

ドメイン構造から理解する AAA-ATPase の機能分担

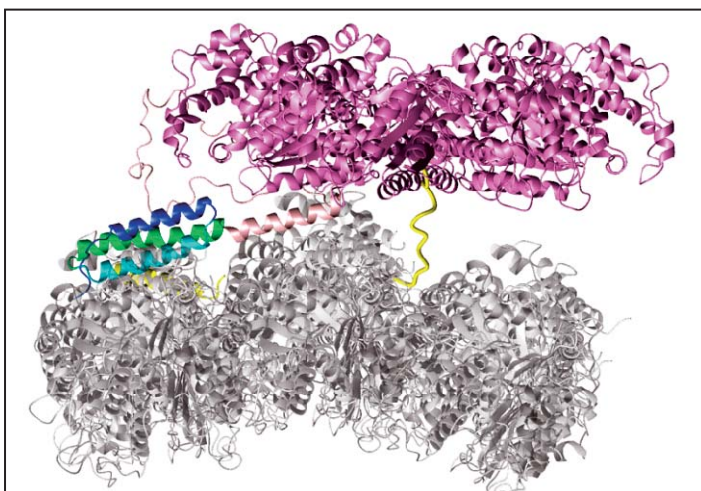
廣明秀一^a

^a神戸大学 医学研究科 医科学専攻 構造生物学分野

E-mail:hiroakih@med.kobe-u.ac.jp



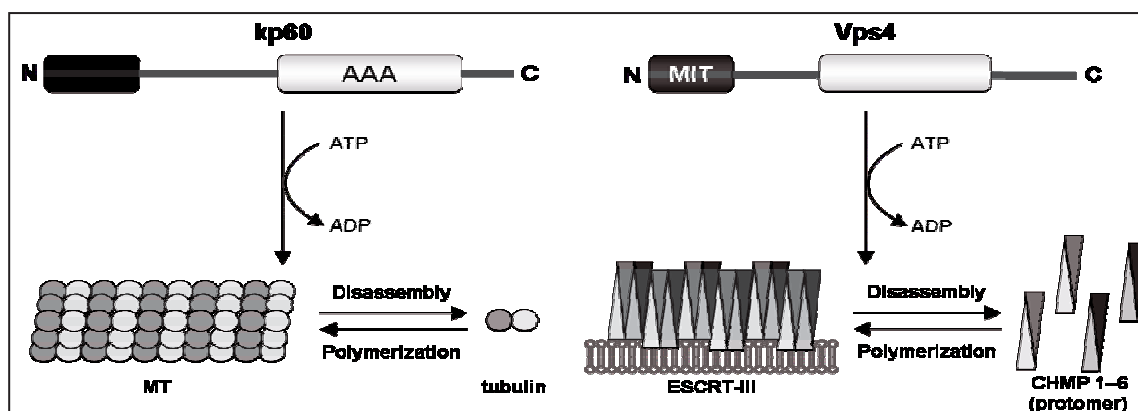
AAA とは, ATPase-Associated various cellular Activities の頭文字であり, 小胞輸送・膜融合・シャペロンといった, 様々な細胞機能を担うタンパク質に広く分布している約 230 アミノ酸の ATPase ドメインの略称である。我々は AAA ドメインタンパク質の, AAA ドメインの N 末端に隣接している領域に着目して構造プロテオミクスの研究を進めている。AAA ドメインを分子の動力部とするならば, その N 末端は分子機能に特化したアタッチメントに相当し, そのタンパク質の機能を特徴付ける固有のドメインが位置している。今回, 我々は微小管を切断する酵素, katanin p60 の N 末端ドメインの立体構造を解明し, 微小管認識部位を明らかにした(1)。その立体構造は, katanin p60 と同じ I 型 AAA-ATPase で, 細胞膜のウイルス出芽部位を形成する繊維状タンパク質複合体 ESCRT-III を切断する Vps4 と, 配列相同性が低いにもかかわらずよく似ていた。また, 基質である微小管とのインタフェースの位置関係も保存されていた。その情報をもとに微小管に作用する katanin p60 の全長をモデリングしたのが下の図である。このような関係は, 以前に我々が明らかにしたペルオキシソーム形成因子である PEX1 ATPase の N 末端ドメインと, やはり配列相同性が低いにもかかわらず同じ II 型 AAA-ATPase である VCP/p97 の構造の間にも見出されている(2)。構造の類似性を機能メ



カニズムの相似性に拡張する我々の手法は, AAA-ATPase のうち解析が進んでいないタンパク質の分子機構の理解に役立つ。

(1) Iwaya *et al.*, J Biol Chem, *in revision process*.

(2) Shiozawa *et al.*, J Biol Chem, 279, 50060-50068 (2004).



極低温電子顕微鏡による生体高分子構造解析の多様な試料への応用

光岡 薫^a

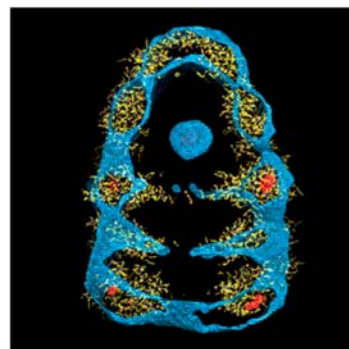
^a産業技術総合研究所 バイオメディシナル情報研究センター

E-mail:kaorum@ni.aist.go.jp



MAPEG (membrane-associated proteins in eicosanoid and glutathione metabolism) スーパーファミリーは解毒やアラキドン酸を用いた生合成経路などに関与する酵素を含むスーパーファミリーである。今回我々は、そのスーパーファミリーの一員である MPGES1 (microsomal prostaglandin E synthase 1) について、3.5Å 分解能の電子線結晶構造解析を行った。MPGES1 は、炎症に関連してプロスタグランジン H2 からプロスタグランジン E2 の合成を行う。別に 2 組のグループから、X 線結晶構造解析により原子モデルが報告された、同じく MAPEG ファミリーに属するロイコトリエン C4 合成酵素 (LTC4S) との比較から、MPGES1 では基質であるプロスタグランジンの結合位置が閉じており、これが特異的な基質認識機構と関係していることが示唆される結果が得られた。

我々は、現在、極低温電子顕微鏡を単粒子解析に応用する研究も進めている。単粒子解析とは、薄膜状のアモルファスな氷の中で、分子がいろいろな方向を向いている電子顕微鏡像を撮影して、そこから向きを決めて三次元構造を計算する方法である。この方法を用いれば、結晶化条件などに関係なく、任意の水溶液条件での複合体の構造が得られるのに加え、ミリ秒程度で試料を凍結できるので、寿命の短い中間体の構造解析などにも利用できると期待されている。その単粒子解析法を用いて、シャペロニン GroEL-GroES 基質複合体について、その立体構造を明らかにした。好熱菌 *Thermus thermophilus* から得られたシャペロニン GroEL は、その補助因子である GroES と安定な複合体を形成しており、その結果、フォールディング途中などの基質タンパク質も複合体に結合している。その GroEL-GroES 基質複合体について、GroEL と GroES が作る空洞の中に、基質タンパク質に対応する電位を明瞭に観察することができた。



電子線結晶構造解析には、膜タンパク質が脂質二重層中に規則正しく配列した二次元結晶を用いる。二次元結晶は、界面活性剤により可溶化されたタンパク質と脂質の溶液から、透析により界面活性剤を除去することで作製するのが一般的であるが、二次元結晶でなくチューブ状結晶が成長する場合がある。このようなチューブ状結晶を作製したタンパク質として Band3 がある。これは、分子量約 10 万で赤血球膜に存在し、陰イオンの透過を媒介する輸送体として知られている。特に赤血球では、塩素イオンと炭酸イオンの交換反応を行い、炭酸ガスの輸送・排出に重要な役割をしていると考えられている。その結晶に iterative helical real space reconstruction 法 (IHRSR) という単粒子解析を利用した方法を応用することで、その立体構造を得た。そこでは、繰り返し単位内に二量体を観察することができ、一分子が二つのドメインから構成されていることが示された。つまり、二つのドメインの相互作用変化が基質の輸送に関係していることが示唆された。

] M. Noda, M. Yasuda, Y. Nakano, A. Ito, *et al.*, *Chem. Lett.*, **37**, 396 (2008).

膜タンパク質の構造と機能研究のための極低温電子顕微鏡技術

藤吉好則

京都大学大学院理学研究科

E-mail: yoshi@em.biophys.kyoto-u.ac.jp



電子顕微鏡は拡大して物を見るという意味では光学顕微鏡と基本的に同じであるが、実用的なレンズが出来る波長の短い電子線を光源とするので、透過型電子顕微鏡はÅレベルの分解能を容易に達成できる。さらに重要な特徴は、電子線と物質との相互作用が大きいことである。この特徴は、電子顕微鏡の長所としても短所としても働いている。相互作用が大きいことから、極微量の試料や、局所的な情報を直接得ることができる。それゆえ、薄くて小さい試料を観察するには電子顕微鏡は最適で、多くの観察がなされている。逆に電子線の透過性が低いので厚い試料の観察には様々な工夫が必要である。また、相互作用が大きくてわずかな試料から情報を取り出すことができるという長所の裏には、電子線による損傷という大きな問題が存在する。特に、生物試料を観察する場合にはこの電子線による損傷が最大の困難として立ちまはかることになる。電子線損傷と共に物質との相互作用が大きいことから来るもう1つの深刻な問題は、電子線の通り道を真空中に排気しなければならないことである。そのために、生物試料が乾燥して、水を含む構造とは大きく変わ

ってしまうという問題を回避したり解決したりして、相互作用が大きいという長所を生かすことによって、電子顕微鏡は発展してきた。

最初に電子顕微鏡で分子構造が観察できることは、塩化フタロシアン銅の化学式とぴったりと合う像が撮影されることで証明されたが、上記2つの問題を解決するために極低温電子顕微鏡が必要である。試料の温度を8 K以下の低温に冷却すると室温の20倍に損傷を軽減できる。このために、試料を極低温に冷却してなおかつ高分解能の像を撮影できる極低温電子顕微鏡が開発された。このような低温電子顕微鏡は、もう1つの問題である、試料の乾燥の問題を解決した。このタイプの極低温電子顕微鏡は改良を重ねつつ発展して、図1のように第7世代の装置までが開発されて、以下に示すような応用研究に活用されている。

電子顕微鏡を用いた構造解析の方法としては、電子線結晶学と呼ばれる方法があり、図2に示すような構造解析が行われた。水チャネルやギャップ結合チャネル等の例を紹介して、電子顕微鏡がどこまで生命科学の研究に寄与できるようになってきたかを具体的に議論したい。



図1 極低温電子顕微鏡発展の歴史

電子線結晶学を用いて構造解析された膜タンパク質

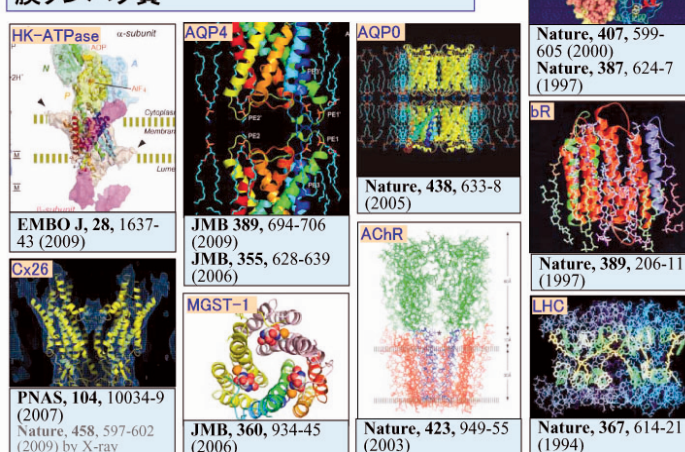


図2 これまでに、構造解析された膜タンパク質

P1 ヘリウム液面 2 次元電子のエッジ振動減衰のメカニズム

新井敏一^a, 山中修司^b, 西中川良平^c, 矢山英樹^b, 福田昭^d, 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 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^c 九州大学 理学院 物理学部門

^d 兵庫医科大学 物理学教室

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



垂直磁場中におかれた 2 次元電子系には、電子密度のゆらぎが電子系のエッジを伝わる低周波励起がある。これをエッジマグネトプラズモン(EMP)という。私たちの最近の研究で、電子系の閉じこめポテン

シャルを弱くすると新しい EMP 振動モードが出現することがわかってきた。閉じこめが弱いときに共鳴線幅が増大している(図 1)。新モードは、エッジの変形をともなう EMP である。これを検証する。

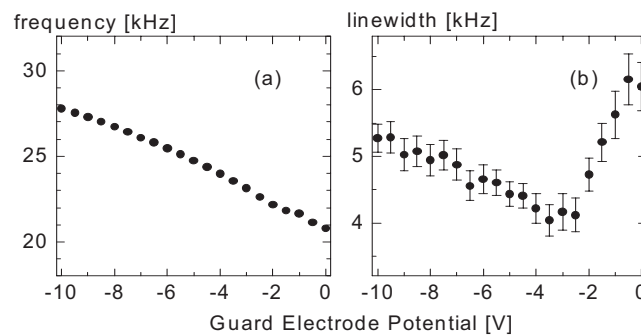


図 1 エッジマグネトプラズモン共鳴周波数(a)と線幅(b)。閉じこめポテンシャルが弱いときに線幅が増大する。

P2 2 層系 $\nu=1/3$ 分数量子ホール状態における量子輸送とソリトン格子相の探索

福田昭^a, 関川貴史^b, 岩田一樹^b, 小笠原良晃^b, 鄭仰東^c, 森川智喜^b, 津田是文^b, 新井敏一^c, 澤田安樹^c

^a 兵庫医科大学物理学教室, ^b 京都大学理学研究科,

^c 京都大学低温物質科学研究センター

E-mail : fuku@hyo-med.ac.jp



2 層系ランダウ準位占有率 $\nu=1$ 量子ホール状態は、層間位相に巨視的なコヒーレンスを持ち、複合ボソンのボース凝縮体あるいは正孔-電子対によるエキシトン超流動状態と考えられることが理論的に提案されている。一方、2 層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態は、電子に磁束を 2 本貼り付けた複合フェルミ粒子の 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態と考えられる。従って、2 層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態と 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態を実験的に比較検討することは極めて興味深い。我々は、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¹。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ドメイン構造が存在することを示すものである。本研究では、高移動度を持つ半導体 2 次元電子系試料を用いて、2 層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態と 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の量子輸送現象測定を行った。その結果、2 層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態のバランス状態近傍では $\nu=1$ 量子ホール状態と類似した振る舞いの励起が、1 層系極限では全く異なるが励起状態の振る舞いが観測されたので、これらについて報告する。また $\nu=1/3$ 量子ホール状態におけるソリトン格子相の探索についても展望したい。

P3 2層系 $\nu=2/3$ 量子ホール状態のスピンの励起の観察

鄭 仰東^a, 森川 智喜^b, 福田 昭^c, 津田 是文^b, 新井 敏一^a, 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

物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野 ^c 兵庫医科大学 物理学教室

E-mail : yd_zheng@ltm.kyoto-u.ac.jp



2層量子ホール系はスピンと擬スピン(層)の自由度があるので、最も低い Landau 準位に四つの電子準位が存在する、占有率 $\nu=2/3$ 又は $\nu=2$ の場合その中でどの二つの準位が電子に占められるのか、励起状態がどうなるのか興味深い問題である。これらの系の基底状態は SP-PU、SP-PP と SU-PP 三つの相があり (SP/PP:スピン/擬スピン偏極、SU/PU:スピン/擬スピン非偏極)^[1]、励起には skyrmion、vortex などのモードがあると理論的にも実験的にも示された。しかし今まで励起状態の研究は殆ど $\nu=2$ で、 $\nu=2/3$ の報告はまだ少ない。

本研究は層間トンネルエネルギー $\Delta_{\text{SAS}}=1$ K の GaAs/AlGaAs 2層量子井戸試料を用いて、磁気抵抗 R_{xx} と活性化エネルギー Δ の総電子密度 n_T 、層間密度差 σ 、面内磁場 $B_{||}$ 及び総磁場 B_{tot} などの依存性の測定によって $\nu=2/3$ 場合の基底状態の相、励起状態、特に skyrmion 励起の特性を調べる。今回はこの結果を報告する。図1は $\nu=2/3$ 時の R_{xx} の n_T と σ の依存性を示した実験データで、理論計算の通り、各相ははっきり観察できた。

