

京都大学低温物質科学研究センター

第6回講演会・研究交流会

平成20年2月13日(水)

京都大学百周年時計台記念館国際交流ホールII

15:00-17:15 講演会

「GMR からスピントロニクスへ」 国際高等研究所 新庄輝也

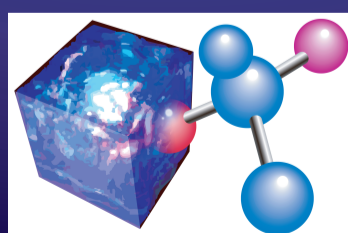
「センターにおけるナノサイエンス研究の展望」 京都大学 寺嶋孝仁

「MEMS と物理：精密計測のフロンティア」 神戸大学 大道英二

17:25-19:30 研究交流会・懇親会



センター新研究棟完成予想図



京都大学低温物質科学研究センター

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

075-753-4057

GMRからスピントロニクスへ

新庄 輝也

〈財〉国際高等研究所

E-mail : shinjoteruya@iris.eonet.ne.jp.

私は2002年まで化学研究所に在籍し、40年以上の長きにわたって磁性の研究にかかわってきた。

ふりかえれば、京都大学に液化機が設置され、待望久しかった液体ヘリウムの製造が始まったのは私が大学院博士課程の院生の時であり、約43年前のことである。あらためて時間の経過の速さを実感するとともに、ヘリウムが無かった時代を知るものは既に全員退職してしまっていることに感慨を覚える。

磁性の研究は古くから日本で盛んに行われ、長い歴史と伝統を持つ。そのせいもあって、「磁性」に対して古くて新鮮味の乏しい研究分野というイメージを持っている人もあるが、決してそうではなく、常に新しく発展する部分を含んだ興味深い分野であることを解説したい。最近の四半世紀における最も大きなブレークスルーは1988年の巨大磁気抵抗効果 (Giant magnetoresistance, 略して GMR) の発見であり、ここで初めて電子の「スピン」と「伝導性」が相関する現象が重要な課題であることが明らかになった。この結果に刺激された研究展開は広範囲に及び、以後次々と新しい現象が見出されて今日ではスピントロニクスといわれる分野が形成されるに至っている。また応用面の成果も目覚しく、発見後10年を経ずしてGMRの原理を用いた磁気記録ヘッドが商品化され、現代のコンピュータの画期的進歩を可能にした。これら基礎、応用の両面にわたる大きな波及効果が評価されて、Fert (仏) と Grünberg (独) に GMR の発見者として2007年度のノーベル物理学賞が与えられた。

本講演では主として、

- 1) GMR (巨大磁気抵抗効果) とはどのような物理現象か?
- 2) GMR はどのように発見され、ノーベル賞にいたったか?
- 3) 私の研究はGMRの発見とどんな関係にあったか?
- 4) GMRの波及効果: 応用面ではGMRヘッドとして工業化、
基礎研究面ではスピントロニクスという新分野の展開。

を解説する。

時間が許せばFert, Grünbergの個人的エピソードなども紹介する。



A. Fert

P. Grünberg

センターにおけるナノサイエンス研究の展望

寺嶋孝仁

京都大学低温物質科学研究センター

E-mail: terashim@scl.kyoto-u.ac.jp



低温物質科学研究センター（LTMセンター）研究部門の主要な研究課題のひとつは先端ナノサイエンス研究と位置づけられており、関係部局との緊密な連携の下、研究が推進されています。平成20年3月にLTMセンター新研究棟が完成し、約200m²のクリーンルームが設置されます（図1、2）。これにより、基礎科学を目的としたナノサイエンス研究を展開する場がいよいよできることになりました。このクリーンルームにはLTMセンターおよび理学研究科、化学研究所など関係部局の持つナノサイエンス関係の装置を移設し、研究を開始する予定になっています。具体的には集束イオンビーム加工観察装置（FIB）、分子線エピタキシー装置（MBE）、レーザー蒸着装置（PLD）、フォトリソグラフィー装置、ドライエッチング装置などを設置し、薄膜作製、薄膜および単結晶の微細加工などを行います。将来的には電子線リソグラフィー装置、各種蒸着装置などを導入し、クリーンルーム内で薄膜成長から微細加工、素子化まで一貫したプロセスで試料の作製を行うことができるようにする計画です。

LTMセンターでは関連部局と協力し、他に例のないユニークな研究テーマを展開していくことを目指しています。具体的には重い電子系の薄膜作製・微細加工、異方的超伝導体（d波、p波）の素子構造の形成などを当面の重点課題と位置づけています。

講演ではクリーンルームの概要および設置予定の装置の説明と、今後のLTMセンターにおけるナノサイエンス研究の計画を紹介する予定にしています。



図1. 新研究棟とクリーンルームの設置場所。
（赤色で示した箇所。）

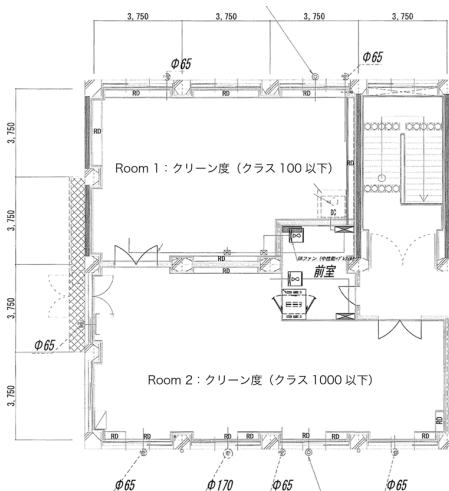


図2. クリーンルームの平面図

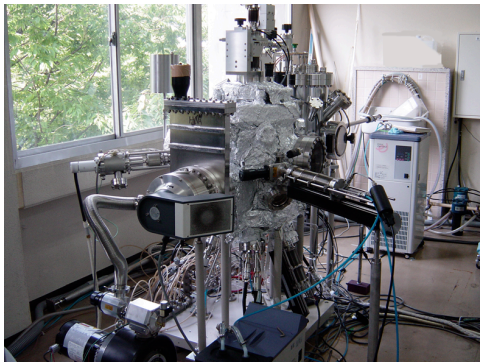


図3. MBE装置

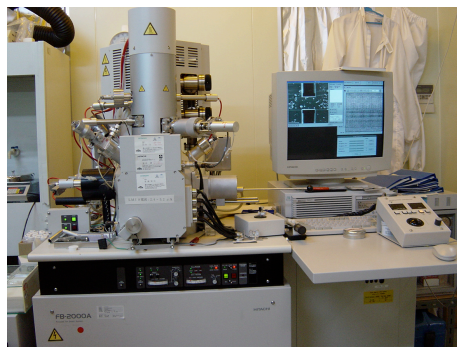


図4. FIB装置

MEMS と物理：精密計測のフロンティア

大道英二

神戸大学 大学院理学研究科 物理学専攻

E-mail : ohmichi@harbor.kobe-u.ac.jp



近年、微細加工技術の進歩に伴い MEMS (micro-electromechanical system) と呼ばれるデバイスが注目を集めている。これは、直訳すれば「微小電気機械システム」となり、微小な電気回路と機械部品を組み合わせることでマイクロなスケールでの機械的動作やセンシングを行うものである。小型で安価かつ低消費電力といった利点を活かし、すでに身近な製品へと幅広く応用されつつある。具体的な例としては、インクジェットプリンターの印刷ノズルや自動車の加速度センサーなどがよく知られている。

このような流れを受け、近年、MEMS を物理の精密計測に応用しようという動きが広まりつつある。これは、MEMS センサーが従来の計測器と同様に力、温度、変位、光、流量などといった様々な物理量を取り扱うことができることに加え、サイズの微小化に伴う高感度化、高速応答などといった大きな利点が期待できるためである。応用例としては、最近、進展著しいナノマテリアルの分野が挙げられる。MEMS 技術を用いて単一のナノマテリアルについて、その物理的特性を評価することは機能性材料としてのナノマテリアルを開発する上で欠かすことができない。そのような例として、実際に単一カーボンナノチューブの熱伝導率を MEMS 技術により測定した例が報告されている[1]。

また、さらには、微小な検出器の感度を極限にまで高めることで、極微の世界で主要な役割を担う量子力学的な振る舞いを直接的に MEMS で検出しようという試みも最近行われている。そのような例としてカシミア力の検出[2]、単一電子スピン共鳴の検出[3]、熱伝導量子の観測[4]などが挙げられる。こういった超高感度計測は従来の方法では全く不可能であり、MEMS 技術の導入により初めて可能になる。その意味で MEMS は、物理実験における新たなツールとして今後ますますその重要性が増すものと予想される。

本講演では、以上を踏まえた上で、MEMS の概念について説明し、その作製方法や応用例、MEMS 計測の最先端について具体的な例を交えながら概観する。また、基礎研究における MEMS 開発環境について欧米の取り組みを紹介し、わが国における MEMS 計測の現状についても述べたい。最後に、神戸大学において現在、進行中の MEMS を用いた精密測定の実況についても触れたい。

[1] Kim *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87** 215502 (2001). [2] Chan *et al.*, Science **291**, 1941 (2001)

[3] Rugar *et al.*, Nature **430**, 329 (2004). [4] Schwab *et al.*, Nature **404**, 974 (2000).

P01

四面体 3次元結合構造 $s=1/2$ 量子磁性体 $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ のフラストレート磁性前川 覚、佐藤衆一、小山田明、伊藤哲明、鄭 旭光^A京都大学人間・環境学研究科、佐賀大学理工学部^A

smaegawa@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

スピン $1/2$ の Cu^{2+} が作る三角形 4面に囲まれた四面体が三次元的に頂点共有で連結している $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ は量子スピン三次元フラストレート反強磁性体である。この構造はかごめ格子と三角格子が交互に積層した構造とも見ることができ、フラストレーションと量子効果に起因する新奇な磁性が期待

される。実際、ワイス温度 -190K の絶対値より 1桁も低い 18.1K 、 6.4K 、 6.2K で逐次的な相転移を示し、中性子散乱実験からは降温とともに VBL 状態、VBS 状態、ネール秩序が実現していると言われている。我々はミクロな観点からこの磁気状態を調べるために $^1\text{H-NMR}$ 実験を行っている。

比熱や磁化率等のマクロな物理量には微小な変化しかない 18.1K で NMR スペクトルの線巾は明確に広がり、内部磁場が発生し、VBS 状態ではないことを示している。ところが動的なスピン状態を反映する核緩和率 T_1^{-1} は 18K ではほとんど変化がなく、 7K まで温度依存性は小さく、強く相関した常磁性状態のままのように見える。 6K 以下では緩和率は急速に減少し、 $T_1^{-1} \propto T^5$ の温度依存性を示し、スピンの秩序状態を形成して、スピン波のラマン過程による緩和が起こっていることを示している。常磁性相、中間相の磁気状態は通常の磁性体とは大きく異なっている。



P02

f 電子系における部分無秩序状態

小山田 明、近藤 美麻、伊藤 哲明、前川 覚、

李 徳新^a、芳賀 芳範^b、北澤 英明^c京都大学人間・環境学研究科、東北大金研^a、原子力機構^b、物材機構^cE-mail : f52017@sakura.kudpc.kyoto-u.ac.jp

f 電子系化合物である CePdAl と UNi_4B は、フラストレーションと近藤効果に起因する部分無秩序状態を示すことで知られている。 CePdAl は強い Ising 的異方性を持つカゴメ格子反強磁性体であり、 2.7K で $2/3$ の Ce モーメントだけが秩序化する。NMR の結果から秩序化しない $1/3$ の Ce モーメントはヘビーマグネット状態になり磁気モーメントが消失してしまうことがわかった。この物質の磁気構造は最近接強磁性、次近接反強磁性と近藤効果を分子場で考慮することにより説明されているが、カゴメ面内に 1次元鎖を持つ構造であることから、高温での 1次元的な相関の発達も議論されている。

一方 UNi_4B は強い容易面型の異方性を持つ三角格子反強磁性体である。 $2/3$ の U モーメントが 20K 以下で秩序化するが、磁化率は転移温度以下でもキュリーワイス的振る舞いを示し、 $1/3$ の U モーメントは常磁性状態のままであると考えられ、 CePdAl とは対照的である。また比熱の測定から 0.3K でさらに相転移があることが報告されていて、 $1/3$ の U モーメントが秩序化すると予想されているが、詳細は明らかになっていない。

このようにフラストレーションと近藤効果のかね合いで様々な物性が引き起こされる。さらに、高温でのスピン相関を中心に、2つの物質を比較しながら議論する。



P03

フラストレート三角格子を持つ有機導体[Pd(dmit)₂]塩における磁性と超伝導伊藤 哲明^a, 小山田 明^a, 前川 覚^a, 田村 雅史^{b,c}, 加藤 礼三^{b,c}^a京都大学 人間・環境学研究科, ^b理研, ^cJST-CREST

