

Dynamics Modeling for Belt Driving Robot

正 浜松 弘(北九州高専)
正 田中 義人(北九州高専)

内田 裕和(北九州高専専攻科)
正 二見 茂(九州工大)

Hiroshi HAMAMATSU, Kitakyushu National College of Technology, Shii, Kokura-minami-ku, Kitakyushu
Hirokazu UCHIDA, Kitakyushu National College of Technology
Yoshito TANAKA, Kitakyushu National College of Technology
Shigeru FUTAMI, Kyushu Institute of Technology

Keywords: Vibration control, Belt driving mechanism, Mechatronics, Robot

1. 結 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・プリー駆動系が用いられており⁽¹⁾、これらの剛性が低いため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こっている。

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、性能評価を行った。

2. ベルト 駆 動 ロ ボ ッ ト

制御対象のベルト駆動ロボットは、半導体製造装置のウェハ搬送用のロボットである。モータからのトルクをプリー、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。

ベルト駆動ロボットを図1に示す。この装置は、ベルト、サーボモータ、ハーモニックドライブ、プリーと3つのアームによって構成される。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、プリーを回転させる。プリーは、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つのプリーをベルトによってつなげることにより減速したプ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軸とベルトで連結されており、その減速比は0.5である。

3. 実 験 装 置

実験装置の構成を図2に示す。ベルト駆動ロボットに、サーボコントローラとしてCPUボード、D/A・A/D出力、カウンタ入力が入体化となったMechatroS³-C(安川情報システム製)を設置した。

システムでは、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。

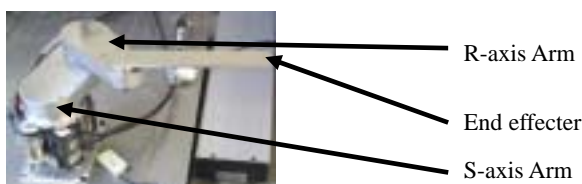


Fig.1 Belt driving robot

サーボアンプは、サーボコントローラから送られてくるトルク指令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。サーボモータは、サーボアンプからのトルク指令電流により定まったトルクを出力し、プリーを回転させる。

4. モ デ リ ン グ

制御設計を行うために、剛体と1次振動モードを考慮した多慣性系モデルを作成する。最初に、FFTアナライザにより本ロボットの伝達関数を計測し、固有振動数を求める。各軸のモータを加振してそれぞれのアームの加速度を測定し、伝達関数を求めた。測定した伝達関数を図3に示す。これより、本ロボットの1次固有振動数は、S軸アームは8.5[Hz]、R軸アームは7.75[Hz]であった。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)であるが、本報では複数の固有振動数に関して、多慣性系でモデリングする。

本ロボットをモータ、各プリー、各軸アームを剛体とし、ベルトをばねとダンパと考え、減速機(HD)をばねと考えてモデルを表現

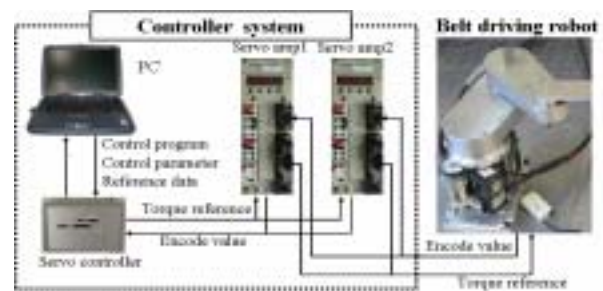


Fig.2 Experimental system

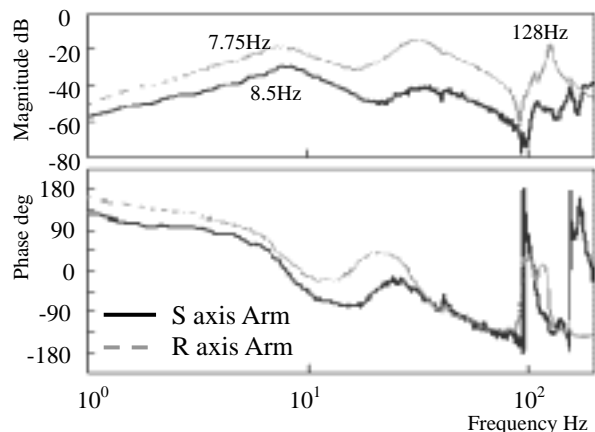


Fig.3 Transfer function

する. 図4にS軸の多慣性系モデルを示す. 次に, S軸モデルから導き出された運動方程式を式(1)に示す. R軸も同様なモデルとなる. S軸モデルの伝達関数を図6に示す. 入力はトルク, 出力はアームの加速度とした. 実測値と固有振動数が一致するモデルを作成できた.

5. シミュレーション

式(1)の運動方程式を基に MATLAB/simulink を用いて, S軸のシミュレーションモデルを作成する.

図5に作成したS軸モデルにP-PI(位置の比例, 速度の比例積分)制御を付加したブロック線図を示す. P-PI制御によるモータのセミクローズループを構成した.

図5のモデルに対してステップ指令を入力した応答を図7に示す. 入力に対して残留振動が発生しており, 制御設計に用いる機械モデルが作成できた.

