



**Title:** Disturbance Rejection and Noise Suppression for Control System Using Cascade Equivalent-Input-Disturbance Approach

(カスケード等価入力外乱手法を用いた制御系における外乱除去とノイズ抑制)

**Authors:** Youwu Du, Weihua Cao, and Jinhua She

(杜友武（江蘇理工学院），曹衛華（中国地質大学），余錦華（東京工科大 工学部 教授）)

**Journal:** IEEE Transactions on Industrial Electronics DOI: 10.1109/TIE.2025.3536616 (2025) 1-12

**掲載年月:** 2025年9月

**研究概要:** 本論文では、スチュワート・プラットフォームの外乱除去性能を向上させるスイッチング等価入力外乱 (SEID) 手法を提案する。スイッチング機能により、外乱推定誤差は外乱の上限値に依存しない予め定義された領域に収束する。スチュワート・プラットフォームの満足な外乱除去性能は外乱の上限を知らなくても規定できるという大きな特徴を持っている。

**研究背景:** スチュワート・プラットフォームの運動学は、その非線形ダイナミクスと多入力多出力特性により本質的に複雑です。また、スチュワート・プラットフォームは各種外乱の影響を受けるが、外乱は予測と測定が不可能である。どうのうにして外乱補償を行うか重要な課題となる。このような問題に対処するために、各種能動的外乱除去手法が提案されている。これらの手法は、制御系に制御自由度を一つ追加して、追従性能と外乱除去性能の独立した設計を可能にする。しかし、これらの手法は、外乱が微分可能であるという仮定が必要であり、ステップ外乱という実システムによく生じるものは対処できないという大きな問題点がある。

**研究成果:** 本研究は、スチュワート・プラットフォームの外乱除去性能を向上させるスイッチング等価入力外乱 (SEID) 手法を提案する。スイッチング関数は、EID 推定誤差を外乱の上限値に依存しない予め定義された領域に収束させることができるという大きな特徴を持つ。従来の等価入力外乱の推定誤差を解析し、それをもとに SEID を用いた制御系の構成を考案し、制御系の安定条件を導出し、制御系設計アルゴリズムを提案した。スチュワート・プラットフォーム実験により、SEID アプローチの有効性を検証した。

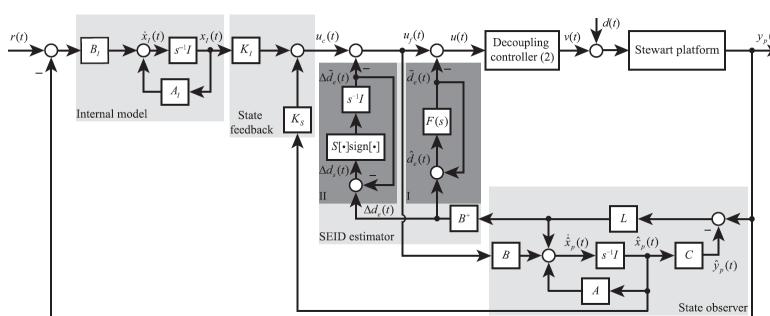


図 1 スイッチング等価入力外乱手法に基づく制御系

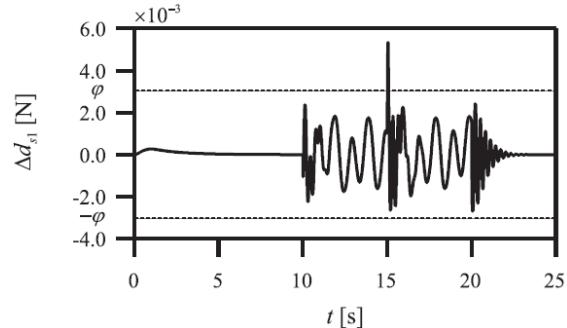


図 2 外乱補償誤差（実験）

**社会への影響:** スチュワート・プラットフォームは、6自由度を持つパラレルメカニズムとなっており、従来の直列型マニピュレータに比べ、剛性が高く、位置決め精度に優れ、耐荷重性に優れているなどの利点がある。一方、その外乱抑制は難しく、所定の外乱除去性能達成は大きな課題となっている。本研究で提案される手法は、外乱推定誤差が予め定義された領域に収束できるという、従来の手法では考えられない優れた制御性能が達成できるため、広範囲のスチュワート・プラットフォームの応用に大きく寄与する。

#### 専門用語：

**スチュワート・プラットフォーム (Stewart platform) :** このシステムは 6 つのアクチュエータで 1 つの平面（天板）を支え、その天板の位置と傾きを制御するロボットである。

**バリア関数 :** 制約付き最適化問題におけるバリア関数とは、ある点が実行可能領域の境界に近付くにつれて、その点での値が無限大へと近付くような連続関数のことである。制約違反に対する罰則項として用いられる。