

## エネルギー回生型マスタースレーブシステムの力覚に関する検討

知能メカトロダイナミクス研究室 廣田将人

### 1. はじめに

著者の研究室では、DC モータを用いたエネルギー回生型マスタースレーブシステムを提案している<sup>(1)</sup>。このシステムは、外部電力を用いることなく操作することが可能であり、力センサや電流センサを用いることなくスレーブ側（作業部）で感じた反力をマスター側（操作部）に伝えることができ、本研究室において手術ロボットや電動義手など様々な用途への応用を考えている。しかしながら、課題として、機械的損失などによりマスターとスレーブの力覚が同等とならない。

そこで本研究では、力覚の伝達を検討するため、回生型マスタースレーブシステムのトルクをひずみゲージで測定し、理論計算値と比較する。

### 2. 実験方法

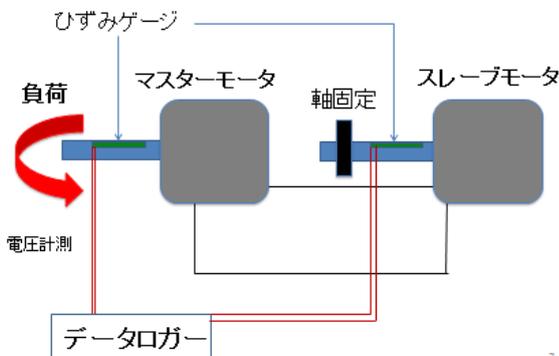


図1 実験装置簡略図

エネルギー回生型マスタースレーブシステムは2つの DC モータを電氣的に接続し、一方をマスター、もう一方をスレーブとする。今回の実験ではマスターとスレーブのモータトルクを測定するためにひずみゲージを使用する。トルクセンサではなくひずみゲージを用いることで、今後複雑な機構のシステムでのトルク測定であっても機構を変更へ済み適用できると考えられる。実験の概要を図1に示す。荷重を加える点とモータの間にひずみゲージを貼り付け、スレーブ側は軸を固定する。マスターに荷重を加えたとき、発電機として働いたマスターがスレーブにエネルギーを伝えるのだが、アクチュエータとして働くはずのスレーブは軸を固定されているので、モータは回転せず、そのまま同じ力の電気エネルギーがマスター側に伝わり、反力が発生する。今回は、マスターに加えたトルクがスレーブ側にどの程度伝達されるか確認するために、マスターとスレーブ両方のトルクを測定した。なお、今回使用したモータの減速比はマスターが 231:1、スレーブが 29:1、ギア効率もマスターが 49、スレーブが 59 であった。

### 3. ひずみゲージを用いた測定実験

マスターに決められた荷重をかけた結果を図2に示す。今回は 50~300g のおもりを 50g 刻みで利用し、それぞれ3回測定を行った。また、測定値より算出したトルク伝達率、およびギア特性より算出した伝達率を表1に示す。

ひずみゲージを使用したとき、ひずみ  $\varepsilon$  と出力電圧  $e_v$  の関係は、ひずみゲージのゲージ率  $K_s$  と、印加電圧  $E_v$  によ

って

$$\varepsilon = \frac{e_v}{E_v K_s} \quad (1)$$

と表される。また、フックの法則より応力  $\sigma$  とひずみ  $\varepsilon$  の関係は弾性係数  $E$  を用いて、

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

となる。この応力からトルク  $T$  は極断面係数  $Z_p$  を用いて

$$T = \sigma Z_p = E \frac{e_v}{E_v K_s} Z_p \quad (3)$$

で求められる。

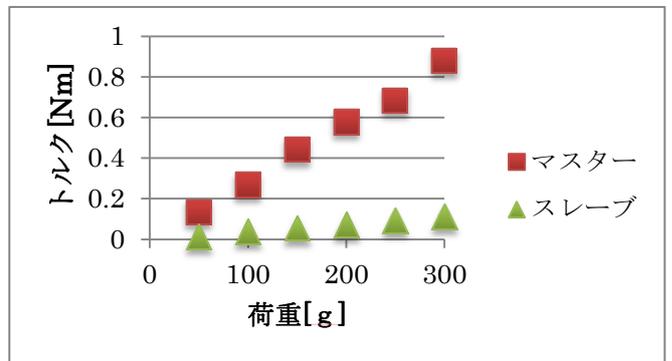


図2 マスターに規定荷重を加えた際のトルクの数値

表1 トルク伝達率

荷重[g]	50	100	150	200	250	300	理論伝達率
伝達率[%]	9.213	13.54	12.28	12.43	13.38	12.80	15.11

マスター、スレーブ共に、荷重が上がるとともに比例してトルクも上がっていくことがわかる。また、表1より、今回測定された伝達率は低いことがわかる。モータの伝達率はギアの減速比や効率によって求められるため、231:1 という減速比の大きいモータを使用したためと考えられる。また、全体的に理論的に求めた伝達率より低いのは、ギアの摩擦などの別の機械的損失があったためと考えられる。また、荷重が 50g の際に伝達率が他の場合に比べて低くなっていることがわかる。これは、制御のゲイン値が大きく設定されていたためブレが生じ、大きく影響を受けたと考えられる。

### 4. おわりに

エネルギー回生型マスタースレーブシステムの力覚に関する検討として、今回はひずみゲージでの測定を行い、伝達率を検討した。取り付けの手間のないこのシステムを応用することで、機構を崩さずリアルタイムでの測定が可能になり、制御方法の改善や、マスタースレーブシステムのシミュレーションを効率よく行うことができると考える。

### 文献

- (1) 伊賀上 他, エネルギー回生を用いたマスタースレーブの研究, 日本機械学会中国四国支部第 50 期総会・講演会講演論文集, No.125-1(2012), K-612