

ムーンショット目標 8

2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

実施状況報告書

2022 年度版

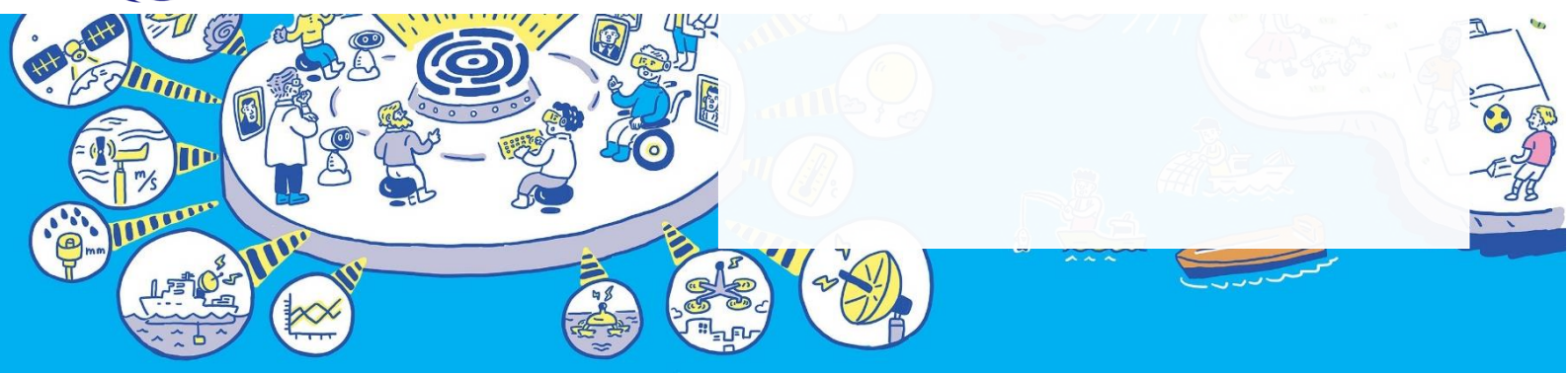
大規模自由度場のアクチュエータ位置

最適化

野々村 拓

東北大学 大学院工学研究科

 **MOONSHOT**
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



研究開発プロジェクト概要

気象制御を実現するためには、気象制御効果を最大化するためのアクチュエータ位置が不明であるというボトルネックを解決する必要があります。本プロジェクトでは、アクチュエータ位置最適化手法を整理、開発および評価します。そして開発された手法によって得られたアクチュエータ位置を利用することで制御効果が向上することをシミュレーション実験によって示します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/87_nonomura.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
野々村 拓	東北大学 大学院工学研究科	准教授
椿野 大輔	名古屋大学 大学院工学研究科	講師
伊藤 純至	東北大学 大学院理学研究科	准教授

1. 当該年度における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

気象制御を実現するためには、気象制御効果を最大化するためのアクチュエータ位置が不明であるというボトルネックを解決する必要がある。本プロジェクトでは、アクチュエータ位置最適化手法を整理、開発および評価する。そして開発された手法によって得られたアクチュエータ位置を利用することで制御効果が向上することをシミュレーションによって示す。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

本研究開発プロジェクトでは、単一の研究開発項目「大規模自由度場のアクチュエータ位置最適化」を扱う。当該年度は予定通り、3つの研究開発課題「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」「アクチュエータ位置最適化の数理問題定式化」「気象シミュレーションによる最適化アクチュエータの評価方法構築」を開始した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

研究開発プロジェクトの実施を円滑に進めるために、PM 支援体制チームを、特任助教の佐々木康雄氏、伊藤純至氏、東海大学の高橋俊氏および事務補佐員から構成した。PM 支援体制チームと課題推進者、JST の参加する課題推進者会議を月に一度、運営会議を年一回開催し、事務作業および研究の進捗に関して情報共有を行うことで、プロジェクトを円滑に進めてきた。

また、プロジェクト内月例会を月一回開催し、メンバーへの情報共有、作業依頼をするとともに研究の進捗の共有および、プロジェクトメンバーが今後の研究のために参考になる他分野の最新研究を外部の講師に講演いただいた。

合わせて、課題推進者である東北大学理学研究科伊藤純至准教授の研究室と名古屋大学工学研究科椿野大輔准教授の研究室へプロジェクト内サイトビジットを行い、研究の進捗を確認するとともに議論を行うことで、今後の進め方を確認している。

