

# 物性研だより

第44巻  
第1号

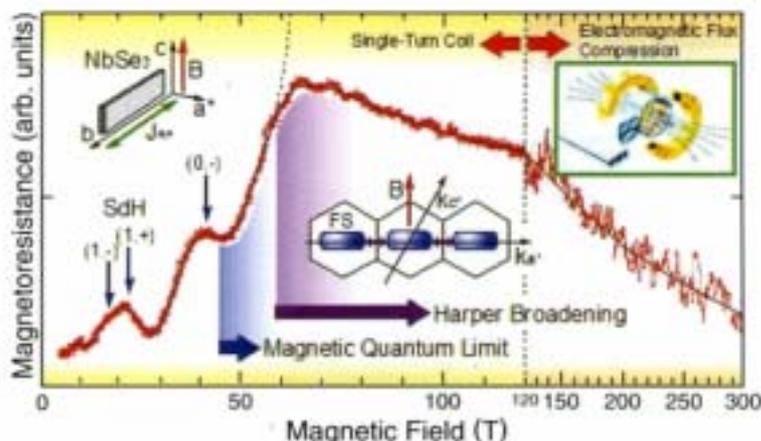
2004年4月

## 目次

- 1 物性研に着任して……………山室 修
- 研究室だより
- 3 ○長田研究室……………長田 俊人
- 物性研究所短期研究会報告
- 10 ○高輝度放射光による物質科学
- 12 ○表面分光の最前線とナノサイエンスへの展開
- 37 ○量子凝縮系研究の新展開
- 70 ○超高速レーザー分光における最近の発展
- 物性研究所ISSP国際ワークショップ報告
- 85 ○物性研国際若手夏の学校
- 87 ○ゲルシンボ2003報告
- 89 物性研究所談話会
- 物性研ニュース
- 93 ○人事異動
- 96 ○東京大学物性研究所の教官公募の通知
- 97 ○平成16年度前期短期研究会一覧
- 98 ○平成16年度前期外来研究員一覧
- 106 ○平成16年度中性子回折装置共同利用採択課題一覧
- 116 ○平成16年度前期スーパーコンピュータ共同利用採択課題一覧
- 119 ○平成16年度後期共同利用の公募について（通知）
- 120 ○平成15年度外部資金の受入について
- 121 ○第49回物性若手夏の学校

## 編集後記

擬1次元導体NbSe<sub>3</sub>の超強磁場  
磁気抵抗と Harper broadening



東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

# 物性研に着任して

附属中性子科学研究施設 山室 修

本年 2 月 1 日付けで中性子科学研究施設に着任しました山室です。この場をお借りして、自己紹介と今後の抱負、そして着任したばかりでちょっと厚かましいのですが、これからの物性研に望むことを書いてみたいと思います。

私は大阪生まれ、大阪育ち、大阪勤め（大阪大学）で、根っからの大阪人です。ですから、関東に住むことになる、さぞかしカルチャーショックを受けるだろうと予想していたのですが、関西出身者もたくさんいらっしゃる物性研の中はともかく、この 2 ヶ月間、町中でも全然違和感がありませんでした。それに、「大阪出身なのにあまり大阪弁が気にならない」と何人かの方に言われました（知らず知らずのうちに標準語訛り？になっていたということでしょうか）。考えてみれば、最近はずっと、実験のために原研（東海村）や KEK（つくば市）でかなりの長期間を過ごしていましたし、トータルでは一年の半分以上が出張でしたから、当然なのかもしれません。大阪人を自覚し、周りにも大阪人であることを強調してきたのですが、今回の赴任をきっかけに、何だか自分のアイデンティティーが失われたような気がして、逆の意味でショックを受けてしまいました。私は、大阪人がアンチメジャー（アンチ東京）を自覚し、独自の方向性とスタイルで優れた文化を築いているのが好きなのです。東京大学のしかも物性分野でおそらく最もメジャーな研究機関である物性研に採用していただいたのですが、少なくとも研究面においては、アンチメジャーの精神と自分の固有のスタイルを失わないようにやっていきたいと思っています。

私の研究に関して、少し紹介させていただきます。私は大阪大学では、中性子散乱と熱容量測定を実験手段にして研究を行ってきました。対象は、これまでに色々巡り歩いたのですが、今は液体（特に水）やガラスに最も興味を持っています。中性子散乱と熱容量測定は表面的には随分異なる実験手段です。中性子散乱は大きな施設と資金を要するいわゆるビックサイエンスですが、熱容量測定はそんなにお金もかかりませんし、狭い研究室の中で細い電線を黙々と半田付けするようなスモールサイエンスです。数少ない共通点は、どちらも研究者の数的にマイナーな分野で、実験に長時間を要する分野ということでしょうか。しかしながら、物性研究、特に液体やガラスの研究では、この 2 つの組み合わせは最高です。中性子非弾性散乱では任意軸での振動状態密度が得られますが、熱容量測定では振動状態密度をエネルギーで積分した量の絶対値が得られ、この 2 つを組み合わせることで「振動状態密度の絶対値」が得られます。また、緩和過程の研究では、中性子準弾性散乱やスピンエコーからは緩和時間やその分布などをかなり直接的に得ることができますが、熱容量測定からは、エントロピーを通じて、緩和過程を支配している状態数の絶対値を得ることができます。絶対値化した物理量で議論することは、物性科学においてはたいへん重要で、事実この利点を活かして、これまでに過冷却液体やガラスの幾つかの問題を解決するのに成功してきました。今後とも、東海村での中性子散乱実験がメインであることは言うまでもありませんが、相補的な手段としての熱容量測定を柏の実験室でぜひ続けていきたいと思っています。5 階の実験室には細い電線が張り巡らされた風変わりな装置が置いてありますので、もし興味のある方がいらっしゃれば、ぜひ見に来て下さい。

最後に、これからの物性研に望むことですが、いわゆる固体物理ではない物性分野にぜひとも注目して欲し

いと思っています。これは単にソフトマターと呼ばれる高分子や生物関連の研究だけではなく、液体やガラスなども含む「弱い相互作用」、「構造無秩序(しばしば中距離秩序)」、「緩和的挙動」、「静的および動的階層性」、などがキーワードになる研究全てです。これらの研究は、世間では既に注目を集めていますが、あまりにも複雑すぎて、極めて定性的、現象論的な取り扱いに終わっていることがよく見られます。物性研では、このような複雑な系に対しても、これまで行われてきた実験と理論が一体となったスタイルで、あくまで定量的で物理の原理に基づく解析や議論を展開して欲しいと思っています。そして、私自身も微力ながらそのことに貢献できることを望んでいます。私は物性研の英訳は前から「**Institute for Condensed Matter Science**」であるべきだと思っていたのですが、多くの人がそう思うようになればうれしいです。

大阪人らしくなく、何だか生意気かたいことばかり書いてしまいましたが、これから物性研で頑張っているという私の気持ちの表れとお許し下さい。どうぞよろしくお願い申し上げます。

# 研究室だより

## 長田研究室

極限環境物性研究部門 長田研究室 長田 俊人

### 1. はじめに

私達の研究室が1998年4月に物性研に移籍して6年が過ぎた。この6年間は柏キャンパス移転とそれに伴う研究室の再立ち上げで物性研にとって大きな変化の時期であったが、超強磁場グループにとっても大きな節目の時期であった。すなわち第2世代物性研の目玉の一つであった超強磁場計画を支えた三浦所員と後藤所員が相次いで定年退官され、その後任として嶽山所員と金道所員が着任し、「物性研超強磁場」の完全な世代交代が行われたのである。2004年度から超強磁場グループは第3世代研究室の時代に入るが、この機会に6年間の移行期間を振り返るとともに、引き継いだ「物性研超強磁場」における研究室の研究方針をまとめておくことは意味があると思い、本記事執筆のお勧めを受けることにした。

### 2. 先端研から物性研へ

本研究室は1992年3月に、東京大学の先端科学技術研究センター（先端研）に発足した。先端研は色々な面で物性研とは対照的な研究所で、両者を比較するのは面白いのであるがここでは省略する。私達の研究室は先端研では、ほぼ唯一の物理学系研究室であったが、幸運にも白木靖寛教授から先端的な半導体結晶成長技術や微細加工プロセス技術を学ばせて頂き、研究手法に大きく幅を持たせることができた。1997年春に物性研超強磁場の所員公募があり応募を決意した。それまでの全ての研究が磁場に関連していた私にとって、前人未到の超強磁場領域における電子物性の研究が可能な「物性研超強磁場」のポストは非常に魅力的であったからである。当時の研究室は私と6名の大学院生のみであり、学内の研究所間で異動しても所属専攻（工学系物理工学専攻）は変わらないため、学生指導上の大きな問題はないと考えた。

この公募ポストは、世界屈指の強磁場研究施設の一つである「物性研超強磁場」の世代交代に備えて、柏移転に間に合うよう準備されたものである。従って当面の任務は、当然、

**第2世代からの橋渡しとして、「物性研超強磁場」の伝統と設備を継承すること。**

**超強磁場実験室の柏移転に計画段階から参画し、移転・立上げ作業を実行すること。**

**第3世代研究室として柏の「物性研超強磁場」の新しい発展と展開を計ること。**

であると考えられた。私は実は三浦所員の指導を受けて大学院を修了した「物性研超強磁場」の出身者であり、院生として第1世代（近角・三浦所員）から第2世代（三浦・後藤所員）への世代交代、および六本木キャンパスのA棟実験室から新設のC棟超強磁場実験室への移転・立上げを体験していたので、応募にあたり上の①～③の意味は十分理解していた積りである。問題は、上が要求する「古くて新しい研究室」という枠内で、先人に対するアイデンティティをいかに確立して行くかということであった。

### 3. 六本木着任と柏移転

1998年4月に物性研に着任した。強磁場の柏移転まで1年であり、またその1年間は駒場の先端研を併任することになっていたため、六本木では積極的に研究室を展開することはしなかった。大学院生の研究を継続するのに必要な実験装置のみを駒場から六本木へ移設した。駒場-六本木間をレンタカーで数往復して引越を行ったのを覚えている。所員室には1年間大学院生6名と同居したので、窮屈ではあったが楽しかった。

着任前後、超強磁場実験室の柏移転費用の見通しは暗く、六本木で老朽化した電源装置（コンデンサバンク）をそのまま移設するしかないとも言われていた。その場合、特に大規模電源が建物に作り付けになっている電磁濃縮法については、六本木の晩年はトラブル続きであり、移設後使用に耐えなくなる可能性が十分にあった。そこで当時は比較的軽快な一巻きコイル法を主軸とした柏での研究展開を考えざるを得なかった。

しかし着任して間もなく、平成 10 年度の第 1 次補正予算で電源装置（コンデンサバンク）を全面的に更新できることになった。非常な幸運を喜んだのも束の間、急に多忙になった。柏の極限環境棟（C 棟）は既に完成しており年度内に第 1 陣として柏移転を行うことは確定していたし、建物に作り付けのコンデンサバンクは実験室の引越しに先立ち設置しておかねばならない。従って 5MJ 電磁濃縮法、200kJ 一巻きコイル法 2 基、900kJ 長時間パルス磁場の 4 システムを、僅か数ヶ月で設計・製作・設置しなければならなくなったのである。六本木のシステムが、数年をかけて徐々に整備されていったことを考えると容易な事態ではない。幸いに国際入札でこれを請けた業者は、六本木のシステムの大部分を手がけたニチコンであった。

時間が極めて限られていたため、柏の新システムは、基本的に六本木の現有システムをマイナーチェンジしたものに止め、技術開発を伴うリスクは冒さないことになった。電磁濃縮法は集電板と電源部を接続する同軸ケーブル本数を倍増し、システムの残留インダクタンスを低減し高効率化を図った。横型と縦型の 2 基の一巻きコイル法については電源容量を六本木の 100kJ から 200kJ に倍増するとともに、横型では放電の高速化を図るため電源電圧を最高 40kV から 50kV に変更した。この 50kV 対応のエアギャップスイッチが今回唯一研究開発を必要とした部品である。長時間パルス磁場に関しては、当初は六本木の 300kJ を超ロングパルス用に 1500kJ まで拡張する予定であったが、予算の関係で 900kJ に止められた。この装置は共同利用等で最も多用されるシステムなので安全対策に万全を期した。これらの詳細な仕様打合せ会議が、ニチコン、三浦所員、後藤所員、私の間で（電磁濃縮法の架台関係は松田助手も加わって）何度も行われた。私は殆ど座っているだけであったが、ブラックボックス的なシステムの内部詳細に関わる議論であったので非常に勉強になった。

設計・製作・設置を担当したのは、ニチコン草津工場の特機技術部で、二宮部長、寺村主任技師を中心にプロジェクトチームを組んだ。数ヶ月という短期間に 4 つのシステムの設計・製作を同時進行で行う必要があるため、ニチコン内の技術者をやりくりして動員したようである。特に中心となる寺村技師らが三浦・後藤所員と同世代であることから、その下で各装置を中心となって担当する技術者は若い世代になるよう配慮された。装置の設計が終わり製作段階に入ってから、私達は草津工場にチェックに行ったり、柏の極限環境棟に通ってコンデンサバンク室や地下ピットの測量等を行い、装置設置位置や搬入手順の確認をしたりした。

ニチコンのコンデンサバンクの搬入と設置工事が 1999 年 2 月末から本格的に開始されるため、まず六本木の物性研と駒場の先端研にあった長田研固有の実験装置や資料を柏の極限環境棟に移す引越を 2 月 20 日に単独で行った。時間的に余裕のない院生がいたため、定常磁場装置の一部を直ちに立上げ、2 月中に液体ヘリウム実験を開始した。3 月 8 日から 1 週間、第 1 陣として先端分光グループと超強磁場グループの柏移転が業者を使って行われたが、私達の研究室はこの時点で六本木と駒場を完全に引き払い、柏キャンパスに常駐するようになった。

#### 4. 「物性研超強磁場」の世代交代

柏に移転した第 1 陣の研究室群は 4 月から正式に「物性研柏分室」となった。しかし当時は工事現場の真ん中に極限環境棟と先端分光棟だけが建っているような状況で、道路は舗装されておらず、街灯もなく、食事は仕出し弁当、夜は南京錠を開け閉めしてキャンパスから出入りするという有様であった。この劣悪な環境に院生たちを引き込んだことを申し訳なく思ったが、院生の大部分はキャンパスの近くに下宿し、新しい超強磁場実験室の整備に積極的に協力してくれた。この時期は合宿に来ているような感じで、皆で研究室を徐々に構築していく作業は今では楽しい思い出である。

翌 2000 年 3 月に本館研究室群の移転が行われ、物性研の柏移転は完了した。同時に私達の研究室には京都大学で学位を取得したばかりの大道英二氏が助手として着任した。大道氏は学生時代に米国国立強磁場研究所(NHMFL)にあるハイブリッド磁石の使用経験を有し、また極低温で動作するピエゾ素子を用いた精密角度回転機構など独自の実験技術を開発してきた若手研究者だったので、実験技術開発に重点を置く超強磁場グループとしては大いに期待した。こうして私達の研究室は 3 年目でようやく通常の研究室の体裁を整えたわけである。少人数で「物性研超強磁場」を引き継ぐ関係上、大道氏には非破壊型の長時間パルス磁場関係を専門に担当してもらい、私自身は破壊型の 100～500T 級超強磁場関係を担当することにした。大道氏は期待に違わず、長時間パルス磁石の作製から、後で述べる商用 AFM カンチレバーを応用した磁気トルク測定技術の開発まで、長時間パルス磁場技術の継承と独創的な新技術の開発に活躍している。

2001 年 4 月に池田悟技官が着任した。池田氏は当初三浦研所属であったが、2 年後三浦所員退官に伴い私達の研究室に所属することになる。池田氏の担当は最大の超強磁場設備である電磁濃縮法装置の操作と維持であった。当時電磁濃縮法

では、三浦研の松田助手が、滞在中の Herlach 教授の発案によるフィードギャップコンペンセータ技術を用いて世界記録の 622T を発生したところであったが、池田氏はこの技術開発に最初から参加して経験を積んだ。2002 年 4 月に松田助手が岡山大助教授に栄転した後は、池田氏は着任後 1 年にして電磁濃縮法設備の担当者となった。池田氏は良くその任を果たし、物性実験の電磁濃縮法使用回数はそれ以前に比べてむしろ増加している。

2003 年 3 月に三浦所員が定年退官し、4 月に嶽山所員が着任した。また 2004 年 3 月に後藤所員が退官し、後任には金道所員が着任した（物性研が本務になるのは 10 月以降）。三浦研の内田技官と後藤研の三田村助手は、所属は嶽山研に代わったが健在で従来通り活躍している。強磁場のような特殊技術の研究室では、引継ぎ期間なしで人が代わると、それまで蓄積された技術が失われ「積木くずし」を繰り返すようになってしまいがちである。しかし今回の「物性研超強磁場」の世代交代は、私達にとっては大きな痛手ではあったが、最小の損失でスムーズに行われたのではないかと考えている。

こうした中で、昨年度から本研究室所属になっていた池田技官が、民間企業への就職のため 4 月一杯で物性研を去ることになったことは私達にとっては非常に残念であった。しかし 4 月から既に小嶋助手が新たに嶽山研に着任しており、強磁場のホープとして期待されている。

### 5 . 第 3 世代「物性研超強磁場」の長田研究室

歴史について長く述べてしまったが、こうして「物性研超強磁場」の柏移転と世代交代は無事完了した。これから第 3 世代研究室による超強磁場物性研究が展開されていくわけであるが、以下、私達の研究室のこれまでの研究活動および今後の方針について述べていきたい。

前述のように柏で更新した超強磁場設備は、改良はされたが基本的に六本木の設備と大きく変わらないものである。これは、六本木第 2 世代では超強磁場発生技術の開発を最重要課題としたのに対し、柏第 3 世代では超強磁場の物性研究への応用に重心を移す、すなわち六本木で蒔いた種を「収穫」しようという基本方針の現れでもある。この「収穫」を行うにあたっての超強磁場グループ 3 研究室の役割分担は、磁場発生装置ではなく研究分野とそれに関連する計測技術で行うことになった。これまでは三浦研が光物性・赤外物性、後藤研が磁性、長田研が伝導物性を主に担当してきたが、今後も嶽山研が光物性、金道研が磁性の担当を引継いで行く予定である。第 3 世代「物性研超強磁場」の中で伝導物性を担当する私達の研究室が、中心的な実験技術として力を入れているのは、500T 級破壊型パルス超強磁場下の電気伝導測定と 50T 級非破壊長時間パルス磁場下の精密計測の 2 つである。

### 6 . 500T 級パルス超強磁場下の伝導物性研究

100T 以上の超強磁場領域における物性研究は、六本木第 2 世代の時代から世界的にも物性研の独壇場である。しかしこれまで超強磁場下では電気伝導測定の試みはあまり行われず、光学的測定が主に行われてきた。これは電氣的測定にくらべ光学的測定は電磁雑音の影響を受けにくいいためである。しかし私の物性研志望動機であった超強磁場下の電子物性研究を行おうとする場合、パルス超強磁場下の電気伝導測定技術の開発は必須である。

電磁濃縮法や一巻きコイル法によるパルス超強磁場下で伝導性試料の電気伝導実験を行うことは絶望的に困難である。この場合、技術的障害となるのは、①試料とリード線が形成する微小ループに巨大な誘導起電力が誘起されること、②磁場発生時の巨大な放電雑音が信号に重畳すること、③導電性試料内に誘起された渦電流の Joule 発熱により試料温度が上昇すること、等である。①②の困難を克服するために、私達は RF 帯（50～350MHz）の高周波バイアスと周波数・位相検波を用いた高周波反射係数法（または透過係数法）による超強磁場中電気伝導測定技術の開発を行ってきた。誘導起電力波形や雑音の主な周波数成分より高い周波数にバイアスを設定することで①②の影響を局限することができる。③の発熱問題に関しては試料サイズを小さくする以外に解決法は存在しない。従って試料の微細加工技術が重要になるが、このために私達の研究室では光／電子線リソグラフィ装置やプラズマエッチング装置を整備してきた。先端研時代にこれらの極微細加工技術を研究室として習得できたことが非常に役立っている。

超強磁場下伝導測定の技術的な方法論は以上の通りであるが、最も重要なのはそれを用いてどのような物理を解明しようとするのかということである。特に電磁濃縮法の実験は試料、プローブ、クライオスタット、コイルシステムが毎回破壊されるため、準備・調整を含めて 1 回の磁場発生に 1 週間程度かかる。その上、費用も 1 回で私の月給程度かかる。有限の時間と費用で研究を行うためには、超強磁場電子物性の本質を突くように研究課題を設定しなければならない。そこ

で研究目標に選んだのが以下の基本的問題である。

超強磁場下 Bloch 電子系における Hofstadter 準位

超強磁場極限における 2 次元電子系 (量子 Hall 系) の電子相

超強磁場量子極限近傍における電子相効果の増大

超強磁場下の低次元導体 (有機導体等) における電子相転移

これらの個々のテーマについて説明することは省略するが、これらの問題に具体的にどのようにアプローチするかという方法について、①と②に関連した 2 つの例を紹介しよう。

#### ・擬 1 次元導体を利用した Hofstadter 準位の探索

①の Hofstadter 準位とは、磁場中の Bloch 電子系で磁場による Landau 量子化と結晶周期ポテンシャルによるバンド量子化が干渉して生ずる複雑なフラクタル的エネルギー準位のことである。2 次元正方格子系のエネルギー準位を磁場の関数として描いた Hofstadter's butterfly diagram は特に有名である。(超強磁場中の結晶電子を象徴する美しい図なので私達の研究室では図 1 のようにシンボルマークに採用している。) これを実験的に観測するためには通常単位胞に 1 磁束量子はいる程度の大きさの超強磁場が必要となり、一辺 1nm の単位胞を持つ系では 4000T という実現不可能な超強磁場が必要になってしまう。必要となる磁場を小さくするためには単位胞を大きくすれば良いのであるが、電子波回折による Bloch 波の形成は困難になる。この路線で、半導体微細加工技術を用いて数 10nm 周期の周期ポテンシャルを導入した 2 次元電子系についての実験が試みられている。

これに対し私達が行うアプローチの鍵は、Bloch 電子系として擬 1 次元導体を利用することである。私達はある条件を満たす擬 1 次元導体に傾斜磁場を加えた場合には、Hofstadter's butterfly diagram と同様のスペクトル構造が磁場強度ではなく磁場方位の関数として現れることに気付いた (図 2)。しかもこの場合は単位胞に 1 磁束量子という制約がはずれるため、系を選べば、はるかに低い磁場で Hofstadter 準位構造を観測し得ることがわかった。関連した理論的研究は主に当時理学系物理の青木秀夫研究室の院生であった越野氏が行っている。このような条件を満たす系をサーベイした結果、擬 1 次元電荷密度波物質 NbSe<sub>3</sub> の低温相が有望であることもわかった。

