

2022年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	岐阜大学 工学部 機械工学科 知能機械コース
職位または役職	助教
氏名	八田 禎之

1. 研究題目

二慣性系におけるフルクローズド制御のための駆動側位置センサレス制御

2. 研究目的

本研究は、磁気ねじ構造に基づいた二自由度モータ(以下、磁気ねじ型二自由度モータという)における可動部品の位置を検出するエンコーダの台数を削減することを目的とする。特に、磁気ねじ型二自由度モータにおけるエンコーダ削減の基礎的な検討として、一般的な二慣性系において駆動側位置エンコーダを使用せず、負荷側位置エンコーダのみでフルクローズド制御を実現することを目的とする。

2021年度永守財団助成の研究では、磁気ねじ型二自由度モータにおける位置・力ハイブリッド制御の開発を行った。磁気ねじ型二自由度モータは一台で回転モータとリニアモータの動作を実現可能なモータであり、数学的座標変換を利用することにより、回転動作と直動動作を独立な二慣性系で表現することが可能である。この特性を利用して、回転方向の角度と直動方向の推力をそれぞれ独立に制御可能な位置・力ハイブリッド制御を提案した。しかしながら、本制御を行うためには、右ねじ回転子部の回転角度、左ねじ回転子部の回転角度、可動子部の回転角度及び可動子部の直動位置をそれぞれ検出する必要があり、合計4個のエンコーダが必要となる。そこで、制御上二慣性系で構成される磁気ねじ型二自由度モータにおいて最終的な出力部であり、二慣性系の負荷側に相当する可動子部のエンコーダを残す一方、駆動側に相当する両回転子部のエンコーダ削減について基礎検討を行う。

3. 研究内容及び成果

本研究では、駆動側と負荷側から構成される二慣性系モデルを電気回路含めて非線形状態方程式により導出した。その非線形状態方程式、非線形カルマンフィルタの一種である拡張カルマンフィルタ及び負荷側エンコーダを組み合わせ、図 1 に示すブロック図に基づいた駆動側位置推定法を提案した。

拡張カルマンフィルタを適用するためには、非線形状態方程式に基づいてノイズの共分散行列を適切に定義する必要がある。一般的には変動しない共分散行列が適用されるが、導出した非線形状態方程式では状態変数に応じて共分散行列が変動する。そこで、本提案手法では、その変動する共分散行列を数学的に導出し、その共分散行列を適用することによって駆動側角度、dq 軸電流及び外乱を推定可能とした。

また、上記推定値を用いて駆動側フィードバック制御と負荷側フィードバック制御から構成されるフルクロード制御によって二慣性系のモータを制御可能であることを示すため、シミュレーションを行った。図 2 及び 3 はシミュレーション結果を示す。駆動側のモータ角度が推定されていることがわかる。また、外乱トルクについても、推定値は振動的ではあるが実外乱に追従して推定されていることがわかる。これらの研究成果を国際会議 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2022)において発表した。

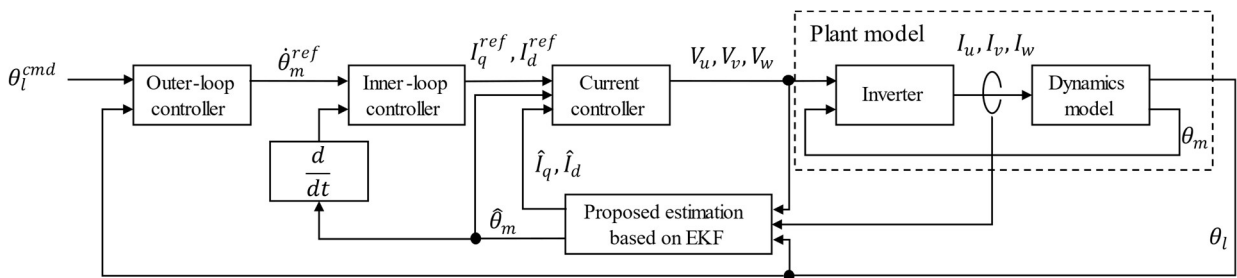


Fig. 1. Block diagram of full-closed loop control with the motor-side angle estimation.

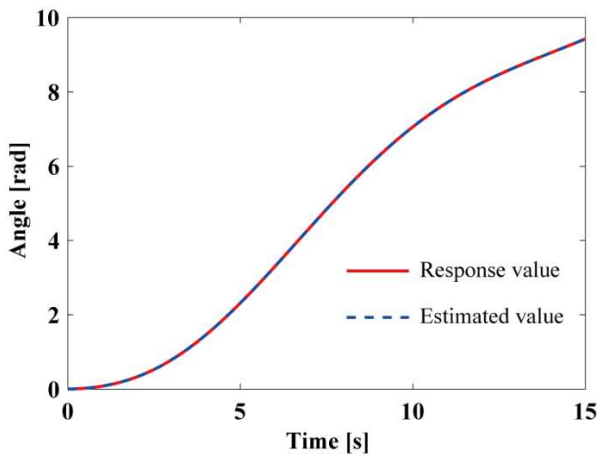


Fig. 2. Estimation result of motor-side angle.

