

東北大学金属材料研究所 教授

遠藤 康夫

「新しい量子自由度・軌道の動的構造の解明」

## 1. 研究実施の概要

「多電子系の相関効果」の探究を真正面から取り扱うことが遷移金属酸化物研究の最近10年間の画期的な発展をもたらした。この急激な進歩と時を同じくして、この数年間に酸化物などの材料制御、あるいは新しいデバイス材料創製という新世紀の先端技術の開発に繋がる材料科学（ナノサイエンス）分野が急浮上して来た。我々は中性子散乱を使って金属酸化物の新奇な現象である「高温超伝導」や「巨大磁気抵抗効果」などの根源である強い電子相関効果の研究成果に基づいて戦略的基礎研究推進事業研究計画に応募し採用された。これ迄の電子スピン自由度に加えて、放射光 X 線による軌道自由度の直接観測を開始するというのが研究題目である。この研究計画の最重要課題として、世界最強の光源を持つ SPring8 に軌道の動的構造を観る為の放射光 X 線非弾性散乱装置の建設とその装置を用いた軌道の揺らぎを観る実験を始め、今までの延長として原研の JRR3 に設置された中性子散乱装置を用いてスピンの揺らぎの研究も継続するのがその内容である。

以上の研究計画から次のような研究実施計画が軸となる。一つは「物質探索・物性制御」であり、強相関現象を示す物質を探索し、その物質の動的構造解析研究に必須の単結晶を自ら供給する。余談ではあるが、我々の目指した研究戦略は日本独自の研究方法で欧米に於いては非常に稀である。この方法をして、物性物理分野における「日本」の独創性と優位性が世界中に浸透したのであるが、特に我々のグループが中性子散乱や放射光実験の世界で世界の先頭にあるのは、この方法を世界に先駆けて行って来たからであると自負している。もう一つは多様な物性を示す遷移金属酸化物のスピン、軌道、電荷、格子の協調もしくは競合の起源を探究する為には、性質の異なるプローブである中性子、放射光 X 線の両刀使いによって複雑な現象を理解することが可能で、我々はその優位性を最大限に生かすことが出来たと考えている。要約すると、この2本柱によって、複数の自由度の相互作用をより正確に引き出すことが出来ると考えて始めた研究は、この研究推進事業を終了するに当たって、その目標を略達成出来たと考えている。

我々の研究体制として、5つのグループを立ち上げ、各々のグループが重心の置方は異なっても上に掲げた2本の柱を共有しながら、各々異なった対象物質を研究するように構成した。最終的にはグループを越えた共通の視点を持って研究を遂行することが理想ではあるが、5年間ではそこ迄は到達していないことを初めにお断りして置く。

### 研究グループ

<u>量子構造研究（1）グループ（東北大・理）</u>	グループリーダー	廣田和馬*
<u>量子構造研究グループ（2）（京大化研）</u>	グループリーダー	山田和芳**
<u>量子励起研究グループ（東北大・金研）</u>	グループリーダー	遠藤康夫***
<u>物質探索研究グループ（東北大・工）</u>	グループリーダー	小池洋二
<u>放射光研究グループ（原研・関西研）</u>	グループリーダー	水木純一郎

\* 遠藤の配置換えによるグループリーダーを交代した。

\*\* 山田教授転出による措置

\*\*\* 遠藤の配置換えで前川教授から交代する。

次に5年間に得られた研究成果について概括する。最初の2年間に SPring8、BL11 (XU) に設置する放射光 X 線非弾性散乱装置の設計と建設を行い、同時に日本原子力研究所・関西研放射光科学センターが BL11 のビームラインの光学系の整備を行った。後述するように我々の研究目的に必要な装置の性能を充たす装置設計から初めて、この装置の入札、建設工事などを経て2000年3月に現場に新しい装置が設置された。この装置は放射光の最大の利点である高輝度、高エミッタンス、波長(エネルギー)連続可変を全て生かし、放射光のエネルギーとして K 吸収端に相当する約 10keV の入射 X 線に対し最高 0.1eV 程度の分解能を持ち、当初の目的の為の装置としては世界最高の性能を持つこと、散乱角、エネルギーや結晶面の連続可変スキャンの高性能性を確認した。現在、この装置を使って巨大磁気抵抗効果の典型物質である  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  の共鳴非弾性散乱 (RIXS) の研究を遂行中で、この系で非金属・金属転移に直接関連のある低エネルギー電子励起と、比較的エネルギーの高い、非金属、金属相に関わらずこの系に共通な電子励起の存在を見つけた。

この研究課題の背景となった共鳴散乱 (RXS) の研究も高エネルギー加速器研究機構の Photon Factory (PF) を中心に行われ、この研究期間に従来の反強的秩序状態とは異なる種類の軌道秩序の存在を確認する新しい RXS 法などを初めて示した。軌道に関する一連の研究は理論解析が不可欠であり、実験で得られた動的構造因子は勿論、提案されているモデルを基にした電子励起スペクトルの予言などを含めて理論的にも多くの進展があった。逆に言うと、このような全く新しい方法を駆使した電子状態の研究は緒に就いたばかりで未だ未だ新しい進歩が待たれる分野である。

中性子散乱によるスピンの動的構造解析によって主として  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  (LSCO) の高温超伝導と反強磁性との共存問題にかなりの進展があった。特に LSCO の相転移と磁氣的(スピン)構造との緊密な相関関係が我々の一連の実験で明らかにされ、結晶中に電荷部分とスピンの秩序状態を取る別の領域が互いに相分離する、いわゆるストライプ相の存在が示唆された。高温超伝導を示す銅酸化物絶縁体に注入された電荷は強い相関効果のためにスピンと電荷の自発的な分離が高温超伝導の発現機構であるとするモデルが大きな反響を呼んでいるが、その根拠の一つが我々の実験で見たストライプ相の存在である。もう一つの銅酸化物高温超伝導体の不安定な結晶構造と電子間の特異なクーロン相互作用との関連から、結晶内の自発的な電荷密度の疎密分布が高温超伝導発現に寄与するというモデルも提案され、格子振動の異常性を追及する実験も行われている。このように、未だ高温超伝導の発現機構に決定的なモデルは確立されては居ないが、確実に実験的証拠を提供することが出来、新しい超伝導機構解明に向かったモデル構築に必要な「事実」を与えて来たと考えている。

最後にそれぞれのグループの概要を簡単にまとめる。

#### (量子構造グループ I)

本研究グループでは、単に軌道自由度が磁性や伝導に及ぼす影響だけではなく、軌道自由度そのものが主役となる相転移現象に着目し、(1) 軌道自由度が他の自由度と強く結びついた系 (3d 遷移金属酸化物)、(2) 軌道自由度間の相互作用によって秩序化する系 (4f 希土類化合物) について、物質合成・中性子散乱・共鳴X線散乱を組み合わせ研究を遂行した。

#### (量子構造グループ II)

本研究グループでは、強相関電子系の典型物質である「銅酸化物高温超伝導体の物理的理解」という基本構想をもとに、銅酸化物とその関連物質の磁気励起や磁気秩序を主として研究してきた。本研究で得られた重要な成果は、超伝導状態と磁気励起や磁気秩序状態の共存あるいは競合を、高純度な単結晶育成と中性子散乱法による系統的な研究でその概要を明らかにし、この分野の今後の研究の方向性を示した。

#### (量子励起グループ)

絶縁体を特徴付けるものが価電子バンドと伝導バンドを隔てるエネルギー・ギャップである。このエネルギー・ギャップの値とその波数依存性はその絶縁体としての性質を決める。本研究グループでは新しい電子構造の研究手段である放射光X線を電子の軌道秩序及び軌道励起に用いるための理論を構築し、銅酸化物及びマンガン酸化物の実験結果に適用した。これに附随して、酸化物以外でも、従来バンド絶縁体と見なされて来た系を見直してモット絶縁体物質の探索を行い、例えば NiS<sub>2</sub> は局在した磁気モーメントが典型的なフラストレーション効果を示すことを見つけた。

#### (物質探索グループ)

本研究グループは、遷移金属酸化物を中心として、電荷・スピン・軌道が主役を演ずると予想される物質群の探索とそれらの単結晶育成を担当した。電荷とスピンのストライプ秩序を示す銅酸化物や、スピンの大量の熱を運ぶ物質の探索と大型単結晶の育成、および、新超伝導物質の探索を行った。銅酸化物高温超伝導体における「1/8 異常」の普遍性を実証し、電荷とスピンの動的ストライプ秩序と高温超伝導の発現機構との関連性を追求した。これに附随して、銅酸化物でスピンエントロピー効果や新しい超伝導物質を発見した。

#### (放射光研究グループ)

本研究グループでは放射光X線を利用して軌道秩序観測手法として共鳴X線散乱法の開発を進めてきた。その結果、軌道短距離秩序 (軌道自由度の揺らぎの観測)、t<sub>2g</sub> 及び f 電子

