

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540349

研究課題名(和文)核四重極相互作用を用いた局所対称性と電子状態研究の新しい手法

研究課題名(英文)A new method of studying local symmetry through nuclear quadrupole interaction

研究代表者

水戸 毅 (MITO, TAKESHI)

兵庫県立大学・物質理学研究科・准教授

研究者番号：70335420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ランタノイド、アクチノイド化合物について、主に核四重極相互作用に注目した研究を行い、その有用性を示した。特に、URu₂Si₂ではU価数や局所対称性に関する情報を、SmB₆については6GPaの超高圧下における核磁気共鳴(NMR)測定を成功させSm価数の圧力依存性について調べた。また、YbCo₂Zn₂₀については100mK以下の極低温下における核四重極共鳴(NQR)を行い、200mKという極低温下での局在-遍歴のクロスオーバーを観測した。その他、EuPtPでは強磁場下NMR測定とゼロ磁場NMR・NQR測定を行い、Euの価数や磁気モーメントの秩序構造について重要な情報を得た。

研究成果の概要(英文)：We have studied some Lanthanide and Actinide compounds by mainly probing nuclear quadrupole interaction and have shown the usefulness of this technique. For example, for URu₂Si₂, we obtained information on the valence of U ion and local structural symmetry. For SmB₆, we succeeded in performing the measurement of nuclear magnetic resonance (NMR) at an extremely high pressure of 6GPa, to investigate the pressure dependence of Sm valence. We also carried out the measurement of nuclear quadrupole resonance (NQR) below 100mK and observed a crossover phenomenon between localized and itinerant states around an extremely low temperature of 200mK. Moreover, from the measurements of high-field NMR and zero-field NMR/NQR, important information on the ordered structures of Eu valence and magnetic moments were obtained.

研究分野：数物系科学

キーワード：NMR NQR 核四重極相互作用 重い電子系化合物 ランタノイド アクチノイド

1. 研究開始当初の背景

固体物質の構造の詳細を知ること、そのこと自体の興味に加えて、物質内の電子がどのような状態にあるか(物性の殆どを決定する要因である)という情報と密接に関係しており、物性の機構解明・新物質の開発といった点で最も重要な事柄である。特に、近年幾つかの物質において、機構が明らかではない相転移(つまり、従来の構造解析実験では異常が観測されず、しかも通常の磁気秩序としても解釈できない相転移)が問題になっており、多くの研究者の精力的な研究にもかかわらず未だに解決されていないものが多い。

2. 研究の目的

近年、原子核の陽電荷とその周囲の電荷分布との相互作用(「核四重極相互作用」)を測定することによって、固体物質における非常に微小、或いは局所的な構造変化(電荷分布変化)が検出でき、既存の研究手法では得ることが難しい情報を引き出せることが分かってきた。本研究では、興味ある幾つかの物質(主に希土類やU元素を含む化合物)の研究、特に最も基本的な物理現象の一つである相転移の機構解明に応用し、微視的な観点から系の対称性や電子状態を明らかにすることを目的としている。同時に、この研究手法を確立するために測定事例を増やし、測定技術の向上を図る。

3. 研究の方法

本研究では、「核四重極相互作用」を測定することによって微視的な電子状態を明らかにする手法を、興味ある幾つかの物質(主に希土類やU元素を含む化合物)の研究に適用し、以下の(1)~(3)を主な研究活動とする。

- 1) これらの物質が示す、機構が良く分かっていない相転移を解明するために実験的証拠を集めると同時に、この研究手法を確立するために測定事例を増やす。
- 2) 効果的な実験手法、また解析手法を確立する。
- 3) 具体的に行う NQR(核四重極共鳴) NMR(核磁気共鳴) 測定の精度を高める。

4. 研究成果

1) [URu₂Si₂]

