

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300013

研究課題名（和文）高水準ハイブリッド制約モデリング言語とその高信頼実装

研究課題名（英文）High-level hybrid constraint modeling language and its reliable implementation

研究代表者

上田 和紀（UEDA KAZUNORI）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：10257206

研究成果の概要（和文）：

連続変化と離散変化の両方を有するハイブリッドシステムの高信頼シミュレーションと検証のための高水準モデリング言語 HydLa を設計し、その宣言的意味論と実行方式を確立させた。HydLa は数学および論理学の記法を利用した宣言的記述、制約概念を活用した不確定情報の扱い、簡潔な記述のための制約階層化機能などを特徴とする。また、不確定情報の存在下でのシミュレーションや検証の正当性を確保するために離散変化の区間求解アルゴリズムを確立するとともに、HydLa の主要機能を備えた統合試作処理系を構築した。

研究成果の概要（英文）：

We have designed a high-level modeling language HydLa for the reliable simulation and verification of hybrid systems that involve both continuous and discrete changes, and established its declarative semantics and an execution algorithm. Features of HydLa include (i) declarative description employing well-established mathematical and logical notations, (ii) the use of constraints to represent and handle uncertain information, and (iii) constraint hierarchies to allow concise description. We have also established an interval-based solution algorithm of discrete changes to guarantee the correctness of simulation and verification in the existence of uncertain information, and built a prototype integrated implementation equipped with main features of HydLa.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	11,700,000	3,510,000	15,210,000

研究分野：モデリング言語

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：ハイブリッドシステム、モデリング言語、高信頼計算、制約、システム検証

1. 研究開始当初の背景

(1) 制約プログラミングとハイブリッドシステム
制約プログラミング (Constraint Program-

ming) は、現実世界の現象や問題を記述した連続・離散領域の等式・不等式制約を、制約伝播に代表される探索技術を駆使して解く記述・求解パラダイムである。人工知能と数理計画法のそれぞれの分野で進んできた研

究を融合する研究コミュニティが 1990 年代に形成され、活発に理論・応用研究が行われている。

時間の経過に伴って状態が連続変化したり、状態や方程式系自体が離散変化したりする系をハイブリッドシステムと呼ぶ。制約プログラミングは当初は静的な問題を扱ってきたが、ハイブリッドシステムを扱うハイブリッド制約プログラミングの枠組が 1990 年代に提案された。ハイブリッド制約言語 Hybrid CC は制御系から計算生物学に至るまで、多様な記述例が蓄積されてきた (Gupta V. et al., LNCS 999, Springer-Verlag, 1995, pp. 226-251)。

(2) 区間制約とハイブリッドシステム

Hybrid CC は変数のとりうる値の範囲を区間制約 (interval constraints) の形で保持する機能や非線形制約の求解機能など、多くの野心的な機能をもつ。区間制約は計算結果の信頼性を保証するために不可欠な機能であるが、ハイブリッドシステム特有の離散変化 (discrete change) を区間演算の枠組で適切に扱うことをはじめとして、言語設計と実装の両面で多くの技術課題が残されていた。

(3) 連続と離散を統合的に扱う高水準言語の必要性

系の連続変化と離散変化の両方を扱う記述体系としてはハイブリッドオートマトンやハイブリッドペトリネットがよく知られる。しかしこれらは、多数のオブジェクトやその相互作用を扱う系など、高い表現能力を要する系の記述には必ずしも適さない。ハイブリッドシステムの世界にも高水準言語が必要であるが、その設計と実装には数値計算技術と記号計算技術の統合を必要とし、著しく開拓が遅れている。さらに、ハイブリッドシステムのモデリングではシミュレーションと検証が相補的な役割をもつが、高水準プログラミング言語の枠組の中で両者を統合的に提供する研究も未熟である。

2. 研究の目的

本研究では、並行プログラミング言語の理論と実践に多くの蓄積を持つ研究代表者と、ハイブリッド制約言語の実装と応用に多くの蓄積を持つ連携研究者の知見を総合し、さらに精度保証計算、制約充足、応用分野の研究者の協力を得ることで、ハイブリッドシステムのための高水準モデリング言語とその高信頼処理系のプロトタイプを構築する。これによって記号計算・数値計算・システム検証の統合を促進するとともに、プログラミング言語の立場からハイブリッドシステムの研究の進展に貢献する。

