

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 27 日現在

機関番号：34419  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22500040  
 研究課題名（和文） 時間概念を導入した Ambient Calculus による物流システムの記述  
 研究課題名（英文） Timed Extension of the Ambient Calculus and its Application for Freight System Specifications  
 研究代表者  
 樋口 昌宏（HIGUCHI MASAHIRO）  
 近畿大学・理工学部・准教授  
 研究者番号：00238289

研究成果の概要（和文）： 多数の貨物を扱う時間制約を含む物流計画の形式記述のための枠組みという観点から、Ambient Calculus の拡張について検討を行った。時間制約記述のため、ケーパビリティに有効期限付きのものを導入し、時間経過遷移を導入することにより、タイムアウト動作などが記述できる時間付き Ambient Calculus を提案した。一方、多数の類似する貨物を扱う物流を適切に表現するため、プロセス式の組により物流システムを記述する多重 Ambient Calculus を提案した。また、それらの拡張を施した Ambient Calculus におけるモデル検査、および記述に基づいて物流管理を行う物流監視システムの構築について検討した。

研究成果の概要（英文）： We investigate extensions of the Ambient Calculus for specifying freight systems, which include various timing constraints and deal more than thousands of container objects. For specifying timing constraints, we propose the Timed Ambient Calculus by introducing capabilities with expiration time, waiting capability, and special ambient to express timing violation. For dealing with large amounts of container, we propose the Multiple Ambient Calculus, which enables us to model freight systems by a set of formulas. We also investigate model checking on the extended calculus and the way for constructing distribution monitoring systems based on the formulas in the extended calculus.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：仕様記述・仕様検証、プロセス代数、モデル検査

## 1. 研究開始当初の背景

海上物流などでは貨物の取扱量が増大し、貨物の管理あるいは物流全体の監視ないし

管理の重要性がますます高まりつつあり、物流管理の信頼性の向上が重要になってきている。一方、近年の CPU の高性能低価格化、

各種記憶装置の小型化大容量化、無線通信を含むコンピュータネットワークの普及と高速化に加え、IC タグで代表される各種センシングデバイスの小型化低価格化により、従来人手で行われた物流管理業務のアプリケーション化が可能となってきた。物流計画をオートマトンやプロセス代数などの形式的枠組みを用いて厳密に記述し物流計画の正当性を検証し、記述に基づいて物流管理システムを構築することが、物流管理の信頼性向上に対する要求に応える一つの有力な手法となりうると期待されている。

移動体コンピューティングあるいは移動型計算のモデル化のために開発されたプロセス代数である Ambient Calculus は通常のプロセス代数で扱われているコンポーネントの生成や消滅、コンポーネント間の通信に加えて、コンポーネントの他のコンポーネントの内部への出入りを記述することができ、この特徴により動的な階層構造を持つ多数のコンポーネントからなるシステムを自然に記述することが可能であるとされている。われわれは従来より Ambient Calculus のそのような特徴に着目し、物流計画の Ambient Calculus による記述と、記述された式の直接実行システムを利用した物流検査システムの構築に関する研究、ならびに物流計画を記述した Ambient Calculus 式のモデル検査に関する研究を進めている。

## 2. 研究の目的

本研究では物流計画を忠実に記述することに焦点を絞り、Ambient Calculus の拡張についての検討を行う。

(1) 時間制約を含む物流計画を記述することができるよう、Ambient Calculus を拡張する。

(2) 多数の貨物を扱う物流の記述を、物流計画が本来持っている対称性、並行性を保ったままプロセス式として記述できるよう、Ambient Calculus を拡張する。

(3) 拡張した Ambient Calculus で記述した物流計画が所期の性質を満たしていることを確認するための効率の良いモデル検査手法について検討する。

(4) プロセス式に基づいて物流計画の実行を監視管理するシステムの構築法について検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 時間制約を含む物流計画を記述するため Ambient Calculus の構文規則に時間制約を記述するための構文要素を追加し、遷移規則に新たに追加した構文要素のための規則お