$T_{HO}=17.5K$ にて機構が分かっていない相転移(Hidden Order(HO)), $T_{sc}=1.4K$ にて異方的超伝導を示す URu₂Si₂ について核四重極共鳴(NQR)と核磁気共鳴(NMR)を用いた研究を行った。我々はまず Ru サイトにおける NQR 測定に注目した。NQR 共鳴周波数は、局所的な電荷分布の変化に敏感に変化する量であると考えられ、その温度変化を精度よく測定したところ、広い温度領域(4~50K)においてほぼ結晶 *a* 軸の熱膨張に比例する振舞いを明らかにし、 T_{HO} にて異常を見出した。また、核四重極相互作用につい

て詳しく調べるために ⁹⁹Ru-NMR 測定を行い、*ab* 面内での四回回転対称性の变化について吟味したところ、 10^{-5} のレベルで四回対称性の破れは観測されなかった。一方、Si サイトを NMR 観測が可能な Ge の同位体 ⁷³Ge で置換した試料を準備し、同様に核四重極相互作用を調べた。こちらは ⁹⁹Ru 核測定ほどの高い精度は得られなかったが、同じく T_{HO} にて局所対称性の变化を示す実験証拠は得られなかった。これらの成果は文献等にて報告した。

次に、¹⁰¹Ru-NQR 周波数 ν_Q の値と温度変化について半定量的に評価するために、HO を引き起こす原因と考えられる *5f* 電子を含まない非磁性参照物質 ThRu₂Si₂ と LaRu₂Si₂ について ¹⁰¹Ru-NQR 測定を行い ν_Q の比較を行った。その結果、URu₂Si₂ の ν_Q は Th⁴⁺ イオンを持つ ThRu₂Si₂ のそれと高温で非常に近い値を示すことが分かった。一方、La³⁺ イオンを持つ LaRu₂Si₂ は約 2 倍の ν_Q を持つことから、URu₂Si₂ の U 価数は高温で ThRu₂Si₂ と同じ +4 価に近く、低温になるについて U-*5f* 電子の遍歴性が増すと結論された。同時に、ThRu₂Si₂ において ²⁹Si 核の NMR 測定を行い、低エネルギー スピン揺らぎを反映する核スピン格子緩和率 $1/T_1$ について URu₂Si₂ との比較を行ったところ、URu₂Si₂ の HO 相では揺らぎが非常に異方的なイジング性を示し、ほぼ結晶 *c* 軸方向の揺らぎしか存在しないことが分かった。URu₂Si₂ の超伝導はこの強いイジング的揺らぎの下で発生しており、強磁性的相関による超伝導発現が目ざされている他の U 系化合物との類似性が見出された。これらの成果は文献にて報告した。

[SmB₆]

SmB₆ は、常圧下では半導体的性質を示し、同時に Sm の平均価数が約 2.6(室温)の価数揺動物質であるが、圧力の因果によって半導体-金属転移と非磁性-磁性転移を示す。しかし、高圧下における詳しい電子状態は明らかになっていないため、¹¹B-NMR を中心とした研究を行った。まず、X 線回折実験により格子定数の圧力依存性(室温)を調べたところ、臨界圧力を超える 10GPa まで単調な収縮を示すのみであり、格子に異常は観測されなかった。次に、高圧・低温下における Sm 価数に関する情報を得るため、改良型ブリッジマン・アンピル・セルを用いて 6GPa までの ¹¹B-NMR 測定を行い、局所電荷分布の変化に敏感な核四重極相互作用について調べた。その結果をもとに初めて超高压・低温下での Sm 価数を見積もることに成功した。Sm 価数は圧力と共に +3 価方向に変化し、6GPa・2K では約 10% 増加すると見積もられた。磁性が強い Sm³⁺ 成分の増加が、高圧下における磁

気秩序相出現を引き起こすと考えられる。この成果は、文献 等にて報告した。

その他、高圧下における X 線吸収分光や、Sm を La や Yb で置換した試料の NMR 測定も行い、現在論文投稿準備中である。また、SmB₆ の関連物質 SmS について、NMR 観測可能な同位体 ³³S で濃縮した試料を準備し、その NMR による研究成果を文献 にて行った。

[YbCo₂Zn₂₀]

