

平成23年度 島根大学「萌芽研究部門」研究プロジェクト 計画書

1. プロジェクト名称	強相関電子系物質の新奇な超伝導機構の解明					
	(英訳名)	Study of Mechanism on Exotic Superconductivity in Strongly Correlated Electron Systems				
2. プロジェクトリーダー	所属	総合理工学部	職名	教授	氏名	藤原 賢二
	現在の専門	磁気共鳴			学位	工学博士
<p>3. プロジェクトの概要 ①本研究プロジェクトで何をどこまで明らかにするか、②国際的あるいは専門的な視野からプロジェクトの必要性・重要性・ユニークな点③島根大学で行う意義・大学の発展にとって期待される効果、について簡潔に記入してください。</p> <p>① 電荷揺らぎを媒介とした超伝導については、重い電子系 CeCu_2Si_2 の高圧相の実験から、初めてその可能性が指摘され非常に注目されている。また、パイロクロア酸化物 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ では、高圧下で構造相転移と超伝導が密接に関係していることが明らかになっている。さらに、β-パイロクロア酸化物 KOs_2O_6 では、K イオンのオフセンター振動(ラトリング)が顕著に出現し、このラトリングと超伝導が密接に関係していることが報告されている。このように、電荷や構造の揺らぎと超伝導の新奇な相関現象が相次いで発見されている。最近になって鉄元素を含む高温超伝導物質が発見され、その超伝導機構に非常に注目が集まっている</p> <p>本研究では、ミクロな観点から電荷揺らぎや静的な電荷状態(電荷秩序を含む)を敏感に測定可能な NMR/NQR 測定を、マクロな観点から帯磁率、電気抵抗、熱測定を遂行することにより、新奇な超伝導機構の解明を目指している。NMR/NQR 実験からは圧力下での電荷の状態や結晶構造の変化を調べ、同時にマクロ測定から得られる超伝導の転移温度や体積分率、電子状態の変化を調べることにより、理論的に正しい超伝導機構を確立する。</p> <p>② 電荷揺らぎ、軌道揺らぎや構造揺らぎを媒介とした超伝導機構は理論的には可能性があることが指摘されているが、実験的には見出されていない。このような新奇な超伝導機構が存在することが確定すれば、全く新しい超伝導物質開発の道を拓くことが期待される。NMR で測定される物理量は電気抵抗測定とは異なり、バルク超伝導かどうかを敏感に反映する点が重要である。また、NQR 周波数は周囲の金属イオン価数や配置を敏感に反映する量であり、格子の微細な変形や価数変化を調べることが可能となる。本プロジェクトでは、NMR のようなミクロな観点からだけでなく、磁化や熱測定等のマクロな観点から超伝導特性を明らかにし、電子状態の本質的な変化を理論的にも明らかにする点に大きな特徴がある。</p> <p>③ 高圧実験は非常に困難な技術開発が要求されるが、大型施設を必要としない点に特徴がある。したがって、地方大学からも世界レベルの研究が可能である。実際、藤原は高圧下 NMR/NQR で、三好は高圧下磁化測定において、世界トップクラスの技術を確立している。今回のプロジェクトにより、島根大学が国内における高圧物性の重要な研究拠点としての地位を確立できるものと考えている。実際、重い電子系の試料合成では国内で最も定評のある大阪大学・大貫研究室から反転対称性の無い新奇超伝導体 CeCoGe_3 の実験の依頼を受けて、今年度に共同研究を開始する運びとなった。今後とも強相関電子系の研究分野において国際的に評価の高い研究を推進していきたい。</p>						
<p>4. 平成22年度の主な成果 特に重要なものを箇条書きにしてください。</p> <p>(1) 高圧電気抵抗率測定のセッティング技術の開発に成功した。</p> <p>(2) 新圧力媒体を用いた CeCu_2Si_2 の高圧下高精度 NQR 測定に成功した。(アジア高圧国際会議で招待講演)</p> <p>(3) 鉄系超伝導体 FeSe の単相合成に成功し、T_c の圧力依存性を明らかにした。</p>						
5. 配分経費 (単位:千円)						
平成(年度)	23				合計	
配分予定額(千円)	2,376					