系への応用、強的軌道秩序の観測（共鳴 X 線散乱の機構解明）などの新しい研究成果を出すことが出来た。尚、この実験は主として、高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・Photon Factory で行われ、ブルックヘブン国立研究所・NSLS でも副次的に研究が行われた。

SPring-8 BL-11XU に X 線非弾性散乱装置を設計・製作し、高分解能を持つ世界最高の装置を完成させた。これを利用して電子の属性であるスピン、軌道、電荷の自由度が複雑に絡む新奇な物性・機能を出現しているペロブスカイト型マンガン酸化物の電子励起の観測に成功し、軌道整列が起源の軌道励起であることを確認した。今後ともこの研究を継続して、高温超伝導や超巨大磁気抵抗などの物性を示す遷移金属酸化物の物性・機能発現機構解明、新規機能創製に繋がることを期待している。

## 2. 研究構想

前項の研究実施の概要と一部重複するが、研究開始時の最重要課題は、世界最強の光源を持つ SPring8 に強相関電子系の典型物質である、遷移金属酸化物の軌道の動的構造を観る為の放射光 X 線非弾性散乱装置の建設とその装置を用いた軌道の揺らぎを観る実験を世界に先駆けて開始することであった。その上で、従来の延長として原研の JRR3 に設置された中性子散乱装置を用いて同じくこれらの物質のスピン自由度の揺らぎの研究も継続するのがその研究構想であった。

以上の研究構想に従って、後述のように 5 つ（開始時は 4 グループ）の研究グループを立ち上げたが、各グループに共通の構想として、一つは「物質探索・物性制御」であり、強相関現象を示す物質を探索し、その物質の動的構造解析研究に必須の単結晶を自ら供給する。もう一つは、遷移金属酸化物の多様性の根源を追求する為には、最終的に性質の異なるプローブである中性子、放射光 X 線の両刀使いを進めて複雑な現象を理解することを目標に掲げた。

### 研究グループ

量子構造研究（1）グループ（東北大・理）      グループリーダー   廣田和馬

担当：物性測定、純良単結晶育成、放射光実験、中性子散乱実験

量子構造研究グループ（2）（京大化研）      グループリーダー   山田和芳

担当：単結晶育成、物性測定、中性子散乱実験

量子励起研究グループ（東北大・金研）      グループリーダー   遠藤康夫

担当：実験グループ   結晶育成、放射光実験、中性子散乱実験、  
理論グループ   軌道の X 線散乱の機構の物理的解明  
動的構造因子の解明

物質探索研究グループ（東北大・工）      グループリーダー   小池洋二

担当：単結晶育成、物質探索

担当：放射光実験

研究開始時、量子構造研究グループは研究代表者の遠藤が統括していたが、山田教授が京大化研に転出し、続いて遠藤が東北大・金研に配置換えとなったのでこのようなグループ分けになったが、前出のように研究の重心の違いはあっても研究の2本の柱は各グループに共通する戦略であることを確認し乍ら研究を進めて来た。つまり、研究の重点は次のような特徴を持つ。動的構造解析を遂行する為の単結晶や物質創製は理論班と放射光研究グループを除けば、全てのグループに共通して行って来た。廣田グループは主として中性子散乱と共鳴 X 線散乱に供給する Mn 酸化物を、山田グループと小池グループは Cu 酸化物を、遠藤グループは硫化物の物質探索と単結晶育成を分担した。中性子散乱研究は理論班を含めて、廣田、山田、遠藤、小池の全てが関与し、放射光散乱研究は、廣田、遠藤、水木グループで進めて来たが、最近山田グループも積極的に研究に参加している。

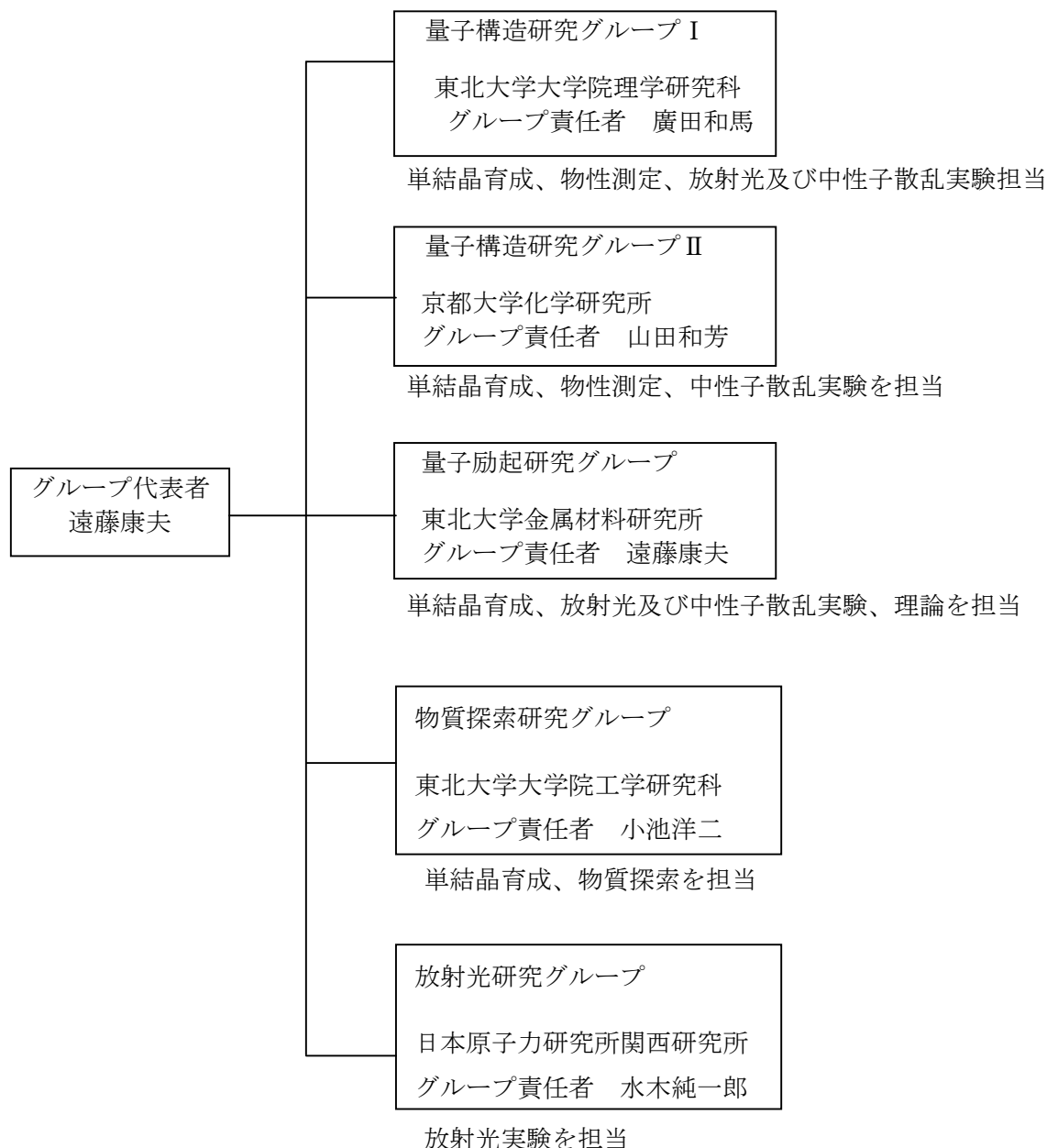
このようにして研究を進めて来た成果として、代表される7つの大きな成果に纏めてみた。

- (1) 共鳴非弾性散乱装置を Spring8・BL11 ビームラインに設置し、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  の共鳴 X 線非弾性散乱による Mn 電子励起の新しい実験法を示した。
- (2) Mn 酸化物で進めて来た共鳴散乱法を他の遷移金属酸化物、4f 電子化合物に拡張し、放射光 X 線を使った軌道秩序状態の構造解析法を確立した。
- (3) 軌道状態、電子励起による共鳴散乱理論の導出並びに実験で得られたスペクトルの解析を行い、モット絶縁体の電子状態の理論的なモデルの構築に低エネルギー電子励起の重要性を指摘した。
- (4) 中性子、X 線散乱実験による動的構造解析を行う為に自ら物質探索及び単結晶育成を行い、実験試料の自給を確立した。我々が先導したこのような研究戦略は今や世界の主流と成りつつ有る。
- (5) 遷移金属磁性体の軌道と他の自由度との協調・競合関係の系統的探索と、中性子、放射光 X 線散乱研究から、軌道状態の転移が新奇な伝導現象の原因となることを明らかにした。
- (6) Cu 酸化物中の強い電子相関が反強磁性相互作用と超伝導状態の競合が高温超伝導の発現機構とするモデルを支持する動的磁気構造の変化を捕らえた。最近注入した電荷量の特徴的な値 (Magic number of 1/8) の結晶で反強磁性スピンオーダーと超伝導の共存相の存在を中性子、放射光 X 線散乱で確認され注目されている。
- (7) 遷移金属酸化物の強相関効果の研究は、従来、バンド電子の反強磁性あるいは絶縁体・金属の電子相転移の見直しを求める。広い範囲の反強磁性金属に共通した現象として強