さらに、ホームページの作成を行い、研究成果の発信ができる Web サイトを構築している。合わせて、外部プロジェクトとの連携として、東京工業大学大西領准教授の科学研究費補助金学術変革 B「微気象制御学」プロジェクトと交流しており、先方の領域会議において野々村が講演を行っている。来年度制御工学の国際学会である IFAC において、ジョイントセッションを行い将来の共同に向けたアクティビティを進めている。

2. 当該年度の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

当該年度実施内容:研究グループが持っている知見を活かすために大規模アクチュエータ位置最適化問題と双対の関係にある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った。線形逆問題でのセンサ位置最適化、線形システムを考えた際の可観測グラミアンによるセンサ位

置最適化, カルマンフィルタを考えた際の誤差共分散を最小化するセンサ位置最適化のアルゴリズムに関して, 現状で利用できるアルゴリズムに加えいくらかの新しいアルゴリズムを提案しその性能を評価した. 具体的には, 半正定値プログラミング, 近似凸緩和法に基づくニュートン法, 近接勾配法, 貪欲法の比較を行っている. センサ位置の候補が大量にある大規模自由度場の問題では, 貪欲法のセンサ位置の性能が高く, センサ選択にかかる計算コストも低いことがわかった. 以上より, 貪欲法をベースに研究を進めることが妥当であることを結論付けた. この結論をもとに, 貪欲法の性能向上を行うための多目的非劣解貪欲法や乱択エリートグループ貪欲法など, 新たな貪欲法の提案を行い, さらにそれら数学的に緩和された貪欲法の性能保証を与えた.

最後に, センサ位置最適化において, 線形逆問題でのセンサ位置最適化, 線形システムを考えた際の可観測グラミアンによるセンサ位置最適化, カルマンフィルタを考えた際の誤差共分散を最小化するセンサ位置最適化を全て貪欲法で実施し, それぞれの指標でその性能を評価した. これにより, カルマンフィルタを考えた際の誤差共分散を最小化するセンサ位置最適化はより計算コストの低い線形逆問題でのセンサ位置最適化, 線形システムを考えた際の可観測グラミアンによるセンサ位置最適化によって代替できる可能性を示した. 以上の成果により, アクチュエータ位置最適化問題に取り掛かるための基盤を構築できており, マイルストーンの前半の「線形大規模問題のセンサ位置最適化アルゴリズムの整理および評価を行い, 目的関数やアルゴリズムによる結果の違いを明らかにする。」を達成できたと判断する. さらに非線形で入力位置の候補が大規模となる問題を構築するために数値的モデル問題および流体力学問題を構築した. 気象問題につながるよう, 気象の専門家と課題 1 および課題 3 の実務者打ち合わせを通して伊藤准教授と議論をして進めた. 数値的モデル問題としてローレンツモデル, ギンズバークランダウ方程式, バーガー方程式のプログラムを構築した.

課題推進者:野々村拓(東北大学)

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

当該年度実施内容:課題 1 の研究項目「線形大規模問題におけるセンサ・アクチュエータ位置最適化アルゴリズムの開発」において, 双対の関係となる線形なアクチュエータ位置最適化問題と線形なセンサ位置最適化問題の目的関数の関係を利用してアクチュエータ位置の最適化アルゴリズムを開発するため, これら双対問題における数理問題の目的関数の差異を明らかにした. センサ位置最適化におけるハイパーパラメータの意味をアクチュエータ位置最適化問題に置き換えた場合に, 正則

化の意味が大きく変わることがわかった。特にセンサ位置最適化で重要と考えられてきた共分散ノイズの考慮に関しては、アクチュエータ位置最適化において制御則の正則化項(複数のアクチュエータの位置を制御系設計者が近くに置きたい・置きたくないなどの意図を示すもの)に一致していることを示した。このため、場を大きく変化させるためのアクチュエータ位置最適化においてはこの効果は重要度が下がることを示した。また、課題 1 のアルゴリズムの中でゲインをスパースに表現する方法と重みを変化させた場合を取り扱うが、これらの中で目的関数がどう変化するかを示した。可観測グラミアンに関しては、現状ではゲインでの表現が限られた近似の形でしか定式化できないことを示した。さらに、当初予定よりも若干進める形でアクチュエータ位置最適化のための大自由度場の低次元化法およびアクチュエータ位置最適化のための指標に関して検討を開始した。

