

平成23年 8月10日現在

機関番号：82110
 研究種目：特別推進研究
 研究期間：2005 ～ 2009
 課題番号：17001001
 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
 研究者番号：30175955

研究成果の概要（和文）：J-PARC の強度と合わせ、多重エネルギーの中性子を活用することにより、装置性能を格段に高度化させた、従来の 100 倍高性能の中性子散乱実験装置「四季」を実現する。これにより、エネルギー問題等の切り札とされるが、発見された 20 世紀以来今日においても物性物理学の極めて困難かつ重要な高温超伝導機構の解明を推進する。

研究成果の概要（英文）：We are aiming at realizing a state-of-the-art neutron spectrometer, 4SEASONS, with a 100 times higher performance, by utilizing multi-energy neutrons and high intensity of J-PARC neutron source. We will challenge to elucidate the mechanism of the high-Tc superconductivity on 4SEASONS, which is one of the most difficult subject in the solid state physics since 20 century on the discovery.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 17 年度	88,200,000	26,460,000	114,660,000
平成 18 年度	230,100,000	69,030,000	299,130,000
平成 19 年度	271,900,000	81,570,000	353,470,000
平成 20 年度	19,400,000	5,820,000	25,220,000
平成 21 年度	22,100,000	6,630,000	28,730,000
総計	631,700,000	189,510,000	821,210,000

注：本計画は J-PARC の稼働の遅れもあり、平成 22 年度まで延伸した。

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：酸化物高温超伝導体、中性子散乱、4次元空間中性子探査装置、J-PARC、チョッパ分光器、純良単結晶育成

1. 研究開始当初の背景

【背景】

1986年に発見された酸化物高温超伝導の機構解明は、今日においても物性物理学の極めて困難かつ重要な研究課題の一つである。超伝導二次元面の銅原子が有するスピン1/2の存在が、それまで知られてきたBCS超伝導機構と全く異なる可能性を予見させ、異常な物性

を示すとともに、多くの理論の展開を誘発した。その結果、電荷-スピンの分離を伴う量子効果が超伝導機構の一つと考えられてきた。その後の多くの研究により、物質の種類には関係なく、**砂時計型**と呼ばれる奇妙な磁気励起が観測されており、超伝導の起源と深く関わっているものと考えられている。酸化物高温超伝導がこれまでの超伝導と異なる点は超

伝導の対称性がd波であることであり、その根元を知ることこそが機構解明の鍵を握っていると見てよい。ところが、この対称性は電荷-スピン相互作用によっても、異方的な電子-格子相互作用によっても生じ得る。従って、電子間相互作用を媒介する磁気相互作用（磁気励起）とフォノンダイナミクス（格子運動）の全貌を明らかにし、いかなる波数-エネルギー空間での励起（相互作用）が超伝導を生み出しているのかを知ることこそが、超伝導機構解明に最も重要な課題である。しかしながら、両励起ともに量子効果によってエネルギー-波数空間に広範に広がる励起現象であるためにシグナルが微弱であり、その詳細な観測は非常に困難である。パルス中性子はこのような大域にまたがる微弱な励起現象を一挙に観測しうる最も有効な研究手段の一つであり、これまでも高温超伝導研究で大きな役割を持ってきた。しかし、従来のパルス中性子源としてはそれまで最強の中性子強度をもつ英国ラザフォードアップルトン研究所（RAL）・ISIS施設に設置されたMAPS分光器を利用してもなお、その詳細の観測には限界があった。茨城県東海村に2009年に完成した大強度陽子加速器研究施設（J-PARC）の大強度中性子源（JSNS（1MW））はRAL・ISIS施設の6倍の中性子強度を実現する。しかし、線源の強度が6倍増大するだけでは同研究の飛躍的進展は望めないと考えるに至った。

画期的な展開のためには**100倍高性能**の装置が必要である。一方、本研究の終盤である2008年に発見された鉄系超伝導体においても磁氣的相互作用の重要性が指摘され、両物質系の比較研究が重要であることから、研究対象として取り入れることとなった。

