

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 28 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2015～2019

課題番号：15KT0012

研究課題名(和文) 圏論と数理論理学によるものづくりサポート ソフトウェア科学のシステム工学への移転

研究課題名(英文) Supporting Manufacturing by Category Theory and Mathematical Logic: Transfer of Software Science to Systems Engineering

研究代表者

蓮尾 一郎 (Hasuo, Ichiro)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・准教授

研究者番号：60456762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：ソフトウェア科学の諸手法を工業製品の品質保証に応用すべく、理論と応用の両面から研究を行った。理論面では、圏論・論理学を用いた「メタ数理的移転」の方法論を謳った当初計画に加え、モデルなし形式手法や統計的機械学習などへスコープを広げながら研究を行い、40編弱の査読付き論文を出版した。これらには多数のトップ国際会議論文を含み、学術的インパクトも大きい。応用面では、10社程と個別に共同研究を実施し、課題の特定・ソフトウェアツールの作成・実課題への応用を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術面では、数学に近い意味論的研究から実践的モデルなし形式手法まで広がる幅広いトピックにおいて、多数の査読付き論文を発表した。これらの論文の多くは競争の激しいトップ国際会議で発表されており、学術的注目度は高い。また、代数的・論理的な「シャープな」構造と、統計的・数値的な「ファジーな」知識・手法との協働に関する成果は、学術的な新地平を開いたものと自負している。応用面では、ソフトウェア科学的手法の製造業における有効性を、10社程の企業との協働を通じてアピールできた。

研究成果の概要(英文)：This KAKENHI research aimed to apply techniques from software science to quality assurance of industry products. The research unified theoretical and practical developments. On the theory side, in addition to the originally featured approach of "meta-mathematical transfer" of software science techniques to industry products via category theory and logic, our expanded scope included model-less formal methods and statistical machine learning. These comprehensive research efforts resulted in almost forty refereed publications, and many among them were disseminated in top international conferences. On the application side, we conducted collaborative research with about a dozen of industry partners, in which we identified real-world needs, produced software tools, and applied our theoretical results to real-world problems.

研究分野：理論計算機科学

キーワード：物理情報システム 形式検証 テスト ハイブリッドシステム 数理論理学 統計的機械学習 圏論  
プログラム理論

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、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

工業製品のほとんどがコンピュータ制御下にある今日において、ソフトウェアの正しさはもはや「ものづくり」の主要テーマの一つである。しかし、このようなソフトウェアの品質保証において活躍すべきソフトウェア科学の既存手法の多くは、(そのままでは)ものづくりの現場に適用できない。すなわち、物理系の連続ダイナミクスや量的性能指標など、ヘテロジニアス・システムとしての工業製品のさまざまな側面は、元来プログラムの離散挙動を対象としたソフトウェア科学の埒外にあるのである。

このような新局面への対応、つまり

### 「ものづくり」すなわちシステム工学におけるソフトウェア科学的手法の活用

の重要性は欧米では早くに認識され、大規模な戦略的取り組みがすでに行われていた (NSF による cyber-physical system の重点領域指定など)。一方、国内での同種の大規模な取り組みの例が少ないことが、大きな危機意識であった。

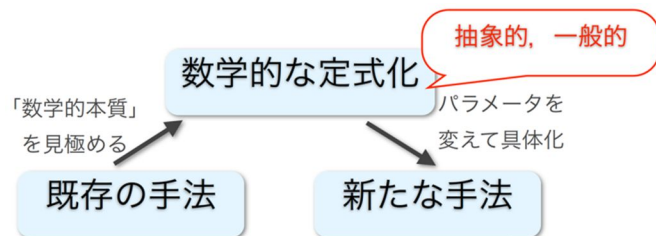
## 2. 研究の目的

研究課題名： 圏論と数理論理学によるものづくりサポート ソフトウェア科学のシステム工学への移転

### (1) ソフトウェア科学の「メタ数学的移転」

ソフトウェア科学的手法のスコープ拡大によるものづくり支援のために、本研究課題では下記のような次のような数学の応用ワークフローを用いることを目的とした(右図参照)。

- 既存のソフトウェア科学的理論(定義や定理、複数の手法の集合体)それ自体を数学的对象として定式化したのちに、
- この(形式化された)理論に対して圏論及び論理学をメタ理論として適用して、理論全体をヘテロジニアス・システムに適した形に一挙に移転することで、
- システム工学における実用に堪える革新的手法・理論を、(手法毎一つ一つでなく)理論まるごとの形で導出する。



### (2) 獲得目標： ツールの実用化によるものづくりへの貢献

本研究では戦略的獲得目標として、

新たに得られた理論的成果のうち少なくとも一つをソフトウェア・ツールとして実用化し、自動車産業の現場での利用に供することで、製品品質向上に貢献する



という目標を設定した。このために、製造業企業との既存の協力関係を活用し、一方は圏論・論理学などの抽象数学から、もう一方はものづくりの現場から、両端から同時に掘り進めることによるトンネル開通を目指した(右図)。