モデリング言語とは、与えられた問題の数

学的定義をできるだけそのままの形で記述し、その実行や解析を行うことを目的とした宣言型言語であり、プログラミングを専門としない広範な技術者の利用を目指すものである。実際的なモデリング言語の確立のためには、理論計算モデルの上に高水準言語に必要な機能を構築し、さらにそれを実装して有効性を示さなければならないが、本研究ではその中で、ハイブリッドシステムのための制約概念に基づく高水準モデリング言語 (以下、高水準ハイブリッド言語) の設計およびその高信頼実装の 2 点に焦点を絞り、以下の研究項目に取り組む。

(1) 高水準ハイブリッド言語の設計論

ハイブリッドオートマトンと比べて格段に高い記述能力をもつ高水準ハイブリッド言語に必要な機能の抽出と設計を行う。宣言型計算モデルおよび高水準プログラミング言語の設計実装経験をベースとして、以下の機能を具体的に確立する。

- ・ モデリングに必要な高水準制御構造およびデータ構造
- ・ 現実的なモデリング対象の各構成要素を記述するための部品化・抽象化機能
- ・ 部品の特性をパラメタ化する機能
- ・ 系の性質 (安全性, 到達可能性等) の検証や系の望ましいパラメタを決定するための探索機能

(2) 高水準ハイブリッド言語の高信頼実装

連続と離散を含む系のシミュレーション・設計・検証においては、計算結果の保証のために区間演算機能が本質的に重要となる。連続値の計算における誤差が条件判断に影響を及ぼし、定性的に異なる計算結果をもたらすためである。しかし区間演算の枠組での条件判断は真偽を決定できない場合を含むため、適切な実装方式は自明でない。このことから本研究では、結果の正しさが保証できかつ高性能な実装技術の確立を目指して、上記設計論の各項目に対応する下記の項目に取り組む。

- ・ 区間演算の枠組の中での条件判断の適切な処理方式の設計と実装
- ・ 高水準言語のもつ部品化能力を活用した階層的な計算
- ・ 高水準言語のもつパラメタ化能力を活用したパラメタ付きの系の計算
- ・ 探索機能に代表される拡張実行機能の実現

3. 研究の方法

ハイブリッドシステムのための高水準モデリング言語 HyDLa とその高信頼処理系の構築を目指して、(i) 高水準言語の仕様検討、

(ii) 高信頼実装方式の検討, (iii) 言語の記述性・有効性確認の三つの柱を立て, 知見を相互にフィードバックさせつつ研究を展開した。

2008年度は, 主として言語の基本設計および要素技術の確立を目指して, 以下の研究を実施した。

- (1) ハイブリッドオートマトンと比べて格段に高い記述能力を持つ高水準モデリング言語が備えるべき要件を以下の観点から検討し, それに基づいてHydLaの基本設計を行った。
 - ・ハイブリッドシステムの定式化においては, 計算誤差やモデリング対象の観測・制御誤差を区間制約概念を用いて適切に扱う必要がある。そこで望ましい理論的性質をもつハイブリッド制約言語のための基本制御構造を検討した。
 - ・モデリング対象の構成要素の特性を個別に記述するための部品化機能や, 部品にパラメータを持たせるパラメータ化機能は, 現実規模の系のモデリングにおいて不可欠であり, モデルの再利用に加えて求解結果の再利用という重要な役割も演ずる。そこでプログラミング言語設計における部品化・パラメータ化機能を参考にしつつ, モデリング言語における同機能を検討した。
 - ・HydLaの構築は, 本研究グループにおけるHybrid CCの記述経験と分析に基づいている。Hybrid CCを出発点としてHydLaの設計を行うために, 研究室の大学院生と協力してHybrid CCプログラムの蓄積をさらに進め, HydLaに求められる要件およびHybrid CCの記述・求解機能の問題点の抽出材料とした。
- (2) 不確定情報の存在下でハイブリッドシステムのシミュレーションや検証の正当性を確保するためには, 連続系の精度保証計算で必要となる区間演算技術に加えて, 離散変化の発生時刻とそのときの状態を区間求解する技術が必要となる。区間幅の爆発を抑えつつ結果の正当性が保証できる体系とアルゴリズムを開発するとともに, 将来の処理系構築を目指して, 最新の非線形制約求解系であるRealpaverやElisa, および常微分方程式求解系であるVNODE-LP等の機能や構造の解析と改良を行った。