この物質は、低温下で電子比熱係数が約 8J/molK² と極めて大きな値を示す特異な物質であり、その機構の詳細について調べるため、Co サイトの極低温下 NQR 測定を行った。その結果、四重極共鳴周波数が約 200mK 以下で減少する振舞いを観測し、これは Yb-4f 電子が高温の局在状態から低温の遍歴・重い電子状態へクロスオーバーする様子を捉えたものと結論づけた。このような極低温下においてクロスオーバーが観測された例は殆どなく、この成果は文献 等で報告した。

[EuPtP]

この物質は、T_A=240K と T_B=200K にて Eu 価数が +2 価と +3 価に価数秩序を示す物質として注目されており、また約 8K 以下では磁気秩序を示す。強磁場下における NMR 測定とゼロ磁場下における NMR/MQR 測定を行って、その詳細を調べた。まず、³¹P-NMR 測定を行い、T_A と T_B におけるスペクトル変化を調べた結果、T > T_A、T_B < T < T_A、T < T_B の各相における価数秩序構造を特定することに成功した。また、Eu-4f 電子が非常に局在性の強い状態にあることも明らかになった。これらの成果は、文献 にて報告した。

次に、磁気秩序状態において内部磁場を利用した ¹⁵³Eu²⁺、³¹P、¹⁹⁵Pt のゼロ磁場下 NMR 信号の観測に成功した。加えて、¹⁵¹Eu³⁺ と ¹⁵³Eu³⁺ の NQR 信号観測にも成功し、磁気秩序構造を特定すると同時に、格子の歪等について議論を行った。この成果は文献 にて報告した。

- 効果的な研究を行うために本研究で導入した手法の一つは、これまで測定がなされていない物質構成元素について、NMR 観測が可能な核種に置換（或いは濃縮）する手法である。URu₂Si₂ において四重極相互作用を観測できない Si に代えて ⁷³Ge で置換した試料を用いた実験、SmS の S を ³³S で濃縮した試料を用いた実験、等がそれに当たり、新たな研究領域を開拓した。また、長年 NMR・NQR 測定によって研究されてきたにもかかわらず定量的な議論が殆どなされていない URu₂Si₂ について、f 電子を持たない非磁性参照物質 ThRu₂Si₂ と LaRu₂Si₂ の詳しい測定を初

めて行い、それらとの比較を通すことによって v_Q 、 $1/T_1$ の評価を可能にし、新たな基礎情報を引き出すことに成功した。

- NMR・NQR 測定の精度を向上させるため、最近開発された低温下で動作する低ノイズプリアンプを導入した。また、高速フーリエ変換法によるスペクトル測定の精度と解析能力を向上させるため、測定・解析プログラムの改善に努めた。その他、信号強度が微弱な研究対象に対して、より安定した長時間積算を可能にするため、あらたなクライオスタットを導入した。

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 17 件)

⁵¹V-NMR study of low-temperature phase in δ -Ag_{2/3}V₂O₅

Y. Kawasaki, R. Morioka, Y. Kishimoto, K. Nakamura, K. Nishiyama, T. Koyama, T. Mito, 他 4 名,

J. Phys.: Conf. Ser. **592** 012042-1-6 (2015). 査読有
doi:10.1088/1742-6596/592/1/012042

NMR study of black-phase in SmS

T. Koyama, H. Yamada, K. Ueda, T. Mito, and Y. Haga

J. Phys.: Conf. Ser. **592** 012027-1-4 (2015). 査読有
doi:10.1088/1742-6596/592/1/012027

Magnetic and Electronic Properties of URu₂Si₂ Revealed by Comparison with Nonmagnetic References ThRu₂Si₂ and LaRu₂Si₂

N. Emi, R. Hamabata, D. Nakayama, T. Miki, T. Koyama, K. Ueda, T. Mito, 他 6 名,

J. Phys. Soc. Jpn. **84**, pp.063702-1-4 (2015). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.84.063702>

Zero-field NMR and NQR studies of magnetically ordered state in charge-ordered EuPtP

