

1. 研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

本プロジェクトは研究開発項目「大規模自由度場のアクチュエータ位置最適化」を実施する。具体的にはまず、アクチュエータ位置最適化問題と双対な関係を持つセンサ位置最適化問題のアルゴリズムの整理および評価を行う。次に「センサ位置最適化の技術」を拡張する形で構築した線形な「アクチュエータ位置最適化」問題の数理構造を利用し、ベンチマーク問題化した非線形な数値問題を例題として、非線形問題におけるアクチュエータ位置最適化のアルゴリズムを開発する。このために、非線形問題でのアクチュエータ位置最適化を行うための目的関数の数理構造を理解しながら進める。さらに、提案手法を流体問題・気象問題に対して適用し、提案手法の性能を評価する。

(2) 研究開発プロジェクトの実施概要

大規模線形アクチュエータ位置最適化アルゴリズムを、目的関数を更新しながら、整理・開発・評価してきた。また、非線形な流体・気象問題を構築し、より実用的な問題でアクチュエータ位置最適化の評価を行った。その上で、アクチュエータ位置最適化アルゴリズムを開発し、非線形数値問題および流体問題に適用することで提案手法による配置ではランダム配置よりも制御効果が大きくなることを示した。加えて、線形なアクチュエータ位置最適化問題の目的関数を精査し、複数の目的関数を提案してそれらの関係を明らかにした。さらに、非線形問題におけるアクチュエータ位置最適化問題の実用的な目的関数を提案した。アクチュエータ位置最適化アルゴリズムの気象場における評価については WRFPLUS と Python による一連のツールを構築し、最適化したアクチュエータ位置とランダムに選択したアクチュエータ位置での入力に対する接線形モデルおよび非線形気象モデルの応答の差異を評価した。接線系を仮定したアクチュエータ位置の評価では、ランダム配置に対して 99%以上の確率でより効果的であること、および直感的なアクチュエータ位置よりも効果的な配置ができていることを確認した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施概要

3つのグループを組織して研究を進める体制を構築できた、具体的には、アクチュエータ位置最適化アルゴリズムの開発と種々の数値問題・気象問題への適用を行うグループ、アクチュエータ位置最適化の数理問題を定式化するグループ、開発したアルゴリズムを気象問題で適用する際の気象シミュレータのパラメータを調整するグループとなる。小規模グループでのプロジェクト体制であり、お互いに強く連携した課題であるため、2週間に一度程度各グループ間で研究の議論を行う場を設けて強く協働しながら研究を進めてきた。11月に PM 兼 PI が名古屋大学へ異動したが、基本的な体制は変更せずに進めた。

アクチュエータ位置最適化問題への企業の注目度はまだ高くないため、すぐに社会へ展開できる段階にないと判断している。しかしながら、開発したアルゴリズムのプログラムを GitHub へアップロードするなど、オープン戦略を取ることで、より多くの研究者・開発者が注目し、今後の産業界への連携へとつながるように進めてきた。

昨年度気象観測などより幅広いスコープにはなるが、PM と企業が協賛して行う東北大学

の海外学生のインターンシップのアドバイザーとなり、気象・環境観測におけるセンサ位置最適化問題の課題に関してアドバイスをを行った。このインターンシップは終了したが、協賛した企業と継続課題の共同研究につながった。センサ位置最適化問題に関して研究を進め資金を集めることで、双対の関係にあるアクチュエータ位置最適化問題の研究に対しても加速効果が得られることも期待される。

2. 研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1:大規模自由度場のアクチュエータ位置最適化

研究開発課題1:アクチュエータ位置最適化アルゴリズムの開発とモデル問題および気象問題への適用

実施内容: 本課題では線形および非線形な大規模自由度場のシステムに対して定義された数理問題に沿って、アルゴリズムの理解のため先行研究結果や経験のある双対問題となるセンサ最適化問題のアルゴリズムの構築を通じて理解を深めながら、より効率のよいアクチュエータ位置最適化アルゴリズムを構築した。この際に利用する既存アルゴリズムの高速化を図った。流体や数値的に構築したモデル問題において、最適化アクチュエータ位置での入力を適用して制御効果の評価を行った。ランダムに選ばれたアクチュエータ位置よりも 99%以上の確率で高性能となることを示した。最終的にベンチマークとなる気象問題に対して最適化されたアクチュエータ位置での入力をいれた気象シミュレーションを適用し、その評価を行い、ランダムな位置のアクチュエータよりも高性能となることを示した。