2009年度は, 前年度の検討成果の発展およびプロトタイプ処理系の構築を目指して, 以下の研究を行った。

- (1) HydLaの言語仕様について, 意味論および記述能力の検討を引き続き行った。特にHydLaの特徴である制約の階層化機能は, 高水準言語の枠組みでの先行研究がほとんどなく, 多面的な検討を要するため, 事項の処理系構築とも連携させつつ検討を実施した。
- (2) HydLaのプロトタイプ処理系の構築を大学院生の協力を得て行った。プログラミング言語やモデリング言語の設計上の問題点や有効性を明らかにする最善の方法は早期に試作処理系を構築することであり, 実際, 処理系作成を通じて言語仕様の細かな側面の解明や改良を推進した。
- (3) ハイブリッドシステムの高信頼計算に必要な離散変化の区間求解法の拡張改良を行うとともに, HydLaのシステム検証への展開の予備研究として, 本技法を利用してハイブリッドオートマトンの到達性検証を行う手法を開発した。

2010年度は, 前年度までの研究成果に基づいてHydLa言語の仕様を確立と検証系への発展の基礎となる非決定実行方式検討を中心に次の研究を展開した。

- (1) 前年度までの言語仕様検討, プロトタイプ処理系開発, プログラム記述例蓄積の成果を踏まえて, 高水準ハイブリッド制約言語HydLaの言語機能および意味論を確立させた。
- (2) 通常のハイブリッドシステムのシミュレーションは不確定性をもたない系に対して考えられてきたが, HydLaのためのシミュレーションアルゴリズムすなわち操作的意味論は, 初期値が確定的でない系やパラメータをもつ系にも対処する必要がある。このような系は離散変化の発生に関して初期値やパラメータに依存する非決定性をもつが, それに対応する操作的意味論を確立させた。
- (3) 上記の言語仕様と実行方式を反映させたプロトタイプ処理系を構築した。

4. 研究成果

本研究によって, 制約概念に基づく新たなハイブリッドシステムモデリング言語HydLaの基本設計を, その宣言的意味論および実行方式とともに確立させることができた。HydLaの特徴は, 制約階層概念の採用によって制約条件を過不足なく与えることを容易にした点と, 数学や論理学の記法の活用によって簡明な構文と意味論を与えることができた点

である。

【HydLa 言語の概要】

ハイブリッドシステムを簡潔に表現するには、階層化を用いたデフォルトや例外の表現が重要な役割を果たす。たとえば床に落下して弾むボールを考えると、ほとんどの時刻ではボールの速度変化は重力加速度から定まるが（デフォルト）、床との衝突のときは衝突の方程式から定まる（例外）。このような系の軌道を well-defined に定めるには、系がしたがうべき方程式の候補集合に対して半順序構造を与え、その構造の中で極大無矛盾な集合を採用するのが数学的に簡明な方法であると考えた。以下に弾むボールの HydLa プログラムを掲げる。

INIT \Leftrightarrow ht=10 ^ ht'=0.

PARAMS \Leftrightarrow □(g=9.8 ^ c=0.5).

FALL \Leftrightarrow □ (ht''=-g).

BOUNCE \Leftrightarrow □ (ht=-0 \Rightarrow ht'=-c*(ht' -)).

INIT, PARAMS, (FALL << BOUNCE).