6. プロジェクト推進担当者 平成23年度に限って記入してください。 計 4 名

ふりがな(ローマ字) 氏 名(年齢)	所属部局(専攻など)・職名	現在の専門 学位	役割分担
<p>(プロジェクトリーダー)</p> <p>ふじわら けんじ (FUJIWARA Kenji) 藤原 賢二 (50)</p> <p>みよし きよたか (MIYOSHI Kiyotaka) 三好 清貴 (41)</p> <p>にしごり しじょう (NISHIGORI Shijo) 西郡 至誠 (43)</p> <p>むとう てつや (MUTOU Tetsuya) 武藤 哲也 (40)</p>	<p>総合理工学部 物質科学科・教授</p> <p>総合理工学部 物質科学科・准教授</p> <p>総合科学研究支援センター・准教授</p> <p>総合理工学部 物質科学科・准教授</p>	<p>磁気共鳴・工学博士</p> <p>低温物理学・博士(工学)</p> <p>低温物理学・博士(理学)</p> <p>低温物理学・博士(理学)</p>	<p>プロジェクト総括, 高圧下磁気共鳴 (ミクロな観点からの実験)</p> <p>試料作製, 高圧下磁化測定 (マクロな観点からの実験 I)</p> <p>高圧下熱物性測定 (マクロな観点からの実験 II)</p> <p>電子状態の理論的解明</p>

7. 研究計画および達成目標

[平成23年度]

【計画概要】

昨年度, 高圧電気抵抗率測定のためのセッティングの環境整備を行なった。本年度は抵抗率測定用の機器(直流電流ソースとナノボルトメータ)を整備して, 高精度の高圧実験を実現する。これらの機器は電気抵抗率測定のみならず, ホール電圧測定等の輸送物性測定にも展開が可能である。

本研究において最も重要性の高いのは, 重い電子系超伝導体 CeCu_2Si_2 の 4.5 万気圧近傍で出現する超伝導相において, 価数揺らぎが超伝導引力機構となっているのかどうかという問題である。本年度は 5 万気圧を容易に実現可能とできる, 小型で試料容積の大きな対向アンビル型クランプセルの開発を目指している。また, CeCu_2Si_2 の単結晶試料の NMR 実験を遂行し, 高圧相の超伝導電子対のパリティの情報を得ると同時に, NQR 周波数の磁場依存性測定により価数揺らぎ超伝導機構の検証を行う。その他の重い電子系化合物の研究としては, 軌道揺らぎが重要な役割を果たしている可能性のある CeAl_2 および反転対称性の無い新奇超伝導体 CeCoGe_3 の高圧 NMR/NQR 実験を開始する予定である。また, 新対向型アンビルセルを用いて高精度輸送特性(電気抵抗, 熱測定, ホール効果測定)も推進していきたいと考えている。

パイロクロア化合物 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ では, 2GPa 付近における構造相転移の消失と同時に超伝導転移温度が増大する原因, 結晶構造や Re の価数や電子状態の関係を調べる予定である。鉄系超伝導化合物では, 引き続き高圧実験・理論計算を遂行して, 超伝導の発現機構に迫りたいと考えている。特に FeSe 系超伝導体では, これまで測定してきた高圧下帯磁率測定に加えて, 高圧下で電気抵抗率, NMR, 比熱測定を遂行して, この系の超伝導の本質に迫る研究を推進する予定である。

【平成22年度評価を踏まえた本年度計画の重点事項】

平成 22 年度では, これまで使用してきたインデンター型圧力セルの発生圧力の向上に限界が見えたので, 全く新しい対向アンビル型クランプセルの開発・応用を目指している。ダイヤモンドアンビルセル(DAC)と類似した構造により圧力の発生効率を向上させ, 大きな試料空間を保持させるという基本的なアイデアは, 東大・物性研究所の北川等により提案されたものであり, 彼等の研究グループは 9 万気圧程度の圧力下で NMR 信号の観測に成功している。本研究では, これをさらに改良して配線が容易な構造として, 圧力実験の成功率の向上を図るものである。