## 3. 研究の方法

### (1) 理論的目標： 離散から連続，定性から定量

工業製品を典型例とする物理情報システムと、ソフトウェア科学が伝統的に解析対象としてきたソフトウェアシステムとの大きな違いは、

- 後者が離散的(時間の概念がクロックにより離散的、状態空間も離散のメモリ空間)かつ定性的(品質・安全性に関する性質が yes/no question)であるのに対し、
- 前者は連続的(物理ダイナミクスは連続の状態空間において連続的時間概念のもとで動作)かつ定量的(品質・安全性に関する性質が確率や時間、安全マージンなどの定量的指標)

であることである。よって、本研究課題の目的たるソフトウェア科学のものづくり応用のためには、ソフトウェア科学の連続ダイナミクス・定量的性能指標への拡張が欠かせない。この際、ソフトウェア科学的手法の本来の数学的エッセンスを保ったまま理論的に容易に拡張が行えるよう、2-(1) 節に記載のメタ数学的移転を用いることを目指した。

## (2) 産業界での実応用

上記のような理論的成果に基づく革新的新手法をソフトウェア・ツールに結実させたのち、産業界すなわちものづくりの現場での利用に供し、工業製品（特に自動車産業）において注目される安全性や省エネ性などの品質指標の保証・向上をサポートすることを目指した。

## (3) 具体的獲得目標

3-(1) 節で述べた理論的目標に向けて、次の具体的獲得目標を設定した。

- （理論的獲得目標 A1）模倣関係による QoS の量的指標検証
- （理論的獲得目標 A2）オートマトンによる制御器生成
- （理論的獲得目標 B1）確率的システムの超準解析モデリング
- （理論的獲得目標 B2）抽象化手法 CEGAR の移転

また、3-(2) 節の応用上の目標に向けては、次の困難を同定し、これに戦略的に取り組むことにした。

- （応用上の困難 1）現場の技術者が新しい技法を実践するために必要なラーニングコスト
- （応用上の困難 2）ものづくりの現場にあらわれる巨大な問題に対応するためのスケラビリティ
- （応用上の困難 3）課題・ノウハウを秘匿しがちな企業との協働のてことなる知的財産権

## 4. 研究成果

### (1) 研究開始後のスコープの拡大

モデルあり手法からモデルなし手法へ

当初の研究計画の中心的アイデアは「ソフトウェア科学における形式検証の諸手法を、物理情報システムに拡張する」というものであり、ここで基本となる方法論は「システムの安全性・信頼性を数学的に証明する」というものであった。この方法論の利点は、システムの安全性に数学的証明という強力な保証を与えることであり、保証の強さの点でテストなどの他の方法論とは一線を画す。

しかし、物理情報システム、特に（航空宇宙などの特殊例を除く）多数の工業製品への実応用においては、上記の方法論が大きな課題を持つことが明らかとなった。すなわち、

- 数学的証明を行うためには、そこに現れる概念の数学的定義が必要となる。
- 形式検証における「定義」とは、システムの動作原理の完全な数学的記述、すなわちホワイトボックスモデルに他ならない。
- しかし工業製品の多くにおいては、ホワイトボックスモデルの構築は非常にコストが高い（しばしば不可能）。

すなわち、システムモデルという「定義」がない以上、形式検証という「証明」が遂行できないというわけである。実際のところ産業界の実応用シナリオでは、

- 解析対象となるシステムの複雑性や、
- 物理環境や統計的機械学習コンポーネントなどの不確定性、さらに
- モデリングにかかる時間と人的コスト

などの理由により、システムモデルが入手可能でないことが多い。

以上の理由により、2017 年度以降本科研費研究のスコープを大きく拡大し、

### システムモデル不在の状況における、形式検証の諸手法の研究開発と応用

を研究の大きな柱の一つとした。

上述のように、モデル（＝定義）不在の状況では、形式検証（＝証明）はそのままでは適用できない。しかし、

- モデル不在の状況で主要な品質保証手法となるテストの効率化や、
- （数学的証明ほど形式的でないものを含む）安全性の議論の論理的構造化・解析、さらに
- システムの振る舞いを通じた近似モデルの推定・構築など、

形式検証を源流とする数学的諸手法の応用範囲は広い。これらの手法を発展させ、実システムに应用することに取り組み、後述のような学術的成果と応用上の成果を得た。

統計的機械学習を研究スコープに包含

本科研費研究の開始以来、深層学習をはじめとする統計的機械学習の諸手法が急速に発展・普及し、本研究が対象とする物理情報システムに用いられることも多くなった。この趨勢を受けて研究スコープを拡大し、