そこで NbSe<sub>3</sub> の超強磁場磁気抵抗の実験を実行することにした。NbSe<sub>3</sub> の低温相は 2 段の電荷密度波転移の結果、孤立した単一のレンズ状 Fermi 面 (ポケット) を持っている。このポケットは拡張ゾーン内で三角格子状に配列しているが、ここに超強磁場を加えることにより各ポケットを量子極限に入れ、さらに隣接ゾーンのポケット間のトンネル結合を起し(一種の magnetic breakdown)、その経路の干渉効果として Hofstadter 準位構造を発現させるのである。従って最初に行うべき実験は、最もポケットが結合しやすい c 軸方向に磁場を印加し、ポケットの結合を基底 Landau 準位の Harper broadening という形で確認することである。

図 3 はこの配置で高周波透過係数法により測定した磁気抵抗の磁場依存性である。このデータは端子付の電気伝導測定としては、世界で最も強磁場まで測定されたものである。50T 以下の磁場領域では Shubnikov-de Haas 振動が見られ、50T 以上で基底 Landau 準位のみが占有される量子極限に入ることがわかる。量子極限では磁気抵抗は磁場の関数として



図 1 物性研に移籍するにあたって作った研究室のシンボルマーク

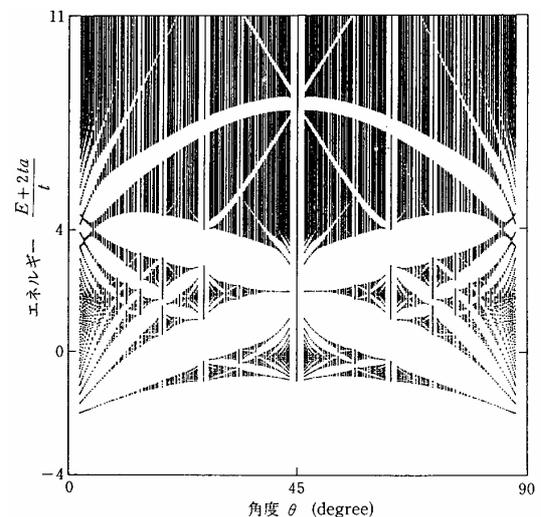


図 2 磁場方位の関数として描いた擬 1 次元電子系の磁場中エネルギー準位

単調に増大するはずであるが、70T 付近から 300T 以上までの広い磁場領域で異常な単調減少を示す。私達はこの結果を Harper broadening による減少と解釈し、ポケットの結合の間接的証拠であると考えている。

磁場方位を傾けて実験を行えば量子極限下の磁気抵抗の単調減少部分に Hofstadter 準位構造を反映した微細な振動構造が現れると期待され、現在実験が進行中である。

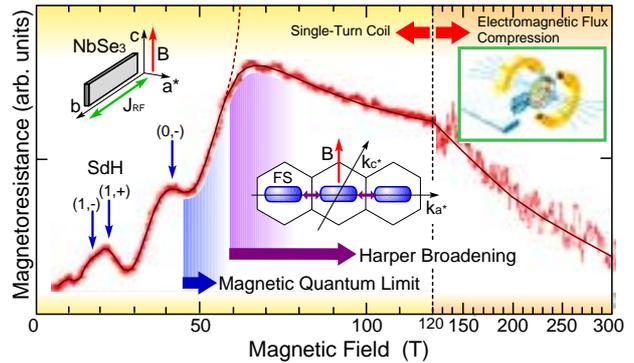


図3 擬1次元導体 NbSe<sub>3</sub>の超強磁場磁気抵抗

・2次元電子系の超強磁場伝導測定

もう一つの超強磁場伝導測定の例として②の量子 Hall 系の例を紹介しよう。2次元電子系は Landau 準位占有率

(filling factor)  $\nu$  が極めて小さくなる超強磁場極限において、磁場、温度、乱雑さ等の関数として、分数量子 Hall 状態、Wigner 結晶状態、Hall 絶縁相、Hall 金属相 (複合 Fermion 状態) など各種の電子相が入り組んで現れることが予想されている。こうした各種電子相の超強磁場磁気相図を実験的に決定することは重要な課題であるが、そのためには超強磁場領域での伝導測定が強く望まれる。

2次元電子系の超強磁場伝導測定は通常試料の場合よりさらに困難となる。技術的に問題となるのは超強磁場では2次元試料のインピーダンスが極めて高くなってしまふことで、私達が用いている高周波測定法では感度が殆ど得られなくなり、システムの浮遊容量等の影響も無視できなくなる。従ってこの困難を回避するために試料形状を工夫する必要が生ずる。私達は通常の同心円状のコルビノ電極配置を変形し、図4の挿入図のような変形コルビノ電極を有する半導体2次元電子系試料を作製した。この形状は、電極周長を長く、チャンネル幅を短くすることで抵抗を低減させ、さらにループ面積を小さくして電磁誘導を局限した構造になっている。

一卷きコイル法による超強磁場において高周波反射係数法を用いて測定した2次元電子系の縦伝導度  $\sigma_{xx}$  の磁場依存性を図4に示す。占有率  $\nu=1$  と  $\nu=1/3$  の位置にディップ構造が見えているが、80T 付近の  $\nu=1/3$  の構造は分数量子 Hall 効果に対応する構造である。このように 4.2K 以上という高温で、ボケているが分数量子 Hall 効果が観測されたのは、80T という強磁場だからである。この実験により2次元電子系の超強磁場下伝導測定が不可能ではないことが示された。今後、高移動度試料と電磁濃縮法による超強磁場を用いて、強磁場電子相を調べる研究を続行していく予定である。

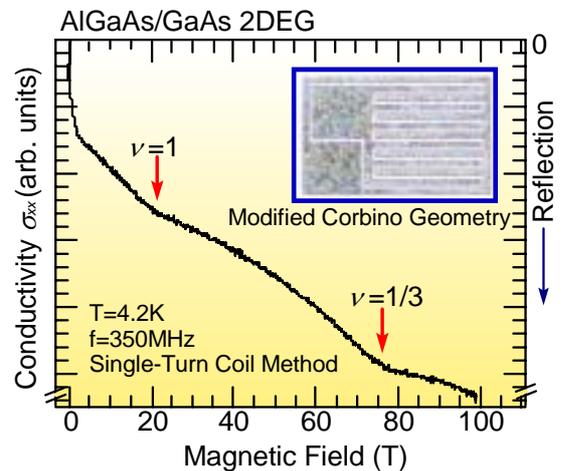


図4 変形コルビノ電極を有する2次元電子系の超強磁場伝導測定

7. 長時間パルス磁場下の精密電子物性計測技術

50T 級の長時間パルス磁場の磁場領域になると、競合する研究室・研究所は格段に多くなる。定常磁場でさえ米国国立強磁場研究所(NHMF)に行けば最高 45T まで使用できる。このような状況で「物性研超強磁場」の特徴を出す1つの道は、パルス磁場自身ではなく計測技術に特長を出すことである。そこで私達の研究室では精密電子物性計測技術の開発に重点を置くことにした。特に、最近米国で導入されつつあるマイクロマシン技術応用の微小プローブによる精密計測技術をパルス磁場に積極的に取り入れることにした。この技術開発は大道助手が中心となって進めている。マイクロプローブを自作するための微細加工装置類は整備されつつあるが、ノウハウの蓄積ともどもまだ不十分である。そこで当面は以下のような商用のマイクロプローブやデバイスをうまく流用した精密計測技術の開発を行っている。

- AFM 用カンチレバー (図 5) を利用した磁気トルク測定
- 血圧計用圧カプローブ (図 6) を利用した磁化測定
- FM ラジオ用 IC 検波器を利用した TDO(トンネルダイオード発振器)による表面インピーダンス測定

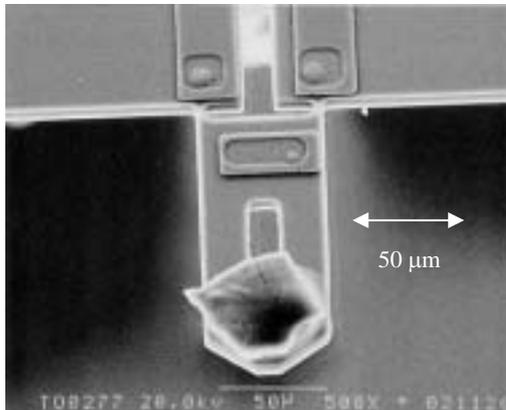


図 5 AFM 用カンチレバーを応用した磁気トルク測定

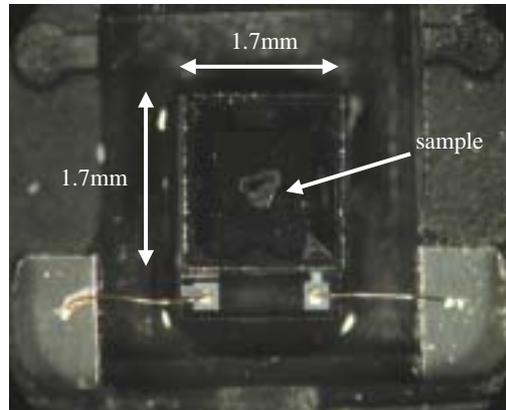
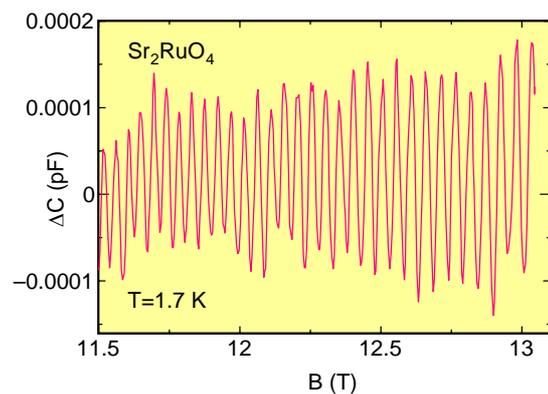
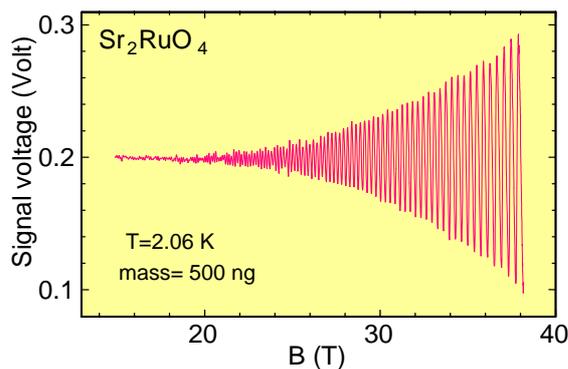


図 6 血圧計用半導体圧力センサーを応用したフラーゲル法磁化測定



特に市販の AFM カンチレバーを利用したトルク測定は、パルス磁場に限らず定常磁場でも容易に使用できるため、米国国立強磁場研究所(NHMFL)やオランダナイメーヘン強磁場研究所でも採用された物性研発信の技術となっている。私達の研究室では、これらを用いて MgB<sub>2</sub> 系超伝導体、Sr<sub>3</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 系酸化物、BEDT-TTF 系有機伝導体などの強磁場物性研究が進行中である。

### 8. 磁場方位に依存した強磁場物性

強磁場下の固体物性研究において、磁場強度は重要なパラメータであるが、同時に磁場方位も重要であることは言うまでもない。精密磁場方位依存性 (試料回転) の実験はパルス強磁場下では原理的に困難なので、定常磁場を使用して行っている。最近の研究対象は、多層系 (層状低次元伝導体) の層間磁気抵抗の磁場方位依存性に現れる磁気抵抗角度効果 (AMRO、Lebed 共鳴等) に関するもので、

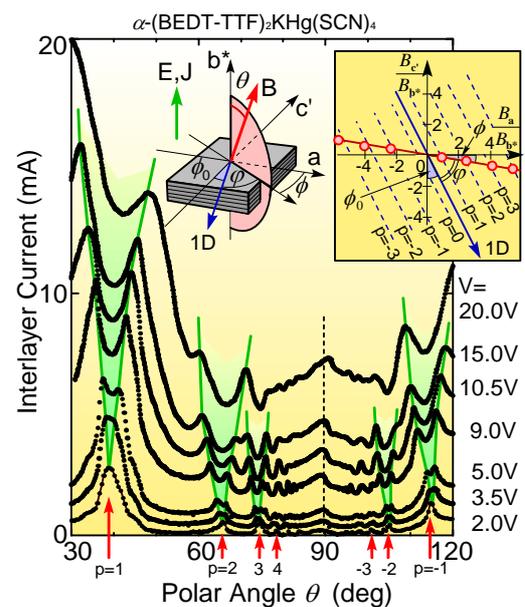


図 7 有機伝導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>KHg(SCN)<sub>4</sub> で観測された Lebed 共鳴の電場効果

- ・磁気抵抗角度効果の量子描像と量子効果
- ・電場中の磁気抵抗角度効果（図7）
- ・電場中磁気抵抗角度効果と電子軌道カオスの関係（図8）
- ・電場・磁場中電子軌道の量子カオス

などであり、半導体超格子や低次元有機導体の試料を作製して実験を行っている。

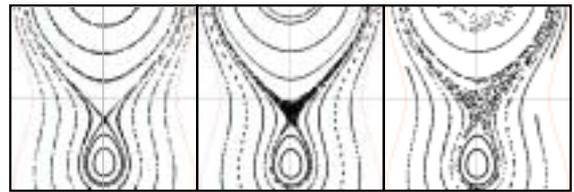


図8 擬2次元電子系における電場・磁場中電子軌道とカオスの発生

## 9. おわりに

現在、世界的に大きな強磁場施設が続々と建造され、強磁場科学におけるわが国の優位性は徐々に失われつつあり、これに対抗してわが国の強磁場研究者の横の連携を図るために「強磁場フォーラム」も発足した。数十人規模のスタッフ数を擁する外国の強磁場研究所に対して、数人のスタッフで維持する「物性研超強磁場」が生き残っていくためには、物性研の特徴を強く打ち出した研究を行って「局所優勢」の態勢を作り、物性研独自の強磁場物性を構築していく必要があると思う。

本稿で述べたことは全て、助手の大道英二氏、技官の池田悟氏と、(文中には敢えて名前を挙げなかったが)この6年間に本研究室に在籍した大学院生、長部太郎、齋藤志郎、加美伸治、蔵口雅彦、中村英達、野瀬裕之、井口智明、小林夏野、関谷毅、齋藤正樹、小早川将子、小笠原篤史、小松恵理子、加治木康介、今村大樹の諸氏との共同作業である。やはり大学は「学校」であり、彼(彼女)ら若い世代と共に行う研究生生活は刺激に富んで素晴らしいものである。またこの6年間、隣人として私達を御指導下さった三浦登先生、後藤恒昭先生には心から感謝したい。また嶽山正二郎所員、内田和人技官、三田村裕幸助手、小嶋映二助手、秘書の和田栄子さんをはじめとする超強磁場グループの方々にも日頃から御世話になっている。改めて感謝したい。(図9)

最後に本稿を書く機会を与えてくださった秋山所員、度重なる原稿締切の延長を辛抱強く耐えて下さった平澤共同利用掛長に感謝いたします。



図9 三浦海岸合宿(2002/5/18)

## 物性研究所短期研究会

# 高輝度放射光による物質科学

日時：平成 15 年 11 月 28 日(金)～29 日(土)

場所：東京大学物性研究所

平成 15 年 11 月 28 日、29 日に「高輝度放射光による物質科学」を主テーマとする標記研究会を行った。本研究会では、「高輝度放射光」によって一層進展しうる多彩な分野の研究、すなわち、物質の構造、電子現象、化学・材料、生命科学など幅広い学術分野における最近の成果に関する横断的な情報交換と討論を行い、これらの情報交換と討論により、個々の分野の研究を一層加速するとともに、それぞれの分野が新たな情報を取り入れる機会を提供することによって世界をリードしうる研究推進に貢献することを目指した。

第一日目は、冒頭に上田物性研究所長から「高輝度光源計画の現状について」ご報告いただき、引き続いて 12 件の研究講演が行われた。雨宮氏の深さ分解 XMCD 法による表面・界面磁性の研究、小林氏による電子・極角分解イオンコインシデンス法による表面反応の研究、足立氏による気相分子の内殻励起・電離の高分解能測定、上田氏による分子の核の運動測定など新しい手法を利用した最新の研究紹介が行われ、新しい測定手法や高輝度光源による研究の必要性が実感された。木口氏のアルカリハライド/金属界面の金属誘起ギャップ準位の観測、山根氏の PTCDA 薄膜の分子間エネルギーバンド分散の測定、鈴木氏によるフラーレンの高分解能光電子分光/イメージング/局所光電子分光は、いずれも最近の重要な課題に関するものであり将来の展開が期待された。金属誘起ギャップ準位問題についてはその原因について活発な討論が行われ、分子間エネルギーバンドについては薄膜の膜厚方向の分散であることから運動量の不確定性に関する議論が行われた。鈴木氏によるカーボンナノチューブの顕微光電子分光はチューブ端の状態密度、カーボンナノチューブへのセシウム拡散に関する知見を提供するなど極めて興味深いものであった。高田氏は、高エネルギー X 線によるバルク敏感光電子分光を紹介し、高エネルギー X 線による高エネルギー分解能光電子分光の有用性をあらためて指摘した。藤井氏は、DNA の放射線損傷の内殻吸収による研究を紹介し、溝川氏は Co-O 三角格子の電子状態研究を紹介した。中川氏は、特にアミノ酸を利用して CD 測定を波長 170nm まで拡張した興味ある研究を紹介した。DNA やアミノ酸など生体関連試料の高度な分光学的研究は、まだ未開拓の分野であるが、放射光の利点を利用して今後飛躍的に発展しそうな印象であった。斎藤氏は、SPring-8 の BL23SU の技術的問題などを含め光学系の現状を報告した。

2 日目は、まず、SPring-8 でプレリミナリな結果の出始めた軟エックス線スペックルについての講演が田口氏によってなされた。レーザーでは盛んに研究が行われてきたが、放射光ではコヒーレンスが不足しており、第 4 世代光源である自由電子レーザーなどで、実用化が目指されている実験である。しかし、世界の第 3 世代光源では、第 2 世代光源よりも高いコヒーレンシーを利用して、このような実験が先行して始まっており、オーバーサンプリング法の進展により、スペックルパターンから実空間の構造を得る試みがいくつか成功している。SPring-8 の軟エックス線領域での結果からは、まだ実像が得られる段階にはなっていないようであるが、世界的には磁区ドメイン観察に成功した例もあり、顕微鏡では得られない情報を得られる可能性がある手法として注目されている。光電子顕微鏡 (PEEM) は、PF と SPring-8 でようやく成果が上がり始めた研究である。今回は、物質材料研究機構が SPring8 で開発した装置の性能および成果について安福氏が紹介した。40nm 程度の空間分解能で元素選択的な画像が得られる段階になったようである。産総研の相浦氏は、自身が中心となって開発した低温かつ 6 軸の動作回転自由度を持つマニピュレータの実際と、その利用成果について

報告した。最近の強相間系物質の研究では、高分解能角度分解光電子分光が大きな役割を果たしていることは周知の事実である。光源、分光器、電子分析器の高性能化がその進歩を支えてきたが、サンプル周りの工夫、さらには偏光に依存したスペクトルの測定などの要請にこたえるためにも、注目すべき開発である。奈良先端大の大門氏は、自身の開発された2次元電子分析器 (DIANA) と、SPring-8 の円偏光アンジュレータビームラインを組み合わせて実現した、立体電子顕微鏡の成果を報告した。さらに、DIANA の入射レンズ系に PEEM を組み合わせることで、より微小領域の解析が可能になるようにするプロジェクトについての紹介があった。

2日目午前中の後半のセッションでは、広島大学の放射光施設で展開している、高分解能光電子分光実験、SPring-8 での産業利用の実態、佐賀県が計画し、すでに建設が開始された放射光施設の紹介が、それぞれ、島田、古宮、鎌田の各氏からあった。放射光計画の推進の際には目玉になるプロジェクトが必要で、東大が計画している高輝度光源でもこれらに関連したプロジェクトを、(より高いパフォーマンスでの実現を目指して)、打ち出している。産業利用に関しては、企業のニーズは高いが、実際の利用に関しては敷居が高かったのがこれまでの現状であったように思う。しかし、SPring8 で実際のコーディネートが行われている現状の紹介からは、少しずつ産業利用が根付いてきた実感が伝わってきた。実際の製品評価、製造へのフィードバックのほか、SPring8 で撮影した、スタッドレスタイヤから突き出たファイバーが、氷に食い込んでいる様子が宣伝に使われた話などは、非常に印象深かった。

最後のセッションでは藤川氏が、内殻分光理論の話がされた。最近話題になっている、多原子がかかわる共鳴光電子分光 (MARPE) について、実験家の間で論争となっている問題点がある程度解明できそうな印象を持つ回答を提示されていた。UVSOR の木村氏は、最近高度化が終了した UVSOR の現状と、今後についての講演を行った。高輝度光源計画が、実際にスタートできない現状では、真空紫外線領域では国際的に見ても、すばらしい光源になった。ビームライン整備まで予算が回っていないのが残念であるが、今後の努力に期待したいところである。PF の足立氏は、PF-AR を使った、時間分解測定の話について話をされた。生命科学のみならず、物性科学でも、光誘起相転移など、ダイナミクスを追いかける研究の重要性は増していくであろう。千田氏は、蛋白構造解析の立場から、新しい試みについての報告を行った。これまで、構造決定の際には 12keV 以上の X 線が有用であったが、硫黄の K 吸収端の利用により、低エネルギー領域でも、蛋白構造解析が可能になるという話であった。柏に高輝度光源ができた暁には、蛋白構造解析を行いたいというユーザーは、常総地区をはじめとして多数見込まれている。VUV-SX 領域が主体の高輝度光源計画ではあるが、硫黄の K 吸収端利用であれば、十分対応が可能であると感じた。

初日の講演終了後、VUV・SX 高輝度光源利用者懇談会が行われ、活動報告と、高輝度光源計画について、小間物質構造科学研究所長から現状説明が行われた。高輝度光源の建設については日本の経済状況から困難な状況のようであるが、その必要性については参加者一同の確固たる認識である。懇談会終了後の懇親会では、柳下懇談会会長の挨拶に引き続き、上野計画委員会委員長の音頭で高輝度放射光施設の建設を祈念して乾杯が行われ、研究成果、新実験技術、高輝度光源計画などについていっそう活発な議論が行われた。

