

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330095

研究課題名(和文) Ambient Calculusの拡張とそれに基づく物流監視システムの構築

研究課題名(英文) Extension of the Ambient Calculus and Freight Management Systems based on it

研究代表者

樋口 昌宏 (HIGUCHI, Masahiro)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：00238289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：物流計画の記述に適用するためのAmbient Calculusの拡張として多重アンビアント計算(MAC)、混合型時間アンビアント計算(HTAC)を策定し、その応用として物流計画の記述スタイルの検討、モデル検査手法、物流監視システムの構築法について検討した。記述スタイルについてはHTACを対象にプロセス式が物流計画として妥当とみなせる条件を提示した。モデル検査手法についてはHTACを対象として、合同的性質を活用した検査の効率化手法を検討した。物流監視システムの構築についてはMACによる物流記述を対象にUHF帯RFID機器を利用した監視システムの構築および模擬的な監視実験により実現性を確認した。

研究成果の概要(英文)：We investigated the Multiple Ambient Calculus(MAC) and Hybrid Timed Ambient Calculus(HTAC) for specifying freight systems. We proposed a condition for HTAC formulae considered as freight specifications. We also proposed a model checking algorithm based on a congruence relation of HTAC formulae. For constructing freight management systems, we constructed a distributed freight management system based on MAC using UHF RFID devices and conducted a preliminary experiments.

研究分野：総合領域

キーワード：仕様記述 プロセス代数 時間制約 モデル検査

## 1. 研究開始当初の背景

近年、CPU の高性能低価格化、各種記憶装置の小型大容量化、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さまざまな業務のアプリケーション化が可能となってきている。そのようなシステムは多種多数のコンポーネントから構成され、かつそれらのコンポーネント間の関係は複雑かつ動的なものとなるような場合が考えられる。

そのような業務のアプリケーション化を行う場合、対象とする業務の適切なモデル化が重要となる。そのようなモデル化の有力な手法の一つとしてオートマトンやプロセス代数に基づく形式的手法が従来から盛んに研究されてきた。形式的手法を用いてシステムを記述することによる利点としては、システムが所期の性質を満たしているかどうかの形式的検証が可能になること、動作可能なプログラムへ直接変換することによるラピッドプロトタイプングが可能になること、などがあげられる。

Ambient Calculus は Microsoft Research の Luca Cardelli と Andrew D. Gordon によって提案されたプロセス代数である。Ambient Calculus で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 Ambient Calculus のそのような特徴に着目し、物流システムの 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、物流システムを記述した Ambient Calculus 式のモデル検査の効率化に関する研究を進めてきた。さらに、現実の物流システムを適切に表現できるよう Ambient Calculus を拡張し、タイムアウト動作などの時間に依存した動作を記述可能とした時間付き Ambient Calculus (TAC)、多数のコンポーネントを扱う物流システムを、コンポーネントごとに記述したプロセス式の組で表現する多重 Ambient Calculus (MAC) を提案している。

## 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、TAC、および MAC を基礎として Ambient Calculus の拡張およびその応用に関する検討を行う。

- (1) TAC、ならびに MAC の定義の見直し、およびそれらの融合を進めるとともに、それらを用いた物流計画の適切な記述法について考察する。

- (2) TAC, MAC, もしくはそれに修正を加えたプロセス代数 (以下、これらを総称して拡張 AC と呼ぶ) プロセス式の記述を支援するためのソフトウェアの機能とその実装について検討する。
- (3) 拡張 AC の式として記述した物流計画が所期の性質を満たしているかどうかのモデル検査のための理論的基盤としてプロセス式間の各種等価性、合同的性質について考察する。
- (4) 時間的性質を含むプロセス式の満たすべき性質を表現するための論理式の記述の枠組みを考案し、それに対する拡張 AC プロセス式の効率の良いモデル検査手法について検討する。
- (5) 実際の物流がプロセス式の指定通り実行されているかどうかを監視するシステムの構築し、相当規模の実験を行うことにより、拡張 AC に基づいて物流監視システムが構築できることを示す。

## 3. 研究の方法

- (1) TAC を対象として物流記述支援システムを開発する。さらにそれを用いて様々な物流システムを記述することにより、提案している TAC の定義の見直し、あるいは物流記述のために記述に一定の制限を設けることについて考察する。

- (2) 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、および記述対象の対称性・並行性を活用して、拡張 AC 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。

- (3) 主として MAC を対象として、UHF 帯 RFID 機器を物流によるモノの移動の検知に用いた分散型物流監視システムを構築し、模擬的な物流監視実験を行うことにより、拡張 AC に基づく物流監視システムの実現性を確認する。また、この実験の一環として、MAC の定義の変更の必要性について検討する。

## 4. 研究成果

- (1) TAC の定義を変更し、混合型時間アンビエント計算 (HTAC) を定義し、HTAC による物流記述の記述性の評価を行った。

まず、プロセス式の直接実行機能、マクロ展開機能、各種 GUI 機能を備えた物流記述支援システムを開発した。開発したシステムを用いて、海上物流、旅行計画、交通信号等を例題として TAC による記述実験を行った。実験により得られた物流記述に基づき、記述の容易性の観点から TAC を評価した。

評価結果に基づき、プロセス式で用いる演算子、および遷移規則の見直しを行い、HTAC として定義し直した。また、HTAC のプロセス式を物流記述とみなすためには、記述スタ

