

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05343

研究課題名(和文) 簡約システムの存在定理に関する定量的性質の解明

研究課題名(英文) Quantitative analysis of existential theorems of reduction systems

研究代表者

藤田 憲悦 (Fujita, Kenetsu)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：30228994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ラムダ計算や書換え系に代表される簡約システムの合流性や停止性などの存在定理の複雑さを定量的に解析した。Church--Rosserの定理の上限についての未解決問題を解決することができた。合流性を証明する分割統治的な新手法も提案して、ラムダ・ミュー計算の合流性証明に応用した。また、計算の道の軌跡を帰納的に生成する圏論的なシステムを導入した。これにより、テンソル積を活用して並行簡約の道を隣接行列によりコード化することができた。さらに、二階直観主義命題論理の束論的なモデルも構築して完全性を示すことができた。これらの研究成果は全て、査読付き論文としてElsevier, Springerなどから出版した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チャーチ・ロッサーの定理は、等式と計算についての基本定理であり、この複雑さについての未解決予想を計算理論の観点から解明した。さらに、計算の道筋を図的に表現する枠組の研究を行い、行列計算を応用して計算の道を数える方法についても研究した。これらの成果は論文としても出版しており、またWebページからも分かりやすく情報発信を行なっている。

<http://www.cs.gunma-u.ac.jp/~fujita/>

研究成果の概要(英文)：We performed a quantitative analysis of witnesses of the existential theorems such as Church--Rosser theorem and normalization theorem in reduction systems. Ketema--Simonsen posed an open problem about upper bounds on the size of Church--Rosser theorem in lambda-calculus (ACM Trans. on Computational Logic, 2013). On the contrary to their conjecture that upper bound functions should be in the 5th level of the Grzegorzczak hierarchy, we have proved that the upper bound function belongs to the 4th level of the hierarchy. This quantitative proof method is extended to typed systems such as Godel's system T, Girard's system F, and Pure Type Systems as well. We also invented a new proof method for confluence in the style of divide-and-conquer, by extending the so-called Z theorem. Moreover, we established a neighbourhood and lattice model based on the duality between Kripke and algebraic models, and proved its completeness w.r.t. 2nd-order intuitionistic propositional logic.

研究分野：情報基礎理論

キーワード：ラムダ計算 グルジェゴルチック階層 チャーチ・ロッサーの定理 範 並行簡約 隣接行列 計算の複雑さ 簡約列

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

Church と Rosser は、85 年前の AMS の論文(1936 年)で、ラムダ計算の文脈における所謂チャーチ・ロッサーの定理を示した。そして、この定理により、等式論理と計算理論が有機的な関係を持つようになった。その後、Tait, Martin-Löf, 高橋など多くの研究者が、並行変換や合流性の証明手法を研究してきた。一方、Ketema と Simonsen は、ACM の論文(Transactions on Computational Logic 14 (4), 2013 年)において、枝分かれ後合流するまでの計算ステップ数の上限は、Grzegorzcyk 階層のレベル 4 に属する原始帰納的関数で与えられることを示した。しかし、チャーチ・ロッサーの定理が主張する合流点に至るまでのステップ数の上限は未知であった。そして、この上限は階層のレベル 5 の帰納的関数に属すると同論文で予想されていた。

2. 研究の目的

ラムダ計算や書換え系に代表される簡約システムに関する**存在定理を定量的に評価可能とする**一般的な枠組みを構築することを目指す。そのために、等式の組合せパターンとチャーチ・ロッサーの定理の合流点との関係、チャーチ・ロッサーの定理が主張する合流点までの計算ステップ数(計算の道の軌跡の長さ)の上限、さらには、型の制約のもとでの上限を明らかにする。

3. 研究の方法

計算ステップ数の上限を Grzegorzcyk 階層におけるレベルから具体的に特徴付ける。また、型やソートによって制限された計算体系における存在定理についても合わせて解析をする。特に、計算の道筋の定式化、道代数や籐に対する新しい見方、および計算の道筋の組み合わせパターンと存在定理の証拠(witness)との**量的関係**などを明らかにしていくことにより、新しい研究の進展・展開を図っていく。この研究の特徴は、計算理論におけるこれまでの定性的解析と表現論における静的解析に対して、**定量的観点**を積極的に導入することである。この方法に基づき、これらの研究は、プログラム意味論、数理論理学、書換え系などに精通しており、研究実績のある分担者、連携者、および海外研究協力者と共に切磋琢磨して遂行する。

