

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400356

研究課題名(和文) モット絶縁体近傍の磁性と超伝導の共存相のNMRによる研究

研究課題名(英文) NMR studies of coexisting phase of antiferromagnetism and high-Tc superconductivity near Mott transition

研究代表者

北岡 良雄 (Kitaoka, Yoshio)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：70110707

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：多層型銅酸化物をベースとした、本基盤研究Cは、乱れのないCuO₂面の本質的な電子状態を探ることのできる世界で唯一の結晶系であり、狙いを定めた層数をもつ多層型銅酸化物の純良結晶を作り分ける技術を高めてきた。さらに最近、還元アニールで酸素欠損量(=ドーピング量)もかなり正確に微調整できるようになり、この世界唯一の純良多層銅酸化物結晶を用いた核磁気共鳴法(NMR)を組み合わせた層毎の物性を調べる本研究は、空白となっている超低ドーピング領域での反強磁性と超伝導のミクロ電子相図を明らかにし、モット絶縁体近傍の自明でない強相関金属状態での量子物質相を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)： High-temperature superconductivity (HTSC) in copper oxides emerges on a layered CuO₂ plane when an antiferromagnetic Mott insulator is doped with mobile hole carriers. We presented our experimental findings such as the existence of the AFM metallic state in doped Mott insulators, the uniformly mixed phase of AFM and HTSC, and the emergence of d-wave SC with a maximum T_c just outside a critical carrier density, at which the AFM moment on a CuO₂ plane disappears. These results can be accounted for by the Mott physics based on the t-J model. The superexchange interaction J_{in} among spins plays a vital role as a glue for Cooper pairs or mobile spin-singlet pairs, in contrast to the phonon-mediated attractive interaction among electrons established in the Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) theory.

研究分野：強相関電子物理

キーワード：銅酸化物高温超伝導 高温超伝導発現機構 NMR/NQR 反強磁性と超伝導の共存 強相関電子系 多層系銅酸化物

1. 研究開始当初の背景

これまでに発見された超伝導体の中で最も高い超伝導転移温度(T_c)をもつ銅酸化物高温超伝導体は、発見からこれまで四半世紀年に渡って世界中で膨大な研究がなされてきた。これだけ膨大な累計の予算および労力が投じられ、世界中の頭脳を巻き込んで調べられた物質は人類史上他に例がない。にもかかわらず、その最も根本たる超伝導発現機構に関しては、万人の納得する完全なる理解には至っていない。その問題のひとつとして、現在典型的な相図と信じられている単層 La 系の磁気超伝導相図が理論的に説明できないことが挙げられる。高温超伝導の出現には化学的元素置換によるキャリアドーピングが必須であるが、それは同時に結晶の乱れも引き起こす。その結果、キャリア濃度の小さい低ドーピング域では、特に結晶の乱れがキャリアの局在を引き起こし、本質的には必ずしも言えない不純物の影響が重畳して真の銅酸素面の電子物性をマスクする。この四半世紀に渡っても高温超伝導現象を解明できない背景として、我々は、僅かな乱れの効果は、電子が避け合う効果が極めて強いモット絶縁体近傍の2次元的な銅酸素面における強相関電子状態では、特に結晶の乱れの効果が顕在化しやすいことが、真の姿を捉える実験・理論両面からの研究を極端に難しくしていると推測した。そこで、我々は複数の銅酸素面が層状に積み重なった多層型構造をもつ銅酸化物では、低ドーピング域で乱れがほとんど無いことに着目し、理想的な銅酸素面の真の物性を明かにする実験成果をここ15年以上に渡って積み上げてきた。