E-mail: tetsuaki@staff.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



X[Pd(dmit)₂]₂ 塩は、二次元三角格子を持つ Mott 絶縁体である。また僅かな加圧により、Mott 転移が起こり金属化する。従って、三角格子フラストレーション下における強相関電子系、磁性を研究する有力な舞台となる。今回の発表では ①X = C₂H₅(CH₃)₃Sb (以下 Sb 塩) における量子スピン液体の実現 ②X = C₂H₅(CH₃)₃P (以下 P 塩) におけるスピングャップ相と超伝導相の隣接、 について紹介する。Sb 塩については磁化率より反強磁性相互作用は 220-250K 程度と見積もられるが、その 1%以下の 1.37K という低温域まで、緩和率 T₁⁻¹には磁気転移に伴う臨界発散は観測されず、又、スピングャップの兆候も現れない。したがって、ほぼギャップレスの量子スピン液体がこの系で実現していると考えられる。又、P 塩は、Sb 塩と異なり、25K 程度から磁化率・T₁⁻¹の急激な減少が観測される。X 線測定により格子の変形が確認されており、二量対の形成によってスピングャップが開いていると考えられる。この系に圧力をかけると超伝導が現れることが報告されているが、我々は NMR 測定によりこの超伝導相とスピングャップ相が P - T 相図上で隣接することを微視的に確認した。通常の強相関系超伝導においては超伝導相は磁気秩序相に隣接するものがほとんどであるが、この系の超伝導相は非磁性相に隣接しており、超伝導発現メカニズムに興味を持たれる。

P04

定荷重NMR装置開発と電話帳物質の圧力下NMR

藤原直樹

京都大学 人間・環境学研究科

E-mail: naokif@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp



通常のコランプ方式の圧力印加では、温度を下げると圧力制御が出来なくなるために、一定圧力を保ち続けることは難しい。この欠点を解消する

ために、油圧プレスをクライオスタットの上部に配置し、低温でも常に一定荷重を試料空間に印加できるように工夫したNMR装置を開発した(図1)。この装置を用いて、3万気圧以上の高圧下で超伝導になる電話帳物質 Sr₂Ca₁₂Cu₂₄O₄₁ の超伝導転移点とスピングャップの圧力依存性を調べた(図2)。測定は、3.8万気圧まで測定することに成功している。詳細に関しては当日発表する。



図1 定荷重NMR装置

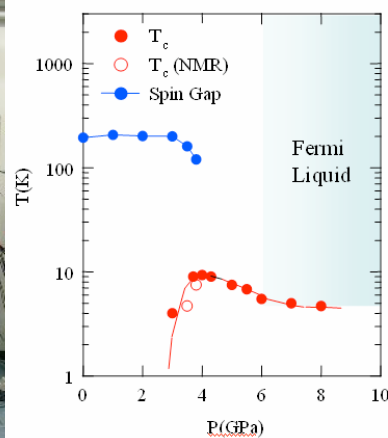


図2 スピングャップと超伝導転移点の圧力依存性

P05

擬一次元圧力誘起超伝導体 $\beta\text{-Ag}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ の圧力下 NMR

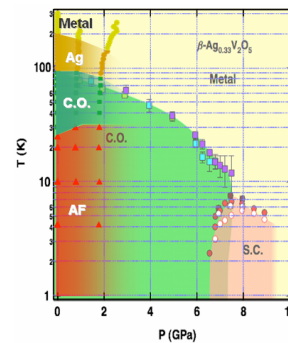
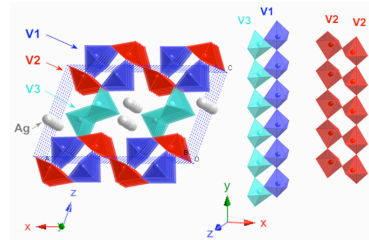
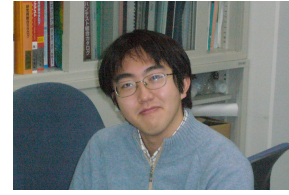
久田 旭彦, 藤原 直樹

京都大学 人間・環境学研究科 関連環境学専攻

E-mail: A.Hisada@s01.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

擬一次元導体 $\beta\text{-A}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ (A=Li, Na, Ag) は、低次元バナジウム酸化物系で初めて超伝導が観測された、圧力誘起超伝導体である。この物質は電子の希薄な系であるにもかかわらず強相関的振る舞いを示し、また、抵抗測定より報告された圧力-温度相図において、超伝導相が電荷秩序相と隣接することから、新奇な超伝導が期待されている。

我々はこの超伝導発現機構を微視的に解明することを目的として、常圧及び圧力下での $\beta\text{-Ag}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ の核磁気共鳴(NMR)を行っている。常圧測定では相ごとに異なる ^{51}V NMR スペクトルが観測され、そこから得られる V サイトの核四重極相互作用定数をもとに、電子構造を解析した。圧力下測定では ^{51}V NMR スペクトルの温度依存性が加圧とともに変化し、ルビー蛍光法での圧力較正により 2GPa までの圧力-温度相図を作成することに成功した。



P06

Superconductivity in Heavily Boron-Doped Silicon Carbide

M. Kriener,¹ Z.A. Ren,² J. Kato,² T. Muranaka,² J. Akimitsu,² and Y. Maeno¹¹Department of Physics, Grad. School of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan²Dep. of Physics and Mathematics, Aoyama-Gakuin University, Kanagawa 229-8558, Japan

E-mail: mkriener@scphys.kyoto.u.ac.jp

The discoveries of superconductivity in the heavily-boron doped semiconductors, diamond (C:B) [1] in 2004 and silicon (Si:B) [2] in 2006, have renewed the interest in the physics of the superconducting state in doped semiconductors.

Recently, we discovered a new related diamond-structure-based superconductor: heavily boron-doped SiC:B.

In contrast to C:B and Si:B, which are type-II superconductors, the “mixed” system SiC:B unexpectedly exhibits type-I superconductivity as indicated by a clear in-field hysteresis and a rather low critical field $H_c(0) \sim 115$ Oe for $T_c \sim 1.5$ K; Fig. 1 and [3].

We present the normal- and superconducting parameters deduced from resistivity, AC susceptibility, Hall-effect, and specific-heat measurements and discuss possible origins of the different nature of the superconductivity in SiC:B compared to C:B and Si:B.

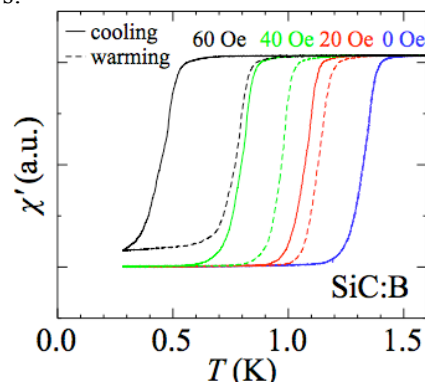
[1] E.A. Ekimov et al., Nature **428**, 542 (2004).[2] E. Bustarret et al., Nature **444**, 465 (2006).[3] Z.A. Ren et al., J. Phys. Soc. Japan **76**, 103710 (2007).

FIG.1: AC susceptibility of SiC:B, which exhibits an in-field hysteresis between cooling and subsequent warming run.

P07

擬一次元分子性導体(TMTSF)₂ClO₄の異方的な超伝導相図

米澤 進吾^a, 草場 壽一^a, 前野 悦輝^a, P. Auban-Senzier^b, C. Pasquier^b,
K. Bechgaard^c, and D. Jérôme^b

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud

^c Department of Chemistry, Oersted Institute, University of Copenhagen

E-mail : yonezawa@scphys.kyoto-u.ac.jp

典型的な擬一次元超伝導体(TMTSF)₂ClO₄ や(TMTSF)₂PF₆では低次元性に由来する数々の興味深い超伝導現象が報告されている。特に興味深いのは、超伝導凝縮エネルギーの数倍のエネルギーに対応する大きな磁場中でも超伝導相が保たれる点である。この起源を探るため、我々は(TMTSF)₂ClO₄の超伝導オンセット温度 T_c^{onset} の磁場強度・磁場角度依存性を研究し、高磁場で非常に奇妙な振舞いを発見した(図1)。

磁場角度 $\phi = \pm 17^\circ$ 付近の $T_c^{\text{onset}}(\phi)$ 曲線のディップ構造は、磁場によって電子状態の次元性が低下し超伝導が磁場によって破壊されにくくなっていることを反映している。さらに高磁場では $T_c^{\text{onset}}(\phi)$ 曲線の $\phi = 0^\circ$ に対する鏡映対称性が消失している。これは超伝導状態の空間的な対称性が変化していることを示しており、実空間で秩序変数に変調した超伝導状態 (FFLO 状態) の発現として上手く説明できる。本発表では擬一次元系における超伝導のこれらの新奇な異方性を紹介する。

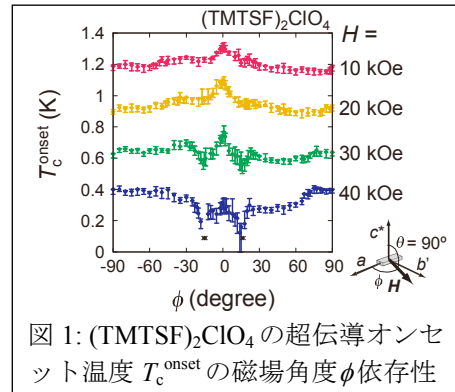
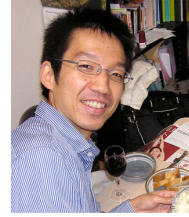


図1: (TMTSF)₂ClO₄の超伝導オンセット温度 T_c^{onset} の磁場角度 ϕ 依存性

P08

NMRによる充填スクッテルダイト化合物のラットリングの研究

中井 祐介^a, 石田 憲二^a, 菅原 仁^b, 菊地 大輔^c, 佐藤 英行^c

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b 徳島大学 総合科学部, ^c 首都大学東京 理工学研究科

E-mail : nakai@scphys.kyoto-u.ac.jp

充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (R = 希土類元素, T = 遷移金属元素, X = P, As, Sb) は、図1に示すように P, As, Sb 原子(青)が作る大きなカゴの中に希土類元素(緑)が存在するというカゴ構造を持つ。カゴ中の大きな隙間のために希土類元素が比較的自由に振動でき、単一振動数 ω を持つ Einstein 振動子として特徴付けられると考えられ、この振動はラットリング(rattling=ガラガラ)運動と呼ばれる。充填スクッテルダイトが金属としての高い伝導性を保ちながらも、熱伝導率が低いのは、ラットリングによってフォノン散乱が抑えられるためと考えられ、熱を電気に変換する熱電材料としても注目されている。一方、希土類元素の局所振動がもたらす局所フォノンと電子系とは相互に影響を及ぼし電子物性そのものにも変化をもたらすと考えられ、充填スクッテルダイトは両者の関係を研究する格好の舞台である。我々は核磁気共鳴法(NMR)の微視的手法を活かし、ラットリング原子のダイナミクスを直接調べてきた。発表ではこれまでに得られた結果の詳細を示す予定である。

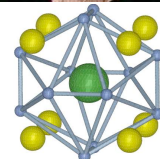


図1: 充填スクッテルダイトのカゴ構造

P09

Sr₂RuO₄-Sr₃Ru₂O₇ 共晶体中の Sr₃Ru₂O₇ 領域中で観測される多段階超伝導転移橘高 俊一郎^a, 矢口 宏^a, 前野 悦輝^a, R. Fittipaldi^{a,b}, A. Vecchione^{a,b},
J.-F. Mercure^c, A. Gipps^c, and A. P. Mackenzie^c^a 京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野^b Univ. of Salerno, Italy, ^cUniv. of St. Andrews, UK

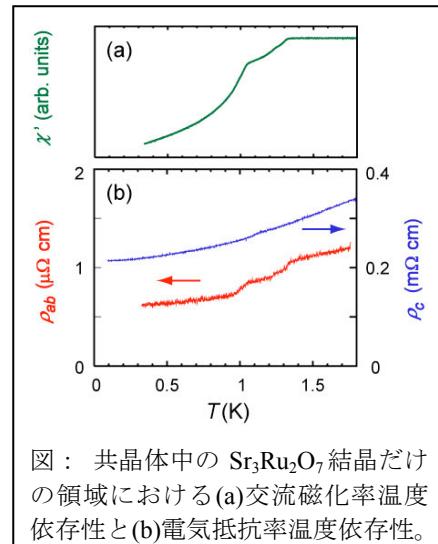
E-mail: kittaka@scphys.kyoto-u.ac.jp



我々は Sr₃Ru₂O₇ と Sr₂RuO₄ が共晶析出した結晶体中の Sr₃Ru₂O₇ だけの領域で超伝導が起きていることを発見した。純粋な Sr₃Ru₂O₇ は超伝導になることが報告されておらず、この超伝導の起源は非常に興味深い。図(a)のように交流磁化率では多段階の超伝導転移が観測されるが、その磁場遮蔽率は 1 Oe 程度の弱い交流磁場で敏感に抑制される。また、比熱では異常が観測されず、バルクの超伝導体とは明らかに異なった振る舞いを示すことを明らかにした。

今回は新たに電気抵抗測定を *c* 軸、*ab* 面内それぞれの方向について行い、図(b)のように *ab* 面内方向では抵抗の急な減少を観測したが、*c* 軸方向では特に異常が観測されなかった。我々はこれらの実験結果、そして超伝導転移温度が Sr₂RuO₄ のそれ (*T_c* = 1.5 K) に近いことから、*ab* 面に広がった薄い Sr₂RuO₄ が Sr₃Ru₂O₇ 領域中に多数埋まっており、その厚さに依存して異なった温度で多段階の超伝導転移を起こしている可能性が高いと考えている。