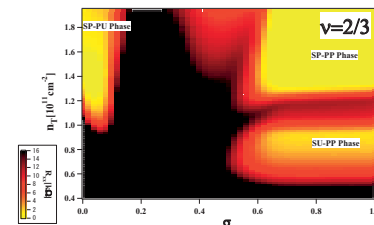


図1 磁気抵抗 R_{xx} の総電子密度 n_T と層間密度差 σ の依存性

P4 2層系 $\nu=4/3$ 量子ホール状態におけるヒステリシスの観測

津田 是文^a, 森川 智喜^a, 福田 昭^b, 鄭 仰東^c, 新井 敏一^c, 澤田 安樹^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 兵庫医科大学 物理学教室, ^c 京都大学 低温物質科学研究センター

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



2層系量子ホール状態は、層の自由度と層間相互作用により、多彩な現象が見られる興味深い系である。1層系 $\nu=2/3$ 量子ホール状態では、スピンの偏極が関わっているヒステリシスが見つかっており[1]、これに層の自由度が加わることでヒステリシスがどのように変貌するか興味深い。我々は2層系量子ホール効果の磁気抵抗測定を行い、 $\nu=4/3$ 状態の周りで巨大なヒステリシス現象を見つけた。図1は磁気抵抗が磁場の掃引方向によって変化している様子である。矢印は磁場の掃引方向を表しており、 $\nu=4/3$ を中心として磁気抵抗に大きなヒステリシスがあることが分かる。このヒステリシスのメカニズムを解明するため、磁場を $\nu=4/3$ 状態に相当する値の周りで固定し、磁気抵抗の時間変化を調べる実験を行ったところ、試料内部に核スピン偏極による有効磁場が形成されている可能性が示唆された。

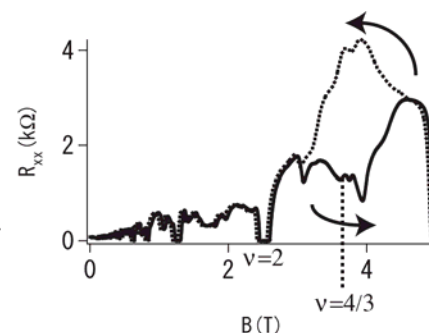


図1 磁場掃引に対する磁気抵抗 R_{xx} の変化

[1] S.Kronmüller *et al.*, Phys.Rev.Lett. **81**, 2526 (1998).

P5 トンネリングエネルギー1Kにおける二層系 $\nu=1$ 量子ホール状態について

— 総電子密度依存性および電子密度比依存性の観察 —

森川 智喜^a, 鄭 仰東^a, 福田 昭^b, 津田 是文^a, 新井敏一^c, 澤田安樹^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 兵庫医科大学 医学部 物理学教室, ^c 京都大学 低温物質科学研究センター

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



量子ホール状態とは、低温強磁場下の二次元電子面がホール抵抗量子化や磁気抵抗消失を起こした状態のことである。特に、磁束量子と電子の複合ボソンによるボース・アインシュタイン凝縮の一種だと見なされている二層系 $\nu=1$ 量子ホール状態は、一層系であれば本来は量子ホール状態にならない条件下での量子ホール状態として注目されている。我々はトンネリングエネルギー1K の試料を用い、

二層の総電子密度や電子密度比を変化させながら活性化エネルギーを測定した。図1は活性化エネルギーの総電子密度依存性を示しているが、高い総電子密度では活性化エネルギーが低くなっていることが分かる。交流会では、電子の同層間相互作用や異層間相互作用と我々の実験との関係を説明した上で、非量子ホール効果転移について議論したい。

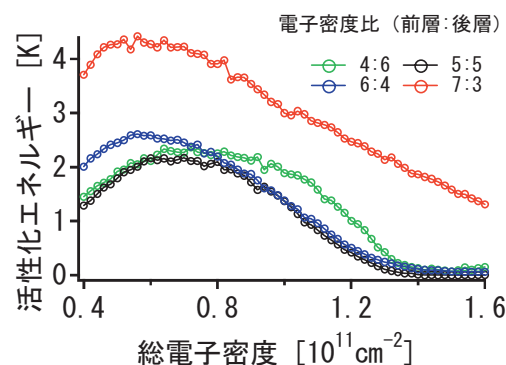


図1: 活性化エネルギーの総電子密度依存性

P6 化学的手法によるグラフェンナノリボン試料作製

^a 西中川 良平, ^b 新井 敏一, ^c 福田 昭, ^b 澤田 安樹, ^b 寺嶋 孝仁

^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, ^c 兵庫医科大学 物理学教室

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単層黒鉛のことである。十分小さいグラフェンの電子物性は端の構造に敏感である。そのため幅がナノサイズのグラフェンナノリボン(GNR)試料は、試料の幅や端の原子構造を変えることで電子物性が大きく異なると予想されている。

我々は X. Li らと同じ方法で GNR 試料を作成した[1]。膨張黒鉛を急激に加熱することにより単層、または数層のグラフェンに分かれる。その中から、リボン状の試料だけ取り出すというやり方である。図1は GNR の原子間力顕微鏡(AFM)像である。今回作成した GNR は幅 10nm~200nm、高さ 0.8nm~4nm、長さ 1 μ m~30 μ m である。端の効果が十分期待できる幅 10nm の試料も作ることができた。現在この作成した GNR 試料に電極を付ける作業が進行している。

研究会では試料作製の詳細と今後の研究計画について報告する。

[1] X. Li *et al.*, Science **319** 1229 (2008)

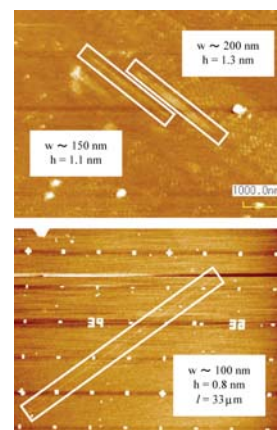


図1 GNR 試料の AFM 像。白い長方形で囲まれたのが GNR 試料。

P7 重い電子系超伝導体 CeCoIn_5 のエピタキシャル薄膜の作製と評価

宍戸寛明^a, 水上雄太^b, 安一樹^b, 芝内孝禎^b, 松田祐司^b, 寺嶋孝仁^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 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

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



f 電子を持つ Ce 化合物は強相関電子系の典型物質の一つであり、低温で電子の有効質量が自由電子の 1000 倍程度にも達する「重い電子系」を形成する。重い電子系は今まで知られている中で最も電子相関の強い系である。重い電子系の中には強い電子相関に起因して非従来型の超伝導を示す物質が知られており、30 年以上もの間研究されている。 CeCoIn_5 は 2000 年になって発見された重い電子系の超伝導体であるが、その超伝導転移温度 $T_c = 2.3$ K と従来知られていた重い電子系超伝導体の中では最も高いこと、全超伝導体の中で初めて低温・高磁場相で超伝導転移が 1 次相転移になっていること、超伝導相内の低温・高磁場領域で 2 次相転移が現れることなど、様々な興味深い物性が現れており、盛んに研究されている。我々は CeCoIn_5 の特異な超伝導状態について新たな知見を得るため、表面が良く制御され且つ微細加工が可能な薄膜の作製を分子線エピタクシー法を用いて行った。我々のグループを含む従来の研究では基板の結晶方位と CeCoIn_5 薄膜の結晶方位が揃ったエピタキシャル薄膜は得られていなかったが、今回、我々は格子のマッチングの良い基板上に成長することで、初めてこれを得ることに成功した。また我々の膜は電気抵抗率の振る舞い、 T_c などバルク単結晶を良く再現した。

P8 鉄系超伝導体 $\text{AEFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 純良単結晶の物性

笠原 成^a, 芝内 孝禎^a, 松田 祐二^c, 寺嶋 孝仁^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 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

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



鉄系高温超伝導体である AEFe_2As_2 系 ($\text{AE} = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$) のニクタイトは、As サイトを等価元素である P で置換することにより、化学的な価数操作を介したキャリアドープを伴わずに反強磁性的スピン密度波(SDW)状態が抑制され、 $\text{AE} = \text{Ba}$ において最高 31 K の超伝導が実現する。この超伝導は、結晶格子の変形、即ち、化学的圧力効果により誘起されると考えられ、キャリアが補償されたまま SDW 相から超伝導相までを系統的に得ることが可能な本系は、鉄ニクタイトにおける高温超伝導を理解する上で非常に重要なモデル物質となる。我々は、 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 純良単結晶の系統的な育成に成功し、電気抵抗率、ホール係数、磁気抵抗等の電子輸送現象における非フェルミ液体的振る舞い[1]、鉄砒素系超伝導体の固溶域として初となる dHvA 振動の観測、及び有効質量、フェルミ面の変化[2]、並びにフェルミ面上においてラインノードを伴う超伝導ギャップ構造の存在[3,4]を明らかにしてきた。本研究では、ごく最近育成に成功した $\text{SrFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 及び $\text{CaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 単結晶試料の物性と合わせてこの系の議論を行う。

尚、本研究は物理学第一分野・固体電子物性研究室の諸氏との共同研究による。

[1] S. Kasahara *et al.*, arXiv:0905.4427. [2] H. Shishido *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 057008 (2010).

[3] K. Hashimoto *et al.*, arXiv:0907.4399. [4] Y. Nakai *et al.*, Phys. Rev. **B** 81 020503(R) (2010).

P9 規則的ナノ構造を用いた新奇 ^3He 超流動状態の探索

戸田 亮^{a,b}, 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: rftoda@scphys.kyoto-u.ac.jp



^3He の超流動秩序変数は様々な対称性(相)を持ちうる。バルク体では A 相、B 相のみが実現されるが、コヒーレンス長($\xi=10\text{--}100\text{ nm}$)程度のスケールで壁面が存在する制限空間においては、その空間構造が相決定に対して重要な役割を果たすようになり、異なる対称性を持った超流動相が現れる可能性がある。たとえば ξ の数倍程度の直径を持つ細い円筒内では、Polar 状態が好まれると考えられ、ABM-Polar 混合状態や、純 Polar 状態の出現が理論的に予測されている[Y.H.Li and T.L.Ho, PRB **38**, 2362 (1988), A.L.Fetter, S. Ullah, JLT **70**, 515]。我々は、近年発展してきたナノ加工技術を用いて規則的な制限空間のみを含む観測空間を作成し、これまで発見されていない新しい相を実現することを目指している。 ^3He 超流動相の対称性は Pulsed-NMR によって詳しく調べることができる。しかし、制限空間中にある少量の ^3He を精度良く観測するためには、NMR 測定の感度をバルク液体の観測の場合より大幅に向上させる必要がある。このため、我々は SQUID を用いて従来よりも高感度な NMR 測定をできるようにすることを考えている。ポスターでは新奇超流動相が期待できる空間構造およびその作成方法、また、SQUID を用いた NMR 測定感度向上について議論を行う。

P10 超流動ヘリウム3中の長寿命 NMR 信号の減衰機構

金本 真知^a, 戸田 亮^{a,b}, 田中 祐輔^a, 尾上 わかな^a, 角田 智幸^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

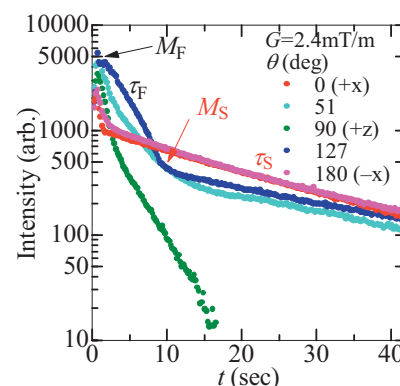
^b 京都大学 低温物質科学研究センター

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



超流動 ^3He における NMR 測定では非常に長寿命の高いコヒーレンスを持つ FID 信号が得られる。寿命は低温ほど長く、最長で 30 分以上にも及ぶ。そのためこの信号は persistent precessing domain (PPD) 信号と呼ばれる。不均一なポテンシャル中で空間的に分布した全く同じ位相を持つ磁化の歳差運動は、波数 0 のマグノンだけが大量に励起した、マグノン BEC と考えることができる。外部磁場と双極子相互作用に基づく周波数シフトはマグノンにとってポテンシャルとして働き、マグノン BEC はその底に溜まる。

我々はサファイアで出来たセルで超流動 ^3He を冷却し、任意方向に磁場勾配をかけることによりマグノン BEC の生成する場所を制御することに成功した。その結果、マグノン BEC の減衰機構が、温度に依存せず壁と接する部分のみで起こる速い減衰機構と、温度に強く依存し容器壁に接しない状況でも働く、マグノン BEC の表面で起こる減衰機構に分けられることが判明した。



30 度パルス後の FID 信号の振幅

P11 極微量 ^3He を含む固体 ^4He における振れ振り子と NMR の同時測定

尾上わか奈^a, 戸田亮^{a, b}, 金本真知^a, 角田智幸^a, 田中佑輔^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

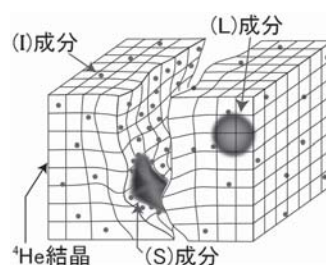
^b 京都大学 低温物質科学研究センター

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



振れ振り子測定による NCRI(非古典回転慣性)応答を根拠とする、固体 ^4He の超流動的振る舞いが注目を集めている。この応答に関しては極微量の不純物 ^3He に対する特異な濃度依存性が報告されており、我々は振れ振り子測定と同時に微量 ^3He に対する NMR 測定を行うことでこの現象の解明を目指している。

複数の ^3He 濃度の異なる(10~300ppm)試料に対する測定から、100mK 弱の相分離温度以下で ^3He はクラスターを形成すること、クラスターには緩和時間の異なる(S)成分と(L)成分と、またそれとは別に緩和時間が長くて観測できない(I)成分があることがわかった。時定数や結晶中での安定性などの違いから、(S),(L)成分がそれぞれ結晶の乱れた部分、均一な部分に形成されたクラスター、(I)成分が結晶全体に孤立して分布する ^3He 原子であると推測している。さらに各成分の量の ^3He 濃度依存性から、(S)成分が NCRI の抑制に寄与、すなわち(S)成分が分布すると推測する結晶中の乱れた部分が NCRI 応答を起こしているのではないかと考えている。



P12 空孔率 97.5%のエアロジェル中の超流動ヘリウム3の磁化率

田中 佑輔^a, 嘉戸 隆介^b, 尾上 わか奈^a, 角田 智幸^a, 金本 真知^a, 戸田

亮^{a, c}, 佐々木 豊^{a, 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 大阪市立大学理学研究科

^c 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : y.tanaka@scphys.kyoto-u.ac.jp



エアロジェルとは、全体積の数%を SiO_2 の鎖が絡み合ったものが占める物質である。エアロジェルの不純物効果でオーダーパラメータのギャップエネルギー Δ が抑制されるため、エアロジェル中の ^3He では、超流動転移温度 T_c の低下や、周波数シフト量の低下、B 相での磁化率変化の抑制などの効果が現れる。我々は空孔率 97.5%のエアロジェル中の ^3He についてこれらの量を測定した。磁化率の変化が空孔率 98%のときと比べて極端に小さいことや、周波数シフトしない成分があることから、全体の半分程度の ^3He は最低温でも超流動になっていないと考えられる。

