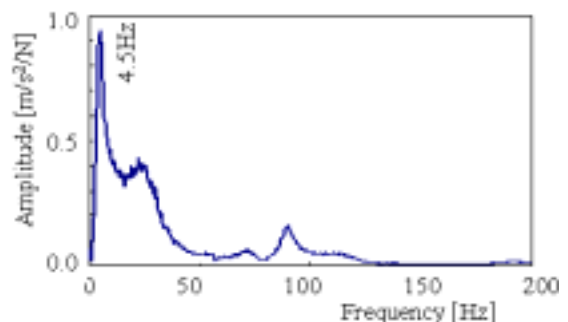


Fig.4 Transfer function

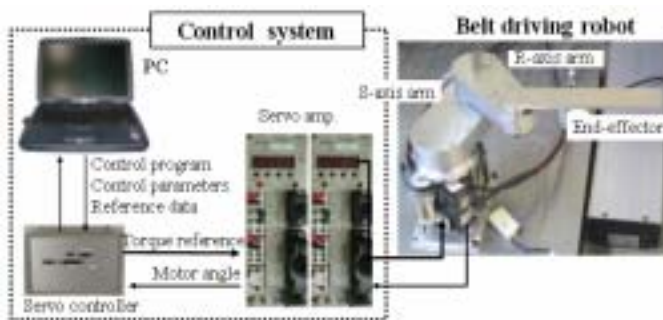


Fig.1 Experimental system

ームの加速度である。1次固有振動数は 4.5Hz で残留振動の周波数と一致している。

一般に、位置決め制御系の制御帯域向上を最も妨げるのは、最も低帯域に存在する固有振動数(1次振動モード)である。本ロボットをモータ、各プーリ、アームを剛体とし、ベルトをばねとダンパと考え、減速機をばねとダンパと考えてモデルを表現する。図5にS軸の4慣性系モデルを示す。各慣性と剛性のカタログ値を入力した結果、1次固有振動数はアーム側のベルトを剛性とする2慣性系であることが判明した。

4. 制御シミュレーション

アーム先端の加速度をフィードバックし、振動抑制する。

まず、図6にP-PI(位置の比例、速度の比例積分)制御時のエンドエフェクタ加速度応答のシミュレーション結果を示す。制御対象のモデルには、2慣性系モデルを用いる。図3の実験結果と同じ周波数の残留振動を得ており、このシミュレーションモデルは有効である。本モデルを用いて制御シミュレーションを行なう。図7にブロック線図を示す。加速度をモータトルクにフィードバックすることで発生する残留振動を低減する。図8、図9にモータ速度の応

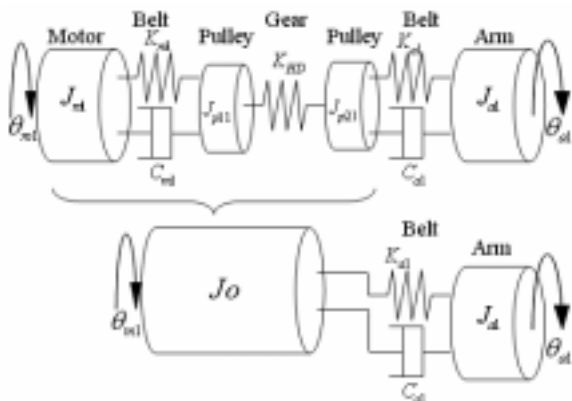


Fig.5 S-axis model

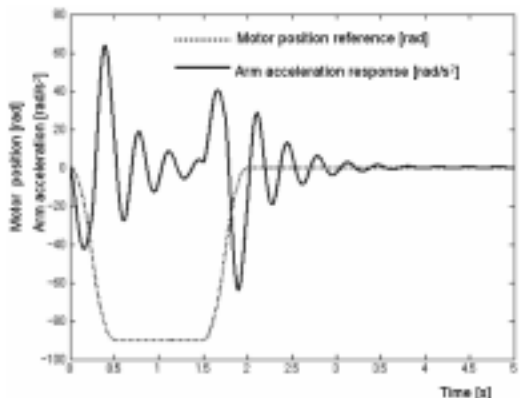


Fig.6 Arm acceleration (simulation)