2. 研究の目的

銅酸化物高温超伝導の発現機構の解明に向け、ミクロな観点から電子状態を明らかにできる核磁気共鳴(NMR)実験手法を用いて、乱れない理想的な銅酸素面を有する超多層型構造をもつ銅酸化物における層毎の電子状態を調べ、キャリアがドーピングされたモット絶縁体近傍の強相関金属状態の新しい量子物質相の解明を目指す。特に、高温超伝導の舞台となる母物質である「モット絶縁体」近傍の反強磁性と超伝導との共存領域の電子状態、超低ドーピング領域における超伝導が出現する限界ホール濃度の探索、および反強磁性と超伝導の秩序パラメーターの相互結合効果など、いまだ未踏の実験的課題に挑戦し、理想的なCuO₂面を対象としている理論との系統的な比較を可能にして、高温超伝導出現の謎に挑み、「高温超伝導現象」についての基礎学理の確立を目指す。

3. 研究の方法

多層型銅酸化物高温超伝導物質における平坦で乱れを伴わない理想的なCuO₂層を用いたNMR/NQR実験により、キャリアがわずかにドーピングされている超低ドーピング領域にお

ける新しい量子物質相の発見を目指し、まず、モット絶縁体近傍のさらに低ドーピング状態が得られる六層型銅酸化物の相図を確立し、八層型の研究を展開する。特にこれらの超多層構造の最も内側のCuO₂(IP)層で、①ドーピングされたモット絶縁体近傍の超低ドーピング領域における反強磁性と超伝導の相図を確立する。②層毎のホール濃度を制御させた試料を用いて、超伝導が発現する臨界キャリア濃度を探索する。③反強磁性・超伝導の両秩序変数の相互結合効果明らかにし、④核スピン格子緩和時間の測定から超伝導状態における磁気励起を調べ、理論との整合性について検証する。

4. 研究成果

26年度は、六層系に着目して、ドーピングされたモット絶縁体近傍の超低ホール濃度域における反強磁性と超伝導の相図を確立し、成果を論文(1)で発表した。また、超低ホール濃度域にある五層系試料の作成に成功し、超低ドーピング濃度域の電子相図の統括的な理解に向けた研究体制を整えた。

27年度は、タリウム六層系でホールドーピング量が異なる試料についてのNMRによる系統的な研究を行い、反強磁性転移温度 T_N を決定し、六層系の超伝導と反強磁性の相図を確立できた。さらに水銀六層系の研究から T_N とドーピング量との関係は、五層系と比べて、より高濃度域まで反強磁性相が生き残っていることを明らかにした。以上の研究から T_N を決定する機構として層間の磁気相互作用が重要であることを結論できた。

28年度は、磁気秩序が報告されていない超低ドーピング三層型銅酸化物Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+x}の研究を行い、磁場下での磁束渦糸状態に誘起された磁気モーメントに起因する低温での磁気異常を観測できた。この状態は、渦糸に付随して発生する磁気秩序(磁場誘起型磁気秩序)の可能性が考えられる。

多層型銅酸化物をベースとした、本基盤研究Cは、乱れないCuO₂面の本質的な電子状態を探ることのできる世界で唯一の結晶系であり、日本発の独創的なものである。特に、産業技術総合研究所エレクトロニクス部門の伊豫グループおよび東京理科大基礎工学部の常盤グループは、ここ十年来の当系の共同研究の間に、狙いを定めた層数をもつ多層型銅酸化物の純良結晶を作り分ける技術を高めてきた。さらに最近、還元アニールで酸素欠損量(=ドーピング量)もかなり正確に微調整できるようになり、また多層型の単結晶作成にも成功している。この世界唯一の純良多層銅酸化物結晶を用いた核磁気共鳴法(NMR)を組み合わせた層毎の物性を調べる本研究は、空白となっている超低ドーピング領域での反強磁性と超伝導のミクロ電子相図を明らかにし、モット絶縁体近傍の自明でない強相関金属状態での量子物質相を明らかに

することができた。

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 11 件)

(1) Novel Interplay between High-Tc Superconductivity and Antiferromagnetism in Tl-based Six-CuO₂-Layered Cuprates : 205Tl and 63Cu-NMR Probes