- 統計的機械学習ユニットを包含する物理情報システムの品質保証、および
- 物理情報システムの品質保証において統計的機械学習を用いること、

以上の双方を追求し、後述のような学術的成果と応用上の成果を得た。

#### JST ERATO プロジェクトへの発展

本科研費研究開始後 2016 年 10 月より、本科研費研究代表者を研究総括とする JST ERATO プロジェクト「蓮尾メタ数理論理学システムデザインプロジェクト」が開始された。このプロジェクトは本科研費研究と目標を同じくしながら（数学による物理情報システム設計のサポート）、はるかに大きな規模でこれを追求するものである。本科研費研究で謳った「圏論と数理論理学によるものづくりサポート」、特に「理論のメタ数理的移転」(2-(1)節参照)を方法論の柱の一つとして、新たに

- モデル不在の状況でのソフトウェア品質保証という問題に、モデリングやテストなどの実用的手法をもって長年取り組んできたソフトウェア工学と、
- 進境著しい自動運転システムの研究を

新たにスコープに含むこの ERATO プロジェクトは、すでに多大な学術的成果と応用上の成果を収めている。

本科研費研究は 2016 年 10 月以降、上記 ERATO プロジェクトとの密接な協働のもとで実施した。

#### (2) 学術的成果

2 節に述べた目標に向けて、3 節の当初計画および 4-(1)節のように拡大した計画のもとで研究を推進し、多くの学術的成果を得た。出版した査読付き論文は 40 編弱であり、ここには AAAI, LICS, CAV, POPL, EMSOFT, TACAS などのトップ国際会議論文が多数含まれる。

以下、これらの学術的成果の内容を述べる。

#### 定理証明による形式検証に向けた論理学的成果

定理証明は形式検証の主要アプローチの一つであり、当初に掲げた理論的獲得目標 B1 の背景となっている (3-(3)節参照)。理論的獲得目標 B1 では対象を確率的システムに、アプローチを超準解析的モデリングに、それぞれ限定したが、本科研費研究が進むにつれて、より実効性・応用可能性が高い研究トピックへの取り組みを優先した結果、以下の成果を得た。

論文 [Kolcak et al., TACAS '20] では、物理情報システムの定理証明による形式検証のための論理体系である differential dynamic logic [Platzer] に立脚し、これを (システム単体に関する述語でなく) 複数のシステム間の関係へと拡張した。この拡張によりたとえば「パラメータ  $p$  を持つ自動車のモデル  $M(p)$  において、 $p_1 < p_2$  ならば、 $M(p_1)$  の衝突時の速度は  $M(p_2)$  のそれよりも小さい」といった論理的推論が可能となった。

Differential dynamic logic は、物理情報システムの定理証明において最もよく知られた論理体系である。しかしながら、実システムのモデリングの困難さや、複雑なダイナミクスの変量の発見の困難さゆえ、その応用例はトイモデルに限られるのが実情であった。本論文で述べられた拡張によって、differential dynamic logic の応用範囲は以下のように拡大された。

- シビアな不変量の発見を要求されることが多く、よって証明が難しい (単体のシステムの) 安全性問題が従来の応用範囲であったが、
- 直感的な発見が容易なことが多い不変量に基づいて証明できる、システムの振る舞いのパラメータに対する単調性の問題も応用範囲となった。

後者の単調性はたとえば「比較的最も危険な状況におけるリスクが許容範囲に収まるかテストすればよい」というように、テスト空間の削減への応用が見込まれる。

#### 形式検証の諸手法の一般化・抽象化に向けた圏論的成果

2-(1)節に述べたメタ数学的移転の方法論に直結する研究内容であり、[Komorida et al., LICS '19] [Takisaka et al., ATVA '18] [Urabe & Hasuo, CMCS '18] [Urabe & Hasuo, Inf. & Comp. '17] [Hasuo & Hoshino, APAL '17] [Cirstea et al., CALCO '17] [Urabe & Hasuo, LMCS '17] [Urabe et al., LICS '17] [Dal Lago et al., LICS '17] [Hasuo et al., MSCS '18] [Hino et al., LICS '16] [Urabe et al., CONCUR '16] [Dal Lago et al., POPL '17] [Hasuo et al., POPL '16] [Muroya et al., POPL '16] [Hasuo, TCS '15] の成果がこれに該当する。このうち多くは 3-(3)節の理論的獲得目標 A2 への貢献である。

特に論文 [Komorida et al., LICS '19] では、定性的検証と定量的検証を包摂する統一的枠組みとして、ファイバー圏への codensity lifting を用いた双模倣関係の定式化を提案した。特筆すべきは、双模倣関係の特徴づけるゲームの概念が、ファイバー圏の言葉を用いて一般的に記述できることである。よってこの成果からは、多様な双模倣関係概念に対して、ゲームを介した自動生成アルゴリズムを与える応用が将来期待できる。カバーされる種々の双模倣関係概念の中には、確率的システムの間での双模倣距離も含まれるため、双模倣距離をゲームで特徴づけた本成果は理論的獲得目標 A2 への一つの回答であると言える。

