

平成 22 年 5 月 15 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005 ～ 2009

課題番号：17072001

研究課題名（和文） 100テスラ領域の強磁場スピン科学の総括

研究課題名（英文） Management of High Magnetic Field Spin Science in 100 T

研究代表者

野尻 浩之 (NOJIRI HIROYUKI)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：80189399

研究成果の概要（和文）：本領域では、超強磁場下の先端計測実現を軸として、未踏の100テスラ領域におけるスピン科学を推進し、(1)スピンによる電子状態の制御、(2)強磁場により誘起される様々な相の起源の解明と制御原理の確立、(3)電子状態のプロブとしてのスピンの利用の3つの柱において世界を先導する成果をあげた。特に、パルス超強磁場下の先端の実験手法開発により、新研究分野を開拓し、精密物性科学としての強磁場スピン科学を100テスラ領域に広げる基盤を確立したことは大きな成果である。

研究成果の概要（英文）：The project have achieved the world leading progress in three main areas:(1)spin-control of electronic state, (2)investigation of mechanisms and functions of various magnetic field induced states and (3) spin-probe of electronic state. The development of advanced and precise instrumentations in pulsed high magnetic fields has opened new developing research areas and lead to the establishment of the high magnetic field spin science in 100 T.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	4,000,000	0	4,000,000
2006年度	6,200,000	0	6,200,000
2007年度	7,500,000	0	7,500,000
2008年度	6,200,000	0	6,200,000
2009年度	8,900,000	0	8,900,000
総計	32,800,000	0	32,800,000

研究分野：磁性・強磁場物性

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：(1)強磁場 (2)スピン科学 (3)計測科学 (4)磁性 (5)強相関電子系 (6)量子ビーム (7)極端条件

## 1. 研究開始当初の背景

強磁場は、磁性、超伝導、半導体はもとよりあらゆる物性研究において、今日必要不可欠なものとなっている。当領域では、アメリ

カ、ヨーロッパにおける近年の強磁場研究の強化に対抗し、これに打ち勝つ日本の強磁場研究の戦略として、未踏の強磁場領域において最先端の強磁場下計測技術を実現するこ

とを軸にして、学際的な強磁場スピン科学のフロンティアを開くことが重要な課題となっていた。

## 2. 研究の目的

本領域における研究目的の柱としては、(1) スピンによる電子状態の制御、(2) 強磁場により誘起される様々な相の起源の解明と制御原理の確立、(3) 電子状態のプロープとしてのスピンの利用、の3つを掲げ、そのために超強磁場下の先端計測手法の開発を推進し、それを基盤に物理、化学、生物にかかわる分野横断的なスピン科学の飛躍的發展を目指した。

## 3. 研究の方法

研究手法の柱としては、以下の項目を中心として、世界トップの先端計測の実現を推進してきた。(1) 100 テスラ領域の強磁場下における超精密なマイクロ物性計測、(2) 50 テスラ強磁場放射光 X 線分光による電子状態の解明、(3) 50 テスラ強磁場中性子散乱による強磁場下磁気相決定、(4) 80 テスラ級固体 NMR による機能性材料および生体物質の機能研究、(5) 強磁場走査プローブ顕微鏡によるナノ空間スケールのスピン・電荷相関の解明。

## 4. 研究成果

当領域では先端計測を軸にした戦略が順調に進み、世界的にもユニークな研究成果が輩出している。研究項目毎の主な成果は以下の通りである。

項目 A01：超強磁場 X 線分光・中性子散乱による局在遍歴電子相関係の研究

(1) 超強磁場と X 線・中性子などの量子ビームを組み合わせた超強磁場量子ビーム科学分野を世界に先駆けて創成した。

(2) X 線においては、回折、X 線吸収分光、磁気円二色性分光、共鳴回折などの手法で、40-50 T の世界記録を樹立した。これらにより、価数転移等を始めとした多様な磁場誘起電子相転移をマイクロに精査する手法を確立した。また、スピン-格子相互作用による特異な状態を明らかにした。