H. Mukuda, N. Shiki, N. Kimoto, M. Yashima, Y. Kitaoka, K. Tokiwa, and A. Iyo,

J. Phys. Soc. Jpn. 85, 083701 (2016)

DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.85.083701>

(2) Multiple Antiferromagnetic Spin Fluctuations and Novel Evolution of T_c in Iron-based superconductors LaFe(As_{1-x}Px)(O_{1-y}Fy) revealed by 31P-NMR Studies

T. Shiota, H. Mukuda, M. Uekubo, F. Engetsu, M. Yashima, Y. Kitaoka, K. T. Lai, H. Usui, K. Kuroki, S. Miyasaka, and S. Tajima

J. Phys. Soc. Jpn.85, 053706 (2016) [日本物理学会学術誌(JPSJ)注目論文賞 受賞論文]

DOI: <http://doi.org/10.7566/JPSJ.85.053706>

(3) Superconductivity and Antiferromagnetic Spin Fluctuations in LaFe(As_{1-x}Px)(O_{1-y}Fy) probed by 31P-NMR

T. Shiota, H. Mukuda, M. Uekubo, F. Engetsu, M. Yashima, Y. Kitaoka, K. T. Lai, H. Usui, K. Kuroki, S. Miyasaka, and S. Tajima

Journal of Physics: Conference Series, in press. (2017)

(4) Enhancement of T_c in CeIr(In_{1-x}Cdx)₅ studied by In-NQR

M. Yashima, K. Tani, K. Nishimoto, H. Mukuda, Y. Kitaoka, F. Honda, R. Settai, and Y. Onuki

Journal of Physics: Conference Series, in press. (2017)

(5) Reemergent phase of antiferromagnetic order in iron-based superconductor LaFe(As_{1-x}Px)₅ probed by 31P-NMR

F. Engetsu, T. Shiota, K. T. Lai, H. Mukuda, M. Yashima, Y. Kitaoka, S. Miyasaka, and S. Tajima

Journal of Physics: Conference Series 592 (2015) 012072

doi:10.1088/1742-6596/592/1/012072

(6) NMR evidence for an intimate relationship between antiferromagnetic spin fluctuations and extended s-wave superconductivity in monocrystalline SrFe₂(As_{1-x}Px)₂,

M. Miyamoto, H. Mukuda, T. Kobayashi, M. Yashima, Y. Kitaoka, S. Miyasaka, and S. Tajima, Phys. Rev. B, 92, 125154/1-7 (2015)

doi:10.1103/PhysRevB.92.125154

(7) Antiferromagnetic spin fluctuations enhancing superconducting transition temperature in LaFeAsO-based high-T_c superconductors

H. Mukuda, K. Yamamoto, K. T. Lai, F. Engetsu, M. Yashima, Y. Kitaoka, A. Takemori, S. Miyasaka, and S. Tajima

JPS conf. Proc. 3, 015038 (2014)

DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.015038>

(8) Superconducting characters under pressure in heavy fermion compounds CeIr(In_{1-x}Cdx)₅ studied by In-NQR

M. Yashima, N. Tagami, T. Unemori, K. Uematsu, H. Mukuda, Y. Kitaoka, F. Honda, R. Settai, and Y. Onuki

JPS Conf. Proc. 3, 011094 (2014)

<http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.011094>

(9) Imbalance of Hole Density between Inner and Outer Planes and Superconducting Transition Temperature in Multilayered Cuprates,

S. Iwai, H. Mukuda, S. Shimizu, Y. Kitaoka, S. Ishida, A. Iyo, H. Eisaki, and S.-i. Uchida

JPS conf. Proc.1, 012105 (2014)

DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.1.012105>

(10) Enhancement of Superconducting Transition Temperature Due to Antiferromagnetic Spin Fluctuations in Iron-pnictides