い電子相関効果が随所に見られる。例えば  $\text{NiS}_2$  は単純なモットハバード転移ではなく、強相関と共に、*fcc* 結晶構造が導くスピンプラストレーション効果が複雑な結晶、伝導、磁気相転移現象を生む原因である。

## 4. 研究実施体制

### (1) 体制



## 5. 研究期間中の主な活動

### (1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
1998. 3. 2	CREST Workshop on Magnetism	東北大学 金属材料 研究所	30 名	放射線 X 線散乱に関するワークショップ
1998. 11. 4-5	CREST 研究会 (遠藤康夫チーム)	ホテル神 戸ワイン		ペロブスカイト型マンガン酸化物における軌道物理への実験・理論両側面からのアプローチに関する研究会
2000. 3. 21	CREST 遠藤チームミーティング	赤穂パー クホテル	13 名	Spring8 に設置した装置の現状報告と今年度の研究成果報告。来年度の研究計画。
2000. 6. 30	CREST 遠藤チームミーティング	東北大学 金属材料 研究所	12 名	X 線非弾性散乱分光装置の装置改良並びに実験条件の決定に向けて討論。実験計画の素案作り。
2002. 8. 29- 31	CREST International Workshop on Novel Quantum Phenomena in Transition Metal Compounds	仙台国際 センター	150 名	主題：遷移金属化合物の新しい量子現象 国内外の専門家による実験結果よび理論研究の最新情報の交換と討議

## 6. 主な研究成果

### (1) 論文発表 (国内 5 件、海外 187 件)

1. Spin-Wave Excitations in Oxygen in Doped  $\text{La}_2\text{NiO}_{4.11}$ . K. Nakajima and Y. Endoh J. Phys. Soc. Jpn. 67 (1998) 1552-1555.
2. Doping Dependence of the Spatially Modulated Dynamical Spin Correlation and the Superconduction Transition Temperature in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . K. Yamada, C.H. Lee, K. Kurahashi, J. Wada, S. Wakimoto, S. Ueki, H. Kimura, Y. Endoh, S. Hosoya, G. Shirane, R.J. Birgeneau, M. Greven, M.A. Kastner and Y.J. Kim, Phys. Rev. B57 (1998) 6165-6172.
3. Resonant X-Ray Scattering from Orbital Ordering in  $\text{LaMnO}_3$ . Y. Murakami, J.P. Hill, D. Gibbs, M. Blume, I. Koyama, M. Tanaka, H. Kawata, T. Arima, Y. Tokura, K. Hirota and Y. Endoh. Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 582-585.
4. Submillimeter Wave ESR Measurement of  $\text{LaMnO}_3$ . S. Mitsudo, S. Hirano, H. Nojiri, M. Motokawa, K. Hirota, A. Nishizawa, N. Kaneko and Y. Endoh. J. Magn. Mater. **177-178** (1998) 877-888.
5. Theory of Anomalous X-ray Scattering in Orbital Ordered Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. Phys. Rev. Lett. **80** (1998) 3799-3862.
6. "Flux" State in Double-Exchange Model. M. Yamanaka, W. Koshibae and S. Maekawa. Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 5604-5607.
7. Polarization Dependence of Anomalous X-Ray Scattering in Orbital-Ordered Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. Phys. Rev. **B58** (1998) 13442-13451.
8. On the 60K Plateau of  $T_c$  in  $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  in Relation to the 1/8 Problem. M. Akoshima



- and Y. Koike. J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 3653-3654.
9. Growth of Large Single Crystals Using the Improved Lamp-Image Floating-Zone Furnace: Application to  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . C-H. Lee, N. Kaneko, S. Hosoya, K. Kurahashi, S. Wakimoto, K. Yamada and Y. Endoh. Supercond. Sci. Technol. **11** (1998) 891-897.
  10. Neutron-Diffraction Studies on the Magnetic Ordering Process in the Layered Mn Perovskite  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $x=0.40, 0.45$  and  $0.48$ ). K. Hirota, Y. Moritomo, H. Fujioka, M. Kubota, H. Yoshizawa and Y. Endoh. J. Phys. Soc. Jpn. B67 (1998) 3380-3383.
  11. Direct Observation of the Spin Gap in  $\text{NaV}_2\text{O}_5$  by Submillimeter Wave ESR. S. Luther, H. Nojiri, M. Motokawa, M. Isobe, and Y. Ueda, J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 3715-3717.
  12. Anomalous Suppression of Superconductivity in Zn-Substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x(\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y)_2\text{O}_{8+\delta}$ . M. Akoshima, T. Noji, Y. Ono, and Y. Koike. Phys. Rev. **B57** (1998) 7491-7495.
  13. Jack Polynomials with Prescribed Symmetry and Hole Propagator of Spin Calogero-Sutherland Model. Y. Kato and T. Yamamoto. J. Phys. **A31** (1998) 9171-9184.
  14. Direct Observation of Charge and Orbital Ordering in  $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$ . Y. Murakami, H. Kawada, H. Kawata, M. Tanaka, T. Arima, Y. Moritomo and Y. Tokura, Phys. Rev. Lett. **80** (1998) 1932
  15. Perturbative Renormalization of Multi-Channel Kondo-Type Models. Y. Kuramoto. European J. Phys. B5, **457-464** (1998).
  16. Effects of a Magnetic Field on Fluctuation of the Quadrupolar Ordering-Application to the Phase Diagram of  $\text{CeB}_6$ -N. Fukushima and Y. Kuramoto. J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1998) 2460-2468
  17. Dynamical Structure Factors of the Spin-1/2 XXZ Chain with Inverse-Square Exchange and Ising Anisotropy. Y. Saiga and Y. Kuramoto. J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 1319-1331.
  18. 電子レンジを用いた高温超電導体の合成。加藤雅恒、榊原健二、小池洋二。固体物理、**33** (1998) 923-928
  19. Theory of Anomalous X-Ray Scattering in a Variety of Orbital Ordered Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. *Springer Series in Solid-State Sciences 125; Physics and Chemistry of Transition-Metal Oxides* (Springer, Berlin, 1999) 84-94.
  20. Two Ferromagnetic States in Magnetoresistive Manganites-First Order Transition Driven by Orbitals-.S. Maekawa, S. Ishihara and S. Okamoto. *Physics of Manganites* (Kluwer Academic/ Plenum Pub. (1999) 57-70.
  21. Orbital Kondo Effect in  $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{B}_6$ : Scaling Analysis. H. Kusunose and Y. Kuramoto. Phys. Rev. **B59** (1999) 1902-1911.
  22. Spin, Charge and Quasi-Particle Gaps in the One-Dimensional Kondo Lattice with  $f_2$  Configuration. S. Watanabe, Y. Kuramoto, T. Nishino and N. Shibata. J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 159-165.
  23.  $\mu\text{SR}$  Study on the Magnetic State of the Zn-Substituted Bi-2212 System. Watanabe, M. Akoshima, Y. Koike, and K. Nagamine. Physica B **259-261** (1999) 557-558.
  24. Differences in Optical Conductivity between One-and Two-Dimensional Doped Nickelates. K. Tsutsui, W. Koshibae, and S. Maekawa. Phys. Rev. **B59** (1999) 9729-9732.
  25. Incommensurate State and Spin-Induced Peierls Instability. W. Koshibae, M. Yamanaka, M. Oshikawa, and S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 2119-2122.
  26. Effect of Magnetic Frustration on the Single-Hole Spectral Function in the  $t-t'-t''-J$  Model. Y.