イルに一定の制約を設ける必要があることが明らかになったため、そのような条件を、「物流システムとしての妥当性条件」として定式化するとともに、条件が成立するかどうかを判定するアルゴリズムを検討した。

以上に基づいて、HTAC を対象として、上記の機能に加えて妥当性条件の成立を確認する機能を備えた物流記述支援システムを開発した。

また通信プロトコルの記述を主目的として Ambient Calculus を時間拡張したプロセス代数である Timed Mobile Ambient (TMA) との記述性の比較を行い、HTAC のほうが物流計画をより自然に表現できること、TMA が主目的としている通信プロトコルである TCP の記述においてもマクロ記法を導入することにより HTAC でも TMA とほぼ同程度の記述性を持つことを確認した。

(2) 妥当性条件を満たす HTAC 式を対象に、プロセス式が所期の性質を満たすことを確認するモデル検査手法の検討および検査システムの開発、検証実験を行った。

まず、検証すべき性質を表現するための体系として時間アンビアントロジック(TAL)を策定した。さらに物流計画に期待されるいくつかの所期の性質が TAL の CTL 式として記述できることを確認した。

次に、与えられた TAC のプロセス式から到達可能なプロセス式の状態遷移グラフの構成と等価性理論に基づくグラフの縮退を行うアルゴリズムの考案、およびその実装を行った。

以上をもとに HTAC の CTL モデル検査システムを開発した。そしていくつかの TAC プロセス式  $P$  とその式が満たすべき性質を記述した TAL 式  $\phi$  に対して、 $P$  が  $\phi$  を満たすことが数秒以内の短時間で検査できることを確認した。

(3) MAC による物流記述を対象とした模擬的な物流監視実験により Ambient Calculus に基づく物流監視システムの実現性を確認した。

実験のため、まず MAC を対象として、統合開発環境、ならびに分散実行環境を整備した。さらにそれらと、UHF 帯 RFID 機器を用いて貨物の動きを検出するシステムとを連携させることにより、分散型物流監視システムを構築した。また、海上物流監視実験を実施するため、船の航路表など実際の物流で使用されている物流定義書類を MAC のプロセス式に変換するシステムを開発した。これらのシステムを用いて、以下のような監視実験を行った。

コンテナ役の UHF 帯 RFID 機器を取り付けた段ボール箱、貨物船役の RFID 機器および MAC の分散実行環境を実装した PC を備えた自動車、クレーン役の PC などからなる、模擬的な海上物流システムとその監視環境

を構築する。

ハブアンドスポークシステムによるハブ港での貨物の積み替えを想定した物流計画を、物流定義書類を用いて定義し、変換システムを用いてプロセス式に変換し、監視環境へ入力する。

物流計画に従った段ボール箱や車の移動を行い、その移動を監視システムが適切に検知し、プロセス式に反映できていることを確認する。

物流計画に違反した移動を行い、監視システムがその違反を直ちに検知できることを確認する。

動的な貨物の追加、削除、貨物の輸送経路の変更を想定し、実際に物を移動させる実験の最中に、変更内容を表現した物流定義書類を作成し、それらをプロセス式に変換し、監視環境へ反映させる。

さまざまなシナリオのもとに以上の監視実験を実施し、適切な物流監視が行えていることを確認した。

一方、本実験ではプロセス式は人間が直接記述する形式をとらなかつたため、MAC の定義の修正の必要性は生じなかつた。

## 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 1 件)

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、情報処理学会論文誌 プログラミング、査読有り、6 巻、2 号、2013、pp.1 - 12

[学会発表](計 8 件)

宮井亜人夢、加藤暢、樋口昌宏：多重 Ambient Calculus を用いた海上物流監視システムの ための動的経路設定機能、情報処理学会プログラミング研究会、2016-02-29、東京大学(東京都・目黒区) 藤坂吉秀、樋口昌宏：混合型時間アンビアント計算の記述性; Timed Mobile Ambient との比較、第 14 回情報科学技術フォーラム、2015-09-15、愛媛大学(愛媛県・松山市)

樋口昌宏、稲森啓太：混合型時間アンビアント計算の CTL モデル検査、第 14 回情報科学技術フォーラム、2015-09-15、愛媛大学(愛媛県・松山市)

Toru Kato, Atom Miyai, and Masahiro Higuchi: Experiment of a Freight Management System with the Multiple Ambient Calculus, 2nd Int'l Conf. on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry, 2015-08-18, スリマ(マルタ)

宮井亜人夢、加藤暢、樋口昌宏：多重 Ambient Calculus を用いた物流監視シ

ステムの実証実験、電子情報通信学会  
2015 年総合全国大会、2015-03-13、立  
命館大学(滋賀県・草津市)  
中越大輝、樋口昌宏：時間アンビアント  
計算による物流システムの記述につい  
て、電子情報通信学会 2015 年総合全国  
大会、2015-03-13、立命館大学(滋賀県・  
草津市)

Toru Kato, Atom Miyai, and Masahiro  
Higuchi: IDE for the Ambient  
Calculus in Distributed Environments,  
Proc. Int'l Conf. Industrial  
Automation, Information and  
Communications Technology, pp.83-89,  
2014-08-28, バリ(インドネシア)

中越大輝、樋口昌宏：時間付き Ambient  
Calculus の直接実行系の開発、電子情  
報通信学会 2014 年総合全国大会、  
2014-03-18、新潟大学(新潟県・新潟市)

## 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・教授

研究者番号：00238289