課題推進者:野々村拓(名古屋大学)

研究開発課題2:アクチュエータ位置最適化の数理問題の定式化

実施内容:本研究開発課題ではアクチュエータ位置最適化を行うための数理問題の定式化を行った。気象問題でのアクチュエータ位置最適化問題は、非線形大規模自由度場のシステムであり、局所線形化してアクチュエータを決めることも有り得るため、線形・非線形大規模自由度でのアクチュエータ位置最適化に適した指標を利用して目的関数を複数提案した。特に、過去研究の多いセンサ最適化問題と双対になることを生かしたアクチュエータ位置最適化を行うための目的関数を提示し、その数理問題を定義して数理構造を明らかにした。

課題推進者:椿野大輔

研究開発課題3:気象シミュレーションによる最適化アクチュエータ位置の評価方法構築

実施内容:本課題では、気象問題での最適化されたアクチュエータ位置が、ランダムなアクチュエータ位置に対して、制御効果が大きいことを示すための最終的なベンチマークとなる気象シミュレーションを設計した。線状降水帯を模した状況をベンチマークとし、なるべく一般的に気象制御に役立つように問題設定した。また、多数のトライアルが必要なことから、なるべく小さな計算規模で解析ができることを目的として、気象シミュレーションの各種パラメータを設定した。研究開発課題1と密なコミュニケーションを取って研究を行い、一部検証のため研究開発課題1のアルゴリズムで最適化されたアクチュエータ位置で入力を入れたシミュレーションを行って、妥当性を検証した。

課題推進者:伊藤純至

3. プロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握：

2023 年 10 月までは PM 支援体制チームに関しては、特任助教の佐々木康雄氏および永田貴之氏、JAXA の高橋俊氏に研究関連の進捗状況管理を依頼し、事務補佐員の白戸麻利子氏に事務書類作成を依頼していた。2023 年 11 月からは PM 兼 PI の野々村が名古屋大学へ異動する事となり、佐々木氏、永田氏に特任助教(プロジェクト雇用)として名古屋大学へ異動していただき、PM 支援体制チームの根幹を維持したまま研究マネジメントを継続できた。白戸氏は 2023 年 10 月まででチームから離脱する形となったが、名古屋大学において新たな事務補佐員の上野さつき氏を雇用し、名古屋大学での研究体制を整えた。このため研究に若干の遅れがでたが、前述のように当初計画・マイルストーンを達成したと判断している。

プロジェクト内の月例会・課題推進者会議を月に1回の頻度でそれぞれ行うとともに、PM と課題推進者間の個別 MTG を 2 週間に一度程度行いながら研究を進めた。月例会および課題推進者会議は JST や AD、PD、SPD の参加もできるようにし、様々な意見を取り入れて進めた。月例会では内部からの研究進捗に加え、外部からの講師の発表を取り入れることで新たな知見を得ることや他プロジェクトとの交流が進められた。

研究開発プロジェクトの展開：

3 つのグループを組織して研究を進める体制を構築できた。具体的には、アクチュエータ位置最適化アルゴリズムの開発と種々の数値問題・気象問題への適用を行うグループ、アクチュエータ位置最適化の数値問題を定式化するグループ、開発したアルゴリズムを気象問題で適用する際の気象シミュレータのパラメータを調整するグループとなる。小規模グループでのプロジェクト体制であり、お互いに強く連携した課題であるため、2 週間に一度程度各グループ間で研究の議論を行う場を設けて強く協働しながら研究を進めた。2023 年 11 月に PM 兼 PI が名古屋大学へ異動したが、基本的な体制は変更せずに進めた。

(2) 研究成果の展開

昨年度気象観測などより幅広いスコープにはなるが、PM と企業が協賛して行う東北大学の海外学生のインターンシップのアドバイザーとなり、気象・環境観測におけるセンサ位置最適化問題の課題に関してアドバイスを行なった。このインターンシップの終了後、協賛した企業と継続課題の共同研究を実施した。センサ位置最適化問題に関して研究を進め資金を集めることで、双対の関係にあるアクチュエータ位置最適化問題の研究に対しても加速効果が得られることを期待して進めた。