当日はこれまでの実験結果を報告し、この超伝導の起源について議論する。



図：共晶体中の Sr₃Ru₂O₇ 結晶だけの領域における(a)交流磁化率温度依存性と(b)電気抵抗率温度依存性。

P10

層状三角格子物質 PdCrO₂ の低温物性と臨界領域の物性高津 浩^a, 米澤 進吾^a, 吉沢 英樹^b, 前野 悦輝^a^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野^b 東京大学 物性研究所

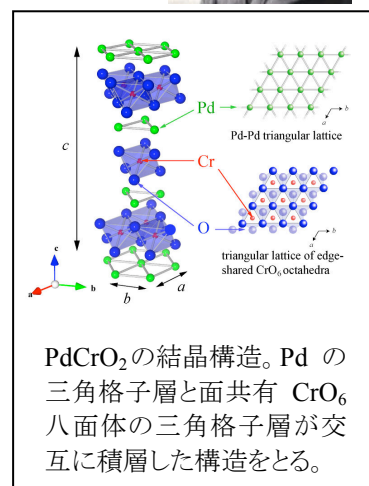
E-mail: takatsu@scphys.kyoto-u.ac.jp



二次元三角格子上の XY やハイゼンベルグスピン系は、スピンの空間自由度を持つため、120°構造が安定化され、「カイラリティ」と呼ばれる新たな自由度を持つ。このような系で、長距離のスピ秩序が起きる場合、相転移近傍の臨界領域の振る舞いは通常の磁性体と異なる。このため、臨界領域の性質を詳細に調べることで、カイラリティの影響を調べることができる。

我々は、磁性イオンの Cr³⁺が三角格子を形成する層状三角格子物質 PdCrO₂ の研究を行っている。この物質は、ハイゼンベルグスピン系として良く理解でき、約 38 K で 120°構造の長距離秩序を示す。また、二次元三角格子磁性系としては珍しく導電性も有するため、フラストレートした磁性の効果が導電性へ及ぼす影響にも興味を持たれる。

我々は、臨界領域における振る舞いを明らかにするため、詳細な比熱測定や電気抵抗率の測定を行った。その結果、非常に長い臨界温度領域を持つことや PdCrO₂ の相転移にはカイラリティの影響が示唆されることが明らかになってきた。当日は、低温物性も含めて詳細な実験結果を発表する。



PdCrO₂ の結晶構造。Pd の三角格子層と面共有 CrO₆ 八面体の三角格子層が交互に積層した構造をとる。

P11

Co-NMR/NQR による遍歴強磁性超伝導体 UCoGe の研究

大田 哲也^a, 石田 憲二^a, 中井 祐介^a, 井原 慶彦^a,

出口 和彦^b, 佐藤 憲昭^b, 佐藤 伊佐務^c

^a京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野,

^b名古屋大学 理学研究科 物理学教室, ^c東北大学 金属材料研究所

E-mail : t-ohta@scphys.kyoto-u.ac.jp

従来の超伝導の理論では超伝導と強磁性は共存しないものと考えられてきた。強磁性に伴う磁場が、超伝導を担う電子の Cooper ペアの形成を妨げられるためである。しかし 2000 年以降、高圧下での UGe₂、常圧下 URhGe、高圧下 UIr が強磁性超伝導体であることがわかり、去年 8 月に UCoGe もまた常圧下で強磁性超伝導体(キュリー温度 $T_C \sim 3\text{K}$ 、超伝導転移温度 $T_S \sim 0.7\text{K}$)であることがわかった。これらの物質では従来考えられていた機構とは別の新しい機構で超伝導が実現していると考えられる。

今回私たちは UCoGe において Co サイトで核磁気共鳴(NMR)、核四重極共鳴(NQR)を行った。その詳細について発表する。

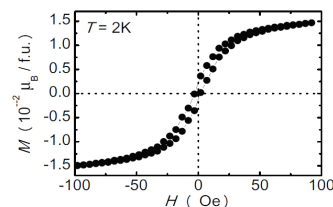
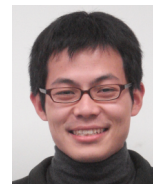


図 2 磁化曲線
(強磁性による自発磁化がみられる)

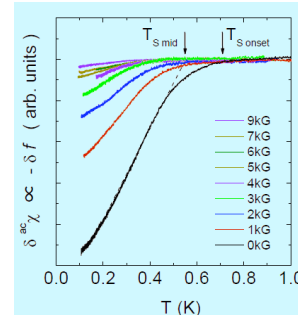


図 2 Meissner 効果

P12

単結晶コバルト酸化物超伝導体 $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における Co-NQR

菅原 仁, 井原慶彦, 石田憲二, 太田寛人^a, 吉村一良^a,

高田和典^b, 佐々木高義^b, 桜井裕也^b, 室町英治^b

京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^a京都大学 理学研究科 化学専攻 ^b物質・材料研究機構 (NIMS)

E-mail : sugawara@scphys.kyoto-u.ac.jp

層状コバルト酸化物 NaCo_2O_4 は大きな熱起電力と小さな電気抵抗率をもつ良質な熱電材料として報告され、応用面からも大変興味深い物質である。さらに、この物質の水和物 $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ が 2003 年に NIMS の室町グループによって $T_C \sim 5\text{K}$ で超伝導を示すことが報告され、現在、注目を集めている超伝導体である。CoO₂ 層に水分子が 2 層インターカレートされた構造^{図1}

のみが超伝導を示すこと、水の量により T_C が大きく変化することなどから、水分子のインターカレーションが超伝導発現において重要であると考えられている。我々は、コバルト核の核四重極共鳴法 (NQR) の手法を用いて、超伝導状態のギャップ構造、常伝導状態の磁気励起、超伝導と磁性の関係をミクロな立場から調べている。発表では現在までに得られた結果と、最近得られている単結晶の結果を報告する。

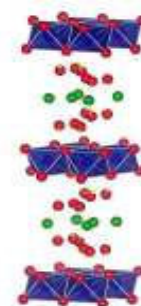


図 1 : コバルト酸化物超伝導体である BLH の結晶構造

P13

A サイト秩序型ペロブスカイト $ACu_3Ru_4O_{12}$ ($A = Na, Ca, La$) の合成と低温物性

田中 壮太郎, 島居 宣博, 小沼 圭介, 高津 浩,
橘高 俊一郎, 米澤 進吾, 前野 悦輝

京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

E-mail: stanaka@scphys.kyoto-u.ac.jp

これまでペロブスカイト構造の酸化物では、Cu 系で高温超伝導が、Ru 系でスピン三重項超伝導が見つかっている。 A サイト秩序型ペロブスカイト構造を持つ $ACu_3Ru_4O_{12}$ (図 1)は Cu 酸化物であると同時に Ru 酸化物でも興味深い。その中でも $CaCu_3Ru_4O_{12}$ については、 d 電子系としては有効質量の比較的大きな電子状態が実現する。我々は A サイトの Ca^{2+} を価数の異なる La^{3+} 、 Na^{1+} で置換して Cu や Ru の電子状態を変えることにより、これらの系の大きな有効質量の起源を探っている。これらの純良試料の合成に成功し、低温物性を測定したところ 15 mK まで金属的振舞いを示し、超伝導や磁気転移の兆候は見られなかった。比熱は 1.8 K まで測定し、 A サイトイオンの価数が増えるにつれ、系統的に電子比熱係数が大きくなる、つまり有効質量が大きくなることがわかった。当日はこれらの結果から $ACu_3Ru_4O_{12}$ の Cu や Ru の電子状態などについて議論する。

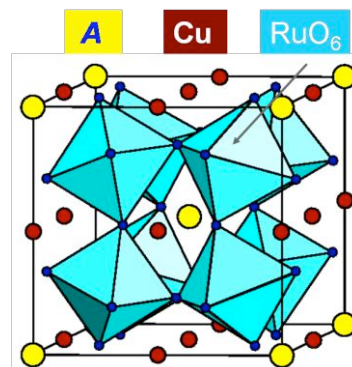


図 1: $ACu_3Ru_4O_{12}$ の結晶構造



P14

奇パリティ超伝導検証のための超伝導接合の作成

中村 壮智^a, 中川 竜司^a, 寺嶋 孝仁^{ab}, 前野 悦輝^a

^a京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail: taketomo@scphys.kyoto-u.ac.jp

現在見つかっている超伝導体の多くは超伝導波動関数が空間反転に対して対称な偶パリティ超伝導体である。我々が研究を行っている Sr_2RuO_4 は、反転に対して反対称な波動関数を持つ奇パリティ超伝導体の数少ない候補の一つである。

異なるパリティの超伝導体で接合を作ると、2種のパリティの競合により超伝導接合の臨界電流に異常な温度依存性が生じることが実験・理論両面で指摘されている[1,2]。我々は、このことをより洗練された接合を用いて確かめるため、 Sr_2RuO_4 と鉛の接合を微細加工により作成している。図 1 に示すように、 Sr_2RuO_4 に鉛の薄膜を蒸着しイオン収束ビーム (FIB) を用いて加工することで、 Sr_2RuO_4 と鉛の接合を作ること成功した。当日はその接合特性も含めて発表を行う予定である。

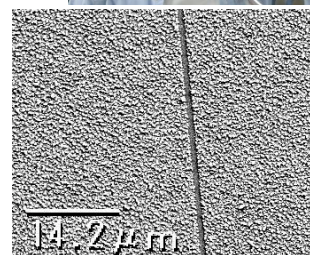
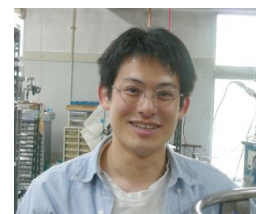


図 1 Sr_2RuO_4 に蒸着した鉛を FIB で線状に剥ぎ取った箇所の顕微鏡写真

[1] R.Jin, Yu.Zadorozhny, Y.Liu, D.G.Schlom, Y.Mori, and Y.Maeno: Phys. Rev. B **59** (1998) 4433.

[2] C.Honerkamp and M.Sigrist: Prog. Theo. Phys. **100** (1998) 53.

Si-金属界面における磁気抵抗効果のキャリア濃度依存性

デルモ マイケル ピカゾ、小林研介、山本真平、
玉田芳紀、葛西伸哉、小野輝男
京都大学 化学研究所

Email: delmo@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

磁気抵抗 (MR) 素子は、一般的には磁性多層薄膜・磁性トンネル接合などのような磁性体からできている。ところが、磁性体を含まない Au/GaAs ハイブリッド素子が開発され、磁場による磁気抵抗 (100 万% 程度) が観測された[1]。これによって強磁性体を大きい MR 効果を実現可能であることが示された。

本研究は、新規 MR 素子の開発のために、磁性体を含まない MR 素子を作製することを目的としている。そのため、フォトリソグラフィと真空蒸着ならびにアロイングを用いて金属-半導体 (Si) デバイスを作製し、磁気伝導特性の測定を行った。

ホール測定によるキャリア濃度の温度依存性を図 1 (a) に示す。Si 基板は n 型であり、75 K ~ 200 K の温度領域ではキャリア濃度がほぼ一定であるが、75 K 以下では急激に減少する。

In/Si/In・Au/Cr/Si/Cr/Au デバイスの二端子抵抗の温度依存性を

図 1 (b) に示す。抵抗は温度の低下に伴って増加し、また、磁場の印加 (3 T) によってさらに増加することが観測された。この磁場の印加によって大きな MR 効果 (最大 400 万%程度) を観測することができた。现阶段では、本デバイスで観測された非常に大きい MR 効果のメカニズムは、未解明であるが、[1]と同様の可能性がある。

[1] Sun, Z. G. et al, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 5643-5645 (2004).

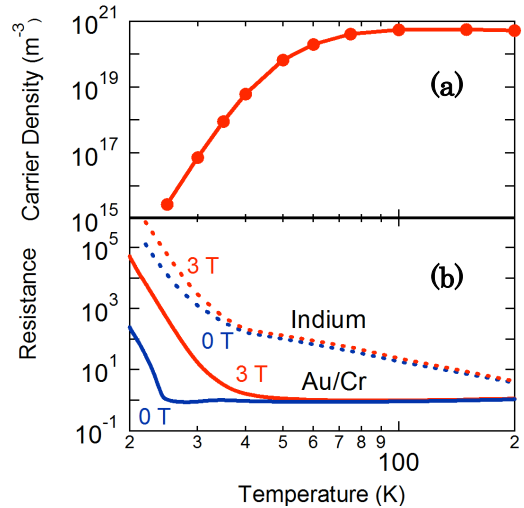


図 1. (a) n-Si のキャリア濃度の温度依存性。(b) In/Si・Au/Cr/Si 二端子抵抗 (規格化) の温度依存性。

P17

量子ポイントコンタクトにおける“0.7 構造”の静電ポテンシャル制御

中村秀司、橋坂昌幸、山内祥晃、葛西伸哉、小林研介、小野輝男
京都大学化学研究所ナノスピントロニクス分科

量子ポイントコンタクト(QPC)とは、半導体ヘテロ接合界面に形成される二次元電子系を静電的に空乏化させることによって作られる微小な接合のことである。この量子ポイントコンタクトを通過する際の電気伝導度が、電子の波動性を反映して $2e^2/h$ で量子化することが 1988 年 van Wees らの実験によって確かめられた[1]しかし、多くの実験において伝導度が $0.7 \times 2e^2/h$ 付近に、“0.7 構造”と呼ばれる余分な構造が観測され、その起源について長い間議論的となっている。1996 年 Thomas らによって 0.7 構造とスピンとの関連性が示唆され[2]、Cronenwett らによって 0.7 構造と近藤効果との関連が指摘された[3]。

本研究では、QPC を形成する静電ポテンシャルの制御によって通常の $2e^2/h$ を単位とするプラトーから連続的に 0.7 構造へと変化させることに成功した。また、0.7 構造がある場合とない場合の量子雑音測定によって、0.7 構造が伝導度の異なる複数の伝導チャンネルが介在して起こることを実験的に示した。このことは、0.7 構造が自発的なスピン分極によって引き起こされる多体効果に由来する現象であることを強く示唆している。

[1] B. J. van Wees *et al.*, Phys. Rev. Lett. **60** (1988) 848. [2] K. J. Thomas *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77** (1996) 135.
[3] S. M. Cronenwett *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 226805.