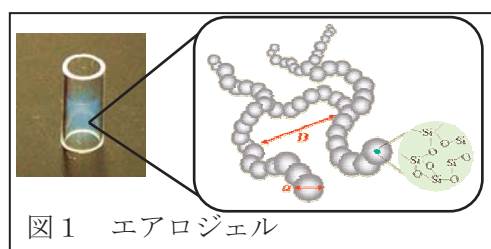


図1 エアロジェル

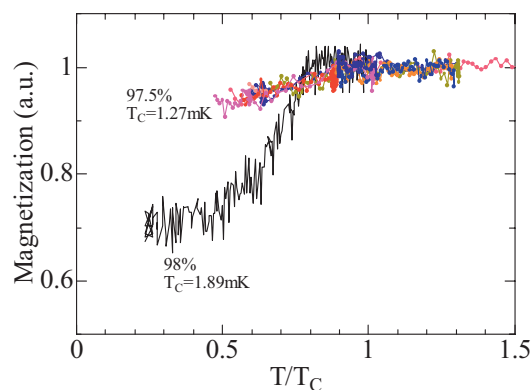


図2 磁化率の変化

P13 広帯域超音波トランスデューサーの開発

角田智幸^a, 戸田亮^{ab}, 金本真知^a, 尾上わか奈^a, 田中佑輔^a, 佐々木豊^{ab}

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 低温物理学研究室

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

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



固体 ^3He の U2D2 相において、150MHz 程度のエネルギーを持つと推測されている光学マグノンはまだに検出されていない。しかし、同程度のエネルギーを持つフォノンとの散乱過程が有意に存在すればフォノンの減衰率の周波数変化を連続的に測定することでその検出が可能になると考えている。測定の為の超音波トランスデューサーにはオフレゾナンスな領域でも使用できる高分子圧電素子のポリフッ化ビニリデン (PVDF) の薄膜を用いた。このフィルムは Al を片面に蒸着し、表面を研磨した金属製電極に貼り付けた。電極間のスペーサーには平行度の高いセラミック板を用いた。トランスデューサーの試験は常温常圧メタノールと 77K 3 気圧液体窒素媒質においてパルスエコー法で行った。室温では 40-130MHz において減衰率が周波数の 2 乗に比例する依存性を連続的に確かめた。液体窒素温度でも同様に、20-200MHz までの音波の信号が検出できた。PVDF の圧電特性は液体窒素温度以下でほぼ変化しないので、超低温度での測定にも使用可能であると思われる。

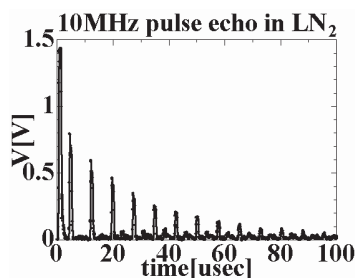


図 1: 10MHz pulse echo in LN2

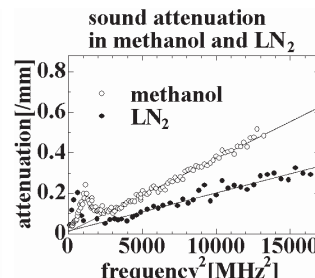


図 2: sound attenuation in methanol and LN2

P14 The First κ -type EDO-TTF and MeSEDO-TTF Complexes

邵 向鋒^{a,b,c}, 石川 学^c, 中野 義明^c, 矢持 秀起^c

^a 蘭州大学 化学化工学院

^b 京都大学 物質-細胞統合システム拠点

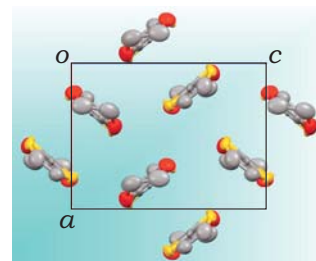
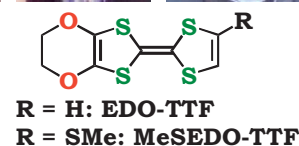
^c 京都大学 低温物質科学研究センター

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



(EDO-TTF) $_2$ PF $_6$ is known for the multi-instability of metallic state as well as for the ultra-fast and highly efficient photo-induced phase transition. The chemical modifications are carried out to find further functional materials.

The first κ -type complexes based on the title donor molecules, (EDO-TTF) $_2$ A $_x$ and (MeSEDO-TTF) $_2$ A $_y$ [A = Cu(NCS) $_2$, $x \approx 0.75$, $y \approx 0.60$] were obtained, in the conducting layer of which the face-to-face donor dimers were orthogonally packed (Fig.). Although the conductivities were almost temperature independent at around room temperature, the temperature dependences of magnetic susceptibilities exhibited round maxima which are typical for antiferromagnetically coupled low-dimensional localized spin systems. The possible electronic structures will be discussed.



(Fig.) Donor packing pattern in (EDO-TTF) $_2$ [Cu(NCS) $_2$] $_{-0.75}$.

P15 フラーレン二次元導体の電子構造

大塚 晃弘^a, Dmitry V. Konarev^b, Salavat S. Khasanov^c,

前里 光彦^d, Rimma N. Lyubovskaya^b, 矢持 秀起^a, 齋藤 軍治^e,

^a 京都大学 低温物質科学研究センター,

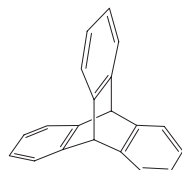
^b ロシア科学アカデミー 化学物理研究所, ^c ロシア科学アカデミー

固体物理研究所, ^d 京都大学 理学研究科 化学専攻, ^e 名城大学 総合研究所

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



孤立した中性 C_{60} 分子では三つの LUMO が縮退しているが、イオン化に伴うヤーン・テラー歪により、または固体中に取り込まれて低対称化することにより、軌道の三重縮退は解消されると一般には言われる。 $MDABCO^+ \cdot C_{60}^{\bullet-} \cdot TPC$ という C_{60} の一価アニオンラジカルが二次元面内で三角格子状に配列した結晶構造を持つ物質の特性を調べている。実際の結晶構造に基づく半経験的 MO 計算 (AM1) によると、三つの LUMO の分裂幅は 0.05 eV 未満と評価され、強結合近似によるエネルギーバンド幅よりも小さく、1/6 filled の金属的二次元伝導バンドが形成されていると我々は解釈している。

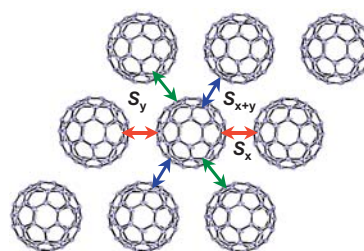


TPC



MDABCO⁺

TPC と MDABCO⁺ の構造



面内の三種類の相互作用

P16 (DMEDO-EBDT)₂PF₆ における電荷の不均化

中野 義明^a, 森川 徹^b, 白旗 崇^b, 宮本 久一^b, 御崎 洋二^b,

売市 幹大^c, 薬師 久彌^c, 矢持 秀起^a

^a 京都大学 低温物質科学研究センター

^b 愛媛大学大学院 理工学研究科

^c 分子科学研究所

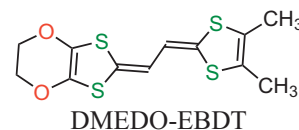
E-mail : nakano@kuchem.kyoto-u.ac.jp



(DMEDO-EBDT)₂PF₆ (**1**) は、185 K で金属-絶縁体転移を起こす。冷却に伴い、結晶学的に独立なドナー分子の数は、1 分子(300 K)、2 分子(200 K)、4 分子(150 K)と変化する[1]。すなわち、構造解析では 300 K において全ての DMEDO-EBDT 分子は均一な電荷を有していると考えられる。今回は、相転移機構を解明することを目的として、振動スペクトルを測定したので報告する。

Fig. 1 に室温で測定した **1** のラマンスペクトルを示す。C=C 伸縮振動である ν_{13} 、 ν_{15} モードと C-H 面内変角振動である ν_{27} 、 ν_{28} モードが観測された。また、各モードの振動数は、+1 価の DMEDO-EBDT 分子の振動数に近いことが分かった。このことは、構造解析の結果と異なり、室温においてすでに電荷の不均化が起きていることを示唆している。当日は、スペクトルの温度変化についても議論する。

[1] 白旗ら, 第 3 回分子科学討論会 3C07 (2009)



DMEDO-EBDT

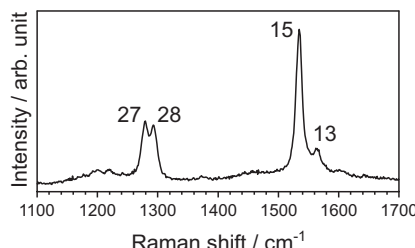


Fig. 1 Raman spectrum of **1** excited by a 568 nm laser at room temperature. The numbering j denotes the ν_j mode.

P17 EDO-TTF モノクロ誘導体の合成、構造および物性

石川 学^a, 中野 義明^a, 矢持 秀起^a

^a 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : m-ishikawa@kuchem.kyoto-u.ac.jp



著者らは超高速・高効率光誘起相転移等、特異な相転移を示す(EDO-TTF)₂PF₆ [1]を与える EDO-TTF に対する置換基

の電子的、立体的効果について検討している。今回は、そ

のビニル位に塩素原子を 1 つ導入した CLEDO-TTF を新

規に合成した。CLEDO-TTF は EDO-TTF-CO₂CH₃ の

Cl₃C-CF₃ による塩素化(収率~86%)と、それに続く脱炭酸(収率

>90%)を経て、実用的な収率で得られた。CLEDO-TTF 溶液

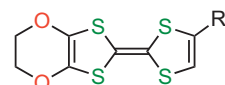
を PF₆⁻の共存下で電解酸化することにより、(CLEDO-

TTF)₂PF₆の単結晶を作製した。単結晶 X 線構造解析の結果、図 1 (CLEDO-TTF)₂PF₆にお

CLEDO-TTF は、head-to-tail 型のカラム構造を形成し(図

1)、カラム方向に弱い 2 量化が見られた。現在、比抵抗の温度依存性の測定や、バンド計算等による理論的解析を行っている。また、同組成の AsF₆ 塩や SbF₆ 塩も得られており、当日は、これらの合成法、結晶構造、物性の詳細について報告する予定である。

[1] H. Yamochi and S. Koshihara, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **10**, 024305 (2009)



R = H: EDO-TTF

R = CO₂CH₃: EDO-TTF-CO₂CH₃

R = Cl: CLEDO-TTF

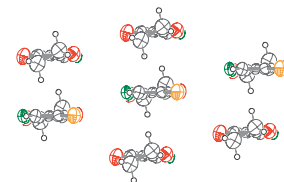


図 1 (CLEDO-TTF)₂PF₆におけるドナー分子配列

P18 混晶 [(EDO-TTF)_{1-x}(MeEDO-TTF)_x]₂PF₆ (x = 0.06–0.12) の相転移挙動

平松 孝章^{a,b}, 村田 剛志^c, 邵 向鋒^{a,b}, 中野 義明^a, 矢持 秀起^a, 賣市 幹大^d, 薬師 久彌^d, 田中 耕一郎^b

^a 京都大学 低温物質科学研究センター, ^b 京都大学 物質-細胞統合システム拠点, ^c 大阪大学 理学研究科, ^d 分子科学研究所

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



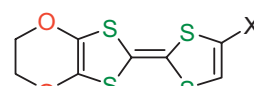
(EDO-TTF)₂PF₆は約 280 K でパリエルス転移、陰イオンの秩序—無秩序(AO)転移、電荷秩序化(CO)転移の機構が協同した特異な金属—絶縁体転移(M-I 転移)を起こす。これに MeEDO-TTF を少量導入した標題混晶では、混合比 x = 0.05 までは x = 0 と同様の機構で転

移が起きるが、x = 0.13 では CO 転移の様相が消失していた。このことから MeEDO-TTF

の導入により多重不安定性のうち CO 転移を選択的に抑制できることが明らかになった[1]。

本研究では、さらに CO 転移が消失するごく近傍の錯体における M-I 転移の挙動の精査を目的として x = 0.06~0.12 の混晶の検討を行った。温度可変 X 線構造解析の結果から、x = 0.09 近傍で機構の協同性が低下し、冷却に伴い AO 転移を伴うパリエルス転移が起きた後に更に低温で CO 転移が起きたと考えられる構造変化が見られた。さらにこれより大きな x では x = 0.13 と同様に CO 転移の様相は見られなかった。当日はこれに加えてラマンスペクトルの温度変化に関する結果も合わせて M-I 転移の詳細について議論したい。

[1] T. Murata et al., *Physica B*, (2010) in press (doi:10.1016/j.physb.2009.12.042).



X = H : EDO-TTF

Me : MeEDO-TTF

P19 TP-EDTT をドナーとする陽イオンラジカル塩の合成 およびその構造、物性に関する研究

西 駿明^{a, b}, 中野 義明^b, 売市 幹大^c, 薬師 久彌^c, 矢持 秀起^b

^a 京都大学 理学研究科 化学専攻分子性材料開拓・解析研究分野

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

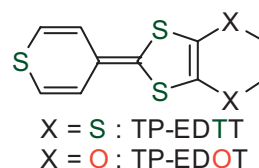
^c 分子科学研究所

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



TPDT は TTF と BTP のハイブリッドドナーであり、チオピラン環の硫黄により分子短軸方向や分子面に垂直な方向のみならず、分子長軸方向にも有効な分子間相互作用が期待できる。実際、既報の酸素類縁体 TP-EDOT は、末端の硫黄原子による分子長軸方向への分子間相互作用が見られる錯体を与えた[1]。本研究では、分子短軸方向の分子間接触の増大を目指して、TP-EDOT の酸素を硫黄に置換した TP-EDTT を用いて、種々の陽イオンラジカル塩を合成し、構造および物性の検討を行った。

(TP-EDTT)₂SbF₆ 中でドナー分子は Head-to-Tail 型で二量化し、この二量体が積層カラムを形成していた。導電挙動は半導体的であったが、ラマンスペクトルからは電荷分離は生じていないと解釈された。



したがって、本錯体はダイマーモット絶縁体であると考えられる。また、PF₆、AsF₆ を対成分とする錯体も得られており、当日は他の錯体についても議論する。

[1] H. Yamochi *et al.*, *J. Mater. Chem.*, 16, 550 (2006)

P20 長鎖多価不飽和脂肪酸の抗がん作用の研究

佐藤 智^a, 佐藤 翔^b, 川本 純^b, 栗原達夫^b

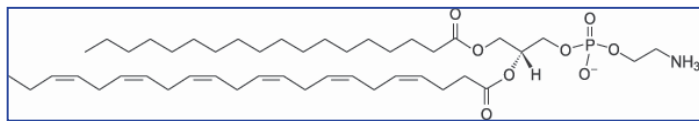
^a 京都大学低温物質科学研究センター 学際低温応用分野

^b 京都大学化学研究所 分子微生物科学領域

E-mail : sbsato@ltm.kyoto-u.ac.jp



脂肪酸は生体膜の基本構造であるリン脂質二重層の不可欠な成分である。リン脂質は直鎖脂肪酸をそなえ(下図は1例)、これらは一般に炭素数 16~18 で二重結合がないか、あってもせいぜい 1~2 個のみである。しかし生命にとっては、炭素数 20~22 で二重結合数 4~6 の長鎖多価不飽和脂肪酸も必須であり、制がん作用、炎症の緩和、アレルギーの抑制、さらに脳神経系の形成や記憶保持作用などとの関連が注目されている。特にドコサヘキサエン酸(DHA 図中下部)は、



物理的・化学的にユニークな特徴をそなえている。しかしその生物活性との関係は謎である。

我々は、低温を用いて DHA やその他の脂肪酸の誘導体を安定に調製し、その発揮する機能を分子科学的に解明する試みを開始した。がんは、細胞の遺伝子に変異するとともに、脂質関連の調節の異常化をとまって、組織から離脱・増殖することで悪性化する。本年は DHA をはじめとする長鎖多価不飽和脂肪酸の大腸がんに対する制がん作用を検証し、がん殺傷作用に必要な構造特徴、発がんの重要因子である活性酸素との関係などを研究した。その結果を紹介したい。

P21 Large enhancement of superconductivity in Sr_2RuO_4 by uniaxial pressure

谷口 晴香^a, 橘高 俊一郎^a, 米澤 進吾^a, 矢口 宏^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 東京理科大学 理工学部 物理学科

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

スピン 3 重項超伝導体 Sr_2RuO_4 の超伝導転移温度 T_c については、常圧下で 1.5 K であることや静水圧下で抑制されることは知られているが、一軸性圧力効果は明らかにされていなかった。本研究で我々はわずか 0.2 GPa の c 軸方向一軸性圧力下で Sr_2RuO_4 のオンセット T_c が急激に 3.2 K にまで上昇することを明らかにした。本発表ではこれらの結果を紹介し、 T_c 上昇の起源について議論する。

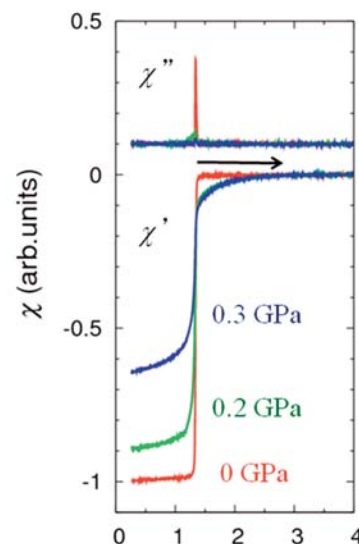


Fig.: Temperature dependence of AC magnetic susceptibility in Sr_2RuO_4 under uniaxial pressure along the c axis.

