

# 科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料 〔研究進捗評価用〕

平成17年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文） 4次元空間中性子探査装置の開発と酸化物高温超伝導機構の解明

研究課題名（英文） Development of the 4D Spaces Access Neutron Spectrometer (4SEASONS) and Elucidation of the Mechanism of Oxide High-Tc Superconductivity

研究代表者

新井 正敏 (ARAI MASATOSHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究主席



研究の概要：大強度陽子加速器施設 J-PARC への高性能中性子非弾性散乱実験装置「4次元空間中性子探査装置」の建設、酸化物高温超伝導の中性子散乱研究の推進、純良単結晶試料の作製により、大強度パルス中性子源を利用した酸化物高温超伝導機構の解明を目指す。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：高温超伝導、中性子散乱、J-PARC

## 1. 研究開始当初の背景

高温超伝導機構の解明は 20 世紀が残した最大の難問の一つであるが、高温超伝導発見以来 20 年経過した現在においても決着は付いていない。高温超伝導の機構を解明するためには、超伝導を担うクーバー電子対を形成する相互作用およびその空間的な作用の異方性を知ることが最も重要である。中性子散乱は、そうした磁気的および格子運動による相互作用の強さに加えて、その空間的異方性についても観測できる最も優れた実験プローブの一つである。しかし、酸化物高温超伝導体では上記の相互作用が非常に強く、エネルギー・波数空間の広範な領域に広がっているために、観測信号が非常に微弱であり、従来の中性子源を利用した観測では高温超伝導機構の解明は困難であった。

## 2. 研究の目的

大強度陽子加速器施設 J-PARC の大強度パルス中性子源を利用し、酸化物高温超伝導物質のもつ異常な磁気励起やフォノン異常現象を詳細に観測することにより高温超伝導機構の解明を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) J-PARC の大強度パルス中性子源において、これまで世界最高性能であった同種装置よりも 2 桁高い性能を有する中性子非弾性散乱実験装置、「4次元空間中性子探査装置」(略称：四季分光器)を実現する。

(2) 異常な磁気励起、フォノン異常現象を 3 次元の波数空間およびエネルギー軸からなる 4 次元空間で詳細に観測することにより酸化物高温超伝導機構の解明を飛躍的に推し進める。

(3) 高品質かつ十分な量の単結晶試料の準備を行い、装置利用が開始されると同時に組織だった研究チームによりの絞った観測点での集中的な実験を推進する。

## 4. これまでの成果

### (1) 四季分光器の建設

本研究遂行の中心となる四季分光器について、解析的・数値的手法によりその予想性能を検討し、設計の基本仕様を決定した。この基本仕様を元に、複数の機器の実機製作が順調に進捗しており、一部の機器はビームポートへの据付が完了している (図 1)。



図 1 J-PARC 物質・生命科学施設内にて建設の進む四季分光器。

さらに、四季分光器の目指すサイエンス、最終スペック、製作状況を国内外の研究会にお

いて発表することで、高温超伝導研究、装置開発研究の専門家から広く意見を招請することができた。また、平成 19 年度からは装置建設終了後に展開する酸化物高温超伝導機構解明の研究指針を方向付けるため、外部研究者による講演も交えたサイエンスに関する集中討論会を定期的に開催している。

(2) 酸化物高温超伝導体の中性子散乱研究中性子散乱による酸化物高温超伝導体の実験研究を、既存のパルス中性子源や、原子炉中性子源を利用して精力的に行ってきた。その結果、電子ドープ型超伝導体における磁気相関は、ドーピングに対して急速に弱まる結果が得られ、高エネルギー領域の磁気揺らぎの重要性を示した。また、La214 系超伝導体アンダードープ試料での砂時計型磁気励起、Bi2201 系超伝導体での格子非整合な磁気ピークの存在などについて理解を深めることができた。さらに、YBCO 系超伝導体におけるフォノンのソフトニングと超伝導転移温度の相関についても重要な知見が得られている(図 2)。また、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に三軸型中性子分光器 AKANE を設置し、その高輝度化に成功した。その結果、銅酸化物超伝導体の研究に利用出来るビームタイムを大幅に増やすことができ、作成した試料の系統的研究や評価ができる体制が整った。