2. 研究の目的

本研究計画の主目的はJ-PARC大強度パルス中性子源（出力 1MW）を利用した酸化物高温超伝導の機構解明の推進であり、具体的には以下の三項目について精力的に研究を遂行する。

(1) 従来世界最高性能のISIS施設（出力 160kW）のMAPS分光器よりも中性子強度が**2桁**強い実験装置（4次元空間中性子探査装置、略称：「四季」）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および鉄系高温超伝導機構の解明を飛躍的に押し進める。

(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。

3. 研究の方法

(1) 「四季」の建設

これまでの100倍高性能な革新的装置の建設を大きな目標に据え、装置の概念設計、建設を進めた。概念設計、性能シミュレーション、基本仕様の検討は2005年～2006年にかけて進められた。事象判別計測データ集積系の開発を高エネルギー加速器機構の研究者と協力して進めた。膨大なデータを取得する本装置にとって解析ソフトウェアの開発はこの上なく重要であり、英（ISIS 施設）米（SNS 施設）韓国（HANARO 施設）の研究者と協力して進めた。また、大面積の検出器が必要であることから、これについては、民間企業との協力で進めた。高性能中性子集光系（スーパーミラーガイド）の開発も含め、四季の建設の全般については日本原子力研究開発機構のメンバーによってなされた。一方、散乱真空槽（1億円相当）の建設においては、北京オリンピックの余波で鋼材の価格が暴騰し、企業との契約が一時期うまくゆかず、予算の一年延伸を招いた。

さらに、チョッパーの開発については、検討開始後数年後に判明したことが、国内の企業に十分な技術力がなく、SNS 施設で開発したチョッパー本体に、本研究独自設計のロータを取り付けたものをSNSの協力により導入することができた。一方、高速中性子バックグラウンドを削減するTOチョッパー開発については、国内企業との協力で進めたが、新たな技術であることもあり、その安定稼働は2010年ようやく実現した。

このように、多くの紆余曲折はあったものの以下の成果で述べるように、初期目的の100倍の高性能装置を完成することができた。

(2) 単結晶資料の育成

東北大金研グループはレーザーFZ炉の装置の導入がなされ、それまで、作成が困難であった $(\text{La, Ba})_2\text{CuO}_4$ や $(\text{La, Sr, Ca})_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$ 系の単結晶の育成に成功している。また、新たに超伝導転移温度の高いBi2201系の大型単結晶の育成にも成功した。これらにより、超伝導体の磁気励起やフォノンの研究を、新しい物質系で行える環境が整った。

また、原子力機構の試料作製グループは2008年の鉄系超電導材料の発見に伴い、同系列の試料作製に進んだ。

(3) 中性子散乱実験

本研究が開始され、2009年に四季分光器が稼働するまでの間、国内外の実験施設や放射光施設の利用を進めた。また、J-PARCのパワーが100kWになった2009年12月ごろより、四季分光器を利用し、本研究メンバーによる研究を推進した。2009年にはJ-PARCの不調等もあり、十分な実験時間が取れなかったため、**本計画を一年延伸した**。2010年12月より、J-PARCは220kWで稼働することとなり、本研究が本格的に進められる状況となっ

たが、2011年3月の大震災により、稼働がストップした状態である。2011年12月からの再稼働のための復旧作業が現在進んでいる。

(4) 研究会の開催

装置の建設、研究の進捗に応じ、適宜国内外の研究者を交えた研究会を開催し、その方向性を一つ一つ検討し進ませた。

4. 研究成果

(1) 100倍性能分光器の実用化

第一の目標でもあった従来の同種の中性子実験装置（具体的には英国ISIS施設のMAPSチョッパー型分光器）に比べ2桁高性能の装置「四季」の実現を果たした。J-PARC自身による強度の増加に加え、これまでにない独創的かつ革新的設計思想に基づく高性能装置の実現を遂行した。そのために、