4. 研究成果

(1)チャーチ・ロッサーの定理に対して、等式の長さで合流点までの計算ステップ数の上限との関係を解明した。既存手法によるとその上限は Grzegorzcyk 階層のレベル 5 の帰納的関数と予想されていたが、上限を大幅に改善してレベル 4 に属する関数で抑えられることが明らかになった。この結果と関連する成果は、2nd Workshop on Mathematical Logic and its Application (JSPS Core-to-Core プログラム, 金沢, 2018)で研究発表を行なった。加えて、6th International Workshop on Confluence (Oxford 大学), 日本数学会秋季総合分科会(山形大学), 京都大学数理解析研究所 RIMS 研究集会(証明論と証明活動), 第 48 回書換え系研究集会(秋保), および日本数学会年会 数学基礎論分科会(東京大学)においてそれぞれ研究発表を行なった。さらに、Ludwig-Maximilians-Universität München の Helmut Schwichtenberg 教授と研究討議を行い、定理証明システム Minlog の有効な活用方法について知見を得ることができた。また、2018 年 2 月には、海外研究協力者の Aart Middeldorp 教授(University of Innsbruck, Austria)を群馬大学に招聘し講演会を開催して共同研究も行なった。

(2)本研究においてチャーチ・ロッサーの定理の上限を解明した手法は、形無しラムダ計算に限らず、Gödel のシステム T, Girard のシステム F, Pure Type Systems など型のある計算体系でも有効な枠組みであることが明らかになった。これらの研究成果は、Information and Computation (Elsevier, 2018)から研究論文として出版して、オープンアクセスとした。この**定量的解析のための枠組み**の概略を図 1 に示す。また、Swansea 大学(イギリス), Chalmers 工科大学(スウェーデン)でもそれぞれ研究発表を行なった。これらの結果と関連する研究成果については、第 49 回書換え系研究集会(伊香保), 第 21 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ PPL2019(花巻), ラムダ計算と論理の早春セミナー(草津), 日本数学会 2019 年度年会(東京工業大学)においてそれぞれ研究発表を行なった。また、第 49 回書換え系研究集会(伊香保)の幹事を担当してこの研究集会を開催した。

<http://www.cs.gunma-u.ac.jp/~fujita/TRS49/trs49.html>

なおこの研究集会には、Innsbruck 大学(オーストリア)から二人の研究者の参加・研究発表があった。加えて、Helmut Schwichtenberg 教授(München 大学), Roger Hindley 教授(Swansea 大学), Peter Dybjer 教授(Chalmers 工科大学)の海外研究協力者とそれぞれ複数回にわたり建設的な研究討議を行って、定理証明システム, 計算量, 計算体系に関する有益な知見を得ること

ができた。特に、2019年3月には、海外研究協力者の Schwichtenberg 教授 (München 大学) を群馬大学に招聘し講演会を開催した。また、共同研究も行なって、計算ステップ数の下限に関する研究討議より知見を得ることができた。

(3) 一方では、10年ほど前から継続して研究してきた計算モデルの束論的意味論に関して大きな進展があり、完全な意味論を構築することに成功した。その成果は研究分担者の倉田との共著論文にまとめて、Fundamenta Informaticae (IOS Press, 2019)から出版して、オープンアクセスとした。また、計算の道の軌跡を箎から帰納的に生成する圏論的なシステムを導入した。この体系に基づくと、計算の道はテンソル積を活用して隣接行列でコード化できることがわかった。この結果は、Theoretical Computer Science (Elsevier, 2020)から研究論文として出版された。また、チャーチ・ロッサーにおける等式のパターンと合流点までの計算の軌跡の長さとの**定量的関係の概略図を図2**に示す。これらの研究成果と関連する結果については、日本数学会2019年度秋季総合分科会(金沢大学)、京都大学数理解析研究所 RIMS 共同研究(証明論とその周辺)、第52回項書き換え系研究集会(加賀)、日本数学会2020年度年会(日本大学理工学部、社会情勢のために開催は中止されたがアブストラクトは出版された)においてそれぞれ研究発表を行なった。