6. 結論

ベルト駆動ロボットに対してコントローラを構成し, 動作指令を

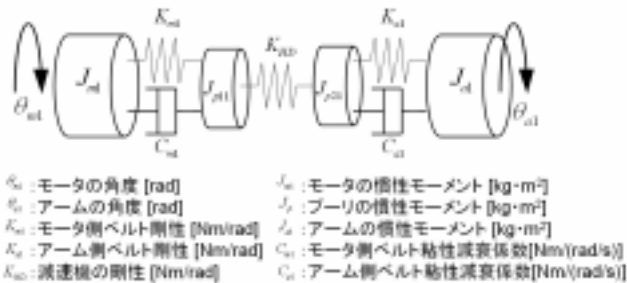


Fig.4 S axis model

$$\begin{cases}
 J_{m1}\ddot{\theta}_{m1} + C_{a1}(\dot{\theta}_{m1} - \dot{\theta}_{p11}) + K_{a1}(\theta_{m1} - \theta_{p11}) = T_{m1} \\
 J_{a1}\ddot{\theta}_{a1} + C_{a1}\left(\dot{\theta}_{a1} - \frac{\dot{\theta}_{p21}}{N_{21}}\right) + K_{a1}\left(\theta_{a1} - \frac{\theta_{p21}}{N_{21}}\right) = 0 \\
 J_{p21}\ddot{\theta}_{p21} + K_{HD}\left(\theta_{p21} - \frac{\theta_{p11}}{N_{11}}\right) + \frac{C_{a1}}{N_{21}^2}(\dot{\theta}_{p21} - N_{21}\dot{\theta}_{a1}) + \frac{K_{a1}}{N_{21}^2}(\theta_{p21} - N_{21}\theta_{a1}) = 0 \\
 J_{p11}\ddot{\theta}_{p11} + C_{m1}(\dot{\theta}_{p11} - \dot{\theta}_{m1}) + K_{m1}(\theta_{p11} - \theta_{m1}) + \frac{K_{HD}}{N_{11}^2}(\theta_{p11} - N_{11}\theta_{p21}) = 0
 \end{cases} \dots(1)$$

N_{11} : 減速機の減速比
 N_{12} : 減速機 - アーム間の減速比

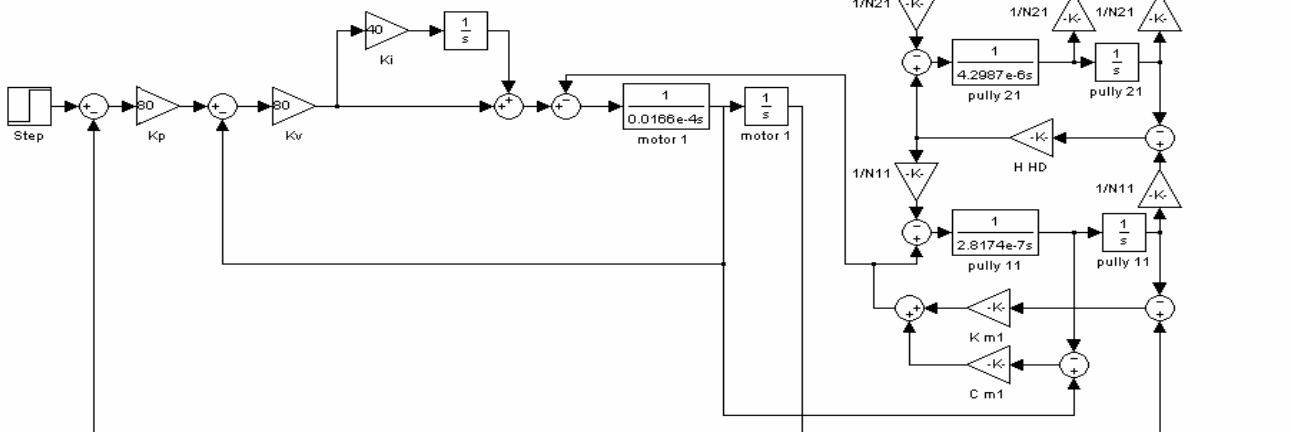


Fig.5 Simulation model of S axis

作成することによって, 駆動システムを開発し, 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た.
- (2) 実測の伝達関数と比較して, モデルの妥当性を検証した.
- (3) 今後は, 動作時の応答について実測とモデルの検証を行い, 振動発生状況を把握する.

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.

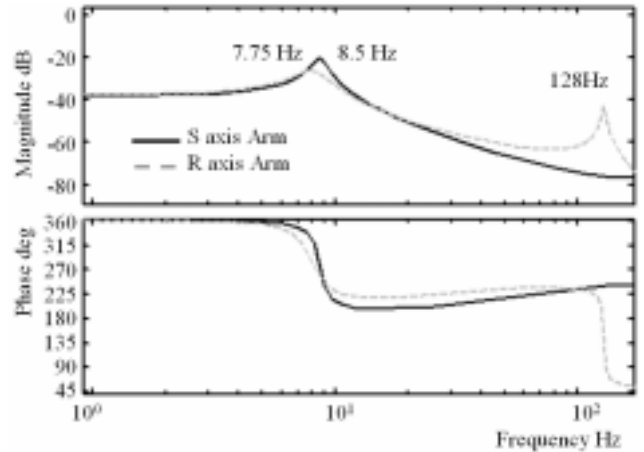


Fig.6 Transfer function (model)

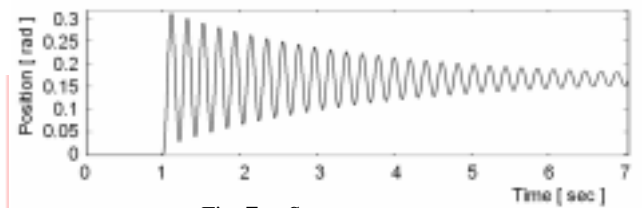


Fig.7 Step response