#### モデルありからモデルなしへ 1: モデルなし形式手法

4-(1)- 節に述べたように、研究期間中のスコープ拡大によってモデルなし形式手法に取り組んだ。[Waga, FORMATS '19] [Ernst et al., QEST '19] [Waga et al., CAV '19] [Zhang et

al., CAV '19] [Waga & Andre, NFM '19] [Zhang et al., EMSOFT '18] [Waga & Hasuo, EMSOFT '18] の成果がこれに該当する。

特に力を入れて取り組んだのが、

- システムの実行ログに対して、(複雑な時間的依存関係を含む)仕様が成り立つ部分を、timed automaton の理論を用いて高速に同定するモニタリングの研究、および、
- (内部の動作原理は不明だが)入出力の対応関係のみ観察可能なブラックボックスモデルに対し、確率的最適化を適用することで、対応する出力が所与の仕様を満たさない入力(「反例入力」)を高速に探索する反例生成の研究

である。以上の2トピックにおいて、特に論理的・オートマトン理論的構造を活用して確率的ヒューリスティクスの性能を向上させる研究を行い(4-(1)-節に述べた「テストの効率化」)、その成果はいくつかのソフトウェアツールに結実した。

同時に、特に反例生成の諸手法は、「システムの解析に向けて確率的最適化などの機械学習の手法とソフトウェア科学的手法・構造が協働する」という意味で4-(1)-節に述べた新スコープへの貢献になっている。

#### モデルありからモデルなしへ II: モデル学習

同じく4-(1)-節に述べたようなスコープ拡大を受けて、システムの入出力関係を観察する中から近似モデルを推定・構築し、これを利用する研究を行った。この際の理論的基盤として用いたのが、Angluin の  $L^*$  オートマトン学習アルゴリズムである。

[Okudono et al., AAAI '20] では、機械学習の一手法である recurrent neural network に対し重み付き  $L^*$  アルゴリズムを適用することで、重み付きオートマトンを近似モデルとして抽出する手法を提案した。ここで問題となるのが「いつモデル構築をやめれば良いか」(オートマトン学習のテクニカルタームで言うところの equivalence query) であるが、内部状態空間の回帰を行うことにより、構築したオートマトンの近似度合いを見積もることを提案手法では行っている。同時にこの成果は、複雑で内部の解析が難しい統計的機械学習ユニットの近似モデルを構築し解析するという意味で、4-(1)-節に述べた新スコープ(統計的機械学習とソフトウェア科学の協働)への貢献になっている。

また[Waga, HSCC '20]では、反例生成を行う際に副産物としてオートマトンによる近似モデルを構築し、このモデルをさらに反例生成の効率化に用いるアルゴリズムを提案した。この成果は特に、3-(3)節の理論的獲得目標 B2 への貢献にもなっている。

#### 確率的システムの検証

確率的システムに対し、2-(1)節に述べたメタ数学的移転の方法論による手法移転と、線形計画問題ソルバーによる効率的自動化の組み合わせを用いて、新たな手法を多数提案した [Kura et al., TACAS '19] [Takisaka et al., ATVA '18] [Urabe & Hasuo, Inf. & Comp. '17] の成果がこれに該当する。さらにこれらの知見を用いることにより、確率的ゲームの高速な近似解法を開発した [Phalakahn et al., CAV '20]。さまざまな制御問題は確率的ゲームの最適戦略を求める問題に帰結されるため、これは3-(3)節の理論的獲得目標 A2 への貢献になっている。

#### (3) 応用上の成果

2-(2)節に掲げた目標を達成した。特に、4-(2)-節に述べたモデルなし形式手法の諸手法は、適用の際にシステムモデルを準備する必要がないため適用のコストが低く、産業界の注目を大きく集めている。実際、本科研費研究の成果たるモニタリングや反例生成のためのツールを用いた共同研究が、10社程の企業と進行中である。また、4-(2)-節に述べた確率的ゲームの解法の成果は、物理情報システムの制御器生成のみならず、投資戦略の計算など多数の応用が見込まれる。