T. Koyama, T. Maruyama, K. Ueda, T. Mito, 他 4 名,
Phys. Rev. B **91**, pp.094419-1-4 (2015). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevB.91.094419

NMR studies of ordered structures and valence states in the successive valence- transition system EuPtP

T. Mito, K. Nishitani, T. Koyama, 他 8 名,
Phys. Rev. B **90**, pp.195106-1-6 (2014). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevB.90.195106

NMR Studies of Quasi-One-Dimensional Compound Lu₂Ir₃Si₅

K. Ueda, T. Koyama, T. Mito, and T. Kohara
JPS Conf. Proc. **3**, pp.015025-1-6 (2014). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.3.015025>

NMR Investigation of Pressure Effect on

Intermediate Valence Compound SmB_6
K. Nishiyama, T. Mito, G. Pristáš, 他 12 名,
JPS Conf. Proc. **3**, pp.011085-1-6 (2014). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.011085>
Low-Temperature Intermediate Valence State
in $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$
T. Mito, H. Hara, T. Ishida, 他 8 名
JPS Conf. Proc. **3**, pp.011065-1-6 (2014). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.011065>
Sb NQR Study in Kondo Insulator
 $\text{CeRh}_{1-x}\text{Pd}_x\text{Sb}$ System
T. Koyama, H. Yamada, T. Shimosaka, H. Hara,
K. Ueda, T. Mito, T. Kohara, and A. Ślebarski
JPS Conf. Proc. **3**, pp.011020-1-5 (2014). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.011020>
NMR Study of the Superconducting Gap
Variation near the Mott Transition in Cs_3C_{60}
P. Wzietek, T. Mito, H. Alloul, 他 3 名
Phys. Rev. Lett. **112**, pp.066401-1-5 (2014). 査読有
DOI: [10.1103/PhysRevLett.112.066401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.066401)
Pressure-Induced Localization of 4f Electrons
in the Intermediate Valence Compound SmB_6
K. Nishiyama, T. Mito, G. Pristáš, 他 12 名,
J. Phys. Soc. Jpn. **82**, pp.123707-1-4 (2013). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.123707>
Investigation of Local Symmetries in the
Hidden Order Phase of URu_2Si_2
T. Mito, M. Hattori, G. Motoyama, 他 6 名,
J. Phys. Soc. Jpn. **82**, pp.123704-1-4 (2013). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.123704>
Microscopic Evidence for a Crossover to a Low-
Temperature Intermediate Valence State in $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$
T. Mito, H. Hara, T. Ishida, 他 8 名,
J. Phys. Soc. Jpn., **82**, pp.103704-1-4 (2013). 査読有
DOI: [10.7566/JPSJ.82.103704](https://doi.org/10.7566/JPSJ.82.103704)
Normal and Superconducting Properties of
the Noncentrosymmetric $\text{Mo}_3\text{Al}_2\text{C}$
T. Koyama, Y. Maeda, T. Yamazaki, K. Ueda,
T. Mito, 他 6 名,
J. Phys. Soc. Jpn. **82**, pp.073709-1-4 (2013). 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.073709>
NMR investigation of the pressure induced
Mott transition to superconductivity in
 Cs_3C_{60} isomeric compounds
H. Alloul, Y. Ihara, T. Mito, 他 4 名,
J. Phys.: Conf. Ser. **449**, pp.012030-1-9 (2013). 査読有
doi: [10.1088/1742-6596/449/1/012030](https://doi.org/10.1088/1742-6596/449/1/012030)
Intermediate valence behavior of $\text{Yb}_2\text{Ni}_{12}\text{P}_7$

studied by using ^{31}P NMR
T. Koyama, K. Sugiura, K. Ueda, T. Mito, 他 5 名,
J. Korean Phys. Soc. **63**, pp.416-419 (2013). 査読有
DOI: [10.3938/jkps.63.416](https://doi.org/10.3938/jkps.63.416)
Effect of pressure on the intermediate-valence
semiconductor SmB_6 : ^{11}B -NMR
K. Nishiyama, T. Mito, K. Ueda, 他 8 名,
J. Korean Phys. Soc. **62**, pp.2024-2027 (2013). 査読有
DOI: [10.3938/jkps.62.2024](https://doi.org/10.3938/jkps.62.2024)