LaFe(As_{1-x}Px)(O_{1-y}Fy): 31P-NMR Studies

H. Mukuda, F. Engetsu, K. Yamamoto, K. T. Lai, M. Yashima, Y. Kitaoka, A. Takemori, S. Miyasaka, and S. Tajima

Phys.Rev.B 89, 064511/1-6 (2014)

DOI: 10.1103/PhysRevB.89.064511

(11) Emergence of Novel Antiferromagnetic Order Intervening Between Two Superconducting Phases in LaFe(As_{1-x}Px)₅: 31P-NMR Studies

H. Mukuda, F. Engetsu, T. Shiota, K. T. Lai, M. Yashima, Y. Kitaoka, S. Miyasaka, and S. Tajima

J. Phys. Soc. Jpn. 83, 08370 (2014)

<http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.83.083702>

(注)以下は現在投稿中のため、論文数からはずしている。

(*1) Anomalous Nuclear Spin Relaxation with Charge Kondo Behavior in Pb_{1-x}Tl_xTe with Valence Skipping Tl Dopants: 125Te-NMR Probe
H. Mukuda, T. Matsumura, S. Maki, M. Yashima, Y. Kitaoka, K. Miyake, H. Murakami, P. Giraldo-Gallo, T. H. Geballe, and I. R. Fisher, 投稿中

[学会発表] (計 48 件*)

(1) Superconducting transition temperature and re-emergence of antiferromagnetic order in $\text{LaFe}(\text{As}_{1-x}\text{Px})(\text{O}_{1-y}\text{Fy})$ H. Mukuda, Y. Kitaoka, et al. Strongly Correlated Electron Systems SCES2014, July 6-11, 2014 (Grenoble, France)

(2) NMRによる頂点F系多層型銅酸化物超伝導体における磁性と超伝導、柳井悠佑、椋田秀和、北岡良雄、清水直、伊豫彰、日本物理学会、2014年9月7日、中部大学(愛知県・春日井市)

(3) CeRhIn_5 単結晶における磁気構造のIn-NQRによる研究、道添竜治、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、撰待力生、大貫惇睦、日本物理学会、2014年9月7日、中部大学(愛知県・春日井市)

(4)重い電子系化合物 $\text{CeIr}(\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x)_5$ の圧力下In-NQR、八島光晴、谷恭兵、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、本多史憲、撰待力生、大貫惇睦、日本物理学会、2014年9月7日、中部大学(愛知県・春日井市)

(5) ^{31}P -NMRによる $\text{SrFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の磁性と超伝導、宮本昌士、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、小林達也、宮坂茂樹、田島節子、日本物理学会、2014年9月8日、中部大学(愛知県・春日井市)

(6) 鉄系超伝導体 $\text{LaFe}(\text{As}_{1-x}\text{Px})(\text{O}_{1-y}\text{Fy})$ におけるNMR 塩田貴佳、圓月風子、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、K. T. Lai、宮坂茂樹、田島節子、Y. -F. Guo、山浦一成、室町英治、日本物理学会、2014年9月8日、中部大学(愛知県・春日井市)

(7)アンチポストペロブスカイト超伝導体 V_3AsN および V_3PN におけるNMR 松村隆史、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、B. Wang、大串研也、日本物理学会、2014年9月9日、中部大学(愛知県・春日井市)

(8)NMRによる6層型銅酸化物高温超伝導体の磁性と超伝導 志岐望、木本野樹、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、橋本拓也、常盤和靖、伊豫彰、日本物理学会、2014年9月9日、中部大学(愛知県・春日井市)

(9) NMRによる超伝導体 $\text{Pb}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Te}$ の電子状態 牧翔太、椋田秀和、北岡良雄、村上博成、P. Giraldo、I. Fisher、T. Geballe、日本物理学会、2014年9月9日、中部大学(愛知県・春日井市)

