

## 審査の結果の要旨

氏 名 由水 輝

本論文は、GoI (Geometry of Interaction, 相互作用の幾何) と呼ばれるプログラム意味論の拡張を提案している。プログラム意味論は、プログラムに対して数学的な意味を与えるものであり、言語処理系やプログラム検証・合成・変換などの基礎として重要な研究分野である。GoIは、トークンがある種のグラフ上を動く抽象機械としてプログラムをモデル化する意味論であり、線型論理と深いつながりを持つとともに、プログラムの意味を合成的に定めるという表示的意味論の利点と実際の計算過程をモデル化できる操作的意味の利点をあわせもっている。しかしながら、標準的なGoIは、一つのトークンの動きで計算を表現するため、自然にモデル化できるのは本質的に逐次の計算のみであった。それに対し、本論文では複数のトークンを許すようにGoIの枠組みを拡張し、それがGoIの良い性質を保つとともに、その拡張を用いて逐次プログラムの名前呼び・値呼び戦略の違い、確率的分岐や量子ビットを用いた計算など、より広範囲の計算モデルが統一的に扱えることを示している。

本論文は以下のように全6章からなる。

第1章は序論である。

第2章は、関連研究を紹介し、本論文の提案との関係を議論している。

第3章は、前準備として、数学的な記法および抽象書換え系・線型論理・標準的なGoI・量子計算などに関する基本的な予備知識を与えている。

第4章は、複数トークン機械の土台となるSMEYLL proof netを導入し、それに対する簡約意味論と複数トークン機械意味論の2種類を提案し、2つの意味論が一致することを証明している。さらに、自然数、分岐および再帰を含む関数型言語であるPCFを題材として、値呼びPCFと名前呼びPCFのそれぞれから複数トークン機械への翻訳を与え、その翻訳の正しさを証明するとともに、値呼びPCFと名前呼びPCFの違いがとらえられることを示している。

第5章は、まず既存の抽象書換え系の概念の拡張として確率的抽象書換え系を導入し、その性質を証明している。これを用いて、第4章で定義した SMEYLL proof net および複数トークン機械のそれぞれを確率的分岐を持つ副作用を含むものへと拡張した program net およびMSIAMを提案し、簡約意味論と複数トークン機械意味論との対応関

係などを証明している。さらに、PCFにメモリ構造を加えて拡張した言語からMSIAMへの翻訳を与え、その妥当性を証明している。

第6章は、結論を述べるとともに、今後の展望として、並行計算や量子計算の意味論、コンパイラへの応用などについて議論している。

以上要するに、本論文は、プログラム意味論の一種であるGoIに対して、複数トークンを許す拡張を与え、その理論的性質を示すとともに、従来のGoIよりも広範囲の計算モデルを自然かつ統一的に扱えることを示したものであり、コンピュータ科学、特にプログラミング言語の基礎理論に対する貢献が大きいものと判断される。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。