以上、若手を中心に、非常に興味深い発表が数多く聞かれた研究会であった。いろいろな研究会と日程が重なり、例年の高輝度光源関連の研究会に比べると、出席者がやや少ない会議であったが、内容的には密度の濃いものになったと思う。高輝度光源計画を取り巻く情勢は厳しいものがあるが、少しでも先端的な研究を続け、発展させる努力を地道に、粘り強く行っていくことを確認し、散会した。

## 物性研究所短期研究会

# 表面分光の最前線とナノサイエンスへの展開

(第22回吸着分子の分光学的研究セミナー)

日時：2003年12月4日(木)、5日(金)

会場：東京大学物性研究所6階大講義室

研究会世話人 川合 真紀、潮田 資勝、上羽 弘、大島 忠平、吉信 淳、佐々木 岳彦

半導体、酸化物、金属などの表面物性、表面科学研究において大きな役割を果たしてきた表面分光法は、近年、時間ドメイン・空間ドメインにおいて、著しい高分解能化が実現されている。例えば SHG、SFG などのパルスレーザーを用いる非線形分光法の発展により、ピコ秒～フェムト秒領域のモード間エネルギー移行・緩和、化学結合の生成と開裂などのダイナミクスが精力的に研究されている。一方、STM、AFM などにより、単一分子のイメージング、スペクトロスコピー、電荷注入や探針を利用した反応制御などが実現され、高い注目を集めている。これらの発展は、ナノテクノロジーの基盤となるナノサイエンスとして重要であることはもちろんのこと、従来の研究分野の枠組みを越えた普遍的重要性を持つ物理・化学の新たな概念を導き出す契機にもなっている。それゆえ、実験家と理論家、物理学者と化学者の緊密な連携の必要性が極めて高くなっている。今回、多様なバックグラウンドを持つ研究者が集い、各自の研究成果の最新の成果を発表し十分に討論する機会をつくるために、物性研短期研究会「表面分光の最前線とナノサイエンスへの展開」を企画・開催した。表面振動分光、局所プローブ法 (SPM)、光電子分光、放射光分光など、表面分光を中心とした表面研究の最新の結果が講演やポスターで発表された(要旨参照)。物理・化学・理論・実験など多様なバックグラウンドを持つ研究者・大学院生が多数参加し、熱心な討論が行われた。

(文責：物性研究所 吉信 淳)

### プログラム

#### 12月4日

- |             |   |
|-------------|---|
| 13:00       | 開会の挨拶 吉信 淳  |
| 13:10-15:00 | 座長 米田 忠弘  |
| 13:10-13:30 | 01 Si(111)-7x7 表面レストアトム・アドアトムへのハロゲン吸着パターンの表面差分反射分光解析<br>(横浜国立大学) 首藤 健一、田中 正俊  |
| 13:30-13:50 | 02 Si(111)-(7x7) の初期酸化反応<br>(京大院理) 奥山 弘、有賀 哲也   |
| 13:50-14:10 | 03 VT-STM/STS による H/Si(111)-(1x1)表面上の Ag ナノ粒子の成長過程<br>(東北大院理) 須藤 彰三   |
| 14:10-14:40 | 04 依頼講演 Si(001)表面における不飽和炭化水素分子のダイナミクス—第一原理計算からのアプローチ—<br>(東大院理) 赤木 和人   |
| 14:40-15:00 | 05 プラズマ材料プロセスにおけるプラズマ—固体界面の研究—エバネッセント分光・プラズマ環境<br>SPM によるアプローチ—<br>(東大院新領域*・山梨大工**) ○伊藤 剛仁*、川崎 博久*、西山 寛之*、櫻井 彪**、<br>寺嶋 和夫* |
| 15:00-15:20 | 休憩  |
| 15:20-17:30 | 座長 溝川 貴司  |

- 15:20-15:50 06 依頼講演 表面吸着種の STM 発光  
(東北大通研) 上原 洋一、潮田 資勝
- 15:50-16:10 07 非接触 AFM による CeO<sub>2</sub>(111)表面の酸素欠陥構造に依存した吸着分子の反応性に関する研究  
(東大院理\*・東工大院理工\*\*)○生井 勝康\*、福井 賢一\*\*、岩澤 康裕\*
- 16:10-16:30 08 ルチル型 TiO<sub>2</sub>(110) 表面の非線形光学応答の第一原理計算による理論解析  
(北陸先端大) ○佐野 陽之、水谷 五郎、W. Wolf, R. Podloucky
- 16:30-16:50 09 酸化物薄膜の内殻 MCD と光電子分光  
(東大院新領域) 藤森 淳
- 16:50-17:10 010 表面 2 次元光電子分光ビームライン構想: 立体光電子顕微鏡と 2 次元光電子分光による微細領域の電子状態と原子構造  
(奈良先端大) 大門 寛
- 17:10-17:30 011 NbB<sub>2</sub>(0001)面上の BC<sub>3</sub> のフォノン分散  
(早大理工) ○柳沢 啓史、大島 忠平

## ポスターセッション 17:30 - 20:00

会場 物性研前カフェテリア

- P01 単一銀ナノ凝集体の表面プラズモン共鳴と表面増強ラマン散乱の励起プロファイルの関係  
(関学大理工) 橋本 和宏
- P02 フェムト秒過渡反射格子法による表面増強ラマン散乱機構の解明  
(東大院新領域) ○芝本 幸平、片山 建二、藤浪 真紀、澤田 嗣郎
- P03 FT-IR による吸着有機分子の吸着構造決定  
(宇都宮大工) ○岩井 秀和、江守 朗、江川 千佳司
- P04 電子線照射による Ice/CO/Rh(111)における CO の特異な吸着状態変化: IRAS, NEXAFS による研究  
(東大物性研) ○山本 達、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳
- P05 近赤外ポンパルス照射下の表面分子の SFG 観察  
(東工大資源研) ○久保田 純、和田 昭英、堂免 一成
- P06 帯状ポリジアセチレン-atomic sash-極薄膜の STM 観察及びラマン分光  
(東農工大工) ○遠藤 理、尾崎 弘行
- P07 STM による TiO<sub>2</sub>(110)表面上でのギ酸分解反応過程の in-situ 観察  
(東大院理) ○相澤 正樹、生井 勝康、佐々木 岳彦、岩澤 康裕
- P08 STM を用いた単一分子操作と振動分光  
○道祖尾恭之<sup>1</sup>、吹留 博一<sup>2</sup>、金 有洙<sup>1</sup>、米田 忠弘<sup>3</sup>、川合 真紀<sup>1</sup>、  
<sup>1</sup>理化学研究所、<sup>2</sup>豊田工業大学、<sup>3</sup>東北大学
- P09 低エネルギー微小領域電子線による表面ナノ構造の作製とその局所構造・電子状態分析  
(東大物性研) ○掛札 洋平、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳
- P10 紫外光照射による TiO<sub>2</sub>(001) 表面での吸着分子の光反応過程の STM 観察  
(東大院理\*・分子研\*\*) ○有賀 寛子\*、手老 龍吾\*\*、生井 勝康\*、岩澤 康裕\*
- P11 NC-AFM による MoO<sub>3</sub>(010) 表面の原子像観察  
(北大触媒セ) ○鈴木 秀士、大南 祐介、堤 哲也、M.M.M. Shoab、朝倉 清高
- P12 光熱変換近接場光学顕微鏡の開発  
(東大院新領域) ○戸谷 公紀、藤浪 真紀、澤田 嗣郎
- P13 高エネルギー分解能逆光電子分光装置の開発  
(東大院新領域) ○朝倉 大輔、藤井 靖大、溝川 貴司
- P14 高分解能内殻光電子分光法で観測される吸着分子の振動準位:C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> on Si(100)  
(東大物性研) ○山下 良之、向井 孝三、吉信 淳

- P15 窒素飽和吸着銅(001) 表面上におけるコバルトドットの XAS と MCD  
 (東大物性研) ○飯盛 拓嗣 (共同研究者 中辻 寛、大野 真也、柳生 数馬、高木 康多、土肥 俊介、宮岡 秀治、山田 正理、雨宮 健太<sup>A</sup>、松村 大樹<sup>A</sup>、北川 聡一郎<sup>A</sup>、横山 利彦<sup>B</sup>、太田 俊明<sup>A</sup>、室隆 桂之<sup>C</sup>、脇田 高德<sup>C</sup>、木村 昭夫<sup>D</sup>、今田 真<sup>E</sup>、小森 文夫：東大物性研、東大理<sup>A</sup>、分子研<sup>B</sup>、JASRI<sup>C</sup>、広大理<sup>D</sup>、阪大基礎工<sup>E</sup>)
- P16 Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒上の新規 CO-NO 反応機構の理論的研究  
 (東大院理\*、東大院新領域\*\*、産総研\*\*\*)  
 谷池 俊明\*、石井 恒至\*、佐々木 岳彦\*\*、森川 良忠\*\*\*、岩澤 康裕\*
- P17 Ni(111)表面上での H<sub>2</sub>S の解離とステップエッジの効果  
 (筑波大物質工) 平島 秀水、北田 暁彦、松本 健俊、中村 潤児
- P18 グラファイト表面での水素の吸着  
 (筑波大物質工) 石原 雅敏、波部 太一、松本 健俊、中村 潤児
- P19 N/Cu(001)表面における酸素吸着  
 (東大物性研) 柳生 数馬、大野 真也、中辻 寛、小森 文夫

懇親会 18:30 - 20:00 会場 物性研前カフェテリア

12月5日

- 9:00-10:20 座長 上羽 弘
- 9:00-9:30 012 依頼講演 トンネル電子で探る吸着分子の電子状態・振動状態  
 (東北大多元研) 米田 忠弘
- 9:30-9:50 013 単一分子を介した非弾性電流の電子状態計算  
 (産総研) 浅井 美博
- 9:50-10:20 014 依頼講演表面吸着分子振動励起による非弾性電気伝導度成分  
 (姫路工大院理) ○馬越 健次、土手 朋、N. Mingo
- 10:20-10:40 休憩
- 10:40-12:00 座長 伊藤 正時
- 10:40-11:00 015 薄膜の面内・面外振動モードの同時計測法  
 (日大生産工学部) 長谷川 健
- 11:00-11:20 016 STM で見る Ag(110)(n×1)-O added-row 再構成表面と CO、水との化学反応  
 (総研大葉山) 中越 修、渡邊 一也、○高木 紀明、松本 吉泰
- 11:20-11:40 017 Ag(110)および Cu(110)表面におけるメチルアルキルエーテルおよびメチルアルキルスルフィド類の回転異性-IRAS による研究  
 (早大理工) ○伊藤 紘一、篠原 裕直、笠原 廣貴、瓜生 陽一、門倉 慶
- 11:40-12:00 018 極低温 IRAS 測定による Pt(997)ステップ表面における NO の吸着状態と表面拡散  
 (東大物性研) ○塚原 規志、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳
- 12:00-13:00 昼休み
- 13:00-15:20 座長 伊藤 紘一
- 13:00-13:20 019 Ni(111)および O/Ni(111)表面上の水分子の赤外分光  
 (慶応大理工) ○中村 将志、伊藤 正時
- 13:20-13:40 020 Fe-BEA 触媒による N<sub>2</sub>O 選択還元反応-FTIR による反応メカニズムの考察  
 (筑波大物質工) ○信川 健、吉田 正典、富重 圭一、国森 公夫
- 13:40-14:00 021 分子線赤外発光法による触媒表面反応ダイナミクス -Pd 単結晶上での CO+NO 反応-  
 (筑波大物質工・神奈川科学技術アカデミー\*) ○中尾 憲治、上塚 洋\*、伊藤 伸一、大西 洋\*、富重 圭一、国森 公夫

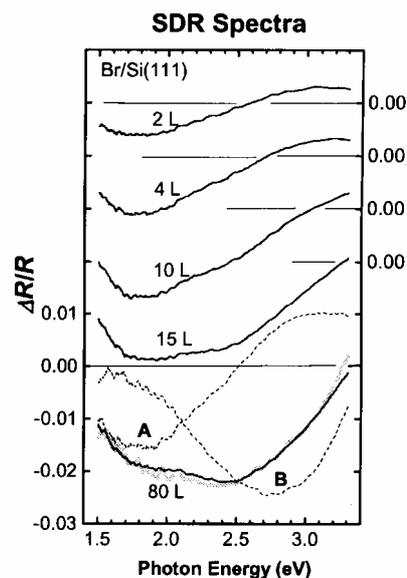
14:00-14:20	022	分散型表面 XAFS 法による表面反応解析 (東大院理) 近藤 寛
14:20-14:40	023	Cu-O 鎖構造を持つ銅酸化物の角度分解光電子分光 (東大院新領域) 溝川 貴司
14:40-15:00	024	金属基板表面上にヘテロ成長したオリゴチオフェン超薄膜の構造と電子状態 (東大院新領域) ○吉川 元起、木口 学、斉木 幸一朗
15:00-15:20	025	有機 FET における電界により注入されたキャリア分布測定 (東大院新領域) ○木口 学、中山 学、斉木 幸一朗
15:20-15:40		休憩
15:40-17:10		座長 水谷 五郎
15:40-16:00	026	フェムト秒時間分解 SHG 測定による表面吸着原子の振動ダイナミクス観測 (総研大葉山) ○渡邊 一也、高木 紀明、松本 吉泰
16:00-16:30	027	依頼講演レーザー最適制御シミュレーションによる表面吸着分子のフェムト秒脱離ダイナミクス解析 (東北大院理) 大槻 幸義
16:30-16:50	028	吸着色素の離脱による単一銀ナノ粒子凝集体の局在表面プラズモンと表面増強ラマン散乱の変化 (関西学院大) 伊藤 民武
16:50-17:10	029	フェムト秒反射分光法による色素単分子膜の時間領域ラマン測定 (神奈川科学技術アカデミー) ○藤芳 暁、石橋 孝章、大西 洋
17:10-17:20		まとめ (理研) 川合 真紀 閉会の言葉

## 01 Si(111)-7x7 表面レストアトム.アドアトムへのハロゲン吸着パターンの表面差分反射分光解析

横浜国立大学 首藤 健一、田中 正俊

表面反射差分分光法でシリコン(111)表面に於けるハロゲン吸着を観測した。右図は臭素被曝量を変化させながら得たスペクトルである。この手法では Si アドアトムのダングリングボンドの終端(A 成分)のみではなく、バックボンド電子の状態変化から 2 層目への Si-Si 結合の切断(B 成分)が分かる。質量分析器を用いた熱脱離測定を同時に行って表面吸着量を求め、塩素と臭素で多塩化シリコンの生成過程を比較した。

ハロゲンが表面上に束縛される際には、吸着子間反撥の為に、吸着サイトが無条件に選ばれているのではないことを示していた。塩素と臭素の吸着子生成過程では吸着子間反撥が異なり、臭化物は隣接して形成されるのを避ける傾向に有ると考えられる。これらの吸着パターンの差異は、基板上に有機分子などを配列させるマスクに利用できるであろう。



シリコン表面の初期酸化反応は酸化シリコン薄膜の形成過程を理解する上で重要である。しかしながら Si(111)-(7x7) 表面においては分子状酸素の前駆体が提唱されるなど、原子レベルでは未だ十分に理解されていない。反応生成物を決定する目的で、走査トンネル顕微鏡(STM)と電子エネルギー損失分光(EELS)を用いて、低温(78K)で実験を行った。まず STM では反応がアドアトムで進行し、反応サイトは「暗く」観測されることがわかった。この反応物は STM 短針による操作で「明るい」サイトへと変化する。EELS による振動情報から初期生成物は準安定な ad-ins 構造(下図)であり、STM 操作によって安定な ins-ins 構造へと変化するが示された。

### 03 VT/VT-STM/STS による H/Si(111)-(1x1) 表面上の Ag ナノ粒子の成長過程

東北大院理、Poznan Univ. of Tech.(Poland)<sup>A</sup>、Polish Academy of Science<sup>B</sup>、学際セ<sup>C</sup>、理研<sup>D</sup>  
須藤 彰三、永島 幸延、R. Czajka<sup>A</sup>、志波 晃子、加藤 大樹、A. Wawro<sup>B</sup>、C、山田 太郎<sup>D</sup>、早川 美徳、粕谷 厚生<sup>C</sup>

近年、水素終端した Si(111)1x1 表面上の銀ナノ粒子に関して、電子顕微鏡観察による特異な成長過程<sup>[1]</sup>、および光電子分光法による電子状態<sup>[2]</sup> が報告された。文献 2 の報告によると Ag ナノ粒子は、平均膜厚 0.5ML で半導体から金属に転移する。本講演では、個々のナノ粒子の STM/STS を測定し、成長過程と電子状態を議論する。

Ag ナノ粒子は、化学処理により水素終端した Si(111)1x1 表面上に Ag を蒸着し成長させた。そのクラスターの成長過程を温度可変型の走査トンネル顕微鏡(VT-STM)で観察した。蒸着、測定時の基板温度は同じで 120K、300K、570K とした。STM 像より、クラスターのサイズ、数密度等の蒸着量および温度依存性を求めた。その結果を Solid-on-Solid(SOS)モデルのシミュレーションを行い比較、考察した。SOS モデルでは、表面に適用できるように表面吸着エネルギーの項を加え、メトロポリスモンテカルロ法により計算を行った。その結果、2ML 以上の成長過程を再現することができた。それ以下の膜厚では、密度の変化をうまく説明できない。さらに、STS 測定より個々の Ag ナノ粒子は、4 層 (膜厚 0.94nm) で半導体から金属に転移することが明らかになった。

[1] J.M. Zuo and B.Q.Li, Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 255502.

[2] A. Arranz et al, Phys. Rev. B **65** (2002) 075405.

### 04 依頼講演

#### Si(001)表面における不飽和炭化水素分子のダイナミクス —第一原理計算からのアプローチ—

不飽和炭化水素分子にとって、半導体表面に並ぶダングリングボンドは強い $\sigma$ 結合を作り得る格好の反応相手である。このダングリングボンドは物質の個性を反映して規則的な並びや電子状態を持っているため、これに見合う適切な大きさや形を持つ不飽和炭化水素分子は、表面構造を反映して規則的かつ強力に固定される。

われわれがこの「不飽和炭化水素/半導体」系に注目するのは、こうして垣持された分子に対して馴染みの手法を用いたさらなる化学修飾を行ない、溶液とは異なる対称性の元での有機化学が展開できる可能性があるかと期待しているからである。

しかし、このような吸着系に対してさらなる化学反応を適用するには互いに密接した次の 2 つの事柄についての理解が欠かせない。ひとつは「実際に実現されている吸着構造がどのようなものか」というものであり、もうひとつは「そのよ

うな吸着構造が形成されたのはどのような因子が働いたからか」というものである。前者はこれから起り得る反応の予測に不可欠であり、後者は望ましい反応場を誘導するためのヒントを与える。この研究会では、これまでに吉信研究室と共同で調べてきた系の中から、C=C 結合を分子あたり 2 つ持つ 1,4-シクロヘキサジエンが Si(001) 表面に高被覆率 (~0.7ML) で化学吸着した際に観察される規則的な吸着パターンを題材に、対応する構造がどのようなものであり、それがどのような吸着プロセスを示唆しているのかについて、第一原理分子動力学計算によって明らかになってきた描像を報告する。その中で、静的な構造だけから STM 像の解釈を行なうことの限界などにも触れたい。

## 05 プラズマ材料プロセスにおけるプラズマ-固体界面の研究 ～エバネッセント分光・プラズマ環境 SPM によるアプローチ～

東大院新領域\*・山梨 大工\*\*

○伊藤 剛仁\*、川崎 博久\*、西山 寛之\*、櫻井 彪\*\*、寺嶋 和夫\*

プラズマ成膜・エッチングなどのプラズマ材料プロセスにおいて、プラズマ-固体界面における知見を得ることは、プロセスの更なる高制御化、生成物の高品質化において、もっとも重要な課題のひとつと考えられる。しかしながら現在までのプラズマ材料プロセスの研究においては、プラズマバルク部の性質と、生成物との対比を行うことが主であり、反応への寄与が高いプラズマ-固体界面に焦点を当てた研究は少ない。本発表では、(1)プラズマ環境下でも動作可能な走査型トンネル顕微鏡(STM)の開発による、プラズマ材料プロセスの in-situ 固体表面観察、(2)エバネッセント分光法による固体極近傍のプラズマ診断、といった、プラズマ材料プロセスにおける、極微視的なプラズマ-固体界面研究について発表させていただく。

## 06 依頼講演 表面吸着種の STM 発光

東北大学・電気通信研究所 上原 洋一、潮田 資勝

走査型トンネル顕微鏡 (STM) の探針先端から試料への電子トンネルにより、可視発光が励起される (STM 発光)。この電子トンネルは原子レベルのサイズまで収束されているので、個々の吸着種を識別した発光実験が可能になる。我々はこれまで各種の吸着系について、吸着種と基板の発光スペクトルを計測してきた。その結果、何れの系でも吸着種の発光スペクトル (探針を吸着種上に固定したときのスペクトル) が基板の発光スペクトルと異なることを見いだした。発光スペクトルの違いをもたらしている吸着種の物性が明らかになれば、STM 発光スペクトル計測から吸着種の同定が可能になることを期待している。

このセミナーでは、Ni(110)-H(D)、Cu(110)-CO、HOPG-R6G (ローダミン 6G) 各吸着系について、実験結果を紹介し、発光スペクトルの違いをもたらしている吸着種の物性について議論する。

## 07 非接触 AFM による CeO<sub>2</sub>(111)(表面の酸素欠陥構造に依存した吸着分子の反応性に関する研究

東大院理\*、東工大院理工\*\* ○生井 勝康\*、福井 賢一\*\*、岩澤 康裕\*

[序] 酸化セリウム(CeO<sub>2</sub>)は、気相中の酸素濃度に応じて、自身への酸素吸収及び反応活性点への酸素供給が可能な「酸素のリザーバー」としての特異な性質を持つことが示唆されているが、そのメカニズムについては明らかになっておらず、これまでに、非接触 AFM 及び STM を用いて、CeO<sub>2</sub>(111) 表面の酸化状態に依存した原子レベル構造、表面酸素原子の

動的挙動とその反応性について検討してきた。今回、表面酸素原子及び酸素欠陥での反応性を調べるためメタノールと二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )を反応分子として導入し、酸素原子、酸素欠陥及び反応分子の動的挙動について非接触 AFM により検討した結果について報告する。