より具体的に、3-(3)節に挙げた応用上の困難には次のように対処することに成功した。

- (応用上の困難1, ラーニングコスト) システムモデルを必要としない手法に重点的に取り組んだのは、4-(2)-節に述べた通りである。残るラーニングコスト、すなわち形式仕様の記述の困難さに対しては、現在対話型支援ソフトウェアを作成中である。
- (応用上の困難2, スケーラビリティ) 4-(2)-節に述べた反例生成のアルゴリズムは、(総当たりでなく)確率的ヒューリスティクスによって探索を行うため、莫大な探索空間においても実効的な性能を発揮する場合が多い。また4-(2)-節のモデル学習アルゴリズムは、巨大すぎて全体の把握が困難なシステムの抽象化・近似モデル構築の手法とも理解できる。
- (応用上の困難3, 知的財産) 特許出願を3件行い、これらをてこに製造業企業との協働を行っている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計52件（うち査読付論文 49件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Kittiphon Phalakarn, Toru Takisaka, Thomas Haas, Ichiro Hasuo	4. 巻 未定
2. 論文標題 Widest Paths and Global Propagation in Bounded Value Iteration for Stochastic Games	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. CAV 2020, 32nd International Conference on Computer Aided Verification	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) --	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 該当する
1. 著者名 Takamasa Okudono, Masaki Waga, Taro Sekiyama, Ichiro Hasuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Weighted Automata Extraction from Recurrent Neural Networks via Regression on State Spaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. AAAI 2020, Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 5306-5314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v34i04.5977	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 Masaki Waga	4. 巻 -
2. 論文標題 Falsification of Cyber-Physical Systems with Robustness-Guided Black-Box Checking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. HSCC 2020, 23rd ACM International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3365365.3382193	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 Juraj Kolcak, Jeremy Dubut, Ichiro Hasuo, Shin-ya Katsumata, David Sprunger, Akihisa Yamada	4. 巻 12078
2. 論文標題 Relational Differential Dynamic Logic	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. TACAS 2020, 26th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems	6. 最初と最後の頁 191-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-45190-5_11	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 該当する

1. 著者名 Masaki Waga	4. 巻 11750
2. 論文標題 Online Quantitative Timed Pattern Matching with Semiring-Valued Weighted Automata	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. FORMATS 2019, 17th International Conference on Formal Modeling and Analysis of Timed Systems	6. 最初と最後の頁 3-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-29662-9_1	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 Gidon Ernst, Sean Sedwards, Zhenya Zhang, Ichiro Hasuo	4. 巻 11785
2. 論文標題 Fast Falsification of Hybrid Systems using Probabilistically Adaptive Input	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. QUEST 2019, 16th International Conference on Quantitative Evaluation of SysTems	6. 最初と最後の頁 165-181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-30281-8_10	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 該当する

1. 著者名 Yuichi Komorida, Shin-ya Katsumata, Nick Hu, Bartek Klin, Ichiro Hasuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Codensity Games for Bisimilarity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. LICS 2019, Thirty-Fourth Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LICS.2019.8785691	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 該当する

1. 著者名 Masaki Waga, Etienne Andre, Ichiro Hasuo	4. 巻 11561
2. 論文標題 Symbolic Monitoring against Specifications Parametric in Time and Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. CAV 2019, 31st International Conference on Computer Aided Verification	6. 最初と最後の頁 520-539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-25540-4_30	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 該当する

1. 著者名 Huang Chao, Naghdy Fazel, Du Haiping, Huang Hailong	4. 巻 -
2. 論文標題 Review on human-machine shared control system of automated vehicles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. ISAS2019, The 3rd International Symposium on Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISASS.2019.8757749	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 該当する

1. 著者名 Satoshi Kura, Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 11428
2. 論文標題 Tail Probabilities for Randomized Program Runtimes via Martingales for Higher Moments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. TACAS 2019, 25th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems	6. 最初と最後の頁 135-153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-17465-1_8	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 Zhang Zhenya, Hasuo Ichiro, Arcaini Paolo	4. 巻 11561
2. 論文標題 Multi-armed Bandits for Boolean Connectives in Hybrid System Falsification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. CAV 2019, 31st International Conference on Computer Aided Verification	6. 最初と最後の頁 401-420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-25540-4_23	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 Masaki Waga, Etienne Andre	4. 巻 11460
2. 論文標題 Online Parametric Timed Pattern Matching with Automata-Based Skipping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. NFM 2019, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 371-389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-20652-9_26	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 該当する



1. 著者名 Satoshi Kura, Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 11428
2. 論文標題 Tail Probabilities for Randomized Program Runtimes via Martingales for Higher Moments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. TACAS 2019, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-17465-1_8	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 Ichiro Hasuo	4. 巻 11267
2. 論文標題 Nonstandard Static Analysis: Literal Transfer of Deductive Verification Frameworks from Discrete to Hybrid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. CyPhy 2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 3-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-17910-6_1	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 Kengo Kido, Sean Sedwards, Ichiro Hasuo	4. 巻 11267
2. 論文標題 Switching Delays and the Skorokhod Distance in Incrementally Stable Switched Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. CyPhy 2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 109-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-17910-6_9	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 該当する

1. 著者名 Zhenya Zhang, Gidon Ernst, Sean Sedwards, Paolo Arcaini, Ichiro Hasuo	4. 巻 37
2. 論文標題 Two-layered Falsification of Hybrid Systems Guided by Monte Carlo Tree Search	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. EMSOFT 2018, IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems	6. 最初と最後の頁 2894-2905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCAD.2018.2858463	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 該当する

