

モータによるエネルギー回生を用いた遠隔操作システムの提案

学※東 佑樹(高知工大)
正◎井上喜雄(高知工大)

学 山岡寛生(高知工大院)
正◎芝田京子(高知工大)

1. 研究目的

現在のマスタースレイブは変位センサ、力センサ、動力源を数多く使用している。しかし、そのため鈍重、高価等の問題がある。この問題解決に本研究では2つのモータによるエネルギー回生を用いた遠隔操作システムを提案する。モータの持つアクチュエータと発電機の両特性を生かし、必要最低限の動力源で使用でき、また、多くのセンサを必要としないシステムを考える。しかし、2つのモータだけでは電気抵抗等によるエネルギー損失の影響でマスターとスレイブの動きを同等に出来ない。そこでマスターモータとスレイブモータの動きを同等にする装置を設計し実験によって効果を確認する。

2. 理論

遠隔操作モデルを図1に示す。

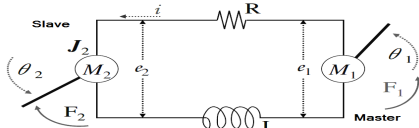


Fig1. Model of remote control system

M: Motor θ : Rotation angle
J: Moment of inertia i: Current
e: Voltage F1: Input torque
R: Resistance F2: Reaction force
L: Inductance

マスター、スレイブの運動方程式はそれぞれ

$$J_1 \ddot{\theta}_1 = -T + F_1 = -Ai + F_1 \quad (1)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 = -T + F_2 = -Ai + F_2 \quad (2)$$

電気回路の微分方程式は

$$L \dot{i} + Ri = e_1 - e_2 \quad (3)$$

となる。それぞれのモータの誘導電圧は以下になる。

$$e_1 = A \dot{\theta}_1 \quad (4)$$

$$e_2 = A \dot{\theta}_2 \quad (5)$$

(T: モータトルク A: トルク係数)

十分おそい現象でLの影響を無視すると(3)~(5)より、

$$Ri = e_1 - e_2 = A_1 \dot{\theta}_1 - A_2 \dot{\theta}_2 \quad (6)$$

$$i = A(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) / R \quad (7)$$

(7)式を(1), (2)式に代入し、 $C_0 = A^2 / R$ とすると以下を得る。

$$J_1 \ddot{\theta}_1 = -(A^2 / R)(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + F_1 = -C_0(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + F_1 \quad (8)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 = (A^2 / R)(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) - F_2 = -C_0(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) - F_2 \quad (7)$$

電流が消去されたので、これらの式の変数は、機械系の変数 θ だけで表現されており、 C_0 を等価な減衰定数と考えれば、

図2のような機械系のみのも系と等価である。

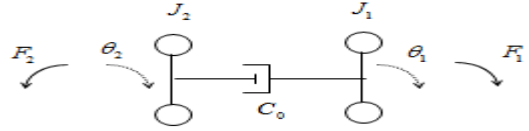


Fig2. Mechanical system model

ここで、2つの慣性力が十分小さい場合であれば、近似的に $F_1 = F_2$ となり、スレイブの反力とマスターで加える力が等しくなる。すなわち、マスターでスレイブの反力を直接感じることができる。動作性能は、反力が小さければスレイブはマスターと変わらない速度で動くが、反力が大きくなれば速度差が生じる。この速度差は、電気回路内の抵抗でのエネルギー損失に起因する。

3. 実験装置

図3に簡略図を示す。マスターモータとスレイブモータの回転速度を同等にするため、2つのモータ(M2, M3)の速度をロータリエンコーダで計測し、電気系抵抗により消散したエネルギーを速度差から算出、図3のスイッチングをマイコンとPhotoMOSリレーで行い、追加電源側との接続、非接続時間を調節することで必要なだけのエネルギーを補充する。今回の実験ではマスターとスレイブの速度差が計測し易いように、マスターモータに同型のモータをカップリングして繋げた。

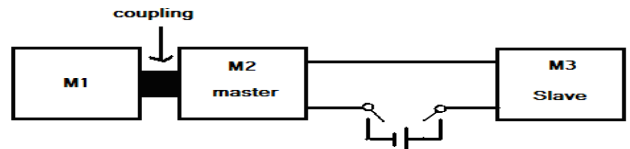


Fig3. Experimental apparatus

4. 実験結果および考察

M1に3~12Vの電圧を印加し、マスターの回転周期を変化させ、制御した場合としない場合のそれぞれのスレイブの回転周期を計測した(図4)。理想的にはマスターとスレイブの回転周期は一致する。

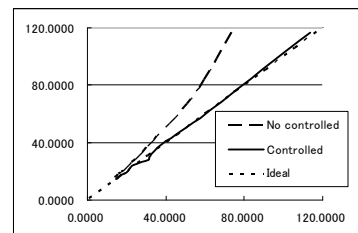


Fig4. Rotational period

図4の通り、制御なしの場合は理想との誤差が大きいが、制御を用いた場合は理想に非常に近い値となっている。

よって、マスターとスレイブの動きを同等にする制御の見通しを得た。