P22 ^{75}As -NMR で見る鉄系超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ におけるストライプ型スピン相関と超伝導の関係

北川俊作^{a,b}, 中井祐介^{a,b}, 家哲也^{a,b}, 石田憲二^{a,b}, 神原陽一^b, 平野正浩^{c,d}, 細野秀雄^{c,d,e}

^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 JST-TRIP、^c ERATO-SORST

^d 東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター

^e 東京工業大学 応用セラミックス研究所

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



$\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ は 2008 年に報告された超伝導体であり、 $x = 0.11$ でこの系で最高の超伝導転移温度 $T_c = 26\text{K}$ を示す。この鉄系超伝導体は T_c が高いことや磁性元素である Fe が超伝導に重要であることから現在多くの注目を集めている物質である。

我々は As 核の核磁気共鳴(NMR)を用いて超伝導と磁性の関係を微視的に調べている。

核スピン-格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性は F ドープによって大きく変化するが、 $x = 0.11$ 以下の常伝導状態の $1/T_1$ の異方性は $(1/T_1)_{ab}/(1/T_1)_c \sim 1.5$ とほぼ一定値をとる。これは中性子非弾性散乱の結果から示唆されるストライプ型の Fe スピン相関の存在で理解可能である。

ポスターでは $1/T_1$ の異方性の F ドープ依存性から超伝導とストライプ型スピン相関の関係について発表する予定である。

P23 NMR study on iron pnictide superconductors

LaFeAs(O, F) and BaFe₂(As, P)₂

中井祐介^{a, b}, 北川俊作^{a, b}, 家哲也^{a, b}, 石田憲二^{a, b}, 笠原成^c,
芝内孝禎^a, 松田祐司^a, 寺嶋孝仁^c, 神原陽一^b, 平野正浩^{d, e},
細野秀雄^{d, e, f}



^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 JST-TRIP, ^c 京都大学 低温物質科学研究センター, ^d JST ERATO-SORST,

^e 東工大フロンティア研究センター, ^f 東工大応用セラミックス研究所,

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

2008 年に発見された鉄系超伝導体は、銅酸化物超伝導体に次ぐ高い超伝導転移温度 T_c (最大で 55 K 程度)を示すことから、世界的に活発な研究が行われている。銅酸化物超伝導体と同様に、鉄系超伝導体でも磁性相と超伝導相が隣接して存在していることから、鉄系超伝導の発現機構の有力な候補として磁気励起が挙げられている。我々は、これまでに 1111 系とよばれる結晶構造をもつ LaFeAs(O,F)と、122 系と呼ばれる BaFe₂(As,P)₂に注目して、常伝導状態の磁気励起や超伝導ギャップの性質を核磁気共鳴法(NMR)を用いて研究を行ってきた。NMR は原子核スピンをプローブとして、電子スピンの状態を調べることができるため、磁気励起や超伝導の性質を調べるためのよい測定手法であることが知られている。本講演では、これまでに我々の研究で明らかになった LaFeAs(O,F)と BaFe₂(As,P)₂の磁気励起と超伝導の性質について発表する。

P24 鉄系超伝導体 BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ (0 < x < 0.33)の NMR による研究

家 哲也^{ab}, 中井 祐介^{ab}, 北川 俊作^{ab} 石田 憲二^{ab},

笠原 成^c, 芝内 孝禎^a, 松田 祐司^a, 寺嶋 孝仁^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 JST-TRIP

^c 京都大学 低温物質科学研究センター

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



最近発見された鉄砒素超伝導体では、銅酸化物高温超伝導体の場合と同様に磁気相近傍で超伝導が出現する。そのため超伝導の発現機構に対する磁氣的相互作用の関係性が指摘され、磁性と超伝導の関心に興味が集まっている。鉄砒素超伝導体の母物質である反強磁性体 BaFe₂As₂では、加圧や元素置換により磁気秩序・構造相転移が抑えられ超伝導が出現する。中でも我々は、As を等価数の P で置換することで超伝導を示す BaFe₂(As,P)₂系に注目し、P 核の核磁気共鳴(NMR)実験から、磁気相の性質、常伝導状態の磁気励起や超伝導ギャップ構造、さらに磁性と超伝導の境界領域について調べている。

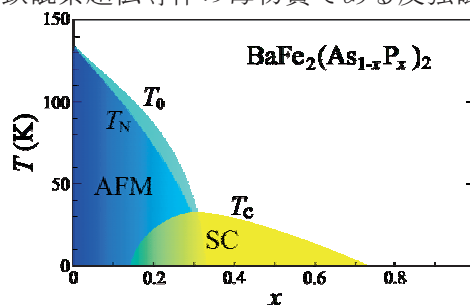


Fig.1 置換量 x に対する
BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂の相図 [1]

[1] S. Kasahara *et al.*, arXiv:0905.4427.

P25 Superconductivity in charge-carrier doped SiC

M. Kriener,¹ T. Muranaka,² J. Kato,² Z.A. Ren,² J. Akimitsu,² and Y. Maeno¹

¹Department of Physics, Grad. School of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

²Dep. of Physics and Mathematics, Aoyama-Gakuin University, Kanagawa 229-8558, Japan

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



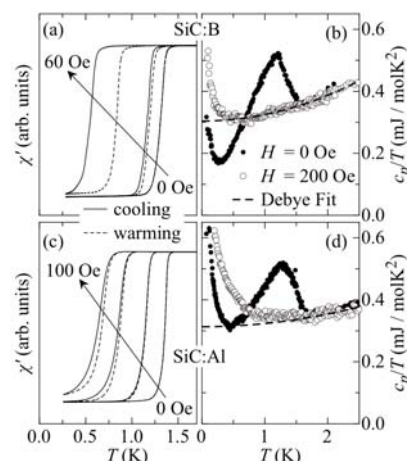
Silicon Carbide (SiC) belongs to the diamond-based family of superconductors originating from wide-gap semiconductors upon high charge carrier concentrations either by boron (SiC:B) [1] or aluminium (SiC:Al) [2] doping. Surprisingly both dopants lead to a superconducting transition temperature of about $T_c = 1.5$ K as indicated by sharp transitions in resistivity, DC, and AC susceptibility (Fig. 1 (a), (c)) [1]. Clear jump anomalies in respective specific heat measurements indicate that the superconductivity in both systems is a bulk feature (Fig. 1 (b), (d)) [3]. Note the very small absolute values of c_p/T ; high precision was required for the measurements.

Another surprising feature is a distinctive in-field hysteresis in resistivity and AC susceptibility measurements, a hallmark of type-I superconductivity (Fig. 1(a)). Since this hysteresis is almost absent in SiC:Al, it is unclear at the moment if the latter system is an intrinsic type-I or type-II superconductor. This presentation will give an overview of the superconductivity in SiC.

[1] Z.-A. Ren *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 103710 (2007).

[2] T. Muranaka *et al.*, unpublished.

[3] M. Kriener *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 024517 (2008) and unpublished.



P26 強磁性超伝導体 UCoGe における強磁性と超伝導の微視的共存

服部泰佑^a, 石田憲二^a, 中井祐介^a, 井原慶彦^a, 尾崎英祐^b,

田村暢之^b, 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 物質理学専攻(物理系),

^c東北大学 金属材料研究所

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



強磁性超伝導体 UCoGe は、常圧において 2.5 K で強磁性転移した後、0.8 K で超伝導転移を起こし、強磁性と超伝導が共存していると考えられる数少ない例である。従来の BCS 理論に従えば両者は共存しえないため、近年興味を持たれている。我々は純良な単結晶試料を Co-NMR/NQR 測定により調べている。これまでに、1) 強磁性転移温度以下で内部磁場を受けた信号のみが出ており、試料全体が強磁性になっていること、2) 強磁性転移温度以下で現れる強磁性信号の核スピン - 格子緩和率に超伝導の異常が見えたことから、強磁性と超伝導が“微視的”に共存していることを明らかにした。また、試料全体で生じる強磁性秩序に対して超伝導状態は空間的に非一様であった。これは、外部磁場がない状況でも自身の持つ強磁性秩序に由来して磁束が生まれる「自己誘導渦糸状態」が生じている可能性を指摘する。この自己誘導渦糸状態は理論的にはその存在が予言されているものの、確実な実験的証拠はまだない。これらの結果について紹介する。

P27 Superconducting properties of noncentrosymmetric 5d-electron system CaMSi_3 ($M=\text{Ir, Pt}$) and $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$

Gaku Eguchi^a, Darren C. Peets^a, Markus Kriener^a, Sachiko Maki^b, Eiji Nisshibori^b, Hiroshi Sawa^b, Shota Harada^c, Sk. Md. Shamsuzzaman^c, Yoshihiko Inada^c, G. -q. Zheng^c, Yoshiteru Maeno^a

^aDepartment of Physics, Graduate School of Kyoto University, ^bDepartement of Physics, Department of Applied Physics, Nagoya University, ^cGraduate School of natural Science and Technology, Okayama University

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



When a superconductor does not possess an inversion center, Cooper pairs cannot be classified into spin-singlet and spin-triplet due to parity mixing, and a variety of novel superconducting properties have been predicted. In this presentation the specific heat and magnetic properties of the recently discovered noncentrosymmetric 5d-electron superconductors CaMSi_3 ($M=\text{Ir, Pt}$) and $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$ ($x=0.84, 1$), the latter are believed to be spin-triplet dominant, are reported. For CaIrSi_3 ($T_c = 3.7$ K) and CaPtSi_3 ($T_c = 2.3$ K) the experimental results suggest that these superconductors belong a kind of conventional. For $\text{Li}_2(\text{Pd}_{0.16}\text{Pt}_{0.84})_3\text{B}$ ($T_c = 3.1$ K) its superconducting properties are revealed to be almost identical to those of $\text{Li}_2\text{Pt}_3\text{B}$ ($T_c = 3.1$ K). Nothing anomalous that seems to derive from the lack of inversion symmetry was observed in these 4 compounds. The details will be given in the presentation.

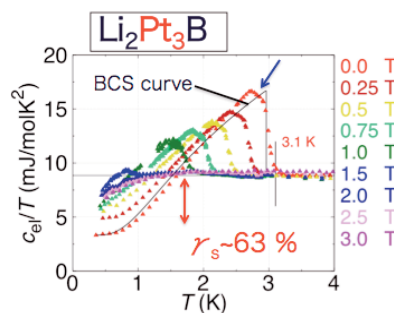


Figure 1. $\text{Li}_2\text{Pt}_3\text{B}$ electronic specific heat in various magnetic fields.

P28 アルカリドーピングフルライドCs3C60におけるモット転移近傍の超伝導と磁性の研究

Ihara Yoshihiko^a, Pawel Wiektek^b, Henri Alloul^b, D. Pontiroli^c, M. Mazzanci^c, M Ricco^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パリ南大学

^cパルマ大学

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



炭素原子 5 員環及び 6 員環を基本構造とするカーボンナノチューブ、グラフェン、フラーレンなどの炭素ナノ構造体は特徴的な結晶構造、電子構造を持っており、応用、実用化への発展だけでなく強相関電子系で引き起こされる基礎的物理現象の解明のためにも重要な情報を提供する。Cs をドーピングしたフルライド Cs_3C_{60} は常圧ではモット絶縁体であるが、5 kbar 程度の圧力により超伝導体へと転移する。この組成では C_{60} ボールが体心立方構造と面心立方構造を形成する二種類の異性体が存在するが、どちらも圧力下では超伝導転移を起こす。

一方で常圧における磁気状態は大きく異なっており、面心立方構造では幾何学的フラストレーションの効果により磁気転移温度が抑えられていると考えられる。これらの結果はナノ炭素構造体の物性を理解する上で、電子相関の効果を検討することの重要性を示している。

P29 鉄系高温超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の超伝導ギャップ構造

利根川 翔^a 笠原 成^b 橋本 顕一郎^a 勝股 亮^a 宍戸 寛明^b 山下 穰^a

寺嶋 孝仁^b 芝内 孝禎^a 松田 祐司^a

^a 京都大学 理学研究科 物理学第一分野 固体電子物性講座

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

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



現在、鉄系高温超伝導体において超伝導対称性が実験・理論ともに盛んに研究がなされている。この物質では電子構造においてホール面と電子面が存在することが知られており、両者のバンド間のネスティングによる反強磁性ゆらぎを媒介とした $s_{\pm}$ 波超伝導対称性が理論的に支持されつつある。この理論によると Fermi 面全体にわたってギャップが開いており、バンド間でギャップの符号が反転している。多くの鉄砒素系高温超伝導体の実験結果はこのフルギャップ構造を示唆している。

しかし、我々は BaFe_2As_2 の As を P で等価置換した $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 単結晶において磁場侵入長、熱伝導率の測定によりギャップにノード構造を持つことを明らかにした。超伝導転移温度が 30 K に達する高い値を持ちながらもラインノードをもつ鉄系高温超伝導体は $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ が初めてである。さらに我々は $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 単結晶を用いて鉄系高温超伝導のドープ域では初となる dHvA 振動の観測に成功した。当日は磁場侵入長、熱伝導率、dHvA 振動の測定結果をふまえて $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の超伝導ギャップ構造について議論したい。

P30 重い電子系化合物 CeIn_3 の次元性制御

— CeIn_3 / LaIn_3 人工超格子による重い電子の 2 次元閉じこめ—

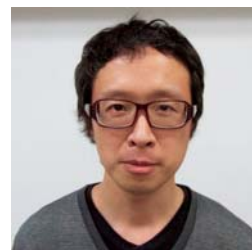
宍戸 寛明^{a,b}、芝内 孝禎^a、安 一樹^a、加藤 智成^a、紺谷 浩^c、
寺嶋 孝仁^b、松田 祐司^a

^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

^c 名古屋大学 理学研究科 物理学専攻

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



f 電子を持つランタノイドやアクチノイドの化合物には、強い電子間の相互作用のために有効質量が増大した「重い電子」状態になるものがある。重い電子系の物質は非従来型の超伝導や磁性などの興味深い性質を示し、世界中で精力的に研究されている。

重い電子が 2 次元に閉じ込められると、揺らぎの増大により電子状態が大きく変化することが期待される。しかし、これまでに発見されている重い電子系の物質は全て 3 次元の電子状態であり、重い電子が 2 次元でどの様に振る舞うかは未解決の問題である。

我々は今回 MBE (分子線エピタキシー) 方により、f 電子を持つ反強磁性体 CeIn_3 と f 電子を持たない非磁性体 LaIn_3 とを交互に積層させた、人工超格子薄膜の作製に世界で初めて成功した。 CeIn_3 を薄くするにつれ、反強磁性転移温度が低くなるなどの物性の変化が見られた。

H. Shishido *et al*, Science **327** (2010) 980.

P31 重い電子系超伝導 URu_2Si_2 の下部臨界磁場測定

下澤 雅明^a, 岡崎 竜二^a, 宍戸 寛明^a, 山下 穰^a, 芝内 孝禎^a, 松田 祐司^a,
Marcin Konczykowski^b, 芳賀 芳範^c, 松田 達磨^c, 大貫 惇睦^{c,d}