1. 著者名 Masaki Waga, Ichiro Hasuo	4. 巻 37
2. 論文標題 Moore-Machine Filtering for Timed and Untimed Pattern Matching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. EMSOFT 2018, IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems	6. 最初と最後の頁 2649-2660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCAD.2018.2857358	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 Toru Takisaka, Yuichiro Oyabu, Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 11138
2. 論文標題 Ranking and Repulsing Supermartingales for Reachability in Probabilistic Programs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. ATVA 2018, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 476-493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-01090-4_28	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 Ichiro Hasuo, Toshiki Kataoka, Kenta Cho	4. 巻 28
2. 論文標題 Coinductive predicates and final sequences in a fibration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematical Structures in Computer Science	6. 最初と最後の頁 562-611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0960129517000056	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 Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 11202
2. 論文標題 Categorical Buechi and Parity Conditions via Alternating Fixed Points of Functors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. CMCS 2018, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 214-234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-01090-4_28	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 Masaki Waga, Ichiro Hasuo, Kohei Suenaga	4. 巻 -
2. 論文標題 MONAA: a Tool for Timed Pattern Matching with Automata-Based Acceleration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. MT-CPS 2018	6. 最初と最後の頁 14-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MT-CPS.2018.00014	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 Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 252
2. 論文標題 Quantitative simulations by matrices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Information and Computation	6. 最初と最後の頁 110-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ic.2016.03.007	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 Ichiro Hasuo, Naohiko Hoshino	4. 巻 168
2. 論文標題 Semantics of higher-order quantum computation via geometry of interaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Annals of Pure and Applied Logic	6. 最初と最後の頁 404-469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apal.2016.10.010	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 Takamasa Okudono, Yuki Nishida, Kensuke Kojima, Kohei Suenaga, Kengo Kido, Ichiro Hasuo	4. 巻 10695
2. 論文標題 Sharper and Simpler Nonlinear Interpolants for Program Verification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. APLAS 2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 491-513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-71237-6_24	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 Masaki Waga, Ichiro Hasuo, Kohei Suenaga	4. 巻 10419
2. 論文標題 Efficient Online Timed Pattern Matching by Automata-Based Skipping	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. FORMATS 2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 224-243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-65765-3_13	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 Corina Cirstea, Shunsuke Shimizu, Ichiro Hasuo	4. 巻 72
2. 論文標題 Parity Automata for Quantitative Linear Time Logics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. CALCO 2017, Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CALCO.2017.7	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 該当する

1. 著者名 Takumi Akazaki, Yoshihiro Kumazawa, Ichiro Hasuo	4. 巻 257
2. 論文標題 Causality-Aided Falsification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. FVAV 2017, Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 3-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.257.2	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 Natsuki Urabe, Ichiro Hasuo	4. 巻 13
2. 論文標題 Fair Simulation for Nondeterministic and Probabilistic Buchi Automata: a Coalgebraic Perspective	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Logimal Methods in Computer Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23638/LMCS-13(3:20)2017	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 Natsuki Urabe, Masaki Hara, Ichiro Hasuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Categorical Liveness Checking by Corecursive Algebras	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. LICS 2017	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LICS.2017.8005151	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 Ugo Dal Lago, Ryo Tanaka, Akira Yoshimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 The Geometry of Concurrent Interaction: Handling Multiple Ports by Way of Multiple Tokens	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. LICS 2017	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LICS.2017.8005112	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 該当する

1. 著者名 Ichiro Hasuo, Toshiki Kataoka, Kenta Cho	4. 巻 28
2. 論文標題 Coinductive predicates and final sequences in a fibration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematical Structures in Computer Science	6. 最初と最後の頁 562-611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0960129517000056	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 Wataru Hino, Hiroki Kobayashi, Ichiro Hasuo and Bart Jacobs	4. 巻 なし
2. 論文標題 Healthiness from Duality	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. Thirty-First Annual ACM/IEEE Symposium on LOGIC IN COMPUTER SCIENCE (LICS 2016)	6. 最初と最後の頁 682-691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/2933575.2935319	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 該当する

1. 著者名 Ichiro Hasuo	4. 巻 52
2. 論文標題 Coalgebras and Higher-Order Computation: a GoI Approach	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. 1st International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction, FSCD 2016, June 22-26, 2016, Porto, Portugal. LIPIcs 52, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik	6. 最初と最後の頁 2:1-2:2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.FSCD.2016.2	査読の有無 無
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 Natsuki Urabe, Shunsuke Shimizu, Ichiro Hasuo	4. 巻 59
2. 論文標題 Coalgebraic Trace Semantics for Buechi and Parity Automata	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 27th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2016, August 23-26, 2016, Quebec City, Canada. LIPIcs 59, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik	6. 最初と最後の頁 24:1-24:15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CONCUR.2016.24	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 Ugo Dal Lago, Claudia Faggian, Benoit Valiron, Akira Yoshimizu	4. 巻 なし
2. 論文標題 The geometry of parallelism: classical, probabilistic, and quantum effects	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 44th ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2017, Paris, France, January 18-20, 2017. ACM	6. 最初と最後の頁 833-845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3009837.3009859	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 該当する

