

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18500011

研究課題名（和文） 関数型言語の解析・検証・効率的実行のための書換え系理論の研究

研究課題名（英文） Study on Rewriting Theory for Analysis, Verification and Efficient Execution of Functional Program

研究代表者

酒井 正彦（SAKAI MASAHIKO）

名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：50215597

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：項書換え系、関数型言語、停止性、合流性、定理自動証明

## 1. 研究計画の概要

本研究の目的は、項書換え系においてこれまで得られている種々の理論的結果を関数型言語に適用する上で妨げとなっているギャップを取り除くことにある。項書換え系と関数型言語のギャップとしては、高階性、優先順序、エラー処理、モジュール機能などが挙げられる。一方、項書換え系での理論的研究としては、停止性、合流性、計算戦略、定理自動証明、E 単一化、プログラム変換等が挙げられる。

本研究は上で述べたギャップを取り除くため、理論の側面から研究し、実用化の道筋をつけるものである。

## 2. 研究の進捗状況

これまでに主に次の理論的成果が得られている。

- (1) 停止性証明法の高階への拡張  
適用可能なクラスを「関数安全渡し」に確証した。1階の手法である実行規則の概念・引数フィルタ法を高階の場合に拡張した。直積型のラベル付け法を提案した。
- (2) 定理自動証明系の高階への拡張  
リップリング補題探索手法を高階に拡張し、潜在帰納法に基づく高階性を持つシステムの定理自動証明系を試作した。
- (3) ソフトタイピングによる高階プログラムのエラー発見法  
高階の機能を持つ型なしプログラム言語へのやわらかい型システムを導入し、静的エラー検知できるようにした。
- (4) 正規化戦略の高階への拡張  
1階の項書換え系における正規化戦略を

高階に拡張した。実際に、

- ① 与えられた項の書き換えるべき箇所を発見する手続き、ならびに、
  - ② 本戦略が適用可能なシステムかを判定する手続きを与えた。
- (5) 停止性問題が決定可能なクラスの発見
    - ① 依存対が右線形かつ右シャロー
    - ② 到達可能性が決定可能であり、かつ、依存対が左線形かつシャローであるか右基礎項
  - (6) 最内停止性問題が決定可能なクラスの発見
    - ① 依存対が右線形かつ右シャロー
    - ② 依存対がシャローであるか右基礎項
  - (7) 文脈依存停止性問題が決定可能なクラスの発見
    - ① 依存対が線形かつシャロー
  - (8) 停止性が決定不能なクラスの発見
    - ① 長さ2の文字列書換え系
    - ② 依存対が左線形かつシャロー
  - (9) 最内停止性が決定不能なクラスの発見
    - ① 長さ2の文字列書換え系
  - (10) 最内到達可能性問題と文脈依存到達可能性問題がいずれも決定可能なクラスの発見
    - ① 線形かつ左シャロー
  - (11) プレスブルーガ条件付きの書換え系の定理自動証明と、Cプログラムの自動検証への応用

## 3. 現在までの達成度

- ② おおむね順調に進展している。  
(理由) 理論的な研究においては、絡んだ糸が少しずつ解けていくように、一つのことが

明かにすることで別の課題の解き方が分かってくるため、目的達成のためには少しずつでもよいが、着実に分かることを積み上げて研究をする他には方法がない。その意味で、当初の計画のなかで解決の糸口が掴めたものについて、あるいは、当初の計画にはなかったが他の成果が得られるにつれて、一歩ずつ着実に解決してきているからである。

#### 4. 今後の研究の推進方策

理論的研究であるので、一步一步着実に成果を積み上げることが重要であると考えます。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 5 件)

- ① Hideto Kasuya, Masahiko Sakai, Kiyoshi Agusa, Head-Needed Strategy of Higher-Order Rewrite Systems and Its Decidable Classes, IPSJ Transactions of Programming, Vol.2, pp.144-165, 2009, 査読有
- ② Hideto Kasuya, Masahiko Sakai, Kiyoshi Agusa, Recognizability of Redexes for Higher-Order Rewrite Systems, IPSJ Transactions of Programming, Vol.2, pp.166-175, 2009, 査読有
- ③ Keiichirou Kusakari, Masahiko Sakai, Enhancing Dependency Pair Method by Strong Computability in Simply-Typed Term Rewriting, Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing, Vol.18, pp.407-431, 2007, 査読有

[学会発表] (計 2 1 件)

- ① Yoshiharu Kojima, Masahiko Sakai, Innermost Reachability and Context Sensitive Reachability Properties are Decidable for Linear Right-Shallow Term Rewriting Systems, 19th International Conference on Rewriting Techniques and Applications(査読有), 2008年7月15日, ハーゲンベルグ
- ② Wang Yi, Masahiko Sakai, Decidability of Termination for Semi-Constructor TRSs, Left-Linear Shallow TRSs and Related Systems, 17th International Conference on Rewriting Techniques and Applications(査読有), 2006年8月14日, シアトル