- Shibata, T. Tohyama, and S. Maekawa. Phys. Rev. **B59** (1999) 1840-1844.
27. Dynamical Correlation Functions of the Spin Calogero-Sutherland Model. T. Yamamoto and M. Arikawa. J. Phys. **A32** (1999) 3341-3356.
  28. Neutron-Scattering Study of Static Antiferromagnetic Correlations in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ . H. Kimura, K. Hirota, H. Matsushita, K. Yamada, Y. Endoh, S-H. Lee, C.F. Majkrzak, R. Erwin, G. Shirane, M. Greven, Y.S. Lee, M.A. Kastner and R.J. Birgeneau, Phys. Rev. **B59** (1999) 6517-6522.
  29. Field Induced Transition from Metal to Insulator in the Colossal Magneto-Resistance Manganites. Y. Endoh, H. Nojiri, K. Kaneko, K. Hirota, T. Fukuda, H. Kimura, Y. Murakami, S. Ishihara, S. Maekawa, S. Okamoto and M. Motokawa. Mat. Sci. Eng. **63** (1999) 151-158
  30. Instantaneous Spin Correlations in  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ . R.J. Birgeneau, M. Greven, M.A. Kastner, Y.S. Lee, B.O. Wells, Y. Endoh, K. Yamada and G. Shirane. Phys. Rev. **B59** (1999) 13788-13794.
  31. Transition between Two Ferromagnetic States Driven by Orbital Ordering in  $\text{La}_{0.88}\text{Sr}_{0.12}\text{MnO}_3$ . Y. Endoh, K. Hirota, S. Ishihara, S. Okamoto, Y. Murakami, A. Nishizawa, T. Fukuda, H. Nojiri, K. Kaneko and S. Maekawa. Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 4328.
  32. Two Ferromagnetic Phases in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x \sim 1/8$ ). H. Nojiri, K. Kaneko, M. Motokawa, K. Hirota and Y. Endoh. Phys. Rev. **B60** (1999) 4142-4148
  33. Anomalies of  $T_c$ , Resistivity, and Thermoelectric Power in the Overdoped Region of  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ . N. Kakinuma, Y. Ono and Y. Koike. Phys. Rev. **B59** (1999) 1491-1496.
  34. Field Dependence of Magnetic Phase Transition in Metallic Ferromagnet  $\text{CoS}_2$ -Specific Heat Measurements-.H. Hiraka and Y. Endoh. J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 36-38.
  35. Reply to Comment by Battle, Rosseinsky and Radaelli. K. Hirota, Y. Moritomo, H. Fujioka, M. Kubota, H. Yoshizawa and Y. Endoh, J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 1463-1463.
  36. Polarization-Dependent Resonant-X-Ray Diffraction in Charge-and Orbital-Ordering Phase of  $\text{Nd}_{1/2}\text{Sr}_{1/2}\text{MnO}_3$ . K. Nakamura, T. Arima, A. Nakazawa Y. Wakabayashi and Y. Murakami. Phys. Rev. **B60** (1999)
  37. X-ray Polarization Analysis of Orbital Ordered State in  $\text{La}_{0.88}\text{Sr}_{0.12}\text{MnO}_3$ . T. Fukuda, K. Hirota, H. Kimura, Y. Murakami, A. Nishizawa and Y. Endoh. Jpn. J. Appl. Phys. Suppl. **38** (1999) 425
  38. Interplay of the CE-Type Charge Ordering and the A-Type Spin Ordering in Half-Doped Bilayer Manganite  $\text{LaSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_7$ . M. Kubota, H. Yoshizawa, Y. Moritomo, H. Fujioka, K. Hirota and Y. Endoh. J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 2202-2205
  39. Fluctuation of Orbital and Magnetic Moments in Orbitorally Degenerate Systems. H. Kusunose, N. Fukushima and Y. Kuramoto. Physics of Strongly Correlated Electron Systems, JJAP Series **11** (1999) 185-187.
  40. Entanglement of Spin and Orbital Degrees of Freedom in f-Electron Systems. Y. Kuramoto, H. Kusunose, N. Fukushima and T. Kuromaru. Proc. 4th Int. Symposium on Advanced Physical Fields (National Research Institute for Metals, 1999) 33-36
  41. Ground State and Elementary Excitation Gaps in the One-Dimensional Kondo Lattice with  $f_2$  Configuration. Watanabe, Y. Kuramoto, T. Nishino and N. Shibata. Physics of Strongly Correlated Electron Systems, JJAP Series **11** (1999) 106-108.
  42. Stability of the striped phase in the two-dimensional  $t$ - $J$  model: A Variational Monte Carlo study. K. Kobayashi and H. Yokoyama. Physica **B259-261** (1999) 506-508.

43. Exact dynamics of one-dimensional  $t$ - $J$  model with long-range interaction. Y. Saiga, M. Arikawa and Y. Kuramoto. *Physics of Strongly Correlated Electron Systems*, JJAP Series **11** (1999) 138-140.
44. Effects of Slight La- or Y-Doping on the Magnetic Properties of CeP. A. Kobayashi, T. Matsumura, S. Takagi, Y. Haga, T. Kamimura and T. Suzuki. *Physica* **B259-261** (1999) 309-311
45. X-ray Polarization Analysis of Orbital Ordered State in  $\text{La}_{0.88}\text{Sr}_{0.12}\text{MnO}_3$ . T. Fukuda, K. Hirota, H. Kimura, Y. Murakami, A. Nishizawa and Y. Endoh. *Jpn. J. Appl. Phys. Suppl.* **38** (1999) 425
46. Local Structure and  $T_c$  Suppression in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x(\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y)_2\text{O}_{8+d}$  Superconductor at 1/8 doping. N.L. Saini, A. Lanzara, F. Natali, A. Bianconi, M. Akoshima, Y. Koike and H. Ooyanagi. *J. Synchrotron Radiation* **6** (1999) 752-754.
47. Neutron Diffraction Study of Triangular Lattice Antiferromagnet  $\text{CuFeO}_2$  under High Magnetic Field. S. Mitsuda, T. Uno, M. Mase, H. Nojiri, K. Takahashi, M. Motokawa and M. Arai. *J. Phys. Chem. Solid* **60** (1999) 1249-1251
48. Neutron Scattering Study of Elastic Magnetic Signals in superconducting  $\text{La}_{1.94}\text{Sr}_{0.06}\text{CuO}_4$ . K. Hirota, Y. Endoh, K. Yamada, S. Ueki, S. Wakimoto, G. Shirane Y.S. Lee, R. J. Birgeneau and S. H. Lee. *J. Phys. Chem. Solids* **60**(1999) 1079-1081
49. Spin Dynamical Properties of the Layered Perovskite  $\text{La}_{1.2}\text{Sr}_{1.8}\text{Mn}_2\text{O}_7$ . K. Hirota, H. Fujioka, Y. Endoh, K. Kubota, H. Yoshizawa and Y. Moritomo. *J. Phys. Chem. Solid* **60** (1999) 1165-1168
50. Sr Concentration Dependence of Incommensurate Elastic Magnetic Peaks in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . H. Matsushita, H. Kimura, K. Hirota, Y. Endoh, M. Fujita and K. Yamada. *J. Phys. Chem. Solid* **60** (1999) 1071-1074
51. Quantum Monte Carlo Study of Weakly Coupled Spin Ladders. Y. J. Kim, R. J. Birgeneau and M. A. Kastner, *Phys. Rev.* **B60** (1999) 3294-3302
52. Direct Observation of Charge and Orbital Ordering by Resonant X-Ray Scattering. Y. Murakami, H. Kawada, I. Koyama, M. Tanaka, H. Kawata, J.P. Hill, D. Gibbs, M. Blume, Y. Moritomo, Y. Tokura, K. Hirota and Y. Endoh. *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** (1999) 360-364
53. Spin-Wave Excitations in  $\text{La}_2\text{NiO}_{4.02}$ . K. Nakajima, T. Sawada and Y. Endoh. *J. Phys. Chem. Solids* **60** (1999) 1083-1086
54. Observation of Incommensurate Magnetic Correlations at the Lower Critical Concentration for Superconductivity in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ( $x=0.05$ ). S. Wakimoto, G. Shirane, Y. Endoh, K. Hirota, S. Ueki, K. Yamada, R.J. Birgeneau, M.A. Kastner, Y.S. Lee, P.M. Gehring and S.H. Lee. *Phys. Rev.* **B60** R769-R772
55. Neutron-Scattering Study of Spin-Density Wave Order in the Superconducting State of Excess-Oxygen-Doped  $\text{La}_2\text{CuO}_{4+y}$ . Y.S. Lee, R.J. Birgeneau, M.A. Kastner, Y. Endoh, S. Wakimoto, K. Yamada, R.W. Erwin, S. -H. Lee and G. Shane. *Phys. Rev.* **B60** (1999) 3643-3654
56. Neutron Scattering Study on Electron-Hole Doping Symmetry of High- $T_c$  Superconductivity. K. Yamada, K. Kurahashi, Y. Endoh, R.J. Birgeneau and G. Shirane, *J. Phys. Chem. Solids* **60** (1999) 1025-1030
57. Neutron Scattering Study of Elastic Magnetic Signals in Superconducting  $\text{La}_{1.94}\text{Sr}_{0.06}\text{CuO}_4$ . S.

