

数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用
2019 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書

薄 良彦

大阪府立大学 大学院工学研究科
准教授

データ駆動型クーブマン作用素による非線形力学系の解析と設計

§ 1. 研究成果の概要

2021年度は、2019、2020年度に引き続く、データ駆動型クープマン作用素による非線形力学系の解析と設計に関する研究として、理論、数値計算、ならびに実応用(空調システム)について検討を進めた。1点目の理論では、状態フィードバック形式の入力を有する非線形の制御システムや、電力供給系などのネットワーク化システムの数理モデルである、非線形微分代数方程式に対してクープマン作用素の理論を整備した。具体的には、関数空間と作用素の定義からスペクトルの特徴付け、そしてクープマンモード分解の導出である。そして、整備した理論の応用として、非線形微分代数方程式で表される非線形系の寄与率(mode-in-state participation factor)を定式化し、定式化の有用性を電力ネットワークへの適用により示した。2点目の数値計算では、クープマンモード分解をロバストに実行するアルゴリズムを検討するために、フーリエ変換とプロニ法を組み合わせた信号処理技法(Frequency-domain Prony method)に着目し、クープマンモード分解のアルゴリズムとしての定式化を行い、定式化の有効性を数値的に示した。3点目の空調システムでは、クープマンモードの制振(damping assignment)というアイデアを部屋内温度場の振動抑制に適用し、アイデアの有効性を数理構造であるクープマン固有関数のレベルセットの観点で評価し、制御の有効性を示した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) **Y. Susuki**, “On Koopman operator framework for semi-explicit differential-algebraic equations,” *Preprints of Third IFAC Conference on Modeling, Identification and Control of Nonlinear Systems* (IFAC MICNON2021), pp.361–365, September 2021 (査読付国際会議録). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.377>
- 2) 衛藤 滉平, **薄 良彦**, 平松 尚人, 石亀 篤司, “クープマン作用素の固有関数を用いた部屋内温度場のデータ駆動型振動抑制に関する一検討,” 自動制御連合講演会 講演論文集, pp.296–301, November 2021. https://doi.org/10.11511/jacc.64.0_296
- 3) K. Takamichi, **Y. Susuki**, M. Netto, and A. Ishigame, “A mode-in-state contribution factor based on Koopman operator and its application to power system analysis,” *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol.13, no.2, pp.409–414, April 2022 (査読付学術誌). <https://doi.org/10.1587/nolta.13.409>
- 4) **Y. Susuki**, “A study on Koopman mode decomposition via frequency-domain Prony method,” 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会 講演論文集, June 2022 (発表予定).
- 5) **Y. Susuki**, K. Eto, N. Hiramatsu, and A. Ishigame, “Control of oscillatory temperature field in a building via damping assignment to nonlinear Koopman mode,” *Proceedings of 2022 6th IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA2022)*, August 2022 (査読付国際会議録) (発表予定).