

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月23日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科

[職・氏名]

准教授・廣川 直

[課題番号]

JPJSBP 120222001

1. 事業名 相手国: オーストリア (振興会対応機関: FWF) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 書換え研究共用型基盤システムの構築

(英文) Automation of Rewriting Infrastructure (ARI)

3. 共同研究実施期間 2022年4月1日～2024年3月31日 (2年0ヶ月)【延長前】 年 月 日～ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

University of Innsbruck・Professor・Middeldorp Aart

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,875,000 円
内訳	1年度目執行経費	2,375,000 円
	2年度目執行経費	2,500,000 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	8名
相手国側参加者等	6名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	5		13(0)
2年度目	4		5(0)
3年度目	-	-	- (-)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究交流の目標は、書換えに基づく自動化技法およびその応用促進のために本分野のコミュニティで共用できる技術基盤を構築することである。合流性・停止性自動証明ツールなど、書換えに基づくツールの標準書式を策定、ベンチマークに利用される問題集データベースを開発した。またこれらツールの検証結果の正しさを担保するため、証明支援系を用い主要な既存定理の形式証明を与えた。さらに論理制約書換えを基礎としたプログラム検証・定理自動証明プログラム検証の理論体系を構築した。いくつかはすでに発表・公開済みであるが、残る成果も2024年度以降に順次成果発表してゆく計画である。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

ARI フォーマット (ARI は本研究課題の英訳 Automation Rewriting Infrastructure に由来) を策定し、合流性と停止性・計算量解析の国際競技会 CoCo, termCOMP でその採用が決定した。書換えに基づく検証技法の無謬性を保証するため、証明支援系 Isabelle/HOL による形式証明ライブラリ IsaFoR/CeTA が広く採用されているが、それを刷新し、(基底)合流性・可換性・停止性証明に関する主要な定理をサポート、利便性と効率を改善した。さらに制約付き書換えに基づくプログラム検証の理論基盤、自動化技法の整備・開発を行った。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学术交流することによって得られた成果)

プログラム検証の理論基盤として注目される制約付き書換えは、現在本分野の中心的な研究テーマとなっている。またツールによる自動検証結果の正しさを保証するため、証明支援系を用い certifier と呼ばれるバグの無いツール出力の検証器を導出する方法が注目されている。制約付き書換えは名古屋大学のグループによって考案された計算モデルであり、日本側は先進的な研究成果を有している。一方、相手国側は形式検証に関する国際的な拠点機関として知られている。本交流により制約付き書換えに基づくプログラム検証の自動化からその信頼性を保証する形式証明までの理論体系が構築・強化され、書換えに基づく検証基盤が大きく進展した。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

情報社会の安全はソフトウェアの信頼性に大きく依存しているが、巨大なプログラムの正しさの検証には自動検証技術が必須となる。書換えはプログラムの実行を数学的に議論する際に用いられる計算モデルであり、自動検証の基盤理論・基盤技術となっている。本交流はそれらの理論・自動化技法を発展させたとともに、研究コミュニティが必要とするそれら手法の評価・検証のソフトウェア的なインフラストラクチャーを構築した。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

北陸先端科学技術大学院大学・名古屋大学の博士後期課程学生4名が参加し、相手国での共同研究、合流性自動検証ツールの国際競技会 CoCo の運営および合流性問題のデータベースの構築・編纂の事業へ参画した。またうち一名は学術研究協力協定を利用して半年間相手国機関に滞在、相手国教員の下で博士研究の一部を実施した。学生との国際共著論文1件が採択されており、さらに2件の論文が投稿準備中である。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

相手国側は本事業を1年延長しており、2024年度末まで共同研究が続く。現在までに得られている研究成果の多くは萌芽的な成果であり、それらを発展させる共同研究が今後も継続する見込みである。本事業の課題の一つは書換えに関するツールの入出力書式の策定であった。書換えに関する主要な国際競技会 CoCo および termCOMP は本事業で策定した書式を用いることを決めており、分野標準の書式になる見通しである。今後、両国を主軸として策定した書式と構築したデータベースを維持・運営してゆく。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)