

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540342

研究課題名（和文） 4f多電子状態が引き起こす量子現象の解明

研究課題名（英文） Study of quantum phenomena caused by multi-4f electrons

研究代表者

水戸 毅 (MITO TAKESHI)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・准教授

研究者番号：70335420

研究成果の概要（和文）：Yb系、Sm系、Eu系、U系の重い電子系化合物について、主に核磁気共鳴を用いて研究し、それらの局所的な対称性変化や磁場依存性について知見が得られた。特に、i) YbCo₂Zn₂₀が示す強い磁場依存性の起源を明らかにした。ii) URu₂Si₂の17.5Kにおける相転移（隠れた秩序）に関して、核四重極相互作用を介して局所対称性を調べる新しい手法を導入した。iii) EuPtPが示す価数転移によってどのように系の対称性が変化するかをほぼ同定することができた。

研究成果の概要（英文）：We have studied Yb-, Sm-, Eu-, and U-based heavy fermion compounds mainly by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) measurements, so that important information about local symmetries and magnetic field effects on these compounds have been obtained. Especially, i) We have clarified the mechanism of strong field effects in YbCo₂Zn₂₀. ii) In order to study the phase transition (so called "hidden order") at 17.5 K in URu₂Si₂, we have introduced a new method for investigating local structural symmetries via nuclear quadrupole interactions. iii) For EuPtP, we have succeeded in assigning how symmetries of the system change at the phase transitions accompanied by Eu valence changes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：磁性

1. 研究開始当初の背景

f電子が磁氣的・電氣的性質を担う物質群は、非常に多彩で興味深い量子現象（近藤効果、重い電子状態、価数揺動、新奇な超伝導、磁性-非磁性相の間での量子臨界現象、等）を

示し、学術的に最も重要な物性研究分野の一つである。近年、特に4f電子を一つ有するCe系化合物（Ce³⁺の状態での4f¹の電子配置）については精力的な研究がなされてきた。一方、4f電子が多数存在する電子配置

(4fⁿ(n>1)) が引き起こす量子現象には未知の部分が多く、新奇な物性を見出す大きな期待があるにもかかわらず、詳細で系統的な研究がなされていない。4f 電子は d 電子や 5f 電子などに比べて波動関数の局在性が強く、4f 電子本来の特性を保持しているため、こうした多電子配置による寄与を抽出しやすい利点がある。

2. 研究の目的

磁氣的・電氣的性質の担い手となり得る 4f 電子を多数有する希土類元素を含む物質系において、その 4f 多電子配置が引き起こす量子現象を明らかにすることである。具体的には、4f 電子の特性が圧力や磁場の印加に対してどのように応答するかを、希土類元素の中でもイッテルビウム (Yb) 系化合物に焦点を合わせ、セリウム (Ce) 系との比較を行う。

3. 研究の方法

スピン相関や磁気秩序相の発現についてミクロな情報を与える NMR (核磁気共鳴) や NQR (核四重極共鳴)、また Yb 価数について情報を与える X 線吸収測定、等を行う。

4. 研究成果

(1) Yb 系重い電子系化合物である YbCo₂Zn₂₀ や YbPtSb、YbCu₅ において核磁気共鳴 (NMR) / 核四重極共鳴 (NQR) 測定を行った。