(3) 中性子回折においては、原子炉において 35 T、J-PARC において 40 T までの中性子回折を実現し、これまでの世界記録を大幅に更新した。これらを用いて、フラストレーション系等で出現する非自明な磁気状態を直接決定することに成功し、普遍的な振る舞いを明らかにした。

(4) これらの手法を ILL や SNS、APS といった

諸外国の量子ビーム施設に導入し、この分野での世界的な主導権を確立した。

項目 A02：超強磁場下における機能性材料および生体物質の NMR/ESR 法による研究

(1) 48 T までのパルス磁場下においてスピンエコー法による NMR スペクトルの計測に世界で初めて成功し、パルス磁場 NMR という新領域を創成した。

(2) 44 T までの定常磁場下で NMR 測定を行い、銅酸化物高温超伝導体の基底状態、量子スピン磁性体  $\text{NH}_4\text{CuCl}_3$  の磁場誘起マグノンの性質を明らかにした。さらに、重い電子系物質  $\text{CeCoIn}_5$  において空間変調した超伝導相を観測した。

(3) 70 T までのパルス磁場下で ESR 測定を行い、秩序化した異方性的 1 次元磁性体が、ソリトン励起により強磁場下で無秩序化するという長年の予想を検証し、強磁場中比熱や中性子で新しい形の非整合秩序相の存在を確立したのを始めとして、量子系の特異な磁気状態を明らかにした。

(4) スピンプローブの生物研究への応用を推進し、Mn-ミオグロビンにおいて高周波 ESR の測定に初めて成功し、結晶場定数の定量的決定するなどの成果をあげた。

項目 A03 実空間手法を用いた強磁場ナノ領域電子相の解明

(1) 超強磁場 STM/STS システムを開発し、18 T-無冷媒超伝導マグネット中で HOPG の原子像、および 27 T のハイブリッドマグネット中で原子層ステップの観測に成功し、超強磁場 STM/STS という新パラダイムを立ち上げた。

(2) 低温・強磁場 STM/STS により、高温超伝導体  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  の準粒子干渉効果の発見、強相関電子系  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  のメタ磁性転移に伴う局所状態密度変化の同定、Pb 添加  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  における 2 種類のギャップの観測など、強相関超伝導体の電子状態の解明を行った。

(3) 高磁場下での超伝導体で生成される量子渦の基礎物理的側面を解明し、磁場中比熱と超伝導対称性との相関、パウリ常磁性効果の微視的理論を構築した

(4) 局所磁場イメージング測定法を用いて、メタ磁性転移にともなう相分離などの磁気的不均一性のマクロな物性効果、新規超伝導体  $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ 、 $\text{FeTe}_{0.61}\text{Se}_{0.39}$  の良質単結晶の臨界電流分布測定と重イオン照射による磁束ピン止め効果を明らかにした。

(5) 量子ホール 2 次元電子系における強磁場中スピン偏極イメージングをポッケルス効果、光磁気 Kerr 効果を用いて実現し、2 次

元電子系のスピン偏極度分布、電流分布、スピンドायナミクスなどを明らかにした。

#### 項目 A04 非破壊 100 テスラ領域の精密物性研究

(1) 強磁場スピン科学の基盤となる非破壊パルス磁石において 2 段階パルス磁場により 85 T の生成に成功した。

(2) 40 T X 線回折、50 T 中性子回折、70 T ESR および 60 T NMR 等のパルス磁石を開発し、他班の課題推進を成功に導いた。

(3) f 電子 115 系において、超強磁場磁化測定により磁気状態を系統的に明らかにした。

(4) パルス超強磁場下の精密物性測定法を確立し、 $\text{RMnO}_3$  系の超強磁場分極測定による新しいマルチフェロイック機構の存在の提案、近藤半導体  $\text{Yb}_{12}$  の金属化、デラック電子系の磁気輸送現象、スピンホール効果による量子振動などを明らかにした。