^a京大院理, ^bEcole Polytechnique, ^c原子力機構, ^d阪大院理

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



URu_2Si_2 は $T_h = 17.5 \text{ K}$ で未だに秩序変数が分かっていない「隠れた秩序」へと相転移し、その後 $T_c \sim 1.4 \text{ K}$ で超伝導に転移する。その超伝導状態は、純良な単結晶を用いた熱伝導率測定から従来の超伝導体とは異なる発現機構をもったカイラル d 波対称性が提唱されている。このような新奇超伝導の理解を深める上で新たな測定法を用いて対称性を議論することは非常に重要である。

そこで今回我々は、微小ホール素子アレイを用いて各場所における局所磁化測定を行い、磁束のピン止め効果による磁束の侵入磁場の場所依存性を考慮に入れて下部臨界磁場を評価した。ここで下部臨界磁場は超伝導の基本的なパラメータであり、超伝導の対称性を議論するために重要である。下部臨界磁場の温度依存性は従来の超伝導とは異なり、低温で飽和しない振る舞いを示すことから超伝導ギャップにラインノードの存在が示唆される。また新たな異常として $T_Q = 1.2 \text{ K}$ で明確な kink 構造が明らかとなった。これも従来では見られない特異な振る舞いであり、 URu_2Si_2 の特異な超伝導対称性を反映した結果と言える。

当日は下部臨界磁場の詳細について報告する。

P32 LaCoAsO を中心とした層状化合物遍歴強磁性体の研究

太田 寛人, 道岡 千城, 吉村 一良

京都大学 理学研究科 科学専攻 金相学研究室

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



層状化合物 LaCoAsO は鉄系超伝導体の母物質 LaFeAsO と同じ結晶構造を有し、キュリー温度 $T_C=55\text{K}$ の遍歴電子強磁性体である。二次元伝導面である CoAs 層において Co が正方格子を形成し、 Co の $3d$ バンドの電子が遍歴強磁性を示す。

最近 La サイトの元素をより重い $\text{Ce}\sim\text{Gd}$ に変えたところ、これらの元素の $4f$ 局在電子の磁気モーメントと Co の遍歴電子の間の相互作用に起因すると考えられる様々な磁気秩序状態が実現していることが分かってきた。例えば SmCoAsO や NdCoAsO では $T_C=70\text{K}$ にて強磁性相転移を起こし、さらに低温(Sm で 42K , Nd で 14K)において反強磁性状態に相転移する。

当日の発表では、これらの La サイト置換系の最近の研究結果、および LaCoAsO に関する強磁性スピン揺らぎの研究の進展、さらに NMR による微視的な研究について報告する。

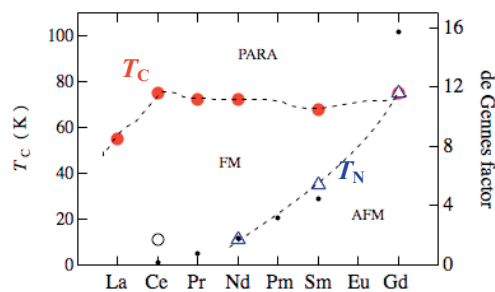


図: LnCoAsO の磁気相図.

P33 Sr-T-Ge 3 元系化合物の合成と物性

那波 和宏, 道岡 千城, 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: knawa@kuchem.kyoto-u.ac.jp



アルカリ土類金属, 遷移金属, ゲルマニウムの 3 元系化合物は二次元的な結晶構造を有するものが多く, 低次元物性の観点から興味深い。この 3 元系化合物の示す物性を明らかにするため, Sr-Ni-Ge [1,2] の 3 元系化合物及び多種にわたる遷移金属元素 T から構成される化合物系 SrT_2Ge_2 [2] に注目して研究を行った。合成はアーク溶融法にて行い、磁化測定による磁性の研究を行った。

図に示すように Sr-Ni-Ge 3 元系化合物では SrNi_2Ge_2 はキュリーワイス則に従う温度変化を示し, SrNi_3Ge_2 , SrNiGe_2 , SrNi_2Ge_2 の磁化はほとんど温度変化を示さなかった。一方, SrMn_2Ge_2 や SrCo_2Ge_2 は磁化曲線にヒステリシスを生じる強磁性的な振る舞いをみせた。これらの磁化測定の結果からは, 結晶構造は電子相関に, 組成や遷移金属元素の相違は状態密度の大きさに大きな影響を与えていると考えられる。

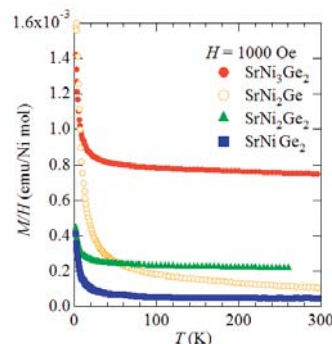


図 Sr-Ni-Ge 3 元系化合物の磁化率

[1] V. Hlukhyy, *et. al.*, Z. Anorg. Allg. Chem. **634** (2008) 2316

[2] W. Dorrscheidt, *et. al.*, Z. Naturforsch. **31B** (1976) 890

P34 PbO-type FeSe の合成と物性

川真知, 楊金虎, 太田寛人, 道岡千城, 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 : kawa@kuchem.kyoto-u.ac.jp

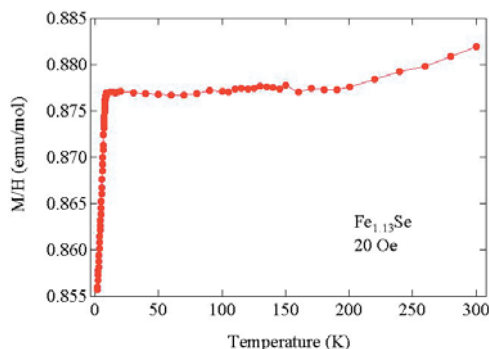


LaFeAsO を始めとする鉄ニクタイトをベースとした超伝導体の関連物質として、PbO-type FeSe (以下 FeSe) がある。

今回、仕込みの組成が Fe_xSe ($0.98 < x < 1.17$) となるように FeSe を合成し、超伝導性を中心とした物性を測定した。仕込みの鉄の組成が $1.09 < x < 1.15$ の範囲ではほぼ単相の試料が得られ、それらは $T_c = 8.5 \text{ K}$ で超伝導を示した。

また、転移温度よりも高温側の磁化を調べたところ、磁化に不純物 Fe_3O_4 による影響が見られた。そのため、合成の際に Ti を用いて鉄を還元し Fe_3O_4 を除いた試料を作成したところ、その磁化率の温度依存性は図のようになり、反強磁性的な相互作用の存在が示唆されることが明らかになった。これは今井らによる FeSe の ^{77}Se -NMR 測定でのナイトシフトのふるまいともよく似ている[1]。

当日の発表では、相図や超伝導性等の物性の組成依存性に関して及び不純物を除いた FeSe の本質的な磁化について詳細に報告する予定である。



[1] T. Imai, *et al.* Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 177005

P35 FeTe およびその周辺物質の合成と物性研究

松井 まみ, 楊 金虎, 太田 寛人, 道岡 千城, 吉村 一良

京都大学大学院 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

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



PbO 型 FeSe は Fe に Se が四面体配位した FeSe 層が積層した擬二次元層状構造を形成しており、新規鉄系超伝導物質の中では最も単純な構造を有するものである。一方、PbO 型 FeTe はこれと同じ構造を持つが超伝導を示さず、65 K 付近で構造相転移と反強磁性転移を起こし、更に PbO 型 FeTe の Te の一部を Se で置換すると超伝導を示す。

今回我々はこの系の単結晶の合成、物性測定を行った。図では単結晶の (00l) ピークのみが見えている。さらに微視的な状態を調べるために NMR 測定を行った。その結果、FeTe_{1-x}Se_x の超伝導は強相関系に特有の非 BCS 型であることが明らかになった。当日の発表では、これらについて報告する。

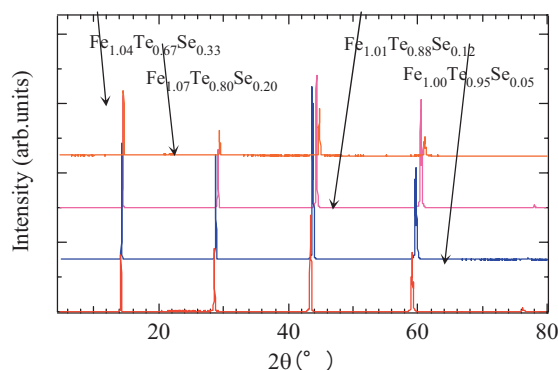


図: FeTe_{1-x}Se_x の XRD パターン

P36 Fe₃GeTe₂ の合成と磁性

陳斌、楊金虎、太田寛人、道岡千城、吉村一良

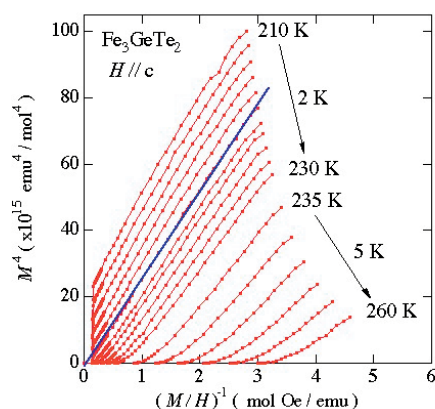
京都大学 理学研究科 化学専攻

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



Fe₃GeTe₂は2005年発見された層状構造を持つ、キュリー温度が230Kの強磁性体である。結晶系は六方晶系であり、空間群はP6₃/mmcに属す。結晶構造はTe層-FeGe層-Te層の積層構造になっている。磁性という立場で見ると、二次元遍歴磁性を示す可能性を持つ興味深い物質である。この物質の詳細な磁気的性質を明らかにするため、化学輸送法を用いて単結晶試料合成を行い、SQUID磁束計による磁化測定を行った。

単結晶試料磁化測定の結果、その物質は大きな磁気異方性を持ち、容易軸はc軸であることが分かった。そして、自発磁化と有効ボーア磁子はそれぞれ1.6 μ_B/Fe、4.6 μ_B/Feと見積られた。測定した磁化のデータに対して、M⁴-H/Mのような形にプロットすると、右図に示すようによい直線になることが分かった。そして座標原点をとる温度からキュリー温度が220 Kと評価できた。当日の発表ではSCR理論及びTakahashi理論による定量的な解析結果を詳しく報告する予定である。



P37 Magnetic Properties of Single Crystals of Pseudobinary $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Te}_{0.85}$ System

Jinhu Yang, Mami Matsui, Hiroto Ohta, Chishiro Michioka and Kazuyoshi Yoshimura

Department of Chemistry, Graduate School of Science, Kyoto University
yangjinhu@kuchem.kyoto-u.ac.jp



The recent discovery of superconductivity in iron-based layered compounds has attracted a great deal of research interests. In contrast to the other iron-based superconductors, FeCh belongs to $P4/nmm$ space group and has the simplest structure. FeSe is a superconductor with T_c of 8 K. Interestingly, theoretic calculation indicated that the spin density wave is more stable in FeTe than that in FeSe, and therefore a much higher T_c was expected in FeTe by substitution or other ways.

Single crystals of $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Te}_{0.85}$ have been synthesized successfully with $x = 0, 0.02, 0.03, 0.05$ and 0.10 . The cobalt can be substituted for the iron site as $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Te}_{0.85}$ up to a solubility limit of $x = 0.10$, above which an impurity phase was observed. We obtained the intrinsic susceptibilities of these samples by Honda-Owen plot. The antiferromagnetic transition temperature decreases from about 70 K ($x = 0$) to 34 K ($x = 0.05$) with increasing the Co substitution level. Superconductivity was not discovered in this series, but a spin-glass like behavior was observed in 5% substituted sample.

P38 実空間におけるプロトン移動の観測

奥山 弘^a, 熊谷 崇^a, 八田 振一郎^a, 有賀 哲也^a,
濱田幾太郎^b, 森川良忠^c

^a 京都大学 理学研究科 化学専攻

^b 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

^c 大阪大学 工学研究科 応用物理学専攻

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



走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて、6 K の Cu(110)表面上に吸着した水分子から、水酸基2つと水分子1つからなる水素結合複合体を作成した(図1)。この複合体に電圧を印加することにより、2つの水素原子が水素結合と共有結合を入れ替え、酸素原子間を移動することが明らかになった(図1)。水溶液内や生体反応において、プロトンは水素結合を介して高速にリレー移動することが知られており(グロータス機構)、今回我々はプロトン移動のモデルを実空間において作成し、その反応を可視化することに成功した。さらに、酸素原子4つと水素原子5つからなる同様の複合体を作成し、3重のプロトン移動反応も観測した。

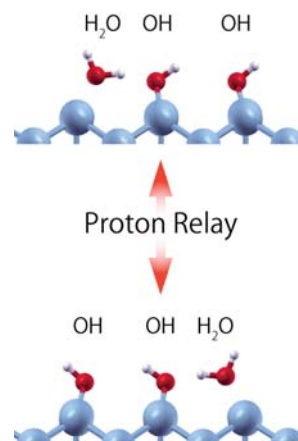


図1 プロトン移動反応

P39 水チャネル Aquaporin-4 と速い水選択透過機構

谷 一寿^a, 三瀨 忠典^a, 廣明 洋子^a, 亀川 亜希子^a, 西川 幸希^a,
藤吉 好則^{a, b}

^a 京都大学 理学研究科 生物科学専攻 生物物理学教室

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : tani@em.biophys.kyoto-u.ac.jp

水を選択的に通す穴（チャネル）としてアクアポリン-1(aquaporin-1; AQP1)が、ヒト赤血球において発見されてから、AQP ファミリーが細菌から哺乳類まで広く存在し、ヒトでは AQP0 から 12 までの 13 個の遺伝子を保持していることがわかってきた。その中で脳の水代謝に大きく関わっているとされる AQP4 は、速い水の透過性を持つことが知られている。2006 年に我々のグループは、液体ヘリウムステージを備えた極低温電子顕微鏡と二次元結晶を用いた構造解析（3.2 Å 分解能）から細胞接着性も持つことを示唆し、機能実験によって確認した(*J.Mol.Biol.*,**355**:628)。その後、変異を加えた遺伝子(180 番目のアミノ酸 Ser を Asp)を用いることで、結晶性の向上が見込めることが判明し、現在 2.8 Å 分解能の立体構造を決定でき水分子や脂質分子も可視化することに成功した(*J.Mol.Biol.*,**389**:694)。本発表では、チャネル内の水分子に着目して立体構造情報に基づいた速い水選択透過機構についての報告を行う。

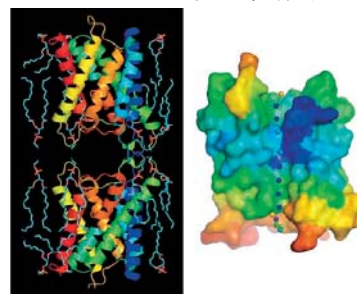


図1 AQP4 の立体構造

P40 Structures of connexin26 mutants demonstrate a global flexibility of subunits and N-terminal

Atsunori Oshima¹, Kazutoshi Tani¹, Masoud M. Toloue², Yoko Hiroaki¹, Amy Smock³, Sayaka Inukai¹, Bruce J. Nicholson², Gina E. Sosinsky³ and Yoshinori Fujiyoshi¹

E-mail: atsu@em.biophys.kyoto-u.ac.jp

1. Department of Biophysics, Faculty of Science, Kyoto University
2. Department of Biochemistry, University of Texas Health Science Center at San Antonio
3. National Center for Microscopy and Imaging Research, Department of Neurosciences, University of California, San Diego



Gap junction channels are unique in that they possess multiple mechanisms for channel closure, however, structural insights into the gating mechanism have been limited by the lack of isolation of closed versus open channels for each gating mechanism. Here, we present three dimensional maps of the mutant connexin26 (Cx26M34A) and an N-terminal deletion of this mutant (Cx26M34Adel2-7) at 6 and 10 Å resolution, respectively, determined by electron crystallography. Three of the six connexin subunits in the Cx26M34A hemichannels have non-equivalent configurations resulting in a departure from strict hexagonal symmetry. The volume of the density seen in the pore of the Cx26M34A channels is prominently decreased in the Cx26M34Adel2-7 pore, but a slim density still resides. A projection map of Cx26 wild type (Cx26WT) channel at 10 Å resolution and crystallized under conditions promoting a closed state reveals a density in the pore that is weaker than the Cx26M34A plug, however the high variance peak from the crystallographic averaging indicates that the Cx26WT N-terminus is very flexible. The fitting of a recent X-ray crystallographic structure of Cx26 into the Cx26M34A and Cx26M34Adel2-7 2D crystal maps reveals radial shifts of the transmembrane helices toward outside of the channel. This movement of the six monomers within each of the two hemichannels may reflect a difference between an open state (3D crystals) and a closed state (2D crystals), but also reflects that in the 2D crystals, the channels are surrounded by two lipid bilayers. In addition, the channels in the 2D crystals show complex structural features at cytoplasmic side distinct from the 3D crystal structure. Thus, flexibility of inter subunit interactions and rearrangement of an N-terminus to form a “plug” create a closed channel for the M34A mutant.