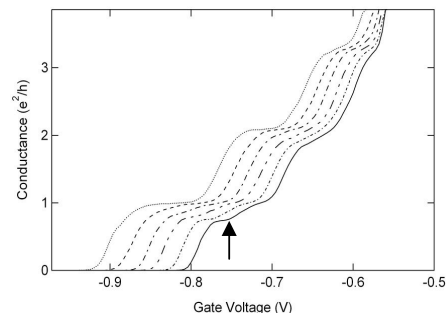


図 2. 静電ポテンシャル制御によって出現した 0.7 構造 (矢印)

P18

SiO₂ 層で被覆された Fe₃O₄ ナノ粒子の合成井上孝徳、玉田芳紀、山本真平、那須三郎、小野輝男
京都大学理学研究科化学専攻ナノスピントロニクス分科
E-mail : inoue@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

鉄ナノ粒子はフェライトナノ粒子と比較して格段に大きな飽和磁化を有することから磁気記録媒体等の材料となりえるとして期待されている。しかし、鉄ナノ粒子は反応性が極めて高いため、大気中で容易に酸化される。これは鉄ナノ粒子を応用する際の大きな障害となっている。そこで本研究では、SiO₂ 層で被覆された Fe₃O₄ ナノ粒子の水素還元を行うことによって耐酸化性の鉄ナノ粒子の合成を試みた。

溶液法によってサイズの揃った直径約 10 nm の Fe₃O₄ ナノ粒子を合成し、逆ミセル法により SiO₂ 層で被覆した Fe₃O₄ ナノ粒子を合成した(Fig. 1)。さらに、それを水素雰囲気下で昇温することにより還元を行った。

SiO₂ 層が 3 nm と膜厚の薄い試料では、650 °C における X 線回折結果から Fe₂SiO₄ が不純物として生成していることが確認された(Fig. 2)。そこで、さらに 800 °C まで昇温したところ、内部の Fe 酸化物を完全に金属 Fe に還元することに成功した。しかし、それと同時に SiO₂ 層が融解しナノ粒子同士が焼結していることも明らかとなった。SiO₂ 層の膜厚を 5 nm および 8 nm と変化させたナノ粒子も作製し同様に評価を行ったので、当日はこの点についてもあわせて報告する。

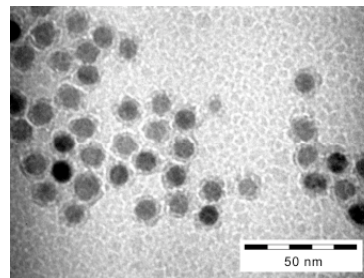


Fig.1 SiO₂ 層で被覆された Fe₃O₄ ナノ粒子

P19

希釈イジング反強磁性体 $\text{Ho}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$ の低温磁性

京大院工^A, 東大物性研^B

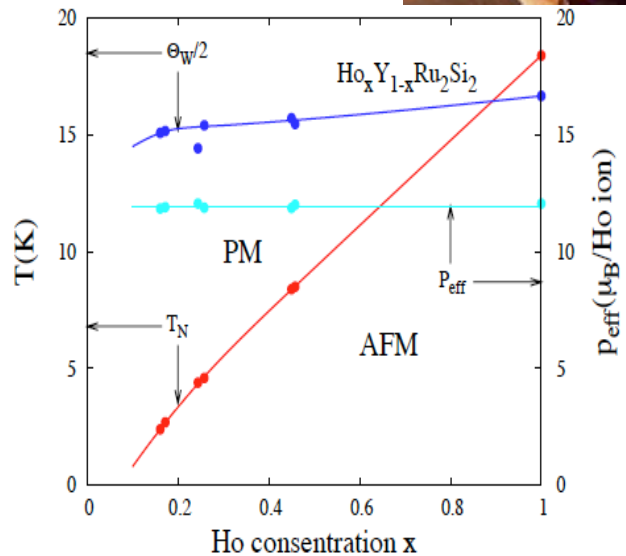
松田紘典^A, 田畑吉計^A, 中村裕之^A,

福井智哉^B, 細矢忠裕^B, 岩城雅裕^B, 鳴海康雄^B, 金道浩一^B

E-mail: matsuda.kousuke@ryoushirikigaku.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



希土類化合物の HoRu_2Si_2 は、正方晶 ThCr_2Si_2 型の結晶構造を持つ $T_N=18.6\text{K}$ の反強磁性体で、主な相互作用は RKKY 相互作用である。我々は磁性イオンである Ho^{3+} を非磁性イオン Y^{3+} で希釈することにより、磁気秩序が抑制され反強磁性転移温度が下がり、またスピングラス相が生じることを期待している。今回、Ho 濃度の異なる単結晶を複数作成し、磁化及び比熱測定を行い、その低温磁性について調べた。



P20

$\text{BaV}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_3$ の磁性

直江和明, 田畑吉計, 中村裕之, 鳴海康雄^A, 金道浩一^A,

福井智哉^A, 細矢忠弘^A, 岩城雅裕^A

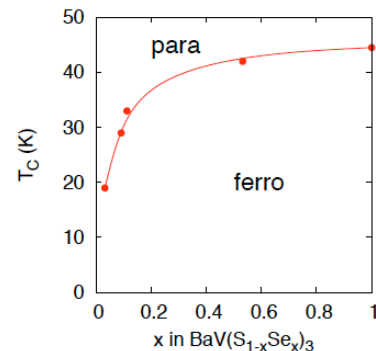
京大院工, 東大物性研^A

E-mail: kazuaki.naoe@t1103.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



図 1 T_c と置換量の関係

BaVS_3 は金属絶縁体転移を示す物質で基底状態は反強磁性であるが、S の欠損や 50T 程度の強磁場によって強磁性に転移する。このように BaVS_3 は反強磁性的相互作用と強磁性的相互作用が競合しており、臨界領域で転移温度、転移磁場等の物性がどのように変化するかに興味を持たれている。我々は、 BaVS_3 と同様の結晶構造をもつ BaVSe_3 が遍歴電子強磁性体であるため、 $\text{BaV}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_3$ の Se 置換量が増えることで、反強磁性から強磁性への変化が連続的に起こる可能性があることに着目した。



磁化測定によると、S を Se で少量置換するだけで BaVS_{3-x} と同様に強磁性を示した。図 1 に強磁性転移点 T_c と Se 置換量 $x (>0.03)$ の関係を示す。当日は、反強磁性と強磁性の臨界点があると思われる $0 < x < 0.03$ の領域での転移点の変化、及び臨界点近傍における強磁場磁化測定の結果を報告する。

P21

擬一次元導体 $(\text{DIETSe})_2\text{GaCl}_4$ の ^{77}Se NMR道岡千城^a, 伊藤豊^a, 吉村一良^a, 古島圭智^a, 前里光彦^a, 齋藤軍治^a,
白旗崇^b, 木船愛^b, 今久保達郎^b^a 京都大学 理学研究科 化学教室^b 理化学研究所

E-mail : michioka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

$(\text{DIETSe})_2\text{GaCl}_4$ はバンド計算から一次元的なフェルミ面の存在が示唆される有機物伝導体である。また電気抵抗は室温から低温まで金属的に減少し、約 12 K でミニマムを示しさらに低温で増大する。この増大は磁気秩序に起因すると考えられている。本研究では擬一次元伝導体のスピンドイナミクスと磁気秩序を研究する目的で $(\text{DIETSe})_2\text{GaCl}_4$ の ^{77}Se 核における NMR 測定を行った。図 1 に核スピン-格子緩和率 ($1/T_1$) の温度依存性を示す。 $1/T_1$ はコリンハ則からやや外れて低温になるに従って減少し、10 K 以下で増大し、約 6.5 K にピークを示す。その温度以下でスペクトルはブロードになり磁気相転移の存在が示唆される。またスペクトルの形状から不整合の磁気構造に起因すると考えられる。

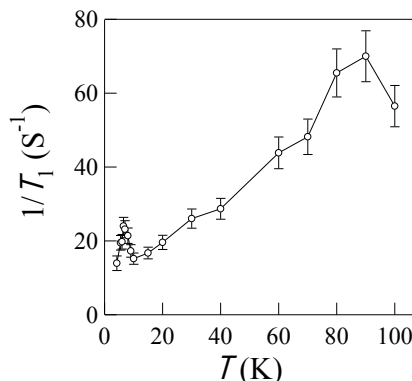


図 1 $(\text{DIETSe})_2\text{GaCl}_4$ の ^{77}Se NMR における $1/T_1$ の温度変化。

P22

三角格子 Li_7RuO_6 の臨界発散伊藤豊^a, 道岡千城^a, 吉村一良^a, 中嶋香菜子^b, 佐藤博彦^b^a 京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室^b 中央大学 理工学部 物理学科

E-mail : itoh@kuchem.kyoto-u.ac.jp

新規三角格子反強磁性体 Li_7RuO_6 は RuO_6 八面体と Li のなす面内で Ru $4d^{3+}$ 電子のスピ $S = 3/2$ が三角格子を形成し、Li の 2 層が交互に積層した擬 2 次元化合物である。同様スピ帯磁率が高温でキュリーワイス則にしたがいワイス温度 -73 K, 約 12 K で低次元磁性体に特有の山をつくり、 $T_N = 6.5$ K で 120° 構造の反強磁性体になる。単結晶試料に対して ^7Li 核の NMR 測定を行なったところ非常に広い臨界領域を観測した。三角格子上の非線形シグマモデルに対する繰り込まれた古典的反強磁性相関長の温度変化でよく再現できたが、交換相互作用を評価したところ -2 K となった。これはワイス温度から評価したものの $1/5$ の大きさであり、繰り込み因子がスピ波近似では取り入れられない励起、例えば Z_2 渦励起などの影響を受けたと解釈できる。古典三角格子系ではあるがフラストレーション特有の励起が臨界現象に影響を与えたものと考えられる。



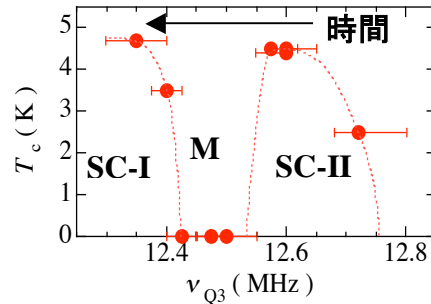
P23

水二層ナトリウムコバルト酸化物における価数評価および リエントラント超伝導の観測

太田寛人、道岡千城、伊藤豊、吉村一良
 京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室
 E-mail : shioshio@kuchem.kyoto-u.ac.jp



水二層 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ($x \sim 0.35, y \sim 1.3$) はソフト化学的手法により得られる層状化合物であり、最大転移温度が 4.8 K の超伝導体である。合成後、高湿度中で保持すると超伝導転移温度 T_c が経時変化する。Co の局所的電子状態を ^{59}Co 核四重極共鳴周波数 ν_{Q3} でプローブし、これに対し T_c をプロットしたところ、磁気秩序相 (M) と両側に超伝導相 (SC-I, -II) が存在することを発見した。



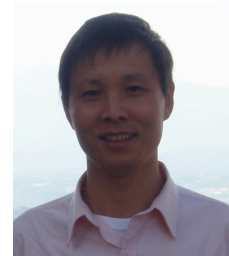
図： T_c vs ν_{Q3} 電子相図

今回、新たに一つの試料の経時変化を長時間に渡って調べたところ、図中の二つの超伝導相に渡って経時変化する、いわゆるリエントラント超伝導現象を観測することに成功した。また X 線共鳴吸収測定の結果から、Co 価数が約 +3.3 価であり、 ν_{Q3} との間に相関が見られないことが分かった。従って、 CoO_2 面の厚みの変化が電子状態の変化に深く関係していると考えられる。

P24

Ni_3AlX_y (X = C, Si)の合成と磁性

陳 斌, 道岡 千城, 伊藤 豊, 吉村 一良
 京都大学 理学研究科 化学専攻
 E-mail : chenbin@kuchem.kyoto-u.ac.jp



Ni_3Al はキュリー温度 $T_c = 41$ Kの典型的な弱い遍歴電子強磁性体であり、結晶構造は Cu_3Au 型である。 Ni_3Al に対して、12配位の空孔位置にカーボンをドーピングした物質 Ni_3AlC_x では、 $x > 0.05$ になると、強磁性が消失し、パウリ常磁性体になることが知られている。本研究では、様々なドーピング量の Ni_3AlX_y (X = C, Si)に対して、SQUID磁束計による磁化測定から強磁性揺らぎの研究を行った。 Ni_3AlC_x に対して、Arrott Plot から求めた自発磁化の二乗 M_0^2 と逆帯磁率 χ_0^{-1} 温度変化について図1に示す。自発磁化の二乗 M_0^2 は $T^{4/3}$ に比例し、 T_c の近傍では χ_0^{-1} も $T^{4/3}$ に比例する。これらの結果はSelf-Consistent Renormalization(SCR)理論による予測と一致する。