YbCo₂Zn₂₀ については、まず、単結晶試料を用いた磁場印加方向との角度依存性を調べることで、NMR 測定で観測されるスペクトルの正確な解析を行った (論文 1 にて報告)。次に、⁵⁹Co-NQR 測定 (ゼロ磁場下) と ⁵⁹Co-NMR 測定 (0.8~10T) によって、スピン-格子緩和率 1/T₁ やナイトシフトに強い磁場依存性が観測された。一方、X 線吸収スペクトル測定によって Yb 価数を直接的に測定したところ、価数はほぼ 3 価に近く、温度や磁場依存性は殆ど無いことが明らかになった。従って、この物質において観測される磁場依存性は Yb 価数や Yb-4f 電子の局在性-遍歴性が変化することに起因するものではなく、スピン揺らぎやフェルミ準位での状態密度が強磁場中で大きく減少することによるものと結論された。また、参照物質 LuCo₂Zn₂₀ についても同様の実験を行うことにより、NQR/NMR 測定における 4f 電子と伝導電子の寄与を分離することに成功した (論文 2)。さらに、³He 冷凍機 (兵庫県立大)、を用いた NMR 測定を行い、極低温下における弱磁場下での f 電子状態、³He-⁴He 希釈冷凍機 (京都大との共同研究) を用いた NQR 測定により約 60mK の低温までの 1/T₁ の温度依存性の測定に成功した。

YbPtSb については、Pt と Sb の NMR 測定により、Yb-4f 電子の高温での強い局在性を明らかにした。また、約 10K においてこれまで

知られていなかった新たな異常を見出したが、その機構解明には至っていない。また、この物質の重い電子状態を特徴づける実験的証拠は NMR 測定からは観測されなかった。

YbCu₅ については、100K 以上の領域における NQR 測定に成功し、また新たに参照物質 LuCu₅ の Cu-NQR 測定を行うことにより、1/T₁ 測定における伝導電子と 4f 電子による寄与を見積もって、100K 以上では局在状態にある 4f 電子による寄与が、4K 以下では重い電子を形成した準粒子による寄与がそれぞれ支配的であることが明らかになった。(文献 5, 8)

(2) Sm 系重い電子系化合物である SmB₆ に関して、磁性-非磁性転移近傍における特性を明らかにするために、圧力下 ¹¹B-NMR 測定を行った。2.5GPa の圧力下までの測定はピストン・シリンダー型圧力発生容器 (セル) を用いて行い、3GPa 以上については産業総合研究所、千葉大学理学研究科との技術協力を進め、改良型のブリッジマン・アンビル型セルを用いることにより、約 5GPa 下における測定に成功した。得られた結果は、この物質が示す半導体ギャップが 5GPa までに単調に約 30%減少することを示しており、最近の均一性の高い圧力下でなされたマクロ測定の結果 (Derr et al., Phys. Rev. B 77, 193107 (2008)) に一致している。この物質は 6-10GPa 以上の高圧下で磁気秩序状態を示すことが知られているが、約 5GPa においては局在スピンの現れる様子は観測されなかった。今回の成功より、今後 NMR の利点を生かして、磁性、Sm 価数、半導体ギャップ等の圧力依存性と相互の関連に関する微視的情報が得られる目途が立った。

(3) U 系化合物 URu₂Si₂ は T₀=17.5 K において秩序構造が明らかになっていない相転移 (隠れた秩序と呼ばれる) を示すが、この物質に関して、Ru サイトや Si サイト (⁷³Ge 置換による) における核四重極相互作用を詳細に調べる研究を行った。単結晶試料を用いた Ru-NQR 測定による核四重極共鳴周波数の温度依存性において初めて T₀ における異常を見出した。また、核四重極相互作用を介して局所的な対称性低下に関する情報を得るといふ新しい手法を試みたが、Ru、Si サイト共に対称性低下を示す明確な実験証拠は得られていない。得られた結果は、重い電子系の国際会議 ICHE 2010 (口頭発表、2010 年、首都大学) や強相関電子系の国際会議 SCES 2011 (2011 年、Cambridge (英国)) 等において報告された。また、国内外の多くの研究者と議論を行い、特に Grenoble 原子力研究所 (2011 年、仏国) 訪問によって、成果報告と議論を行う有意義な機会を得た。(文献 7、他 1 編を投稿中)

(4)その他、Eu系化合物においても研究を行い、例えばEuPtPにおけるP-NMR測定により、この物質が示す2つの価数転移 ($T_1=246$, $T_2=200\text{K}$)によって系の対称性がどのように変化するかについて詳しい知見が得られた。