(10) 重い電子系化合物 CeRhIn_5 における不整合反強磁性と超伝導のIn-NQRによる研究、道添竜治、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、撰待力生、大貫惇睦、日本物理学会、2015年3月21日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(11) 鉄系超伝導体 $\text{LaFe}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)(\text{O}_{1-y}\text{Fy})$ および $(\text{Sr}_4\text{Sc}_2\text{O}_6)\text{Fe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ におけるNMR、塩田貴佳、阪野文秀、圓月風子、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、K. T. Lai、宮坂茂樹、田島節子、Y. -F. Guo、山浦一成、室町英治、日本物理学会、2015年3月21日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(12) β'' 型有機超伝導体(BEDT-TTF)の ^2H -NMRによる研究、杉山智紀、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、今城周作、坏広樹、中澤康浩、日本物理学会、2015年3月22日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(13)重い電子系化合物 $\text{CeIr}(\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x)_5$ の圧力下In-NQR II、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、本多史憲、撰待力生、大貫惇睦、日本物理学会、2015年3月22日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(14)アンチポストペロブスカイト超伝導体 V_3PN におけるNMR、松村隆史、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、B. Wang、大串研也、日本物理学会、2015年3月22日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(15) $\text{SrFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ と他のAs/P置換系鉄系超伝導の電子相図の ^{31}P -NMRによる比較、宮本昌士、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、小林達也、宮坂茂樹、田島節子、日本物理学会、2015年3月24日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(16) TIをドーピングしたPbTe超伝導体における多結晶および単結晶NMR、牧翔太、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、村上博成、P. Giraldo-Gallo、I. Fisher、T. Geballe、日本物理学会、2015年3月24日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(17) NMRによる籠状物質 $\text{MCu}_3\text{V}_4\text{O}_{12}$ ($\text{M}=\text{Cu}, \text{Mn}, \text{Ca}$)における電子状態、阪野文秀、植木翔太、椋田秀和、北岡良雄、山田幾也、秋月康秀、藤田晃司、田中勝久、入船徹男、小口多美夫、日本物理学会、2015年3月24日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(18) NMRによる頂点F系五層型銅酸化物超伝導体における最低ドーピング状態の磁性と超伝導、柳井悠佑、椋田秀和、北岡良雄、清水直、伊豫彰、日本物理学会、2015年3月24日、早稲田大学(東京都・新宿区)

(19) 電荷供給層の Tl サイト NMR から見た 6 層型銅酸化物 $TlBa_2Ca_5Cu_6O_{14+\delta}$ の磁性と超伝導、志岐望, 木本野樹, 椋田秀和, 北岡良雄, 橋本拓也, 常盤和靖, 伊豫彰、日本物理学会、2015 年 3 月 24 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

(20) 電子線照射した $SrFe_2(As_{1-x}P_x)_2$ における超伝導と反強磁性揺らぎ: ^{31}P -NMR 宮本昌士, 阪野文秀, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 小林達也, 宮坂茂樹, 田島節子, M.Konczykowski, M. A. Tanatar, R.Prozorov、日本物理学会、2015 年 9 月 16 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(21) 鉄系超伝導体 $(Sr_4Sc_2O_6)Fe_2(As_{1-x}P_x)_2$ における結晶構造因子と反強磁性ゆらぎ:

P-NMR

阪野文秀, 塩田貴佳, 圓月風子, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 宮坂茂樹, 田島節子, Y.-F.Guo, 山浦一成, 室町英治、日本物理学会、2015 年 9 月 16 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(22) Tl をドーブした PbTe 超伝導体における単結晶 Te-NMR、松村隆史, 牧翔太, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 村上博成, P.