**[実験]** 非接触 AFM/STM は JEOL 製の JAFM-4500XT を使用し、測定は UHV 下( $2 \times 10^{-8}$  Pa)、室温で行った。非接触 AFM では、共振周波数 290-350kHz、バネ定数 20-30N/m の Si カンチレバーを、STM では、電解研磨した W tip を使用した。 $\text{CeO}_2(111)$  表面の清浄化は、 $\text{Ar}^+$ スパッタリングと真空下、1173K で 60 秒間アニールするサイクルを繰り返して行った。

**[結果と考察]** 化学量論組成に近い  $\text{CeO}_2(111)$  表面に  $\text{NO}_2$  を露出した後、非接触 AFM により観察したが、表面構造の変化及び吸着種は見られなかった。続いて、酸素欠陥密度が  $1.2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$  である多原子欠陥の形成された  $\text{CeO}_2(111)$  表面に室温、 $1.0 \times 10^{-6}$  Pa で  $\text{NO}_2$  を導入しながら、 $\text{CeO}_2(111)$  表面の同一部分を連続して非接触 AFM 観察を行った(図 1)。図 1(a)は、 $\text{NO}_2$  導入前、図 1(b)は、 $\text{NO}_2$  を導入してから、91 秒後に観察されたものである。図 1(b)では、図 1(a)で観察された酸素欠陥が埋められ、観察された輝点は周りの輝点のコントラストと同じになることが分かった。これは、我々が過去に酸素共存下での同一部分の連続非接触 AFM 観察での結果に一致しており、酸素原子が吸着したと思われる。過去の報告では、一酸化窒素( $\text{NO}$ )は  $\text{CeO}_2$  単体には吸着しないことから、酸素欠陥サイトで、 $\text{NO}_2$  が  $\text{NO}$  と酸素原子に解離して、 $\text{NO}$  が脱離し、酸素原子が吸着したと思われる。また、数は多くないものの、安定な吸着種が観察されることも分かった。 $\text{NO}_2$  を 27L( $1.0 \times 10^{-5}$  Pa, 360s) 露出した後の  $\text{CeO}_2(111)$  表面を非接触

AFM により観察したところ、高さ 0.13-0.17nm の protrusion が観察された。 $\text{NO}_2$  導入前の酸素欠陥密度( $1.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ ) は、 $\text{NO}_2$  導入後には、 $6.0 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$  に減少しており、酸素欠陥サイトで  $\text{NO}_2$  の解離吸着が起こっていると考えられる。続いて、この表面を 450K にアニールした後、非接触 AFM 観察したところ、protrusion は消失し観察されなかった。過去の論文で、 $\text{NO}_3$  は、450-600K で脱離することから、観察された protrusion は、 $\text{NO}_3$  であるものと考えている。protrusion の吸着サイトと lineprofile の解析から、 $\text{NO}_2$  は欠陥サイトに吸着し、隣接した酸素原子と反応して  $\text{NO}_3$  を形成することが示唆された。

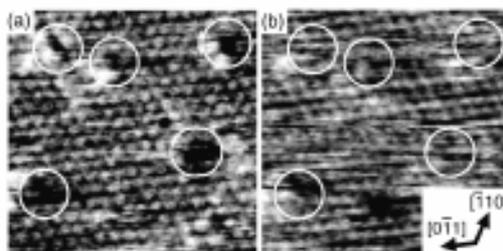


図 1.  $\text{CeO}_2(111)$  表面の  $\text{NO}_2$  共存下での同一部分の原子分解能非接触 AFM 像 ( $6.2 \times 6.2 \text{nm}^2$ ;  $\Delta A \sim 8 \text{nm}$ ,  $V_s = -0.931 \text{ V}$ ,  $\Delta f \sim 178 \text{ Hz}$ )  
白丸で囲まれた部分は、同一部分を表す。

## 08 ルチル型 $\text{TiO}_2(110)$ 表面の非線形光学応答の第一原理計算による理論解析

A 北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科、B マテリアルデザイン、C ウィーン大学  
佐野 陽之<sup>A</sup>、水谷 五郎<sup>A</sup>、W. Wolf<sup>B</sup>、R. Podlucky<sup>C</sup>

ルチル型  $\text{TiO}_2(110)$  表面の表面電子状態を解析するために、この表面系の非線形光学応答を FLAPW(full-potential linearized augmented plane-wave) 法を用いた第一原理計算により求めた。計算結果は SH 分光スペクトルの測定データの特徴である  $2\hbar\omega = 3.3 \text{ eV}$  付近からの SH 光強度の立ち上がりや偏光の違いによる SH 光強度の変化を良く再現し、金属酸化物である  $\text{TiO}_2$  においても本研究で用いた計算手法が妥当な結果を与えることが分かった。また、表面上の特定の Ti-O 原子対からの SH 応答を計算して実験データと比較する解析を行ったところ、大きな表面 SH 応答を示す  $2\hbar\omega \geq 4 \text{ eV}$  の領域では、 $[001]$  方向に沿った Ti-O ジグザグ鎖の O の占有状態から Ti の非占有状態への光学遷移がこの表面系の SH 応答の起源であることが分かった。

近年、パルスレーザー蒸着法 (PLD) を用いて様々な酸化物の単結晶薄膜がエピタキシャルに合成されるようになり、通常の固体反応では得られない新しい物性を持った物質、界面・ナノ構造を利用した新しい機能を持つ物質の探索が盛んに行われている。本講演では、ZnO をベースにした高いキュリー温度を持つ強磁性体、固体反応では高圧酸素を必要とするペロブスカイト型 Fe 酸化物の PLD 作成薄膜を中心に、光電子分光と内殻軟 X 線吸収 MCD を用いた最近の研究について述べる。とくに、MCD を用いることによって、内殻軟 X 線吸収の元素選択性に加えて、磁気状態を選択して電子状態を調べることができ、磁性体新物質、界面・表面・ナノ構造の磁性研究にユニークな手法となることを強調する。

## 010 表面 2 次元光電子分光ビームライン構想：立体光電子顕微鏡と 2 次元光電子分光による微細領域の電子状態と原子構造

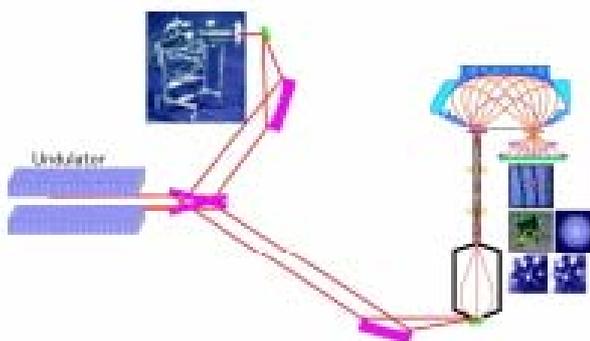
奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科 大門 寛

固体表面の光電子分光はこれまでエネルギーバンド構造や内殻シフト、光電子回折など多くの手法により多彩な成果を上げてきている。今後も、この情報量の多さと正確さによって表面解析の重要なツールであり続けることは間違いない。今後はナノテクノロジーへの寄与も考慮した発展が考えられるが、その場合

- (1) 微小領域の測定・マッピング
- (2) 静的から動的へ

という展開が望まれる。光電子顕微鏡の機能はこの条件

を満たしているため今後の発展が期待される。また、表面相転移のエネルギーを考えると高エネルギー分解能の測定も必要であるため、理想的なビームラインとしては図のようなものが考えられる。図では、Scientia と合わせて光電子顕微鏡として、現在我々が開発している「立体原子顕微鏡」機能を持つものを描いている。



## 011

### NbB<sub>2</sub>(0001) 面上の BC<sub>3</sub> のフォノン分散

<sup>1</sup> 早大理工、<sup>2</sup> 物質材料研究機構

柳沢 啓史<sup>1</sup>、田中 崇之<sup>1</sup>、石田 親康<sup>1</sup>、松江 雅敏<sup>1</sup>、六田 英治<sup>1</sup>、大谷 茂樹<sup>2</sup>、大島 忠平<sup>1</sup>

NbB<sub>2</sub> を真空中、1500 度で加熱すると、NbB<sub>2</sub>(0001) 面上に非常に一様で結晶性のよい BC<sub>3</sub> 膜(図 1)が出来ることが LEED、XPS、STM を用いた我々の以前の研究により明らかになっている。今回我々は高分解能電子エネルギー損失分光法 (HREELS) を用いてこの BC<sub>3</sub> の  $\Gamma$  - M 方向のフォノン分散を測定し、また第一原理計算(密度汎関数法)を用いて BC<sub>3</sub> のフォノン分散(図 2)を計算することで、初めての BC<sub>3</sub> のフォノン分散を決定した。測定されたフォノン分散(図 2)は、140meV まで大きく分散する音響モードが観測され、蜂の巣層状物質の典型的なフォノン分散を示した。また、観測された BC<sub>3</sub> の最大の振動数(180meV)は遷移金属二ホウ化物中の蜂の巣構造をとったホウ素層の最大振動数(約 90meV)よりはるかに高く、グラファイトのそれ(200meV)よりわずかに小さかった。計算結果(図 2 実線)は観測されたフォノン分散とよく一致していた。大きな違いは、観測されたフォノンにおいて、下地の影響と思われる ZO フォノンモードのソフト化が観測されたことである。

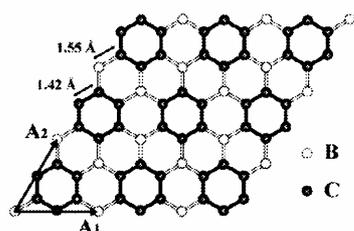


図1 単層BC<sub>3</sub>の原子配列. A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>はユニットベクトルを表す。

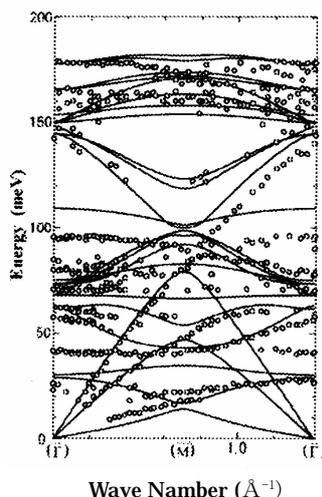


図2 観測されたBC<sub>3</sub>薄膜のΓ-M方向のフォノン分散。実線は第一原理計算により求められたフォノン分散。

## P01 単一銀ナノ凝集体の表面プラズモン共鳴と表面増強ラマン散乱の励起プロファイルの関係

関学大理工 ○橋本 宏、伊藤 民武、池羽田 晶文、尾崎 幸洋

表面増強ラマン散乱(SERS)の発現機構の解明のため、単一銀ナノ粒子における表面プラズモン共鳴(SPR)と SERS 発現の関係が研究されている。Finite-Difference-Time-Domain 法による計算の結果、SPR によって引き起こされる増強電場による SERS の増強因子は  $10^8 \sim 10^{10}$  であり、吸着分子の電子共鳴による増強因子の  $10^4 \sim 10^5$ 、電荷移動(CT)の増強因子の  $10^2 \sim 10^3$  に比べると非常に大きいため、SERS の励起プロファイルは SPR バンドのピーク波長に強く依存すると予想される。金属コロイド溶液中において SPR は金属粒子の大きさや形に大きく依存するため平均化されてしまい、SERS の励起波長依存性は分子の吸収スペクトルとほぼ一致する。そこで我々は単一銀ナノ粒子一つ一つについてその SPR と吸着した Rhodamine6G(R6G)の SERS を測定し、SPR バンドのピーク波長シフトによる SERS の励起プロファイルの変化を直接観測した。その結果、SPR の長波長シフトに伴い、SERS の励起プロファイルの広帯域化と長波長シフトが観測された。これは SERS に対する電場効果の寄与を直接観測できたことを示しており、検出分子ごとに適当な SPR バンドと励起波長を選択することによって SERS 検出法を最適化できることを示唆している。

## P02 フェムト秒過渡反射格子法による表面増強ラマン散乱機構の解明

東大院・新領域 ○芝本 幸平、片山 建二、藤浪 真紀、澤田 嗣郎

表面増強ラマン散乱効果(SERS)とはある程度の凹凸をもつ金属表面に分子が吸着した際にラマン散乱断面積が  $10^4 \sim 10^6$  倍に増強される現象である。これまでに SERS 効果の機構として、表面粗さによる局所的な電磁場増強効果と金属と吸着分子間に生成された吸着準位を介した電荷移動(CT)効果の複合効果として解釈されているが、未だ不明な点も多い。我々はフェムト秒パルスレーザーによる過渡反射格子スペクトル(TRGS)法を開発し、金属や半導体において光励起電子のダイナミクス及びエネルギー情報を高感度かつ表面選択的に観測することに成功してきた。励起電子が SERS 効果に重要な役割を果たしていることから、その CT 過程を TRGS によってサブ ps の時間分解能で観測し、SERS 機構解明に資することを目的とした。

実験試料としては、Au 上にクリスタルバイオレット分子を吸着した系における SERS 活性試料と不活性試料との比較、TRGS 信号の吸着種依存性などを測定した。TRGS 測定は、400nm のフェムト秒パルスレーザー(パルス幅 200fs)を 2 本

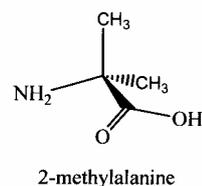
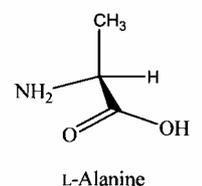
同時かつ対称に試料に照射して回折格子縞を生成させ、それによって回折した白色光(400nm~800nm)をプローブ光として用いる。プローブ光の波長に対応した軌道の電子密度の時間変化を計測することになる。SERS 活性試料との比較では、TRGS 信号強度の違いが明瞭に現れ、活性試料においてのみ 200fs 以下の緩和過程が存在することが示された。また、活性試料においても電磁効果のみではその緩和過程は認められず、化学効果がある際に顕著になることがわかった。これらの結果から、SERS 活性試料の一部において金中で励起された電子が 200fs 以内に吸着分子へ CT すること、その電子数と SERS 増強度に相関があることを新たに見出した。次に吸着種依存性を調べたところ、CT 電子数は金と吸着分子間に生成する過渡的な吸着準位が金のバンド間遷移準位に近いほど SERS 増強度が增大することがわかった。本研究は、SERS 効果解明に光励起電子の緩和過程の直接観察を着想した初めての例であり、それにより CT の直接観察、新たな吸着準位の存在を見出し、SERS との相関を示すことができた。

## P03 FT-IR による吸着有機分子の吸着構造決定

宇都宮大工 ○岩井 秀和、江守 朗、江川 千佳司

### abstract

これまでに、超高真空中で Cu(001) 清浄表面にラセミ体のアラニン室温で吸着すると、光学異性体分離と各アラニンの自己組織配列が起こることを STM によって観測している。Cu 表面には、アミノ基の窒素とカルボキシル基の二つの酸素によって吸着していることがわかっており、また、STM により表面垂直方向から見た吸着子の対称性がわかり、その周期構造もわかるものの、官能基のメチル基が上を向いて表面から離れているか、下を向いて表面に近づいているかで L 体 D 体の識別の議論が逆転してしまう。そこで、本研究では FT-IR により Cu(001) 表面上に吸着した L-Alanine の吸着構造について調べ、各官能基の配向について議論する。また、もしメチル基が表面に近づくことが可能なら、2-methylalanine(右図)でも同様の赤外吸収スペクトルが得られることになると期待されるため、比較実験として 2-methylalanine の吸着も行った。



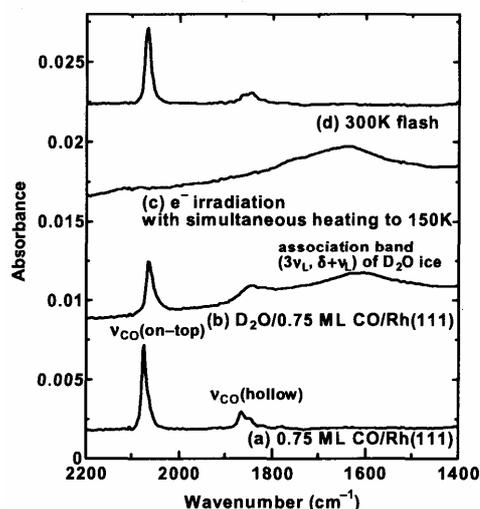
## P04 電子線照射による Ice/CO/Rh(111)における CO の特異な吸着状態変化 : IRAS, NEXAFS による研究

○東大物性研 山本 達、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳

[序論] 固液界面における分子の配向や構造は、電極反応を理解する上で重要であり、それらは電極電位によって大きく変化することが知られている<sup>[1, 2]</sup>。本研究では、溶液中の電極の類推として、超高真空中で金属表面に化学吸着した一酸化炭素(CO)を氷薄膜で覆い、CO 分子の吸着状態と電子線照射効果について赤外反射吸収分光法(IRAS)及び X 線吸収端微細構造(NEXAFS)分光法を用いて調べた。

[実験手法] Ice/CO/Rh(111)構造は、25K まで冷却した Rh(111)基板の上に CO を飽和吸着させた Rh(111)(2×2)-3CO 表面を用意し、その上を氷薄膜(厚さ: 約 500 Å) で覆い作成した。

図1 赤外反射スペクトル (測定温度25 K K)  
 (a) 飽和吸着量(0.75 ML) CO/ Rh(111)  
 (b) D<sub>2</sub>O/ 0.75ML CO/Rh(111)  
 (c) 150K で電子線照射後  
 (d) 300K に昇温後



[結果と考察] 図1は、Rh(111)(2×2)-3CO (1つの on-top, 2つの hollow site CO) (図1(a)) 及び、その上を D<sub>2</sub>O 氷で覆った (図1(b)) 際の IRAS スペクトルである。次に、150 K に加熱しつつ 200eV の電子線を照射すると、on-top 及び hollow site 由来の CO のピークがほぼ消失した (図1(c))。その後、300K まで昇温し、水分子を脱離させると再び飽和吸着 CO のスペクトルが観測された (図1(d))。このことから、吸着 CO のピークがほぼ消失したのは、CO が脱離したためではなく、加熱下の電子線照射によることが分かった。更に、この結果が CO 分子の配向の変化に起因するののかどうかを NEXAFS により検討した。当日は NEXAFS の結果を含め、CO 分子の振動ピークがほぼ消失した原因について詳しい議論を行う。

[1] M. F. Toney et al., Nature 368 444 (1994).

[2] S. A. Wasileski et al., J. Phys. Chem. B 105 3518 (2001).

## P05 近赤外ポンプパルス照射下の表面分子の SFG 観察 : Ni(111)表面上のシクロヘキサン

東工大資源研 ○久保田 純、和田昭 英、堂免 一成

金属表面にピコ秒の近赤外ポンプパルスを照射すると、数百ピコ秒以内で表面の温度が過渡的に上昇、降下する。超短パルスレーザー照射を用いる温度ジャンプでは、表面が高温である時間が短いため、表面温度が通常の脱離・分解温度より高い温度までジャンプしても、吸着種は速度論的に脱離・分解できずに表面に留まる。

Ni(111)にモノレイヤーのシクロヘキサンに 1064nm のポンプ光を照射したときの過渡 SFG スペクトルを測定した。2865、2914cm<sup>-1</sup>に2種類の吸着状態のシクロヘキサンの CH<sub>2</sub> 逆対称伸縮振動によるピークが観察された。高吸着量で見られた 2914cm<sup>-1</sup> のピークは分子がオーダーしたアイランドによるもので、他方のピークはアイランドから孤立して吸着している分子によるものである。2815cm<sup>-1</sup>には両方の構造に由来する CH<sub>2</sub> 対称伸縮振動によるピークがオーバーラップして検出された。ポンプ光を照射することによって、2865cm<sup>-1</sup> のピークの強度は減少し、2905cm<sup>-1</sup> のものは強度が増えた。この挙動から、ポンプ光で表面が瞬間的に温度ジャンプすると、孤立している分子は熱励起され、吸着サイト間を移動しアイランドに取り込まれることが示唆される。

## P06 帯状ポリジアセチレン-atomic sash-極薄膜の STM 観察及びラマン分光

東農工大工 ○遠藤 理、尾崎 弘行

超高真空下でグラファイト(0001)面に蒸着した 17,19-hexatriacontadiyne(HTDY)は炭素骨格平面が下地に平行な flat-on 配向で密に充填したラメラ構造からなる単分子層を形成する。蒸着量を増やすと、一層目のラメラの真上に二層目が形成されることがある。われわれは HTDY 単分子層及び二層膜に紫外線を照射して得られた帯状ポリジアセチレン *atomic sash* の極薄膜を超高真空 STM により室温以下の様々な温度で観察した。単分子層では重合体はポリジアセチレン鎖のコントラストとアルキル鎖の配座の異なる二種類の構造をとる。バルクのポリジアセチレンに見られる相転移との類推から、アルキル鎖が alltrans で全体に分子の形状が観測しづらい状態を高温相、アルキル鎖に gauche 配座が入って中央部が持ち上がって明るく観測される状態を低温相と帰属した。相間の転移は温度および STM 探針によって誘起される。また試料を大気中に取り出してラマン分光測定を行い、STM で観測しづらい高温相においてもポリジアセチレン鎖が存在していることを確認した。二層目の重合体は一層目の真上に並び高いコントラストを与え、探針によって容易に変形が可能であることが分かった。またポリジアセチレン鎖中の二重、三重結合の波数が一層目とは異なることも分かった。

東大院理、東大院新領域\* ○相澤 正樹、生井 勝康、佐々木 岳彦\*、岩澤 康裕

【序】 $\text{TiO}_2(110)$ 表面上でのギ酸分解反応は、単分子反応と二分子反応の2つの分解経路があることが当研究室により示されている。ギ酸は  $\text{TiO}_2(110)$ 表面上で解離吸着し、単分子反応では一酸化炭素と水に分解する。過去の研究において反応生成物や活性化エネルギー、吸着状態等から反応機構が提案されているが、反応サイトや中間体を含めて詳細な反応機構は不明である。本研究では、当研究室により報告された第一原理分子動力学法に基づく理論計算により提案されている単分子分解反応機構を実証するため、表面上に解離吸着した formate の STM 観察を行った。

【実験】STM 観察は、超高真空 STM (JEOL - JSTM4500VT) を用いて、電解研磨して先鋭化した W 探針を使用し、室温および約 370K で行った。試料は鏡面研磨した  $\text{TiO}_2(110)$ 単結晶表面 (Earth Chemical) を用い、 $\text{Ar}^+$ スパッタリングと真空加熱 (900 K) するサイクルを繰り返して清浄化した。