1. 著者名 Masaki Waga, Takumi Akazaki, Ichiro Hasuo	4. 巻 9884
2. 論文標題 A Boyer-Moore Type Algorithm for Timed Pattern Matching	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Formal Modeling and Analysis of Timed Systems - 14th International Conference, FORMATS 2016, Quebec, QC, Canada, August 24-26, 2016, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science 9884, Springer	6. 最初と最後の頁 121-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-44878-7_8	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 Ichiro Hasuo and Prakash Panangaden, editors	4. 巻 34
2. 論文標題 Special Issue on Quantum Physics and Logic (QPL 2014)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 New Generation Computing	6. 最初と最後の頁 1-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00354-016-0200-7	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 該当する

1. 著者名 Ichiro Hasuo, Shunsuke Shimizu, and Corina Cirstea	4. 巻 なし
2. 論文標題 Lattice-theoretic progress measures and coalgebraic model checking	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 43rd Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2016	6. 最初と最後の頁 718-732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/2837614.2837673	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 該当する

1. 著者名 Koko Muroya, Naohiko Hoshino and Ichiro Hasuo	4. 巻 なし
2. 論文標題 Memoryful Geometry of Interaction II: Recursion and Adequacy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 43rd Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2016	6. 最初と最後の頁 748-760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/2837614.2837672	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 Kengo Kido, Swarat Chaudhuri and Ichiro Hasuo	4. 巻 9583
2. 論文標題 Abstract Interpretation with Infinitesimals: Towards Scalability in Nonstandard Static Analysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation - 17th International Conference, VMCAI 2016, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 229-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-662-49122-5_11	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 該当する

