

利用者名：工学部 機械工学科 教授 余 錦華



Title:	A Koopman-Based Equivalent-Input-Disturbance Tremor-Suppressing Strategy
論文名 (和訳)	クープマン理論に基づく等価入力外乱を用いた振戦抑制手法
Authors:	謝明遠 (華中科技大学 研究員), 余錦華 (東京工科大 教授), 劉振濤 (中国地質大学 教授), 黄剣 (華中科技大学 教授), 佐藤大樹 (東京科学大学 准教授), 川田誠一 (中国地質大学 教授)
Journal:	IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica
掲載年月	2026 年 5 月

研究概要：本論文では、振戦抑制性能を向上させるための、クープマン (Koopman) 理論に基づく新しい等価入力外乱 (EID) 手法を提案する。従来の EID 手法で用いられる一次線形モデルでは手首用外骨格システムを正確に記述できないため、高精度な線形モデルを構築するクープマン・モデリングの枠組みを提案する。さらに、振戦抑制性能を向上させるために、EID 推定器に新たなゲインパラメータを導入する。シミュレーション結果により、提案手法の優位性が示される。

研究背景：加齢により振戦が目立つ病気や状態は増えやすくなる。本態性振戦やパーキンソン病に伴う振戦は高齢者に多く見られ、字を書く、食事をする、コップを持つなど日常生活に影響を与えている。現在、薬物による治療と脳深部刺激療法などの手術治療法があるが、完治するのは難しい。どうやって患者に普段に近い日常生活を続けるか、大きな社会問題となっている。

研究成果：本研究では、先に設計した手首用外骨格システムに、著者らの提案した等価入力外乱手法にクープマン理論を導入して拡張し、アクティブに振戦を抑制する手法 (図 1) を開発し、医学的な治療ではなく、工学的な解決手法を提案した。また、その有効性をシミュレーションにより検証した (図 2)。

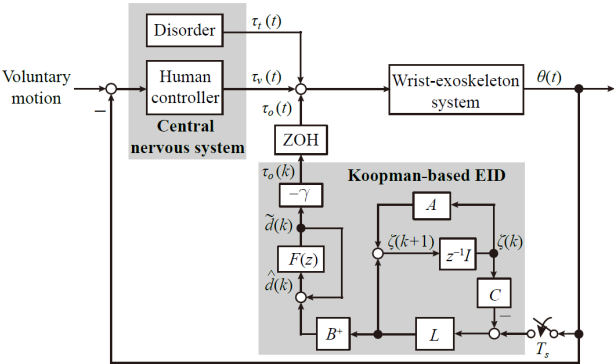


図 1 提案した制御系構造

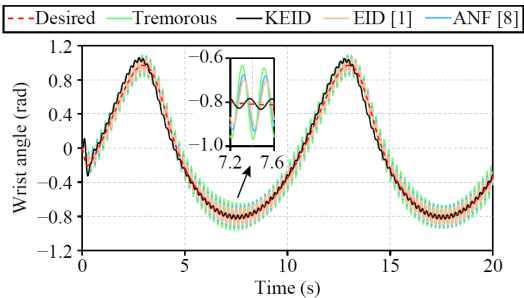


図 2 シミュレーション結果

社会への影響：現在、日本で手の振戦の総患者数はわからないが、ただし、主な原因である本態性振戦だけでも、人口の約 2.5%から 4%であり、65 歳以上では 5%超から 14%程度という報告がある。そのような患者に普段に近い日常生活を送らせるために、本研究は、工学的な立場から手首用外骨格システム制御系を提案し、この投薬や手術が不要でかつ低リスクの工学的手法は、この問題解決の一手法として、大きな可能性を秘めている。

専門用語：

手の振戦：不随意に起こる規則的な手の震えであり、安静時に出る型と動作や姿勢で出る型がある。特に、動かしている時に目立つふるえは本態性振戦でみられ、じっとしている時のふるえはパーキンソン病でみられることがある。

クープマン理論：状態に関して非線形なシステムは、状態から観測量を構築し、その観測量に作用するクープマン作用素は線形として扱え、システムを線形に見る考え方である。