(3) 広報、アウトリーチ

本プロジェクトの概要を説明するホームページを構築し公開した。また、

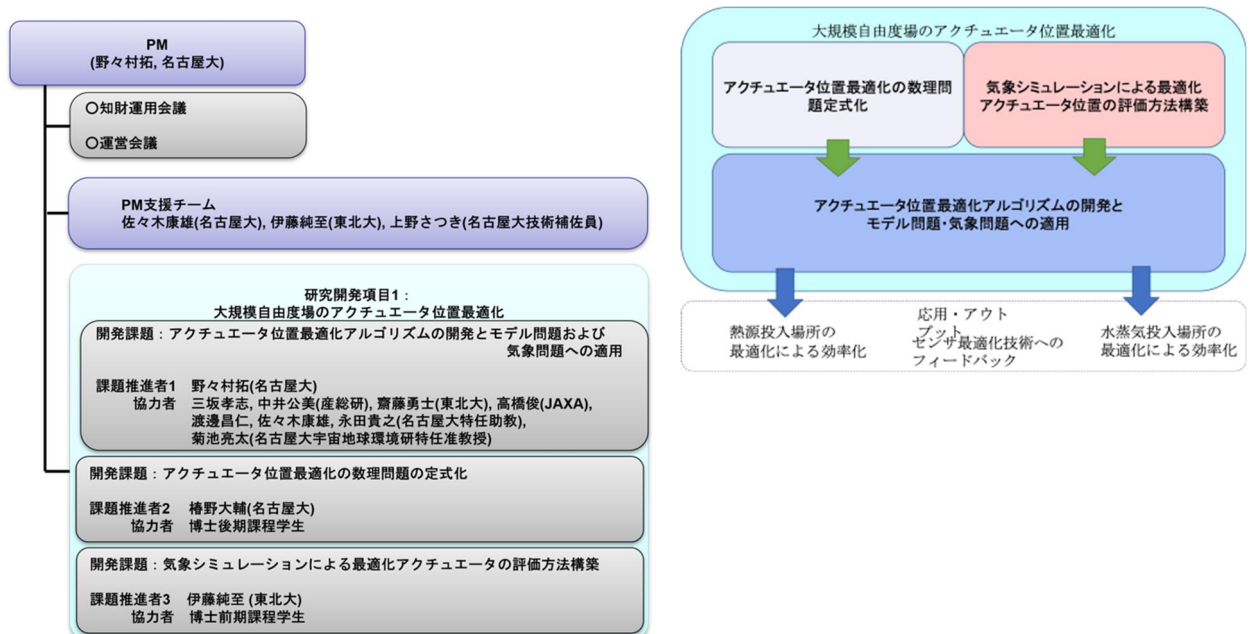
今年度制御工学の国際学会 IFAC において、科学研究費学術変革領域研究 B の「微気象制御学」大西領先生とともに気象制御に関するオーガナイズドセッションを、自動制御連合講演会で低次元モデルに関するオーガナイズドセッションを開催しており、こちらで広く研究成果を喧伝してきた。計測自動制御学会における調査研究会は、

令和 6 年度より気象制御のスコープを含んだ形で、「データ・モデル駆動融合による先端的流体・気象制御調査研究会」として拡大しており、ムーンショット目標 8 課題の制御関連の PI に広く参加していただき、数理的・制御工学的な観点で情報交換ができる場の提供となるよう進めた。

(4) データマネジメントに関する取り組み

各種アルゴリズムの開発を行っているが、ソースコードなどの成果物をできる限り GitHub のようなレポジトリにアップロードすることを推奨し、データを共有・公開するように進めた。昨年度の成果としては、リッジ回帰のためのセンサ位置最適化手法および、インパルス入力を受ける線形システムに対するアクチュエータ位置最適化手法のソースコードを GitHub へアップロードした。

4. 研究開発プロジェクト推進体制図



5. 研究開発プロジェクト成果

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT 含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	1	0	1
口頭発表	14	7	21
ポスター発表	0	0	0
合計	15	7	22

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	6	6
(うち、査読有)	0	6	6

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
2	0	2

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
8