最初の 4 行は制約モジュールの定義である。制約モジュールは、制約の集合を構成したり優先度をつけたりするときの単位となる。定義右辺の制約式の中の ' は時間微分、後置演算子 - は軌道の左からの極限、□ は時相演算子 always を表す。どの制約も時刻 0 における制約を表現しているが、INIT 以外は □ がついているためすべての非負時刻で成立する。BOUNCE のように \Rightarrow を含む制約を条件付き制約と呼ぶ。□ のついた条件付き制約は、前件（ガード条件）が成り立つ各時点で後件の制約が課される。

最後の 1 行で 4 つの制約モジュールを組み合わせている。カンマは優先度をつけない合成で、<< は BOUNCE に FALL よりも高い優先度を与える。この例では、ボールが空中にあるときは 4 つの制約がすべて採用され、床にぶつかった瞬間は FALL と BOUNCE とが矛盾するため {INIT, PARAMS, BOUNCE} が極大無矛盾集合として採用される。

【HydLa の宣言的意味論の確立】

上記で概要を示した HydLa の言語設計と並行して、本研究では宣言的意味論および実行アルゴリズム（操作的意味論）の検討を進め、知見を相互にフィードバックさせながらこれらを完成させた。

HydLa が記述の対象とする系は、可算個の区分的に連続な実数値関数 $x_1(t), x_2(t), \dots$ ($t \geq 0$) で表現されるが、HydLa プログラムは、時間の推移とともに連続もしくは離散的に変化するこれらの関数（軌道）に関する制約条件を与える。HydLa プログラムの解軌道を規定する制約集合は、極大無矛盾集合の変化と、条件付き制約の前件の成立による後件の

追加という二つの理由で動的に変化するが、HydLa プログラム P の宣言的意味が、軌道群 $\{x_i(t)\}_{i \geq 1}$ およびガード条件の成立履歴の対が P を充足するという関係として定義できることを明らかにした。

【HydLa の実行アルゴリズムの確立】

HydLa の実行アルゴリズムは、プログラムを宣言的意味論に従って正しく実行することを目的としている。これに立脚して構築する HydLa 処理系は、数式処理と区間計算を適切に組み合わせる精度保証シミュレーションを行い、最終的に検証系に発展させることを目標としており、それに向けて以下の三つの柱から実行アルゴリズムの研究を進めた。

- (1) 不確定性をもたず、解軌道が一意に決まるモデルの数式処理に基づく実行アルゴリズムの確立
- (2) システムの初期値が範囲で与えられたモデルや記号パラメタを用いて表現したモデルなど、解軌道が一意に決まらないモデルの非決定実行アルゴリズムへの (1) の拡張
- (3) 常微分方程式の区間解析に基づく求解手法と、非線形問題の区間制約伝播手法を用いた求解手法を統合することにより、ハイブリッド軌道の指定精度での完全な区間包囲を効率良く求める手法の確立。

(1) によって、制約階層や含意制約をもつモデルのシミュレーションを、連続変化フェーズと離散変化フェーズを交互に切り替えてながら進める方式を確立させた。

(2) では、条件付き制約の条件部以外に現れる制約が一意的な解を持たないようなモデルも扱えるように (1) を拡張した。このようなモデルでは条件の成立不成立が一意に定まるとは限らないため、一般に解が定性的に分岐してゆく。つまり離散変化の順序が定性的に異なってくる。(2) の実行アルゴリズムはそのすべての分岐を非決定アルゴリズムとして計算する。アルゴリズム中で使用している微分方程式の求解手続きや制約の充足可能性判定手続きが計算可能である限り、記号的なシミュレーションができるため、検証への展開が期待できる。

(3) は、微分方程式が解析的に求解できない場合の高信頼実行アルゴリズムの要素技術となるものである。常微分方程式の区間解法および非線形代数方程式の区間解法はそれぞれ多くの研究があるが、ハイブリッドシステムが離散変化を起こす時刻や状態の区間包囲を的確かつ高速に求めるには両者を統合する手法が必要となり、その開発を行った。

【プロトタイプ処理系とツールの構築】

言語設計, 宣言的意味論, 実行アルゴリズムの三者の妥当性を確認するため, HydLa のプロトタイプ処理系の構築を行った. 本処理系の主要部は C++ で記述され, 規模は約 2 万行である. 制約階層の前処理, 極大無矛盾集合の探索, 制約集合の求解など, 実行に必要な個別の機能をできるかぎり独立させ, アルゴリズムの評価実験や変更に対応できるようにした. 微分方程式を含む制約集合の求解機能は本体側から見ると仮想化されており, 仮想ソルバの機能を数式処理系や区間求解系などの外部ソルバで実装して組み込むことでモデルの実行を可能にしている.