課題推進者: 椿野大輔(名古屋大学)

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

当該年度実施内容: 課題 1「アクチュエータ位置の最適化とモデル問題および気象問題での実証」で開発する、アクチュエータ位置最適化アルゴリズムを気象問題で評価するための気象シミュレーションのパラメータ設計を開始した。課題 1 からの要望により、随伴方程式を利用できるシミュレーションと随伴方程式は利用できないがより一般的で高精度なシミュレーションを検討した。前者に関しては、気象庁モデルや WRF を検討し、より広範に成果を公表できる WRF を利用したシミュレーションを行う方向が妥当と結論した。WRF の試計算を実施したが、予報モデルの実行はできたものの、データ同化部分に関してはうまく動作しておらず、バージョンの確認やノウハウの収集などの確認作業を進めている。随伴方程式は利用できないがより一般的で高精度なシミュレーションに対しては、SCALE の利用する方針である。SCALE を利用して、1 時間以上停滞する降水系を再現できるシミュレーション設定の初期検討を行った。アクチュエータ位置最適化アルゴリズムを気象問題で評価するための検証作業を行える範囲の計算規模で、線状降水帯を主に想定した極端気象に関する現実的なシミュレーションとなるように初期検討をすすめた。

課題推進者: 伊藤純至(東北大学)

3. 当該年度の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

研究開発プロジェクトの実施を円滑に進めるために、PM 支援体制チームを、特任助教の佐々木康雄氏、伊藤純至氏、東海大学の高橋俊氏および事務補佐員から構成した。PM 支援体制チームと課題推進者、JST の参加する課題推進者会議を月に一度、運営会議を年一回開催することで、事務作業および研究の進捗に関して情報共有を行うことで、プロジェクトを円滑に進めてきた。

また、プロジェクト内月例会を月一回開催し、メンバーへの情報共有、作業依頼をするとともに研究の進捗の共有および、プロジェクトメンバーが今後の研究のために参考になる他分野の最新研究を外部の講師に講演いただいた。

合わせて、課題推進者である東北大学理学研究科伊藤純至准教授の研究室と名古屋大学工学研究科椿野大輔准教授の研究室へプロジェクト内サイトビジットを行うことで、研究の進捗を確認するとともに議論を行うことで、今後の進め方を確認している。

さらに課題1と課題2、課題1と課題3は密接に関連して研究を進める必要があるため、実務者を入れて、2週間に一度ビデオ会議を設定し、情報交換をしながら研究を進める体制を整えた。

研究開発プロジェクトの展開

本課題では、必要最小限の体制で必要不可欠な研究をすべて実施するため、互いに競わせるような競争を行うことは当初より予定しておらず、当初の体制で研究を進めてきた。研究員の雇用が遅れたため学生のRAによる研究の推進を行った。これにより若干の遅れが出ているが、次年度以降研究員の雇用により体制を整えて推進する予定である。

国際連携を進めるために、制御分野の国際学会である2023年度のIFACにおいて、科学研究費補助金学術変革Bの東京工業大学大西領准教授の「微気象制御学」のプロジェクトと共同してジョイントセッションの準備を行い、認知度を高めるとともに国際的な共同の可能性を探るため体制を整えている。

(2) 研究成果の展開

今年度得られた研究成果は論文および構築したアルゴリズムに基づくプログラムをGitHubへアップロードすることによるオープン戦略を取っており、他の研究者が利用することで本研究分野の更なる加速を狙っている。

技術動向調査に関しては複数の流体力学・数理研究集会へ参加し発表を聴講しているが、アクチュエータ位置最適化に関する研究はまだ一部の研究者が2,3発表を行っているのみであり、今後この分野で理論構築を行っていくことで、本プロジェクトが研究のイニシアティブを握れる状態であると結論付けた。

