

## 審査の結果の要旨

氏名 肖英紀

準結晶は、結晶に許されない点群対称性および準周期性によって特徴づけられた構造秩序を持った物質群であり、その構造は高次元結晶の物理空間断面として記述される。構造の高次元性を反映して、準結晶には通常の格子変位の自由度(フォノン自由度)に加えて、フェイゾンと呼ばれる格子変位の自由度が存在する。後者に起因した弾性(フェイゾン弾性)は準結晶の安定性の物理的起源と密接に関わっていると予測されているが、フェイゾン弾性に関する実験的研究手段が限られていることもあり、実験的な結論が出るには至っていない。一方、高温比熱におけるデュロン・プティ則の破れや、塑性変形における加工軟化現象などが準結晶に特徴的な物性として注目を集め、フェイゾン弾性に起因した物性として解釈がなされたが、その発現機構の詳細は未だ明らかになっていない。また、フォノン-フェイゾン結合に関しても、理論的に様々な物性に影響を及ぼすことが予測されているが、フォノン-フェイゾン結合の寄与が実験的に調べられた例はほとんどない。以上のような準結晶の弾性に関する諸問題を解決するためには、準結晶特有の弾性に関する情報を得ることができる新しい実験的アプローチが必要である。本研究では、これまでほとんど調べられた例のないフォノン-フェイゾン結合定数の実験的評価を行い、準結晶の安定性に果たす役割を明らかにすること、また、関連した物性として、フォノン-フェイゾン結合に起因した内部摩擦を測定することで、フォノン-フェイゾン弾性の動的性質に関する知見を得ることを目的としている。

第1章は序論であり、本研究の対象である準結晶の概念について説明し、特に、高次元断面法に基づいた構造の記述について述べている。準結晶構造を高次元結晶と捉えることにより、フェイゾン自由度が導入される。このフェイゾン自由度の性質について述べている。さらに、準結晶に空間的に一様に変化するフェイゾン変位を導入した結果として得られる周期構造(近似結晶)について説明している。

第2章では、フェイゾン自由度を組み入れた形で一般化された準結晶の弾性論についてその概要を述べている。フェイゾン自由度の存在によって生ずる通

常の結晶には存在しない弾性自由エネルギーの 2 次項の性質を、これまで得られている実験結果とともに概観している。さらに、準結晶のフォノン-フェイゾン結合の実験的評価がこれまでにない例がないことを指摘している。

第 3 章は、Al-Cu-Fe 系正 20 面体準結晶のフォノン-フェイゾン結合定数の実験的評価に関する研究について述べている。X 線回折法を用いて Al-Cu-Fe 系正 20 面体準結晶の近似結晶に自発的に導入されたフォノン歪を精密測定することにより、フォノン-フェイゾン結合定数を定量的に評価し、その結果、Al-Cu-Fe 系正 20 面体準結晶のフォノン-フェイゾン結合定数  $K_3/\mu=0.004$  を得ている。これは符号、絶対値ともに Mackay 型として知られている Al-Mn 系正 20 面体準結晶の構造モデルを用いた計算機シミュレーションによる値と良く一致している。また、フォノン-フェイゾン結合が準結晶の熱力学的および流体力学的安定性に果たす役割を定量的に示している。Mackay 型ではフォノン-フェイゾン結合の寄与は小さいが、Bergman 型ではフォノン-フェイゾン結合は準結晶の安定性に重要な役割を果たすことを明らかにしている。

第 4 章は、Al-Pd-Mn 系正 20 面体準結晶および Al-Pd-Mn-Si 系 2/1-および 1/1-近似結晶のメカニカルスペクトロスコープに関する研究について述べている。高温内部摩擦測定から、準結晶において 550°C 近傍に緩和型ピークを観測しており、このピークの起源は多数の原子の集団運動を伴う緩和過程であることを指摘している。ここで、この緩和型ピークは 1/1-近似結晶では観測されず、2/1-近似結晶では非常に弱いピーク強度であることを示している。このピークの熱活性化パラメータは種々のフェイゾン自由度の動的観測と対応しており、このピークは集団的に相関をもったフェイゾンジャンプに起因した内部摩擦であることを指摘している。フォノン-フェイゾン弾性力学モデルに基づいて、このピーク強度からフォノン-フェイゾン結合定数の大きさが  $|K_3|/\mu=0.007$  と見積もられ、この値は第 3 章で評価した値とほぼ一致している。

第 5 章は本論文の総括である。本研究は、これまで未知因子として扱われてきたフォノン-フェイゾン結合定数の実験値を初めて提供するものである。また、本研究で示されたように、局所構造が似ている準結晶および近似結晶の内部摩擦の振る舞いが大きく異なっていることは興味深い。本研究は準結晶のフォノン-フェイゾン弾性を調べる手段としての内部摩擦研究を開拓したと言える。本研究の成果によって、準結晶の安定性の問題に加え、フォノン-フェイゾン結合が関与すると考えられている準結晶の物性研究が大きく発展することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。