(4) 合流性を示す証明手法として知られていた Z 定理を拡張して、分割統治的な新手法を導入した。そして、ラムダ・ミュー計算の値呼び・名前呼びの体系の合流性を統一的に証明することができた。この結果は、研究連携者の本田、中澤との共著論文にまとめて、Studia Logica (Springer Nature, 2021)から出版した。また、**並行簡約の計算の軌跡**を帰納的に生成する圏論的なシステムを箎の観点から導入した。これにより、計算の道はテンソル積によりエレガントに行列表現でコード化されて、計算の道の本数は隣接行列の計算で機械的に評価可能となった。さらに、計算の道の軌跡をグラフとして表現する**簡約グラフ**に関する基礎研究も行なった。Zilli は、Theoretical Computer Science (1984)の論文で、無限に多くのボトルネックを持つ簡約グラフに関する定理を示している。しかし、これには反例があることを発見した。さらに、この定理の逆向きの成立も予想されていたが、これについても反例があることがわかった。この研究成果は、京都大学数理解析研究所 RIMS 講究録から、富岡との共著論文として発表した。また、関連する研究成果は、日本数学会2020年度秋季総合分科会(熊本大学)、京都大学数理解析研究所 RIMS 共同研究 (Logic, Language, Algebraic System and Related Areas in Computer Science) において、それぞれ研究発表を行なった。

研究開始当初は、チャーチ・ロッサーの定理の定量的な解析・評価に重点を置いて研究を進めてきた。それらの知見を活かして、基本問題の可解性や計算量を複数のパラメータにより特徴づける新しい研究の発展につながることを期待される。

Given a reduction system \rightarrow with term size $| \cdot |$

(A): \exists binary relation $\Rightarrow \subseteq \Lambda^2$ and translation $*$: $\Lambda \rightarrow \Lambda$:

- 1 If $M \rightarrow N$ then $M \Rightarrow N$.
- 2 If $M \Rightarrow N$ then $M \rightarrow N$.
- 3 If $M \Rightarrow N$ then $N \Rightarrow M^*$.

(B): \exists monotonic functions $f, g: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$:
 If $M \Rightarrow N$ then $M \rightarrow^l N$ with $l \leq g(|M|)$ and $|M| \leq f(|M|)$, where f and g are respectively in the p -th and q -th levels of the Grzegorzcyk hierarchy.

Theorem (Quantitative Church-Rosser Theorem)

If $M \xrightarrow{r} N$ then there exists a term P such that $M \rightarrow^m P^{k*}$ and $N \rightarrow^n P^{k*}$ where $k \leq \min\{l, r\}$,

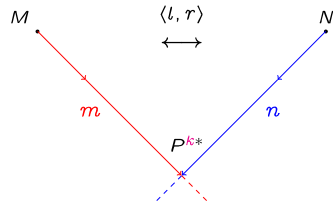
- 1 $m \leq \sum_{i=0}^{r-1} g(f^{(i)}(|M|))$, $n \leq \sum_{i=0}^{l-1} g(f^{(i)}(|M|))$, and
- 2 m, n are bounded by functions in the level of $\max\{p+1, q\} \geq 2$ of the Grzegorzcyk hierarchy. 23 / 56

図1 計算の道の長さの定量的解析の枠組みの概略

Proposition (Church–Rosser for $\lambda\beta, \lambda\beta\eta$)

If $M \xleftrightarrow[l]{r} N$ then there exists a term P such that $M \rightarrow^m P^{k*}$ and $N \rightarrow^n P^{k*}$ where

- 1 $k = \#(\leftarrow)[0, r] \leq \min\{l, r\}$,
- 2 $m \leq \sqrt{2}_{r-1}(|M|)$, and
- 3 $n \leq \sqrt{2}_{l-1}(|N|)$ for $|M|, |N| \geq 4$.