プロトタイプ処理系と並行して, HydLa を用いたモデル検査の予備研究として有界モデル検査ツール hydlogic の設計と開発を行った. hydlogic は非線形ハイブリッドシステムの到達可能性問題を述語論理式に変換し, SMT ソルバを用いてその充足可能性を判定する. 満たすべき制約を生成するインクリメンタルな SAT ソルバと, 生成されたハイブリッド制約系を解く区間ソルバ (HCS ソルバ) とを密に統合したシステムである. HCS ソルバは状態空間中の離散変化の発生箇所を区間包囲で特定するが, 区間ニュートン法の性質を利用して, 離散変化の発生のみならずその一意性を厳密に保証する. hydlogic ツールが, 非線形制約をもつ問題を含むいくつかの例題を適切に扱うことを評価実験で確認した.

【研究の特色と独創性】

本研究は, 従来主に制御工学の観点から研究の進んできたハイブリッドシステムに対して, 新たに高水準言語の設計論・実装論の立場からアプローチした点が最大の特徴である. また, 連続と離散を統合的に扱うパラダイムとして制約概念を全面的に採用したことも大きな特徴である.

高水準ハイブリッド言語の先駆である Hybrid CC との対比では, 処理系の分析や記述実験で判明した記述性, 計算の信頼性, スケーラビリティの問題に対処すべく, 各言語機能を基本から再検討するとともに新たな実装技術を開拓した点が特徴である.

区間演算に基づく高信頼計算技術は数値計算分野でもますます重要となってきたが, その視点からの本研究の特色は, プログラミング言語が本質的に持っている離散的制御構造 (条件判断と分岐) の存在下での高信頼計算手法を確立した点である.

【研究の意義と波及効果】

本研究は, プログラミング言語分野の研究としては数多くの関連領域との接点をもつことを特徴とする. 区間制約およびハイブリッド制約言語は計算生物学 (代謝経路解析等)

やロボティクス分野を含む広範な分野に積極的に適用されつつあり, 強力なモデリング言語の確立は学際的な波及効果をもつ.

また, 高水準・高信頼モデリング言語の実用化は, 必ずしもプログラミングの専門家ではない広範な技術者が, ハイブリッドシステムのモデリング, 解析, 検証作業を行うことを容易にする点と, 解析・検証結果の正当性保証が得られる点において, 情報科学にとどまらず工学全体への今後の貢献が期待される.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Daisuke Ishii, Kazunori Ueda, Hiroshi Hosobe, An Interval-based SAT Modulo ODE Solver for Model Checking Nonlinear Hybrid Systems, Int. J. Softw. Tools. Technol. Transfer, Vol. 13, 2011. (掲載決定, 査読有)
2. 渋谷俊, 高田賢士郎, 細部博史, 上田和紀, ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa 処理系における実行アルゴリズム, コンピュータソフトウェア, Vol. 28, No. 3, 2011. (掲載決定, 査読有)
3. 上田和紀, 細部博史, 石井大輔, ハイブリッド制約言語 HydLa の宣言的意味論, コンピュータソフトウェア, Vol. 28, No. 1, 2011, pp. 306-311. (査読有)
4. 石井大輔, 上田和紀, 細部博史, ハイブリッドシステムの高信頼シミュレーションのための区間に基づく制約伝播手法, 情報処理学会論文誌 数値モデル化と応用, Vol. 1, No. 1, 2008, pp. 149-159. (査読有)

[学会発表] (計 19 件)

1. 松本翔太, 高田賢士郎, 細部博史, 上田和紀, ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa の処理系による非決定性の扱い, 第 13 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 (PPL2011), 2011 年 3 月 9 日, 札幌.
2. 高田賢士郎, 渋谷俊, 細部博史, 上田和紀, ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa の数式処理実行系, 情報処理学会第 73 回全国大会, 2011 年 3 月 2 日.
3. 上田和紀, 細部博史, 石井大輔, ハイブリッド制約言語 HydLa の宣言的意味論, 日本ソフトウェア科学会第 27 回大会, 2010 年 9 月 14 日, 津田塾大学.
4. 渋谷俊, 高田賢士郎, 細部博史, 上田和紀, ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa 処理系における実行アルゴリズム