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14件)

以下、全て査読有

1) T. Ishida, T. Mito, K. Nakagawara, T. Koyama, K. Ueda, T. Kohara, 他4名, NMR studies of Yb-based heavy Fermion compound $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$
J. Phys. Soc. Jpn.
2012 In press

2) T. Mito, T. Koyama, K. Nakagawara, T. Ishida, K. Ueda, T. Kohara, 他8名, Mechanism of Field Induced Fermi Liquid State in Yb-Based Heavy-Fermion Compound: X-ray Absorption Spectroscopy and Nuclear Magnetic Resonance Studies of $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$
J. Phys. Soc. Jpn. 81,
2012, 033706-1-4
10.1143/JPSJ.81.033706

3) K. Nishiyama, T. Mito, Y. Kujirai, T. Koyama, K. Ueda, T. Kohara, K. Takeuchi, H. Akutsu, J. Yamada, 他3名, ^{77}Se -NMR study of quasi-one dimensional organic conductor $(\text{TMTSF})_2\text{X}$
J. Phys.: Conf. Ser. 344,
2012, 012026-1-5
doi:10.1088/1742-6596/344/1/012026

4) T. Koyama, Y. Ozaki, K. Ueda, T. Mito, T. Kohara, T. Waki, 他5名, Partial gap opening on the Fermi surface of the noncentrosymmetric superconductor $\text{Mo}_3\text{Al}_2\text{C}$
Phys. Rev. B 84,
2011, 212501-1-4
DOI: 10.1103/PhysRevB.84.212501

5) T. Koyama, M. Abe, T. Mito, T. Kohara, and T. Suzuki, NMR Studies of Half-Heusler Type Compounds YbPtSb and LuPtSb
J. Phys. Soc. Jpn. 80 Suppl. A
2011, SA097-1-3
<http://jpsj.ipap.jp/journal/JPSJS-80SA.html>

6) G. Pristáš, T. Mito, T. Kohara, S. Gabáni, M. Reiffers, 他3名, Pressure-Induced Suppression of Energy Gap in the Kondo Insulator SmB_6 Studied by ^{11}B -NMR
J. Phys. Soc. Jpn. 80 Suppl. A
2011, SA078-1-3
<http://jpsj.ipap.jp/journal/JPSJS-80SA.html>

7) T. Mito, M. Hattoti, G. Motoyama, H. Sakai, T. Koyama, K. Ueta, 他3名, ^{73}Ge -NMR investigation of the hidden order in URu_2Si_2
J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. 80 Suppl. A
2011, SA016-1-3
<http://jpsj.ipap.jp/journal/JPSJS-80SA.html>

8) T. Koyama, M. Abe, T. Mito, K. Ueda, T. Kohara, H. S. Suzuki, NMR studies in the half-Heusler type compound YbPtSb
J. Phys. Conf. Series 273,
2011, 012040-1-4
doi:10.1088/1742-6596/273/1/012040

9) G. Pristáš, T. Mito, T. Kohara, S. Gabáni, M. Reiffers, 他2名, ^{11}B -NMR Study of SmB_6 Under Pressure
Acta Physica Polonica A 118,
2010, 895-896
<http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/118/a118z5p074.pdf>

10) T. Mito, T. Koyama, K. Nakagawara, T. Ishida, K. Ueda, T. Kohara, 他6名, Magnetic Field Effect On Yb-based Heavy Fermions Near Magnetic-nonmagnetic Transition
Acta Physica Polonica A 118,
2010, 870-872
<http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/118/a118z5p063.pdf>

11) T. Koyama, K. Kanda, K. Ueda, T. Mito, K. Kohara, H. Nakamura, ^{103}Rh NMR studies in the superconductor $\text{Rh}_{17}\text{S}_{15}$
J. Phys. Conf. Series 200,
2010, 012095-1-4
doi:10.1088/1742-6596/200/1/012095

