

ERATO 蓮尾メタ数理システムデザインプロジェクト中間評価概要書

【研究総括】 蓮尾 一郎（国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 准教授）

【評価委員】（敬称略、五十音順）

川本雅之（株式会社 アイ・モビリティプラットフォーム 代表取締役）

國府寛司（京都大学大学院 理学研究科 教授）

高田広章（名古屋大学 未来社会創造機構 教授）

徳田英幸（委員長；情報通信研究機構 理事長）

山本里枝子（株式会社富士通研究所 フェロー）

ERATO 蓮尾メタ数理システムデザインプロジェクトの全体構想は、Society5.0 を実現していく上で鍵となる、多様なサイバーフィジカルシステムの安全性や信頼性を保証することを目的に、数学的に記述・解明するモデルを確立する手法を研究し、その成果を産業界に還元することを目指している挑戦的なものである。当初、形式検証のホワイトボックスモデル（システムの構造が細部まですべて明らかになっているモデル）を、現代数学を活用して、汎用性のある品質保証の方法論に拡張することを目指した。しかし、ホワイトボックスモデルが十分に確立されていないサイバーフィジカルシステムでは、従来の形式検証の手法では限定的にしか扱えないため、「社会における支配原理・法則が明確でないシステム（以下、不確実性を持つシステム）」の保証に関する理論的枠組みの確立を重要なテーマとして追加した。さらに、自動車の自動運転の安全性確保の手法の確立を研究の中心に据え、企業と協働して理論研究を推進するため、成果の産業界への早期活用が期待される。

プロジェクト運営体制については、当プロジェクトは International 型と位置づけられ、国内、欧米、アジアから広く公募した優秀な研究者が参画し、カナダの Waterloo 大学とも協働している。研究グループは理論基盤を支える数学者のグループ、課題解決を具現化するソフトウェア、制御理論、機械学習の専門家のグループ、実践的に応用・評価をするグループ（Waterloo 大学に設置）からなり、理論から実践まで関連分野をつなぐ効果的な研究体制となっている。異分野、国際的な人員が集結する運営体制は、ダイバーシティの観点から特に若手研究者に有益で、高く評価できる。また、目指す研究目標をメンバー全員で共有し、グループに通底する 6 つの大きなテーマを明確にして、異分野の研究者が連携して研究できるよう工夫がされている。さらに、3 年間で 3 名の若手研究者が最優秀論文賞を 3 回受賞していることは、若手研究者の育成に積極的に取り組んでいる証である。

研究は、ここまで順調に進んでいる。当初の目標に加えられた不確実性を持つシステムの安全性・信頼性の保証の研究は、統計論的推論と論理的推論の手法を融合させ、挑戦的に進められている。この融合は機械学習の広がりと共にソフトウェア工学分野で注目され始めた技術領域と一致して重要なテーマであり、研究目標の追加は有益であったと評価できる。一方で、数学基盤である「メタ数理」がどの成果に活かされているのか、分かりにくいところもあり、今後、理論展開の見える化が必要と考えられる。研究成果は、発表論文が海外 160 編、国内 11 編、国際会議 108 件、国内 44 件、そのうち、世界トップクラスの国際会議（CORE RANK A*、および A）に 48 編採択、最優秀論文賞を 4 件受賞しており、高い水準で研究がされている。特許は国内出願 4 件、外国出願 1 件、出願準備中 3 件で、知財化にも積極的に取り組んでいる。また、Waterloo 大学と相補的かつ明確な役割分担の下、メンバーの相互訪問やオンライン利用により密接に研究連携が

行われている。日本側の数理的手法の実践的評価が Waterloo 大学の自動運転プラットフォームを構築するプロジェクト「Autonomoose」の場で行われ、研究交流の成果が形にできていると評価できる。

学術への貢献は、不確実性を持つシステムに対して、数理論理学による安全性の検証の新たな可能性を開拓した点が非常に大きいといえる。数理論理構築にとどまらず、ソフトウェア環境で実践レベルでの検証を可能とした。ソフトウェア技術者が使える形で理論を具体化した研究はこれまでなかったと考えられ、高く評価できる。トップクラスの国際会議での高い評価からも学術的な価値が示されているといえよう。特に、統計論的推論と論理的推論の融合は先導的な方法論であり、今後のさらなる深化が期待される。

社会・経済への貢献は、産業界の関心が高い課題である不確実性を持つシステムの安全性や信頼性保証への取り組みにある。研究は企業から得られる開発現場のリアルな課題に解決策を提供することを念頭においているため、プロジェクトで開発されたソフトウェアツール群は、自動運転システムのテスト、モニタリング、検証をするうえで有効であり、産業界へ貢献が期待できる。特に、国内自動車メーカーとの共同研究により開発したツールは、産学連携の成功事例である。ツールは自動運転システムの安全性論証に一つの有力なアプローチを提案するもので、産業界が受け入れた場合には、大きな貢献になることが期待できる。一方で、ソフトウェアツール群自身の品質保証と拡張の継続と、品質保証フレームワークの核として長く利用される方法を検討することが望まれる。また、プロジェクトは 2019 年 5 月の産業界向けシンポジウムを皮切りに、2020 年 2 月から 11 回シリーズで月 1 回、「自動車産業応用セミナー」を開催している。毎回、技術トピックを用意して、安全性・信頼性保証の最先端研究、プロジェクトの研究成果や他の研究例をレクチャー、技術相談をしており、自動運転車の安全性確保技術の振興に努めていることも評価できる。

今後、様々な研究フェーズにおいても産業界との意見交換を継続して連携をさらに加速し、より社会的ニーズに適した形で研究成果が還元されることを期待する。

以上を総合すると、本プロジェクトは全体的に順調な進捗にあり、戦略目標「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」の達成に資する十分な成果が得られていると評価できる。

以上