(5) パルス磁場を用いた超高速イメージング装置を開発し、電荷-軌道秩序崩壊の可視化に成功した。

#### 項目 A05 強磁場中伝導電子スピンコヒーレンスの光学的研究

(1) 半導体中低次元電子系におけるスピン散乱とコヒーレンスに関する研究を量子ドット-2次元電子系結合系に対して行い、電子状態と局在電子-伝導電子の結合状態を明らかにし、電流注入による 4f 状態制御に成功した。

(2) 超強磁場磁気光学スペクトルを用いて、 $\text{CdMnTe}/\text{CdTe}$  2次元電子系の磁気光学スペクトルの特異磁気振動、タイプIIのII-VI族半導体の異常光励起電子蓄積など磁性半導体の基礎物性を解明した。

(3) スピンヤンテラー効果を示すスピネル反強磁性体の超強磁場磁化過程を、磁気光学的手法ならびに誘導法によって行い、磁場温度相図の全貌を明らかにした。

(4) 単層カーボンナノチューブの超強磁場磁気分光により、高次サブバンド励起子のアハロノフボーム効果を初めて見だし、また励起子分裂に関する論争に決着をつけた。

(5) 有機導体における磁場誘起超伝導の微視的状态を明らかにした。1次元有機導体における長周期変調に伴うゾーン折り畳み効果やSDW状態に関して、状態密度の振動を検証して、未解決の論争に決着を着けた。

#### 各項目の連携した学際的研究推進

当領域の研究項目は実験手法によって分けられており、これに物質開発や理論グループが連携して研究を行う体制となっている。班間の連携研究は極めて活発に行われており、実際に、論文や発表の約 2 割が異なる項目間

の連携研究によって行われたものである。主な連携による成果は以下の通りである。

- (1) 強磁場 X 線分光実験に関する連携 (A01, A04, A05)
- (2) スピン-格子強結合系やマルチフェロイックの強磁場物性 (A01, A02, A04, A05)
- (3) フラストレーション系の非自明な強磁場状態の理解 (A01, A02, A04, )
- (4) 超伝導体の FFLO 状態研究 (A02, A03, A05)
- (5) パルス強磁場 NMR 技術開発 (A02, A04)
- (6) タンパク質の磁性と機能解明 (A02, A04, A05)
- (7) 強磁場空間分解手法の開発 (A03, A05)

総括班としては、領域の研究の推進と情報発信のために、(1) テーマ別班間連携のミニワークショップ開催、(2) 設備の有効活用と共同発注・共同開発等の連携による研究費の効果的使用、(3) 総括班のホームページによる成果公開、(4) 強磁場スピン通信、SPINletterの電子出版と公開、(5) 研究成果の統合的データベース構築、(6) 公開の強磁場スピン科学シンポジウムの年2回開催、(7) 成果発信のための国際ワークショップの2回開催、(8) 強磁場若手道場の開催による研究および技術交流等の人材育成等を行ってきた。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 856 件)

- (1) 雑誌論文 (査読有り、計 673 件)
  - ① Universal Magnetic Structure of the Half-Magnetization Phase in Cr-Based Spinel: M. Matsuda, K. Ohoyama, S. Yoshii, H. Nojiri 他8名, *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010)047201-1-4.
  - ② Spin-Echo NMR in Pulsed High Magnetic Fields up to 48 T: G. -q. Zheng, K. Katayama, M. Nishiyama S. Kawasaki, N. Nishihagi, S. Kimura, M. Hagiwara, K. Kindo *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 095001-1-2.
  - ③ Narrow Carrier Concentration Range of Superconductivity and Critical Point of Pseudogap Formation Temperature in Pb-Substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ : K. Kudo, N. Okumura, Y. Miyoshi, T. Nishizaki, T. Sasaki, N. Kobayashi, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **78** (2009) 084722-1-5.
  - ④ Metamagnetic Transition to Poor Conductor in  $\text{BaVS}_3$ : Y. Narumi, K. Suga, K. Kindo, T. Yamasaki, M. Shiga, H. Nakamura, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76**(2007) 013706-1-4.
  - ⑤ Modification of the Quantum Hall Effect by the Charge State of a Nearby Quantum Dots Layer: K. Takehana and T. Takamasu, *J. Phys. Soc. Jpn.* **75** (2006) 114713-1-6.

