

別紙 1－1

論文審査の結果の要旨および担当者

| | |
|------|---------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 号 |
|------|---------|

氏 名 中岡 宏徳

論 文 題 目 鉄系超伝導体におけるネマティック秩序と超伝導発
現機構の理論研究

論文審査担当者

| | | | | |
|-----|---------------|-----|--------|-------|
| 主 査 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教 授 | 博士（理学） | 紺谷浩 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教 授 | 博士（理学） | 宮崎州正 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教 授 | 博士（理学） | 内橋貴之 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 准教授 | 博士（理学） | 小林義明 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 准教授 | 博士（理学） | 大成誠一郎 |

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

鉄系超伝導体は 2008 年に発見された新規の高温超伝導体であり、発見以来、世界中で活発に研究されている。この系は鉄の 3d 電子の強い斥力相互作用を有する強相関電子系であり、クーパー対の引力源が電子相関から生じる非 BCS 型超伝導体である。そのため超伝導発現機構の解明に先立ち、超伝導転移温度以上の正常状態の電子状態を正しく理解する必要がある。

鉄系超伝導体の最大の特徴は、鉄の d 軌道の自由度の存在である。鉄系超伝導体の状態相図では超伝導相に隣接して、縮退した 2 軌道の占有電子数が自発的に偏る軌道秩序相が実現し、その近傍では軌道揺らぎの臨界的発達が観測される。ところが平均場近似や乱雑位相近似など従来の標準的な近似理論では、軌道秩序や軌道揺らぎは再現できなかった。様々な軌道秩序の理論が提唱される中、バーテックス補正という高次の量子力学的プロセスの研究が進み、Alsamozov-Larkin (AL) 型バーテックス補正が軌道秩序の実現に重要であることが明らかになってきた。超伝導転移温度が高い物質で強い軌道揺らぎが観測されることから、バーテックス補正を考慮した超伝導発現機構の理論を適用する必要がある。

申請者は、AL 型バーテックス補正を考慮した超伝導ギャップ方程式の数値計算コードを開発して、鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ に適用した。この系では 4 種類の d 軌道がフェルミ面を構成する。平均場近似の範囲では、原点周りのフェルミ面のうち、 $3z^2-r^2$ 軌道成分が多い箇所では電子が弱相関になり、超伝導ギャップが $k_z=\pi$ 平面上でゼロになる水平ラインノードの実現が予言される。一方、申請者の解析によると、バーテックス補正によって 4 軌道全てで軌道揺らぎが生じるため、原点周りのフェルミ面のすべての個所で超伝導ギャップは有限になり、水平ラインノードは生じない。後者の申請者の理論的予言は、最近の $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ における角度分解光電子分光や熱伝導度測定の結果と整合する。従ってこの系において、軌道揺らぎがクーパー対の引力を媒介する軌道揺らぎ超伝導機構が実現している可能性が高いと言える。

更に申請者は、バーテックス補正の理論を多軌道電子系であるチタン砒素化合物 $\text{BaTi}_2(\text{As,Sb})_2\text{O}$ に適用した。この系では低温で電子状態の回転対称性が自発的に破れるネマティック秩序が観測されるが、従来の理論では解明できなかった。そこで申請者は、バーテックス補正の数値計算コードを 3 次元系へと拡張してこの系に適用した。ネマティック秩序の起源がユニットセル内軌道秩序であるという理論的提案を行った。この提案は、最近の NMR 測定により実験的に検証された。以上より、バーテックス補正の理論は鉄系超伝導体に限らず、様々な強相関電子系に対して有効であることが示唆される。

以上まとめると、申請者は鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ やチタン砒素化合物 $\text{BaTi}_2(\text{As,Sb})_2\text{O}$ における超伝導や軌道秩序の発現機構に対する理論的提案を行った。これらの強相関電子系における、平均場近似を超えた多体効果である AL 型バーテックス補正が果たす本質的な役割が見出され、多体電子論における新たな知見を得た。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。