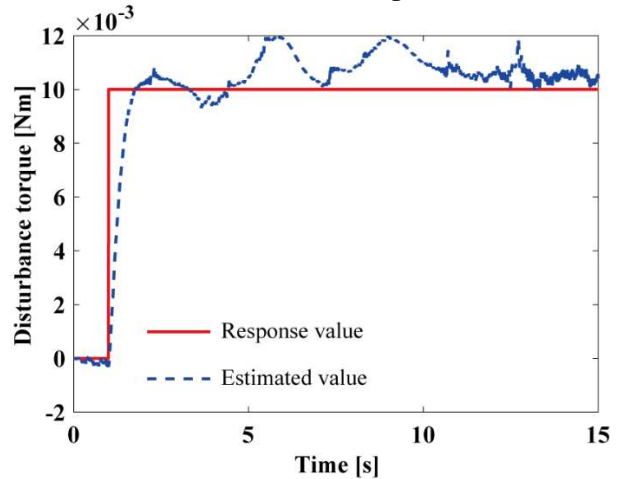


Fig. 3. Estimation result of disturbance torque.

上記提案手法の検証を行うために、実験機の設計を行った。実験機の構造を図 4 に示す。本実験機は、二台の三相 AC モータから構成され、その回転軸がカップリングによって接続されている。一方のモータが Motor side を構成し、他方のモータが Load side を構成する。そして、本構造に基づいて設計を行い、その設計図に基づいて製作した実験機を図 5 に示す。現在、本研究内容のジャーナル投稿を目指し、実験機によるデータ収集及びまとめを進めている。

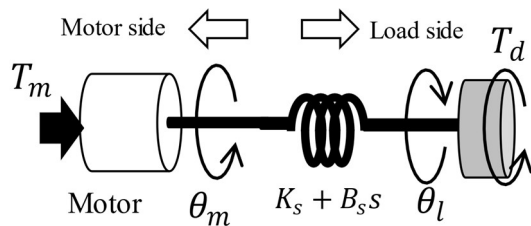


Fig. 4 Structure of the experimental system.

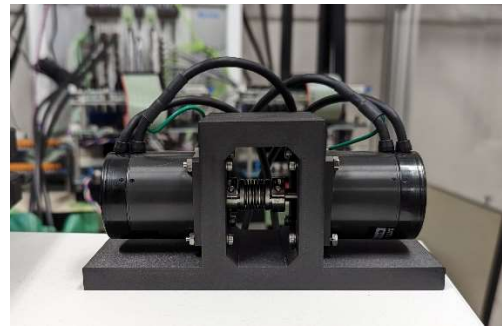


Fig. 5 The experimental system.

4. 今後の研究の見通し

上述したように、本研究のジャーナル論文の投稿を行う予定である。また、今年度の研究成果である「二慣性系におけるフルクロード制御のための駆動側位置センサレス制御」を図 6 に示す磁気ねじ型二自由度モータに拡張し、磁気ねじ型二自由度モータにおける駆動側位置センサレス制御を検証する。その上で、助成前年度の研究において進めた「二慣性系における駆動側位置センサレス制御」と統合し、「磁気ねじ型二自由度モータにおけるセンサレス位置・力ハイブリッド制御」の確立を目指す。

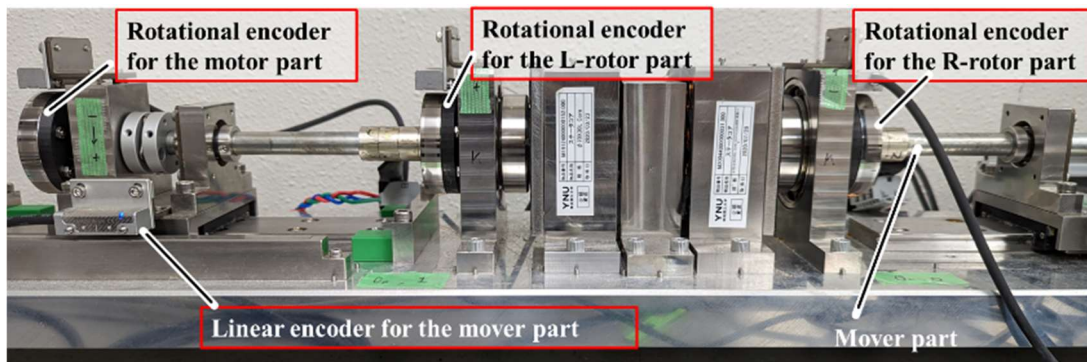


Fig. 6 Magnetic screw 2-DOF motor.

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

1. Y. Hatta and K. Ito, "Motor-Side Angle Estimation based on Extended Kalman Filter for Two-Mass System with Load-Side Encoder," IECON 2022-48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 1-6, Oct. 2022 (査読あり).
2. Y. Hatta and K. Ito, "Design of Hybrid Angle/Force Control for Two-Degree-of-Freedom Magnetic Screw Motor Based on Modal Information," Proceedings of the IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, SAMCON2023, pp. 160-165, Mar. 2023 (査読あり).