

論文審査の結果の要旨

氏名 東川 翔

周期駆動される系の制御に関しては以前より研究がなされてきたが、近年レーザー技術の発展に伴い、レーザーによる磁性体の制御や光誘起超伝導などが活発に研究されるようになった。最近では周期駆動による新たな機能創出を目指す研究は「フロケエンジニアリング」と呼ばれている。本博士論文は時間に関して周期的な外場、電磁場による多体系の制御に関する理論研究をまとめたものである。

本論文は7章と二つの付録A, Bからなる。

第1章はイントロダクションであり、まずフロケエンジニアリングに関するこれまでの研究について簡潔に述べられている。そのあと本論文で得られた成果について述べられており、最後に本論文の構成が示してある。

第2章はトポロジカル物質に関する理論の概説である。ここではトポロジカル絶縁体・超伝導体についての基礎概念といくつかの例、対称性に基づくトポロジカルな分類について述べられたあと、ワイルフェルミオンとカイラル磁気効果についての説明がなされ、最後に断熱ポンプとそれに基づくトポロジカルな分類について述べられている。

第3章はフロケエンジニアリングに関する概説である。まず理論の基礎となるフロケの定理とフロケ・マグナス展開についての説明のあと、フロケエンジニアリングの応用（トポロジカル相、対称性が自発的に破れた量子系、古典系）について述べられている。

第4章は古典系における確率過程の理論についての概説である。とくに運動方程式とマスター方程式の関係について焦点が当てられている。

第5章では周期駆動におけるトポロジカル量子現象に関するオリジナルな成果がまとめられている。ここでは周期駆動系固有のトポロジカル相の分類を与えると同時に、周期駆動系では単一ワイルフェルミオンが実現しうることが理論的に示されている。周期駆動系でのトポロジカル量子現象では1次元ギャップレストポロジカル相が発見されるなどの先行研究があったが、高次元への一般化と対称性を入れた場合の拡張が未発達であった。申請者は時間反転対称性、粒子正孔対称性、カイラル対称性の有無によって周期駆動系固有のギャップレ

ストポロジカル相の完全な分類を与えた。また、単一ワイルフェルミオンという、ニールセン・二宮の定理の制約を超えた例が作れることを具体的に示した。さらに、この単一ワイルフェルミオンを使うことでカイラル磁気効果(磁場に反平行な電流が流れる現象)に対応する現象が周期駆動系で実現できることを示した。

第6章では古典非線形系でのフロケエンジニアリングに関するオリジナルな成果がまとめられている。周期駆動系に関するフロケ理論は、シュレディンガー方程式のように、線形の時間発展方程式にしか適用できないもので、非線形な古典運動方程式への拡張は非自明な問題であった。東川氏は熱浴と結合した古典系運動方程式を、線形方程式であるマスター方程式にいったん書き直したあと、フロケの定理を適用し、フロケ・マグナス展開するというアプローチにより、周期駆動された古典系の有効運動方程式を導出することに成功した。また強磁性体に対する確率的ランダウ・リフシッツ方程式の数値計算と有効運動方程式の比較を行い、理論の妥当性を示している。

第7章では以上の研究内容が総括的にまとめられている。付録A、Bはそれぞれ第5章、第6章の理論計算の詳細をまとめたものである。

第5章の研究の成果の意義は、周期駆動ギャップレストポロジカル相の完全な分類を与えたことやカイラル磁気効果と類似した効果の実現可能性を示したことで、ギャップレストポロジカル相のフロケエンジニアリングの体系的理解と新奇機能の可能性を示したことに認められる。また古典周期駆動系の理論を定式化したことで、ランダウ・リフシッツ方程式で記述される強磁性体やグロスピタエフスキー方程式で記述されるボース凝縮系などの古典多体系のフロケエンジニアリングの理論的基盤を与えたことに第6章の研究の成果の意義が認められる。これらの研究成果はオリジナリティーが認められ、また統合した本博士論文は今後この分野の研究発展に寄与するものであり、学位論文としてふさわしいものとして評価できる。なお、本論文の5章、6章で得られた成果はそれぞれ1編の論文として投稿中である。第5章は、中川大也氏、上田正仁氏との共同研究であり、第6章は藤田浩之氏、佐藤正寛氏との共同研究に基づいているが、いずれも論文提出者である東川氏が主導した研究であり、東川氏の寄与が主たるものであると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。