12) T. Koyama, K. Kanda, G. Motoyama, K. Ueda, T. Mito, T. Kohara, H. Nakamura, ^{103}Rh NMR investigation of the

superconductor $Rh_{17}S_{15}$
Physica C 470,
2010, S734-S735
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physc.2009.11.110>

13) T. Mito, K. Nishiyama, T. Koyama, K. Ueda, T. Kohara, K. Takeuchi, H. Akutsu, J. Yamada, 他3名,
 ^{77}Se NMR study of nonmagnetic-magnetic transition in $(TMTSF)_2X$
Physica C 470,
2010, S592-S593
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physc.2009.10.081>

14) T. Koyama, K. Kanda, G. Motoyama, T. Mito, K. Ueda, T. Kohara, 他2名,
Electron Correlations in the Superconductor $Rh_{17}S_{15}$ Studied by ^{103}Rh NMR and Specific Heat Measurements
J. Phys. Soc. Jpn. 79,
2010, 114723-1-5
DOI: 10.1143/JPSJ.79.114723

[学会発表] (計36件)

1) 西山功兵, G. Pristas, 水戸毅, 小原孝夫, S. Gabani, M. Reiffers, 他7名,
圧力下における SbB_6 の ^{11}B -NMR による研究
日本物理学会 第67回年次大会
2012年3月27日
関西学院大学 (兵庫県)

2) 西谷孝二, 水戸毅, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 光田暁弘, 他2名,
価数転移を示す $EuPtP$ の ^{31}P -NMR
日本物理学会 第67回年次大会
2012年3月25日
関西学院大学 (兵庫県)

3) 阿部真依子, 小山岳秀, 水戸毅, 上田光一, 小原孝夫, 鈴木博之
 $YbPtSb$ における緩和率の磁場依存性
日本物理学会 第67回年次大会
2012年3月24日
関西学院大学 (兵庫県)

4) 原宏樹, 小山岳秀, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫, A. Slebarski
近藤絶縁体 $CeRhSb$ における $Rh-Pd$ 置換効果の研究 $Sb-NQR$
日本物理学会 第67回年次大会
2012年3月24日
関西学院大学 (兵庫県)

5) 服部翠, 水戸毅, 本山岳, 酒井佳央,

小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他2名,
NMR/NQR 測定で得られる URu_2Si_2 の微視的情報
日本物理学会 第67回年次大会
2012年3月24日
関西学院大学 (兵庫県)

6) T. Mito, M. Hattoti, G. Motoyama, Y. Sakai, T. Koyama, K. Ueta, 他3名,
NMR and NQR Investigations of Local Symmetries in Hidden Order Phase of URu_2Si_2
International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2011
2011年8月31日
West Road Concert Halls, Cambridge (英)

7) T. Koyama, Y. Ozaki, K-I. Ueda, T. Mito, T. Kohara, T. Waki, H. Nakamura,
NMR Study on Superconducting Carbide Mo_3Al_2C with the Non-Centrosymmetric Crystal Structure
International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2011
2011年8月31日
West Road Concert Halls, Cambridge (英)

8) 阿部真依子, 小山岳秀, 水戸毅, 上田光一, 小原孝夫, 鈴木博之
 $YbPtSb$ の NMR スペクトルと緩和率
日本物理学会 2011年秋季大会
2011年9月23日
富山大学 (富山県)

9) 小山岳秀, 尾崎穰, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫, 和気剛, 田畑吉計, 他3名,
空間反転対称性のない超伝導体 $Mo_3A_{12}C$ の常伝導状態の相転移
日本物理学会 2011年秋季大会
2011年9月24日
富山大学 (富山県)

10) 服部翠, 水戸毅, 井上耕也, 本山岳, 境秀樹, 小山岳秀, 上田光一, 他3名,
 URu_2Si_2 隠れた秩序相における対称性低下検出の試み-NMR/NQR 測定-
日本物理学会 2011年秋季大会
2011年9月23日
富山大学 (富山県)