【結果と考察】 $\text{TiO}_2(110)$ 表面上に解離吸着した formate は Ti 列上に bridge 型で吸着し、 $\text{H}^+$ は bridge 酸素上に吸着する。perfect な  $\text{TiO}_2(110)$ 表面ではギ酸の分解反応が起こりにくく、2つの隣接する bridge 酸素上に吸着した水素原子から水が脱離し、形成された酸素欠陥に  $[\bar{1}10]$ 方向に傾いて吸着した formate から CO が脱離する経路が、実験的に得られた活性化エネルギーをほぼ再現することが理論計算により示されている。室温で  $\text{TiO}_2(110)$ 表面にギ酸 1L を露出すると、Ti 列上のみ高さ 0.18nm の formate が観察される。この表面を水の脱離温度である約 370K で STM 観察を行ったところ、Ti 列上と酸素列上の両方で formate が観察された(図 1)。観察された formate のうち約 1/5~1/4 が酸素欠陥上に吸着しており、これらは水の脱離により形成された酸素欠陥上の formate であるものと考えられる。今後、温度を細かく変化させて測定することにより、酸素欠陥上の formate の生成過程、あるいは、これらの吸着種の脱離過程を STM 観察し、反応機構について検討を行う予定である。

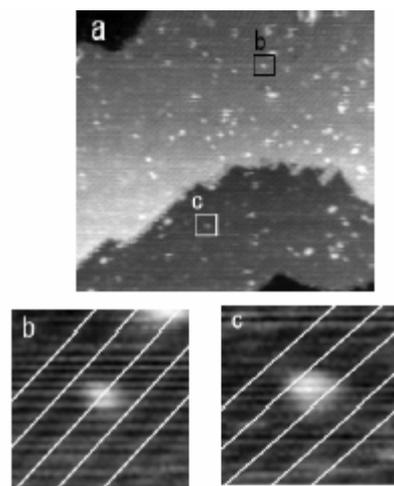


図 1 ギ酸を 1L 露出後、約 370K に加熱した表面 (0.998V, 0.20nA, a:40×40nm<sup>2</sup>, b,c:3.3×3.3 nm<sup>2</sup>)  
b:Ti 列上の輝点の拡大図  
c:O 列上に輝点の拡大図

<sup>1</sup>理化学研究所、<sup>2</sup>豊田工業大学、<sup>3</sup>東北大学

道祖尾 恭之<sup>1</sup>、吹留 博一<sup>2</sup>、金 有洙<sup>1</sup>、米田 忠弘<sup>3</sup>、川合 真紀<sup>1</sup>

走査トンネル顕微鏡 (STM) を用い、物質表面の単一吸着分子を化学反応も含めて自由に操作する試みは高い関心を持たれている。特に、トンネル電子の注入によって引き起こされる現象には、非弾性トンネル過程を介した振動励起が重要な役割を果たしていると考えられるものがある。また、STM を用いた表面吸着種の化学的同定も、非弾性トンネル分光 (STM-IETS) により吸着分子の振動モードの測定により行われる<sup>[1]</sup>。

そこで本研究では、Pd(110)表面に吸着したシス-、トランス-構造を持つ最も単純な炭化水素であるブテン分子 ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) を例として、振動励起による単一分子操作、ならびに振動分光について報告する。これらの幾何異性体は STM 観察により識別でき、STM-IETS による振動スペクトルにも明瞭な違いが見られた。トランス-2-ブテン分子の場合、トンネル電子の注入による C-H 伸縮振動の励起によりブタジエン分子への脱水素反応<sup>[1]</sup>が誘起されるが、それぞれの吸着種の特徴を振動スペクトル強度の空間分布から識別した。また、シス-2-ブテン分子の 4 つの等価な吸着を行き来する異なる 2 つの

運動<sup>2)</sup>はC-H伸縮振動だけではなく、Pd-CやC-C伸縮振動といった低波数のモードが強く関与していることを見出した。

[1] Y. Kim, T. Komeda and Maki Kawai, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 126104.

[2] Y. Sainoo *et. al.*, Surf. Sci. Lett. **536** (2003) L403-407.

## P09 低エネルギー微小領域電子線による表面ナノ構造の作製とその局所構造・電子状態分析

東京大学物性研究所 掛札 洋平、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳

現在ナノテクノロジーが注目を集めているが、それに伴って、微小領域に対する分析手法が重要になってきている。しかし、通常よく用いられる電子状態分析法で測定している領域は $1\text{mm}^2$ 程度であるため、局所的な分析を行うことは困難である。また、STM・AFMではÅレベルの空間情報を得ることが可能であるが元素同定や広いエネルギー領域にわたり電子状態分析を行うことは現在のところ困難である。本研究では、微小スポット径( $\geq 25\text{nm}$ )の低エネルギー電子ビーム( $\leq 2\text{keV}$ )を用い、微小領域(数 $10\text{nm}\sim 1\mu\text{m}$ )の表面局所構造・電子状態分析を行うための超高真空装置を開発した(LEED・AES・SEM測定が可能)。この装置を用い、電子励起反応を利用した構造作製とその局所構造・組成・電子状態分析を計画している。

## P10 紫外光照射による $\text{TiO}_2(001)$ 表面での吸着分子の光反応過程のSTM観察

東大院理・分子研\* ○有賀 寛子、手老 龍吾\*、生井 勝康、岩澤 康裕

[序] 光反応中の表面構造、吸着分子の挙動、あるいは活性点構造について原子分子レベルで理解することは、光反応制御や反応機構を解明するだけでなく、より高活性高選択性を有する新規光触媒反応系の開発にもつながる。そこで本研究では、我々がこれまでに報告してきたルチル型 $\text{TiO}_2(001)$ 表面に形成された4配位Tiと5配位Tiを露出している階段状格子構造において、メタノールとギ酸の光酸化反応過程を走査トンネル顕微鏡(STM)により検討した。

[実験] STM観察は、超高真空STM(JEOL-JSTM4500VT)を用いて、電解研磨したPt-Ir探針を使用し、室温で行った。紫外光源は、100Wの水銀ランプ(ORIEL,6282)を用いた。試料は鏡面研磨した $\text{TiO}_2(001)$ 単結晶表面(EarthChemical)を用い、 $\text{Ar}^+$ スパッタリングと真空加熱を繰り返して清浄化した。

[結果と考察] 清浄化した $\text{TiO}_2(001)$ 表面上に1.5Lのメタノールを露出すると、主に4配位Ti原子上にメトキシ(高さ $0.17\text{nm}$ )が観察された。この表面へ酸素共存下( $1.0\times 10^{-6}\text{Pa}$ )で紫外光を照射した後、STM観察したところ、高さ $0.17\text{nm}$ の輝点は減少し、それまで観察されなかった水酸基(高さ $0.10\text{nm}$ )が観察された(図1)。過去の文献より、粉体 $\text{TiO}_2$ 上ではメタノールの光酸化反応によるホルメートの生成、さらにホルメートの光分解による二酸化炭素と水の生成が報告されているが、Ti原子上に吸着したメトキシとホルメートは、同程度の高さの輝点として観察されるのでSTM像から判断することは難しい。そこで、ギ酸0.9Lに露出し、このホルメートが吸着している $\text{TiO}_2(001)$ 表面へ酸素共存下( $1.0\times 10^{-6}\text{Pa}$ )で紫外光を照射したところ、ホルメートが減少し、水酸基が観察された。メトキシ、フォ

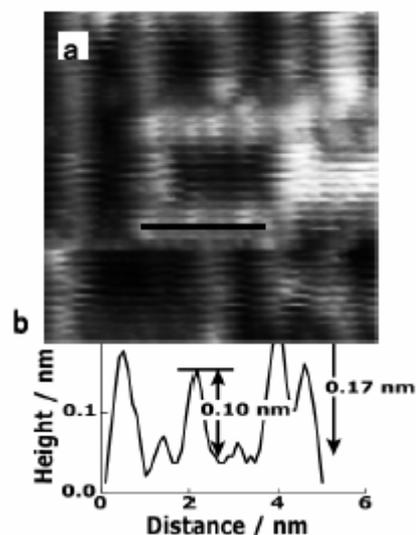


図1. a) メトキシ吸着 $\text{TiO}_2(001)$ 表面へ酸素共存下紫外光照射60秒後、b) a)線部のline profile.

ルメートいずれの場合も、紫外光照射のみ、酸素の露出のみという条件下では輝点の変化は見られなかった。吸着フォルメートへの酸素共存下での紫外光照射によるフォルメートの被覆率の時間変化により、この反応がフォルメートの吸着量に対して一次の反応であることがわかった。また、酸素圧への依存性から、この反応は酸素の圧力に対しても一次の反応であることがわかった。以上より、 $\text{TiO}_2(001)$ 表面の4配位Tiサイトの存在は、メタノールとギ酸分子の光分解に活性であることを見出した。

## P11 NC-AFMによる $\text{MoO}_3(010)$ 表面の原子像観察

北大触媒セ ○鈴木 秀士、大南 祐介、堤 哲也、M.M.M.Shoaib、朝倉 清高

我々は、触媒や半導体、またフォトクロミック材料としても重要なモリブデン酸化物単結晶  $\text{MoO}_3$  の(010)面における、表面の物理現象や化学反応過程を原子レベルで理解することを目的に、非接触-原子間力顕微(NC-AFM)観察を行ってきた。NC-AFMは酸化物のような絶縁性の表面原子観察手法として期待されているが、酸化物表面の原子レベル観察の成功例は未だ数例に限られている。我々は観察条件を詳細に検討することで、 $\text{MoO}_3(010)$ 表面のNC-AFM原子像を得ることに成功した。観察は、OMICRON社製UHV-STM/AFM装置を用い、市販のSi製カンチレバー(力定数:約40-50N/m)を用いた。右図は、Arスパッタリング、823K加熱後の $\text{MoO}_3(010)$ 表面を観察したNC-AFM像である。そして個々の突起間隔が $\text{MoO}_3(010)$ 表面の格子定数と一致することから、 $\text{MoO}_3(010)$ 表面の第一原子層にある二重結合酸素 $\text{O}=\text{Mo}$ が画像化されたものと解釈した。また、NC-AFM像を詳細に検討した結果、二重結合酸素 $\text{O}=\text{Mo}$ の欠陥に対応する突起の欠損は観測されず、二重結合酸素の欠陥はほとんどないことが分かった<sup>[1]</sup>。さらに、突起の間にも突起より暗い隆起が観測され、第二原子層のMo架橋酸素イオンが観測されている事が示唆された。一方図1中矢印でしめしたように隆起がみられない場所もあった。これは架橋酸素原子の点欠陥であると考えている。本研究はNEDO研究助成事業およびJST戦略的創造研究推進事業プロジェクトの支援により行われた。

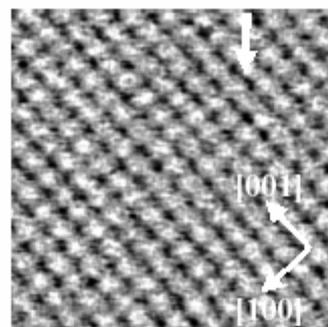


図1  $\text{MoO}_3(010)$ 表面のNC-AFM像；  
5 x 5 nm<sup>2</sup>、 $V_s = +0.31\text{V}$ 、 $A = 5\text{ nm}$ 、  
 $\Delta f = -138.7\text{ Hz}$

[1] S. Suzuki, Y. Ohminami, T. Tsutsumi, M. M. Shoaib, M. Ichikawa, K. Asakura, Chem. Lett., **32**, 1098, 2003.

## P12 光熱変換近接場光学顕微鏡の開発

東大院新領域 ○戸谷 公紀、藤浪 真紀、澤田 嗣郎

ナノ空間を選択的に分光するための局所分光法の開発が盛んである。光熱変換分光法(PT法)は汎用性が高く高感度であるなどの特徴を持つが、空間分解能は励起光の集光スポット径に依存し、光の回折限界により制限される。回折限界を超える空間分解能を得る手法として近接場光学顕微鏡(SNOM)の応用が注目されている。SNOMは波長以下の100nm程度の開口径を持つ光ファイバーから発生する近接場光を利用し、空間分解能100nm程度の分光を可能とする手法である。また近年、光照射した金属探針先端で起こる電場増強や共鳴効果などを利用するAperturelessSNOMが提案されており、金属探針の接近によりラマン散乱強度や蛍光強度が増強するという報告がある。増強機構は未解明だが、探針直下にて光吸収効率や光子密度が上がる事が予測され、AperturelessSNOMの光熱変換計測への応用を着想した。本研究は、近接場光学顕微鏡の原理を応用した光熱変換SNOM(PT-SNOM)の開発、PT法のナノ空間分光への応用を目的とする。

[光ファイバー-PT-SNOM] 励起光(He-Cd レーザー、442 nm)とプローブ光(He-Ne レーザー、633 nm)を同軸に導入し

た開口径 100 nm の光ファイバー先端を、Dither 制御により試料表面から約 10 nm の距離に近づけ、ファイバー開口から発生する励起光の近接場光で試料分子を励起する。PT 法では光励起後の無輻射緩和に伴う熱発生による媒質の屈折率変化をプローブ光の偏向によって検出する。プローブ光にファイバーの微小開口でも除去できない透過光成分を利用し、中心部分の光量変化を検出した。ガラス上に分散した金コロイド粒子を用いた試料において PT-SNOM 像の取得に初めて成功した。また、その空間分解能は 150nm 以下であった。<sup>(1)</sup>

[Apertureless PT-SNOM] Au ワイヤを電解研磨して作成した Au 探針を Tuning Fork に接着し、Dither 制御により試料直上約 10 nm の距離に近づける。励起光とプローブ光(同上)を対物レンズ(NA:0.8)を用いて試料に集光照射し、集光スポット内に Au 探針先端を配置する。反射したプローブ光を対物レンズで集光し、その偏向を検出することで光熱変換信号を得る。試料-探針間の距離を nm レベルで変化させ信号強度および反射光強度を測定したところ、探針の接近により光熱変換信号が増強することが示唆された。ガラス上に分散した色素染色ポリスチレン球を用いた試料において、PT-SNOM 像の取得に初めて成功し、空間分解能は 300nm 以下であった。

(1) M. Fujinami, K. Toya, T. Sawada, Rev. Sci. Instrum., **74**, 621 (2003).

## P13

### 高エネルギー分解能逆光電子分光装置の開発

<sup>1</sup>東大新領域、<sup>2</sup>東大理 朝倉 大輔<sup>1</sup>、藤井 靖大<sup>2</sup>、溝川 貴司<sup>1</sup>

現在、逆光電子分光におけるエネルギー分解能は 200meV 程度に留まっているが、当研究室において開発中の逆光電子分光装置は 30meV 程度のエネルギー分解能を目標としている。我々の装置は光のエネルギーを 10.7eV に固定し、入射電子のエネルギーを掃引する Isochromat mode で測定を行う。光学配置には off-plane Eagle mounting を採っており、試料から放出された光を効率良く検出することができる。さらに、入射電子線のエネルギー分散と off-plane Eagle mounting によって試料表面に生じる光のエネルギー分散を 150meV/mm にマッチングさせる dispersion matching という原理を採用している。マッチングが完全であれば、装置のエネルギー分解能は位置敏感型検出器の位置分解能 (0.2mm) で決定され 30meV となる。装置の開発状況であるが、既に試料、凹面型回折格子、置敏感型検出器を off-plane Eagle 型に配置することは完了している。一方で dispersion matching を実現するために、入射電子線に 150meV/mm のエネルギー分散を持たせる平行平板型電子源を製作した。一般に真空紫外領域での逆光電子分光においては、試料に 1~5  $\mu$ A の電流が必要とされており、我々の電子源は 0.5~1.0  $\mu$ A を達成している。現在、試料から放出された光を検出できるかどうか、検出器を作動させてテストを行っている段階である。今後は真空中で蒸着した金の逆光電子スペクトルを測定し、エネルギー分解能を評価する予定である。

以上のように、当研究室で開発中の逆光電子分光装置の原理、開発状況および今後の展望について発表する。

## P14

### 高分解能内殻光電子分光法で観測される吸着分子の振動準位：C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> on Si(100)

東大物性研 ○山下 良之、向井 孝三、吉信 淳

近年のアンジュレータ光源を用いた高分解能化により、内殻準位スペクトルに吸着分子の振動構造が観測されるようになってきた<sup>[1, 2]</sup>。その振動構造から内殻励起状態の振動準位に関する知見を得ることができ興味深い。本研究ではエチレン吸着 Si(100)表面の高分解能 C1s スペクトルの振動構造から、励起プロセス、振動エネルギー、終状態効果について知見が得られたので報告する。

励起状態の振動エネルギーは基底状態の振動エネルギーはほとんど変化しなかった。また、この系ではリニアカップリングモデルが適用でき、励起プロセスはフランクコンドンのであった。励起状態の振動エネルギーと基底状態の振動エネルギーが変化しないのは、(1) 内殻イオン化に伴いエチレンの C-H 結合が縮み振動エネルギーがブルーシフトする効果、

(2) シリコンから Si-C 結合へ電荷が移動し、部分的に内殻イオンを遮蔽し振動エネルギーがレッドシフトする効果、この二つの効果が相殺するためである<sup>[3]</sup>。

[1] J.N. Andersen et al., Chem. Phys. Lett. **269** (1997) 371.

[2] A. Föhlisch et al., Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 1730.

[3] Y. Yamashita et al., Chem. Phys. Lett., **374** (2003) 476

## P15 窒素飽和吸着銅(001)表面上におけるコバルトドットの XAS と MCD

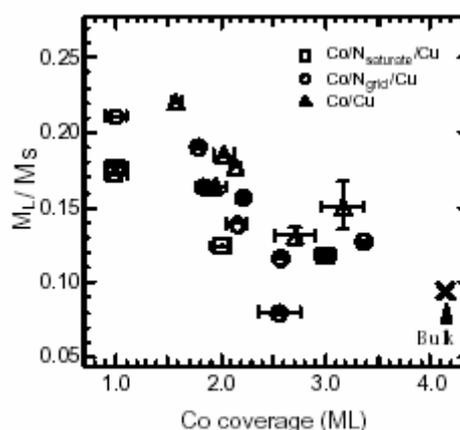
東大物性研、東大理 A、分子研 B、JASRI C、広大理 D、阪大基礎工 E

飯盛 拓嗣、中辻 寛、大野 真也、柳生 数馬、高木 康多、土肥 俊介、宮岡 秀治、山田 正理、雨宮 健太 A、松村 大樹 A、北川 聡一郎 A、横山 利彦 B、太田 俊明 B、室隆 桂之 C、脇田 高德 C、木村 昭夫 D、今田 真 E、小森 文夫

銅(001)単結晶表面に窒素を約 0.3ML 吸着させると、周期 7nm のグリッドパターンが形成される。この表面にコバルトを室温で蒸着すると、2ML の厚さを持つコバルトドット規則配列を作製できる。また、窒素を飽和吸着させた銅(001)表面上にコバルトを蒸着すると、厚さが 2~3ML で、直径が数 nm のドットがテラス上にランダムに成長する。これらの表面でのコバルトの  $L_{2,3}$  吸収端における X 線吸収スペクトル(XAS)と X 線磁気円二色性(XMCD)を測定し、磁性や電子状態の変化について調べた。

実験は、KEK-PF BL7A および SPring8 BL25SU で、試料作製から測定まで超高真空中で行った。PF では 120K で面内磁化の残留磁化状態で、SP8 では 40K で面垂直方向磁場中 (1.4T) において、測定を行った。図には、(1) 銅(001)清浄表面、(2) 格子状の窒素吸着銅表面、(3) 窒素飽和吸着銅表面に、それぞれコバルトを蒸着したときの、XMCD スペクトルから得られた軌道磁気モーメント

(ML)とスピン磁気モーメント(MS)の比を平均膜厚に対して示した。いずれの場合もコバルトの平均膜厚が減少するとともに軌道磁気モーメント成分の割合が増大している。これはコバルトがドット状になることにより、表面積が増えて軌道磁気モーメントが回復したと考えられる。これらドットの磁性は、形状と界面電子状態に依存するので、STM 観察の結果と合わせて議論する。



図：コバルト平均膜厚に対する磁気モーメント比

## P16 Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒上の新規 CO-NO 反応機構の理論的研究

東大理理\*、産総研\*\* ○谷池 俊明\*、石井 恒至\*、佐々木 岳彦\*、森川 忠良\*\*、岩澤 康裕\*

Co/CAL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒上で起こる 2NO+CO→N<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub> 反応は、表面上に観測されない CO の存在によってジニトロシルの吸着量の増大、角度の増大を伴って進行する。この反応の機構は、Surface Catalytic Reactions Assisted by Gas Phase Molecules という新規概念に属すると考えられているが、反応の駆動力、ジニトロシルの吸着状態変化に果たす CO の役割等、実験による詳細な機構の解明は困難である。本研究の目的は第一原理計算による機構の解明であり、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の bulk、(110)表面、Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒のモデリングを経て、NO、CO を導入した反応シミュレーションを行う。

Al<sub>16</sub>O<sub>24</sub> ユニットセルを用いた三次元周期境界 DFT 計算 (PBE, pseudopotential, plane wave) の結果、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulk は

defect spinel 固有のカチオン空孔が  $O_h$  サイトに均等に分布した構造を取ることがわかった。また、(110)表面では  $O_h$  カチオン空孔を含む  $Al_3O_4$  面の露出が表面近傍の電荷の点で有利である。次に、clean な表面、及び、水酸基により修飾された表面に  $2Co$  を導入し、吸着傾向を調べた所、EXAFS 結果を満たし、かつ、安定な Co 吸着構造は、2 配位酸素と 3 配位酸素に直接結合した Co がさらに孤立水酸基によって弱く束縛されたものであった (図 1)。当日は、得られた  $Co/Al_2O_3$  モデルに対する  $2NO$  の吸着構造についても議論する。

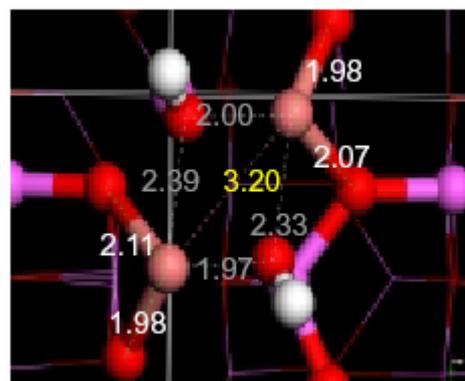


図1  $Co/Al_2O_3$  触媒モデルの top view  
(単位はÅ)

