

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月10日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
東京大学・工学系研究科
[職・氏名]
准教授・為ヶ井 強
[課題番号]
JPJSBP 120219907

1. 事業名 相手国: イタリア (振興会対応機関: OP) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 粒子線照射欠陥を用いた鉄系超伝導体における磁束ピン止めの増強と超伝導機構の解明

(英文) Enhancement of vortex pinning and elucidation of superconducting mechanism in iron-based superconductors via particle-irradiation-induced defects

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日 ~ 2023年3月31日 (2年0ヶ月)【延長前】 年 月 日 ~ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Politecnico di Torino・Associate Professor・Gianluca Ghigo

5. 委託費総額(返還額を除く)

| | | |
|-----------------|----------|-------------|
| 本事業により執行した委託費総額 | | 3,800,000 円 |
| 内訳 | 1年度目執行経費 | 1,900,000 円 |
| | 2年度目執行経費 | 1,900,000 円 |
| | 3年度目執行経費 | - 円 |

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

| | |
|----------|-----|
| 日本側参加者等 | 12名 |
| 相手国側参加者等 | 8名 |

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

| | 派遣 | | 受入 |
|------|-----|-----|------|
| | 相手国 | 第三国 | |
| 1年度目 | 0 | 0 | 0(0) |
| 2年度目 | 2 | 0 | 0(0) |
| 3年度目 | | | () |

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究では、超伝導体に高エネルギー粒子線照射を行うことにより欠陥を導入し、臨界電流密度の増大を目指した。具体的には、欠陥の形状、配置等を総合的に考慮しながら、磁束に対する欠陥の効果の定量的理解を目指すと共に、最大の臨界電流密度を実現する方法を探った。また、スプレー柱状欠陥を導入した系では超伝導面内の臨界電流密度に 2 成分(スプレー面に平行、垂直)が生じるので、それぞれの磁場依存性を磁気光学イメージングや局所磁場測定から研究した。これらの実験的知見から、スプレー柱状欠陥の場合に見られる異常ピーク効果の起因の解明を目指した。一方、超伝導体に導入した欠陥の超伝導転移温度に与える影響を、乱れの効果のみだけでなく、結晶格子の変化や競合秩序の変化の影響を総合的に捉えた上での理解を目指した。コロナ禍の影響から、当初予定していた人的交流は 2022 年度のみに限られたが、日本、イタリア双方が利用できる高エネルギービームを活用することにより、研究を進展させることができた。また、日本側研究代表者と博士課程学生がトリノ工科大学に赴いて行った磁気光学イメージングでは、当初期待していたスプレー柱状欠陥を持つ超伝導体における面内臨界電流密度の異方性を直接観測することに成功した。また、NbSe₂ へ様々な条件でスプレー柱状欠陥を導入することにより、この系における臨界電流密度の異常な増大(異常ピーク効果)が欠陥角度や欠陥密度と共に複雑に変化することを見出した。さらに、NbSe₂ へのプロトン照射実験では、電子線照射とは異なる臨界温度の照射量依存性を見出した。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

主要な研究対象である鉄系超伝導体においては、これまでスプレー柱状欠陥を導入した系においてのみ観測されていた異常ピーク効果が、傾斜柱状欠陥を導入した系においても生じることを見出した。また、スプレー柱状欠陥を導入した NbSe₂ における磁気光学イメージング実験により、面内臨界電流密度の異方性を直接観測することに成功した。さらに、NbSe₂ へ様々な条件でスプレー柱状欠陥を導入することにより、この系における異常ピーク効果が欠陥角度や欠陥密度と共に複雑に変化することを見出した。照射量に対応するマッチング磁場 B_{Φ} とピーク磁場 H_p の比 (B_{Φ}/H_p) は、鉄系超伝導体で見られていたように一定値の 1/3 ではなく、条件により大きく変化することが明らかとなった。一方、超伝導と電荷密度波が共存する NbSe₂ へのプロトン照射実験では、電子線照射とは異なる臨界温度の照射量依存性を見出した。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

コロナ禍に加え、本共同研究はオープンフレームということで、先方に対応する予算がなかったため、イタリア側の研究者を受け入れることはできなかったが、お互いの国における加速器をそれぞれ使い分けることにより、1国のみでは実現不能なペースで超伝導体に対する粒子線照射効果の研究を推進することができた。日本側からは、研究代表者が約1週間、博士課程学生が約3週間トリノに滞在し、磁気光学イメージングを中心とする実験を遂行することができた。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

超伝導体の臨界温度と共に重要な特性である臨界電流密度を人工的に増大する機構に関する重要な知見を得ることができた。大きな臨界電流密度を持つ超伝導体を線材に加工することができれば、もしくは線材にした超伝導体に粒子線照射を行い臨界電流密度を増大することができれば、強力な磁場を発生する超伝導磁石を作製することが可能となり、医療関係では MRI、輸送関係ではリニアモーターカー、エネルギー関係では核融

合炉、また基礎研究では大型加速器や基礎研究用の大型磁石に用いることができると期待される。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

コロナ禍の中、人的交流は限られたものとなったが、派遣することのできた博士課程学生からは、本共同研究が大変有意義であったとの感想を得ている。また、イタリア側で粒子線照射を行ってもらった超伝導試料を日本側で測定することにより、それまで未着手であった部分の照射条件を埋めることができ、臨界電流増大機構に関する重要な知見を得ることができた。さらに、本研究室から提供した鉄系超伝導体試料に粒子線照射を行うことにより、イタリア側の博士課程学生の研究が大きく進んだとの報告を受けている。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

鉄系超伝導体を含む超伝導体に対する粒子線照射効果の研究は、臨界電流密度を増大させる大変有力な手段であるにもかかわらず、その機構に関しての詳細な研究が十分には行われてこなかった。本研究により、鉄系超伝導体および従来型層状超伝導体の代表物質である NbSe₂ における粒子線照射効果を研究することにより、臨界電流密度の増大が照射条件のわずかな違いにより大きく変化することが明らかとなった。照射条件をより精密に制御することにより、臨界電流密度の増大機構の解明とより効率的な増大方法の発見につながると考えられる。

(7)その他(上記(2)~(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

コロナ禍の中、人的交流は限られたものとなったが、唯一先方に派遣することのできた博士課程学生の先方での評価が大変高く、博士号取得の後にポスドクとしてぜひ招待したいとの申し入れを受けることができた。