P41 電子線トモグラフィによる電気シナプス結合部位の三次元構造の観察

太田安美^a、西川幸希^b、小林一美^c、廣明洋子^a、平井照久^d、藤吉好則^a

^a 京都大学 理学研究科 生物科学専攻、^b 社団法人 バイオ産業情報コンソーシアム、^c 日本電子株式会社、^d 理化学研究所播磨研究所放射光科学総合研究センター

E-mail : ohta@em.biophys.kyoto-u.ac.jp

電子線トモグラフィは、透過電子顕微鏡で撮影した連続傾斜像をコンピュータ解析し、三次元再構成像を構築する技法である。我々は神経細胞間の情報伝達の解明のため、この技法を用いて情報伝達の間であるシナプスを立体的に可視化した。生物試料は電子線損傷を受けやすい上、トモグラフィは同じ試料に対して連続傾斜像を撮影する必要があるため照射電子線量が多くなってしまふ。この問題を解決するために極低温電子顕微鏡を用いたが、同時に非晶質の氷で包埋した非固定、非染色の生体環境を維持した状態を観察できる利点もある。図 1 はラット前脳の電気シナプスの三次元再構成後のスライス断面像である。脂質二重膜が分離して見える分解能で膜に規則的に並ぶ電子密度と膜間隔 3~4nm を保つ gap 結合と考えられる構造が広範囲で得られた。また、極低温電子顕微鏡を用いないでアメリカザリガニの電気シナプスの三次元再構成像も得られたので比較検討する。

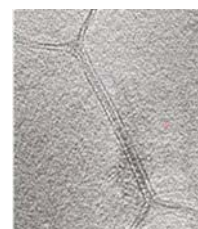


図 1

P42 極低温電子顕微鏡による胃プロトンポンプの立体構造解析

阿部 一啓、谷 一寿、藤吉 好則

京都大学 理学研究科 生物科学専攻 生物物理学教室

E-mail : ikkei@em.biophys.kyoto-u.ac.jp

食物消化時の胃内腔の pH は胃プロトンポンプ($H^+,K^+-ATPase$)による H^+ の輸送、すなわち胃酸の分泌によって約 1 にもなる。この強酸性の環境は消化にとって重要であるばかりでなく、バクテリアなどの感染に対する最初のバリアとしても機能する。 $H^+,K^+-ATPase$ はどのようにして、細胞内外での pH 差にして 6、つまり約 100 万倍($\times 10^6$)もの H^+ 濃度勾配を作り出すのかを明らかにする為に、我々は極低温電子顕微鏡を用いた構造解析を行った。 $H^+,K^+-ATPase$ の二次元結晶を作成し、氷埋包したサンプルを液体ヘリウム温度に冷却できる極低温電子顕微鏡を用いて撮影、結晶学に基づき解析した。得られた $6.5\text{\AA}$ の立体構造から、この分子に特徴的な $\alpha\beta$ サブユニット間での相互作用を見出した。変異体による酵素化学的解析結果から、この相互作用が H^+ を胃内腔に輸送するステップにおいて逆向きの反応を防止する、いわばラチェットのような働きをしていることが示唆された。細胞内外での非常に大きな H^+ 濃度勾配は、イオン輸送反応を逆行させる強い圧力となる。 $H^+,K^+-ATPase$ は分子内にラチェットを備えていることで、 H^+ の逆流を防ぎ、他のアイソフォームには実現できない 100 万倍ものイオン濃度勾配を形成できると考えられる。

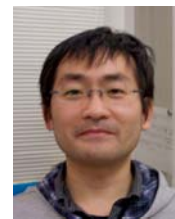
P43 量子スピンプイロクロア反強磁性体 Cu_2OCl_2 の NMR

西山 昌秀^a, 伊藤 哲明^a, 小山田 明^a, 前川 寛^a, 岡部 博孝^b, 秋光 純^b

^a 京都大学大学院 人間・環境学研究科 前川研究室

^b 青山大学 理工学部

E-mail : nishiyama.masahide@kt3.ecs.kyoto-u.ac.jp



Cu_2OCl_2 は $s=1/2$ をもつ Cu^{2+} が磁性を担う反強磁性体であり、遷移金属系パイロクロア格子反強磁性体の候補と考えられている。 μSR で $T_N=70\text{K}$ 以下での長距離秩序化が報告されているが、磁気構造の詳細はまだわかっていない。加えて、 T_N 以下でスピンの大きな揺らぎ、または、一様でない局所磁場の存在が指摘されている。我々は Cu_2OCl_2 が量子スピンプイロクロア反強磁性体と考えられることに興味を持ち、 $^{35,37}\text{Cl-NMR}$ と零磁場での $^{63,65}\text{Cu-NMR}$ を行っている。 $^{63,65}\text{Cu-NMR}$ スペクトルより、 9T の内部磁場と 25MHz 程度の電場勾配による分裂が観測された。 Cu のモーメントの大きさは一様であり、磁気構造は結晶構造の対称性を破っていないことがわかった。このような条件を満たす spin 構造は右図のような 2 種類が考えられる。反平行な spin 構造を取らないことはフラストレーション効果によると考えられる。一方、spin 格子緩和率は低温で温度に比例し、これは、大きな spin 揺らぎの存在を示唆し、 μSR で報告されている大きな揺らぎと対応する。

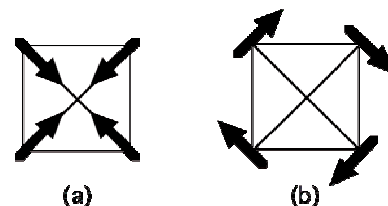


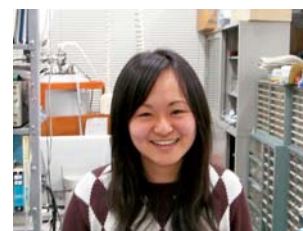
図 四面体を上から見たときの spin 構造

P44 パイロクロア磁性体 $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ の高温における遅いスピンドイナミクス

海淵朋未^a 田代大志^a 伊藤哲明^a 西山昌秀^a 小山田明^a
前川寛^a 松平和之^b

^a 京都大学 人間環境学研究科 ^b 九州工業大学 工学研究科

E-mail: tomomi.k@aw2.ecs.kyoto-u.ac.jp



$\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ は大きな磁気モーメントをもつ $4f$ 電子系イオン Dy^{3+} が四面体の頂点に位置し、その頂点を共有して結合したパイロクロア格子磁性体であり、スピンプラストレーションが生じる。このような f 電子系イジング型磁性体では、“遅いスピンドイナミクス” がしばしば観測されており、フラストレーションとの関連が議論されている。

一般に、spin 間相互作用の大きさよりはるかに高い温度では、spin は自由で第一近似では孤立しているとみなせ、フラストレーションの効果も非常に小さい。このような高温では、spin 間の相互作用により、上向き spin と下向き spin の準位間で時間 τ での飛び移りがある状態となっており、 τ は J^{-1} に比例する。また、核磁気共鳴の理論から、緩和率 T_1^{-1} は相関時間 τ に比例する。したがって、フラストレーションの効果が働いていない高温域で、 T_1^{-1} は J で決まる一定値をとると予想される。

ところが、 150K 以上の高温域で、 Sn 核の緩和率 T_1^{-1} を測定したところ、温度が低下するにつれて T_1^{-1} が増加するという温度依存性を見出した。すなわち、フラストレーション効果が働いていない温度域で温度低下に伴い、 τ の増大、つまり spin の揺らぎが遅くなっていることが示されたわけである。

したがって、 f 電子パイロクロア格子磁性体でしばしば観測される“遅いスピンドイナミクス” は、すべてフラストレーションに帰着されるわけではないと結論できる。それ以外の効果、具体的には、強いイジング性の影響もこの“遅いスピンドイナミクス” に寄与していると考えられる。

P45 量子スピン系かごめ格子反強磁性体 $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ の NMR・NQR

田代 大志^a, 西山 昌秀^a, 小山田 明^a, 伊藤 哲明^a, 前川 覚^a,
矢野 みどり^b, 小野 俊雄^b, 田中 秀数^b

^a京都大学 人間・環境学研究所 ^b東京工業大学 物理学専攻

E-mail: h.tashiro@fs7.ecs.kyoto-u.ac.jp



量子スピンかごめ格子反強磁性体の基底状態はシングレット状態であり、基底状態とトリプレット励起状態との間にスピギャップがあると推測されている。またかごめ格子反強磁性体にはスピン間にジャロシンスキー・守谷相互作用が働いていると予想されている。今回我々は $s = 1/2$ の磁性イオン Cu^{2+} がかごめ格子を形成し反強磁性的に結合している $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ の単結晶を使って 1K~300K の温度域で ^{19}F -NMR 及び $^{63,65}\text{Cu}$ -NQR 測定を行った。 ^{19}F -NMR スペクトルは低温まで非常に鋭く、またスピン・格子緩和率はその核種においても一様に減少し、1K に至るまで秩序化は起きない。 ^{19}F -NMR スペクトルにおいて低温で現れる複数のピークのシフトは温度降下とともに増大し、スタaggeredな横磁化が発生していることがわかった。これらのシフトが磁場に比例することから、横磁化は磁場誘起であると考えられる。以上のことから、我々はこの系においてスピンの量子性とジャロシンスキー・守谷相互作用によりスタaggeredな横磁化が発生することを明らかにした。スピン・格子緩和率から得られたスピギャップの大きさは 50K であり、磁化率から得られているスピギャップ 20K と異なる値であるが、これは励起状態における分散によるものであると考えられる。

P46 有機三角格子 Mott 絶縁体 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の 量子スピン液体状態における対称性の破れ

久保田 健朗^a, 伊藤 哲明^a, 山下 和也^a, 小山田 明^a, 西山 昌秀^a,
前川 覚^a, 久保 和也^b, 山本 浩史^c, 加藤礼三^c

^a京大人間・環境学研究所, ^b東北大理学研究科, ^c理化学研究所

E-mail : k.tatsuro@kt5.ecs.kyoto-u.ac.jp



量子液体は金属中の電子やヘリウムにおける超伝導や超流動のように、古典力学からは予期できない新奇な対称性の破れがある。近年、量子スピン液体と呼ばれる新たな量子液体がフラストレートスピン系で発見されている。そのスピン液体状態において、新奇な対称性の破れがあるのかどうかは、大きな関心の一つである。そこで我々は、 $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ 分子が強く二量化してスピン $1/2$ を持ち三角格子を組んだ有機 Mott 絶縁体 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ において ^{13}C 核の NMR 実験を行い、スピン・格子緩和率 T_1^{-1} および共鳴スペクトルの測定を行った。この物質は磁化測定から交換相互作用 J は 220K~250K と見積もられている。スペクトルは 20mK に至っても磁気秩序に特有の急激な線幅の増大は観測されず、量子スピン液体状態が実現している。 T_1^{-1} の温度変化には磁場 7.6T で 1.0K、1.8T で 0.6K にキックが存在することを発見した。このキックは二次の相転移であると考えられ、対称性の破れが示唆されるが、転移の前後で古典的な磁気秩序化の振る舞いは見られない。これらの結果から、この物質のスピン液体状態が新奇な対称性の破れを伴った新たな量子状態を実現しているのではないかと考えられる。

P47 パイロクロア型フラストレート磁性体 $\text{Ni}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ の逐次相転移

佐藤衆一^a, 小山田明^a, 宮田香織^a, 西山昌秀^a, 伊藤哲明^a, 前川覚^a, 鄭旭光^b

^a 京都大学 人間・環境学研究科、^b 佐賀大学 理工学部

E-mail : manochori@baka.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



相互作用が競合するフラストレート磁性体においては、長距離秩序とスピンの揺らぎ状態が共存する新奇な磁気状態がしばしば観測され興味を持たれている。パイロクロア型格子を持つ $\text{Ni}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ はフラストレーションに起因する奇妙な磁気秩序状態を持っており、これを解明するために NMR 実験を行っている。その結果以下のようなことが分かった。4K 以下では、 T_1^{-1} は急激に減少するとともに、NMR スペクトルの幅が大きく増大することから通常の磁気秩序が起こっているように見える。一方 20K 付近から T_1^{-1} に図のように長い成分が現れる。磁化率の温度微分にも小さな異常があることが分かり、20K 付近にも何らかの転移があることを新たに見出した。したがってこの物質は $T_{N1}=17\text{K}$, $T_{N2}=4.0\text{K}$ で逐次相転移があることが分かった。しかし $4\text{K} < T < 20\text{K}$ でスペクトル幅には異常が無く、中間相にはフラストレーションに起因する遅い揺らぎが存在すると考えられる。

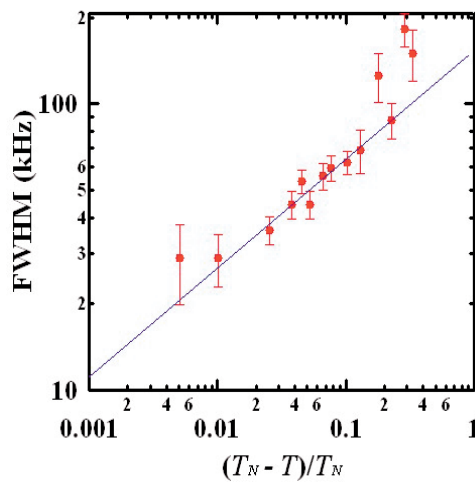


図 1

P48 5f 電子系三角格子 XY 型反強磁性体 UNi_4B の部分無秩序状態

宮田香織^A, 小山田明^A, 西山昌秀^A, 伊藤哲明^A, 前川覚^A, 李徳新^B, 芳賀芳範^C

^A 京都大学 人間・環境学研究科 関連環境学専攻

^B 東北大金研、^C 原子力機構

E-mail : miyata.k@fs2.ecs.kyoto-u.ac.jp



UNi_4B は磁性を担う 5f 電子をもつ U イオンが三角格子を形成し、反強磁性相互作用が働いている幾何学的フラストレート磁性体である。ネール温度 $T_N=20\text{K}$ において、U イオンの 2/3 が渦状の反強磁性秩序を起こし、残りの 1/3 のモーメントはその渦の中央に常磁性状態として存在することが明らかになっている。

ネール温度近傍での物理量に現れる異常を示す指数である臨界指数 β を求めるために NMR スペクトルの線幅の温度変化を詳細に測定した。図 1 の実線は臨界指数 β を 0.38 とした時のものであり、 UNi_4B はこの値から積層 XY 型三角格子グループ 2 というモデルに属すると考えられるが、 $1/T_1$ の発散は非常に強く、弱い一次転移である事を示唆している。

また、NMR スペクトルと $1/T_1$ から 1.3 K で何らかの磁気秩序が起こり、0.8 K 以下では $T_1 T = \text{const.}$ を示している事が新たにわかった。