よび時間経過を表現するための規則を追加するような形で拡張する。時間拡張した Ambient Calculus を用いて物流システムや交通システムなどの例題を記述することにより、その記述性を評価する。

(2) Ambient Calculus ないしは時間付き Ambient Calculus で実際の海上物流などの物流計画を記述しようとする場合、取り扱う貨物の数が数千個規模のものとなるためプロセス式が複雑なものになってしまう。しかし通常の物流計画では同じような取扱いを要求する貨物が多数存在するといった対称性、それらの取扱いは任意の順序で行われて良いという並行性が存在するので、そのような性質を直接的に表現することにより、規模は大きくとも単純な構造を持つプロセス式で記述することができるような枠組みについて考案する。考案した枠組みで多数の貨物を取り扱う海上物流を記述し、その有効性を評価する。

(3) 本研究では、時間遷移の導入、大規模な物流計画の記述を想定しているため、モデル検査の際の効率が問題となる。記号モデル検査の手法、記述対象の対称性・並行性を活用した Ambient Calculus もしくはそれを拡張したプロセス代数のためのモデル検査手法を考案する。考案したモデル検査手法に基づくモデル検査システムを実装し、物流計画の正当性の検証実験を行うことにより有効性を評価する。

(4) プロセス式に基づく物流監視システムの構築法について検討し、既存の Ambient Calculus の直接実行システムを拡張する形で開発する拡張 Ambient Calculus の直接実行システムを利用して、物流監視を行うパイロットシステムを構成し、物流監視システム構築における諸問題の抽出と解決を行う。

## 4. 研究成果

(1) 時間制約を含む物流計画を表現するため時間付き Ambient Calculus を提案した。このため従来の Ambient Calculus に有効期限付きケーパビリティ、指定した時間待機することを表すケーパビリティ、指定した時間内に指定したケーパビリティが消費されなかったことを表す特別なアンビエントを導入した構文規則、遷移規則を定めた。さらに、時間付き Ambient Calculus を用いることによりタイムアウト動作を記述できること、2つのイベントの発生間隔の上限と下限を指定できることなどを示し、また、押しボタン式信号機を持つ横断歩道モデル、海上物流システムなどのいくつかの例題に対するプロセス式を記述することにより、様々な時間制

約を含むシステムの記述に活用できることを確認した。

(2) 多数のオブジェクトからなる物流計画を単純な構造を持つ式で記述することを可能とするため、共通のアンビアントを含む二つ以上のプロセス式の組で物流計画全体を表現する多重 Ambient Calculus を提案した。多重 Ambient Calculus では、各プロセス式中のアンビアントの名前は共通名と個別名に分ける。そして共通名を持つアンビアントに関する遷移はそれらの名前を共有するプロセスすべてで同時に発生する、という制約を遷移規則に導入することによりプロセス間の同期を表現する。多重 Ambient Calculus では物流計画を複数のプロセス式に分けて記述することができるため、一つのプロセス式では一つの貨物の取り扱いのみを記述するというスタイルが可能になる。そのようなスタイルで物流計画を既述すれば、個々のプロセス式は、直接関係しないアンビアントの振舞いを一切記述する必要がないので比較的単純な構造の式として記述できる。また、名前のみが異なり同様の取り扱いを要求する貨物が複数存在することを直接的に表現することができる。以上の特徴により多重 Ambient Calculus により物流計画が本来持っている対称性・並行性を適切に表現できる。また、ある物流計画に対して貨物の追加もしくは削除を行う際には、一つのプロセス式の追加・削除のみを行えばよいので通常の Ambient Calculus の場合と比較して、修正作業が格段に簡略化される。また、その追加・削除が他の貨物の物流計画に影響を与えないことを保証する枠組みとして弱双模倣等価関係に注目し、その判定方法を与えた。

