

令和 4年 8月 8日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 202080268

氏 名 前 匡鴻

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

1. 派遣先：都市名 アイントホーフェン (国名 オランダ)
2. 研究課題名(和文) : 超精密製造装置のためのモデリングとマルチレート制御を融合した制御器設計
3. 派遣期間：令和 4年 1月 24日 ~ 令和 4年 7月 10日 (168日間)
4. 派遣先機関名・部局名：アイントホーフェン工科大学 機械工学科
5. 派遣先機関で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

派遣先のアイントホーフェン工科大学では、「超精密製造装置のためのモデリングとマルチレート制御を融合した制御器設計」という研究課題名で、Control Systems Technology Group の Tom Oomen 教授のもとで、精密位置決め制御の高性能化と学習制御への応用に取り組んだ。Tom Oomen 教授は、世界の半導体露光装置メーカーである ASML を始めとした多くの企業と共同研究を行うなど、産業応用の現場の課題に基づいた制御工学の研究を行っており、私が博士課程で取り組んでいる「現場で使いやすいモデルベースの制御器と高性能なデータベースの制御器の融合」という研究の枠組みに対して、大学と産業界を俯瞰した視点からご指導頂いた。この滞在ではその中でも、離散時間制御器を考慮した位置決め制御の高性能化と制御器パラメータを実験データから反復的にモデリングする学習制御の融合に着手した。

研究状況としては、零次ホールドとサンプラによる離散化と連続時間の積分器のダイナミクスを考慮したサンプル値制御系のための微分器を考案し、その微分器を用いて設計した基底関数をフィードフォワード制御器として線形に定式化することで、制御性能と制御器の調整しやすさを両立した新たなフィードフォワード制御器設計法を提案した。提案したフィードフォワード制御器は実験において、従来の後退差分による微分器を用いたフィードフォワード制御器と比較して約 3 倍程度の誤差の改善が確認された。また、提案したフィードフォワード制御器の調整しやすさを活かした学習制御への応用も行った。従来、制御器設計のためのモデリングや制御器の調整が非常に煩雑で非直感的とされてきた多入力多出力の制御対象に対して、学習制御を用いて軸間の干渉成分を補償するフィードフォワード制御器の設計手法を提案した。軸間干渉を補償しない場合と比較して、約 10 倍程度誤差が改善することを実験により確認した。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

この滞在の研究成果であるサンプル値制御系を考慮した基底関数型フィードフォワード制御に関しては、制御器設計理論の基礎的な部分に関して、2022年6月に国際学会の2022 American Control Conferenceでポスター発表、2022年7月にオランダ・ベルギー・ルクセンブルクの制御連合会主催のBenelux Meeting on Systems and Control 2022で口頭発表を行った。2022年9月に国際学会のThe 9th IFAC Symposium on Mechatronic Systemsで口頭発表、実験結果も含めた内容を2022年10月に査読有国際学会のThe 2nd Modeling, Estimation and Control Conference (採択済)で口頭発表予定である。

また、サンプル値制御系を考慮した基底関数型フィードフォワード制御の多入力多出力系に対する反復学習制御への拡張に関する研究内容については、制御性能の向上を実験により確認済である。滞在中の研究成果の集大成としての予稿は既に完成しており、推敲の後2022年中に査読有英文論文誌へ投稿することを予定している。

今後の研究計画の方向性としては、制御対象のモデルの逆系に基づく従来のフィードフォワード制御との性能比較や、より広いクラスの制御対象に対する基底関数型学習制御への拡張などを検討している。滞在中の研究成果に関する論文執筆はある程度完了しているが、新たな研究課題も含め、今後もオンラインミーティングや国際学会前後のオフラインミーティングを活用して継続的に共同研究を進めていく予定である。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本プログラムでは、「お互いの文化を理解しお互いを高め合う経験」を得ることができた。この滞在を始める前に、取り組む研究の案を複数準備して滞在に望んだが、滞在を始めてから研究室のメンバーとの議論や受入研究者のTom Oomen教授の講義のTAを行ううちに、同じ制御工学の研究分野であっても、制御器設計の手順に対する考え方や、制御対象における仮定など、背景にある文化が異なる部分が多いことに気が付いた。その気付きから、準備してきた研究案に囚われずゼロベースで、まず滞在先の文化の中に自らを置きそこで共有されている価値観は何なのか、どのような歴史を経てこのような制御器設計思想に至ったのかを、過去の論文を時系列順に調べたり大学の成り立ちや企業との共同研究の歴史を知ったりすることにより深く理解する事に努めた。その結果、その文化と自分自身が日本で会得してきた文化を比較して、片方であっても一方にないものは何かということに着目することができ、お互いの研究チームが持つ研究の強みを融合した新しい制御器設計手法の考案に至った。この双方の文化の理解は今後の共同研究にも繋がっていくと感じている。

「お互いの文化を理解しお互いを高め合う経験」は研究内容だけに限らず、普段の研究室生活や研究室のメンバーとの関わりの中でも多く得ることができた。日本とオランダという大きく違うバックグラウンドの中で、お互いがどういうことを人生で大切にしているか、何がお互いの文化の強みで、逆にどんなところは双方の国の文化から学ぶことができるか、などを研究室のメンバーを始め周りの人達と話し合い、議論し、共有するという経験は、博士課程を終えたあとに自分自身が人生の中でどのような課題に取り組んでいくかということを考える上でも非常に重要な学びであったように思える。ここで得た仲間は今後の自分の人生に資する存在であると確信している。

半年程度の滞在の中で、研究内容の議論や学会での研究発表はもちろんのこと、お互いの文化の共有や日頃の他愛のない話まで、多くの会話を英語で継続的に行ってきた経験は、自分の英語によるコミュニケーション能力の向上はもちろん、これから世界に対して多くのチャレンジを行っていく上での大きな自信となった。

最後に、COVID-19に関連する多くの困難の中、この研究滞在を実現するために多くのご支援を頂いた、本プログラム、日本学術振興会の担当者の皆様、東京大学の皆様、並びにアイントホーフェン工科大学のTom Oomen教授のグループの皆様にご感謝申し上げます。