

氏名（本籍）	なかむら いぶき 中村 伊吹（広島県）
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	乙第20号
学位授与年月日	2023年3月23日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第36条第3項及び広島市立大学学位規程第3条第3項の規定による
学位論文題目	量子的電子波動の古典的粒子表現に関する研究 Study on expressing quantum electron wave as classic particle
論文審査委員	主査 教授 藤坂 尚登 副査 教授 田中 公一 副査 教授 鷹野 優 副査 准教授 桑田 精一

論文内容の要旨

量子力学的現象を動作原理とする、いわゆる量子効果デバイスが考案され、従来の集積回路の一部を量子効果デバイスに置き換えることにより集積回路を高性能化・多機能化する試みがなされている。このような集積回路には量子効果デバイスと共に電界効果トランジスタなど従来の集中定数型デバイスが混在する。混在回路の統合的なシミュレーションを可能にするためには、量子効果デバイスを集中定数型デバイスと同様に常微分方程式として数理モデル化する必要がある。しかし、このようにモデル化されている例は単電子トランジスタ以外にはあまり見当たらない。本論文では、量子系をその確率密度関数と確率流密度を用いて古典確率系を記述する確率常微分方程式により表現し、量子効果デバイス等における電子波動を確率的古典粒子としてモデル化している。

第1章では本研究の研究背景と目的を述べている。第2章では量子系と確率的な古典系に関する数理的基礎を与えている。これを基に第3章では単一電子量子系に対して波動関数から得られる確率密度関数と確率流密度を用いて確率的古典系として記述する確率常微分方程式(SODE: Stochastic Ordinary Differential Equation)を立てた。また、SODE 導出の独自性も明確にした。第4章および第5章では結合電子導波路内の電子を記述するSODE を古典系モデルとして立てた。この導波路は電子波フィルタ やスプリッタ・カプラとして機能するため応用範囲が広く、提案モデルの有用性を示している。第6章ではセンサデバイス開発への応用を期待して、一様な磁界下の電子の運動を SODE でモデル化した。この運動で重要な役割を果たすスピンを表現するため、電子波動の振るまいはパウリ方程式により記述され、SODE が導出された。このような試みはあまり例がなく、提案モデルの新規性を示している。第7章では本論文を総括するとともに、今後の課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

2023年1月31日14時45分から16時15分まで博士学位論文発表会（公聴会）を開催した。まず申請者が提出論文内容について発表し、その後に発表および論文記載内容について試問した。以下に審査結果を示す。

本論文が提案するモデルの有効性は第5章において、新規性は第3章および第6章において主張されている。また、提案モデルの確率的振るまいが電子波動から得られる統計的性質に一致する結果が第5章および第6章において得られており、モデルの信頼性を示している。これらの新規性、有用性、信頼性は、本論文の主な成果が英文学術雑誌 *Nonlinear Theory and Its Applications* (IEICE) と *Journal of Computational Electronics* (Springer) および国際会議に公表済みであることから、十分に保証されていると言える。よって、本審査委員会は論文審査を合格と判断した。

博士学位論文発表会における試験（試問）において、申請者は審査委員および聴講者からの質疑に対して的確に回答できたことから、十分な専門的知識・コミュニケーション能力を有していると判断した。また、英文学術雑誌への投稿・掲載、国際会議での口頭発表の経験から十分な外国語表現能力を有していると判断した。

以上より、本審査委員会では、申請者は博士（情報科学）の学位を取得するに値する十分な専門知識と資質を有していると判断し、試験を合格とした。