22 / 56

図2 等式のパターンと合流点までの計算の道の長さとの関係の概略図

[引用文献]

1. A. Church and J. B. Rosser: “Some properties of conversion”, Transactions of the American Mathematical Society 39 (3), pp. 472–482, 1936.
2. H. B. Curry, R. Feys and W. Craig: “Combinatory Logic” Vol. 1, North-Holland, 3rd Printing, 1974.
3. J. Ketema and J. G. Simonsen: “Least upper bounds on the size of confluence and Church-Rosser diagrams in term rewriting and lambda-calculus”, ACM Transactions on Computational Logic 14 (4), 31: 1–28, 2013.
4. M. Takahashi: “Parallel reductions in lambda-calculus”, Information and Computation 118, pp. 120–127, 1995.
5. M. V. Zilli: “Reduction graphs in the lambda calculus”, Theoretical Computer Science 29, pp. 251–275, 1984.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Fujita Ken-etsu	4. 巻 2150
2. 論文標題 A category-like structure of computational paths for parallel reduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Kyoto University, RIMS Kokyuroku	6. 最初と最後の頁 10-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 富岡峻士, 藤田憲悦	4. 巻 2150
2. 論文標題 ラムダ計算の簡約グラフ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Kyoto University, RIMS Kokyuroku	6. 最初と最後の頁 66-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Honda, K. Nakazawa, Fujita Ken-etsu	4. 巻 online
2. 論文標題 Confluence proofs of lambda-mu-calculi by Z theorem	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Studia Logica	6. 最初と最後の頁 20 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-020-09931-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kurata Toshihiko, Fujita Ken-etsu	4. 巻 170
2. 論文標題 Neighbourhood and Lattice Models of Second-Order Intuitionistic Propositional Logic	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fundamenta Informaticae	6. 最初と最後の頁 223 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/FI-2019-1861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujita Ken-etsu	4. 巻 813
2. 論文標題 A formal system of reduction paths for parallel reduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 327 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.01.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ken-etsu Fujita	4. 巻 263
2. 論文標題 The Church--Rosser theorem and quantitative analysis of witnesses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Information and Computation	6. 最初と最後の頁 52 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ic.2018.09.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Fujita	4. 巻 2083
2. 論文標題 The Church--Rosser theorem and analysis of reduction length	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kyoto University, RIMS Kokyuroku	6. 最初と最後の頁 124--136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toshihiko Kurata	4. 巻 2083
2. 論文標題 Distributive Concrete Domains and Sheaves on DI-Domains	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kyoto University, RIMS Kokyuroku	6. 最初と最後の頁 137--145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Fujita	4. 巻 235
2. 論文標題 On Upper Bounds on the Church-Rosser Theorem	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 16--31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.235.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Nakazawa, K. Fujita, Y. Imagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Z for Call-by-Value	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Workshop on Confluence	6. 最初と最後の頁 57--61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Ty, K. Fujita, K. Kawanishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Probabilistic Model Checking for Biochemical Reaction Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Queueing Symposium, Stochastic Models and Their Applications	6. 最初と最後の頁 119--128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 On formalization of logic puzzles a la Smullyan
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 RIMS共同研究「Logic, Language, Algebraic System and Related Areas in Computer Science」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 George Boolos' "The Hardest Logic Puzzle Ever" Revisited
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会 (熊本大学)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 Equational theory and reduction rules of reduction paths
3. 学会等名 日本数学会2019年度秋季総合分科会 (金沢大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富岡峻士, 藤田憲悦
2. 発表標題 ラムダ計算の簡約グラフについて
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 RIMS共同研究 「証明論とその周辺」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A category-like structure of computational paths for parallel reduction
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 RIMS共同研究 「証明論とその周辺」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 George Boolos' "The Hardest Logic Puzzle Ever" Revisited
3. 学会等名 第52回TRS研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 George Boolos' "The Hardest Logic Puzzle Ever" Revisited
3. 学会等名 日本数学会2020年度年会(日本大学理工学部)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多雄樹, 中澤巧爾, 藤田憲悦
2. 発表標題 Confluence Proof of μ Calculus by Z Theorem
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 RIMS共同研究 「証明論とその周辺」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A constructive proof of the Church--Rosser theorem
3. 学会等名 Workshop on Type Theory and Lambda Calculus (Chalmers University) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A constructive proof of the Church--Rosser theorem
3. 学会等名 End-of-Summer Logic Minisymposium (Seasea University) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Honda, K. Nakazawa, K. Fujita
2. 発表標題 Z定理を用いたlambda mu計算の合流性証明
3. 学会等名 第21回プログラミングおよびプログラム言語ワークショップPPL2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A formal system of reduction paths for parallel reduction
3. 学会等名 ラムダ計算と論理の早春セミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富岡 峻士, 藤田憲悦
2. 発表標題 ラムダ計算における簡約グラフ
3. 学会等名 ラムダ計算と論理の早春セミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山野井 涼華, 藤田憲悦
2. 発表標題 モデル検査ツールUPPAALによる衝突検知メカニズムの可視化
3. 学会等名 ラムダ計算と論理の早春セミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A formal system of reduction paths for parallel reduction
3. 学会等名 日本数学会2019年度年会 (東京工業大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakazawa, K. Fujita, Y. Imagawa
2. 発表標題 Z for Call-by-Value
3. 学会等名 6th International Workshop on Confluence (Oxford University) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A Formal System of Reduction Paths
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会 (山形大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 The Church--Rosser Theorem and Analysis of Reduction Length
3. 学会等名 Proof Theory and Proof Activity, RIMS Kyoto University
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 The Church--Rosser Theorem and Quantitative Analysis of Witnesses
3. 学会等名 ラムダ計算と論理の早春セミナー2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 A formal system of reduction paths for parallel reduction
3. 学会等名 49th TRS meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 The Church--Rosser theorem and analysis of reduction length
3. 学会等名 48th TRS meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 The Church--Rosser Theorem and Quantitative Analysis of Witnesses
3. 学会等名 日本数学会2018年度年会（東京大学）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujita
2. 発表標題 Quantitative Analysis of Reduction Length
3. 学会等名 2nd Workshop on Mathematical Logic and its Applications (JSPS Core-to-Core Program) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉田 俊彦
2. 発表標題 Sequential Algorithm の分解
3. 学会等名 京都大学 数理解析研究所 研究集会 「証明論と証明活動」
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