[学会発表] (計 52 件)

- 1) 上田光一, 小山岳秀, 水戸毅, 他 5 名,
軟質な強磁性体 CuFeSb の NMR による研究 II
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 21 日 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 2) 小山内湧人, 菊地翔弥, 伊賀文俊, 水戸毅,
佐藤桂輔
価数揺動系 $\text{Sm}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_6$ ($\text{R}=\text{Yb}^{2+}, \text{La}^{3+}, \text{Zr}^{4+}$) にお
ける組成と価数・エネルギーギャップの相関
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 22 日 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 3) 山田陽彦, 小山岳秀, 上田光一, 水戸毅,
芳賀芳範
 SmS の圧力下 NMR 測定
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 22 日 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 4) 服部泰佑, 杉本大輔, 軽部皓介, 石田憲二,
出口和彦, 佐藤憲昭, 山村朝雄, 水戸毅
強磁性超伝導体 UCoGe における強磁性ゆ
らぎの圧力変化
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 24 日 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 5) 森岡亮, 川崎祐, 岸本豊, 中村浩一, 西山功
兵, 小山岳秀, 水戸毅, 磯部正彦, 上田寛
バナジウムブロンズ $\text{Ag}_{2/3}\text{V}_2\text{O}_5$ における金
属絶縁体転移の NMR による研究 II
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 24 日 早稲田大学 (東京都新宿区)
- 6) 上田光一, 小山岳秀, 水戸毅, 他 5 名,
軟質な強磁性体 CuFeSb の NMR による研究
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 7 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 7) 江見直哉, 西山功兵, 原由希子, 水戸毅,
他 13 名,
 SmB_6 における圧力依存性と置換効果 II
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 7 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 8) 上田光一, 竹村真哉, 小山岳秀, 水戸毅,
小原孝夫
CDW と超伝導を示す物質の電子状態につ
いての NMR による研究 III
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 8 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 9) 中山大将, 小山岳秀, 上田光一, 水戸毅,
辻井直人
Yb 系価数揺動物質の NMR/NQR 測定
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 8 日 中部大学 (愛知県春日井市)