- Wakimoto, K. Yamada, S. Ueki, G. Shirane, Y.S. Lee, S.H. Lee, M.A. Kastner, K. Hirota, P.M. Gehring, Y. Endoh and R.J. Birgeneau. *J. Phys. Chem. Solids* **60** (1999) 1079-1081
58. Orbital and Charge Ordering in  $\text{LaSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_7$  Observed by Resonant X-Ray Scattering. Y. Wakabayashi, Y. Murakami, I. Koyama, T. Kimura, Y. Tokura, Y. Moritomo, K. Hirota and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn* **69** (2000) 2731-2734
  59. Systematic Study of Short-Range Antiferromagnetic Order and the Spin-Glass State in Lightly Doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . S. Wakimoto, S. Ueki, Y. Endoh and K. Yamada. *Phys. Rev.* **B62**(2000) 3547-3553
  60. Incommensurate Geometry of the Elastic Magnetic Peaks in Superconducting  $\text{La}_{1.88}\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$ . H. Kimura, H. Matsushita, K. Hirota, Y. Endoh, K. Yamada, G. Shirane, Y.S. Lee, M.A. Kastner and R.J. Birgeneau. *Phys. Rev.* **B61** (2000) 14366-14369
  61. Static and Dynamical Magnetic Characters in Doped Cu Oxides. Y. Endoh, R.J. Birgeneau, M.A. Kastner, G. Shirane and K. Yamada. *Physica* **B280** (2000) 201-204
  62. Influence of Quasi-Bi-Stripe Charge Order on Resistivity and Magnetism in the Bilayer Manganite  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ . M. Kubota, Y. Oohara, H. Yoshizawa, H. Fujioka, K. Shimizu, K. Hirota, Y. Moritomo and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn.* **69** (2000) 1986-1989
  63. Relation between Crystal and Magnetic Structures of Layered Manganite  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $0.30 \leq x \leq 0.50$ ). M. Kubota, H. Fujioka, K. Hirota, K. Ohyama, Y. Moritomo, H. Yoshizawa and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn.* **69** (2000) 1606-1609
  64. Energy Spectrum of Spin Fluctuations in Superconducting  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  ( $0.10 \leq x \leq 0.25$ ). C.-H. Lee, K. Yamada, Y. Endoh, G. Shirane, R.J. Birgeneau, M.A. Kasnter, M. Greven and Y.-J. Kim. *J. Phys. Soc. Jpn.* **69** (2000) 1170-1176
  65. Dynamical Magnetic Susceptibility in the Optimum Doped LSCO with  $T_c=37\text{K}$ , Y. Endoh, T. Fukuda, S. Wakimoto, M. Arai, K. Yamada and S.M. Bennington. *J. Phys. Soc. Jpn.* **69** (2000) Suppl. B16-21
  66. Neutron Scattering from the Ferromagnetic Metal  $\text{CoS}_2$ . H. Hiraka, Y. Endoh and K. Yamada. *J. Phys. Soc. Jpn.* **69** (2000) Suppl. B133-138
  67. Development of Itinerant-Electron Antiferromagnetism in the Approach to Metal-Insulator Transition in Metallic  $\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$  as Studied by  $^{77}\text{Se}_x\text{NMR}$ . K. Hamada, S. Takagi, M. Maruta, M. Matsuura, H. Hiraka, K. Yamada and Y. Endoh. *Physica* **B281&282** (2000) 641-643
  68. Anomalous Change of the Sound Velocity in  $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ . T. Suzuki, T. Fukase, S. Wakimoto and K. Yamada. *Physica* **B284&288** (2000) 479-480
  69. Elastic Anomalies Induced by Spin-Flop in  $\text{La}_{1.88}\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$ . T. Fukase, T. Shinoda, Y. Oshima, T. Suzuki, K. Chiba, T. Goto and K. Yamada. *Physica B* **283&284** (2000) 483-484
  70. Thermopower in Cobalt Oxides. W. Koshibae, T. Tsutsui, and S. Maekawa. *Phys. Rev.* **B62** (2000) 6869-6872
  71. Orbital Ordering and Resonant X-Ray Scattering in Layered Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. *Phys. Rev.* **B62** (2000) 5690-5695
  72. Nonlinear Optical Response and Spin-Charge Separation in One-Dimensional Mott Insulators. Y. Mizuno, K. Tsutsui, T. Tohyama and S. Maekawa. *Phys. Rev.* **B62** (2000) 4769-4781
  73. Theory of Orbital Excitation and Resonant Inelastic X-Ray Scattering in Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. *Phys. Rev.* **B62** (2000) 2338-2345
  74. Phase Transition in Perovskite Manganites with Orbital Degree of Freedom. S. Okamoto, S.

- Ishihara and S. Maekawa. Phys. Rev. **B61** (2000) 14647-14655
75. Electronic Structure and Excitation Spectra in Doped Nickelates. K. Tsutsui, W. Koshibae and S. Maekawa. Physica **B284-288** (2000) 1471-1472
  76. Resonant Inelastic X-Ray Scattering Spectrum in High- $T_c$  Cuprates. K. Tsutsui, H. Kondo, T. Tohyama and S. Maekawa. Physica **B284-288** (2000) 457-458
  77. Anomalous Muon-Spin Relaxation in the Zn-Substituted  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-2y}\text{Zn}_{2y}\text{O}_{7-8}$  around the Hole Concentration of 1/8 per Cu. M. Akoshima, Y. Koike, I. Watanabe and K. Nagamine. Phys. Rev. **B62** (2000) 6761-6765
  78.  $\mu^+$ SR Study on Hole-Doped High- $T_c$  Oxides Around the Hole Concentration of 1/8 per Cu. I. Watanabe, M. Akoshima, M. Aoyama, Y. Koike, W. Higemoto, S. Ohira and K. Nagamine. Physica **B289-290** (2000) 351-354
  79.  $\mu$ SR Study on the “1/8 Effect in Zn-Substituted Bi-2212 System. I. Watanabe, M. Akoshima, Y. Koike, S. Ohira, W. Higemoto and K. Nagamine. Physica **B284-288** (2000) 1071-1072
  80. Nonlinear Conduction in  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ . T. Adachi and Y. Koike. Physica **B284-288** (2000) 655-656
  81. Electrical Resistivity of  $\text{Sr}_{14-x}\text{A}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$  (A=Ca, La) Single Crystals: Localization of Hole Pairs in the Ladder. K. Kudo, S. Ishikawa, T. Noji, T. Adachi, Y. Koike, K. Maki, S. Tsuji and K. Kumagai. Physica **B284-288** (2000) 651-652
  82. Electrical and Magnetic Properties of  $\text{A}_2\text{Cu}_3\text{O}_4\text{X}_2$  (A=Alkaline-Earth; X=Halogen). M. Kato, T. Tanaami and Y. Koike. Physica **B284-288** (2000) 1487-1488
  83. Raman-Active Phonons and their Doping Dependence in Spin-Ladder  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ . M. Osada, M. Kakihana, I. Nagai, T. Noji, T. Adachi, Y. Koike, J. Bäckström, M. Käll and J. Börjesson. Physica **C338** (2000) 161-165
  84. Low-Temperature Synthesis of the (Ba, Sr, Ca)-Cu-O System from Hydroxometallate Precursors. I. Nagai, M. Kato, Y. Koike. Physica **C338** (2000) 84-91
  85. Static and Dynamic Spin Correlation in the Spin-Glass Phase of Slightly Doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Matsuda, M. Fujita, K. Yamada, R.J. Birgeneau, M.A. Kastner, H. Hiraka, Y. Endoh, S. Wakimoto and G. Shirane. Phys. Rev. **B62** (2000) 9148-9154
  86. Giant Suppression of Superconductivity at  $x=0.12$  in the Zn-Substituted  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{ZnO}_4$  Single Crystals. T. Kawamata, T. Adachi, T. Noji and Y. Koike. Phys. Rev. **B62** (2000) R11981-R11984
  87. Possibility of an Ordered State of Spins and Holes in Single-Crystal  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{ZnO}_4$  ( $x=0.12$ ,  $y=0$  and  $0.01$ ) Studied by  $\mu$ SR. Watanabe, M. Aoyama, M. Akoshima, T. Kawamata, T. Adachi, Y. Koike, S. Ohira, W. Higemoto and K. Nagamine Phys. Rev. **B62** (2000) R11985-R11988
  88. Examination of spin fluctuations with in the  $\text{MnO}_2$  layers in a bilayer manganite  $\text{La}_{1.1}\text{Sr}_{1.9}\text{Mn}_2\text{O}_7$ . M. Kubota, H. Yoshizawa, H. Fujioka, K. Hirota, Y. Moritomo and Y. Endoh. J. Phys. Chem. Solids, **62** (2001) 317-319
  89. Two different types of pseudogaps in high- $T_c$  superconductors. T. Takahashi, T. Sato, T. Yokota, T. Kamiyama, Y. Naitou, T. Mochiku, K. Yamada, Y. Endoh and K. Kadowaki. J. Phys. Chem. Solids, **62** (2001) 41-45
  90. High-field ESR measurements of  $\text{CoS}_2$ . M. Yoshida, K. Koyama, H. Hiraka, Y. Endoh and M. Motokawa. Physica B, **294-295** (2001) 145-148