藤田研究室 http://www.cs.gunma-u.ac.jp/~fujita/ 第49回TRS（書換え系）研究集会 http://www.cs.gunma-u.ac.jp/~fujita/TRS49/trs49.html ラムダ計算と論理の早春セミナー2020 https://sites.google.com/view/lis2020/home ラムダ計算と論理の早春セミナー2019 https://sites.google.com/view/lis2019/home ラムダ計算と論理の早春セミナー2018 http://www.math.akita-u.ac.jp/~ryoma/workshop/lis_spring_2018/ Prof. Dr. Helmut Schwichtenberg (Munchen) 講演会 http://www.cs.gunma-u.ac.jp/~fujita/Introduction/Schwichtenberg20190313.pdf Workshop on Type Theory and Lambda Calculus (Chalmers University of Technology) https://andreasabel.github.io/wksh-tt-lambda-2018/ 2nd Workshop on Mathematical Logic and Applications (JSPS Core-to-Core Program) http://www.jaist.ac.jp/is/labs/ishihara-lab/mla2018/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	倉田 俊彦 (Kurata Toshihiko) (40311899)	法政大学・経営学部・教授 (32675)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	シュビテンベルグ ヘルムート (Schwichtenberg Helmut)	Ludwig-Maximilians-Universitat Munchen・Professor	
研究協力者	ヒンドレー ロジャー (Hindley Roger)	Swansea University・Professor	
研究協力者	ディビエ ピーター (Dybjær Peter)	Chalmers University of Technology・Professor	
研究協力者	ミッデルドープ アート (Middelorp Aart)	University of Innsbruck・Professor	
連携研究者	中澤 巧爾 (Nakazawa Koji) (80362581)	名古屋大学・情報学研究科・准教授 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

ドイツ	Ludwig-Maximilians- Universitat Munchen			
スウェーデン	Chalmers University of Technology			
英国	Swansea Univeristy			
オーストリア	University of Innsbruck			