11) 阿部真依子, 小山岳秀, 水戸毅, 上田光一, 小原孝夫, 鈴木博之
 $YbPtSb$ の ^{195}Pt -NMR 緩和率
日本物理学会 第66回年次大会
2011年3月25日
新潟大学 (新潟大学)

12) 中川原圭太郎, 水戸毅, 石田卓磨, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他3名,

^{59}Co -NMR/NQRによる重い電子系 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の低温磁性

日本物理学会 第66回年次大会
2011年3月25日
新潟大学(新潟大学)

13) 石田卓磨, 水戸毅, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 國森敬介, 他2名,
 CeB_6 の高圧下 ^{11}B -NMR による研究
日本物理学会 第66回年次大会
2011年3月25日
新潟大学(新潟大学)

14) 服部翠, 水戸毅, 井上耕也, 本山岳, 境秀樹, 小山岳秀, 上田光一, 他4名,
 URu_2Si_2 における NMR/NQR 測定による対称性の検証
日本物理学会 第66回年次大会
2011年3月27日
新潟大学(新潟大学)

15) 阿部真依子, 小山岳秀, 山本卓, 本山岳, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫
単結晶 PrPd_2Al_3 の ^{27}Al -NMR
日本物理学会 第66回年次大会
2011年3月27日
新潟大学(新潟大学)

16) K. Nishiyama, T. Mito, Y. Kujirai, T. Koyama, K. Ueda, T. Kohara, 他6名,
 ^{77}Se -NMR study of quasi-one dimensional organic conductor $(\text{TMTSF})_2\text{X}$
International and Interdisciplinary Workshop on Novel Phenomena in Integrated Complex Sciences : from Non-living to Living Systems
2010年10月12日
コープ. イン. 京都(京都府)

17) 水戸毅, 服部翠, 本山岳, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 横山淳, 網塚浩
 URu_2Si_2 隠れた秩序の NMR/NQR 測定による再検証
日本物理学会 2010年秋季大会
2010年9月25日
大阪府立大学(大阪府)

18) 中川原圭太郎, 水戸毅, 石田卓磨, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他3名,
重い電子系 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の磁場依存性- ^{59}Co -NMR/NQR
日本物理学会 2010年秋季大会
2010年9月23日
大阪府立大学(大阪府)

19) 小山岳秀, 阿部真依子, 水戸毅, 上田光一, 小原孝夫, 鈴木博之

Half-Heusler 型 RPtSb ($\text{R}=\text{Yb}, \text{Lu}$) の NMR
日本物理学会 2010年秋季大会
2010年9月23日
大阪府立大学(大阪府)

20) 西山功兵, 水戸毅, 鯨井幸臣, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他6名,
擬一次元有機導体 $(\text{TMTSF})_2\text{X}$ の ^{77}Se -NMR による研究 II
日本物理学会 2010年秋季大会
2010年9月23日
大阪府立大学(大阪府)

21) T. Mito, M. Hattoti, G. Motoyama, H. Sakai, T. Koyama, K. Ueta, 他3名,
NQR and NMR investigations of the hidden order in URu_2Si_2
International Conference on Heavy Electrons 2010
2010年9月19日
首都大学東京(東京都)

22) T. Koyama, M. Abe, T. Mito, T. Kohara, and T. Suzuki,
NMR studies on half-Heusler type compounds YbPtSb and LuPtSb
International Conference on Heavy Electrons 2010
2010年9月18日
首都大学東京(東京都)

23) G. Pristas, T. Mito, T. Kohara, S. Gabáni, M. Reiffers, 他3名,
Pressure-induced suppression of hybridization gap in the Kondo insulator SmB_6 studied by ^{11}B -NMR
International Conference on Heavy Electrons 2010
2010年9月18日
首都大学東京(東京都)