P49 梯子格子銅酸化物 $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ の圧力誘起超伝導

藤原 直樹

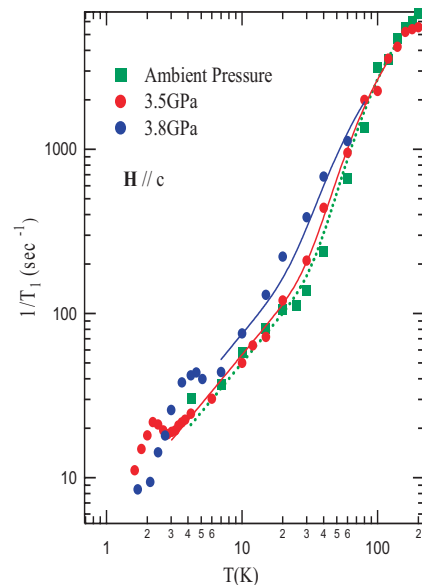
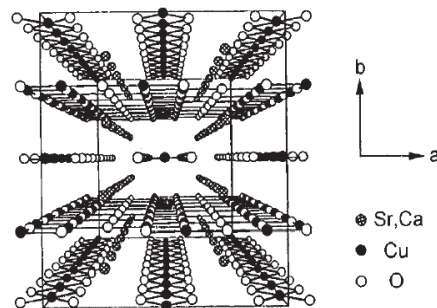
京都大学大学院人間・環境学研究科

E-mail : naoki@fujiwara.h.kyoto-u.ac.jp



梯子格子銅酸化物 $\text{Sr}_2\text{Ca}_{12}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ (下図) は 3 万気圧以上の圧力下で超伝導になる物質として知られている。この物質の 3.8 万気圧までの核磁気共鳴を行った。右図に緩和率 ($1/T_1$) の温度依存性を示す。

高温でスピンギャップ、低温で超伝導フルギャップが観測される。圧力依存性については当日示す。



N. Fujiwara, *et. al.*, **80** (2009) 100503R

P50 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ ($x=0.05, 0.08, 0.14$) の高圧下 NMR

中野達也, 辰巳健一郎, 藤原直樹, 岡田宏成^{A,B}, 高橋博樹^{A,B}, 神原陽一^{B,C}, 平野正浩^{D,E}, 細野秀雄^{C,D,E}

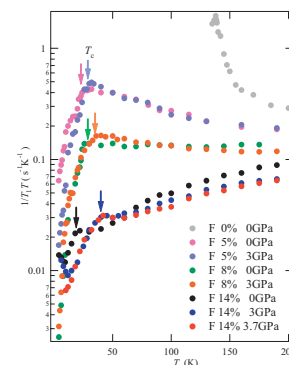
京大人環, 日本文理^A, 科技機構 TRiP^B, 東工大フロンティア^C, 科技機構 ERATO-SORST^D, 東工大応セラ研^E

E-mail : ms-ghost@white.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



鉄系高温超伝導体は、2008 年 2 月に東京工業大学の細野グループが $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ で $T_c=26\text{K}$ の超伝導を発見したことを契機に非常に注目されており、現在では銅酸化物超伝導体を除く超伝導体の中で、最高の T_c ($\sim 56\text{K}$) を示す。その中でも $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ は圧力をかけることで、高い T_c ($\sim 43\text{K}$) が得られる物質である。

我々のグループでは、圧力による T_c 上昇の原因を探るために、 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ の圧力下での ^{75}As -NMR 測定を行っている。右図は圧力下を含む各組成における緩和率の温度変化を示している。加圧により、フッ素 14% ドープにおいては、状態密度の増加が見られ、 T_c は大きく増大した。フッ素ドープ量を減らすにつれて磁気揺らぎは強まり、フッ素 5% ドープにおいては、加圧による磁気揺らぎの増加がはっきり見られるが、 T_c の増加は小さい。これは磁気揺らぎが大きいと超伝導の発達が抑制されることを示している[1,2]。



[1] K. Tatsumi, *et al.*, JPSJ 78 (2009) 023709

[2] T. Nakano, *et al.*, arXiv:0909.0318(2009)

P51 Development of MRI Microscope

上野 智弘^a, 水崎 隆雄^{b,c}, 松原 明^b

^a 京都大学 医学研究科 人間健康科学系専攻

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

^c 豊田理化学研究所

E-mail : ueno@hs.med.kyoto-u.ac.jp

We have been developing an ultra high resolution MRI, “MRI microscope”[1] for ultra low temperature physics, by using lower temperature, higher magnetic field and stronger magnetic field gradients. In these environments, shorter pulse interval is required so as to suppress spin diffusion effect. Besides, at low temperature, dipole field becomes large because of strong magnetization. If dipole field is inhomogeneous, multiple spin echoes (MSE) are generated. High magnetic homogeneity is needed so as not to generate MSE. We constructed the MRI Microscope using a magnetic field of 7.2 T, with tri-axial magnetic field gradients of 2.0 T/m, Helmholtz transmitter coil of 5 mm diameter and 2.5 mm. We visualized the pure liquid ^3He in a 230 μm diameter tube to study the effect of nonlinearity on the MRI Microscope at low temperature and in high magnetic fields. An MRI image was obtained at 0.22 MPa, 1 K with $1.8 \mu\text{m} \times 1.8 \mu\text{m}$ pixel size. At 65 mK, the MRI image became more blurred. We speculate that it was caused by large spin diffusion and nonlinearity. We will apply this MRI microscope to image the vortex lattice of rotating superfluid ^3He -A phase.

[1] M. Hachiya *et al.*, J. Low Temp. Phys. **158**, 697 (2010).

P52 14.1T MRI 顕微鏡を用いたメダカの 3D 可視化

金山 翔一郎^a, 桑原 航^a, 上野 智弘^a, 浦山 慎一^b,

波多野 直也^c, 杉本 直三^a, 福山 秀直^b,

^a 京都大学 医学研究科 人間健康科学系専攻

^b 京都大学 医学研究科 高次脳機能総合研究センター

^c 京都大学 工学研究科 機械理工学専攻

E-mail : ueno@hs.med.kyoto-u.ac.jp

脊椎動物のモデル生物であるメダカ等の小型の生物の高解像度での撮像が可能な MRI 顕微鏡の開発を行っている。高い空間解像度を達成するためには、高い信号雑音比 (S/N) を得ることが重要である。そこで、14.1 T (ボア径 48mm) の静磁場マグネットを用い、NMR 信号強度を高めた状態で MRI 顕微鏡のプロープの開発を行っている。第一段階として、高い S/N が得られる内径 5mm のソレノイド型の送受信コイルと平面型の xyz 方向のグラディエントコイルを一体型プロープとし、グラディエントコイルの設置距離を縮め強い磁場勾配を印加できる設計とした。これにより、40 μsec 程度で 3 軸方向に 3T/m 程度の磁場勾配を掛けることが可能となった。MRI 顕微鏡を用いたメダカの撮像実験において、画像視野が $4.2\text{mm} \times 4.2\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ 、1 ボクセルサイズが $(20\mu\text{m})^3$ である高解像度の画像が得られている。この場合の撮像時間は 22 時間である。この MRI 顕微鏡を用いて、P53 ガン抑制遺伝子ノックアウトメダカとワイルドタイプとの形態比較を行ない、ガンの発現メカニズムの解析に着手している。将来的には MRI 顕微鏡非凍結病理検査等への応用も考えている。

P53 日本語母語話者における意味的不調和文の処理過程

荒木 稔史^a, 松林 潤^{a,b}, 富永 渉^b, 南 千尋^b, 木内 隆裕^b,
松橋 眞生^c, 美馬 達哉^c, 福山 秀直^c, 三谷 章^{a,b}

^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 人間健康科学系専攻 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: matsubayashi@hs.med.kyoto-u.ac.jp



意味的に不調和な文を視覚的に呈示すると約 400 ミリ秒後に左側頭葉を中心とした領域で脳波・脳磁場の変化が起こる。この成分は N400 と呼ばれており、文の意味的な処理に関わる脳活動として注目されている。本研究ではこのような刺激を利用し、日本語母語話者における日本語の意味処理過程の特徴を明らかにすることを目的とした。8 名の健常な日本語母語話者に対し、自然な文（例：犬がご飯を食べた）と意味的不調和文（例：犬が犬小屋を食べた）をそれぞれ 120 文ずつ呈示した。脳磁場計測には高次脳機能総合研究センターに設置されている 306 チャンネル脳磁図計を用いた。8 名中 6 名にて左半球側頭葉周辺のセンサーで N400 と考えられる成分が得られ（平均頂点潜時：455 ミリ秒），うち 4 名で条件を満たす電流源が推定できた。また 8 名中 5 名にて右半球にも同様な成分が得られ（平均頂点潜時：440 ミリ秒），5 名全てで電流源が推定できた。フィンランド語・英語では N400 活動は左半球優位であることが示されている（Helenius et al. 1998, Halgren et al. 2002）が、日本語では半球差が小さい可能性が示唆された。

P54 脳磁図および頭皮上脳波計測におけるてんかん性放電の形態特性

横山 洋平^{a,b}, 松本 理器^c, 井内 盛遠^c, 松橋 眞生^b, 三國 信啓^a,
池田 昭夫^c, 長峯 隆^d, 福山 秀直^b, 宮本 享^a

京都大学大学院医学研究科

a) 脳神経外科 b) 高次脳機能総合研究センター c) 臨床神経学

d) 札幌医科大学医学部神経科学講座

Email: yotch@kuhp.kyoto-u.ac.jp

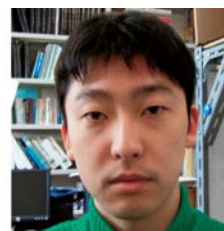
〔目的〕てんかん性放電の脳磁図，脳波計測での持続時間を比較し，てんかん性放電の特性を明らかにする。〔症例〕脳磁図，脳波の同時計測を行った難治性てんかん症例で，脳波上てんかん性放電を頻繁に認めた7症例。〔方法〕プラナー型グラディオメーター (GRA)204ch，マグネトメーター(MAG)102chによる脳磁場計測を19chの脳波(EEG)計測と同時にを行い，GRA，MAG，EEG全てでてんかん性放電と判定されるものを選定。それぞれの振幅最大のチャンネルでの持続時間およびピークの数計測した。〔結果〕GRA，MAG，EEGの平均値は，102ms，104ms，123msと脳磁図での持続時間はともに脳波より有意に短く，また，脳磁図上のてんかん性放電は，有意にEEGよりも多相性であった。〔考察〕脳磁図では，脳の周囲組織の電導性の相違によるshunt効果の影響を受けず，より局所の活動，また脳溝の活動を反映しやすく，放電の持続時間が脳波より短いと考えられた。

P55 Fe₃Mo₃N の非フェルミ液体的挙動

寺澤 慎祐^a, 和氣 剛^a, 田畑 吉計^a, 中村 裕之^a, 道岡 千城^b,
吉村 一良^b, 佐藤桂輔^c, 金道 浩一^c, 高橋 慶紀^d

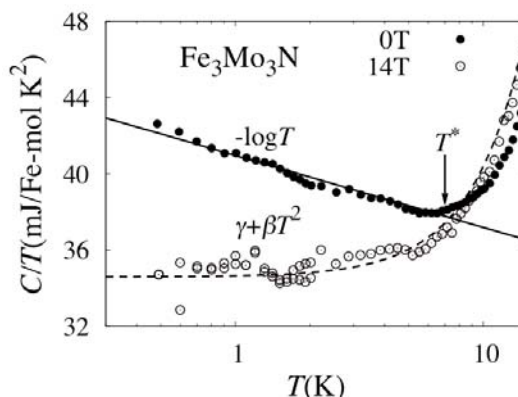
^a京大院工, ^b京大院理, ^c東大物性研, ^d兵庫県大院物質理

E-mail : yuzukko@089583.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



遷移金属窒化物 Fe₃Mo₃N は、低温まで磁気秩序を生じない、増強されたパウリ常磁性体である。帯磁率は強く温度に依存し、75K 付近にブロードなピークを持つ。高温部は Curie-Weiss 則に従い、ワイス温度は 2K と求められる。また、この物質は、Fe を僅かに Co で置換することで、強磁性状態が現れる[1]ことから、低いワイス温度とあわせて、強磁性量子臨界点近傍の物質であると考えられる。本研究では、Fe₃Mo₃N の比熱と、電気抵抗の測定を行い、低温において非フェルミ液体的な振る舞いを観測した。

図は、比熱の温度依存性を無磁場下と 14T 下について測定したものである。無磁場下では C/T に 7K(図中 T^*)付近より $-\log T$ 的な発散が確認できる。また 14T の磁場印加によりフェルミ液体的振る舞いに変化している。



無磁場下-14T 下での C/T の温度依存性

[1] T. J. Prior *et al.*, J. Mater. Chem. **14** (2004) 3001.

P56 クラスタ化合物 V₄S₉Br₄ の磁性

富岡 佑岐, 和氣 剛, 田畑 吉計, 中村 裕之

京都大学 工学研究科 材料工学専攻 材料物理学研究室

E-mail : tomioka@t04.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



V₄S₉Br₄ は V₄S₉ を単位としたクラスタ化合物である。この化合物の構造上の特徴は、核を形成する 4 つの V イオンが同一平面上で正方形に配列し、隣接するクラスタ同士は Br イオンにより架橋されていることである。近年この化合物において、15 K と 50 K 付近での 2 つの相転移の存在が報告されている[1]。これら 2 種の相転移は、15 K での構造相転移とそれに付随して起こる low spin state ($S=0$) から high spin state ($S=2$) への電子の励起 (50 K にて励起が終了) によるものであると予想がなされている。また基底状態についても言及されており、15 K における帯磁率の急落及び分子軌道法による電子状態計算結果から、基底状態は非磁性であると報告されている。しかし、2 つの相転移と基底状態についての詳細は実験的に明らかになっていない。

そこで、我々は単結晶試料を作製し、詳細な磁性について研究を行った。帯磁率の角度依存性を測定したところ、基底状態においても磁化の残留が存在する挙動が見受けられた。さらに、高磁場磁化測定を行ったところ、15 K の転移温度以下において、反強磁性体に特徴的なスピントリップ転移が観測できた (図 1)。以上の結果より、本系の基底状態は非磁性ではなく反強磁性秩序状態であることが新たに解った。ただし、V イオン 1 つあたりの飽和磁化の値が $1.0 \mu_B$ ($S=1/2$) より小さいため、単純な反強磁性秩序ではないことが伺える。

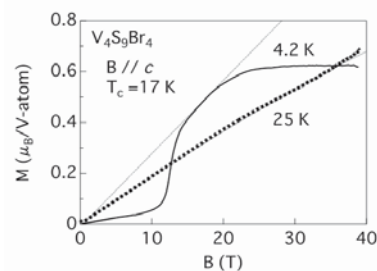


図 1 V₄S₉Br₄ の高磁場磁化曲線

[1] Yuri V. Mironov *et al.*, J. Phys. Chem. B **109**, 23804 (2005)

P57 希釈ハイゼンベルグ反強磁性体 $Gd_xY_{1-x}Ru_2Si_2$ の磁性

金田理史、田畑吉計、山崎照夫、和氣剛、中村裕之

京都大学 工学研究科 材料工学専攻

E-mail : kanada.satoshi@t05.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



希土類化合物 RRu_2Si_2 は、正方晶 $ThCr_2Si_2$ 型 ($I4/mmm$) の結晶構造を持つ反強磁性体で、磁性原子間に働く主な相互作用は RKKY 相互作用である。これらの物質では磁性を担う R^{3+} を非磁性の Y^{3+} で希釈することにより、磁気秩序が抑制されて反強磁性転移温度が下がり、スピングラス相が生じることが期待される。我々は $R=Dy^{3+}$ の希釈系 $Dy_xY_{1-x}Ru_2Si_2$ が $x=0.103$ の濃度で転移点 $T_g=1.9$ K の強いイジング性を持つスピングラス相が存在することを確認し、そのスピングラス転移は平均場モデルによってよく記述できることを見出した。そこで、イジング型からハイゼンベルグ型に変化させたときにどのようなモデルで記述できるかを調べるために、軌道角運動量を持たない $R=Gd^{3+}$ の希釈系 $Gd_xY_{1-x}Ru_2Si_2$ にハイゼンベルグ型のスピングラス相の存在を期待し、その磁性を調べている。濃度 $x=0.07$ では零磁場冷却帯磁率 ZFC と磁場中冷却帯磁率 FC の間に転移点以下で明確な差が見られる。