1) 高強度減速材（結合型減速材）の利用、
2) 中性子集光系の最適化、3) **多重入射エネルギー**の利用が採用された[8]。

分解能を損なうという偏見から、これまで同種の装置では採用されてこなかった結合型減速材を初めて採用し（対MAPS比2～10倍）、さらに、最適化された高性能集光系を採用した（対MAPS比2～5倍）。さらに測定効率を何倍にも上げるために多重入射エネルギー計測手法の実現を世界で初めて実現した（対MAPS比4～5倍）。新型計測電装系の開発、事象分別計測手法（イベントレコーディング）を開発した。これにより、J-PARCの1 MW (ISISの160 kW) がもたらす6倍の比強度と合わせると、実に**100倍**以上の性能を実現できることを実証し、実用化した。

上記の装置および測定手法の技術革新は当該分野に多大なインパクトを与えた。発表学術誌[11]ではエディタズ・チョイスを得ると同時に、関連新聞 [科学新聞] にも掲載された。さらに2011年度文部科学大臣表彰候補としても取り上げられているところである。そのうえ、海外の大型施設 (ISIS施設) が同手法を採用決定、欧州計画 (ESS計画、約2000億円の計画) でもその採用検討がなされるほど大きな波及効果をもたらした。

一方、ヘリウム3を利用した中性子偏極技術開発については、本研究でその開発を進めたのち、JSTのプログラムにより、開発がより一層推進され、現在、世界レベルの偏極率を達成することに成功している[6]。また、上記の多重入射エネルギー手法の実用化からもわかるとおり、マジックチョッパーの原型機は非常にうまく作動し、さらなる高度化が現在進行している。

(2) 高温超伝導物質の中性子散乱研究 [15]

① 銅酸化物高温超伝導体の研究

1) ホールドープ系の広領域磁気励起 [24]

超伝導相に特徴的な砂時計型磁気励起が半導体相で存在し、高エネルギー側でスピン波励起へと移行することを明らかにした。さらに、スピン波の強度は、特定のエネルギー以上で大きく減少し、このエネルギーが銅酸化物超伝導で最も大きな問題である、擬ギャップエネルギーに対応している可能性が高いことを示した。また砂時計型の上部励起と下部励起を分けるエネルギー (w_{cross}) が超伝導転移温度と同様なドープ量依存性を示し、最適ドープ領域近傍で、擬ギャップエネルギーと同程度になることがわかった。またこれより過剰ドープ領域では、超伝導転移温度の低下と共に磁気散乱強度が減少することを明らかにした[21]。X線コンプトン散乱で、この領域でのホールの軌道状態を調べた結果、過剰ドープ領域では超伝導には寄与しない別の電子軌道が発生し、電荷不均一状態を形成する可能性が高いことを示した[1]。

2) 不純物効果

銅サイトを別の3d遷移金属元素で置換し、超伝導と磁性や構造の関連を系統的に調べた。特にNi置換では、ホールを強く束縛し、 Ni^{3+} ($s=1/2$) に近い状態を導入できることを、中性子散乱と、X線吸収端近傍のスペクトル解析から明らかにした。これにより、 CuO_2 面上で、 Cu^{2+} の $s=1/2$ のネットワークを保ったまま、価数の異なる不純物効果を初めて調べた[14, 19, 22, 23]。

3) 電子ドープ系の広領域磁気励起

パルスと定常中性子散乱による広いドープ量とエネルギー領域での実験を行った。その結果、ホールドープ系の砂時計型磁気励起とは質的に異なる、階層的磁気励起が観測され、この系の電子ドープ前の基底状態が何かについての新たな基本的問題が浮かび上がってきた[18, 25]。

4) 単結晶育成

Bi2201 系、 La2126 系など、結晶化が困難な銅酸化物の大型結晶育成に成功し、中性子散乱による初めて研究を展開できた。特に鉛を含まないBi系において新しい手法で大型単結晶育成を行い、中性子非弾性散乱で初めて磁気信号を捉えた。この手法により、今まで中性子分光研究が行えなかった、非等価な CuO_2 面を持つ多層系の単結晶育成への道筋ができた。

