

1 自由度マスタ・スレーブシステムに関する研究 A Study of 1D Master Slave System

○秋場悠順¹, 丸田晟央¹, 吉田洋明²*Yujun Akiba¹, Akihisa Maruta¹, Hiroaki Yoshida²

Abstract: This paper presents a study of 1D master slave system using force control. The system is a part of technology of telecommunication. This system transmits the position and force of the slave arm to the operator. The dynamics of the master and the slave arms is canceled using model following control, in order to present the correct force of the object. Therefore, master slave system gives us good operability.

1. はじめに

マスタの位置をスレーブに伝えるマスタ・スレーブ式の遠隔操作システムでは、操縦者側の動きを遠隔地のマニピュレータがトレースし作業をする。この技術によって操縦者は遠隔地にあるスレーブアームを自由に操ることが出来る。しかし、位置のみを伝える遠隔操作では遠隔地のマニピュレータに加わる力が操縦者に伝わらないため、力加減が難しい。

そこでマニピュレータの受けた力を操縦者に正確にフィードバックすることで、操縦者は遠隔地にある対象物をあたかも直接操作しているかのような感覚を受けることが出来、より操作性を向上できると考えられる。

本研究は、1 自由度のマニピュレータを力フィードバックのあるマスタ・スレーブ式で遠隔操作する装置を試作し、検討するものである。

2. マスタ・スレーブ装置の構成

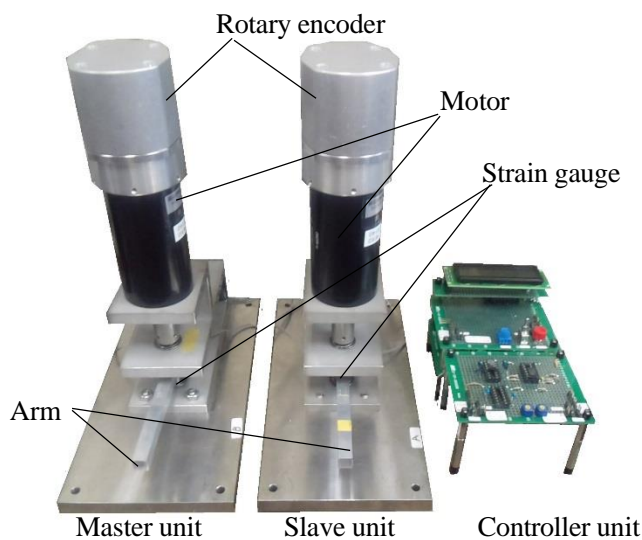


Figure 1. Master Slave & Controller unit

本研究で製作した 1 自由度マスタ・スレーブ装置の構成とコントローラを Fig.1 に示す。装置はマスター側、スレーブ側共に、アーム、モータ、ロータリエンコーダおよびひずみゲージから構成されている。アームに加わる力はひずみゲージから、角度はロータリエンコーダからコントローラが読み取り、スレーブアームに加わる力、角度も同様に読み取る。

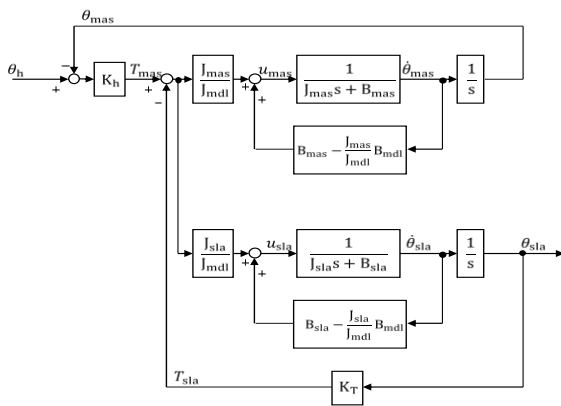
3. 制御則とブロック線図

操縦者が装置のダイナミクスを感じないように Model Following Control 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)にマスタの、式(2)にスレーブの制御則を、Fig.2 にマスタ・スレーブシステムのブロック線図を示す。

$$\tau_{\text{mas}} = \left(B_{\text{mas}} - \frac{J_{\text{mas}}}{J_{\text{mdl}}} B_{\text{mdl}} \right) \dot{\theta}_{\text{mas}} + \left(\frac{J_{\text{mas}}}{J_{\text{mdl}}} - 1 \right) T_{\text{mas}} - T_{\text{sla}} \quad (1)$$

$$\tau_{\text{sla}} = \left(B_{\text{sla}} - \frac{J_{\text{sla}}}{J_{\text{mdl}}} B_{\text{mdl}} \right) \dot{\theta}_{\text{sla}} - \left(\frac{J_{\text{sla}}}{J_{\text{mdl}}} + 1 \right) T_{\text{sla}} + T_{\text{mas}} \quad (2)$$