- 10) 丸山丈博, 小山岳秀, 上山藤乃, 上田光一, 水戸毅, 光田暁弘, 喜舎場英吾, 他 2 名, 価数転移を示す Eu 化合物の磁気秩序状態における NMR 測定
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 8 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 11) 杉本大輔, 服部泰佑, 軽部皓介, 石田憲二, 出口和彦, 佐藤憲昭, 山村朝雄, 水戸毅
強磁性超伝導体 UCoGe の圧力下における ^{59}Co 核四重極共鳴(NQR)
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 9 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 12) 森岡亮, 川崎祐, 岩谷匠, 岸本豊, 中村浩一, 西山功兵, 小山岳秀, 水戸毅, 他 2 名, バナジウムプロンズ $\text{Ag}_{0.68}\text{V}_2\text{O}_5$ における金属絶縁体転移の NMR による研究
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 9 日 中部大学 (愛知県春日井市)
- 13) T. Mito, K. Nishiyama, G. Pristas, 他 12 名, Pressure-induced changes of the hybridization gap and Sm valence in the Kondo insulator SmB_6
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2014 年 7 月 7 日 グルノーブル(フランス)
- 14) T. Koyama, H. Yamada, K. Ueda, T. Mito, Y. Haga
NMR study of black-phase in SmS
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2014 年 7 月 7 日 グルノーブル(フランス)
- 15) Y. Kawasaki, R. Morioka, Y. Kishimoto, K. Nakamura, K. Nishiyama, T. Koyama, T. Mito, M. Isobe, and Y. Ueda
 ^{51}V -NMR study of low-temperature phase in $\text{Ag}_{2/3}\text{V}_2\text{O}_5$
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2014 年 7 月 7 日 グルノーブル(フランス)
- 16) T. Hattori, D. Sugimoto, K. Karube, K. Ishida, K. Deguchi, N. K. Sato, T. Yamamura, and T. Mito
Nuclear Quadrupole Resonance study on ferromagnetic superconductor UCoGe under hydrostatic pressure
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2014 年 7 月 9 日 グルノーブル(フランス)
- 17) N. Emi, T. Miki, T. Mito, 他 10 名, Study of local symmetry in URu_2Si_2 by Ru-NMR/NQR measurements
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2014 年 7 月 10 日 グルノーブル(フランス)
- 18) 小山岳秀, 山田陽彦, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫, 青山悠司, 中野智仁, 武田直也, 立方晶 $\text{Ce}_6\text{Ni}_6\text{P}_{17}$ の ^{31}P -NMR
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 19) 江見直哉, 三木俊宙, 水戸毅, 他 10 名, Ru-NQR による URu_2Si_2 の局所対称性
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 20) 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 他 4 名, 充填スクッテルダイト化合物 $\text{NdRu}_4\text{Sb}_{12}$, $\text{EuRu}_4\text{Sb}_{12}$ の NMR, NQR 研究
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 21) 上田光一, 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 小原孝夫
CDW と超伝導を示す物質の電子状態についての NMR による研究 II
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 22) 西山功兵, 水戸毅, 原由希子, 他 14 名, SmB_6 における圧力依存性と置換効果
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 23) 山田陽彦, 小山岳秀, 水戸毅, 他 2 名, ^{33}S -NMR による SmS の NMR 測定
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 24) 丸山丈博, 西谷孝二, 小山岳秀, 水戸毅, 他 5 名, 価数転移を示す EuPtP の低温磁気秩序状態における NMR 研究
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 25) 川崎祐, 森岡亮, 岩谷匠, 岸本豊, 中村浩一, 西山功兵, 小山岳秀, 水戸毅, 他 2 名, $\text{Ag}_{0.68}\text{V}_2\text{O}_5$ の V-NMR
日本物理学会 第 69 回年次大会
2014 年 3 月 28 日 東海大学 (神奈川県平塚市)
- 26) 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 他 4 名, 充填スクッテルダイト化合物 $\text{NdRu}_4\text{Sb}_{12}$ の ^{101}Ru , $^{121/123}\text{Sb}$ の NQR 研究
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 25 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 27) 西山功兵, 水戸毅, G. Pristas, 他 13 名, SmB_6 における半導体ギャップの圧力依存性 II
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 25 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 28) 西谷孝二, 水戸毅, 牟田寛弥, 他 6 名, 価数転移を示す Eu 系化合物の NMR による研究
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 25 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 29) 川崎祐, 岸本豊, 出田勇亀一, 西山功兵, 小山岳秀, 水戸毅, 八島光晴, 他 6 名, $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$ における磁場誘起インコメンシュレート相の V-NMR による研究 II
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 25 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 30) 上田光一, 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅
CDW と超伝導を示す物質の電子状態についての NMR による研究
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 26 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 31) 江見直哉, 三木俊宙, 服部翠, 水戸毅, 他 6 名, URu_2Si_2 の隠れた秩序転移における Ru-NMR/NQR スペクトル異常
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 26 日 徳島大学 (徳島県徳島市)