(2) プロシーディング・紀要 (査読有り、計 178 件)

- ① Anisotropic Magnetoresistance and Collapse of the Energy Gap in  $\text{Yb}_{1-x}\text{Lu}_x\text{B}_1\text{2}$ , F. Iga, K. Suga, K. Takeda, S. Michimura, K. Murakami, T. Takabatake, K. Kindo, J. Phys: Conf. Ser. **200**(2010)012064-1-4.
- ② Electronic Inhomogeneity in Pb-substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$  Studied by STM/STS Measurements, K. Kudo, T. Nishizaki, N. Okumura, N. Kobayashi, J. Phys: Conf. Ser., **150**(2009)052133-1-4.
- ③ XMCD Spectroscopy on Valence Fluctuating and Heavy Fermion Compounds in Very High Magnetic Fields up to 40 T: Y. H. Matsuda, J. L. Her, T. Inami, K. Ohwada, Z. W. Ouyang, K. Okada, H. Nojiri, A. Mitsuda, H. Wada, K. Yoshimura, H. Amitsuka, N. Kawamura, M. Suzuki, A. Kotani, J. Phys: Conf. Ser. **190**(2009)012019-1-6.
- ④ Fabrication of a Micro-Coil Pulsed Magnet System and Its Application for Solid State Physics, T. Takamasu, K. Sato, Y. Imanaka, K. Takehana, J. Phys: Conf. Ser. **51**(2006)591-594.
- ⑤ Neutron Diffraction Experiments with 40 T Pulsed Magnets: K. Ohyama, N. Katoh, H. Nojiri, Y. H. Matsuda, H. Hiraka, K. Ikeda, H. M. Shimizu, J. Phys: Conf. Ser. **51**(2006)506-509.

(3) 紀要 (査読なし, 5 件)

Can Japan make what they have planned?,  
野尻浩之, 波紋 17(2007)29-32.

[学会発表] (計 1804 件)

(1) 国際会議招待・基調講演 (以計 146 件)

- ① X-ray and Neutron Experiments in High Magnetic Fields, H. Nojiri, 9th International Conference on Research in High Magnetic Fields, 2009.7.22-25, Dresden.
- ② NMR Study on Strongly Correlated Electron Superconductors under Static and Pulsed Magnetic-Fields up to 48 T, G. -q. Zheng, 2009.7.22-25, Dresden.
- ③ Surface Structure and Superconducting Energy Gap of Boron Doped Diamond Films Probed by STM/STS, T. Nishizaki, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kawarada, N. Kobayashi, International Workshop on Superconductivity in Diamond and Related Materials 2008, 2008.7.7-9 Tsukuba, Japan.
- ④ High Field Transport Properties of a Yb-doped Two-Dimensional Electron System, T. Takamasu, 4th International Symposium on High Magnetic Field Spin Science in 100T, 2007.11.26-28, Sendai.
- ⑤ New Pulsed Magnets for 100 T, Long-Pulse and Diffraction Measurements, K. Kindo,

Yamada Conference LX on Research in High Magnetic Fields, 2006.8.16-19, Sendai.

(2) 国際会議一般講演 (計 507 件)