τ : 制御トルク [N・m] J : 慣性モーメント [kg・m²]
 B : 粘性トルク係数 [N・m・s/rad]
 T : 外部トルク [N・m] θ : 角度 [rad]
 添え字 mas : マスタ sla : スレーブ mdl : モデル



K_h : 人間の手のバネ定数, K_T : 対象物のバネ定数
Figure 2. Block diagram of Master Slave system

入力は、手の入力角 θ_h であり、手のバネ定数を介してマスタアームにトルクを加える。マスタアームに加わるトルクと角度にスレーブアームが追従している。また、スレーブアームに加わるトルク T_{sla} [N・m]をフィードバック(ここでは線形バネを設定した)、マスタアームに力情報を伝達している。

4. シミュレーション

マスタとスレーブで力と位置を合わせる制御則式(1),(2)を用いてシミュレーションを行った。振幅 1[rad]周波数 2π [rad/s]の入力に対するマスタアームの角度 θ_{mas} [rad], スレーブアームの角度 θ_{sla} [rad]の出力結果を Fig.3 に示す。またマスタアームに加わるトルク T_{mas} [N・m]とスレーブアームに加わるトルク T_{sla} [N・m]の出力結果を Fig.4 に示す。

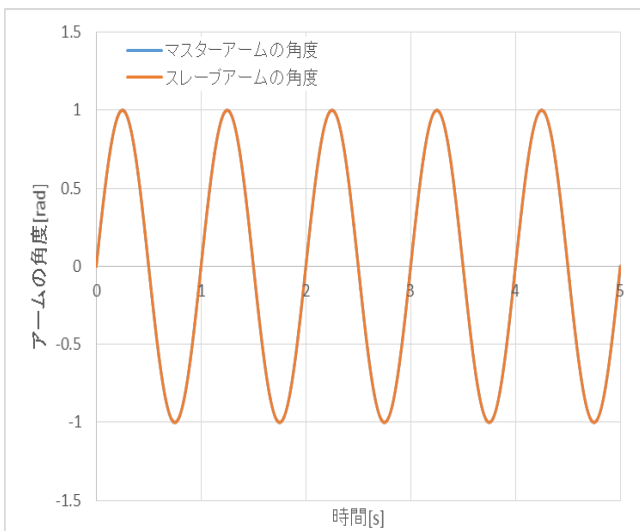


Figure 3. The Comparison of angle

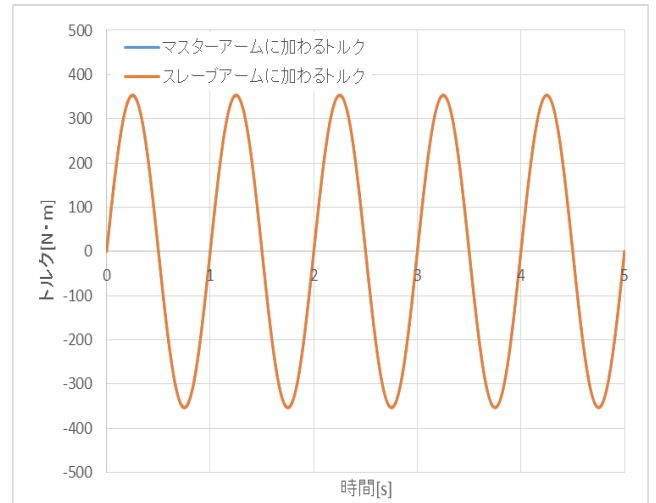


Figure 4. The Comparison of Torque

シミュレーション結果(Fig.3・Fig.4)より、マスタアームの角度 θ_{mas} [rad]とスレーブアームの角度 θ_{sla} [rad]が一致し、またマスタアームに加わるトルク T_{mas} [N・m]とスレーブに加わるトルク T_{sla} [N・m]も一致することが分かる。従って、式(1), (2)の制御則によって、スレーブアームの角度と力をマスタアームの角度と力に誤差なく追従させることが出来ることが分かった。

5. おわりに

マスタ・スレーブシステムを実現する制御則を構成し、シミュレーションを行った。その結果、マスタとスレーブの位置と力の追従が実現できることを確認した。今後この結果を基にして、試作した装置で実際にマスタ・スレーブシステムを構成し、性能の評価を行う予定である。

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論文, 平成 27 年。
 [2] 斉藤広昭 : 「マスタ・スレーブシステムに於ける衝突に関する研究」, 日本大学大学院理工学研究科精密機械工学専攻修士論文, 平成 7 年。