

論文審査の結果の要旨

氏名 田島裕康

本論文は5章からなる。

第1章は、序論であり、本研究で展開される研究の背景となる理論の設定の概要や問題意識が述べられている。

第2章は、本研究のテーマに関連する熱機関の最大仕事の原理に関連するこれまでに展開されている理論のレビューを行い、そこで展開されている仕事取り出しのシナリオの紹介や、フィードバックの効果、メモリーと呼ばれる系の導入、エンタングルメントの役割などについての説明を与えている。

第3章は、第2章で紹介した2つの仕事取り出しのシナリオ (**Semi-classical scenario** と **Fully quantum scenario**) の間の関係を精査している。その結論として、系を内部系 (熱機関本体と熱浴) と外部系 (エネルギーを測定する系) を考えた場合、内部系の時間発展をユニタリ変換に近づけようとする、エネルギー測定に困難が生じることを、**Bures distance** と呼ばれる状態間距離を用いて示している(定理1)。その困難に対して内部系の時間発展はユニタリ変換からずれたものでなくてはならないとし、仕事の取り出しを観測として定式化すべきであると結論している。その考えに基づき、この章の後半では、仕事の取り出しを **CP(completely positive)-instrument** と呼ばれる状態間の線形写像で記述した観測過程としての定式化を与えて、仕事の取り出しの3つのクラスを提案している (**CP-work extraction**, **CP-strong work extraction**, **CP-unital work extraction**.)。通常の熱力学的操作は、**CP-strong work** かつ **CP-unital** として、**CPSU-work extraction** としている。さらに、系の時間発展を与えるダイナミクスとしても全系のユニタリ変換として、3つのシナリオを考え、それらの間の関係を調べ (定理2)、外部系のみでの測定で取り出した仕事の量の把握が可能であることを示している。これらの考察は、エネルギーの移動に関する測定という問題における重要な性質を明らかにしたものと評価できる。

第4章では、有限の大きさを持った系が、有限の大きさを持った熱浴 (初期にカノニカル分布を持っている系) と接した場合の仕事効率に関する不等式(カルノー定理の拡張)を導出し、その関係を熱浴の単位自由度あたりの熱浴から取り出す熱の関数としてべき展開し、その2次まででは不等式が等式になる場合があることを示している。さらに、効率の熱浴の自由度の数への依存性を具体的なモ

デルにおいて例示している。サイクル操作に関するエネルギー移動に関する興味深い知見を与えている。

第5章では、本論文の結果、今後の展望についてまとめている。

これらの成果は、外部操作のもとでどのようなエネルギー移動が起こるかに関する基礎的な性質を精査したものであり、メゾスコピックな量子系が、温度環境のもとで示す熱力学的振る舞いを明らかにする理論構築を与えており、統計物理学の新しい展開を与えるものと評価できる。

なお、第3, 4章は林正人氏との共同研究であり、共同で出版準備中である。これらの共同研究は、論文提出者が主体となって研究推進したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。