## P17 Ni(111)表面上での $H_2S$ の解離とステップエッジの効果

筑波大学物質工学系 ○平島 秀水、北田 暁彦、松本 健俊、中村 潤児

触媒の活性低下の原因には触媒自体の構造変化などによる場合と、触媒構成成分以外の不純物 (触媒毒) による場合がある。硫黄は触媒毒の代表的な元素であり、特に Ni 触媒での CO のメタン化反応では著しい触媒活性の低下を引き起こす。本研究では、硫黄による被毒が触媒表面のどのようなサイトで起こるかを原子レベルで解明しようとするものである。そこで、LEED、AES、Q-Mass を備えた UHV-STM を用いて Ni(111) 単結晶をモデル触媒とし、 $H_2S$  の解離挙動、吸着サイトおよびステップエッジの効果を調べた。

## P18 グラファイト表面での水素の吸着

筑波大学物質工学系 石原 雅敏、波部 太一、松本 健俊、中村 潤児

近年、水素はクリーンエネルギーなエネルギー源として大変注目を集めており、水素吸蔵材料の研究が盛んに行われている。そのなかでも軽量で資源量が豊富にあり、多様な構造と物性をもつカーボンナノチューブに対し水素吸蔵技術の向上が期待されている。これまで我々の研究室では、欠陥導入などの表面修飾を施したカーボンナノチューブに水素が化学結合した状態で吸蔵されることが FT-IR や TPD の結果から確認されている。

そこで本研究では、Ar スパッタにより欠陥を導入したグラファイト上に原子状水素をさらし STM を用いて表面科学的に観察することにより、さらに詳しい水素の吸着状態を明らかにすることを試みた。

## P19 N/Cu(001)表面における酸素吸着

東大物性研 柳生 数馬、大野 真也、中辻 寛、小森 文夫

清浄な Cu(001) 表面に 0.3ML 程度の窒素を吸着させ、 $400^\circ C$  で加熱すると、窒素は  $c(2 \times 2)$  吸着構造をとり 1 辺が平均 5nm の正方形のドメインを形成する。Cu 清浄表面はそれらのドメインを隔てるように平均幅 2nm、周期 7nm の格子パターンを形成する<sup>[1]</sup>。この表面では、窒素吸着によって生じた下地 Cu 原子間距離の歪みが、Cu 細線部分で緩和されていると考えられている。

我々は今回、この表面に室温で酸素を吸着し、構造の変化を STM を用いて観察した。酸素を 20L 曝露させた時の STM 像(図 1)から、窒素吸着ドメインには酸素は吸着しないことがわかる。図 1 の明るい部分が Cu 清浄表面、暗い正方形の領域が窒素吸着面である。一方、Cu 表面上では吸着した酸素原子は黒い斑点として観測される。酸素は幅が 1nm の Cu 細線には吸着せず、またそれらに囲まれた交差領域には吸着しにくい。このことから、窒素吸着による歪みの大きいところでは、酸素の解離吸着はおこりにくいと考えられる。さらに、幅の広い Cu 細線を連続的に観察することにより、Cu 表面に吸着した原子状の酸素は室温で動き、十分な時間が経過すると一部は窒素領域と Cu の境界面に移動して安定化することを見出した。また、オージェ電子分光と STM の測定から酸素の吸着量と表面の構造変化を調べると、酸素吸着量は 100L ほどで飽和状態に達し、それ以上では酸素吸着による表面構造の変化は見られなかった。

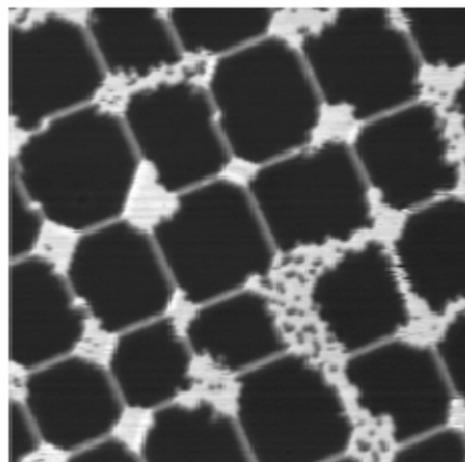


図 1 O(20L)/Cu(001)-c(2×2)N 表面の STM 画像

[1] F.M.Leibler et al., Phys. Rev. B47, 15865(1993)

## 012 依頼講演 トンネル電子で探る吸着分子の電子状態・振動状態

東北大多元研<sup>\*</sup>、理研<sup>§</sup>、豊田工業大学<sup>¶</sup> 米田 忠弘<sup>\*§</sup>、金 有洙<sup>§</sup>、道祖尾 恭之<sup>§</sup>、吹留 博一<sup>¶§</sup>、川合 真紀<sup>§</sup>

走査型トンネル顕微鏡をもちいた吸着分子に関する研究の中でも、非弾性トンネル電子に最近関心が高まっている。第 1 に非弾性トンネル分光法(IETS)についてであり、これは表面上の単一分子についての振動情報を得ることが可能な手法である。分子の化学種同定の有力な解析手段に発展すると考えられている。第 2 は非弾性トンネル電子によって引き起こされる電子励起、振動励起によって誘起される表面の現象、たとえば分子の脱離、表面ホッピング、解離、化学反応などについてである。従来主としてレーザーを用いて研究されてきた state-to-state 化学反応の研究が、電子を励起源とし原子スケールでの観測により行うことが可能となりこの分野の発展を加速すると期待される。IETS および単一分子化学反応の両者に関して報告が加速的に増加してきているが、同時に解決しなければならない問題点も明らかになりつつある。IETS についてはその選択則はそのひとつの問題である。単一分子化学反応については励起された振動モードがいかに緩和されるか、従来から気相分子で特に議論されている internal vibration relaxation (IVR)はトンネル電子で励起される表面分子についてはどのように現れるかなどがその例である。実験データをもとにこれらの問題点を検討する。

## 013 単一分子を介した非弾性電流の電子状態計算

産業技術総合研究所・計算科学研究部門 浅井 美博

単一分子を用いた分子エレクトロニクスの可能性を理論的に検証する為に、金(111)電極間に挟まれた、ベンゼン・ジチオール(BCA)の弾性及び非弾性電流を計算した。適用範囲を低バイアス電圧下に限定し、非弾性電流は電子・分子内振動結合によるものとした。非弾性電流の計算には Keldysh グリーン関数法とセルフ・コンシステント・ボルン近似を用いた。電極・分子間の接合自己エネルギー項はトランスファー行列法を用いて得られた電極の半無限グリーン関数に対して embedding ポテンシャル法を用いる事により見積もった。この方法で得られた表面状態にはエヴァネッセント成分も含まれる。この理論を用いて、非弾性電流の振動モード依存性や振動励起能のバイアス電圧依存性やゲート電圧依存性を見積もった。印加電流によるスイッチング(構造異性化)の可能性も議論する予定である。

姫路工大院理 馬越 健次、土手 朋、N. Mingo

表面吸着分子の走査トンネル分光において、吸着分子振動励起による非弾性電気伝導度が観測されている。ここでは、各振動成分に対する非弾性電気伝導度成分を示し、LCAO 法による表面吸着系の電子状態を用いてその理論を  $C_2H_2/Cu(001)$  に対して適用した計算結果を示す。この研究を通して明らかになったいくつかの問題点と「擬似的選択則」に関する考察を行う。

## 参考文献

- [1] N. Mingo and KM, Surf. Sci. **438** (1999) 251
- [2] N. Mingo and KM, Appl. Surf. Sci. **162/163** (2000) 227
- [3] N. Mingo and KM, PRL **84** (2000) 3694
- [4] N. Lorente and M. Persson, PRL **85** (2000) 2997
- [5] S. Tikhodeev, T. Mii, N. Mingo, KM and H. Ueba, Surf. Sci. **493** (2001) 63
- [6] KM and N. Mingo, Surf. Sci. **502 502-503 503C** (2002) 34

日大生産工 長谷川 健

赤外・可視などの吸収分光法で薄膜の構造異方性を解析するには、膜の面内・面外方向のそれぞれのスペクトルを測定すると議論がしやすい。しかし、面外モードのスペクトル測定には、金属面での反射を利用した反射吸収 (RA) 測定が必須とされてきた。RA 法は高感度測定としてのメリットもあるため、特に薄膜研究に重用されている。しかし、面内モードスペクトルを測定する透過測定と RA 測定では薄膜支持基板が異なるため、基板が膜に与える影響が常に懸念される。

本講演では、最近構築した、単一の薄膜試料から面内・面外モードスペクトルを同時に得る方法を紹介する。この方法は多角入射分解分光法(multiple-angle incidence resolution spectroscopy; MAIRS)<sup>1</sup> といい、非金属基板上で面外モードスペクトルが得られる唯一の方法である。また、光学パラメータ無しに構造異方性解析ができるため、解析対象となる試料の範囲が大きく拡大できるなどの特徴をもつ。

1: T. Hasegawa, *J. Phys. Chem. B* **106**, 4112 (2002); T. Hasegawa et al. *Anal. Chem.* **74**, 6049 (2002).

総研大@葉山 中越 修、渡邊 一也、○高木 紀明、松本 吉泰

Ag 単結晶表面における酸素吸着は、エチレンのエポキシ化と関係して表面科学の創世記から研究されている。Ag(110) では、室温で酸素分子は解離吸着し、基板 Ag 原子と反応して Ag 原子と O 原子が交互に並んだ 1 次元鎖が生成する。この鎖は O 原子の表面被覆率( $\theta$ )に応じて自己組織的に等間隔配列し、added-row 構造と呼ばれる再構成構造を形成する。この系は古典的ではあるが、低次元・自己組織的というキーワードで特徴付けられる興味深い系である。added-row 構造の O 原子は反応性が高く、様々な分子と反応することが知られている。CO では  $CO_2$  ( $AgO+CO \rightarrow CO_2+Ag$ ) 生成・脱離し、水では OH 種 ( $AgO+H_2O \rightarrow 2OH+Ag$ ) が生成する。本研究では、温度可変 STM を用いて、CO・水との反応をその場観察し、反応がどこで起こり、どのように進行するかを調べた。

CO・水との反応は基本的に鎖の端で起こり、鎖内部の O 原子に比べ鎖の端の O 原子の化学活性が圧倒的に高い。CO との反応では、 $\theta$  が減少するにつれて鎖間の間隔が大きくなり鎖が揺らぐようになる。このとき鎖の端に相当する活性な O 原子が動的に生成し反応が加速されることを見出した<sup>[1]</sup>。

水との反応では鎖の端で反応がゆっくりと進むが、induction period の後、反応端が $\sim 1\text{nm/sec}$  の一定の速度で進行し表面構造が劇的に変化する様子が観察された。生成した OH 種を含む自己触媒過程が関与していると考えている<sup>[2]</sup>。

[1] O. Nakagoe et al., Phys. Rev. Lett. 90, 226105 (2003).

[2] O. Nakagoe et al., in preparation.

## 017 Ag(110)および Cu(110)表面におけるメチルアルキルエーテルおよび メチルアルキルスルフィド類の回転異性—IRAS 法による研究

早大理工 ○伊藤 紘一、篠原 裕直、笠原 廣貴、瓜生 陽一、門倉 慶

80K において Ag(110)および Cu(110)表面に吸着したメチルエチルエーテル(MEE)、メチルプロピルエーテル(MPE)、メチルエチルスルフィド(MES)などの赤外反射(IRA)スペクトルを測定した。B3LYP/6-311++G\*\*レベルでの密度汎関数法で求めた各基準振動の遷移モーメントを用い、MEE、MES についてはトランス(T)型とゴーシュ(G)型、MPE については TT、TG、GT、GG 型を仮定して配向による IRA スペクトル変化を計算し測定結果と比較することによって、吸着種の回転異性と配向をかなりの精度で決定できることが分かった。これまでに得られた知見は以下の通りである。(i) MEE/Cu(110)で吸着種はG型をとり COC 面が基板に対してほぼ垂直であるのに対して MEE/Ag(110)ではT型をとり分子面の基板法線からの傾き(配向角)は約  $45^\circ$  である、(ii) MPE/Cu(110)で吸着種はGG型をとり COC 面の配向角は $-30^\circ$  であるのに対して、MPE/Ag(110)ではGT型をとり配向角は $+30^\circ$  である、(iii) MES/Cu(110)における吸着種がG型をとり CSC 面の配向角が  $0^\circ$  であるのに対して MES/Ag(110)ではT型をとり分子面の配向角は約  $60^\circ$  である。回転異性と配向を決定する要因には、(i) 回転異性体間のエンタルピー差、(ii) 酸素および硫黄原子の配位結合、(iii) アルキル基と基板表面との van der Waals 相互作用(両者の距離によって引力的にも斥力的にもなりうる)などがあげられる。上記の結果をもとにこれらの要因が各吸着種の回転異性と配向を規定しているかを検討した。

## 018 「極低温 IRAS 測定による Pt(997)ステップ表面における NO の吸着状態と表面拡散」

東京大学物性研究所 塚原 規志、向井 孝三、山下 良之、吉信 淳

11K に冷却した Pt(997)表面における NO 分子の吸着状態、さらに、低被覆率での NO 吸着状態の温度依存を IRAS によって測定した。11K では、NO 分子は  $1385, 1484, 1615, 1690\text{cm}^{-1}$  に 4 つの吸着状態をとる。また、90K まで加熱しても、NO は初期吸着サイト近傍にしか動けない。200K に加熱するとステップまで拡散する。そこから、初期吸着における過渡的拡散について、CO/Pt(997)との相違を議論する。

## 019 Ni(111)および O/Ni(111)表面上における水分子の赤外分光

慶大理工 中村 将志、田中 雅幸、伊藤 正時

ニッケルは水の OH 結合を解離させやすい金属として知られており容易に酸化膜をつくる。この過程において水分子がどのように解離し酸化膜を形成していくのか興味深い。本研究では、Ni(111)清浄表面および酸素前吸着させた

Ni(111)-2x2-O 表面上における水分子について赤外分光と表面X線回折による測定を行った。20K に冷却した Ni(111)清浄表面に水分子を吸着させると、低被覆率では水の分子面が表面と平行に近い配向のモノマーが観測された。被覆率が増加すると複数本のバンドがあらわれ、環状ヘキサマーと帰属した。環状ヘキサマーは Pt(111)および Ru(001)表面における IRAS や Pd(111)および Ag(111)表面における STM によっても観測されており、最密充填表面で安定な水クラスターであるといえる。酸素前吸着表面に水分子が吸着した場合には、水分子の被覆率が低い場合には、清浄表面で観測されたものと同様なニッケルに直接吸着したモノマーと、前吸着した酸素に水素結合した水分子が観測された。

## 020 Fe-BEA 触媒による N<sub>2</sub>O 選択還元反応-FTIR による反応メカニズムの考察

筑波大物質工 ○信川 健、吉田 正典、富重 圭一、国森 公夫

亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)は地球温暖化ガスであると共にオゾン層破壊にも寄与する。Fe-BEA 触媒における N<sub>2</sub>O 分解反応は、還元剤を共存させることで活性が向上する。我々は、CH<sub>4</sub>を還元剤とした場合に、反応ガス中に過剰な酸素が共存する場合でも N<sub>2</sub>O と CH<sub>4</sub>が選択的に反応することを見いだした<sup>[1]</sup>。本研究では、この選択還元反応の反応メカニズムについて、FTIR を用いて詳細に検討した<sup>[2]</sup>。N<sub>2</sub>O+CH<sub>4</sub> 反応の FTIR 測定では、活性サイトとなる Fe イオン種上に Methoxy、Formate 種に帰属される反応中間体が観測された。これらの反応中間体が、選択還元反応と同濃度の N<sub>2</sub>O (0.1 %) 及び O<sub>2</sub>(10%) によって酸化される反応速度を測定したところ、Methoxy 種は N<sub>2</sub>O によって優先的に酸化された。一方、Formate 種では、N<sub>2</sub>O と O<sub>2</sub>を用いた場合で反応速度に違いが見られなかった。

一方、Fe-BEA 触媒に N<sub>2</sub>O 処理を施すと、前処理 (O<sub>2</sub> 処理) では形成されない吸着酸素種 O(a)が触媒上に形成された。この吸着酸素種 O(a)に CH<sub>4</sub>を pulse で導入したが、反応は起こらず中間体も形成されなかった。選択還元反応の第一段階である CH<sub>4</sub>の活性化は、N<sub>2</sub>O と CH<sub>4</sub>が共存するときのみ起こるため、N<sub>2</sub>O から解離直後の酸素種(nascent oxygen O\*(a): before accommodating to the catalyst surface) が選択還元反応に対して重要な役割を担っていると考えられる。

[1] S. Kameoka et al., Chem. Commun., (2000) 745; PCCP, 5 (2003) 3328-3333.

[2] T. Nobukawa et al., J. Phys. Chem., submitted.

## 021 分子線赤外発光法による触媒表面反応ダイナミクス —Pd 単結晶上での CO+NO 反応—

筑波大物質工・神奈川科学技術アカデミー\* ○中尾 憲治、上塚 洋\*、伊藤 伸一、大西 洋\*、富重 圭一、国森 公夫

### Abstract

Pd 上における CO+NO 反応の研究は、内燃機関からの排ガス浄化において大変重要である。しかし、Pd 表面上における CO+NO 反応の素過程に関する詳細は解明されておらず、反応メカニズム(Dissociation: CO<sub>(a)</sub>+O<sub>(a)</sub>→CO<sub>2(g)</sub> or Bimolecular: CO<sub>(a)</sub>+NO<sub>(a)</sub>→CO<sub>2(g)</sub>+N<sub>(a)</sub>) さえ正確に解っていない。本研究では、Pd 単結晶上での定常的 CO+NO 反応によって生成・脱離した CO<sub>2</sub>分子の振動エネルギー状態についての研究を行い、CO<sub>2</sub>生成の反応ダイナミクスを比較・検討した。

Pd(111)、(110)上での CO+NO 反応における CO<sub>2</sub>生成速度の表面温度依存性は CO+O<sub>2</sub>反応と同じ山型を描き、さらに、(111)における活性は(110)におけるものよりも非常に小さい、構造敏感性が顕著な結果となった。

Pd(111)、(110)上において赤外発光測定を行ったところ、振動温度(T<sub>v</sub>)は Pd(111)の方が高く、生成 CO<sub>2</sub>はより振動励起されていることがわかった。また、それぞれの面における CO+O<sub>2</sub>反応で生成する CO<sub>2</sub>の T<sub>v</sub>と比較したところ、CO+NO 反応で得られた CO<sub>2</sub>分子の T<sub>v</sub>は、ほぼ一致する結果となった。このことから、CO+NO 反応のダイナミクスは CO+O<sub>2</sub>反応と同じ Dissociation であると考えられる。また、NO の解離吸着はステップで起こり、(111)表面ではわずかに存在するステップにより NO が解離吸着し、そこで生成した O<sub>(a)</sub>が選択的にテラスで CO<sub>(a)</sub>と反応していると考えられる。

表面反応のカイネティクスは、これまで多くの場合、気相の反応種もしくは生成種の圧力の時間変化を調べることによって行われてきた。一方、最近の時間分解能を持つ表面分光法の発展には著しいものがあり、反応が起きている表面の化学種のカイネティクスを直接捉えることができるようになってきている。我々は、表面の内殻電子分光法の一つである NEXAFS をエネルギー分散光の利用によって大幅に高速化した。NEXAFS の化学種識別能と吸着量に対する高い定量性を活かして、単結晶表面で進行する反応を実時間観測し、そのカイネティクスの定量的解析を行った。ミクロスコピックな反応モデルからマクロスコピックスケールでの反応カイネティクスをモンテカルロ法によってシミュレーションし、実測と比較することによって反応モデルの妥当性を検討した。講演では、この手法の原理等に触れた後、応用例として、Pt(111)表面での CO 酸化反応の反応解析を紹介する。この研究では、反応種の表面分布の時間変動に依存して反応パスがスイッチする様子を捉えることができた。この実験結果とモンテカルロシミュレーションによる解析を通して、反応場近傍にある反応種の配置だけでなく、長距離の吸着種間相互作用による反応種の集団的配置の変化が反応カイネティクスに影響を与えることを見出した。

PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> および PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> 単結晶表面の Cu-O 鎖構造は低温で安定であるが、60K 以上で不安定となり、Cu-O 鎖からの LEED パターンが消失する。この Cu-O 鎖の低温での電子状態を角度分解光電子分光によって調べた結果を報告する。PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> では  $kb = \pi/4$  ( $kb$  は鎖方向の運動量) 付近で分散が小さくなり、Fermi 準位近くの強度が抑えられて 0.2 eV 程度のバンドギャップが開いている。一方、PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> では  $kb = \pi/4$  付近で Fermi 準位を横切るバンドが観測された。また、spinon, holon 成分に対応する構造が PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> では観測されたのに対して PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> では観測されず、金属的な PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> では Cu-O 鎖間の相互作用によって Fermi 流体となることが示唆された。さらに、Zn 置換された PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> では 1 次元金属に特有の朝永-ラッティンジャー流体的なスペクトルが観測された。これは、Zn 置換により Cu-O 鎖間の相互作用が抑制されたことを意味する。本研究は C.Kim、Z-X.Shen、井野明洋、吉田鉄平、藤森淳、吉田宏二、A.I.Rykov、塩原融、富本晃吉、田島節子、永崎洋、内田慎一、山田裕、堀井滋、山田修義、山田容士、平林泉、生田博志各氏との共同研究である。

有機半導体や発光材料として注目されている 6T-オリゴチオフェンを、超高真空下で様々な金属単結晶(Cu(111)、Cu(110)、Ag(111)、Ag(110)) 表面上に成長させ、6T 分子の配向や構造、およびその電子状態を調べた。Cu(111) 上に 6T を成長させた場合、基板温度 300K、360K で成長させると、6T はそれぞれ Flat-lying(分子軸表面平行)、Standing(分子軸表面垂直)で成長し、基板温度による面直配向の変化を見出した。また、Cu(110)、Ag(110) 上に 6T を成長させた場合、分子軸を [001] 方向 (表面金属原子列に直交する方向) にそろえて配向し、一次元的な構造が発現していることが明らかになった(Fig)。また界面電子状態について、XPS、UPS による評価をおこなった。