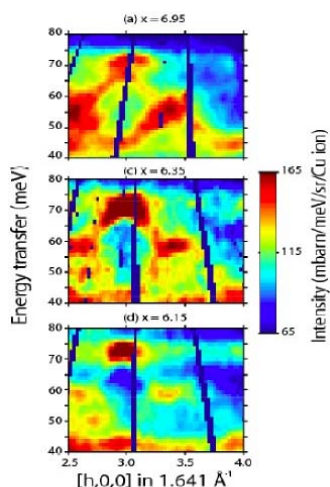


図 2 YBCO の各キャリアー濃度で測定されたハーフブリージングフォノンの分散関係。

(3) 試料作製環境の構築と試料作製  
(i)YBCO 系超伝導体の単結晶育成、(ii)La214 系および電子ドープ系超伝導体の単結晶育成、(iii)Bi 系超伝導体の単結晶育成、を大きな柱として系統的に試料作製環境の整備と試料作製を進めてきている。(i)については、原子力機構内に 3 台の単結晶育成装置の整備が完了し、すでに単結晶の育成を開始している。(ii),(iii)については東北大学に導入された

レーザー集光 FZ 炉を活用して各種大型単結晶試料の育成が進行しており、一部の試料についてはすでに中性子散乱実験に供され、研究成果に寄与している。

## 5. 今後の計画

(1)平成 20 年度に予定されている J-PARC 大強度パルス中性子ビームの稼働開始に向けて四季分光器を完成させ、試験運転及び調整を行う。

(2) 四季分光器の試験運転・調整が完了した後、ただちに本格実験を行う。特に装置の特性を活かして、高温超伝導体のフォノン分散関係や磁気励起の 4 次元空間中での形状、組成依存性、温度依存性を集中的に測定する。ARPES 等で得られた電子状態や理論的計算と対比することにより、超伝導対称性、超伝導温度等を検証し、機構の解明を目指す。

(3) 試料作製・調整環境の整備を続け、平成 20 年度内の中性子ビーム受け入れに間に合うように La214 系、YBCO 系、Bi 系、Hg 系、電子ドープ系超伝導体の純良単結晶試料の作製を行い、物性量 ( $T_c$  等) の同定を行う。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

(1) **新井正敏**、「中性子源及び建設中・計画中の装置の概要」、日本結晶学会誌第 50 巻第 1 号「特集-J-PARC で迎える結晶学の新展開」、7-12 (2008)

(2) A.A. Belik, S. Iikubo, T. Yokosawa, K. Kodama, N. Igawa, S. Shamoto, M. Azuma, M. Takano, K. Kimoto, Y. Matsui, and E. Takayama-Muromachi, “Origin of the monoclinic-to-monoclinic phase transition and evidence for the centrosymmetric crystal structure of BiMnO<sub>3</sub>”, J. Am. Chem. Soc. **129**, 971-977 (2007)

(3) R. Kajimoto, T. Yokoo, K. Nakajima, M. Nakamura, K. Soyama, T. Ino, S. Shamoto, M. Fujita, K. Ohoyama, H. Hiraka, K. Yamada, and M. Arai, “High Intensity Chopper Spectrometer 4SEASONS at J-PARC”, Journal of Neutron Research **15**, 5-12 (2007)

(4) R.J. Birgeneau, C. Stock, J.M. Tranquada and K. Yamada, “Magnetic Neutron Scattering in Hole-Doped Cuprate Superconductors”, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 111003(1)-111003(14) (2006)

(5) T. Fukuda, J. Mizuki, K. Ikeuchi, K. Yamada, A.Q.R. Baron, and S. Tsutsui, “Doping dependence of softening in the bond-stretching phonon mode of La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> (0 ≤ x ≤ 0.29)”, Phys. Rev. B **71**, 060501(1)-060501(5) (2005)

その他多数