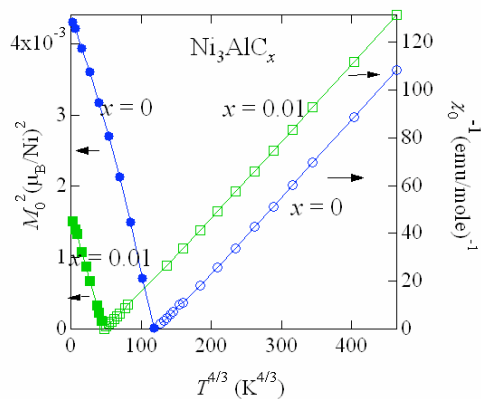


図1 各組成の磁化と逆帯磁率温度変化。

P25

三角格子遍歴電子反強磁性体 $\text{Cr}_{1-x}\text{V}_x\text{B}_2$ の磁気相関の研究

谷澤 篤志, 道岡 千城, 伊藤 豊, 吉村 一良

京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

E-mail : atanizawa@kuchem.kyoto-u.ac.jp

CrB_2 は Cr イオンの三角格子と B イオンのハニカム格子が c 軸方向に交互に積層した結晶構造をしており、転移温度 $T_N = 88 \text{ K}$ の遍歴電子反強磁性体である。 VB_2 は常磁性金属であり CrB_2 と全率固溶する。V イオンが Cr イオンと置換するとともに T_N が減少し、 $\text{Cr}_{1-x}\text{V}_x\text{B}_2$ の $x=0.23$ 付近で反強磁性が消失することが報告されている[1]。

$\text{Cr}_{1-x}\text{V}_x\text{B}_2$ 系の各組成の多結晶試料をアーク溶融法で合成し、 ^{11}B NMR 測定を行ってこの系の磁気相関についての研究を行った。 ^{11}B NMR 測定の結果、ナイトシフト ^{11}K は VB_2 のパウリ常磁性的な温度変化から徐々に増強され CrB_2 にみられるキュリーワイス則に近い挙動を示したが、図 1 のように $^{11}(1/T_1T)$ は Cr 置換とともに急激に増強され発散的傾向に向かった。これらの結果から Cr 置換とともに動的スピン帯磁率 $\chi''(q, \omega)$ が有限の波数ベクトルで大きく増大していくことが判った。

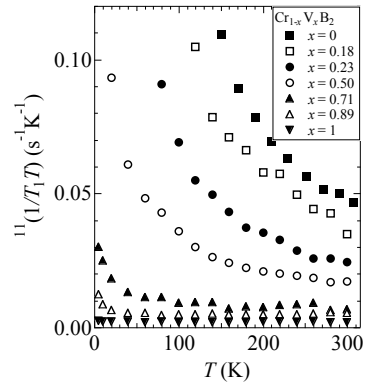


図 1 : $^{11}(1/T_1T)$ の温度変化

[1] J. Castaing *et al.* : J. Phys. Chem. Solids **33**, 533 (1972).

P26

2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態における擬スピン強磁性

福田昭^a, 岩田一樹^b, 澤田安樹^a

^a 京都大学 低温物質科学研究センター, ^b 京都大学 理学研究科

E-mail : fukuda@scphys.kyoto-u.ac.jp



2 層系ランダウ準位占有率 $\nu=1$ 量子ホール状態(図 1 上)は、層間位相に巨視的なコヒーレンスを持ち、電子に磁束を貼り付けた複合ボソンのボース凝縮体とみなせる。これは、層の自由度及び層間位相を示す“擬スピン”という立場で見れば、擬スピンの XY 強磁性とみなすことができる。

本研究では、2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態に面内磁場を加えることによって、擬スピン秩序転移に伴う異方的電気伝導を観測した(図 2)。これは、

面内磁場によって、層間位相が変調され、擬スピン・ソリトンと呼ばれる特異な擬スピン構造を持つストライプ状のドメイン構造(図 1 下)が存在することを示すものである。その散逸機構及び安定性について詳細に解明した¹ので、それらについて詳しく報告したい。

1. A. Fukuda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 016801 (2008).

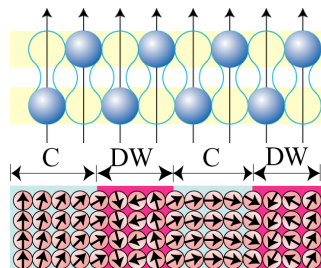


図 1 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の断面の模式図(上)と擬スピン・ソリトンの平面図(下) (C=整合相、DW=ドメイン壁)。

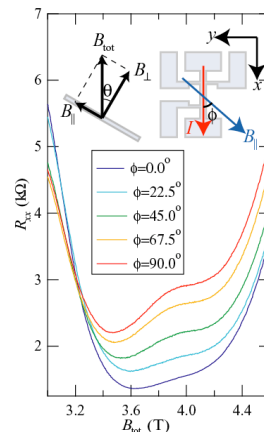


図 2 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の、面内磁場と電流との方向に対する異方的な磁気抵抗。

P27

平行磁場による $\nu=2/3$ 量子ホール状態を用いた動的核スピン偏極の制御

岩田一樹^a, 福田昭^b, 澤田安樹^b

京都大学大学院理学研究科^a, 京都大学低温物質科学研究センター^b

E-mail: iwata@scphys.kyoto-u.ac.jp



核スピンは長い位相緩和時間から量子計算、情報技術を実現する材料として期待されており、核磁気共鳴は核スピンを制御する最も一般的な手段である。しかし、変調コイルを用いた核磁気共鳴法は、局所的に核スピンを制御する、という点には必ずしも適さない。これに対し、 $\nu=2/3$ 分数量子ホール系で生じる、電流(I)による動的核スピン偏極はナノスケールの核スピン制御技術として注目されている。今回、この動的核スピン偏極が、量子井戸に平行な磁場($B_{||}$)によって、制御できる可能性を見出したので報告する。

動的核スピン偏極生成領域において、磁気抵抗(R_{xx})は核スピン偏極率を反映する。図は I と $B_{||}$ のなす角(ϕ)を変えて動的核スピン偏極を測定したものである。 $I \perp B_{||}$ で抵抗変化は最大となり、 $I \parallel B_{||}$ で最小となる。このことは、動的核スピン偏極の発生が $B_{||}$ によって制御可能であることを示唆している。更に、我々は核スピン緩和時間についての測定も行ったので、交流会ではそれらについて議論する。

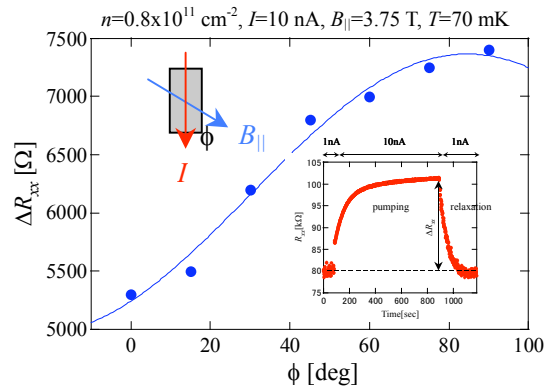


図. 核スピン偏極率の $B_{||}$ 方向依存性。挿入図に ϕ と核スピン偏極がある場合と無い場合の R_{xx} の差 (ΔR_{xx}) の定義を示す。

P28

液面電子系の縁の形状がエッジマグネトプラズモンのスペクトルに与える影響

山中修司^{ab}, 新井敏一^c, 矢山英樹^b, 福田昭^c, 澤田安樹^c

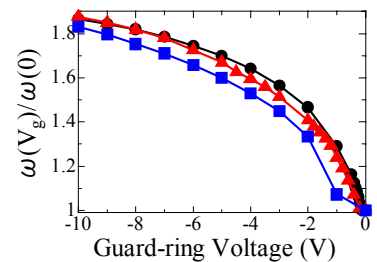
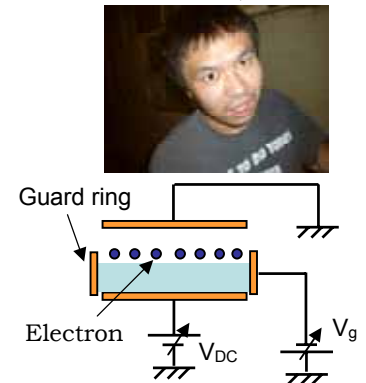
^a京大理、^b九大理、^c京大低温センター

E-mail: yamanaka@scphys.kyoto-u.ac.jp

我々はヘリウム液面 2 次元電子系における磁気輸送特性をエッジマグネトプラズモン (EMP) の共鳴を利用して調べている。EMP とは電荷密度の揺らぎが電子系の縁を伝播する集団励起状態である。そのために EMP の線幅と共鳴周波数は電子密度分布の縁の形状に強く依存している。

今回の実験では、液面電子を水平方向に閉じ込めるガードリングにかける電圧 (V_g) を変化させる事で縁の形状を操作し、共鳴周波数と線幅の変化を調べた。ガードリングにかける電圧 (V_g) を小さくしていくと共鳴周波数は単調に増加し、線幅は極小値を持った。図は液面の電子密度が 5.7×10^{11} (赤)、 8.4×10^{11} (黒)、 1.4×10^{12} (青) (m^{-2}) の場合である。

本発表では、ここでは示さなかった線幅および共鳴周波数の振る舞いの起源に関して説明する。



実験装置の模式図 (上) とガードリングの電圧と共鳴周波数の関係 (下)

2層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態における層間電子密度差による活性化エネルギーの変化

京大院理, 京大低物セ^a

関川貴史, 福田昭^a, 新井敏一^a, 岩田一樹, 小笠原良晃, 澤田安樹^a

E-mail: tks-bb@scphys.kyoto-u.ac.jp



量子ホール効果とは、2次元電子系における特異な伝導現象である。ランダウ準位占有率 $\nu=1/3$ 分数量子ホール状態は電子と2本の磁束量子からなる複合フェルミオンの $\nu=1$ 量子ホール状態に対応する。一方、2次元電子系を2枚平行に近接配置した2層系では層の自由度が加わるため1層系にはない現象が見られる。本研究の目的は2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態と比較することにより、2層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態の基底状態及び励起構造を明らかにし、複合フェルミオン間の相互作用を解明することである。そのために、面内磁場と電子密度差パラメータ $\sigma \equiv (n_f - n_b)/n_T$ (n_f , n_b , n_T は前面層と背面層の電子密度及び総電子密度)を変化させたときの活性化エネルギー Δ を測定した。本測定結果(図)により2層系 $\nu=1/3$ 状態における Δ は、 $\sigma=0$ において面内磁場印加により消失し、非量子ホール状態に転移、中間領域 ($0.2 \leq \sigma \leq 0.4$)では面内磁場印加により Δ は消失せず有限な値を持つことを見出した。交流会ではこの機構について詳細に議論する。

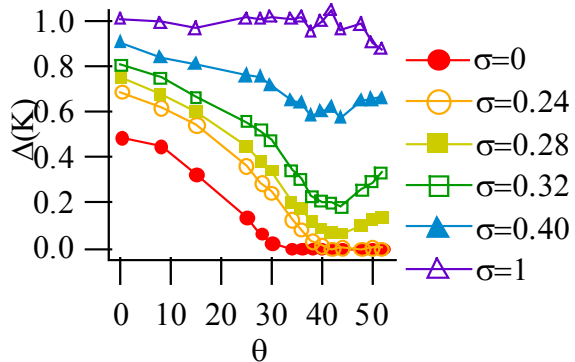


図:各 σ における活性化エネルギー Δ の試料回転角 θ (面内磁場) 依存性 ($n_T=0.7 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$).