- 32) 小山岳秀, 小原祥司, 池田修吾, 野村拓司, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫
超伝導体 CoZr_3 の物性研究
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 26 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 33) 水戸毅, 原宏樹, 小山岳秀, 他 6 名,
 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の極低温下 f 電子状態
日本物理学会 2013 年秋季大会
2013 年 9 月 26 日 徳島大学 (徳島県徳島市)
- 34) T. Koyama, T. Shimosaka, H. Hara, K. Ueda, T. Mito, T. Kohara, A. Slebarski
Sb NQR study in Kondo insulator $\text{CeRh}_{1-x}\text{Pd}_x\text{Sb}$ system
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2013 年 8 月 6 日 東京大学 (東京都文京区)
- 35) T. Mito, H. Hara, T. Ishida, 他 7 名,
Low-temperature intermediate valence state in $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2013 年 8 月 7 日 東京大学 (東京都文京区)
- 36) K. Nishiyama, T. Mito, G. Pristas, 他 12 名,
NMR investigation of pressure effect on hybridization gap in SmB_6
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems
2013 年 8 月 7 日 東京大学 (東京都文京区)
- 37) 川崎祐, 岸本豊, 出田勇亀一, 西山功兵, 小山岳秀, 水戸毅, 八島光晴, 他 6 名,
 $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$ における磁場誘起インコメンシュレート相の NMR による研究
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 26 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 38) 水戸毅, 西谷孝二, 牟田寛弥, 他 6 名,
価数転移物質 EuPtP の f 電子状態に関する NMR 研究
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 26 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 39) 西山功兵, 水戸毅, G. Pristas, 他 11 名,
 SmB_6 における半導体ギャップ構造の圧力依存性
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 26 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 40) 原宏樹, 水戸毅, 小山岳秀, 他 6 名,
重い電子化合物 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の低温磁性 II
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 27 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 41) 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 他 4 名,
充填スクッテルダイト化合物 $\text{NdRu}_4\text{Sb}_{12}$ の NQR による物性研究
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 27 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 42) 上田光一, 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 小原孝夫
層状超伝導体の電子状態の NMR による研究 II
日本物理学会 第 68 回年次大会
2013 年 3 月 27 日 広島大学 (広島県東広島市)
- 43) T. Mito
NMR Study of valence fluctuating state in rare-earth based materials with multi-4f electrons
57th DAE-Solid State Physics Symposium (DAE-SSPS-2012) (招待講演)
2012 年 12 月 7 日 ムンバイ (インド)
- 44) 小山岳秀, 前田佳俊, 山崎智陽, 上田光一, 水戸毅, 小原孝夫, 和氣剛, 他 4 名,
空間反転対称性のない超伝導体 $\text{Mo}_3\text{Al}_2\text{C}$ の物性研究
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 19 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 45) 原宏樹, 水戸毅, 石田卓磨, 他 6 名,
重い電子化合物 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の低温磁性
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 20 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 46) 小山岳秀, 杉浦恭平, 上田光一, 水戸毅, 他 5 名,
六方晶 $\text{Yb}_2\text{Ni}_{12}\text{P}_7$ の ^{31}P -NMR
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 20 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 47) 西山功兵, 水戸毅, G. Pristas, 他 11 名,
圧力下における SmB_6 の ^{11}B -NMR による研究 II
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 20 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 48) 上田光一, 前田佳俊, 小山岳秀, 水戸毅, 小原孝夫
層状超伝導体の電子状態の NMR による研究
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 20 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 49) 上田光一, 小山岳秀, 水戸毅, 小原孝夫
新超伝導体 LaCo_2B_2 系の NMR による研究
日本物理学会 2012 年秋季大会
2012 年 9 月 20 日 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- 50) K. Nishiyama, G. Pristas, T. Mito, 他 9 名,
Pressure effect on intermediate valence semiconductor SmB_6 : ^{11}B -NMR
The 19th International Conference on Magnetism
2012 年 7 月 10 日 釜山 (韓国)
- 51) T. Mito, K. Nishitani, T. Koyama, 他 5 名,
 ^{31}P -NMR study of valence fluctuating compound EuPtP
The 19th International Conference on Magnetism
2012 年 7 月 10 日 釜山 (韓国)
- 52) T. Koyama, K. Sugiura, K. Ueda, T. Mito, 他 5 名,
Heavy Fermion Behavior of $\text{Yb}_2\text{Ni}_{12}\text{P}_7$ Studied by ^{31}P NMR
The 19th International Conference on Magnetism
2012 年 7 月 12 日 釜山 (韓国)
- 〔その他〕
ホームページ等
http://www.sci.u-hyogo.ac.jp/material/electro_physics/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