- ① XMCD Spectroscopy on Valence Fluctuating and Heavy Fermion Compounds in Very High Magnetic Fields up to 40 T, Y. H. Matsuda, J. L. Her, T. Inami, K. Ohwada, Z. W. Ouyang, K. Okada, H. Nojiri, A. Mitsuda, H. Wada, K. Yoshimura, H. Amitsuka, N. Kawamura, M. Suzuki, A. Kotani, The 14th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (XAFS14), 2009.7.26-31, Camerino, Italy.
- ② Josephson Vortex Phase Diagram in Underdoped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ , T. Nishizaki, Y. Tokita, Y. Takahashi, T. Sasaki, N. Kobayashi, 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), 2008.8.6-13, Amsterdam, The Netherlands.
- ③ Infrared Photoconductivity of Te Donor in Ge, H. Nakata, A. Yokoyama, Y. Imanaka, K. Takehana, T. Takamasu, IRMMW-THz 2007, 2007.9.2-7, Cardiff, United Kingdom.
- ④ Dynamics and Magnetization Process of Triangle Based Low Dimensional Systems, Ring, Tube, Helix and Ball, H. Nojiri, ISSP International Workshop and Symposium on Computational Approaches to Quantum Critical Phenomena, 2006.9.23-26, Kashiwa, Japan.
- ⑤ Magnetostriction of the Spin Gap System  $\text{TlCuCl}_3$  in High Magnetic Field, Y. Sawai, T. Takeuchi, M. Hagiwara, K. Kindo, H. Tanaka, Yamada Conference LX on Research in High Magnetic Fields, 2006.8.16-19, Sendai, Japan.

(3) 国内会議招待・基調講演 (計 48 件)

- ① パルス中性子と超強磁場, 野尻浩之, 日本物理学会第 63 回年次大会, 2008. 3. 23-26, 東大阪市.
- ② ナノ磁性多面体の ESR, 分子科学研究会-先端的 ESR 手法による分子性物質の新機能的探索-, 野尻浩之, 2007. 12. 17-19, 岡崎市.
- ③ ボロンドープ超伝導ダイヤモンドのトンネル顕微分光, 西寄照和, 高野義彦, 長尾雅則, 竹之内智大, 川原田洋, 小林典男, 第 3 回ボロンドープ超伝導ダイヤモンド研究会, 2006. 7. 29, 調布市.
- ④ Delocalized Quasiparticles in the Vortex State of d-wave Superconductors Probed by NMR, 鄭国慶, 京都大学基研研究会: 異方的超伝導体の統一的理解に向けて, 2005. 12. 6-8, 京都市.
- ⑤ 高磁場 ESR 原理と応用, 野尻浩之, 分子磁性の新しい動向を探る研究会, 2005. 9. 5-6., 那須.

(4) 国内会議一般講演 (計 1103 件)

- ① J-PARC おけるパルス超強磁場中性子回折, 野尻浩之, 岡田郷子, 鳴海康雄, 保井基良, 吉居俊輔, 大山研司, 及川健一, 前川藤夫, 日本物理学会第 65 回年次大会, 2010. 3. 20-23, 岡山市.
- ② フライホイール付き大型直流発電機を使った強

磁場発生, 松尾晶, 川口孝志, 金道浩一, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009. 9. 25-28, 熊本市.

③希土類添加AlGaAs超格子の強磁場中発光現象, 高増正, 佐藤康一, 今中康貴, 竹端寛治, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007. 3. 18-21, 鹿児島市.

④酸化物超伝導体におけるSTM/STS, 小林典男, 物性研短期研究会 「低温走査トンネル顕微鏡の現状と展望」, 2007. 5. 25-26, 柏市.

⑤結晶 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における単結晶ナイトシフト測定, 俣野和明, 鄭国慶, D. P. Chen, C. T. Lin, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006. 9. 23-26, 千葉市.

[図書] (計 10 件)

①野尻浩之, 繰り返しパルス磁場とその応用他, 実験物理科学シリーズ 5, 2008, 共立出版, pp130-141, 160-180.

②鄭国慶, 超伝導物質の物性: $\text{Li}_2(\text{Pd}, \text{Pt})_3\text{B}$ , 超伝導ハンドブック / 福山秀敏, 秋光純編, 2009, 東京: 朝倉書店, pp195-198.

③胡曉, 西寄照和, 小林典男, ボルテックスマターの物理, 超伝導ハンドブック / 福山秀敏, 秋光純編, 2009, 東京: 朝倉書店, pp255-265.

④高増正, 定常磁場下の電気的測定, 実験物理科学シリーズ 5 強磁場の発生と応用, 2008, 共立出版, pp255-263.