輸送特性測定のためのセッティング用の環境は 22 年度に整備されたので, 測定用機器を購入して高感度の測定を行なう。具体的には昨年度良質単相試料の合成に成功した FeSe 系の高圧電気抵抗率測定を遂行する。これまで, 他の研究グループの電気抵抗率測定から決定された超伝導転移温度 T_c と我々の研究グループの三好が帯磁率測定により決定した T_c の圧力依存性に食い違いが見られた。この差が実は本質的な可能性があるので, 高圧下電気抵抗率測定はこの系の超伝導研究の正しい理解に欠くことができないと考えている。

<p>【研究項目】 研究項目には①,②,…の様に番号をつけて箇条書きしてください。</p> <p>① 高圧下電気抵抗測定</p> <p>② 4万気圧以上の $CeCu_2Si_2$ の高圧 NQR 測定を遂行し、Ce の電荷状態の圧力変化を調べる。</p> <p>③ 重い電子系高圧 NMR 実験の遂行</p> <p>④ $Cd_2Re_2O_7$ の高圧 NQR 実験</p> <p>⑤ Fe 系超伝導体の超伝導機構の研究を行なう。</p> <p>⑥ 圧力下熱測定技術の開発</p>	<p>【達成目標】 対応する研究項目に対して第三者が本年度に達成できたと判断できる具体的な目標を記入してください。</p> <p>ナノボルトメータおよび電流ソースを購入し、電気抵抗の高精度測定を行なう。重い電子系化合物 $CeAl_2$ や Fe 系超伝導体、あるいはその関連化合物の良質単結晶試料を合成し、高圧力下での超伝導特性の変化を観測する。</p> <p>(1) 対向アンビル型クランプセルの開発・応用 8万気圧級の小型の対向アンビル型クランプセルの開発を行なう。圧力発生には既存の機器では対応が不可能なので 20 トンプレス機を購入する。</p> <p>(2) $CeCu_2Si_2$ の高圧 NQR 実験の遂行 新開発のクランプセルを用いて Cu 核の NQR 周波数の圧力変化を高精度に測定する。これにより、NQR 周波数の圧力変化が相転移なのか、クロスオーバーなのかを決定する。</p> <p>(1) $CeCu_2Si_2$ の単結晶 NMR 独・マックスプランク研究所より $CeCu_2Si_2$ の良質の単結晶試料の提供(5月末に入手予定)を受けて、Cu 核の NMR を圧力下で観測する。ナイトシフト測定により、世界で初めて高圧相の超伝導のパリティに関する情報を得る。価数揺らぎを考慮した理論から、磁場印加により NQR 周波数が転移的に大きく変化することが予想されている。そこで、NQR 周波数の磁場依存性を精度良く測定することにより、価数揺らぎ超伝導機構の検証を行う。</p> <p>(2) 重い電子系 $CeAl_2$, $CeCoGe_3$ の NMR 最近阪大・大貫研究室より反転対称性の無い新奇な超伝導体 $CeCoGe_3$ の良質試料の提供を受けたので、Co 核の高圧 NMR を遂行する。昨年度開始した $CeAl_2$ の ^{27}Al-NMR も引き続き実験を行なう予定である。</p> <p>パイロクロア化合物 $Cd_2Re_2O_7$ では、2GPa 付近における構造相転移の消失と同時に超伝導転移温度が増大する原因、結晶構造や Re の価数や電子状態の関係を調べる予定である。</p> <p>一昨年発見された鉄系超伝導体は世界レベルでの研究が競われており、非常に注目度が高い。良質試料を育成して、高圧 NMR・帯磁率・電気抵抗・熱物性実験を遂行する。</p> <p>これまで開発してきた圧力下における熱測定技術(比熱、熱電能、熱伝導度)は、2万気圧程度の圧力に止まっていた。大型インデンター圧力セルを用いて、4万気圧級の圧力下での熱物性の絶対値測定を目指している。</p>
---	---

8. 平成23年度経費明細 研究項目と達成目標ごとに使用する経費を記入してください。(単位:千円)