② 鉄砒素高温超伝導体の研究

本研究の鉄砒素高温超伝導体の研究は発展的にJSTのプログラムによっても採択され、その研究が強く推進されることとなった。本研究では、鉄砒素高温超伝導体のなかで最も高い転移温度をもつ $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ を研究した。高い転移温度をもつ超伝導体では磁気散乱強度は母相とほとんど変わらないが、オー

バードープの低い転移温度の超伝導体では、その磁気散乱がなくなった[7]。これはフェルミ面のネスティングがスピン揺らぎに重要なことを示唆する。これは、銅酸化物超伝導体と共通する超伝導の本質と考えられる。また、スピンレゾナンス・ピークが鉄系においても普遍的に観測され、そのエネルギー E_{res} は銅酸化物高温超伝導体同様転移温度と同様によくスケールすることがわかった[9]。またノードをもち、 T_c が30Kと比較的高い $BaFe_2As_{1.3}P_{0.7}$ でも、同様に大きなスピンレゾナンスが観測された。このことは、大きなスピンレゾナンスが高い T_c と関連していることを示している[2]。

これらの成果は、国内外での招待講演（国際会議3件、国内会議等3件）、依頼された解説記事（海外1件、国内1件）といったインパクトがあった。

③ これらの結果は、どのように銅酸化物、鉄系超伝導機構解明に貢献したか？

本研究は、広いエネルギー空間の磁気励起を、非超伝導相を含む広いドーピング領域で全体像を捉えることで、異なるエネルギースケールと性格の異なる励起が超伝導に関わっていることを明らかにした。さらに類似の磁気励起が鉄ヒ素系でも観測され、この多面的、階層的磁気励起がどのように発現し、超伝導に関わっているかが残された機構解明に本質的で重要な課題である。「四季」の本格稼働によって、この課題が解決できると期待される。

このような多面性の発見は、銅酸化物や鉄化合物系での超伝導機構は、単一相互作用のみを考えたのでは不十分で、多自由度が絡んだ機構であることを示唆しており、従来の単一機構を基礎とする研究に大きなインパクトを与えると考えられる。

(3) 四季の利用公開

四季分光器の高性能ぶりは国際的にも非常に高く評価されたこともあり、国内外研究者からの強い要望もあり、本研究終盤においては、実験時間の約50%については内外の研究者に対してもその利用を公開し（研究内容を超伝導機構に限定し、J-PARCの課題公募により募集した）、多くの優れた成果を得ることができた。[4, 5] 今後の四季の本格的稼働により、多くの優れた成果が創出されることは間違いない。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計159件）

うち、海外(137件)、国内(22件)、査読有(154

件)、査読無(5件)

1) Imaging Doped Holes in a Cuprate Superconductor with High-Resolution Compton Scattering

Y. Sakurai, M. Fujita(9番目), K. Yamada(15番目) [員数15名]; Science 332 (2011) 698-702. 査読有

2) Observation of s_{\pm} -like spin resonance in iron-based nodal superconductor $BaFe_2(As_{0.65}P_{0.35})_2$ using inelastic neutron scattering

M. Ishikado, K. Kodama(3番目), R. Kajimoto(4番目), M. Nakamura(5番目), Y. Inamura(6番目), H. Eisaki(14番目), M. Arai(15番目), S. Shamoto(16番目) [員数16名]; to be published in Phys. Rev. B 査読有

3) The Fermi Chopper Spectrometer 4SEASONS at J-PARC

R. Kajimoto, M. Nakamura(2番目), Y. Inamura(3番目), K. Nakajima(5番目), T. Yokoo(7番目), K. Soyama(10番目), K. Aizawa(14番目), M. Arai(15番目), S. Shamoto(18番目), M. Fujita(19番目), H. Hiraka(20番目), K. Ohoyama(21番目), K. Yamada(22番目) [員数23名]; to be published in J. Phys. Soc. Jpn. 査読有

4) Inelastic neutron scattering study of the magnetic fluctuations in Sr_2RuO_4

K. Iida, M. Kofu, N. Katayama, J. Lee, R. Kajimoto, Y. Inamura, M. Nakamura, M. Arai, Y. Yoshida, M. Fujita, K. Yamada, and S.-H. Lee; Phys. Rev. B 84 (2011) 060402-1 - 060402-4. 査読有