⑤T. Nishizaki and N. Kobayashi, “Vortex Matter Physics in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Single Crystals” in “Studies of High Temperature Superconductors”, 2005, Nova Science Publishers, pp1-47.

[解説] [計 20 件]

①パルス強磁場下の中性子回折実験, 野尻浩之, 大山研司, 吉居俊輔, 鳴海康雄, 固体物理 **44**(2009) pp35-45, アグネ技術センター.

②正方格子上で実現したスピン液体状態, 陰山洋, 北野太郎, 大場紀章, 網代芳民, 吉村一良, 西正和, 廣田和馬, 鳴海康雄, 金道浩一, 萩原政幸, **41**(2006) pp55-64, アグネ技術センター.

③超小型パルスマグネットを用いた放射光X線分光: 強磁場中の電子状態をみる新手法, 松田康弘, 稲見俊哉, 大和田謙二, 野尻浩之, 固体物理 **42**(2007) pp9-11, アグネ技術センター.

④ポータブル型パルス磁場による強磁場下での放射光X線回折実験, 松田康弘, 稲見俊哉, 大和田謙二, 野尻浩之, 固体物理 **40**(2005) pp882-890, アグネ技術センター.

[その他]

(1) ホームページ等

<http://spin100.imr.tohoku.ac.jp/>

(2) 受賞・昇任採用他 (計 24 件)

J. Phys. Soc. Jpn. Paper of Editor's choice,

High-Magnetic-Field X-ray Absorption Spectroscopy of Field-Induced Valence Transition in  $\text{YbInCu}_4$ , by Y. H. Matsuda, T. Inami, K. Ohwada, Y. Murata, H. Nojiri 他 4 名, J. Phys. Soc. Jpn., Vol. **76**, (2007) 034702.

(3) 新聞報道他 (計 15 件)

①鉄系超電導 超電導の理論裏付け 理研など, 電子構造を詳細分析, 日経産業新聞, 2010. 4. 23.

②東北大など新顕微鏡: 世界最強磁場でナノサイズ観察, 日経産業新聞, 2010. 3. 16.

③「三角構造の不安定磁性体 磁場中で共通磁気構造 東北大・東大・原子力機構 中性子回折法で解明」, 日刊工業新聞, 2010. 1. 25.

④強磁場で弱磁性体観測「XMCD 法で成功」東北大など, 日刊工業新聞, 2009. 8. 26.

⑤「クーパー対の個性」, 科学新聞, 2009. 2. 6.

⑥「半導体、室温でも磁性」, 朝日新聞, 2007. 5. 25.

⑦「原子力機構強磁場と放射光X線組み合わせ 新たな実験技術開発」, 科学新聞, 2007. 3. 30.

⑧「結晶中の原子位置 磁場で段階的に変化 理研など観測に成功」, 日刊工業新聞, 2006. 11. 10.

(4) その他 (計 5 件)

①特定領域方式のX線マグネット Argonne 国立研究所: Argonne Today で紹介, 2009. 12.

②強磁場中性子回折実験 Institute for Laue-Langevin の 2008 年研究ハイライトに選定, 2009. 10.

③強磁場中性子世界記録樹立ミニコイル Institute for Laue-Langevin へ日本製で初めて展示, 2009. 7.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野尻 浩之 (NOJIRI HIROYUKI)  
東北大学・金属材料研究所・教授  
研究者番号: 80189399

(2) 研究分担者

鄭 国慶 (ZHENG GOU-QING)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号: 50231444

小林 典男 (KOBAYASHI NORIO)  
東北大学・金属材料研究所・教授  
研究者番号: 40111306

金道 浩一 (KINDO KOICHI)  
東京大学・物性研究所・教授  
研究者番号: 20205058

高増 正 (TAKAMASU TADASHI)  
物質・材料研究機構・量子ドットセンター・  
主幹研究員  
研究者番号：60212015

木戸 義勇 (KIDO GIYUU)  
物質・材料研究機構・共用基盤部門強磁場  
共用ステーション・ステーション長  
研究者番号：10013541  
(分担者期間 2005-2007)

(3)連携研究者  
なし