91. Convergent-Beam Electron Diffraction Study of the Low-Temperature Ferromagnetic Insulator Phase of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.11, 0.12$ ). K. Tsuda, M. Tanaka, K. Hirota and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70** (2001) 1010-1014
92. Para-to ferromagnetic phase transition of  $\text{CoS}_2$  studied by high-resolution photoemission spectroscopy. T. Takahashi, Y. Naitoh, T. Sato, T. Kamiyama, K. Yamada, H. Hiraka, Y. Endoh, M. Usuda and N. Hamad. *Phys. Rev. B*, **63** (2001) 0944151-0944155
93. Magnetic Diffuse Scattering in the CMR Manganite  $\text{Sm}_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ . H. Hiraka, K. Hirota, Y. Endoh, Y. Tomioka and Y. Tokura. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70** Suppl. A(2001) 88-90
94. Neutron-Scattering Study of Incommensurate Elastic Magnetic Peaks in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$  ( $x\sim 0.21, y\sim 0.01$ ). H. Kimura, K. Hirota, M. Aoyama, T. Adachi, T. Kawamata, Y. Koike, K. Yamada and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70** Suppl. A(2001) 52-54
95. Phase Separation in Oxygen Doped  $\text{La}_2\text{CoO}_{4+d}$ . K. Nakajima, T. Sawada, K. Kakurai and Y. Endoh. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70** Suppl. A(2001) 61-63
96. Aitiferro-quadrupole ordering of  $\text{CeB}_6$  studied by resonant x-ray scattering. H. Nakao, K. Magishi, Y. Wakabayashi, Y. Murakami, K. Koyama, Y. Endoh and S. Kunii. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70**(2001) 1857-1860
97. Cu-site-substitution effects on the 1/8 anomaly in the high- $T_c$  cuprates and on the anomaly at  $x=0, 12$  in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . Y. Koike, M. Akoshima, M. Aoyama, K. Nishimaki, T. Kawamata, T. Adachi, T. Noji, M. Kato, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, K. Kimura, K. Yamada and Y. Endoh. *Physica C*, **357-360**(2001) 82-88
98. Neutron Scattering Studies on Lightly-Doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Matsuda, R. J. Birgeneau, Y. Endoh, M. Fujita, H. Hiraka, M. A. Kastner, G. Shirane, S. Wakimoto and K. Yamada. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70** Suppl. A(2001) 46-48
99. An Inelastic X-ray Scattering Spectrometer for Materials Science on BL11XU at SPring-8. T. Inami, T. Fukuda, J. Mizuki, H. Nakao, T. Matsumura, Y. Murakami, K. Hirota and Y. Endoh. *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A*, **467-468**(2001) 1081-1083
100. Possible stripe ordering at  $X=0.21$  in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ . Y. Koike, M. Aoyama, T. Adachi, M. Akoshima, T. Kawamata, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh. *Physica C*, **364-365**(2001) 562-566
101. Vertical boundary at  $x\sim 0.11$  in the structural phase diagram of the  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  system ( $0.08\leq x\leq 0.125$ ). D.E. Cox, T. Iglesias, E. Moshopoulou, K. Hirota, K. Takahashi, and Y. Endoh. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 024431-1-9.
102. Study of the  $e_g$  Orbitals in the Bilayer Manganite  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  by using Magnetic Compton-Profile Measurement. Koizumi, S. Miyaki, Y. Kakutani, H. Koizumi, N. Hiraoka, K. Makoshi, N. Sakai, K. Hirota, and Y. Murakami. *Phys. Rev. Lett* **86** (2001) 5589-5592.
103. Neutron scattering studies of Zn-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . K. Hirota. *Physica C* **357-360** (2001) 61-68.
104. Neutron Diffraction Study of the Irreversible R-M\_A-M\_C Phase Transition in Single Crystal  $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x]\text{O}_3$ . K. Ohwada, K. Hirota, P.W. Rehrig, P.M. Gehring, B. Noheda, Y. Fujii, S.-E. Eagle Park and G. Shirane. *J. Phys. Soc. Japan* **70**(2001) 2778-2783.,
105. Electron dynamics in  $\text{Nd}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{CuO}_4$ : Similarities to hole doped cuprates. E.J. Singley, D.N. Basov, K. Kurahashi, T. Uefuji and K. Yamada. *Phys. Rev. B* **64**(2001) 2244503.
106. mSR study of magnetic properties of  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  around a boundary between the

- magnetically ordered state and superconducting state. Watanabe, T. Uefuji, K. Kurahashi, M. Fujita, K. Yamada, K. Nagamine, *Physica C* **357-360** (2001) 212-215.
107. Superconducting Anisotropy in  $\text{Nd}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{CuO}_4$  Single crystals. N. Yamamoto, T. Ishida, K. Okuda, K. Kurahashi, K. Yamada, *Physica C* **357-360** (2001) 298-301.
108. Coexistence of Antiferromagnetic Ordering and High-Tc Superconductivity in Electron-Doped Superconductor  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ . T. Uefuji, T. Kubo, K. Yamada, M. Fujita, K. Kurahashi, I. Watanabe, K. Nagamine. *Physica C* **357-360** (2001) 208-211.
109. Effect of structural symmetry on the magnetic and superconducting properties in  $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.125-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . H. Goka, M. Fujita, Y. Ikeda, K. Yamada. *Physica C* **357-360** (2001) 256-259.
110. Orbital and Charge Ordering in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1+x}\text{MnO}_4$  ( $0.4 < x < 0.5$ ). Y. Wakabayashi, Y. Murakami, Y. Moritomo, I. Koyama, H. Nakao, T. Kiyama, T. Kimura, Y. Tokura, and N. Wakabayashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **70** (2001) 1194-1197.
111. Resonant X-ray-scattering study of Octahedral Tilt Ordering in  $\text{LaMnO}_3$  and  $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ . M. v. Zimmermann, C. S. Nelson, Y.-J. Kim, J. P. Hill, Doon Gibbs, H. Nakao, Y. Wakabayashi, Y. Murakami, Y. Tokura, Y. Tomioka, T. Arima, C.-C. Kao, D. Casa, C. Venkataraman, Th. Gog, *Phys. Rev. B* **64** (2001) 064411:1-9
112. X-ray Resonant Scattering Studies of Charge and Orbital Ordering in  $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ . M. v. Zimmermann, C. S. Nelson, J. P. Hill, Doon Gibbs, M. Blume, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C.-C. Kao, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka and Y. Tokura, *J. Magn. Magn. Mater.* **233** (2001) pp.31-37.
113. X-ray resonant scattering studies of orbital and charge ordering in  $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ . M.V. Zimmermann, C.S. Nelson, J.P. Hill, D. Gibbs, M. Blume, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C.-C. Kao, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka, and Y. Tokura. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 195133:1-17
114. Orbital correlations in doped manganites. J.P. Hill, C.S. Nelson, M.V. Zimmermann, Y.-J. Kim, D. Gibbs, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka, Y. Tokura, V. Kiryukhin, T. Y. Koo, S.-W. Cheong. *Appl. Phys. A* **73** (2001) 723-730.
115. Charge and Spin in Low-Dimensional Cuprates. S. Maekawa and T. Tohyama. *Rep. Prog. Phys.* **64**, (2001) 383-428
116. Theoretical Study of Orbital Ordering/Fluctuation and Resonant X-ray Scattering in Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. *J. Mag. Mag. Matr.*, **226-230** (2001) 908-910
117. Theory of Resonant X-ray Scattering as a Probe to Detect the Orbital Orderings and Excitations in CMR Manganites. S. Ishihara and S. Maekawa. *J. Mag. Mag. Matr.* **233** (2001) 21-30.
118. Spin-polarized tunneling and spin injection in superconductor-ferromagnet junctions. S. Maekawa, S. Takahashi and H. Imamura. *J. Mat. Sci. Eng.* **B84** (2001) 44-48.
119. Resonant Inelastic X-ray Scattering from Charge and Orbital Excitations in Manganites. H. Kondo, S. Ishihara, and S. Maekawa. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 014414. [Erratum: **64** (2001) 179904]
120. Temperature Dependence of Spin Correlation and Charge Dynamics in Stripe Phase of High-Tc Superconductors. Y. Shibata, T. Tohyama, and S. Maekawa. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 054519.