本要素研究が扱う技術はまだ、事業化戦略、グローバル展開できる段階にないと考えるが、企業との共同研究・議論を通じてその可能性を探った。

(3) 広報、アウトリーチ

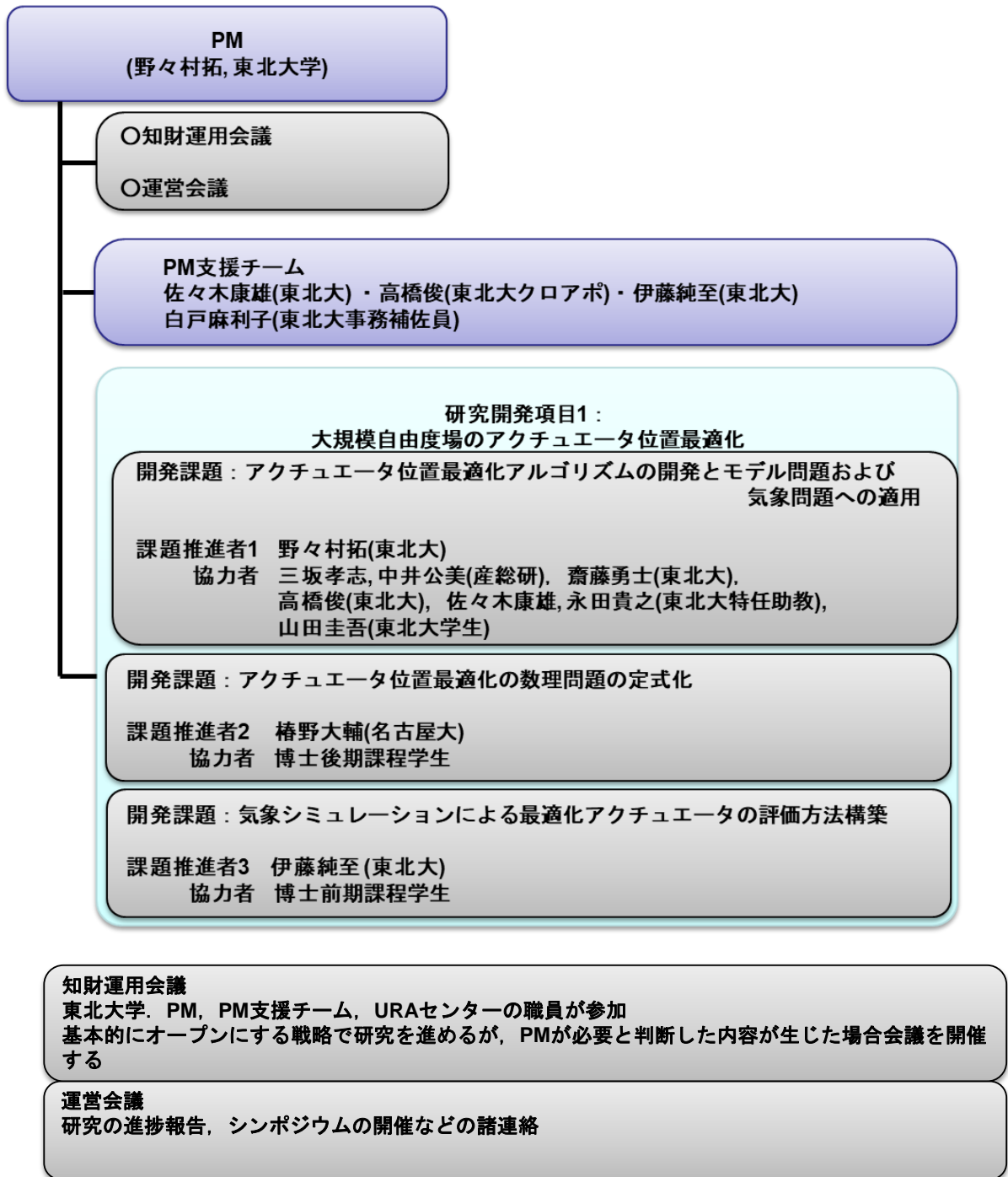
広報・アウトリーチ活動としてホームページを作成し、定期的に更新している。



(4) データマネジメントに関する取り組み

構築したアルゴリズムに基づくプログラムを GitHub へアップロードすることで他者が研究成果を再現できる体制を整えている。今後も同様のオープン戦略を取り本研究分野の更なる加速を狙う。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



5. 当該年度の成果データ集計

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	0	0	0
口頭発表	1	0	1
ポスター発表	0	0	0
合計	1	0	1

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	2	2
(うち、査読有)	0	2	2

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
0	0	0

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
1