

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

廣金優二

持続可能社会を実現する上では、工場、住居、電子デバイス等あらゆる場面での熱の制御や利用が大変重要な課題となっている。この課題を解決する熱制御素子の実現に対する強い社会的な要請があり、優れた熱電特性を有する新材料に対する期待が非常に高まっている。その観点から、昨今、物性物理学において、電子が持つ相対論効果であるスピン軌道結合を利用した新しい物理現象や物質機能が多数開拓されていることは非常に重要である。廣金優二氏はこのことに注目し、スピン軌道相互作用が、熱輸送においてどのような役割を果たすかの理解を深め、さらには、新しい熱制御機能を持つ物質を開拓することを目的として、研究を行い、論文を提出した。

論文は 5 章から成る。

第 1 章では、熱に関する社会的な要請や熱輸送現象に関する先行研究がまとめられ、研究の目的が述べられている。さらに廣金氏の研究で一貫して用いられた熱輸送現象の実験装置について説明されている。

第 2 章では、空間反転が破れた磁性体 MnSi における磁気的な熱電効果（ゼーベック効果、ネルンスト効果）についての研究結果が述べられている。まず、ゼーベック効果に関しては、磁気秩序に伴う電子エントロピー変化に対応して大きな磁場変化を示すことが報告されている。このような大きなエントロピーは強相関電子に特有のものである。ネルンスト効果についても詳細な温度、磁場変化が報告された。ネルンスト効果の測定結果の解析から得られる、本質的な線形応答係数であるペルチェ伝導度は、散乱確率に対する依存性がないことが示唆された。これは、ネルンスト効果の起源がバンド電子のベリー曲率が起源であることを示している。

第 3 章は、テルビウム酸化物における熱ホール効果の結果が述べられている。絶縁体における熱ホール効果は、フォノンやマグノンなど電氣的に中性の励起が担う熱流が、スピン軌道相互作用などを通じて磁場中で曲がることが起源であると考えられる非自明な効果である。近年、フラストレーション系と呼ばれる磁気相互作用が拮抗して磁気秩序が抑制された磁性体において、熱ホール効果が数多く報告された。これらの起源については、

磁気相互作用によるものかフォノンを媒介するものかという議論がなされてきたが、未だに正確な理解は達成されていない。廣金氏は、これらのなかでも $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ に着目し、磁性を担う Tb を非磁性の Y で置換し磁性を希釈して熱ホール効果を測定した。その結果、熱ホール効果は磁性希釈の効果をほとんど受けないことが測定され、そのことから、熱ホール効果がフォノン起源で起きていることを明らかにした。

第4章は、時間反転対称性と空間反転対称性の破れによって誘起された熱ダイオード効果について述べられている。時間反転対称性と空間反転対称性が破れた系においては、光の伝搬方向の正負によって光応答が異なる現象や電流方向の正負によって抵抗率が異なる非相反現象が観測されているが、廣金氏は熱輸送現象において初めて非相反現象を観測した。廣金氏は、マルチフェロイック物質の TbMnO_3 の表面に電極を装着し、磁場に加えて電場を試料に印加できる配置で熱伝導を測定し、電気分極と磁化のベクトル積に平行か反平行かで熱伝導度が異なる非相反性を観測することに成功した。詳細な温度磁場依存性からテルビウムの磁気状態とフォノンとの相互作用がこの熱流の非相反現象の起源であることを明らかにした。

第5章では本論文の結論、総括および今後の展望が記述されている。

以上のように本論文は、スピン軌道相互作用によって誘起された熱輸送現象を広範囲で研究し、新現象の発見および微視的機構解明の面で、関連の物性物理学の発展に大きな貢献をしたといえる。本論文における研究成果は、東北大学金属材料研究所の小野瀬佳文教授（2018年まで本学総合文化研究科に准教授として在籍）らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって遂行したものであり、その寄与は十分であると判断する。したがって、本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。