

E-4

1 自由度 Force Display の試作と評価
A Trial Production and Evaluation of 1D Force Display

○鈴木貴裕¹, 赤松悠¹, 吉田洋明²

*Takahiro Suzuki¹, Haruka Akamatsu¹, Hiroaki Yoshida²

Abstract: This paper presents evaluations of 1D force display. The force display is a part of the technology of a virtual reality. The force display is a device that presents a force of a virtual object to human. And it is a device for presenting the operational feeling and operation reaction force and the position of a virtual object. The dynamics of the force display is canceled using model following control, in order to present the correct force of a virtual object. Then, the force display can present any force.

1. はじめに

計算機上に作り出した仮想空間の様々な感覚を操作者にフィードバックする, Virtual Reality と呼ばれる技術がある. Virtual Reality を実現するためには, 仮想空間内の様々な感覚を操作者に呈示する必要がある, 中でも力を再現するものを Force Display と呼ぶ. その Force Display 装置の実現において力の再現性を高める事は重要な課題のひとつであるといえる. したがって本研究では, 1 自由度の Force Display 装置とそのコントローラを試作し, 仮想バネを再現した場合の静特性と動特性の試験を行った.

2. Force Display 装置の構成

本研究で制作した 1 自由度 Force Display 装置^[1]の構成とコントローラを Fig.1 に示す. 装置はアーム・モータ・ロータリーエンコーダ・ひずみゲージ・コントローラから構成されており, 操作者がアームを操作する. アームにかかる力はひずみゲージから, アームの角度はロータリーエンコーダからコントローラが読み取る.

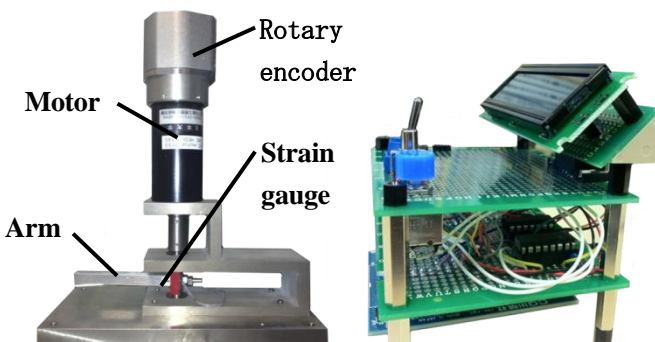


Figure 1. Force display & Controller unit

3. Model Following System

操作者が装置のダイナミクスを感じないように Model Following System を用いて装置自体のダイナミ

クスを打ち消した. これはダイナミクスが限りなく 0 に近い 1 自由度系 (慣性モーメントと粘性トルク係数がほぼ 0) をモデルとし, 装置がこれと同じ振る舞いをするよう制御するものである. 式 (1) にその制御則を, Fig.2 にブロック線図を示す. ただし G_h は指先のバネ定数 [Nm/rad] である.

$$\tau_{dm} = \begin{bmatrix} 0 & B_{arm} - \frac{J_{arm}}{J_{mdl}} B_{mdl} \end{bmatrix} x_{arm} + \frac{J_{arm}}{J_{mdl}} T_h - T_h \quad (1)$$

τ_{dm} : 制御トルク [Nm] J : 慣性モーメント [kgm²]

B : 粘性トルク係数 [Nms/rad] T_h : 外力 [Nm]

$x_{arm} = [\theta_{arm}, \dot{\theta}_{arm}]^T$ θ : 角度 [rad]

添え字 arm : 実機 mdl : モデル

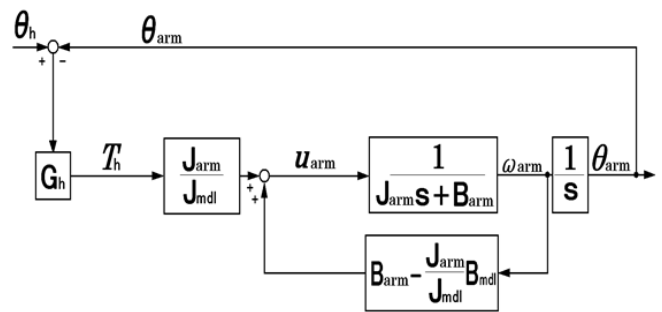


Figure 2. Block diagram of model following system

4. システムのパラメータ同定

Model Following System を実現するためには装置の粘性トルク係数と慣性モーメントが必要である. そこで粘性トルク係数と慣性モーメントのパラメータ同定を行った.

