

力感覚を再現するロボットアームとコントローラの製作

～消費電流計測によるトルク検出～

Product of Force Replicating Robot Arm and Controller - Torque Sensing by Electric Current -

○望月 彰憲*, 坂野 進*

○Akinori Mochizuki*, Sakano Susumu*

*日本大学大学院

*Graduate School, Nihon University

キーワード：マスタスレーブ, バイラテラル制御, DC モータ, 力検出

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地
日本大学 工学部 機械工学科 メカトロニクス研究室 望月 彰憲
E-MAIL: g21318@cc.ce.nihon-u.ac.jp

1. 序論

ロボットの操作方法のひとつにマスタスレーブ方式があり、マスタ側を操作者が操作することによりスレーブ側のロボットアームが位置を追従動作するという操作方法である。このようなロボットアームの操作では、情報の流れが人間側からロボットへの一方向のみであり、ロボットアームの手ごたえを操作者が知ることはできない。しかし高度な作業を行う場合、操作者への感覚フィードバックは必要と考えられ研究されている。このように操作側のマスタとロボットアームのスレーブ間にて力情報の双方向共有を行うものがバラテラル方式の制御と言い、操作者がロボットアームと力感覚を共有することができる。

しかし、バイラテラル方式のマスタスレーブロボットハンドは感覚フィードバックを行わない場合と比較して、力を操作者へフィードバックするアクチュエータや力を検出するセンサが追加されるため、複雑な構造となってしまう。このような問題があるため

感覚フィードバック式の操作方法は積極的に使用されないのが現状である。

本研究では、人間がロボットアームをコントロールし、より繊細な作業をさせるために感覚の共有を行うバイラテラル方式ロボットアームを、力センサを使用せずに実現することを目的とする。DCモータにはトルク負荷と消費電力がほぼ比例関係となる特長がある。これを利用し力を検出しバイラテラルロボットアームを構築する。

2. 原理

2.1 バイラテラル制御法

力感覚をロボットアームのスレーブ側とコントローラのマスタ側で共有するためにはバイラテラル制御系を用いて、マスタ、スレーブの双方の位置状態と力感覚を同一にする。今回はバイラテラル制御系の中でも図 1 のような力逆送型バイラテラル制御系を

用いた。図中のマスタ側の入力される力情報が f_m 、再現される位置情報が x_m 、スレーブ側が感知する力情報が f_s 、再現される位置情報が x_s である。

2.2 モータ負荷測定回路

モータは、負荷が増えると消費電流が増加する性質をもつ。この電流の変化を電圧に変換し計測を行うことでモータへの負荷を測定する。

モータアンプと微小抵抗 $R(\Omega)$ を直列に接続したとき、微小抵抗の降下電圧 $E_R(V)$ は、オームの法則により、以下のように求められる。

$$T = K_\phi I \quad \dots (1)$$

$$E_R = I R_M \quad \dots (2)$$

ここで $T(N\cdot m)$ はモータトルク、 K_ϕ はモータによる定数、電源電圧を $V_{cc}(V)$ 、モータ及び駆動回路(モータアンプ)の電圧降下を $E_M(V)$ 、消費電流を $I_M(A)$ とした。

これにより、微小抵抗の降下電圧 $E_R(V)$ を測定し、モータの消費電流を測定することができる。

2.3 モータ制御方法

モータを制御する場合、制御量をAD変換しアンプにより増幅する。PWM(パルス幅変調)制御とは、図2のような波形のON時間とOFF時間の割合を増減させることにより、モータなどに流れこむ電力量を増減させる制御である。ON時間が増加すれば、電力量が多くなり速度やトルクが増加する。また、デューティ比 d とは、1周期におけるON時間の割合である。1周期すべてON時間のときは $d=1$ であり、ON時間が0のときは $d=0$ である。

また予備実験にてPWM信号によりモータを制御した場合、モータの消費電流がどのように変化するか計測した結果が図3である。PWM信号の立ち上がり時、消費電流にリップルが乗っている。このリップルは起電力によるものと考えられるので、電流の測定はPWM信号のON時間の半分の地点で行う。