P30

光学顕微鏡、原子間力顕微鏡によるグラフェンの探索

^a西中川良平, ^b新井敏一, ^b寺嶋孝仁, ^b福田昭, ^b澤田安樹

^a京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail: nishinakagawa@scphys.kyoto-u.ac.jp



グラフェンとは炭素原子が蜂の巣格子を組んだ1層の2次元結晶のことである。グラフェンのバンド構造は図1のようになっており、電子は質量0のDirac粒子として振舞うことが知られている。そのため整数量子ホール効果が半整数の所で起こるなど他の2次元電子系では起こりえない現象が起こる。その反面、分数量子ホール効果未だに測定されていないなど未知な部分もある。我々はこのグラフェンの基礎物性を調べるため、試料作成に取り組んでいる。

グラフェンの試料を作成するために熱分解炭素に高温熱処理を施して得る高配向性黒鉛結晶HOPGを粘着テープではがし、Si waferの上に貼り付け、原子的に1層

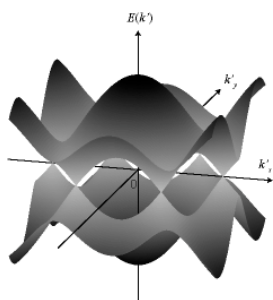


図1 グラフェンのバンド構造

になっているものを光学顕微鏡、原子間力顕微鏡で探している(図2)。ここで重要なのは厚さ300nmの酸化被膜を持ったSi waferを使うことで厚さ5Åのグラフェンが光学顕微鏡で見えるようになることである。交流会では試料作成の具体案と今後の計画について報告する。

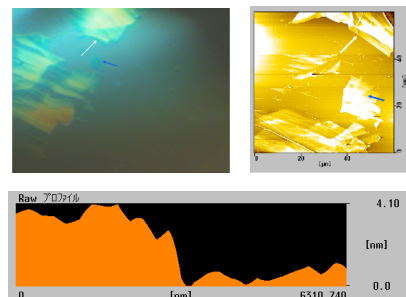


図2 光学顕微鏡(左)、原子間力顕微鏡(右)によるグラファイトフレークの像(白い矢印の所は厚さ約30nm、青い矢印の所は厚さ約4nm) 下図は原子間力顕微鏡による青い矢印の部分の表面の粗さの解析図

P31

電子密度差のある2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の磁気抵抗異常小笠原良晃、福田昭^A、岩田一樹、関川貴史、新井敏一^A、澤田安樹^A

京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^A京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail: yo-ogasawara@scphys.kyoto-u.ac.jp



2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態においては、層間のクーロン相互作用によって系が安定化し、量子ホール状態が実現している大変興味深い系である。この系では、高い総電子密度 n_T において各層が独立した非量子ホール状態への相転移を起こすことが知られている。我々はこの相転移に関して電子密度差 σ を変化させたとき、その相境界がどのようなものか、各層独立な $1/3+2/3$ 分数量子ホール状態から2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態へどのように繋がるのかを調べるために磁気抵抗と活性化エネルギーの詳しい測定を行った。その結果、相境界線及び、相境界における磁気抵抗が異常な振る舞いをするところを見出した。今回の発表ではこの振る舞いに対する原因について議論したい。

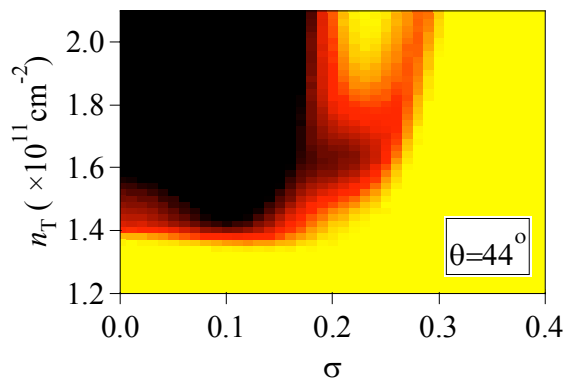


図 2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の R_{xx} の σ 及び n_T 依存性。試料の傾斜角 $\theta=44^\circ$ 、温度 $T=150\text{mK}$ 。

P32

マシコヒゲムシ巨大ヘモグロビンの高分解能結晶構造

沼本 修孝^{a*}、中川 太郎^b、喜田 昭子^c、笹山 雄一^d、福森 義宏^b、三木 邦夫^{a,e}^a京都大学大学院理学研究科化学専攻、^b金沢大学大学院自然科学研究科、^c京都大学原子炉実験所、^d金沢大学環日本海域環境研究センター、^e理化学研究所播磨研究所/SPring-8、*現所属：金沢大学大学院自然科学研究科

E-mail: numoto@kuchem.kyoto-u.ac.jp

海産性の無脊椎動物であるマシコヒゲムシは、その血液中に分子量約40万の巨大なヘモグロビン(図1)を有しており、外部環境から取り入れた酸素を全身の細胞へと運搬している。われわれは最近、この巨大ヘモグロビンについて2Åを超える分解能でのX線結晶構造解析に成功し、より詳細なモデルの構築を行うことができた。得られた構造は、24箇所ある酸素結合部位のうち6箇所においてのみ酸素が結合し、その他の部位は酸素結合能力を失って何も結合していない状態にあった。既報の酸素結合型の構造と比較したところその構造に変化が認められ、またその電子密度図から、アミノ酸配列がわずかに異なるisoformが混在していることが明らかになった。

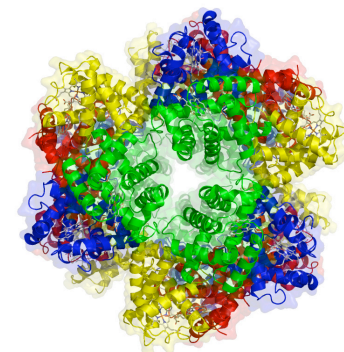


図1 マシコヒゲムシ巨大ヘモグロビン

P33

C₆₀系 2次元導体の構造と物性

大塚 晃弘^a, Dmitry V. Konarev^b, Salavat S. Khasanov^c, 前里 光彦^d,
坂田 雅文^{d,e}, Rimma N. Lyubovskaya^b, 矢持 秀起^a, 齋藤 軍治^{a,d}

^a 京都大学 低温物質科学研究センター, ^b ロシア科学アカデミー 化学物理研究所,
^c ロシア科学アカデミー 固体物理研究所, ^d 京都大学 理学研究科 化学専攻,
^e 現所属 大阪大学 極限量子科学研究センター

E-mail: otsuka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

有機溶媒中の複分解法により得られた MDABCO⁺·C₆₀^{•-}·TPC 単結晶 (C₆₀ 以外の成分の説明は省略) は, C₆₀^{•-} (C₆₀ アニオンラジカル) が 2次元平面に均一に充てん整列したシートと, カチオンと中性分子 (MDABCO⁺と TPC) から成る層が, 交互に積層した構造をとっていることがわかった (図 1). 160 K 以上における結晶構造解析で 2次元面内の C₆₀ 中心間距離の均一性が保持されていること, 及び C₆₀ の電荷が-1 である (LUMO が 3 重縮退している場合は 1/6 filled) ことから, 金属的電導挙動が期待され, 電気抵抗, 電子常磁性共鳴, EH-TB バンド計算などの結果はそれを支持している. 当日は得られている結果の概要を説明する.

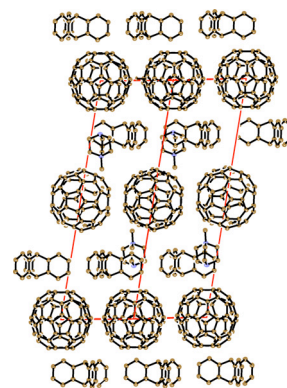
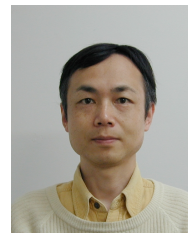


図 1 結晶構造

P34

(EDO-TTF)₂XF₆ の振動スペクトルとその同位体効果

中野 義明^a, 矢持 秀起^a, 齋藤 軍治^{a,b}

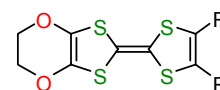
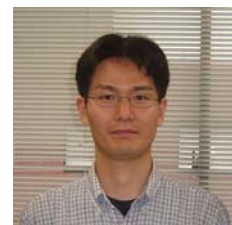
^a 京都大学 低温物質科学研究センター

^b 京都大学 理学研究科 化学専攻

E-mail: nakano@kuchem.kyoto-u.ac.jp

(EDO-TTF-*d*₀)₂PF₆ は室温直下の 280 K で金属-絶縁体転移を起こし, この転移では 3つの機構が協同的に発現している[1]. また, この塩では超高速かつ高効率の光誘起絶縁体-金属転移[2]が見出され, 強い電子-格子(振電)相互作用の存在が指摘されている. これまでに陰イオン置換の効果を検討し, 小さな陰イオンほど高温相の積層方向の 2 量化が弱く転移温度が高いことを明らかにした. また, 導電経路自体に摂動を与えることを目的として, EDO-TTF-*d*₂ の検討を行い, *d*₂ 体の塩の方が *d*₀ 体の塩よりも転移温度が 2~3 K 高いことを見出している. そこで, 2 量化の強さを比較したところ, *d*₂ 体は *d*₀ 体よりも 2 量化が弱まっており, 陰イオン置換と同様の傾向があることが分かった. また, EDO-TTF-*d*₁, (EDO-TTF-*d*₁)₂PF₆ のラマン, 赤外スペクトルを測定したところ, C-H 振動のみならず C=C 伸縮振動のような導電性に寄与する π 共役系の振動モードが同位体シフトを示すことが明らかになった. 当日は, 振動スペクトル, 構造, 転移挙動の相関について議論する.

[1] A. Ota *et al.*, *J. Mater. Chem.*, **12**, 2600 (2002). [2] M. Chollet *et al.*, *Science*, **307**, 86 (2005).



EDO-TTF-*d*_i
i = 0: R = H
i = 2: R = D

P35

 π -d系磁性伝導体における不揮発性メモリー現象前里 光彦^a, 古島 圭智^a, 川嶋 智仁^a, 今久保 達郎^{b,c}, 矢持 秀起^b,
齋藤 軍治^{a,b}^a京都大学 理学研究科 化学専攻^b京都大学 低温物質科学研究センター^c理化学研究所

E-mail : maesato@kuchem.kyoto-u.ac.jp



(DIETSe)₂FeCl₄は、ヨウ素置換ドナー分子と遷移金属を含むアニオンからなる擬次元伝導体である。 π 電子系の基底状態は、スピン密度波 (SDW) 状態で良く説明される。また、 d 電子の局在スピンは約 2.5 K以下で反強磁性 (AF) 秩序化する。よってSDWとAFが共存する系と考えられる。ネール温度以下の低温で、外部磁場を d 電子スピンの磁化容易軸方向に印加すると、スピントロップ転移が約 1.5 Tで観測され、それと同時に大きな磁気抵抗の変化が観測される。興味深い事に、磁気抵抗には磁場履歴が現れ、磁場をゼロに戻しても、抵抗値が元のゼロ磁場の値とは異なる値をとる事がわかった。すなわち、これは一種の不揮発性メモリー現象である。また、そのメモリーを消去するには、 d 電子スピンのネール温度以上に一旦温度を上げれば良い事も分かった。低次元伝導体に特有のネスティング不安定性と反強磁性秩序との相関について議論する。

P36

ピリミド縮環型 TTF のベタイン型中性ラジカルを用いた単一成分有機導電体の開発村田 剛志^a, 齋藤 軍治^{a,b}^a京都大学 理学研究科 化学専攻 有機物性化学分科^b京都大学 低温物質科学研究センター

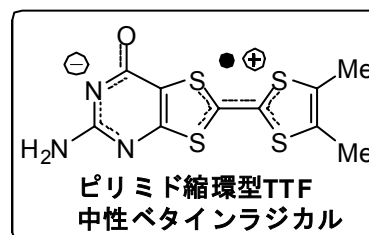
E-mail : tmurata@kuchem.kyoto-u.ac.jp



有機導電体の研究は、有機電子材料開発の観点から注目を集める研究分野であり、それらは電荷移動錯体や電荷移動塩などの複数成分からなる錯体において行われている。これらを電子材料として活用することを考慮すると、単一成分での実現が望まれる。

ピリミド縮環型 TTF 誘導体は、TTF に核酸塩基の類縁骨格であるイソシトシン環を縮環させた電子ドナー分子であり、強い分子間水素結合能を有する。また、その脱プロトン化体を一電子酸化することによって得られる中性ベタインラジカル種は、室温伝導度 $\sim 10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ という有機単一成分系としては非常に高い導電性を示す。

我々は、単一成分での有機導電体の開発を目的として、ピリミド縮環型 TTF 誘導体に様々な化学修飾を施した分子の合成や物性について研究を行っている。これまでに、アミノオキソピリミド縮環型 TTF に、1) ピリミド環のアルキル置換、2) TTF 骨格のエチレンジオキシ (EDO) 置換、3) 重原子置換を施した電子ドナーを合成し、それらの中性ベタインラジカル種の分光学的性質や導電性、磁性について詳細に検討したので報告する。



P37

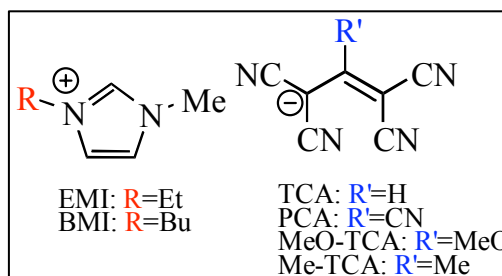
1,1,3,3-テトラシアノアリル系陰イオンを用いたイオン液体の合成と物性

近藤雅稔^a・吉田幸大^a・斎藤軍治^{a,b}^a京都大学 理学研究科 化学専攻^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : konodo@kuchem.kyoto-u.ac.jp



イオン液体は、構成イオンの選択により液体物性を制御できるという、従来の分子性液体にはない特徴を有している。本研究では、2位に様々な電子供与性 / 吸引性を有する置換基を導入した 1,1,3,3-テトラシアノアリル (TCA)系陰イオンを用いて、1-アルキル-3-メチルイミダ



ゾリウム塩を合成した。EMI 系イオン液体は全てが固体(融点 42~115 °C)として得られた。一方、BMI 系イオン液体に関しては PCA 塩のみ黄色固体(融点 42 °C)として得られ、残りの塩は室温液体(ガラス転移点 -61~-65 °C)として得られた。当日はイオン伝導性、粘性、密度及びソルバトクロミズム測定に基づき、各種物性の比較について紹介する。