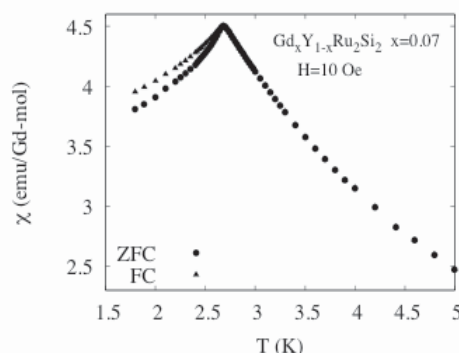


図 $Gd_{0.07}Y_{0.93}Ru_2Si_2$ の ZFC と FC

P58 エイコサペンタエン酸含有リン脂質の動態解析に用いる分子プローブの合成とその評価

佐藤 翔^a, 栗原 達夫^a, 佐藤 智^b, 川本 純^a, 江崎 信芳^a

^a 京都大学 化学研究所 環境物質化学研究系 分子微生物科学領域

^b 京都大学 低温物質科学研究センター 学際低温応用研究分野

E-mail : satosho@mbc.kuicr.kyoto-u.ac.jp



エイコサペンタエン酸 (EPA) は低温・高圧域で生息する生物に多く含まれ、リン脂質の *sn*-2 位アシル鎖成分として存在している。EPA 含有リン脂質は膜流動性の維持や膜タンパク質の機能発現に関与すると考えられているが、機能の詳細は不明である。当研究室では EPA を 4℃ 付近の低温でのみ生産する低温菌 *Shewanella livingstonensis* Ac10 において EPA 含有リン脂質と膜タンパク質の相互作用を示唆する知見を得ている。そこで、本研究では *in vivo* でタンパク質-脂質間相互作用を解析するための分子プローブとしてエーテル型 EPA 含有蛍光リン脂質を合成し (Fig. 1)、本菌の EPA 欠損株に外部添加した際の phenotype を脂質動態に着目して解析した。その結果、EPA 特異的な局在を可視化することに成功した (Fig. 2)。本報告会では、これについてのより詳細な結果とそれに基づく考察を述べたい。

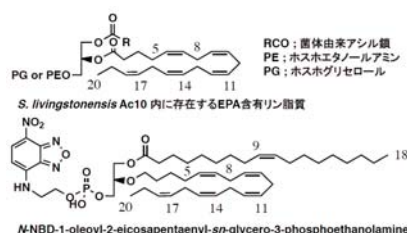


Fig. 1 合成蛍光プローブの構造

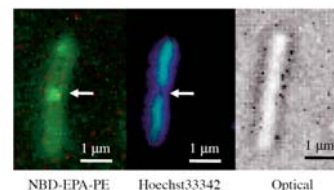


Fig. 2 EPA 含有蛍光プローブで染色した EPA 欠損株

P59 低温適応細菌の環境適応にかかわる膜タンパク質の探索

朴 貞河、川本 純、栗原 達夫、江崎 信芳

京都大学 化学研究所 分子微生物科学

E-mail : jungha@mbc.kuicr.kyoto-u.ac.jp

【目的】 低温菌 *Shewanella livingstonensis* Ac10 は、長鎖多価不飽和脂肪酸の一種であるエイコサペンタエン酸 (EPA) を生産する。EPA 生合成遺伝子を破壊した結果、EPA が低温での細胞分裂に重要であることがわかった。一方で、外膜ポーリンの生産量が顕著に低下していることがわかり、EPA が低温での膜タンパク質組成に影響していることが示された。本研究では、EPA 欠損が内膜タンパク質に及ぼす影響を解析することを目指し、本菌の内外膜分離法の確立と内外膜タンパク質のプロテオーム解析を行った。【方法・結果】 ショ糖密度勾配遠心法を用いて、4°C と 18°C で培養した本菌から内外膜を分離し、リン脂質量および SDS-PAGE によるタンパク質の組成を指標として内膜と外膜を調製した。その膜タンパク質を 2 次元電気泳動に供してそれぞれのスポットをペプチドマスフィンガープリンチング法で解析した結果、内膜タンパク質や周辺質タンパク質などが凝縮された画分を得られたことが分かった。4°C と 18°C で培養した菌の内膜タンパク質を比べた結果、細胞分裂、走化性センサー、ペプチドグリカン生合成に関わる内膜タンパク質のホモログの生産量が、4°C で増加していることがわかった。



P60 Folding of an outer membrane porin from cold-adapted bacterium facilitated by eicosapentaenoic acid-containing phospholipids

DAI Xian-Zhu^a, KAWAMOTO Jun^a, SATO Satoshi^b, KURIHARA Tatsuo^a, ESAKI Nobuyoshi^a

^aInstitute for Chemical Research, Kyoto University

^bResearch Center for Low Temperature and Material Sciences, Kyoto University

E-mail: daixianzhu@mbc.kuicr.kyoto-u.ac.jp

Shewanella livingstonensis Ac10 is a psychrotrophic bacterium isolated from Antarctic Ocean, which synthesizes eicosapentaenoic acid (EPA)-containing phospholipids. The disruption of EPA synthesis genes leads to growth retardation at 4°C but not at 18°C, suggesting that EPA plays an important role in cold-adaption of *S. livingstonensis* Ac10. Omp_C74, a homolog of outer membrane porin OmpA, is cold-inducible in this bacterium. Western-blot analysis of the wild-type strain and the EPA-deficient mutant with Omp_C74 antiserum suggested that Omp_C74 adopts different conformation in the presence of EPA. We further investigated the folding of Omp_C74 *in vitro* in the presence or absence of EPA-containing phospholipids. Recombinant Omp_C74 unfolded in urea was refolded by rapid dilution into liposomes made from 1, 2-dipalmitoleoyl-*sn*-3-phosphatidylglycerol and phosphatidylethanolamine with or without EPA-containing phospholipids. The folded form was confirmed by checking its heat-modifiable character by SDS-PAGE. We found that Omp_C74 folded more efficiently in liposomes with EPA-containing phospholipids, and the protein folded in the presence and absence of EPA-containing phospholipids showed different limited proteolysis patterns.



P61 外部磁場下における Co/Ni 細線中の磁壁電流駆動

小山知弘^a, 山田元^a, 上田浩平^a, 千葉大地^a, 谷川博信^b, 深見俊輔^b, 鈴木哲広^b, 大嶋則和^b, 石綿延行^b, 仲谷栄伸^c, 小野輝男^a

^a 京都大学 化学研究所 ナノスピントロニクス,

^b NEC デバイスプラットフォーム研究所, ^c 電通大情報

E-mail : koyama@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

強磁性体中の磁壁を電流により駆動する磁壁電流駆動現象は、物理的に興味深い現象であるだけでなくデバイス応用への可能性を秘めていることから、現在世界中で盛んに研究されている。特に近年は、垂直磁化膜における磁壁電流駆動現象が注目されている。我々は垂直磁気異方性を有する Co/Ni 細線を用い、外部磁場下において磁壁電流駆動実験を行った。

Co/Ni 多層膜を細線に微細加工して作製した試料を用いて、単一磁壁の磁壁電流駆動実験を行ったところ、磁壁を動かすのに最低限必要な電流密度(閾電流密度)および磁壁移動速度が外部磁場の向き、大きさにほとんど依存しないことが分かった。さらにこれらの結果は数値シミュレーション結果と定量的に一致した。実験の詳細については本講演で説明する。

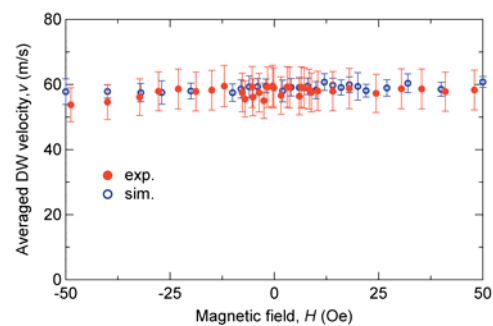


図 1. 磁壁速度の外部磁場依存性

P62 垂直磁気異方性を有する Co/Ni 細線 複数磁壁電流駆動

山田元^a, 小山知弘^a, 上田浩平^a, 千葉大地^a, 谷川博信^{a,b}, 深見俊輔^b, 鈴木哲広^b, 大嶋則和^b, 石綿延行^b, 仲谷栄伸^c, 小野輝男^a

^a 京都大学 化学研究所 材料機能化学研究系 ナノスピントロニクス研究領域

^b NEC デバイスプラットフォーム研究所

^c 電気通信大学 情報工学科

E-mail : gen@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

強磁性細線上の磁壁電流駆動実験についてこれまで多くの報告がなされている。とりわけ、複数個の磁壁の電流駆動現象はメモリデバイスへの応用という観点から非常に重要である。本講演では、垂直磁気異方性を有する Co/Ni 細線中に導入した複数個の磁壁を同一方向、および前後方向に電流駆動させ、異常ホール効果を用いて電氣的に検出した結果について報告する。

なお、本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)によって支援された。

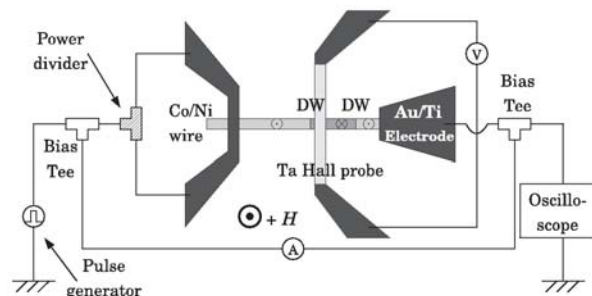


図 1 試料および測定回路の模式図.

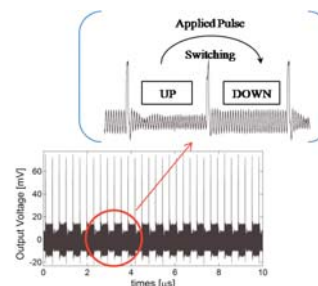
P63 共鳴励起状態を用いた磁気コア極性反転

京大化研^A、NEC デバプラ研^B、物材研^C、電通大情報工^D
 中野邦裕^A、千葉大地^A、大嶋則和^B、葛西伸哉^C、仲谷栄伸^D
 関口康爾^A、小林研介^A、小野輝男^A



Institute for Chemical Research, Kyoto University^A, NEC Laboratories; Device Platforms Research Laboratories^B, Magnetic Material Center, National Institute for Materials Science^C, Department of Computer Science, University of Electro-Communications^D
 E-mail: nakano@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

強磁性磁気円盤に現れる磁気渦構造は、中心部分に磁気コアと呼ばれる磁化の立ち上がった構造を持つ。磁気渦は磁気コアの極性を利用した新規磁気記録デバイスとしての応用が期待されている系として注目されている。磁気コアの極性検出は記録媒体からの読み出しに相当し、磁気コアの極性反転は情報の書き込みに相当する。本講演では、極性反転及び極性検出の電気的手法について報告する。



磁気コア極性は交流電流及びパルス電流を印加することで極性反転させることが可能である。パルス電流による極性反転は大きな電流密度($\sim 10^{12}$ [A/m²])が必要なため、デバイス応用へ向けて現実的でない。そこで、本実験では共鳴状態を励起しつつパルス電流を印加することで、反転に必要な電流密度を低減させることを試みた。測定結果(Fig.1)より、パルス電流印加前後で極性の反転及び反転パルス電流密度の低減が観測された。

[1] S. Kasai, *et al.*, *Appl. Phys. Express.* **1**, 091302 (2008). [2] K. Yamada *et al.*, *Nature Materials*, **6**, 269 (2007). [3] K. Yamada *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **95**, 152502 (2008).

P64 量子ホール状態の崩壊領域における雑音測定

知田健作¹、橋坂昌幸^{1,2}、山内祥晃¹、中村秀司¹、荒川友紀¹
 町田友樹³、小林研介¹、小野輝男¹



¹ 京都大学 化学研究所

² 東京工業大学 大学院理工学研究科

³ 東京大学 生産技術研究所

E-mail: chida@ssc1.cuicr.kyoto-u.ac.jp

二次元電子系に垂直に強磁場を印加すると量子ホール状態と呼ばれる電子散乱のない無散逸な伝導状態となる。量子ホール状態は大きなバイアス電圧の印加などによって崩壊するが、その崩壊領域における電子の伝導状態はよく分かっていない。そこで、本研究では量子ホール状態の崩壊領域における電子伝導に関する知見を得るために伝導度測定に併せて雑音測定を行った。

図1に伝導度測定と雑音測定の結果を示す。バイアス電圧 V_{sd} が 100 μ V 以下の領域においては量子ホール状態が維持されているため、電子散乱が無く、雑音が非常に小さい。しかし、 V_{sd} が 100 μ V を上回ると、量子ホール状態の崩壊に伴って有限の雑音が発生する。当日はこれらの結果について考察する。

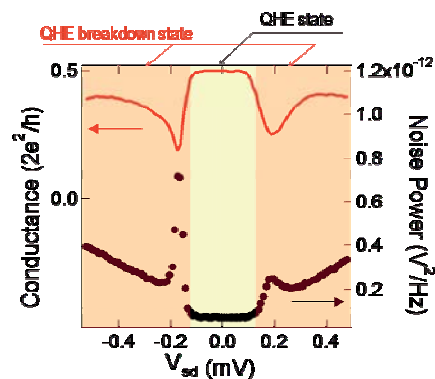


図1. 伝導度測定と雑音測定の結果

P65 磁気渦コアのダイナミクスに誘起されたスピン起電力の実時間測定

田辺 賢士^a, 千葉 大地^a, 大江純一郎^{b,c}, 葛西伸哉^d, 河野浩^e,
前川禎通^{b,c}, 小野輝男^a

^a 京都大学大学院 理学研究科 化学専攻 ナノスピントロニクス分科

^b 東北大学大学院 金属材料研究所 金属物性論研究部門

^c 独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造推進事業

^d 独立行政法人 物材・材料研究機構 磁性材料センター

^e 大阪大学大学院 基礎工学研究科 物質創成専攻 物性物理工学領域

E-mail : tanabe@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp



近年、幾何学的な位相に関係する新しい起電力(スピン起電力)の存在が予想されている。スピン起電力はねじれた磁化構造が時間変化した際に局所的に生じるという特徴がある。そこで本研究は**磁気渦構造**を用いてスピン起電力の局所的な実時間測定を目指した。磁気渦構造は強磁性体を直径数 μm の円盤状に加工した時に現れる渦状の磁化構造(図1)であり、渦の真ん中に**コア**と呼ばれる領域がある。このコアの運動はねじれた磁化構造の時間変化に相当するためにコア付近でスピン起電力の発生が予想される。そこでコアの運動経路付近に微細な電極を配置することで起電力の局所実時間測定が行える。このような手法を用いてスピン起電力の検出に成功した(図2)。実験(結果)の詳細は当日報告する予定である。

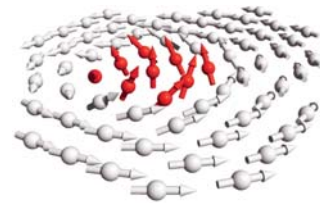


図1 磁気渦構造

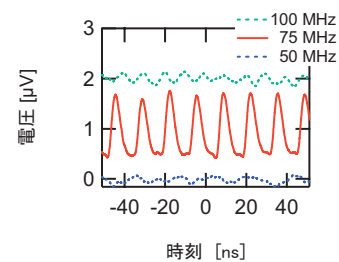


図2 75 MHz でスピン起電力の検出

P66 Present Status of Dark-Matter Axion-Search “CARRACK”

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

^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物理、^c 兵庫医大医学部、

^d 大阪電気通信大学工学部、^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 豊田理化学研究所、^h 京都大学工学研究科原子核

E-mail : funahasi@isc.osakac.ac.jp



Axion, a hypothetical elementary particle invoked to solve the time-reversal invariance problem in strong interactions, is one of the most elegant solutions for the dark matter particles in the Universe. We have developed a sensitive method to search for axions with a Rydberg-atom single-photon detector. In our detector system, the axions are converted to microwave photons under a high magnetic field via the Primakoff process. The axion-converted photons are then absorbed by Rydberg atoms and the excited atoms are counted with a selective field-ionization method. Here the status of dark-matter axion-search called “CARRACK” is presented and discussed: Specifically emphasized points are 1) use of Potassium Rydberg atoms, 2) two-step excitation scheme with two diode lasers for the production of Rydberg atoms, 3) refined setup of microwave cavity with Stark electrodes and metal posts at low temperature.