5) Magnetic Excitation Spectra of Superconducting Ca-Fe-Pt-As System

M. Sato, R. Kajimoto(10番目), M. Nakamura(11番目), Y. Inamura(12番目), M. Arai(13番目) [員数13名]; to be published in J. Phys. Soc. Jpn. 査読有

6) Development and test of SEOP neutron spin filter in Japan

H. Kira, M. Nakamura(5番目), M. Arai(6番目), T. Ino(10番目), K. Ohoyama(14番目), H. Hiraka(15番目), K. Yamada(16番目) [員数18名]; Physica B 406 (2011) 2433 - 2435. 査読有

7) Degradation of Superconductivity and Spin Fluctuations by Electron Overdoping in $LaFeAsO_{1-x}$

S. Wakimoto, K. Kodama(2番目), R. Kajimoto(5番目), M. Arai(6番目), H. Eisaki(11番目), S. Shamoto(12番目) [員数12名]; J. Phys. Soc. Jpn. 79 (2010) 074715-1 - 074715-4. 査読有

8) 「動き出した J-PARC 中性子非弾性散乱装置『四季』— 中性子非弾性散乱実験の新規

手法の実証 一]

梶本亮一、中村充孝、稲村泰弘、水野文夫、横尾哲也、中谷健、新井正敏; 固体物理
vol.45, No.2 (2010) 79 - 89. 査読無

9) Inelastic neutron scattering study of the resonance mode in the optimally doped pnictide superconductor $\text{LaFeAsO}_{0.92}\text{F}_{0.08}$

S. Shamoto, K. Kodama (6 番目), M. Arai (8 番目) [員数 8 名]; Phys. Rev. B 82 (2010) 172508-1 -172508-4. 査読有

10) Japan Spallation Neutron Source (JSNS) of J-PARC

M. Arai and F. Maekawa; Nuclear Physics News, vol.19, No.4 (2009) 34 - 39. 査読有

11) First Demonstration of Novel Method for Inelastic Neutron Scattering Measurement Utilizing the Multiple Incident Energies
M. Nakamura, R. Kajimoto, Y. Inamura, F. Mizuno, M. Fujita, T. Yokoo, and M. Arai; J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 093002-1 - 093002-4. 査読有

12) Study of the neutron guide design of the 4SEASONS spectrometer at J-PARC

R. Kajimoto, K. Nakajima, M. Nakamura, K. Soyama, T. Yokoo, K. Oikawa, and M. Arai; Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A 600 (2009) 185-188. 査読有

13) Effect of interfacial roughness correlation on diffuse scattering intensity in a neutron supermirror

R. Maruyama, K. Soyama (4 番目) [員数 4 名]; Journal of Applied Physics 105 (2009) 083527-1 -083527-8. 査読有

14) Dual Nature of a Ni Dopant in the Hole-Type $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Cuprate Superconductor

H. Hiraka, K. Yamada (5 番目) [員数 5 名]; Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 037002-1-037002-4. 査読有

15) 次世代パルス中性子源による、より詳細な研究 中性子散乱からわかること—— 磁気励起の立場から

山田和芳; パリティ Vol.23 No.04 (2008) 24-27. 査読有

16) Conceptual design of MAGIC chopper used for 4SEASONS at J-PARC

M. Nakamura, M. Arai, R. Kajimoto, T. Yokoo, K. Nakajima, and Th. Krist; J. of Neutron Research 16 (2008) 87-92. 査読有

17) J-PARC and the prospective neutron sciences

M. Arai; Pramana Journal of physics 71 (2008) 629-638. 査読有

18) Degradation of Superconductivity in the Ground States of Electron-Doped $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ Cuprate Superconductors

M. Fujita, K. Yamada (5 番目) [員数 8 名]; Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 107003-1-107003-4. 査読有

19) Magnetic Dispersion of the Diagonal Incommensurate Phase in Lightly Doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