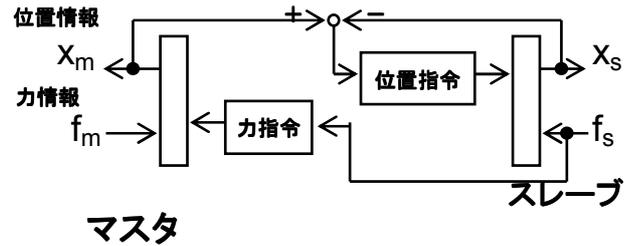


図1 力逆送型バイラテラル制御系

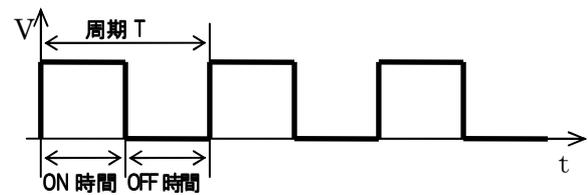


図2 PWM制御

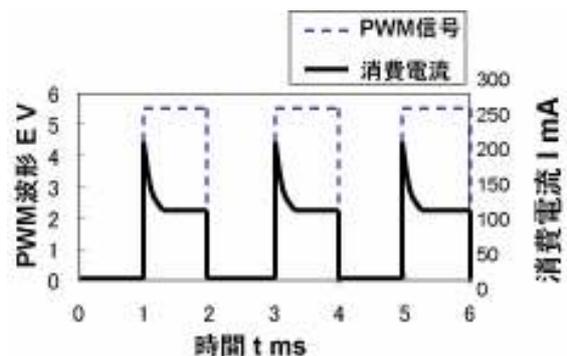


図3 電流計測法

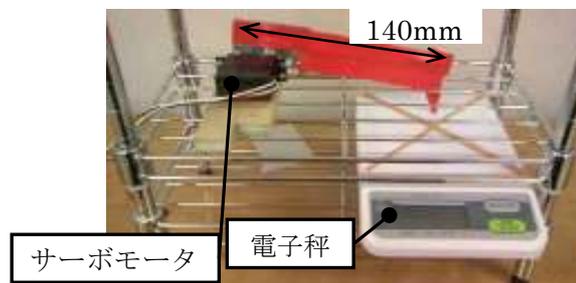


図4 モータ負荷測定実験

3. 実験器具

モータ制御には PSoC マイコン CY8C29466 を使用した。また、RC 用サーボモータ GWS S03T/2BBMG(4.8V 時 7.4kg・cm)の制御回路を取り除き、モータ、ギア、ポテンションメータとして利用した。ポテンションメータの値をマイコンにより A/D 変換し、東芝 TA7291P モータアンプによりモータを駆動し、マイコンにて予備実験し調節した PID 位置制御を行い、サーボモータとした。

モータアンプとモータは精密微小抵抗 1Ω ($\pm 0.1\%$)を直列に接続し、微小抵抗の降下電圧によりモータにかかる負荷トルクを測定した。

トルクの測定には、電子秤とサーボモータの出力軸からアームを使用し、トルクを計測した。

4. 実験方法

4.1 力測定, 力再現実験

力測定実験では、サーボモータに負荷トルクを与えたときの消費電流量を微小抵抗により計測した。負荷トルクは、サーボモータ出力軸にアームを取り付け 200gの重りを任意の場所に取り付けることにより、負荷トルクを発生させた。このときのモータの消費電流を微小抵抗により電圧降下へ変換し、AD 変換した結果を測定した。

今回製作を目指すロボットアームでは、デューティ比を可変することにより任意のトルクを発生させる。このため、力再現実験ではデューティ比と発生トルクの関係性を調べる。図 4 のように、サーボモータの軸から 140mm の距離に中心を置いた電子秤で測定した。このときの電子秤に表示される重さと、軸からの距離から発生したトルクを算出し、デューティ比との関係性を測定する。

4.2 バイラテラルロボットアーム

再現度実験

実験4.1より、任意のトルクを発生させるためのデューティ比と、微小抵抗の降下電圧より負荷トルクを求められることがわかった。このため、サーボモータを二組用意し双方を通信させ、スレーブ側に負荷を発生させたとき、マスタ側に発生するトルクを測定する実験を行った。トルクは力測定、力再現実験と同様にスレーブ側サーボモータの出力軸に取り付けられたアームに重りを取り付け任意のトルクを発生させた。このときマスタ側サーボモータの出力軸にアームをとりつけ、電子秤により重さを測定し再現トルクとして測定した。

また、スレーブ側サーボモータに 90 度の目標角度を与え、200mN・m のトルクを発生させたときの消費電流の変化を調べた。

5. 実験結果

5.1 力測定, 力再現実験

力測定実験の測定結果から得られた実験式と測定結果を図 5 に示す。この結果より、微小抵抗の電圧降下を測定することによりサーボモータの出力軸にかけられている負荷を測定できると考えられる。

また、力再現実験の測定結果から得られた実験式と測定結果を図 6 に示す。この結果より、任意のトルクを発生させるときに必要なデューティ比を求めることができると考えられる。

5.2 バイラテラルロボットアーム

再現度実験

バイラテラルロボットアームの結果と理想値を図 7 に示す。この実験では、マスタ側で測定されたトルクと、スレーブ側で再現されたトルクが1:1の関係になることが望ましいので理想値として示す。