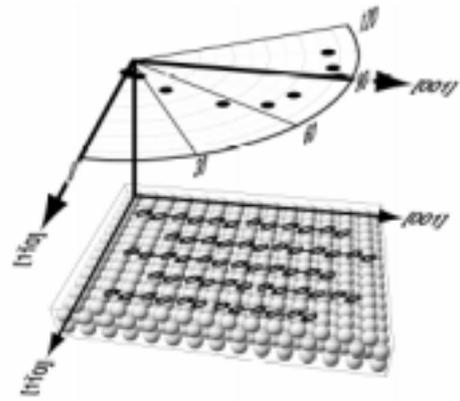


Fig. 6 T/Ag(110)の面内 NEXAFS 測定のための  $\sigma^*$  (分子軸平行) 強度プロットおよび配向構造モデル。

025

有機 FET における電界により注入されたキャリア分布測定

東大新領域 木口 学、中山 学、斉木 幸一郎

電界による半導体へのキャリア注入、排斥は、電界効果トランジスタとして利用され、また新しい物性コントロール法として着目されている。電界により誘起されたキャリアが“どこに、どれだけ”注入されているかは極めて重要であるが直接観測した例は少ない。本研究では、低温でも平坦な薄膜を形成する有機半導体に着目し、真空中で有機半導体を成長させながら in-situ で FET 特性の膜厚依存性を測定した。連続的な伝導度測定の結果から、空乏層、蓄積層の厚さ、およびキャリアの空間分布を定量的に評価する事が可能になった。図 1 にペンタセンにおける電界により注入されたキャリアの分布関数を示す。蓄積層の厚さは 1nm 程度で、界面から 1 分子層以内にキャリアが蓄積されている事が明らかになった。

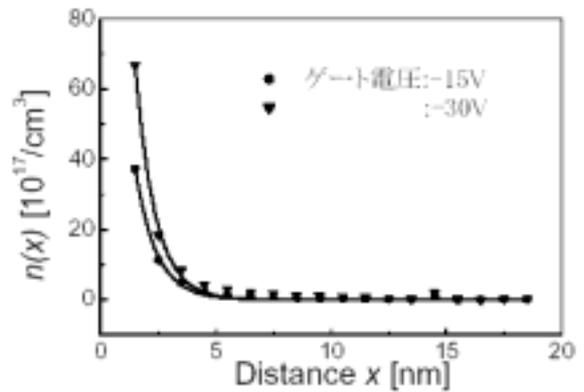


図 1 ペンタセンにおける電界により注入されたキャリアの分布関数

Ref) Kiguchi *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) L1408-L1410

026

フェムト秒時間分解 SHG 測定による表面吸着原子の振動ダイナミクス観測

総合研究大学院大学 先端科学研究科 光科学専攻 ○渡邊 一也、高木 紀明、松本 吉泰

フェムト秒時間分解第 2 高調波 (SHG) 測定により Pt(111)表面上に吸着した Cs 単原子層の振動コヒーレンスの時間領域測定を行った。Ti:sapphire レーザーの再生増幅光 (800 nm, 150 fs) を光源として、Pump-Probe 測定を行い、Probe 光により発生する SHG 強度の Pump 光照射による変調成分を検出した。信号には、2.3~2.4 THz の周期をもつ減衰正弦波形が観測され、これは Cs-Pt 伸縮振動に帰属される。振動周波数は Cs 被覆率に応じて変化し、加えて Cs が  $p(2 \times 2)$  および  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造をとる領域では、Pt 基板表面フォノンに帰属される振動成分が、それぞれ 2.6THz および 2.9THz に新たに観測された。次に、液晶変調素子を用いたパルス波形制御により、2.1~2.9THz の周期をもつフェムト秒パルス列を発生し、これを励起光に用いて同様の測定を行った。上記 Cs-Pt 伸縮振動および Pt 基板表面フォノン振動数に一致した周期のパルス列励起により、それぞれの成分の選択励起を行い、そのダイナミクスを観測した。また、Ti:sapphire の SH 光をポンプとした非同軸パラメトリック増幅により 550~650nm の範囲で波長可変、かつパルス幅約 20 fs の光源

を構築し、これを用いて、同様の測定を行った結果についても議論する。

## 027 依頼講演 レーザー最適制御シミュレーションによる表面吸着分子のフェムト秒脱離ダイナミクス解析

東北大院理 大槻 幸義

金属基板表面にホットキャリアが高密度で生成すると、表面吸着分子は多数回の電子励起・失活を繰り返し、一部が脱離する(DIMET: Desorption Induced by Multiple Electronic Transitions)。本研究の目的は、レーザーの可干渉性を利用した量子制御を DIMET に適用することである。ホットキャリアの位相緩和は非常に速いので、インコヒーレント(ホットキャリア)励起とコヒーレントな IR パルス励起とを組み合わせ合わせたハイブリッド型の量子制御法を提案する。Pt(111)表面に吸着した NO 分子を例に、DIMET を量子制御する IR レーザーパルスを最適制御シミュレーションで求め脱離機構を解析する。Antoniewicz モデルを仮定した場合、脱離確率を最大にする IR パルスは、ホットキャリア励起が最大の時刻にタイミングを合わせて吸着波束の運動エネルギーを最大にする。一方、密度演算子形式の最適制御シミュレーションにおいては、数値計算負荷が大きいため従来、1次元問題に 응용が限られてきた。ここでは新しい試みとして、確率的シュレーディンガー方程式を組み合わせ定式化を提案する。制御シミュレーションまでには至っていないが、理論の概要および2次元モデルを使った準備評価計算を紹介する。

## 028 吸着色素の脱離による単一銀ナノ粒子凝集体の局在表面プラズモンと表面増強ラマン散乱の変化

関西学院大学理工学部 伊藤 民武、橋本 和宏、吉川 泰生、池羽田 晶文、尾崎 幸洋

表面増強ラマン散乱(SERS)スペクトルにはバンド幅の広い発光スペクトルが重なる。この発光は局在表面プラズモン(LSP)発光と考えられており、光励起により金属と吸着分子が形成する吸着準位を介して金属から分子へ移動したトンネル電子が金属へ戻るとき LSP を励起すると報告されている。単一銀ナノ凝集体からの LSP 発光と SERS スペクトルの時間変化を測定し、SERS 発現との関係について考察した結果を報告する。顕微鏡下で SERS 活性な銀ナノ凝集体にレーザー照射を続け、単一銀ナノ凝集体の SERS と LSP 発光を時間分解測定した。実験系の詳細は文献 1、2 に示す。実験で得られた LSP バンドは 4 種類に分類された。Mie 理論から、凝集体ごとの LSP バンドの違いは伝導電子の振動モードの違いに対応していることが予想された。SERS 失活過程において LSP バンドの短波長化とともに R6G の蛍光スペクトルが表れることが観察された。観察結果は銀と R6G 分子との吸着が不安定になり、分子から金属へのトンネルに必要なエネルギーが増し、その結果、トンネル電子の高エネルギー化に伴う LSP バンドの短波長シフトが起きていることを示唆している。LSP バンドの短波長化とともに SERS は不安定になるが強度変化しなかった。これは銀表面の高強度光電場が吸着準位のエネルギーに直接関係無く SERS を引き起こすことを示していると思われる。

文献 1, T. Itoh, K. Hashimoto, and Y. Ozaki, *Appl. Phys. Lett.* **83**, 2274 (2003).

文献 2, T. Itoh, K. Hashimoto, A. Ikehata, and Y. Ozaki, *Appl. Phys. Lett.* in press.

## 029 フェムト秒反射分光法による色素単分子膜の時間領域ラマン測定

神奈川科学技術アカデミー・CREST ○藤芳 暁、石橋 孝章、大西 洋

ラマン散乱法は、分子薄膜の同定やその構造を理解するのに非常に有効な手法である。しかし、単分子レベルの分子薄膜のラマン測定は実験的に困難である場合が多い。それは、(1)薄膜からの信号が本質的に微弱であること、および(2)基板

などの薄膜以外からの発光およびラマン散乱が測定を妨害することに起因する。

我々は反射配置を用いて時間領域ラマン測定をおこなえば、測定限界が単分子層以下になり、かつ基板からの妨害信号を抑えられることを見いだした。講演では、23fs の時間分解能で測定したクレシルバイオレット色素の 0.4 単分子膜の時間領域ラマン信号と、この信号のフーリエ変換によって得たラマンスペクトルを示し、反射配置による感度向上機構について議論をおこなう。

### 参加者名簿 (50 音順)

相澤正樹	東大理	戸谷公紀	東大新領域
赤木和人	東大理	中尾憲治	筑波大物質工
浅井美博	産総研	中村潤児	筑波大物質工
朝倉大輔	東大新領域	中村将志	慶応大理工学部
有賀寛子	東大理	生井勝康	東大理
飯盛拓嗣	東大物性研	信川健筑	波大物質工
石原雅敏	筑波大物質工	橋本和宏	関西学院大学尾崎研究室
伊藤紘一	早稲田大 理工学部	長谷川 健	日本大学生産工学部・応用分子化学科
伊藤民武	関西学院大学尾崎研究室	波部太一	筑波大物質工
伊藤剛仁	東大新領域	平島秀水	筑波大物質工
伊藤正時	慶応大理工学部	藤井靖大	東大理
岩井秀和	宇都宮大学工学研究科	藤浪真紀	東大新領域
上羽 弘	富山大学工学部	藤森 淳	東大新領域
上原洋一	東北大学電気通信研究所	藤 芳 暁	神奈川科学技術アカデミー
遠藤 理	東京農工大学工学部	馬越健次	姫路工業大学理学部
大島忠平	早稲田大理工学部	松本健俊	筑波大物質工
大槻幸義	東北大学大・理学研究科	水谷五郎	北陸先端科技大材料科学研究科
奥山 弘	京都大学大・理学研究科	溝川貴司	東大新領域
小柳出光宣	東大新領域	向井孝三	東大物性研
掛札洋平	東大物性研	柳生数馬	東大物性研
川合真紀	理化学研究所	柳沢啓史	早稲田大理工学部
木口 学	東大新領域	山崎貴久	筑波大物質工
北田 暁彦	筑波大物質工	山下良之	東大物性研
久保田 純	東工大 資源化学研究所	山本 達	東大物性研
米田忠弘	東北大学多元物質科学研究所	吉川元起	東大新領域
近藤 寛	東京大学大 大・理学系研究科	吉信 淳	東大物性研
斉木幸一朗	東大新領域	吉森昭夫	岡山理科大学
道祖尾 恭之	理化学研究所	渡邊 一也	総研大葉山
佐々木 岳彦	東大新領域		
佐野陽之	北陸先端科技大 材料科学研究科		
芝本幸平	東大新領域		
首藤健一	横浜国立大学		
鈴木秀士	北海道大学触媒化学研究センター		
須藤彰三	東北大学大 大・理学研究科		
大門 寛	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科		
高木紀明	総研大葉山		
田久保 耕	東大理		
田澤俊樹	東大理		
田中正俊	横浜国立大学		
田中雅幸	慶応大理工学部		
谷池俊明	東大理		
塚原規志	東大物性研		

## 物性研究所短期研究会

# 量子凝縮系研究の新展開

日時：平成 16 年 1 月 7 日(水)～9 日(金)

場所：東京大学物性研究所

### 世話人

白濱 圭也	慶應義塾大学工学部
石本 英彦	東京大学物性研究所
久保田 実	東京大学物性研究所
福山 寛	東京大学大学院理学系研究科
奥田 雄一	東京工業大学大学院理工学研究科
永井 克彦	広島大学総合科学部
和田 信雄	名古屋大学大学院理学研究科

ヘリウムは多彩な量子効果を示す「量子凝縮系」として、ユニークで重要な研究対象である。近年、気体原子でのボース凝縮や異方的超伝導など、ヘリウムで従来研究されていた現象が他の系で見つかったことにより、その研究の重要性はますます高まっている。さらに最近、日本のグループにより、ヘリウムの多孔体や2次元空間への閉じこめ、回転等の特殊条件下での実験から、低次元量子流体状態やモット転移、量子相転移、巨視的角運動量の観測、結晶成長の異常等々、量子凝縮系としての新しい現象が続々と発見されている。

このような量子凝縮系研究の現状と関連するトピックスを議論し、将来への展望を探ることを目的として、本研究会を開催した。研究会の構成としては、ヘリウム系の持つ多彩な側面と、物性物理の他分野との「横のつながり」を意識し、異なる分野で共通する問題について有機的な議論ができるようプログラムを組んだ。その期待通り活発な議論が行われたが、今後もこのような研究集会のアクティビティーをより一層高めていきたいと考えている。

# 東京大学物性研究所短期研究会「量子凝縮系研究の新展開」 プログラム

2004/1/6 現在

1月7日(水)

13:00~13:10 白浜 圭也 (慶応大・理工) はじめに

**異方的超流動・超伝導**

**座長： 永井 克彦**

13:10~13:50 大見 哲巨 (京大・院理)  
内部自由度を持った超流動、超伝導

13:50~14:20 小島 東生 (Rutgers 大)  
Superfluid A1 Phase

14:20~14:50 石川 修六 (大阪市大・院理)  
超流動ヘリウム3-A相中の渦と、流れをもたない角運動量の観測

14:50~15:10 休憩

**異方的超流動・超伝導**

**座長： 海老澤 丕道**

15:10~15:40 小形 正男 (東大・院理)  
フラストレーションのあるフェルミオン系での超伝導

15:40~16:10 前野 悦輝 (京大・院理)  
ルテニウム酸化物のスピント重項超伝導状態 —超流動<sup>3</sup>Heとの比較—

16:10~16:40 井澤 公一 (東大・物性研)  
重い電子系における多重超伝導相

16:40~17:00 青木 悠樹 (東工大・院理工)  
超流動<sup>3</sup>HeのスキャッシングモードとSH-弾性表面波のカップリング

17:00~17:20 三浦 真毅 (広大・総合科)  
エアロジェル中の超流動<sup>3</sup>Heのノンユニタリー状態

18:00~ 懇親会

1月8日(木)

**低次元およびナノ電子系**

**座長： 河野 公俊**

9:30~10:00 澤田 安樹 (東北大・院理)  
複合フェルミオン間の相互作用

10:00~10:30 塚越 一仁 (理研)  
カーボンナノチューブ電極を用いたペンタセンナノ結晶量子ドット伝導

10:30~10:50 休憩

**2次元<sup>3</sup>He・量子スピン液体**

**座長： 石本 英彦**

10:50~11:20 鹿野田一司 (東大・院工)  
有機強相関電子系でのスピン液体

11:20~11:50 今田 正俊 (東大・物性研)  
モット転移と量子スピン液体

11:50~12:30 福山 寛 (東大・院理)  
単原子層ヘリウム3の強相関効果

12:30~13:30 昼休み

### 2次元<sup>3</sup>He・量子スピン系

座長： 奥田 雄一

13:30~14:00 桃井 勉 (理研)  
低次元量子スピン系における4体交換相互作用による磁性

14:00~14:20 辻井 宏之 (理研)  
2次元量子スピン系の強磁場比熱

14:20~14:40 山口 明 (東大・物性研)  
液体ヘリウム3中のグラフォイルの界面磁性電子系

### 電子系

14:40~15:10 神原 浩 (東大・院理)  
超低温走査トンネル顕微鏡の開発と低温物性研究への応用

15:10~15:30 鈴木 剛 (東北大・院情報)  
乱れの強いメソスコピックな超伝導体におけるコヒーレンス

15:30~15:50 上出 健仁 (早大・理工)  
カーボンナノチューブによる超伝導相

15:50~18:20 ポスターセッション

18:20 終了

1月9日(金)

### 多孔体中ヘリウム

座長： 矢野 英雄

9:30~10:10 和田 信雄・松下 琢 (名大・院理)  
1次元多孔体中の<sup>4</sup>Heのボース流体と超流動細孔中の吸着<sup>3</sup>Heの次元性クロスオーバー

10:10~10:40 白浜 圭也 (慶応大・理工)  
ナノ多孔体に閉じこめた強相関<sup>4</sup>Heの量子相転移的挙動

10:40~11:00 小林未知数 (大阪市大・院理)  
ランダムポテンシャル中の強相関ボース流体のボース凝縮

11:00~11:20 松本 宏一 (金沢大・理)  
エアロジェル中の液体<sup>4</sup>Heの超流動

11:20~11:40 休憩

### 表面・界面

座長： 佐々木 豊

11:40~12:10 野村 竜司 (東工大・院理工)  
音響放射圧で駆動する<sup>4</sup>He結晶の成長融解と核生成

12:10~12:30 新井 敏一 (九大・高等教育センター)  
スピン偏極によるヘリウム液面電子-水素原子2次元混合系の安定化

12:30~13:30 昼休み

## 量子渦・BEC

座長： 白浜 圭也

13:30~14:00	石原 秀樹 (大阪市大・院理)	Essence of Hawking radiation
14:00~14:20	笠松 健一 (大阪市大・院理)	2成分 Bose 凝縮体における量子渦状態
14:20~14:40	矢野 英雄 (大阪市大・院理)	冷却プロセスによる超流動 $^4\text{He}$ 量子渦の生成とその挙動
14:40~15:00	町田 昌彦 (原研)	回転ボース・アインシュタイン凝縮体における渦糸侵入および格子形成過程
15:00~15:20	川口 由紀 (京大・院理)	スピン自由度をもったボース凝縮体中における量子渦の生成と崩壊過程
15:20~15:40	久保田 実 (東大・物性研)	回転冷凍機を用いた超流動基礎研究
15:40~15:55	簀口 友紀 (東大・院総合)	回転下にある多孔質媒質中 $^4\text{He}$ 薄膜の新しいエネルギー散逸
15:55	石本 英彦 (東大・物性研)	終わりに

### <ポスター講演> (1月8日(木) 15:50~18:20)

P1	松本 洋介 (東大・院理)	熱容量測定による2次元ヘリウム3の強相関効果の研究
P2	余越 伸彦 (早大・理工)	$^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ 混合薄膜における fermion-boson 相互作用の効果
P3	山下 穰 (京大・院理)	エアロジェル中の回転超流動ヘリウム3
P4	斎藤 政通 (東工大・院物性物理)	$^3\text{He}$ 薄膜超流動の膜厚依存性
P5	中川 久司 (大阪市大・院理)	エアロジェル中超流動 $^3\text{He}$ の安定性
P6	東谷 誠二 (広島大・総合科学)	エアロジェル中の超流動 $^3\text{He}$ における流体力学的音波
P7	山本 幹雄 (広島大・総合科学)	超流動 $^3\text{He}$ の横波音響インピーダンス
P8	栢富 龍一 (Rutgers 大・Dept. Physics and Astronomy)	強磁場下における超流動 $^3\text{He}$ - $A_1$ 相のスピン緩和
P9	細見 斉子 (電通大・電気通信)	グラファイト基板上的 $\text{He}$ 吸着膜のスリップ現象
P10	戸田 亮 (名古屋大・院理)	3次元メゾ多孔体 HMM-2 中 $^4\text{He}$ の低温状態と励起
P11	山田 智也 (名古屋大・院理)	3次元メゾ多孔体中のヘリウム4の超流動
P12	鈴木 治彦 (金沢大・理)	超低温 X線測定
P13	佐々木 豊 (京大・院理)	超低温 MRI 法とその応用
P14	田沼 巖美 (東大・物性研)	毎秒6回転の高速回転希釈冷凍機

- P15 松井 朋裕 (東大・院理)  
超低温走査トンネル顕微鏡の開発とグラファイト表面のランダウ準位の観測
- P16 秋元 彦太 (理研)  
Viscosity measurements of highly polarized liquid  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  mixture
- P17 秋元 彦太 (理研)  
理化学研究所ナノサイエンス研究棟低温実験室の紹介
- P18 阿部 聡 (金沢大・理)  
反強四重極子秩序状態における  $\text{PrPb}_3$  の核磁性
- P19 岩田 一樹 (東北大・院理)  
2層系量子ホール状態での面内磁場に対する電流方向による伝導率変化
- P20 古住 信介 (東北大・院理)  
2層系  $\nu=1$  量子ホール状態整合非整合相転移に伴う磁気抵抗極小の分離
- P21 浜口 伸子(名古屋大・院理)  
 $S=1$  カゴメ格子有機反強磁性体の量子磁性
- P22 三沢 節夫 (日大・量子科学研)  
3次元フェルミ液体の輸送係数---酸化物超伝導体の理論---
- P23 渡辺 英一郎 (理研)  
ナノギャップ電極による  $\text{C}_{60}$  ナノクリスタルの電気伝導測定
- P24 高橋 大輔 (理研)  
重い電子系  $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  の超低温における量子臨界状態の可能性
- P25 吉元 広行 (早稲田大・理工)  
電荷密度波による熱電特性
- P26 松原 明 (京大・院理)  
ESR を用いた 2次元偏極原子状水素の研究
- P27 佐々木 聡 (京大・院理)  
核整列固体  $^3\text{He}$  中での超音波測定
- P28 木村 誠一郎 (東工大・院物性物理)  
音響放射圧で駆動する  $^4\text{He}$  結晶の異方的表面運動の可視化
- P29 米山 圭一 (東工大・院物性物理)  
量子固体  $^4\text{He}$  中の負結晶のダイナミクス
- P30 福田 昭 (理研)  
液体ヘリウム上の量子ビット ~現状と展望~
- P31 佐々 成正 (原研)  
回転ボーズ・アインシュタイン凝縮体に対する 3次元動的シミュレーション
- P32 小幡 利顕 (東大・物性研)  
高速回転希釈冷凍機を用いた多連結ヘリウム薄膜のねじれ振子実験
- P33 三谷 陽 (大阪市立大・院理)  
速度に依存しない超流動乱流遷移は熱カウンター流で起こりうるか?
- P34 段下 一平 (早稲田大・理工)  
2つのボース凝縮体間における音波トンネル現象の位相特性
- P35 高木 丈夫 (福井大・工)  
回転する狭い円筒容器内の超流動  $^3\text{He}$ -A 相の渦
- P36 高木 丈夫 (福井大・工)  
超流動  $^3\text{He}$  における robust 相の NMR
- P37 椎野 俊之 (理研)  
常流動及び超流動  $^3\text{He}$  自由表面下に束縛されたイオン
- P38 椎野 俊之 (理研)  
液体ヘリウム表面下の電子バブルと水素原子
- P39 荒木 秀明 (長岡高専)  
空孔励起による超流動(ワークショップ報告)

## 内部自由度を持った超流動、超伝導（渦の話を中心にして）

京都大学大学院理学研究科 大見 哲巨

超流動<sup>3</sup>He を典型例として、内部自由度を持った超流動、超伝導系には variety に富んだ物理現象が見られる。その中でも量子渦には内部自由度を反映した多彩な渦が存在する。量子渦は講演者の長年の研究テーマであり、講演者自身の仕事を中心に以下の話題について review を行った。

### 1 超流動<sup>3</sup>He

- a) A 相：Mermin-Ho など代表される特異点を持たない渦の渦格子。
  - b) B 相：渦芯の構造。o-vortex、v-vortex など円筒対称な構造と円筒対称が破れた double-core vortex。
- 2 アルカリ原子気体の BEC：磁気トラップした BEC で、磁場の方向を反転させるという、いわゆるトポロジカルな方法による量子数が 1 より大きい量子渦の生成とその分裂、崩壊。
  - 3 UPT<sub>3</sub>: 多重超伝導相を持つ系の代表。ナイトシフトの実験の紹介とそれから結論される超伝導電子対のスピン状態。

