

氏 名	かめ やま ゆき よし 亀 山 幸 義
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3137 号
学位授与の日付	平 成 8 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Reflection Mechanism in Constructive Programming (構成的プログラミングにおける自己反映機構)

論文調査委員 (主 査)
教授 佐藤雅彦 教授 上林彌彦 教授 湯浅太一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、正しさの保証されたプログラムの導出手法である構成的プログラミングについて、自己反映機構を持つ論理体系とそれに基づく構成的プログラミング・システムを提案し、さらに論理体系およびプログラム言語の拡張について論じたものであって、6章からなっている。

第1章は、序論であり、本研究の背景として、構成的論理、構成的プログラミング、自己反映機構の基本的な概念およびこれまでの研究について述べている。

第2章は、自己反映機構を持つ構成的プログラミングのための論理体系 RPT の設計とその性質について述べている。RPT は、意味論的体系として与えられた RPT を形式化した体系である。形式的体系 RPT においては、推論の基礎となる判定は、自然数によりレベル付けされており、下位のレベルの判定を上位のレベルにおいて命題として扱うことができるという自己反映機構を持っている。この自己反映機構を使って、直観主義論理における論理和に関する性質等を RPT で形式化して証明を与えており、構成的プログラミングにおける有用性を実証している。また、形式的体系 RPT 自身の性質として、RPT をモデルとして持つこと、および、RPT から帰納的定義を除いた部分体系が正規化可能であることが示されている。これらの結果は、本論文で与えた形式化が妥当であることを示している。

第3章は、前章で与えた体系 RPT に基づく構成的プログラミング・システムの作成およびそれを用いた構成的プログラミングについて述べている。この構成的プログラミング・システムは、RPT の閉項の集合であるプログラム言語 Λ 自身により実装されており、証明のチェックのほか、証明作成の支援、ある範囲の命題の自動証明、証明からのプログラム抽出、プログラム実行、プログラムの効率化のためのプログラム変換等を行うソフトウェアから構成されている。このシステムを用いた大規模な定理証明の例として、 Λ が Church-Rosser 性を持つことの証明を行っている。

一方、このシステムを用いた構成的プログラミングの例として、2つのリストの接続を与える Append プログラムを作成している。得られた Append プログラムは正しいことが保証されているが、冗長な計算を含み効率が悪いことが指摘されている。この冗長性を削除するため、外延的同値性に基づいたプログ

ラム変換の方法が提案され、Append プログラムの冗長性を削除する事に成功している。このプログラム変換手続きはシステムに組込まれており、自動的に冗長性を削除することが可能になっている。

第4章は、新しい帰納的定義である半単調帰納的定義を提案し、その応用について論じている。従来の単調帰納的定義の機構では、「命題であること」や「証明であること」を表す述語を自然に定義することができず、自己反映機構としては十分でないことが示され、解決策として、半単調帰納的定義という機構が提案されている。半単調帰納的定義に対するモデルおよび健全な実現可能性解釈が与えられ、半単調帰納的定義が妥当な拡張であることが示されている。半単調帰納的定義により、「命題であること」や「証明であること」を表す述語の定義が可能になり、その定義と冗長性を削除した定義の同等性を証明することによって、冗長性を削除するプログラムが抽出され、証明の段階での冗長性の削除が可能であることが示されている。半単調帰納的定義の別の応用として、Martin-Löf の型理論や、LTC の理論の解釈が可能であることが示されている。

第5章は、構成的プログラミングの対象となるプログラム言語として、従来の純粋な関数型プログラム言語から、代入 (assignment) 文や繰返し文を含む言語へ拡張することについて論じている。プログラム言語 Λ に代入文と繰返し文を導入したプログラム言語 $\Lambda!$ が代入 (substitution) を明示的に表すプログラム言語である $\lambda\sigma$ 計算に対して保守的拡張になっていることを示し、理論的に良い性質を失っていないことを示している。

第6章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、構成的論理を用いたプログラム導出手法である構成的プログラミングにおける自己反映の機構に関し、基礎理論の展開から始めて、計算機上へのシステム実装を行い、その問題点を解決した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 基礎理論として自己反映機構を持つ論理体系をとりあげ、それを形式化した体系 RPT を提案した。この形式的体系において、自己反映機構を使ったメタ定理を形式化した上で証明し、構成的プログラミングにおける自己反映機構の有用性を示した。また、この形式的体系に関して、強正規化性および無矛盾性などの証明論的性質を示した。

2. RPT に基づく構成的プログラミング・システムを計算機上に実装し、このシステムを用いて、Church-Rosser 性の証明を与えた。また、構成的プログラミングの実例を作成し、さらに、プログラム変換により、得られたプログラムの冗長性を削除する手法を示した。

3. 自己反映機構として、RPT に組み込みの機構では不十分な点を指摘し、従来の単調帰納的定義を拡張した新しい機構である半単調帰納的定義を提案した。それに対してモデルおよび実現可能性解釈を与えた。また、半単調帰納的定義を応用して、構成的プログラミングにおける抽出プログラムの冗長性の除去が可能であることを示した。

4. 構成的プログラミングの対象となるプログラム言語として、純粋な関数型言語に代入文、繰返し文を導入した言語 $\Lambda!$ について考察し、 $\lambda\sigma$ 計算に対する保守性を示した。

以上要するに、本論文は、自己反映機構を持つ構成的論理体系に基づく構成的プログラミングに関し、理論およびシステム実装の両面から研究を行ったもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成8年6月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。