・経費は本研究プロジェクトの遂行に必要な経費です。

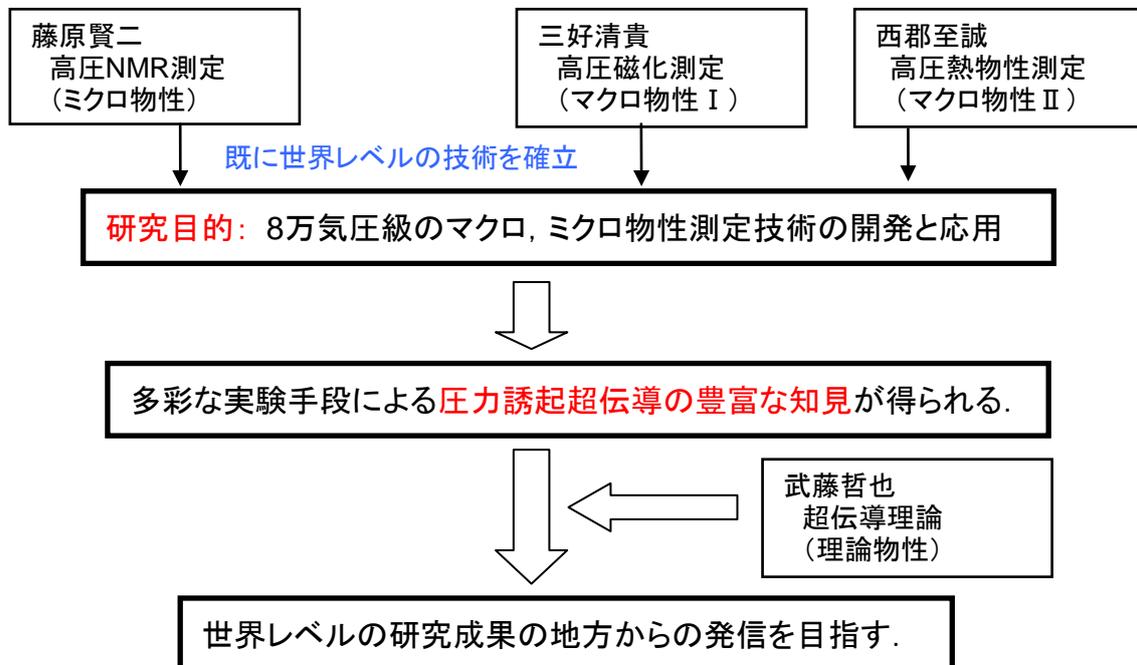
・経費は政策的配分経費(a)(今回配分された金額)とそれ以外の資金(学内経費、外部資金)とし、それ以外の資金で充当させる場合は「配分経費以外(b)」の欄に金額を記入してください。

・研究計画の項目番号ごとに設備備品、旅費、人件費、消耗品費などに分けて、それぞれの明細を出来るだけ具体的に記入してください。

・単品の設備備品は配分経費(a)と配分経費以外(b)を合算して購入することはできませんのでご注意ください。

事項(品名)	(対応する研究項目番号)	配分経費(a)	配分経費以外(b)	合計(a+b)
設備備品				
直流電流ソースおよびナノボルトメータ (KEITHLEY, 6220 & 2182A/J)	①	870 千円		870 千円
20トンプレス機 一式	①-⑥, 全てに使用	600 千円		600 千円
デジタル油圧ゲージ	①-⑥, 全てに使用		150 千円	150 千円
消耗品				
対向アンビル型圧カセル(3 セット)	②, ③, ⑤	600 千円		600 千円
圧カセル用部品	①-⑥, 全てに使用		400 千円	400 千円
旅費 (成果発表)				
国際会議: SCES2011 (8/29-9/3, ケンブリッジ, UK)	②	206 千円	50 千円(参加費)	256 千円
日本物理学会(9月, 富山市)	④	100 千円		100 千円
日本物理学会(3月, 兵庫県三田市)	③, ④, ⑤		100 千円	100 千円
合計		2,376 千円	700 千円	3,076 千円

9. 研究終了後の展開(科研費などへの申請等) 図などで解りやすく示してください。



- (1) 著名雑誌への成果公表 (JPSJ, PRL, Science, ...)
- (2) 大型外部資金の確保
科研費B以上、新学術領域研究への参加
- (3) 国際的共同研究のさらなる展開