また、スレーブ側サーボモータアームに $200\text{mN}\cdot\text{m}$ の負荷をかけて動作させた際の電流消費量とサーボモータの動作を測定したものを図 8 に示す。

6. 考察

図 5 により導かれた実験式により、微小抵抗の電圧降下から負荷トルクを求めることが可能だと考えられる。

また図 6 も同様に、任意のトルクを発生させるためのデューティ比を求めることができると考えられる。

図 7 では、理想値と比べ誤差が発生してしまった。最大誤差は 18%であった。これは測定側と再現側の両方で誤差が発生してしまったためと考えられる。

図 8 ではアームの動作中の消費電流量を観察すると、 $0\sim 0.1\text{s}$ の動作開始時に大きく消費電流量が増加している。これは、起電力による消費電流の増加とギアなどの機械要素の静止摩擦力がなど原因と考えられる。また、 $0.4\sim 0.6\text{s}$ の間では消費電流の増加が見られる。これは、目標位置付近で位置決め動作により正転と逆転を繰り返した結果、反転時の逆起電力やギアやアームなどの摩擦によるものではないかと予想した。このような電流上昇はトルク負荷と誤検知され、ロボットアームの動的な操作での感覚に影響を与えてしまうと考えられる。

7. 結論

DCモータの電流を測定することにより力検出を行うバイラテラルロボットアームを製作した。しかし力の負荷の測定と力の再現に誤差が出てしまった。これは機械的、電気的要素によって起こる誤差である。今後は、このような誤差を補正することができれば、電流検出によるバイラテラルロボットアームの製作は可能だと考えられる。

8. 参考文献

- (1) 戸羽 篤也, 桑野 晃希, バイラテラル方式による力覚制御技術, 北海道立工業試験場報告 No.297

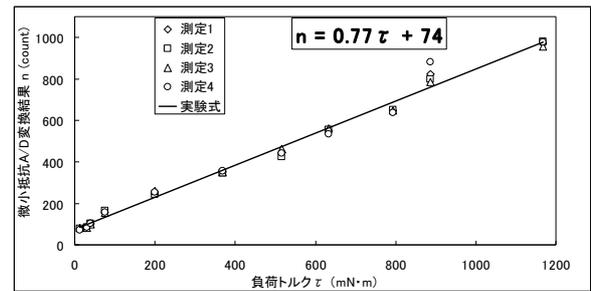


図 5 力測定実験結果

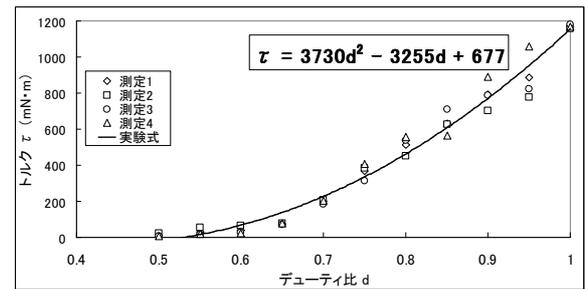


図 6 力再現実験結果

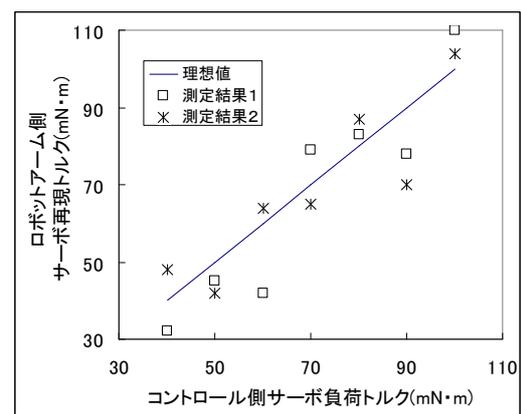


図 7 力再現, 測定実験結果

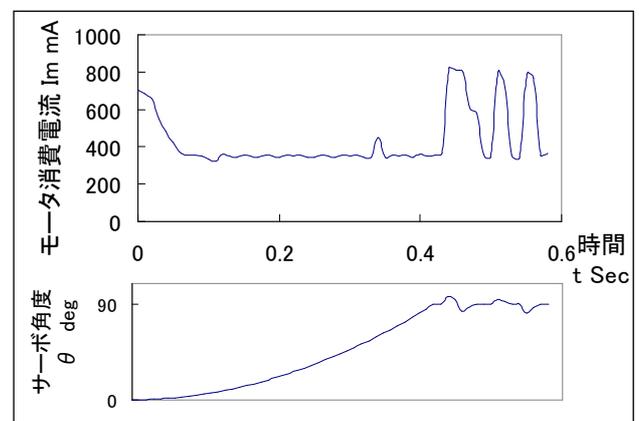


図 8 動作時の消費電流の変化