Giraldo-Gallo, I.Fisher, T.Geballe、日本物理学会、2015 年 9 月 16 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(23) 重い電子系化合物 $CeRhIn_5$ の不整合反強磁性と超伝導の In-NQR による研究、八島光晴, 道添竜治, 椋田秀和, 北岡良雄, 宍戸寛明, 摂待力男, 大貫惇睦、日本物理学会、2015 年 9 月 17 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(24) Cu-NMR による銅酸化物 Pr_2CuO_4 におけるアニール効果 坂本拓矢, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 浅野駿, 鈴木謙介, 藤田全基, Y.Krockenberger, 山本秀樹、日本物理学会、2015 年 9 月 19 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(25) 多層型銅酸化物高温超伝導体($n=5,6$)における層間磁気結合効果と電子相図、志岐望, 木本野樹, 椋田秀和, 北岡良雄, 橋本拓矢, 常盤和靖, 伊豫彰、日本物理学会、2015 年 9 月 19 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(26) 鉄系超伝導体 $LaFe(As_{1-x}P_x)(O_{1-y}F_y)$ における NMR、塩田貴佳, 圓月風子, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 上久保将大, K. T. Lai, 宮坂茂樹, 田島節子、日本物理学会、2015 年 9 月 19 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(27) β'' 型有機超伝導体(BEDT-TTF)の 2H -NMR による研究 2 吉田幸司, 杉山智紀, 八島光晴, 椋田秀和, 北岡良雄, 今城周作,

坪広樹, 中澤康浩、日本物理学会、2015 年 9 月 19 日、関西大学 (大阪府・吹田市)

(28) Te-NMR による $Pb_{1-x}Tl_xTe(x=0\sim 0.01)$ 超伝導体における電荷移動揺らぎの探索 松村隆史, 牧翔太, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 村上博成, Giraldo-Gallo, I. Fisher, T. Geballe、日本物理学会、2016 年 3 月 19 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(29) 鉄系超伝導体 $LaFe(As_{1-x}P_x)(O_{1-y}F_y)$ における圧力下 NMR、塩田貴佳, 八島光晴, 椋田秀和, 北岡良雄, 上久保将大, K. T. Lai, 宮坂茂樹, 田島節子、日本物理学会、2016 年 3 月 19 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(30) 電荷供給層から見た六層型銅酸化物高温超伝導体における磁気秩序の発達、志岐望, 木本野樹, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 橋本拓也, 常盤和靖, 伊豫彰、日本物理学会、2016 年 3 月 20 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(31) Cu-NMR による銅酸化物 Pr_2CuO_4 の電子構造測定、加藤大智, 坂本拓矢, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 浅野駿, 鈴木謙介, 藤田全基, Y.Krockenberger, 山本秀樹、日本物理学会、2016 年 3 月 20 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(32) Cu-NMR による超低ドーブ三層型銅酸化物 $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{(10+x)}$ の低温での磁気異常、坂本拓矢, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 足立伸太郎, 渡辺孝夫、日本物理学会、2016 年 3 月 20 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(33) 重い電子系化合物 $CeRhIn_5$ の圧力下における不整合反強磁性の In-NQR による研究、八島光晴, 椋田秀和, 北岡良雄, 宍戸寛明, 摂待力男, 大貫惇睦、日本物理学会、2016 年 3 月 20 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(34) β'' -(BEDT-TTF) $_4[(H_3O)M(C_2O_4)_3]CH_2Cl_2$ ($M = Fe, Ga$) の D-NMR による研究、吉田幸司, 八島光晴, 椋田秀和, 北岡良雄, 今城周作, 坪広樹, 中澤康浩、日本物理学会、2016 年 3 月 21 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(35) ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压 NMR 測定の開発、阪野文秀, 椋田秀和, 八島光晴, 北岡良雄, 榮永茉莉, 益田明宜, 清水克哉、日本物理学会、2016 年 3 月 22 日、東北学院大学 (宮城県・仙台市)

(36) ^{31}P -NMR による鉄系超伝導体 $\text{LaFe}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)(\text{O}_{1-y}\text{H}_y)$ の電子過剰域の超伝導状態、塩田貴佳、^o 椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、上久保将大、臼井秀知、黒木和彦、K. T. Lai、宮坂茂樹、田島節子、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学(石川県・金沢市)