121. Effect of Charge Stripes on Electronic and Magnetic Properties in High-T<sub>c</sub> Cuprates Y. Shibata, T. Tohyama and S. Maekawa. *J. Phys. Chem. Solids* **62** (2001) 269-271.
122. Effect of Four-Spin Interaction on Magnetic Excitation in Ladder and 2D Insulating Cuprates. Y. Mizuno, T. Tohyama and S. Maekawa. *J. Phys. Chem. Solids* **62** (2001) 273-276.
123. Magnetic Excitations from the Edge-Sharing CuO<sub>2</sub> Chains in Ca<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>O<sub>10</sub>. M. Matsuda, H. Yamaguchi, T. Ito, C.H. Lee, K. Oka, Y. Mizuno, T. Tohyama, S. Maekawa and K. Kakurai. *Phys. Rev. B* **63** (2001) 180403(R).
124. Observation of Orbital Ordering in Correlated Electron Systems by Synchrotron Radiation (in Japanese). S. Ishihara and S. Maekawa. *J. Crystallographic Soc. Jpn.* **43** (2001) 169-174.
125. Study of Mott-gap by Resonant Inelastic X-ray Scattering (in Japanese). S. Maekawa, K. Tsutsui, T. Tohyama and S. Ishihara. *BUTSURI* **56** (2001)35-38.
126. Effect of the Quantum Domain Wall on conductance Quantization and Magnetoresistance in Magnetic Point Contacts. H. Imamura, S. Takahashi and S. Maekawa. *J. Mat. Sci. Eng.* **B84** (2001) 107-113.
127. Effect of nonmagnetic impurities on stripes in high-T<sub>c</sub> cuprates. T. Tohyama, M. Takahashi and S. Maekawa. *Physica C* **357-360** (2001) 93-95.
128. Roles of Electron Correlation and Orbital Degree of Freedom in Manganese Oxides. S. Ishihara, S. Okamoto and S. Maekawa. *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.* **26** (2001) 963-966.
129. Vanishing Hall Constant in the Stripe Phase of Cuprates. P. Prelovsek, T. Tohyama and S. Maekawa. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 052512(4).
130. Electronic States in the Antiferromagnetic Phase of Electron-Doped High-T<sub>c</sub> Cuprates. T. Tohyama and S. Maekawa. *Phys. Rev. B* **64** (2001) 212505(4).
131. Effects of Spin and Orbital Degeneracy on Thermopower of Strongly Correlated Systems. W. Koshibae and S. Maekawa. *Phys. Rev. Lett.* **87** (2001) 236603
132. Nonlinear Optical Response in Mott Insulators. T. Tohyama and S. Maekawa. *J. Luminescence* **94-95** (2001) 659-662
133. Joule heating generated by spin current through Josephson junctions. S. Takahashi, T. Yamashita, T. Koyama, S. Maekawa, and H. Imamura: *J. Appl. Phys.* **89**, No.11, (2001) 7505-7507.
134. Gigantic Third-Order Optical Nonlinearity of Cu-O Chains Investigated by Third. Harmonic Generation Spectroscopy. H. Kishida, M. Ono, K. Miura, H. Okamoto, M. Izumi, T. Manako, M. Kawasaki, Y. Taguchi, Y. Tokura, T. Tohyama, K. Tsutsui and S. Maekawa: *Phys. Rev. Lett.* **87**, No.17, (2001) 177401.
135. Cu-site-substitution effects on the 1/8 anomaly in the high-T<sub>c</sub> cuprates and on the anomaly at x 0.21 in La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>. Y. Koike, M. Akoshima, M. Aoyama, K. Nishimaki, T. Kawamata, T. Adachi, T. Noji, M. Kato, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh. *Physica C* **357-360** (2001) 82-88.
136. Electrochemical intercalation of lithium in layered niobates AB<sub>2</sub>Nb<sub>3</sub>O<sub>10</sub> (A=K, Rb, Cs; B=Ca, Sr) and their superconductivity. I. Nagai, Y. Abe, M. Kato, Y. Koike and M. Kakihana. *Physica C* **357-360** (2001) 393-396.
137. Antiferromagnetic ordering in the single-crystal Cu<sub>3</sub>B<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. K. Kudo, T. Noji and Y. Koike. *Journal of the Physical Society of Japan* **70** (2001) 935-938.
138. Thermal conductivity of the two-dimensional spin-gap system SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in magnetic fields.



- K. Kudo, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki and N. Kobayashi. *Journal of the Physical Society of Japan* **70** (2001) 1448-1451.
139. Possible stripe ordering at  $x=0.21$  in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ . Y. Koike, M. Aoyama, T. Adachi, M. Akoshima, T. Kawamata, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh. *Physica C* **364-365** (2001) 562-566.
  140. Crystal growth, transport properties, and crystal structure of the single-crystal  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  ( $x=0.11$ ). T. Adachi, T. Noji and Y. Koike. *Physical Review B* **64** (2001) 144524 1-7.
  141. 複合金属水酸化物前駆体法による銅酸化物 A-Cu-O (A:アルカリ土類金属) の低温合成。長井一郎、加藤雅恒、小池洋二。 *固体物理* **36** (2001) 777-784.
  142. X線非弾性散乱によって知る電子構造。遠藤康夫。 *固体物理* **37** (2002) 679-104.
  143. Static magnetic correlation in the vicinity of the insulator-superconductor phase boundary in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Fujita, K. Yamada, H. Hiraka, S.-H. Lee, P.M. Gehring, S. Wakimoto, G. Shirane. *Phys. Rev. B* **65** (2002) 064505.
  144. Crystal growth of  $\text{YCuO}_2$  delafossite containing triangular Cu planes. K. Isawa, M. Nagano, K. Yamada. *Journal of Crystal Growth*, 237-239 (2002) 783-786
  145. Stripe order in  $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.125-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Fujita, H. Goka, K. Yamada, and M. Matsuda, *Appl. Phys. A* **5**, 1 (2002).
  146. Freezing of a stripe liquid. S.H. Lee, J.M. Tranquada, D.J. Buttrey, K. Yamada, Q. Lee, S.-W. Cheong. *Phys. Rev. Lett.* **88** (2002) 126401.
  147. Muon spin rotation studies of incommensurate magnetism and superconductivity in staged-4  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ .11 and  $\text{La}_{1.88}\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$ . A.T. Savici, Y. Fudamoto, I.M. Gat, T.Ito, M.I. Larkin, Y.J. Uemura, G.M. Luke, K.M. Kojima, Y.S. Lee, M.A. Kastner, R.J. Birgeneau, K. Yamada. *Phys. Rev. B* (to be published Oct.1 2002).
  148. Hall coefficient of  $\text{La}_{1.88-y}\text{Y}_y\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$  ( $y=0, 0.04$ ) at low temperatures under high magnetic fields. T. Suzuki, T. Goto, K. Chiba, M. Minami, Y. Oshima, T. Fukase, M. Fujita, K. Yamada. *Phys. Rev. B* (to be published Oct.1 2002).
  149. Electronic phase separation in lightly-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Matsuda, M. Fujita, K. Yamada, R.J. Birgeneau, Y. Endoh, G. Shirane. *Phys. Rev. B* (to be published 2002).
  150. Heat treatment effects on the superconductivity and crystal structure of  $\text{Nd}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{CuO}_4$  studied using a single crystal. K. Kurahashi, H. Matsushita, M. Fujita and K. Yamada. *J. Phys. Soc. Jpn.* **71** (2002) in press.
  151. Anomalous broadening of the spin-flop transition in the reentrant spin-glass phase of  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  ( $x=0.018$ ). T. Suzuki, T. Goto, K. Chiba, T. Fukase, M. Fujita, K. Yamada. *Phys. Rev. B* (accepted for publication).
  152. Magnetic field effects and magnetic anisotropy in lightly doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Matsuda, M. Fujita, K. Yamada, R.J. Birgeneau, Y. Endoh, G. Shirane. *Phys. Rev. B* (accepted for publication).
  153. Structural effect on the static spin and charge correlations in  $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.125-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . M. Fujita, H. Goka, K. Yamada, M. Matsuda. *Phys. Rev. B* (accepted for publication).
  154. Spin dynamical properties and orbital states of the layered perovskite  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $0.3 \leq x < 0.5$ ). K. Hirota, S. Ishihara, H. Fujioka, M. Kubota, H. Yoshizawa, Y. Moritomo, Y. Endoh and S. Maekawa: *Phys. Rev. B* **65**, No.6, (2002) 064414(10).
  155. Observation of the antiferroquadrupolar order in  $\text{DyB}_2\text{C}_2$  by resonant x-ray scattering. T.