- ム,日本ソフトウェア科学会第27回大会,2010年9月13日,津田塾大学.
5. 渋谷俊,高田賢士郎,上田和紀,細部博史,ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa 処理系の実行アルゴリズムの検討,第8回ディペンダブルシステムワークショップ,2010年7月22日,函館.
 6. 大谷順司,廣瀬賢一,石井大輔,細部博史,上田和紀,ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa の区間制約に基づく全解シミュレーション実行処理系,情報処理学会創立50周年記念(第72回)全国大会,2010年3月9日,東京大学.
 7. 高田賢士郎,廣瀬賢一,大谷順司,石井大輔,細部博史,上田和紀,ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa の統合処理系,第12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(PPL'10),2010年3月4日,香川県琴平温泉.
 8. 大谷順司,廣瀬賢一,石井大輔,上田和紀,不確定値を持つハイブリッドシステムの高信頼なシミュレーション手法,第6回ディペンダブルシステムシンポジウム,2009年12月15日,大阪大学.
 9. 廣瀬賢一,大谷順司,石井大輔,細部博史,上田和紀,制約階層によるハイブリッドシステムのモデリング手法,日本ソフトウェア科学会第26回大会,2009年9月16日,島根大学.
 10. Daisuke Ishii, Kazunori Ueda, Hiroshi Hosobe, An Interval-based SAT Modulo ODE Solver for Model Checking Nonlinear Hybrid Systems, Workshop on Verified Software: Theory, Tools, and Experiments (VSTTE'09), 2009年11月2日,オランダ・アイントホーフェン.
 11. Daisuke Ishii, Kazunori Ueda, Hiroshi Hosobe, Alexandre Goldsztejn, Interval-based Solving of Hybrid Constraint Systems, The 3rd IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems (ADHS'09), 2009年9月17日,スペイン・サラゴサ.
 12. 廣瀬賢一,大谷順司,石井大輔,細部博史,上田和紀,制約概念に基づくハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa の実装,第11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(PPL2009),2009年3月10日,高山.
 13. D. Ishii, K. Ueda, and H. Hosobe, Simulation of Hybrid Systems based on Hierarchical Interval Constraints, 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools'09), 2009年3月4日,ローマ.
 14. 石井大輔,上田和紀,細部博史,微分制約論理式によるハイブリッドシステムのモデリングと検証,電子情報通信学会コンカレント工学研究会,2009年2月30日,横浜.
 15. 上田和紀,石井大輔,細部博史,制約概念に基づくハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa,第5回システム検証の科学技術シンポジウム(SSV'08),2008年11月17日,筑波大学.
 16. 上田和紀,石井大輔,細部博史,制約概念に基づくハイブリッドシステムモデリング言語,日本ソフトウェア科学会第25回大会,2008年9月11日,筑波大学.
 17. 廣瀬賢一,石井大輔,上田和紀,区間演算を用いたODE Solverにおける任意精度演算の導入とパラメタ最適化,FIT2008 第7回情報科学技術フォーラム,2008年9月3日,慶応義塾大学.
 18. 石井大輔,上田和紀,細部博史,ハイブリッドシステムの高信頼シミュレーションへの区間ニュートン法の適用,第6回ディペンダブルシステムワークショップ(DSW'08summer),2008年7月3日,函館.
 19. 大野善之,石井大輔,上田和紀,数式処理・Quantifier Eliminationを用いたハイブリッドシステムのZeno状態の導出手法,人工知能学会第22回全国大会,2008年6月11日,旭川.
- [その他]
ホームページ等
<http://www.ueda.info.waseda.ac.jp/hydla/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
上田 和紀 (UEDA KAZUNORI)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 10257206
 - (2) 研究分担者
なし
 - (3) 連携研究者
石井大輔 (ISHII DAISUKE)
早稲田大学・理工学術院・客員次席研究員
研究者番号: 00454025
細部博史 (HOSOBЕ HIROSHI)
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: 60321577