

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	板 橋 克 美
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目 Theory of the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State in Quasi-One-Dimensional Type-II Superconductors (準1次元第二種超伝導体における FFLO 状態の理論)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	嶋 原 浩	印
審査委員	教 授	鬼 丸 孝 博	印
審査委員	准 教 授	樋 口 克 彦	印
審査委員	総合科学研究科教授	東 谷 誠 二	印
〔論文審査の要旨〕 本論文は、準1次元第二種超伝導体におけるフルデ・フェレル・ラーキン・オブチニコフ (FFLO) 状態の安定性とフェルミ面の構造の関係を系統的に調べ、準1次元有機超伝導体(TMTSF) ₂ ClO ₄ の観測事実の説明を試みたものである。FFLO状態とは、スピン磁性の強い第二種超伝導体で実現の可能性のある新奇超伝導状態のことである。近年、重い電子系超伝導体や有機超伝導体においてこの状態を示唆する観測事実が相次いで報告されており、これに関する理論的研究も盛んに行われている。当該物質においても、伝導性のよい層に平行な磁場（面平行磁場）を印加した場合に実現の可能性が指摘されており、とくに強磁場中の超伝導オンセット温度 $T_c(\phi)$ における、従来のBCS状態や渦糸状態では説明できない新しい主軸が、FFLO状態を示唆する有力な観測事実と考えられている。ここで、 ϕ は面平行磁場と結晶 a 軸のなす角度である。しかしながら現時点では、この解釈を理論的に裏付ける研究は未だ報告されておらず、当該研究分野における重要課題の一つとなっている。従来の理論でも、異方的なフェルミ面をもつ超伝導体で磁場の方向を変化させると、フェルミ面のネスティング効果によってFFLO状態の安定性が著しく変化することは知られているが、当該物質のフェルミ面に対して観測事実が具体的に再現されるか否かは明らかではなかった。本論文はこの問題に取り組んだものであり、その結果、上記観測事実のFFLO状態による解釈が可能であることが示されている。また、本論文では、特定の物質に対する計算にとどまらず、普遍的な観点からの考察や、幅広いパラメータ領域での系統的な研究が示されており、以下に述べるような興味深い結果が得られている。 本論文の内容は次のとおりである。 第1章では、研究の背景が説明されたうえで、研究目的が提示されている。研究の背景は、フェルミ面のネスティング効果と秩序変数混成効果についての解説と、有機超伝導体			

における F F L O 状態の先行研究の総括である。このネスティング効果は、スピン密度波や電荷密度波に対して知られているネスティング効果を F F L O 状態に拡張したものであり、本論文で調べる磁場角度依存性の主要な原因と考えられる。

第 2 章と第 3 章は、必要な基礎事項の導入のための章である。第 2 章では、F F L O 状態を含む、強磁場中の超伝導体に関する基礎事項が解説されており、第 3 章では、準 1 次元超伝導体における異方的超伝導の理論が総括されている。

第 4 章は、定式化のための章である。F F L O 状態を考慮した超伝導転移温度の方程式が提示され、準 1 次元の場合の秩序変数混成効果についても調べられている。混成する異方的超伝導秩序変数の組合せと混成の強さの関係が明らかにされている。

第 5 章は、当該物質への適用の準備のための章である。電子のエネルギー分散関係のモデルと結晶格子のパラメーターが、先行研究の結果に基づいて提示されている。

第 6 章では、数値計算の結果が述べられている。その最も重要なものは、転移温度の面平行磁場角度依存性における鋭いピーク（カスプ）の発見である。この現象は、特定の面内磁場方向の付近で、F F L O 状態が極めて強く安定化されることを意味しており、当該物質に適用した場合には、強磁場中で出現した新しい主軸の方向に相当するものと考えられる。（観測結果においては鋭いカスプは見られないがこれは軌道磁性対破壊効果によるものと説明されている。）当該物質に対して無理なく仮定できるパラメーターに対して、観測事実に一致する方向のカスプが得られている。

この章では、この現象（カスプ）の発現機構も説明され、先行研究で発見された類似の現象との関係が議論されている。先行研究では、正方格子上の超伝導体において、電子密度を変化させてフェルミ面の形状を変化させるとき、電子密度の関数としての上部臨界磁場に鋭いカスプが生じるが、これに対し本論文の場合は、準 1 次元のフェルミ面は固定したまま磁場の方向を変化させており、磁場角度の関数としての転移温度に鋭いカスプが生じている。類似した現象が異なる舞台設定で実現していることは、この現象が F F L O 状態において普遍的なものであることを意味しており、物理的に興味深い結果と考えられる。

また、この章では、当該物質に対する計算に留まらず、準 1 次元超伝導体の幅広いパラメーター領域に対して系統的にカスプの方向が調べられており、カスプの方向の相図も構築されている。その結果、例えばフェルミ面の見た目の形状だけに基づいた単純な考察からはカスプの方向が予想できず、フェルミ速度も含めた詳しい構造を考慮する必要があることが明らかにされている。これらの結果は将来の実験的・理論的研究に有益な知見を与えるものと考えられる。

第 7 章では、以上の研究成果が総括されている。

以上のように、本論文の研究は、準 1 次元超伝導体における F F L O 状態の理論を発展させており、その学術的な意義は大きい。とくに F F L O 状態が著しく安定化する面内磁場方向が存在することを発見した功績は大きく、学術的に高く評価することができる。従って、本論文の著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な能力と実績を有するものと審査委員全員の一致により認める。

備考 審査の要旨は、1,500 字程度とする。