- Matsumura. Phys. Rev. B**65** (2002) 094420:1-11.
156. Neutron diffuse scattering from polar nanoregions in the relaxor  $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ . K. Hirota, Z.-G. Ye, S. Wakimoto, P.M. Gehring, and G. Shirane: Phys. Rev. B**65** (2002) 104105:1-7.
157. Magnetic, Ordering, orbital Ordering and Resonant X-ray Scattering in Perovskite Titanates. S. Ishihara, T. Hatakeyama and S. Maekawa: Phys. Rev. B**65**, No.6, (2002) 064442(9).
158. A Jordan-Wigner Transformation for the t-J and Hubbard Models with Holes. S.E. Barnes and S. Maekawa: J. Phys.: Condens. Matter **14**, No.1, (2002) L19-L28.
159. Resonant X-ray Scattering in Manganites: Study of the Orbital Degree of Freedom. S. Ishihara and S. Maekawa: Rep. Prog. Phys. **65**, No4, (2002) 561-598.
160. Orbital Ordering in  $\text{LaMnO}_3$ : Electron-Electron and Electron-Lattice Interactions, S. Okamoto, S. Ishihara and S. Maekawa: Phys. Rev. B**65**, (2002) 144403(8)
161. Dynamics of Orbital Degree of Freedom in Transition-Metal Oxides. S. Ishihara, S. Okamoto and S. Maekawa: J. Phys. Chem. Solids **63**, No.6-8, (2002) 1343-1346.
162. Nonlinear Optical Response in One-Dimensional Mott Insulators. M. Takahashi, T. Tohyama and S. Maekawa: J. Phys. Chem. Solids **63**, No.6-8, (2002) 1599-1602.
163. Electronic States and Superconductivity in Multi-Layer High-Tc Cuprates. M. Mori, T. Tohyama and S. Maekawa: Phys. Rev. B**66**, (2002) 064502(7)
164. Theory of Raman scattering from orbital excitations in manganese oxides. S. Okamoto, S. Ishihara, and S. Maekawa. Phys. Rev. B**66**, (2002) 014435(9).
165. Nonlinear optical response in two-dimensional Mott insulators. M. Takahashi, T. Tohyama, and S. Maekawa: Phys. Rev. B**66**, (2002) 125102(8).
166. Theory or Orbital Dynamics and their Observation by Polarized Light/X-ray Scatterings S. Ishihara, H. Kondo, S. Okamoto and S. Maekawa. Jour. Phys. Soc. Jpn. Suppl. **71** 60-63 (2002).
167. Observation of the Antiferroquadrupolar Ordering in  $\text{DyB}_2\text{C}_2$  by Resonant X-Ray Scattering. T. Matsumura, N. Oumi, K. Hirota, Y. Wakabayashi, H. Nakano, Y. Murakami, T. Arima, S. Ishihara, and Y. Endoh. Phys. Rev. B**65** 094420-1-11 (2002).
168. Field Induced Orbital Order-Disorder Transition in an A-type Antiferromagnetic Manganite: High Field Study of  $\text{Nd}_{0.45}\text{Sr}_{0.55}\text{MnO}_3$ . T. Hayashi, N. Miura, K. Noda, H. Kuwahara, S. Okamoto, S. Ishihara and S. Maekawa. Phys. Rev. B**65** 024408-1-5(2002).
169. Magnetic Ordering, Orbital Ordering and Resonant X-ray Scattering in Perovskite Titanates. S. Ishihara, T. Hatakeyama and S. Maekawa. Phys. Rev. B**65** 064442-1-9 (2002).
170. Role of electron-phonon interaction in the strongly correlated cuprates superconductors. Z.-X. Shen, A. Lanzara, S. Ishihara, and N. Nagaosa. Phil. Magazine **B82**, 1349-1368 (2002).
171. Theoretical study of orbital excitations by resonant inelastic x-ray scattering in doped manganites. H. Kondo, K. Tsutsui, S. Ishihara, S. Maekawa. Physica B (2003) (accepted)
172. Orbital fluctuation in perovskite titanates. T. Hatakeyama, S. Ishihara, S. Maekawa. Physica B (2003) (accepted).
173. Low-Temperature Structure of the Quarter-Filled Ladder Compound  $\beta'$ - $\text{NaV}_2\text{O}_5$ . Hiroshi Sawa, Emi Ninomiya, Tetsuo Ohama, Hironori Nakao, Kenji Ohwada, Youichi Murakami, Yasuhiko Fujii, Yukio Noda, Masahiko Isobe and Yutaka Ueda, J. Phys. Soc. Jpn. **71** (2002) 385-388.
174. Charge-density-wave phase reconstruction in the photoinduced dynamic phase transition in

- $K_{0.3}MoO_3$ , N. Ogawa, Y. Murakami and K. Miyano, Phys. Rev. B65, (2002) 115107-1-5.
175. Observation of Antiferroquadrupole Ordering in  $CeB_6$  by using Resonant X-ray Scattering Technique, H. Nakao, K. Magishi, Y. Wakabayashi, Y. Murakami, K. Koyama, K. Hirota, Y. Endoh, and S. Kunii, J. Phys. Soc. Jpn. 71 (2002) Suppl. 103-105. Phys. Rev. B65 (2002) 094420-1-11.
176. Resonant X-ray Studies of the Quadrupolar Orderings in  $R_2B_2O_7$  (R=Dy, Ho)", T. Matsumura, N. Oumi, K. Hirota, H. Nakao, Y. Wakabayashi and Y. Murakami, J. Phys. Soc. Japan 71, (2002) Suppl. 91-93.
177. Muon-spin-relaxation study of the effect of nonmagnetic impurities on the Cu-spin fluctuations in  $La_{2-x}Sr_xCu_{1-y}Zn_yO_4$  around  $x=0.115$ . I. Watanabe, T. Adachi, K. Takahashi, S. Yairi, Y. Koike and K. Nagamine. Physical Review B Vol.65 (2002) R180516-1-4
178. Bi 系・Y 系高温超伝導体における 1/8 異常とストライプ。阿子島めぐみ、小池洋二、渡邊功雄。固体物理 Vol.37 (2002) 169-181
179. Dynamics of the Stripe  $La_{2-x}Sr_xCu_{1-y}Zn_yO_4$  around  $x=0.115$  Studied by  $\mu$  SR. Watanabe, T. Adachi, S. Yairi, Y. Koike and K. Nagamine. to be published in Physica B
180. Thermal conductivity of the four-legs spin-ladder system  $La_2Cu_2O_5$  single crystal. K. Kudo, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki and N. Kobayashi. Journal of Low Temperature Physics, in press
181. Single-crystal growth and anisotropy of the tetragonal 1-2-3 type superconductor. T. Noji, H. Akagawa, Y. Ono and Y. Koike. Journal of Low Temperature Physics, in press
182. In-Plane anisotropy of the upper critical field of  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$  in the underdoped and overdoped regimes. M. Sato, T. Noji, T. Adachi, T. Kawamata, H. Akagawa and Y. Koike. Journal of Low Temperature Physics, in press
183. Antiferromagnetic ordering in the one-dimensional edge-sharing  $CuO_2$  chain system  $Ca_{2+x}Y_{2-x}Cu_5O_{10}$ . S. Kurogi, K. kudo, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki and N. Kobayashi. Journal of Low Temperature Physics, in press
184. Effect of Non-Magnetic Impurities on Cu-Spin Dynamics and Superconductivity in  $La_{2-x}Sr_xCu_{1-y}Zn_y$  around  $x=0.115$ . T. Adachi, I. Watanabe, S. Yairi, K. Takahashi, Y. Koike and K. Nagamine. Journal of Low Temperature Physics, in press
185. 1/8 Anomaly in the Excess-Oxygen-Doped  $La_{2-x}A_xCuO_{4+\delta}$  (A=Nd, Bi, Pr). Y. Koike, H. Mikuni, I. Watanabe, T. Adashi, S. Yairi and K. Nagamine. Journal of Low Temperature Physics, in press
186.  $\mu$ SR Study on Slowing-Down Behavior of the Cu-spin Fluctuations at High Temperatures in  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ . I. Watanabe, T. Adachi, S. Yairi, H. mikuni, Y. Koike and K. Nagamine. Journal of Low Temperature Physics, in press
187. Sythesis of the Electron-Doped Bismuth Oxide( $Ba_{0.6}Bi_{0.4}$ ) $BiO_{3-x}$ . Y. Imai, M. Kato, Y. Koike and Arthur W. Sleight. Physica C in press
188. Zn-Substitution Effects on the Thermal Conductivity of the Two-Dimensional Spin-Gap System  $SrCu_2(BO_3)_2$  and the Two-Dimensional Antiferromagnetic System  $Cu_3B_2O_6$  Single-Crystals. K. Kudo, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki and N. Kobayashi. Physica B in press
189. Superconductivity in Electrochemically Li-intercalated Niobates with Layered Perovskite Structure. M. Kato, A. Inoue, I. Nagai, K. Kakihana, A.W. Sleight and Y. Koike. Physica C in press

(2) 特許出願

1. 出願人 : エヌイーシーマシナリー株式会社  
発明名称 : 機能傾斜材料の単結晶育成方法および機能傾斜材料  
発明者 : 山田和芳、藤田全基、細谷正一、西村 博  
出願日 : 平成 13 年 6 月 28 日

(3) 受賞

- ・遠藤康夫  
平成 11 年 11 月 The American Physical Society Fellow
- ・前川禎通  
平成 13 年 3 月 Humboldt Award
- ・加藤雅恒  
平成 9 年 12 月 第 9 回日本 NRS 学術シンポジウム講演奨励賞  
平成 10 年 6 月 第 5 回田中超伝導シンポジウム 田中賞  
平成 12 年 3 月 第 10 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞
- ・足立 匡  
平成 13 年 3 月 第 9 回応用物理学会「講演奨励賞」  
平成 13 年 12 月 (財) 青葉工学振興会第 7 回「研究奨励賞」  
平成 14 年 3 月 第 5 回「応用物理研究奨励賞」