(37) β'' -(ET) $_4$ [(H $_3$ O)Ga(C $_2$ O $_4$) $_3$]Z(Z = CH $_2$ Cl $_2$, PhBr) の D-NMR による研究、吉田幸司、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、今城周作、坏広樹、中澤康浩、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学(石川県・金沢市)

(38) Cu-NMR による超低ドーピング三層型銅酸化物 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(10+x)}$ の低温での磁気異常、坂本拓矢、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、足立伸太郎、渡辺孝夫、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学(石川県・金沢市)

(39) ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压 NMR 測定の開発 II、阪野文秀、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、榮永茉莉、益田明宜、清水克哉、M. I. Eremets, A. P. Drozdov、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学(石川県・金沢市)

(40) 単結晶 NMR による $\text{Pb}_{1-x}\text{Ti}_x\text{Te}$ における電荷近藤効果の可能性、椋田秀和、松村隆史、牧翔太、八島光晴、北岡良雄、村上博成、P. Giraldo-Gallo, I. Fisher, T. Geballe、日本物理学会、2016年9月15日、金沢大学(石川県・金沢市)

(41) 重い電子系化合物 CeRhIn_5 の圧力下 In-NQR による研究、八島光晴、道添竜治、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、摺待力男、大貫惇睦、日本物理学会、2016年9月15日、金沢大学(石川県・金沢市)

(42) 超高压下硫化重水素における ^2D -NMR、阪野文秀、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、榮永茉莉、益田明宜、清水克哉、M. I. Eremets, A. P. Drozdov、日本物理学会、2016年9月15日、金沢大学(石川県・金沢市)

(43) 重い電子系化合物 CeRhIn_5 の共存相における In-NQR による研究、八島光晴、道添竜治、椋田秀和、北岡良雄、宍戸寛明、摺待力男、大貫惇睦、日本物理学会、2017年3月18日、大阪大学(大阪府・豊中市)

(44) β'' -(ET) $_4$ [(H $_3$ O)Ga(C $_2$ O $_4$) $_3$]Z(Z = CH $_2$ Cl $_2$, PhNO $_2$) の D-NMR による研究、吉田幸司、八島光晴、椋田秀和、北岡良雄、今城周作、坏広樹、中澤康浩、日本物理学会、2017年3月18日、大阪大学(大阪府・豊中市)

(45) Cu-NMR による超低ドーピング三層型銅酸化物 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ 、坂本拓矢、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、足立伸太郎、渡辺孝夫、日

本物理学会、2017年3月18日、大阪大学(大阪府・豊中市)

(46) Cu-NMR ナイトシフトによる多層型銅酸化物の層間結合効果、寺西慎伍、坂本拓矢、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、常盤和靖、伊豫彰、日本物理学会、2017年3月18日、大阪大学(大阪府・豊中市)

(47) ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压 NMR 測定の開発 III、阪野文秀、椋田秀和、八島光晴、北岡良雄、榮永茉莉、益田明宜、清水克哉、M. I. Eremets, A. P. Drozdov、日本物理学会、2017年3月19日、大阪大学(大阪府・豊中市)

(48) バレンススキップ元素をドーピングした超伝導体における電荷近藤効果、椋田秀和、松村隆史、牧翔太、八島光晴、北岡良雄、村上博成、P. Giraldo-Gallo, T. Geballe, I. Fisher、日本物理学会、2017年3月20日、大阪大学(大阪府・豊中市)

〔図書〕(計 1 件)

(1) 固体物理 (2017年1月号, Vol.52) / アグネ出版 p23-p30 トピックス「複数の電子軌道が絡んだ多重スピン揺らぎが生み出す鉄系超伝導」、椋田秀和・八島光晴・北岡良雄・宮坂茂樹・田島節子・黒木和彦

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北岡 良雄 (KITAOKA, Yoshio)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：70110707