

審査の結果の要旨

氏 名 酒 寄 健

本論文は、並行システムの記述や並行システムの性質の証明に広く用いられている形式体系である π 計算に対して、圏論的解釈を与えることを主たる目的としている。より具体的には、 π_F 計算と呼ぶ π 計算の部分体系を定義し、 π_F 計算に対してコンパクト閉フライド圏と呼ぶ圏論的構造を対応させる。従来、セッション型付 π 計算と呼ばれる π 計算の部分体系に対しては圏論的解釈が定義されていたが、セッション型付 π 計算では並行性が強く制限されており、デッドロック、競合状態などを表現できない。しかも、セッション型付 π 計算の型システムは、実用的な並行プログラミング言語が提供する型システムとは大きく異なっている。これに対して π_F 計算では、スケジューラなど、デッドロックの可能性のある並行プログラムも表現することが可能である。また、 π_F 計算の型システムは、実用的な並行プログラミング言語がサポートしているチャンネル型とほぼ同様のものとなっている。一方、 π_F 計算に対応する圏論的構造であるコンパクト閉フライド圏は、コンパクト閉圏と閉フライド圏という二つのよく知られた圏論的構造を組み合わせることによって定義される。前者は計算効果を含む高階言語のモデルであり、後者はチャンネルのネットワーク構造を記述するために使われる構造である。すなわち、両者を自然に組み合わせて π_F 計算の圏論的解釈が定義される。

本論文の第 1 章では、本論文の背景と目的およびアプローチと貢献について述べられている。第 2 章では、本論文で用いられる記法が与えられ、本論文の基礎となっている圏論について簡潔にまとめられている。

本論文の第 3 章では、 π_F 計算の構文、型システム、操作的意味論、公理的意味論が与えられ、その表現能力について議論されている。特に、伝統的な π 計算の振る舞い等価性が圏論的意味論と相容れないことが示され、これを解消するために η 規則が導入される。

本論文の第 4 章では、コンパクト閉フライド圏が定義され、 π_F 計算のコンパクト閉フライド圏による解釈が与えられる。そして、項モデルが定義され、 π_F 計算に対する完全性が示される。

本論文の第 5 章では、 π_F 計算と線形論理の関係性について議論されている。一般の線形論理の圏論的モデルとコンパクト閉フライド圏を比較することで、 π_F 計算に対応するように線形論理が拡張される。

本論文の第6章では、コンパクト閉フライド圏に直接的に対応する関数型の計算体系 λ_{ch} 計算が定義される。 λ_{ch} 計算は、計算効果を含む関数型の計算体系である λ_c 計算にチャンネル間通信のための機構を追加したものであり、実用的な並行プログラミング言語により近い。第6章では、 λ_{ch} 計算と π_F 計算が相互に翻訳可能であることが示される。さらにこの翻訳をもとに、高階 π 計算から π_F 計算への翻訳、および、値呼びと名前呼びの λ 計算から π_F 計算への翻訳が定義される。

本論文の第7章では、圏論的意味論と整合する π_F 計算の操作的意味論が定義される。特に、 η 規則に対応する操作的意味論が定義され、この操作的意味論による振る舞い等価性が、 π_F 計算の η 規則を含む等式規則を満たすことが示される。この証明のために線形近似の技法が用いられている。

本論文の第8章では関連研究が議論され、第9章では結論と課題が述べられている。

以上を総じて、本論文では、スケジューラなどの本質的な並行計算を表現できる π 計算の部分体系に対して初めて、完全性を有する圏論的解釈が与えられ、さらに線形論理や高階 π 計算との関係が明らかとなっている。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。