1. 著者名 Shota Nakagawa and Ichiro Hasuo	4. 巻 9533
2. 論文標題 Near-Optimal Scheduling for LTL with Future Discounting	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. Trustworthy Global Computing - 10th International Symposium, TGC 2015, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 112-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-28766-9_8	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 Ichiro Hasuo	4. 巻 604
2. 論文標題 Generic Weakest Precondition Semantics from Monads Enriched with Order	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 2-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2015.03.047	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 Takumi Akazaki and Ichiro Hasuo	4. 巻 9207
2. 論文標題 Time Robustness in MTL and Expressivity in Hybrid System Falsification	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proc. Computer Aided Verification - 27th International Conference, CAV 2015, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 356-374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-21668-3_21	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 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 Masaki Waga
2. 発表標題 Online Parametric Timed Pattern Matching with Automata-Based Skipping
3. 学会等名 4th Workshop on Monitoring and Testing of Cyber-physical Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Masaki Waga
2. 発表標題 Online Parametric Timed Pattern Matching with Automata-Based Skipping
3. 学会等名 11th Annual NASA Formal Methods Symposium ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Kura
2. 発表標題 Tail Probabilities for Randomized Program Runtimes via Martingales for Higher Moments
3. 学会等名 25th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Etienne Andre
2. 発表標題 Offline timed pattern matching under uncertainty
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Engineering of Complex Computer Systems ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhenya Zhang
2. 発表標題 Two-layered Falsification of Hybrid Systems Guided by Monte Carlo Tree Search
3. 学会等名 2018 International Conference on Embedded Software ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Waga
2. 発表標題 Moore-Machine Filtering for Timed and Untimed Pattern Matching
3. 学会等名 2018 International Conference on Embedded Software (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toru Takisaka
2. 発表標題 Ranking and Repulsing Supermartingales for Approximating Reachability
3. 学会等名 the 16th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Martingale-Based Methods for Reachability Probabilities: Excitements and Afterthoughts in Coalgebras
3. 学会等名 Coalgebra, Now, a Workshop at FLoC 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Coalgebras and Higher-Order Computation: a GoI Approach
3. 学会等名 Game Semantics 25 Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Natsuki Urabe
2. 発表標題 Categorical Buechi and Parity Conditions via Alternating Fixed Points of Functors
3. 学会等名 Coalgebraic Methods in Computer Science ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhenya Zhang
2. 発表標題 Time-staging Enhancement of Hybrid System Falsification (Abstract)
3. 学会等名 3rd Workshop on Monitoring and Testing of Cyber-physical Systems ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Waga
2. 発表標題 MONAA: a Tool for Timed Pattern Matching with Automata-Based Acceleration
3. 学会等名 3rd Workshop on Monitoring and Testing of Cyber-physical Systems ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Approximating Reachability Probabilities by (Super-)Martingales
3. 学会等名 5th International Workshop on Synthesis of Complex Parameters ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Akazaki
2. 発表標題 Causality-Aided Falsification
3. 学会等名 The First International Workshop on Formal Verification of Autonomous Vehicles (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shunsuke Shimizu
2. 発表標題 Parity Automata for Quantitative Linear Time Logics
3. 学会等名 Seventh Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Natsuki Urabe
2. 発表標題 Categorical Liveness Checking by Corecursive Algebras
3. 学会等名 Thirty-Second Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Efficient Online Timed Pattern Matching by Automata-Based Skipping
3. 学会等名 15th International Conference on Formal Modelling and Analysis of Timed Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 圏論と論理学もたらず抽象化とその応用：ソフトウェアから物理情報システムへ
3. 学会等名 非線形現象の特徴化に基づく制御理論調査研究会 第4回研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 越境するソフトウェア科学--物理情報システム応用からの視点
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第34回大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Yoshimizu
2. 発表標題 The Geometry of Concurrent Interaction: Handling Multiple Ports by Way of Multiple Tokens
3. 学会等名 Thirty-Second Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Nonstandard Static Analysis: Literal Transfer of Deductive Verification Frameworks from Discrete to Hybrid.
3. 学会等名 Seventh Workshop on Design, Modeling and Evaluation of Cyber Physical Systems（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wataru Hino, Hiroki Kobayashi, Ichiro Hasuo and Bart Jacobs
2. 発表標題 Healthiness from Duality
3. 学会等名 Thirty-First Annual ACM/IEEE Symposium on LOGIC IN COMPUTER SCIENCE (LICS 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Coalgebras and Higher-Order Computation: a GoI Approach
3. 学会等名 1st International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Natsuki Urabe, Shunsuke Shimizu, Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Coalgebraic Trace Semantics for Buechi and Parity Automata
3. 学会等名 27th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ugo Dal Lago, Claudia Faggian, Benoit Valiron, Akira Yoshimizu
2. 発表標題 The geometry of parallelism: classical, probabilistic, and quantum effects
3. 学会等名 44th ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ugo Dal Lago, Ryo Tanaka and Akira Yoshimizu
2 . 発表標題 The Geometry of Concurrent Interaction: Handling Multiple Ports by Way of Multiple Tokens
3 . 学会等名 Thirty-Second Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS) 2017 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Natsuki Urabe, Masaki Hara, Ichiro Hasuo
2 . 発表標題 Categorical Liveness Checking by Corecursive Algebras
3 . 学会等名 Thirty-Second Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS) 2017 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Masaki Waga, Takumi Akazaki, Ichiro Hasuo
2 . 発表標題 A Boyer-Moore Type Algorithm for Timed Pattern Matching
3 . 学会等名 Formal Modeling and Analysis of Timed Systems - 14th International Conference, FORMATS 2016 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Wataru Hino, Hiroki Kobayashi, Ichiro Hasuo and Bart Jacobs
2 . 発表標題 Healthiness from Duality
3 . 学会等名 Thirty-First Annual ACM/IEEE Symposium on LOGIC IN COMPUTER SCIENCE (LICS 2016) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Coalgebras and Higher-Order Computation: a GoI Approach
3. 学会等名 1st International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ichiro Hasuo, Shunsuke Shimizu, and Corina Cirstea
2. 発表標題 Lattice-theoretic progress measures and coalgebraic model checking
3. 学会等名 The 43rd Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Koko Muroya, Naohiko Hoshino and Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Memoryful Geometry of Interaction II: Recursion and Adequacy
3. 学会等名 The 43rd Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, POPL 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kengo Kido, Swarat Chaudhuri and Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Abstract Interpretation with Infinitesimals: Towards Scalability in Nonstandard Static Analysis
3. 学会等名 Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation - 17th International Conference, VMCAI 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 Shota Nakagawa and Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Near-Optimal Scheduling for LTL with Future Discounting
3. 学会等名 Trustworthy Global Computing - 10th International Symposium, TGC 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Takumi Akazaki and Ichiro Hasuo
2. 発表標題 Time Robustness in MTL and Expressivity in Hybrid System Falsification
3. 学会等名 Computer Aided Verification - 27th International Conference, CAV 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 圏論の歩き方委員会 (編集)	4. 発行年 2015年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 295
3. 書名 圏論の歩き方	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 オートマトン生成装置、オートマトン生成方法及びプログラム	発明者 和賀 正樹	権利者 国立情報学研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-072577	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 情報処理装置、情報処理システム及び情報処理方法	発明者 和賀正樹、蓮尾一郎	権利者 国立情報学研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-187340	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 自動証明装置、及びプログラム	発明者 奥殿 貴仁, 他 5 名	権利者 東京大学, 京都大学
産業財産権の種類、番号 特許、2017-137949	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

蓮尾 一郎 (研究代表者) ウェブページ  
<http://group-mmm.org/~ichiro/>  
未永 幸平 (研究分担者) ウェブページ  
<https://www.fos.kuis.kyoto-u.ac.jp/~ksuenaga/>

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	未永 幸平  (Suenaga Kohei)  (70633692)	京都大学・情報学研究科・准教授    (14301)	