M. Matsuda, M. Fujita (2 番目), K. Yamada (6 番目) [員数 6 名]; Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 197001-1-197001-4. 査読有

20) High intensity chopper spectrometer 4SEASONS at J-PARC

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; Journal of Neutron Research 15 (2007) 5 -12. 査読有

21) Disappearance of Antiferromagnetic Spin Excitations in Overdoped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$
S. Wakimoto, K. Yamada (2 番目) [員数 6 名]; Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 247003-1 - 247003-4. 査読有

22) Ni-Impurity Effects on Incommensurate Spin Correlations in the Superconducting Phase of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ near the Spin-Glass Phase Boundary

H. Hiraka, K. Yamada (5 番目) [員数 5 名]; J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 074703-1 - 074703-6. 査読有

23) Impurity Effect on the Diagonal Incommensurate Spin Correlations in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

M. Matsuda, M. Fujita, and K. Yamada; Phys. Rev. B 73 (2006) 140503-1 -140503-4. 査読有

24) Magnetic Neutron Scattering in Hole-Doped Cuprate Superconductors

R. J. Birgeneau, K. Yamada (4 番目) [員数 4 名]; J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 111003-1 -111003-14. 査読有

25) Novel Spin Excitations in Optimally Electron-Doped $\text{Pr}_{0.89}\text{LaCe}_{0.11}\text{CuO}$

M. Fujita, K. Yamada (5 番目) [員数 5 名]; J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2005) 093704-1 - 093704-4. 査読有

[学会発表] (計 120 件)

うち、plenary (7 件)、invited (68 件)、oral (26 件)、poster (19 件)

1) J-PARC Status on the Earthquake (Plenary Talk)

M. Arai; European Conference on Neutron Scattering, Prague, Czech Republic (July 17-22, 2011)

2) SPIN RESONANCE ON Fe-BASED SUPERCONDUCTOR $\text{BaFe}_2(\text{As}, \text{P})_2$ WITH NODAL GAP SYMMETRY (Invited)

M. Ishikado, K. Kodama (2 番目), R.

Kajimoto(4番目), M. Nakamura(5番目), Y. Inamura(6番目), H. Eisaki(14番目), M. Arai(15番目), S. Shamoto(16番目) [員数15名]; Eighth International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials (New³SC-8), Chongqing, China (June 8-11, 2011)

3) Neutron Scattering of Iron-based Superconductors (Invited)
S. Shamoto (1番目), K. Kodama (3番目), R. Kajimoto (7番目), M. Nakamura (8番目), Y. Inamura (9番目), M. Arai (10番目), H. Eisaki (15番目) [員数15名]; 23rd International Symposium on Superconductivity 2010 (ISS2010), Tsukuba, Japan (November 1-3, 2010)

4) Status of J-PARC/MLF neutron source (plenary talk)
M. Arai; International Conference on Materials Science and Technology 2010 (ICMST2010), Serpong, Indonesia, (Oct. 20-21, 2010)

5) New technique for inelastic neutron scattering measurement demonstrated on the chopper spectrometer 4SEASONS at J-PARC (Invited)
R. Kajimoto, M. Nakamura, Y. Inamura, F. Mizuno, T. Yokoo, M. Fujita, T. Nakatani, and M. Arai; American Conference on Neutron Scattering 2010 (ACNS2010), Ottawa, Canada (June 26-30, 2010)

6) A Neutron Focusing Device with Spheroidal Supermirrors (Invited)
K. Soyama (1番目) [員数4名]; International Workshop on Neutron Optics (NOP2010), Grenoble, France (Mar. 17, 2010)

7) J-PARC and the prospective Neutron Sciences (Invited)
M. Arai; International Symposium on Neutron Scattering, Mumbai, India (Jan. 15-18, 2008)

8) Doping and Temperature Evolutions of Spin Correlations in Electron-Doped $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{CuO}_4$ (Invited)
M. Fujita; the 20th International Symposium on Superconductivity (ISS2007), Tsukuba, Japan (Nov. 5-7, 2007)

