様式 C-7-2

自己評価報告書

平成 22 年 5 月 12 日現在

研究種目：基盤研究(B)
研究期間：平成 19 年～平成 21 年
課題番号：19300007
研究課題名（和文）計算と論理の融合によるバグのないソフトウェア構築環境に関する研究

研究課題名（英文）Software development environment based on the integration of computation and logic

研究代表者
佐藤 雅彦（SATO MASAHIKO）
京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：20027387

研究分野：総合領域
科研費の分科・細目：情報学・ソフトウエア
キーワード：自然枠組，ソフトウェア開発，ソフトウェア検証，メタ言語，式の理論

１．研究計画の概要

本研究は，バグのない安全なソフトウェアを構築するための環境を実現するために，論理学の手法を用いてソフトウェアの安全性を形式的に議論・検証するための言語体系であるロジカル・フレームワークを提案し，それに基くソフトウェア構築環境を実装することを目的とする．とくに，議論対象の階層を取り扱うためのメタ変数の概念に関する理論研究を行ない，これをロジカル・フレームワークに反映させることにより，ソフトウェア自身だけではなく，そのソフトウェアに関するメタな議論を行なうための論理体系に関する議論も，同一のフレームワークで行なうことが可能になることが期待される．以上を達成するために，以下の計画に沿って研究を行なった．

(1) 我々が既に提案していたロジカル・フレームワークである自然枠組(Natural Framework, NF) をもとに，計算と論理が自然に融合するように拡張を行なう．プログラムとその安全性を検証する論理とを同じ枠組で記述し議論できるようにするために，メタ変数の概念に関する理論的研究を行ない，得られた知見を自然枠組に反映させる．

(2) 自然枠組の実装に適したプログラム言語を設計し実装する．このプログラム言語を利用して自然枠組を実装し，証明検査のインターフェイスや半自動化などの機能を設計し実装する．その上で，これらの枠組を利用したソフトウェア構築のための環境を設計し，実装する．

２．研究の進捗状況

本研究ではこれまでに以下の成果が得られている．

(1)メタ変数の概念を形式的に扱うための理論的研究を行なった．本研究で提案するフレームワークにおいては，プログラムなどの対象と，それらをメタな立場から議論するためのメタ言語を同一の枠組で扱う必要があるため，階層的な対象を記述するための形式的体系を提案し，その性質を調べた．さらに，このフレームワークを記述するための形式的言語に関して，対象言語をメタ言語の部分言語とみなす見方が可能であることを示し，その有用性を指摘した．

(2) フレームワークの基礎となる式の理論を与えるために，抽象操作について考察し，これを実現する新しい手法を提案した．これは，本研究で提案するフレームワークである自然枠組の式の理論における抽象操作の理論的基盤を与えることが期待されるが，本手法自体はより一般の形式的言語における抽象操作を表現できるものである．

(3) 設計した自然枠組の実装に向けて，プログラミング言語の設計を行なった．この言語の中核部分で必要となる数学的な対象は，それぞれ，ある基本的な「概念」を満足するものとして特徴づけられ，そのため，抽象化の操作を必要としない帰納的な記号操作でこれらの数学的対象が構成できることを示した．

３．現在までの達成度
② おおむね順調に進展している．

本研究は大きく，ロジカル・フレームワークの設計と理論的研究，および，その実装に分けられる．
現在までに，本研究で提案するロジカル・フレームワークである自然枠組の設計はほぼ完了しており，さらにその枠組とその背景にある理論的側面の理解も充分なされている．ソフトウェア開発という本研究の直接の目標に限らない広い知見が得られており，これは当初の計画を越えるものである．これらの結果は主に以下の研究成果[2,4,5]として発表されている．
実装に関しては，プログラム言語の設計に着手し，現在までにこの言語のプロトタイプの実装が完了している．

４．今後の研究の推進方策
本研究は当初平成 19–22 年度の 4 ヶ年で実施する計画であったが，より深い理論的研究の実施と，環境の実装のために，平成 22 年度より新規研究課題「バグのないソフトウェア構築環境に関する研究の新展開」（基盤研究(B)）として実施する予定である．
今後は，実装したプログラム言語上に自然枠組を実装し，その上で，ユーザインターフェースや証明の半自動化など，ソフトウェアの検証のための証明支援に関する機構を充実させ，さらに，ソフトウェア開発のための環境を設計・実装を行なう予定である．

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 6 件）
[1] Atsushi Igarashi and Masashi Iwaki, Deriving compilers and virtual machines for a multi-level language, Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2007), 206-221, 2007, 査読有.

[2] Masahiko Sato, Takafumi Sakurai, Yukiyoshi Kameyama and Atsushi Igarashi, Calculi of Meta-variables, Frontiers of Computer Science in China 2(1):12-21, 2008, 査読有.

[3] 佐藤雅彦, フレーゲの計算機科学への影響, 分析哲学の誕生(日本科学哲学会編,勁草書房), 127-141, 2008, 査読無.

[4] Masahiko Sato, A Framework for Checking Proofs Naturally, Journal of Intelligent Information Systems 31:111-125, 2008, 査読有.

[5] Masahiko Sato, External and Internal Syntax of the Lambda-Calculus, The Austrian-Japanese Workshop on Symbolic Computation in Software Science (SCSS 2008), 176-195, 査読有.

[6] Takeshi Tsukada and Atsushi Igarashi, A logical foundation for environment classifiers, Proceedings of the 9th International Conference on Typed Lambda-Calculi and Applications (TLCA '09), LNCS 5608, 341-355, 2009, 査読有.

〔学会発表〕（計 0 件）
（上記雑誌論文の[1, 5, 6]は学会発表も行なった）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