P38

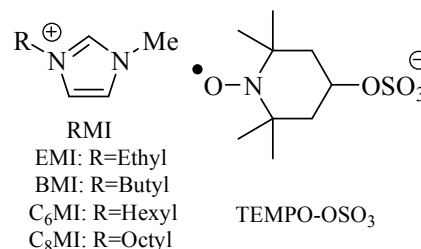
TEMPO ラジカル基を有する常磁性イオン液体の合成と物性

田中博房^a、吉田幸大^a、斎藤軍治^{a,b}^a京都大学 理学研究科 化学専攻^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : hiro-t@kuchem.kyoto-u.ac.jp



イオン液体は高い電気伝導性や広い液体温度範囲などの特徴を持つ融解塩であり、構成イオンの選択や化学修飾により多様な機能を発現させることが可能である。本研究では修飾可能な有機分子から成る常磁性イオン液体の開発を目指し、有機ラジカル 2,2,6,6-tetramethyl-1-piperidinyloxy-4-sulfate (TEMPO-OSO₃)陰イオンと 1-alkyl-3-methylimidazolium (RMI)陽イオンを用いて、イオン液体の合成を試みた。EMI 塩は赤色固体(融点 57 °C)として得られ、残りの塩は赤色粘性液体として得られた。すべての塩は比較的高いガラス転移温度(-22~-31 °C)を持っており、RMI 陽イオンのアルキル鎖が長くなるにつれ、van der Waals 相互作用や分子サイズの増加のためイオン伝導性は低下した。いずれの塩も 90%以上の S = 1/2 スピンに対応する Curie 常磁性を示し、EMI 塩については融点付近で約 0.04μ_B の磁気モーメントの上昇が観測された。これはスピン対を生成していた一部の TEMPO-OSO₃ 陰イオンが融解に伴い解離したためと考えられる。



P39

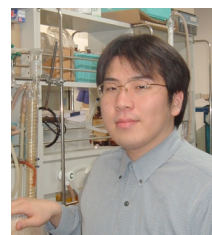
核酸塩基を持つ電荷移動錯体の開発：グアニン-F-TCNQ 塩の構造と物性

中村 健二^a, 村田 剛志^a, 齋藤 軍治^{a,b}

^a京都大学 理学研究科 化学専攻

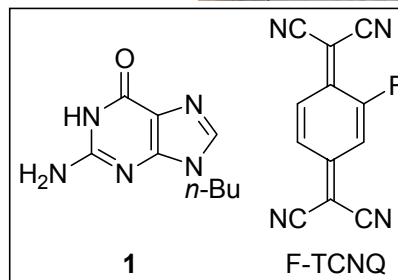
^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : k-nakamura@kuchem.kyoto-u.ac.jp



核酸塩基類は相補的水素結合によって選択的に塩基対を形成し、かつ一次元的な π -スタッキングを形成することで、DNAの二重らせん構造形成における重要な役割を果たしている。さらに核酸塩基類はプロトン授受能を有し、また電荷移動錯体の電子ドナー分子としても働きうる。

我々は、核酸塩基の中で最も電子ドナー性が高いグアニンに注目した。本研究ではグアニンの溶解性を上げるためにブチル基を導入した誘導体 **1** を用い、様々な TCNQ 類との電荷移動錯体を作製した。今回は、その中で F-TCNQ との電荷移動錯体について単結晶構造解析を行い、グアニンの相補的水素結合と π -スタッキングに基づく集合構造を明らかにした。さらにその各種物性について調べたので報告する。



P40

Fundamental characteristics of superconducting linear-type magnetic flux pump

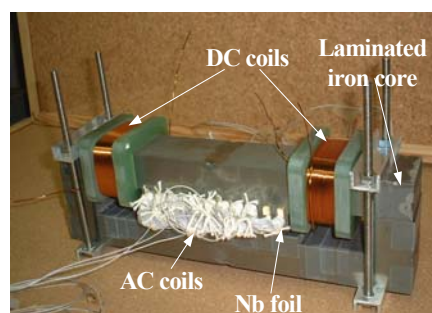
YoonDo Chung, Taketsune Nakamura

京都大学 工学研究科 電気工学専攻 超伝導工学分野

E-mail : yoondo@asl.kuee.kyoto-u.ac.jp



Recently, one of the most interesting applications using the superconducting wire is the high field magnet. Since high T_c superconducting (HTS) coils have larger critical current densities at 4.2 K over 20 T, the technology of inserted HTS coils has been anticipated to be an excellent solution for the achievement of higher magnetic fields in the hybrid NMR magnet system. However, due to the inhomogeneity of the HTS coils, a large persistent current decay is caused. The current decay should be compensated in order to maintain stable properties of the HTS coil. From this point of view, a compensation technology has been expected to be an indispensable application in the hybrid NMR magnet systems. As a solution for the current decay in the hybrid NMR magnet, we fabricated the linear-type magnetic flux pump (LTMFP). In this study, we discussed the fundamentally operating characteristics of LTMFP as a superconducting power supply.



P41

脳磁場計測装置によるイメージトレーニングの観察 —リハビリテーションへの導入の根拠として—

木内 隆裕^a, 南 千尋^a, 松林 潤^a, 三谷 章^a, 長峯 隆^b, 福山 秀直^b

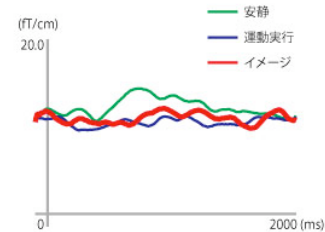
^a 京都大学 医学研究科 人間健康科学系専攻 リハビリテーション科学コース

^b 京都大学 医学研究科附属 高次脳機能総合研究センター

E-mail : takahiro.kinai@ky8.ecs.kyoto-u.ac.jp

イメージトレーニングは近年リハビリテーションの介入方法の一つとして注目されている。これまで脳磁場計測装置（脳磁図; MEG）を用いて行われた手指の運動イメージに関する研究では、手首での神経電気刺激後に運動関連領域で観察される周波数約 20Hz の律動脳磁場の抑圧の程度を観察することによって、運動イメージの形成の程度を客観的に評価できる可能性が示唆されている。

今回我々は、リハビリテーションの臨床で問題となることが多い移動動作に注目し、MEGを用いることによって下肢の運動イメージ形成の程度を推測することができるかどうかを検討した。その結果、周波数約 20Hz の律動脳磁場は、足首の運動実行ではほぼ完全に抑圧され、その運動イメージ形成だけでもある程度抑圧された。このことから、律動脳磁場の抑圧を観察することで下肢の運動イメージ形成の程度が推測できることが示唆された。



図：20Hz 律動脳磁場の時間的変動

P42

脳磁場計測による鏡治療効果の検討

冨永 渉^a, 出口 陽一郎^a, 松林 潤^b, 南 千尋^b, 木内 隆裕^b,
三谷 章^b, 長峯 隆^c, 福山 秀直^c

^a 京都大学 医学部 保健学科 作業療法学専攻

^b 京都大学 医学研究科 人間健康科学専攻 リハビリテーション科学コース

^c 京都大学 医学研究科附属高次脳機能総合研究センター

E-mail : tominaga@m06.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

鏡治療は、片麻痺患者が健肢の鏡映像を患肢に重ね合わせて見ることで患肢の麻痺等の改善を促すリハビリテーション介入の一手法である。健常者における 20Hz 律動脳磁場活動(20Hz)の計測を用いて、鏡治療の効果を検討した。20Hz は一次運動野の活動を表わし、運動や肢の観察によって抑圧される。被験者は、右手首において正中神経に電気刺激を与えられた状態で鏡箱に両腕を入れ、i)右手に鉛筆を持ち直接見る、ii)右手に鉛筆を持ち鏡を見る、iii)左手に鉛筆を持ち直接見る、iv)左手に鉛筆を持ち鏡を見る、の 4 条件の課題を遂行した。その結果左手に鉛筆を持ち直接見るよりも、鏡に映して見る条件の方が強く抑圧を受けた。今回の結果は刺激側と反対側の手の鏡像を見ることでも、刺激側の手を見るのとはほぼ同程度に抑圧されることが観察された。このことは、手の鏡像が反対側の手として認識され、実際に見ている手の同側の一次運動野の活動を引き起こしているものと考えられる。



P43

舌刺激体性感覚誘発脳磁場の解析

前澤仁志^{1,2}、吉田和也¹、松林潤^{2,3}、別所和久¹、長峯隆²、福山秀直²。

1. 京都大学大学院医学研究科感覚運動系外科学講座口腔外科学分野
2. 京都大学大学院医学研究科高次脳機能総合研究センター
3. 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻リハビリテーションコース

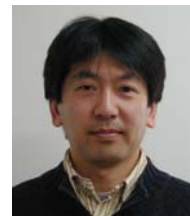


【目的】舌刺激誘発脳磁場反応の大きさに対する刺激側の影響を検討する。【方法】対象は健常成人 10名(男性 10名)。片側舌縁の粘膜(舌尖より 2cm、舌縁より 1cm)に針電極を接触させ、刺激幅 1ms、刺激間隔 1s で電気刺激した。刺激強度は感覚閾値の 4 倍、加算回数は 1200 回。全頭型脳磁図計で記録し、解析には電流源直上で最大振幅を示す planar 型センサー 204ch による波形を用いた。対側半球の 18ch の root mean square (RMS) より、刺激後 10-150ms の平均振幅 (RMS[10, 150]) を求めた。対側半球にける大脳皮質の正味の反応の大きさを評価するため、RMS[10, 150] から刺激前の安静時(刺激前 50-5ms) のノイズの平均振幅 (RMS[-50, -5]) を引いた値 (aRMS) を評価した。(aRMS = RMS[10, 150] - RMS[-50, -5]) 【結果】すべての被験者で両側の頭頂側頭部に反応が認められ、対側半球に 3 もしくは 4 つの反応 (P25m、P40m、P60m、P80m) を認めた。反応の潜時は、左側刺激で 24.7 ± 2.2, 39.2 ± 4.4, 57.4 ± 7.3, 77.9 ± 9.0 ms、右側刺激で 24.8 ± 2.1, 39.4 ± 4.2, 57.3 ± 5.1, 76.3 ± 7.0 ms。片側刺激による aRMS は、左右でそれぞれ、10.18 ± 7.92, 10.99 ± 8.99 fT/cm であり、左右差はなかった。aRMS の Laterality index [(Left - Right) / (Left + Right)] は、0.026 ± 0.104 であった。【結論】刺激側による舌刺激誘発脳磁場反応の大きさに刺激側による差は認められなかった。

P44

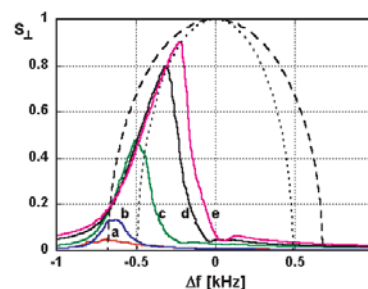
First Observation of the Coherent Motion of Magnetization in ³He A-like Phase佐藤年裕^a、松原 明^{b,c}、國松貴之^c、泉名健^a、久保田実^a、水崎隆雄^c、Y.M. Bunkov^d^a 東京大学 物性研究所^b 京都大学 低温物質科学研究センター^c 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野^d MCBT, Neel Institute, CNRS/UJF 38042, Grenoble Cedex 9, France

E-mail : akira-m@scphys.kyoto-u.ac.jp



超流動 ³He は Cooper pair がスピン S=1、軌道角運動量 L=1 に結合しており、相によって異方的なオーダーパラメータを持つ超流体である。我々は超流動 ³He に対して不純物として振舞うとされている Aerogel が超流動 ³He オーダーパラメータの空間部分に及ぼす効果、特に Aerogel の持つランダムポテンシャルが、超流動 ³He の長距離秩序に与える影響について調べている。これまで Aerogel

に一軸の異方性を加えると、超流動 ³He A-like 相の織目構造(texture)が影響をうけ、1 ベクトルが一軸異方性の向きに揃うことなどを発見している[2]。今回我々は cw-NMR を用いた研究で、空間的に一軸異方性を持つ Aerogel 中で、超流動 ³He A-like 相の磁化のコヒーレントな才差運動のモードを初めて検出することに成功した。その結果について発表する。



1次元および3次元ナノ多孔体中⁴Heの超流動

戸田 亮^a, 檜枝 光憲^b, 松下 琢^b, 和田 信雄^b

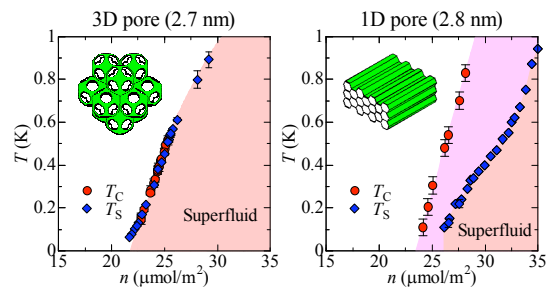
^a 京都大学 低温物質科学研究センター

^b 名古屋大学 大学院理学研究科 物質物理学専攻

E-mail: rftoda@scphys.kyoto-u.ac.jp

我々は、系の次元性と超流動の関係について興味を持ち、ナノ多孔体を使ってその関係を調べている。

様々な形状のナノ多孔体を使いわけることにより、系の次元をコントロールすることができる。今回、我々は300 nm程度の長さの1次元トンネル状細孔をもつ1次元ナノ多孔体と5.5 nm間隔で細孔が3次元的な接続をもっている3次元ナノ多孔体に⁴Heを吸着させ、熱容量測定とねじれ振り子による超流動密度測定を行った。2つのナノ多孔体の孔径は共に約3 nmで、その吸着ポテンシャルもほぼ等しい。図は1および3次元ナノ多孔体中⁴He流体薄膜の相図である。3次元ナノ多孔体の場合(左図)、 T_C で熱容量がシャープなピークを持ち、同じ温度で超流動転移(T_S)が観測された。これは3次元長距離秩序の特徴であり、細孔の3次元接続を反映していると理解できる。一方の1次元ナノ多孔体中の場合(右図)、 T_C で緩やかな極大を伴う比熱異常を観測したが、超流動は観測されず、それよりも1/3程度の低温で初めて超流動(T_S)が観測された。当日は結果と系の次元性との関連について詳細な議論をしたい。