9) The Chopper Spectrometers at J-PARC (招待講演)
K. Nakajima; 18th International Collaboration on Advanced Neutron Sources (ICANS-XVIII), Dongguan, China (April 25-30, 2007)

10) Conceptual design of Magic Chopper used for 4SEASONS at J-PARC (Oral)
M. Nakamura; The 3rd Workshop on Inelastic

Neutrons Spectrometers 2006 (WINS2006), Berlin, Germany (Sep, 29-30, 2006)

11) Role of Neutron Scattering for High-Tc Research: Present and Future (Invited)
K. Yamada; The 17th International Conference on Magnetism (ICM), Kyoto, Japan (Aug. 20-25, 2006)

12) Magnetic Excitations in Overdoped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (Invited)
K. Yamada (1番目) [員数6名]; 8th International Conference on materials and mechanisms of Superconductivity and High-temperature Superconductors (M2S), Dresden, Germany (Jul. 9-14, 2006)

14) High intensity chopper spectrometer 4SEASONS at J-PARC (Oral)
R. Kajimoto; 2nd Workshop on Inelastic Neutron Spectrometers 2005 (WINS2005), Cairns, Australia (Dec. 5-6, 2005)

15) J-PARC Developments (Plenary Talk)
M. Arai; International Conference on Neutron Science, Sydney, Australia (27-Nov- 2-Dec, 2005)

16) Spin dynamics in the electron-doped high-Tc superconductor (Invited)
M. Fujita; 24th International Conference on Low Temperature Physics, Orlando, U.S.A. (Aug. 10-17, 2005)

〔図書〕 (計9件)

1) Neutron Sources and Facilities
M. Arai and K. Crawford
I. S. Anderson et al. (eds.), Neutron Imaging and Applications, Neutron Scattering Applications and Techniques, Springer Science, (2009) 13 -30. 査読有

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)
名称: 「パルス中性子非弾性散乱実験の高効率測定方法」
発明者: 新井正敏, 中村充孝, 梶本亮一, 中島健次
種類: 特許出願
番号: 特願平 2006-131238 号
出願年月日: 平成 18 年 5 月 10 日

〔その他〕

【四季ホームページ】

<http://j-parc.jp/MatLife/ja/4SEASONS/index.html>

6. 研究組織

(1) 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

研究者番号：30175955

(2)研究分担者

・山田 和芳 (Yamada Kazuyoshi)
東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授

研究者番号：70133923

・社本 真一 (Shamoto Shinichi)
日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主席

研究者番号：90235698

・横尾 哲也 (Yokoo Tetsuya)
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・助教

研究者番号：10391707

・永崎 洋 (Eisaki Hiroshi)
産業技術総合研究所・エレクトロニクス研究部門・主任研究員

研究者番号：20242018

【研究組織から外れた研究分担者】

・猪野 隆 (Ino Takashi)

(H17. 4. 1~H19. 12. 7)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・助手

研究者番号：10301722

・樹神 克明 (Kodama Katsuaki)

(H18. 4. 1~H19. 3. 31)

独立行政法人 日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：10313115

(3)連携研究者

・梶本 亮一 (Kajimoto Ryoichi)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究副主幹

研究者番号：30391254

・中島 健次 (Nakajima Kenji)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究主幹

研究者番号：10272535

・藤田 全基 (Fujita Masaki)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：20303894

・曾山 和彦 (Soyama Kazuhiko)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究主幹

研究者番号：90343912

・中村 充孝 (Nakamura Mitsutaka)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究副主幹

研究者番号：00370445

・相澤 一也 (Aizawa Kazuya)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究主幹

研究者番号：40354766

・大山 研司 (Ohoyama Kenji)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：60241569

・平賀 晴弘 (Hiraka Haruhiro)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：90323097

・朝岡 秀人 (Asaoka Hidehito)

独立行政法人 日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：40370340

・稲村 泰弘 (Inamura Yasuhiro)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・任期付研究員

研究者番号：80343937

・堀金 和正 (Horigane Kazumasa)

東北大学原子分子材料科学高等研究機構・助手

研究者番号：10406829