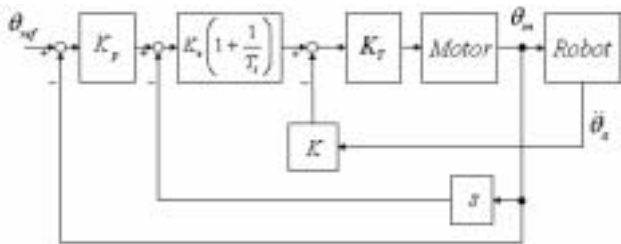


Fig.7 Block diagram

答とエンドエフェクタの加速度のシミュレーション結果を示す。それぞれ破線が、従来制御を表し、実線が、加速度フィードバック付加後を表す。図8のモータ速度では、加速度フィードバックの付加後に振動的な波形になっている。これは、エンドエフェクタの振動を低減するために、モータが積極的に動いていることを表している。図9では、加速度フィードバックの付加後、加速度の振幅が大幅に低減し、残留振動の発生も抑えられている。加速度フィードバック制御系が、エンドエフェクタの残留振動低減に効果があることを検証できた。

5. 結論

ベルト駆動ロボットに対してコントローラを構成することによって、駆動システムを開発した。また、動作実験とシミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- (1) ベルト駆動ロボットの制御設計のために、振動発生を考慮した多慣性系モデルを構築し、1次の固有振動数の発生原因を明確にした。
- (2) 実測の応答波形と比較して、モデルの妥当性を検証した。
- (3) 本制御では、アーム先端加速度のフィードバック制御により1次振動モードの振幅を低減でき、高精度化を実現できることをシミュレーションで確認した。
- (4) 今後は、動作時の応答について実測との検証を行い、振動低減効果を確認する。

文献

- (1) 李・武居・古荘, 歯付ベルト駆動サーボ系の周期的速度変動の外乱オブサーバによる低減に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), No.68-676, (2002-12), 215-222.
- (2) 浜松・内田・田中・二見, ベルト駆動ロボットの動特性モデリング, 日本機械学会九州支部第59期総会講演会, No.068-1, (2006-3), pp.227-228.

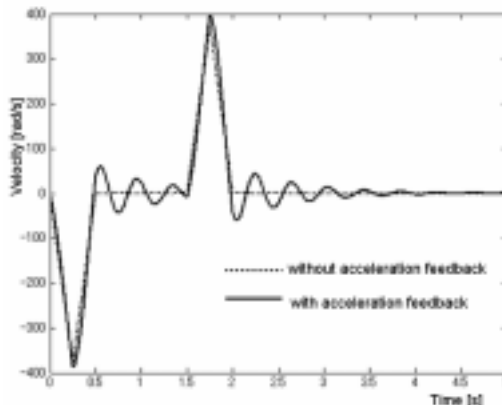


Fig.8 Motor velocity (simulation)

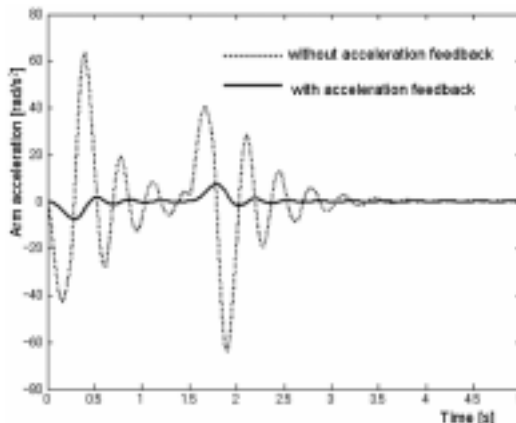


Fig.9 Arm acceleration (simulation)