(3) Ambient Calculus もしくはそれを拡張したプロセス代数で記述された物流計画が、Ambient Logic の論理式で指定された物流計画の初期の性質を満たすことを確認するためのモデル検査手法の検討、その実装、および検証実験を進めた。まず、通常 Ambient Calculus のプロセス式に内在する並行性を検出し、それに基づく枝刈りを行うことで、状態空間爆発を抑制し、100 個規模の貨物を取り扱う海上物流のモデル検査が一般的な PC を用いて数時間程度で完了することを確認した。物流計画の持つ並行性、対称性を直接的に表現できる多重 Ambient Calculus では並行性の検出のためのオーバーヘッドなしで枝刈りができ、より一層の効率化が期待できる。

さらに、多重 Ambient Calculus では、弱双模倣等価性を用いて、同種の取り扱いを要求する多数の貨物を含む物流計画のモデル検査を、本来の物流計画からそのような貨物

に関するプロセス式を一つのみ残してすべて除去して得られる物流計画のモデル検査に帰着できることを示し、それに基づく検証法を提案した。提案した検証法では同種の扱いを要求する貨物が多数存在する場合、貨物の数に依存することなくモデル検査が行える。そのような検証法に基づくモデル検査系を実装し、貨物の種類が 3 種類の場合には一般的な PC により 10 秒程度でモデル検査が完了することを確認した。

時間付き Ambient Calculus のモデル検査については記号モデル検査の手法を利用した効率的なモデル検査法を検討中である。

(4) 時間付き Ambient Calculus、多重 Ambient Calculus で記述されたプロセス式に基づく物流監視システムの構築について検討を進めた。特に多重 Ambient Calculus で記述されたプロセス式に基づく物流監視については、UHF 帯 RFID 機器を用いて貨物の動きを検出するシステムと連動して、模擬的な海上物流を監視するシステムを構築し、その実現性を確認した。

#### 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 2 件)

- ① 樋口昌宏、森田哲平、加藤暢：多重 Ambient Calculus による物流記述に対する弱双模倣等価性を用いたモデル検査、情報処理学会論文誌 プログラミング、査読有り、5 巻、3 号、2012、50-60
- ② 樋口昌宏、加藤暢：物流システム記述のための多重 Ambient Calculus、情報処理学会論文誌 プログラミング、査読有り、5 巻、2 号、2012、79-87

[学会発表] (計 8 件)

- ① 樋口昌宏：時間付き Ambient Calculus、情報処理学会プログラミング研究会、2013-01-15、奄美市
- ② 橋本隆弘、加藤暢、樋口昌宏：多重 Ambient Calculus と UHF 帯 RFID 機器を用いた海上物流監視システム、情報処理学会プログラミング研究会、2013-01-15、奄美市
- ③ Toru Kato and Masahiro Higuchi, A Handling Management System for Freight with the Ambient Calculus and UHF tags, 15th International Conference on Network-Based Information Systems, 2012-09-26, Melbourne, Australia
- ④ 橋本隆弘、加藤暢、樋口昌宏：多重

Ambient Calculus を用いた物流管理システムの構築に関する研究、情報処理学会第 74 回全国大会、2012-03-07、名古屋市

- ⑤ 樋口昌宏、森田哲平、加藤暢：多重 Ambient Calculus による物流記述に対する弱双模倣等価性を用いたモデル検査、情報処理学会プログラミング研究会、2012-01-24、久米島町
- ⑥ 樋口昌宏、加藤暢：物流システム記述のための多重 Ambient Calculus、情報処理学会プログラミング研究会、2011-11-02、横浜市
- ⑦ 村山静香、樋口昌宏：Ambient Calculus の時間拡張とそれに基づく物流監視システム、情報処理学会第 73 回全国大会、2011-03-03、東京都目黒区
- ⑧ 森田哲平、加藤暢、樋口昌宏：Ambient Logic モデル検査におけるプロセス式のグループ化による検証の効率化、情報処理学会第 73 回全国大会、2011-03-03、東京都目黒区

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

樋口 昌宏 (HIGUCHI MASAHIRO)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号： 00238289