24) T. Mito, T. Koyama, K. Nakagawara, T. Ishida, K. Ueda, T. Kohara, 他6名,
Magnetic field effect on Yb-Based heavy Fermions near magnetic-nonmagnetic transition
CSMAG'10 14th Czech and Slovak Conference on Magnetism
2010年7月8日
Pavol Jozef Šafarik University (スロバキア)

25) G. Pristas, T. Mito, T. Kohara, S. Gabáni, M. Reiffers, 他2名,
 ^{11}B -NMR Study of SmB_6 under high pressure
CSMAG'10 14th Czech and Slovak Conference on Magnetism
2010年7月7日

Pavol Jozef Šafarik University (スロバキア)

26) T. Koyama, M. Abe, T. Mito, K. Ueda, T. Kohara, H. S. Suzuki,
NMR study of half-Heusler compound YbPtSb
International Conference on Strongly
Correlated Electron Systems
2010年6月29日
Santa Fe Convention Center (米)

27) 水戸毅, 中川原圭太郎, 石田卓磨,
小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他6名,
磁性-非磁性転移点近傍にある YbCo₂Zn₂₀ の
磁場依存性
日本物理学会 第65回年次大会
2010年3月23日
岡山大学 (岡山県)

28) 中川原圭太郎, 水戸毅, 石田卓磨,
小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他3名,
重い電子系 YbCo₂Zn₂₀ の NMR/NQR III
日本物理学会 第65回年次大会
2010年3月21日
岡山大学 (岡山県)

29) 小山岳秀, 阿部真依子, 水戸毅, 上
田光一, 小原孝夫, 鈴木博之
YbPtSb の NMR
日本物理学会 第65回年次大会
2010年3月21日
岡山大学 (岡山県)

30) 西山功兵, 水戸毅, 鯨井幸臣, 小山
岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他6名,
擬一次元有機導体 (TMTSF)₂X の ⁷⁷Se-NMR によ
る研究
日本物理学会 第65回年次大会
2010年3月20日
岡山大学 (岡山県)

31) 水戸毅
重い電子系 Yb 化合物
磁性分光研究会
2009年11月6日
広島大学 (広島県)

32) 水戸毅, 中川原圭太郎, 石田卓磨,
小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 他3名,
重い電子系 YbCo₂Zn₂₀ の NMR/NQR II
日本物理学会 2009年秋季大会
2009年9月28日
熊本大学 (熊本県)

33) 小山岳秀, 神田啓司, 本山岳, 塩月
聖博, 上田光一, 水戸毅, 他2名,
超伝導体 Rh₁₇S₁₅ の NMR, 比熱測定
日本物理学会 2009年秋季大会

2009年9月28日
熊本大学 (熊本県)

34) 水戸毅, 西山功兵, 小山岳秀, 上田
光一, 小原孝夫, 山田順一, 他4名,
Se-NMR による (TMTSF)₂X の磁性-非磁性転移
の研究
日本物理学会 2009年秋季大会
2009年9月27日
熊本大学 (熊本県)

35) T. Koyama, K. Kanda, G. Motoyama,
K. Ueda, T. Mito, T. Kohara, H. Nakamura,
103Rh NMR investigation of the
superconductor Rh₁₇S₁₅
9th International Conference on Materials
and Mechanisms on Superconductivity
2009年9月11日
京王プラザホテル (東京都)

36) T. Mito, K. Nishiyama, T. Koyama,
K. Ueda, T. Kohara, K. Takeuchi, 他5名,
⁷⁷Se NMR study of nonmagnetic-magnetic
transition in (TMTSF)₂X
9th International Conference on Materials
and Mechanisms on Superconductivity
2009年9月11日
京王プラザホテル (東京都)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等
http://proxy.sci.u-hyogo.ac.jp/material/electro_phys/index-j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水戸 毅 (MITO TAKESHI)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・准教授

研究者番号：70335420

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：