4. 1. 粘性トルク係数の推定

一定電圧印加時の角速度を調べることにより, 粘性

1 : 日大理工・院 (前)・精機 2 : 日大理工・教員・精機

トルク係数を推定した。測定の結果装置の粘性トルク係数 B_{arm} は $0.023[Nms/rad]$ と推定された。

4. 2. 慣性モーメントの推定

装置の周波数応答を行い Bode Diagram を作成し折点周波数を求めた。測定の結果、折点周波数 ω は約 $4.37[rad/s]$ であることが分かった。これより装置の慣性モーメント J_{arm} は $8.37 \times 10^{-4}[kgm^2]$ と推定された。

4. 3. 装置の起動電圧の推定

装置の軸周りおよび装置内のモータには回転を妨げる摩擦があるため、これを補正する必要がある。測定の結果、起動電圧は $\pm 39.4 \times 10^{-3}[V]$ であった。

5. 線形バネ再現時の特性試験

装置自体のダイナミクスを打ち消すシステムにバネの力を再現する制御則を組み込むことで、バネの力を正確に再現する Force Display を構成する。式(2)にその制御則を、Fig.3 にブロック線図を示す。

$$\tau_{dm} = \begin{bmatrix} 0 & B_{arm} - \frac{J_{arm}}{J_{mdl}} B_{mdl} \end{bmatrix} x_{arm} + \frac{J_{arm}}{J_{mdl}} (T_h - K_{mdl} \theta_{arm}) - T_h \quad (2)$$

K_{mdl} : 仮想バネのバネ定数[Nm/rad]

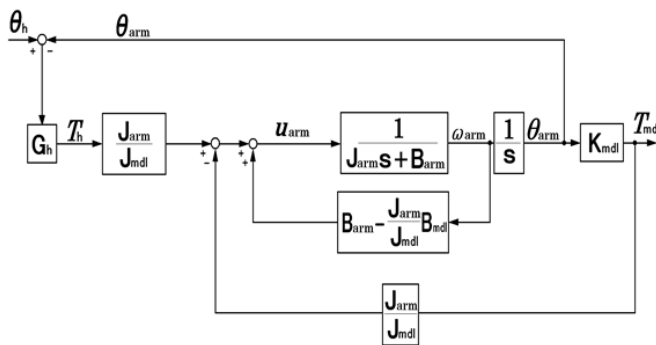


Figure 3. Block diagram of Force display

5. 1 静特性試験

バネ定数 $1[Nm/rad]$ を再現する Force Display のアームを、指でゆっくり往復させた。このときの角度とトルクを Fig.4 に示す。

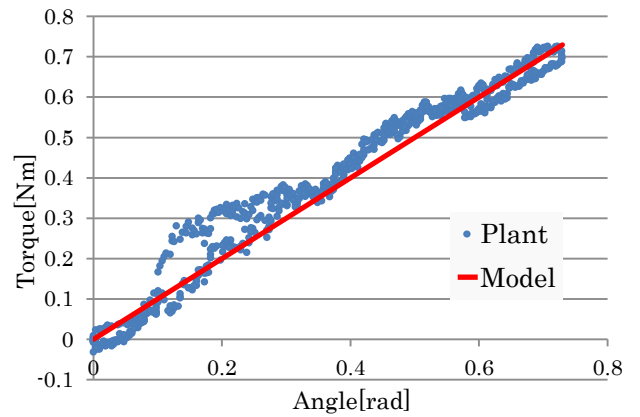


Figure 4. Static Characteristics

フルスケールに対するに誤差は最大で $20.9[\%]$ であった。

5. 2 動特性試験

バネ定数 $1[N \cdot m/rad]$ を再現する Force Display のアームを、指で素早く往復させた。このときの応答を Fig.5 に示す。

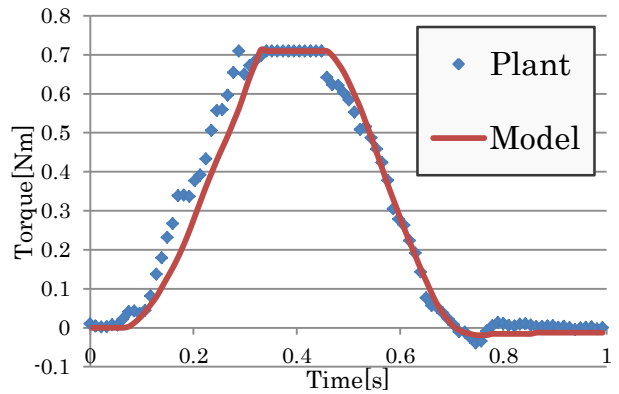


Figure 5. Dynamic characteristic

このときの誤差は、フルスケールに対して最大で $21.9[\%]$ であった。

6. おわりに

仮想空間の力を再現する Force Display 装置とコントローラを試作し、線形バネの力の再現性を調べた。その結果、静特性試験では最大 21% 程の誤差が生じるが、素早い動作を行った場合でも概ね正確なトルクを再現できることが分かった。

参考文献

[1] 赤松悠, 鈴木貴裕:「マニピュレータの力制御に関する研究」, 日本大学理工学部 精密機械工学科 卒業研究