P46

核整列固体³Heの超音波減衰機構

安井 健^a, 佐々木 豊^{a,b},

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail: yasui@scphys.kyoto-u.ac.jp

核整列固体³Heの超音波の減衰定数を測定し、周波数 ω に対して ω^2 の依存性、温度 T に対して T^{3-5} のような依存性があることが分かった。磁場依存性は基本的に見られなかったが、縦波横波のいずれについても周波数が37MHz近辺のときのみ、約0.6Tの磁場(Bstep)のところで減衰がステップ状に変化する結果が得られた。(図.1) これらの現象を理解するために、超音波の減衰がどのように起こるかの考察を行った。まず、1mK以下の超低温の状態では、フォノンの減衰過程としての多重フォノン散乱は、熱励起されたフォノンが少ないので、ほとんど起こりえないと考えられる。次に、フォノンと熱励起されたマグノンとの散乱も、バルクの固体であると相互作用が弱いので起きにくい。結晶中に線欠陥が存在する場合は、磁気的な面欠陥が付随し、フォノンとともに振動しているので、マグノンが磁気的な面欠陥に散乱されることで、フォノンとの多重散乱過程を起こして超音波減衰が起きると考えた。このとき、この散乱過程に伴う運動量及びエネルギー保存則を考えれば、散乱された後、マグノンが2つできる4体過程が最も起こり得ると思われる。ここで、生成するマグノンが光学マグノンの場合であれば、分散曲線が磁場 B に依存しているので、 $(\omega_{ph} + \omega_1) = 2 < \gamma B$ (γ は³Heの磁気回転比)であるとき、この4体過程が禁止される。一方、音響マグノンの場合であれば、分散関係が磁場に依存した形でないため、そのような禁止領域は発生しない。従って、磁場掃引によって光学マグノン生成過程の禁止領域に入るときに減衰定数がステップ状に変化するものと考えた。

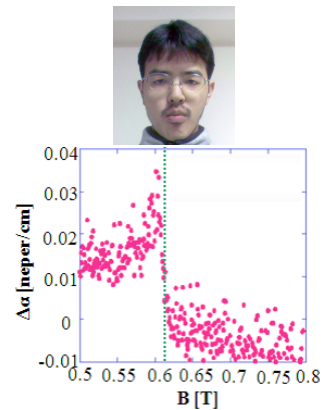


図 1: ステップ状の減衰

P47

極限環境を駆使した MRI 顕微鏡の開発とその ^3He - ^4He 混合液体への応用

有村恭平^a, 蜂矢真弘^a, 上野智弘^b, 福田耕治^b, 佐々木豊^c,
水崎隆雄^d, 松原明^c

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

^b 京都大学 医学研究科 人間健康科学系専攻

^c 京都大学 低温物質科学研究センター

^d 豊田理化学研究所

E-mail : arimura@scphys.kyoto-u.ac.jp



我々は超低温、高磁場、高磁場勾配の極限環境を駆使し、 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ の二次元解像度の達成を目標として、高解像度 MRI、「MRI 顕微鏡」の開発を行っている。MRI 顕微鏡を用いて、低温域でのスピンの空間分布が重要となる現象を研究することが目的である。 ^3He - ^4He 混合液体は、 0.87K で、 ^3He の豊富な常流動相と ^4He の豊富な超流動相に相分離する。この臨界点（三重臨界点）近傍において、相分離界面と試料容器のなす角（接触角）の異常な振る舞いが見出された。この異常な振る舞いを精密に検証するために MRI 顕微鏡を用いて、直径 $200\mu\text{m}$ 円筒中での ^3He - ^4He 混合液体の相分離界面を高分解能で画像化している。今回は、 7T の高磁場（周波数 232.7MHz ）のもと、 1.8T/m の磁場勾配を用いている。本講演では、MRI 顕微鏡の開発と共に相分離界面が移動する様子から得られた接触角の値について議論する。

P48

小型超伝導シールド付 MRI マグネットの設計・製作

篠北 啓介^a, 中西 洋介^a, 金本 真知^a, 高坂 圭^b, 佐々木 豊^{a,b,c}

^a 京都大学 理学部 物理学第一教室

^b 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

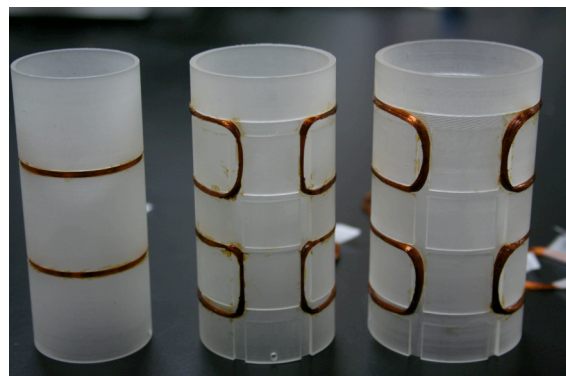
^c 低温物質科学研究センター

E-mail : sinokita@moonsault.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



私達は、MRI の技術を用いて絶対零度近傍における物質の磁氣的性質の空間分布を調べています。MRI では solenoid coil が作る均一磁場に gradient coil を用いて任意方向の線型磁場勾配を重畳させなければなりません。絶対零度近傍においては核断熱消磁法で用いる磁場を遮蔽するためマグネットのまわりを超伝導体で覆う必要があります。そのため超伝導体上に流れる遮蔽電流がつくる磁場を考慮した上で磁場勾配が線型になるような条件を求めなければなりません。

超伝導体でシールドされた solenoid coil が均一な磁場をもつ条件はすでに知られていますが、今回私たちは超伝導体でシールドした gradient coil が原点近傍において線型かつ空間一様な磁場勾配をもつ条件を数値計算により求めることに成功したので報告します。



P49

検出部を極低温化した固体高分解能 NMR プローブの開発

水野 敬^{a,d}, 樋岡 克哉^{a,d}, 藤岡 耕治^b, 竹腰 清乃理^{c,d}

^a 日本電子株式会社, ^b 株式会社クライオウェア

^c 日京都大学大学院理学研究科化学専攻 分子構造化学, ^dCREST/JST

E-mail : mizuno@kuchem.kyoto-u.ac.jp

我々は固体高分解能 NMR の非常に低い感度を克服するため、NMR 信号の検出系である高周波回路を冷却し、室温下で試料を高速回転できる新奇なシステム (cryo-coil MAS) を開発した。図 1 に試作機の断面図を示す。本試作機において、磁化検出コイル温度 12 K を達成した。

また、コイル温度 20 K、試料温度室温下における固体高分解能 ¹H-NMR スペクトルを取得することに成功した (図 2)。今後は、特に低温動作下における高周波損失を検討しながら、全体的な性能の最適化を図り、実用材料 (とくに無機核種) への適用・実用化をめざす。

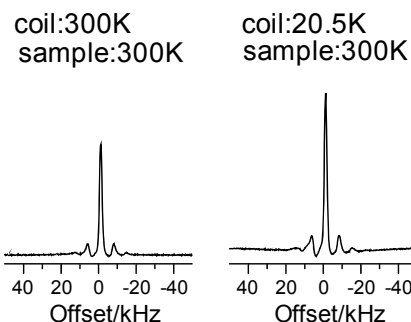


図 2: コイルのみを冷却した ¹H MAS スペクトルの比較。

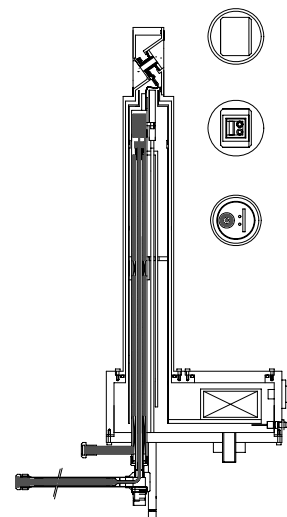


図 1 : 試作機の断面図

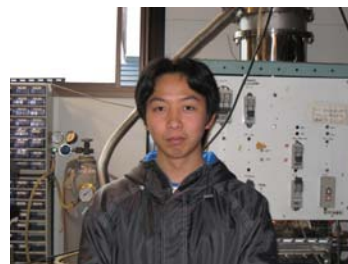
P50

Potassium リドベルグ原子によるマイクロ波単一光子検出と ダークマターアクシオン探索

池田真也^a、中西怜央奈^a、新井敏一^b、福田昭^b、舟橋春彦^c、長谷山智仁^d、今井憲一^a、五十棲泰人^e、加藤隆久^e、城戸義明^f、松原明^b、松木征史^f、水崎隆雄^b、西村智朗^f、大沢大輔^e、澤田安樹^b、高橋義朗^a、戸崎充男^e、山本克治^g

^a 京都大学理学研究科物理、^b 京都大学低温物質科学研究センター、^c 大阪電気通信大学工学部、^d 日本レーザー、^e 京都大学放射性同位元素総合センター、^f 立命館大学理工、^g 京都大学工学研究科原子核
E-mail : ikeda@scphys.kyoto-u.ac.jp

素粒子アクシオンは、強い相互作用において時間反転対称性が良く成り立っていることを説明するために導入された粒子であり、同時に宇宙のダークマターの有力候補である。宇宙由来のアクシオンを検出する方法として、本研究では極低温に冷却したマイクロ波空洞に高磁場をかけ、アクシオンをマイクロ波光子に転換し、転換光子をリドベルグ原子により検出する。低温物質科学研究センター横の新実験棟において、ダークマターアクシオンを探索する装置を建設し、その本格的な稼働を目指してテスト実験を行っている。特に、従来用いていた Rb 原子に代わり、K リドベルグ原子を用いて浮遊電場の影響を低減し、マイクロ波光子を感度よく検出する新たな装置系を作った。K リドベルグ原子のシュタルク構造とアクシオン探索への応用、探索装置の現状を報告する。



P51

低温物質科学研究センターのクリーンルーム

澤田 安樹、寺嶋 孝仁、斉藤軍治

京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : sawada@scphys.kyoto-u.ac.jp

平成 20 年 3 月 21 日に低温物質科学研究センター(LTM センター)新研究棟が完成し、約 200m² のクリーンルームが全学協力経費により設置される。これにより、京都大学としては初めて基礎科学を目的としたナノサイエンスの研究を展開することが可能になる。この

クリーンルームにはLTM センターおよび理学研究科を中心とする関係部局の持つナノサイエンス関係の装置を移設し研究を開始する計画である。しかし、現有する装置だけでは、急激な進展を



を見せているナノサイエンスを主体的にリードしていくには十分ではないので、このクリーンルームを本学の基礎科学の研究拠点として活用することを目的とし、クリーンルームにおけるナノサイエンス研究の実施に不可欠となる微細加工装置の拡充を図るべく各種予算請求をしている。左の写真は、ナノサイズ試料にワイヤーボンディング装置で配線を行っているところである。



P52

ヘリウム回収端末遠隔監視システム

新井 敏一、松原 明

京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : toshikaz@scphys.kyoto-u.ac.jp

低温物質科学研究センターで供給する液体ヘリウムは、各研究室で気化したヘリウムガスを回収して繰り返し液化して製造している。ヘリウムは

高価なガスであり、限りある資源であると言われている。回収率 100% を目指して常に注意を払うことがユーザーに求められる。研究室で気化したガスは、最寄りの回収端末のガスバッグに集められ、送出ポンプで低温センターに送られる。構内約 10 カ所に点在する回収端末のヘリウム純度・送出ポンプの運転状況・送出ガス量を一括して遠隔監視するシステムを構築し、運用が始まった。図 1 が各地から送られてくるデータを集中監視している画面である。システムの概要と技術面について報告する。

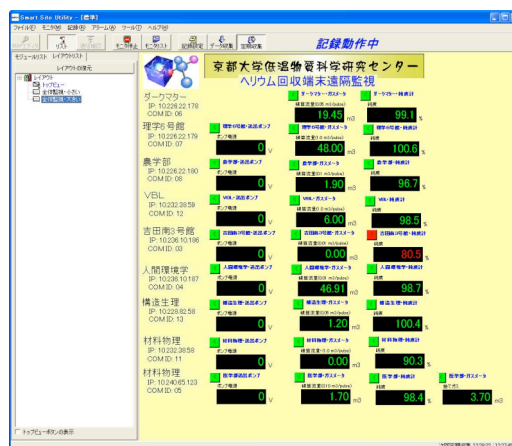


図 1 各回収端末から送られてくるデータ