## 超流動ヘリウム 3-A 相中の渦と、流れをもたない角運動量の観測

大阪市大大学院理学研究科 石川 修六

2000 年から本格的な建設が始まり、2001 年度に完成した東京大学物性研究所の極限環境物性研究部門（久保田研究室）の超低温回転クライオスタットを用いて実験を行ってきた。主たる目的は NMR 法を用いての細い円筒容器内のテクスチャー構造の解明と回転に対する応答の解明である。用意した容器の直径は 0.1mm、と 0.2mm である。円筒容器内での超流動対の角運動量ベクトルに対する境界条件のために、バルク液体と異なるテクスチャー構造が安定化されることが予想されてきた。0.1mm では自発的に角運動量をもつ Mermin-Ho (M-H) テクスチャーが静止状態でも安定に存在することが初めてわかった。M-H テクスチャーは静止時のスピン波の共鳴周波数から、自発的な角運動量はスピン波の共鳴周波数の変化が回転の向きに対して非対称であることから示された。M-H テクスチャーは容器の回転とは無関係に安定化されるが、容器内の超流動ヘリウム 3 の角運動量の向きは、回転系でのエネルギーが最小になるように、M-H テクスチャー出現時のクライオスタットの回転の向きによって決まる。この自発的角運動量には 2 種類の起源がある。1 つは M-H テクスチャーのもつ質量流による純力学的なもの、もう 1 つは超流動粒子対の角運動量が作り出す P 波超流動固有の角運動量である。回転に対するスピン波共鳴周波数の変化を説明するには、質量流による角運動量以外に P 波超流動固有の角運動量がマクロな大きさで出現していることが必要である。マクロな固有角運動量は質量流を持たない角運動量であり、異方的超流動ヘリウム 3 に特有のものである。静止状態でも M-H テクスチャーが出現することは、流れのエネルギーを持ちながらもこの状態が安定であることの証拠である。バルク液体では回転によって渦が安定化されるが、細い容器内では円筒容器の境界のために渦が生じているのである。0.2mm の容器では回転による新たな渦の安定化、不安定化が量子渦固有の履歴を伴って観測された。さらに、0.2mm の容器でも質量流をもつ渦が、静止状態でも存在していることが観測された。この静止下で安定化されている渦は 2 種類あり、磁場と回転の相対的な向きにより区別された。両者が平行の場合は回転による新たな渦の応答が回転の向きに対して非対称となるが、反平行の場合は対称であった。平行の場合はその中心に特異性をもつ Radial Disgyration テクスチャーによる渦があり、この渦が消失しないために非対称性が現れるが、反平行の場合は M-H テクスチャーによる渦が存在し、これが逆向きの渦（循環量子数 = 2）と融合して、角運動量の向きを変えるためであると考えられる。M-H テクスチャーによるスピン波励起が相対的に小さくなったため、0.1mm で観測された固有角運動量による効果は観測されなかった。

## フラストレーションのあるフェルミオン系での超伝導

東大・理 小形 正男、是常 隆、田中 康寛

2次元有機伝導体の  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X や、最近の超伝導物質である Na<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub> では、三角格子またはそれに近いフラストレーションのある系となっている。これらの物質を念頭に、2次元のフラストレーションのある格子上でフェルミオン系について、平均場近似および RPA 近似を用いて超伝導状態を調べた。斥力相互作用が強く  $t$ - $J$  モデルとして扱える場合には、時間反転対称性の破れた  $d+id$  の対称性の状態、またはカイラル状態が安定化する<sup>[1]</sup>。また、最近接斥力相互作用  $V$  が効いてくる場合には、 $f$  波のトリプレット超伝導が現れる可能性もあることがわかった<sup>[2]</sup>。有限温度のエントロピーやスピン帯磁率に関しては、高温展開の手法によって調べることができる<sup>[3]</sup>。その結果、ホールを導入することによってフラストレーションが解消され、シングレットのスピン相関が発達することがわかった。さらに比熱の温度依存性に関しては、スピンの自由度と電荷の自由度に相当して、2つのピークが現れる可能性がある。

[1] M. Ogata, J. Phys. Soc. Japan **72**, 1839 (2003).

[2] Y. Tanaka, Y. Yanase and M. Ogata, to appear in J. Phys. Soc. Japan **73** (2004).

[3] T. Koretsune and M. Ogata, Phys. Rev. Lett. **89**, 116401 (2002).

## ルテニウム酸化物のスピン三重項超伝導状態 —超流動 <sup>3</sup>He との比較—

A 京都大学理学研究科物理、B 京都大学国際融合創造センター  
前野 悦輝<sup>A,B</sup>、出口 和彦<sup>A</sup>

ルテニウム酸化物 Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の超伝導はスピン三重項の電子対が担っていることが、様々な実験から確実になった<sup>[1]</sup>。超流動 <sup>3</sup>He との対応では A 相と同じ  $d$  ベクトルの対称性で表現できる状態と考えられる。しかし、<sup>3</sup>He-A 相が球状フェルミ面の両極に点状ノードを持つのに対して、Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> では層状結晶構造に基づく擬 2 次元電子状態を反映して、円筒状のフェルミ面上にノードの無い超伝導ギャップを持つと予想される。最近、比熱の磁場方向依存性の精密測定から、このギャップの大きな異方性の詳細が明らかになった<sup>[2]</sup>。その結果は三つある円筒状フェルミ面ごとに、ギャップの大きさもギャップが小さくなる方向も異なるという、「多バンド超伝導」の効果が重要であることを示している。

一方、<sup>3</sup>He の A (A2) 相・A1 相と対比できるような「多相超伝導」も Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の上部臨界磁場近傍で観測されている<sup>[3]</sup>。Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> では磁場を擬 2 次元面に精確に印加したときのみ超伝導 2 段転移が現れることから、スピン偏極に根ざす <sup>3</sup>He の場合と異なり、軌道状態の変化が重要な役割を果たすと考えられるが、 $d$  ベクトルの変化の詳細やそのメカニズムは未解明である。講演では多バンド超伝導現象と多相超伝導現象とを区別することの重要性を強調した。

[1] A.P. Mackenzie and Y. Maeno, Rev. Mod. Phys. **75**, 657 (2003).

[2] K. Deguchi, Z.Q. Mao, H. Yaguchi, and Y. Maeno, Phys. Rev. Lett. **92**, 047002 (2004).

[3] K. Deguchi, M. Tanatar, Z.Q. Mao, T. Ishiguro, and Y. Maeno, J. Phys. Soc. Jpn. **71**, 2839 (2002).

## 重い電子系における多重超伝導相

東京大学物性研究所 井澤 公一

通常、超伝導体（超流動体）において  $T_c$  以下で超伝導ギャップが一旦開くと温度、磁場、圧力を変化させることによりギャップの大きさは変わることがあってもその対称性は変わることはない。しかしその例外として、液体ヘリウム3や重い電子系超伝導体  $UPt_3$  において温度、磁場、圧力を変化させることにより対関数の対称性が変化することがよく知られている。このような多重超伝導は対関数のもつ内部自由度に由来するが、これまでそういった例は上記の物質以外にほとんどなかった。ところが最近新たに重い電子系超伝導体  $PrOs_4Sb_{12}$  および  $CeCoIn_5$  で多重超伝導相の存在する可能性が示唆されている。講演では熱伝導率の磁場方向依存性および超音波による渦糸格子の弾性率測定の結果からこれらの物質においてどのような超伝導状態が実現しているかを議論する。

$PrOs_4Sb_{12}$  に対し熱伝導率の磁場方向依存性を測定したところ熱伝導率は低磁場で2回対称性を示し、それがある磁場  $H^*$  以上の高磁場で急激に4回対称性に変化することがわかった。これらの対称性はバンドの異方性からは説明困難であり、ギャップ構造に由来するものであると考えられる。このことは  $PrOs_4Sb_{12}$  において少なくとも2つの対称性の異なる超伝導相が存在することを示している<sup>[1]</sup>。

一方、 $CeCoIn_5$  では  $T < 0.35$  K、 $\mu_0 H > 9.5$  T の温度および磁場領域で渦糸格子がソフト化していることがわかった。このソフト化はピーク効果、磁気転移、渦糸格子の融解などでは説明困難であり、FFLO 状態から期待される磁場方向に空間変調し磁場に垂直方向にノードをもった2次元的な渦糸構造を考えると自然に説明することができる。実際、実験より得られた渦糸格子の弾性相関長は、FFLO 状態で期待される対関数のノード間隔と定量的によくあうことがわかった<sup>[2]</sup>。

[1] K. Izawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **90**, 117001 (2003).

[2] T. Watanabe *et al.* cond-mat/0312062.

## 超流動 $^3\text{He}$ のスカッシングモードと SH-弾性表面波のカップリング

東京工業大学理工学研究科物性物理

青木 悠樹、和田 雄一郎、荻野 篤、斎藤 政通、野村 竜司、奥田 雄一

界面付近の超流動ヘリウム3は、縮退していた状態が界面の平行成分と垂直成分で分裂するためバルクとは異なる量子状態をとる。超流動  $^3\text{He}$  の Order-parameter collective mode (OPCM) の実験的研究手段として、超音波による分光的測定が考えられる。しかし通常の透過法による測定では表面近傍の性質を観測することは難しい。我々は SH-SAW 素子を用いて、この問題に取り組んでいる。SH-SAW は基板表面を伝わる波でその変位は表面と平行である。超流動ヘリウム3中を伝播する SAW は、基板表面の液体と共鳴してその減衰と音速が変化する。これらは超流動ヘリウム3に対してはその横波音響インピーダンスの実部と虚部を測定することに対応し、超流動ヘリウム3中の横波の音速と減衰を測ることと等価である。

具体的には圧電基板表面に対向した2対の楕型電極を設け表面波センサーとしている。電極の一方を励振用、他方を受信用に用い、その共鳴周波数を 70MHz とした。測定はパルス法で行い、伝播する表面波の減衰と速度の変化を超流動中で測定した。17bar における測定では、SAW が  $T_c$  以下で対破壊エッジ ( $T_{PB}$ )、スカッシングモード ( $J=2$ ) と共鳴することによる、横波インピーダンスの実部と虚部の変化をそれぞれ観測した。スカッシングモードとの共鳴の温度付近で見られる実部の増加は、レベル交差による横波音速の増大による寄与と考えられる。興味深いことにこの増加は、横波の透過波を用いた音速の直接測定の結果よりも2桁程度小さいものであった。この違いは壁近傍でのオーダーパラメータの抑制や、表面束縛状態の存在による影響ではないかと考えている。壁で抑制されたオーダーパラメータの空間変化まで考慮したマイクロな計算と我々の横波インピーダンス測定の実験結果を比べることによって、p 波超流動体特有の表面状態の存在を示すことができればと考えている。

## エアロジェル中超流動 $^3\text{He}$ のノンユニタリー状態

広島大学先端物質科学研究科、総合科学部<sup>4</sup>

三浦 真毅、東谷 誠二<sup>4</sup>、山本 幹雄<sup>4</sup>、永井 克彦<sup>4</sup>

エアロジェルはシリカの鎖状高分子からなる多孔質体である。エアロジェル中超流動  $^3\text{He}$  系には、転移温度や超流動密度が純粋な系に比べ抑制されるなどの不純物効果が現れる。純粋な超流動  $^3\text{He}$  には A 相と B 相が存在し、それぞれ ABM 状態、BW 状態になっていることが知られている。エアロジェル-超流動  $^3\text{He}$  系においても A 相と B 相の存在が実験により確認されているが、A 相の秩序変数の対称性は現在のところまだ同定されていない。

最近、Fomin<sup>[1]</sup> や Thuneberg<sup>[2]</sup> はエアロジェルの構造を反映した異方的散乱を考慮した場合、系で実現する可能性のある ESP(equal spin pairing)状態を提案した。このうち Fomin は、エアロジェル中では ABM 状態は存在せず、代わりに Robust 状態と呼ばれる新奇な秩序変数を持つ状態が出現する可能性があると主張した。一方 Thuneberg は、エアロジェル中でも ABM 状態は存在するが、双極子エネルギーを最小にするように秩序変数の  $\mathbf{d}$  ベクトルと  $\mathbf{l}$  ベクトルの方向が決まる、dipole-lock された ABM 状態になることを提案している。エアロジェル中 A 相では、上記 2 つの ESP 状態のうち、どちらかが実現すると考えられる。

我々は、磁場中で片側スピンのみがクーパー対を形成する A1 相に注目した。これまでエアロジェル中で A1 相が観測されたという報告は無く、また実現の可能性についても未だ明らかになっていない。そこで、Fomin や Thuneberg それぞれ提案する ESP 状態をもとに、エアロジェル中 A1 相実現の可能性に対する考察を行った。その結果、A1 相でそれら 2 つの状態は存在せず、エアロジェル中で A1 相は出現しない可能性が高いという結論が得られた。

研究会ではさらに、Fomin の提案する Robust 状態の NMR の共鳴振動数に関する計算結果も報告した。

1. I.A. Fomin, cond-mat/ 0302117.

2. E.V. Thuneberg, "Quasiclassical methods in superconductivity and superfluidity, Verditz 96", eds. D. Rainer and J.A. Sauls (1998) p. 53

## 複合フェルミオン間の相互作用

東北大学 大学院理学研究科 澤田 安樹

ナノメートル幅の面内に閉じこめられた電子は、低温で理想的な 2 次元電子系となる。この様な系の 2 次元面に垂直な磁場を加えると、ホール抵抗がマクロに量子化され、磁気抵抗が極小を示す、いわゆる量子ホール効果が起こる。量子ホール効果は、大きく整数量子ホール効果と分数量子ホール効果に分けられる。整数量子ホール効果は、電子のシュブニコフ・ドハース振動にアンダーソン局在を考慮することにより理解できる。一方分数量子ホール効果は、偶数本の磁束量子と電子からなる複合フェルミオンの整数ホール効果と考えられる。しかし複合フェルミオン間の相互作用は、有効質量に繰り込まれ、これまで相互作用は問題にされてこなかった。

そこで我々は、2 層系  $\nu=2/3$  分数量子 Hall 状態の総電子密度と密度差を変えて量子ホール状態の安定性を調べる測定を行い、三つの異なる量子ホール状態が存在することを明らかにし、さらにその相図を作製した<sup>[1]</sup>。その結果、相境界から複合フェルミオン間には、電子と同様に強いクーロン相互作用が働いていることが判った。

[1] N. Kumada *et. al*/Phys. Rev. Lett. **89**, 116802 (2002).

## カーボンナノチューブを用いたペンタセンナノ結晶量子ドット

独立行政法人理化学研究所 塚越 一仁

ナノスケールでの素子加工技術の発展はこれまでに実現が難しかったナノスケール制御のナノ物質伝導直接探求を可能とし将来のナノ電子素子提案のための基礎となる。ナノサイズ電子素子実現のために重要なポイントとして、端子とナノ物質の接続を挙げることができる。両材料間の電子密度の差が大きい場合、接触点でのトンネル障壁が大きくなってしまふ。この点に留意し、ナノサイズペンタセン結晶を用いてカーボンナノチューブを端子としたナノ素子を作製して電気伝導を評価した。この試料作製において蒸着したペンタセンはナノチューブ電極周りに選択的に成長することを見出した。これはナノチューブ表面の炭素六員環とペンタセン分子の炭素六員環同士がファンデアワールス力で引き合い密接に自己組織的に密着したことによると推測している。ヘリウム温度ではクーロンブロッケイド現象が観測された。観測したクーロンブロッケイド現象からナノ結晶内のトンネル障壁を評価した。さらに講演ではフラレーンなどのナノ材料の電気伝導特性を紹介し議論した。

## 有機強相関電子系でのスピン液体

東京大学大学院工学系研究科 鹿野田 一司

擬2次元有機伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X は、2次元伝導面内で BEDT-TTF 分子 2 量体が異方的な三角格子を組んでいることから、バンド充填 1/2 の三角格子強相関電子系である。アニオン X により移動積分が制御されモット転移が起こる。典型的なモット絶縁体である  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl のスピンは 27K で反強磁性秩序を起すことが既に明らかにされている。この物質は、三角格子の異方性を特徴づける 2 種類の移動積分の比  $t/t'$  が 0.75 と評価されている。これに対し、もう一つのモット絶縁体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> では  $t/t'$  がほぼ 1 となっている。当然、スピンに対するフラストレーションの効果が期待されるが、事実、2 K までの磁化率測定で磁気転移は観測されず常磁性のみである。3 角格子ハイゼンベルグモデルの磁化率の近似式にフィットすることにより J が 250K と見積もられた。我々は、この物質をさらに低温の 30mK まで冷やして <sup>1</sup>H-NMR 実験を行った結果、この温度まで明確な磁気転移は観測されなかった。よって、この物質でスピン液体と呼ぶにふさわしい状態が実現されていると考えられる。ただし、極めて小さな線幅の広がりも実験誤差と同程度で確認された。これをさらに追求するために、 $\pi$  電子との超微細結合が遥かに大きな <sup>13</sup>C サイトで NMR 実験を行った結果、磁場に依存した明確な線幅の広がりを見出した。スペクトルの磁場依存性は、磁場によって微小な磁気モーメントが誘起されているとして説明できる。

本研究は、清水康弘（東大工/京大理）、黒崎洋輔（東大）、宮川和也（東大工）、河本充司（北大理）、谷口弘三（埼玉大理）、前里光彦（京大理）、斎藤軍治（京大理）諸氏との共同研究である。

## モット転移と量子スピン液体

東京大学物性研究所 今田 正俊

2 次元ハバードモデルの数値計算の結果、モット転移の理解に興味深い進展があった。モット転移はバンド幅を制御するとき、イジング型の気相液相転移との同型性が指摘されている。一方、フィリングを制御するとき絶対零度での圧縮率の発散が指摘されており、臨界温度が絶対零度となることを示唆している。この場合量子縮退とイジング型相転移が共存することとなり、きわめて基本的で重要な問題があることが明らかとなる。基盤上の He3 においても同じ問題があると考えられる<sup>[1]</sup>。イジング型の転移がフェルミ縮退領域に含まれてきたときに、多分岐型臨界現象の発生や、運動量空間での不

均一性の発生が予測される。これらの予想される興味深い物理について最近の理解の進展を解説した。

最近接および次近接トランスファーを含むような正方格子や三角格子上のハバード模型の場合、モット転移の近傍に対称性の破れを伴わないモット絶縁相が見出されている。次近接トランスファーを含むような正方格子などのフラストレーション効果のある格子模型では、量子モンテカルロ法の負符号問題などのために有効な数値計算手法が知られていなかった。最近、経路積分繰り込み群法によって、このような系の数値計算が可能となり、モット転移近傍のモット絶縁相が新奇なスピン液体相(非磁性絶縁相)となっていることが明らかとなった。この相は、金属相と反強磁性絶縁相に挟まれて存在する。経路積分繰り込み群法に対して、全スピンや全角運動量などの保存量子数に対する射影を行ないながら繰り込み操作を行なう方法を開発した結果、精度の高い励起スペクトルの計算も可能となった。これを用いて非磁性絶縁相の励起スペクトルを調べた結果、スピン励起がギャップレスであること、各スピンの励起の分散がほとんどないことが明らかとなった。ギャップレスなスピン励起を持つ量子スピン液体相の存在は、最近 E T 型有機化合物<sup>[2]</sup>および基盤上の 2 次元ヘリウム 3 の系<sup>[1]</sup>でも見出されており、我々がハバード模型上で見出した新奇な量子スピン液体相と対応するものと判断される。

[1] 福山寛: 本研究会報告参照

[2] 鹿野田一司: 本研究会報告参照

## 低次元量子スピン系における 4 体交換相互作用による磁性

理化学研究所 桃井 勉

2 次元量子固体 (<sup>3</sup>He、ウイグナー結晶等) や銅酸化物に 4 体スピン環状交換相互作用が存在する事が近年明らかになってきた。この多体相互作用が引き起こす磁性を解明する為、三角格子上、及び梯子格子上の 4 体スピン交換相互作用を持つ多体交換模型の磁性を調べた。その結果、三角格子では、4 体交換相互作用が強い時に、低温でスカラー型カイラル秩序が形成される事を予言した<sup>[1, 2]</sup>。また、低密度の固体 <sup>3</sup>He 薄膜に相当するパラメタ領域で、4 体と 2 体の相互作用の強い競合によるスピン流体相の出現を示し、さらに磁場中で磁化曲線の磁化 1/2 の位置にプラトー構造が現れる事を予言した<sup>[3]</sup>。これらは、4 体交換相互作用固有の現象である。また、梯子格子系で 4 体環状相互作用がカイラリティ自由度を強くする事、及びスカラー型カイラル秩序を誘起する事をスピン・カイラリティ双対性<sup>[4]</sup>という新しい概念を導入し示した<sup>[5]</sup>。以上のように 4 体環状交換相互作用は、スピンのカイラリティ自由度を誘起し、新奇な磁性を引き起こし得る事がわかった。

[1] K. Kubo and T. Momoi, Z. Phys. B **103**, 485 (1997).

[2] T. Momoi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77**, 2081 (1997).

[3] T. Momoi *et al.*, Phys. Rev. B **59**, 9491 (1999).

[4] T. Hikihara, T. Momoi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **90**, 087204 (2003).

[5] T. Momoi *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 174410 (2003).

## 2 次元量子スピン系の強磁場比熱

理研<sup>A</sup>、Univ. of Florida<sup>B</sup>、東工大<sup>C</sup>、京大<sup>D</sup>、東大物性研<sup>E</sup>  
辻井 宏之<sup>A,B</sup>、C.R. Rotundu<sup>B</sup>、B. Andraka<sup>B</sup>、高野 安正<sup>B</sup>、小野 俊雄<sup>C</sup>、田中 秀数<sup>C</sup>、陰山 洋<sup>D</sup>、上田 寛<sup>E</sup>

量子スピン系磁性体において、磁化曲線にプラトーが現れる物質が発見され興味を持たれている。我々は、飽和磁化の 1/3 にプラトーを持つ 2 次元三角格子反強磁性体 Cs<sub>2</sub>CuBr<sub>4</sub> 及び、1/8、1/4、1/3 にプラトーを持つ 2 次元直交ダイマースピン系 SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の強磁場比熱測定を行った。

約 13-15T で観測される  $\text{Cs}_2\text{CuBr}_4$  の 1/3 磁化プラトー相では、低磁場相及び高磁場相と同様な反強磁性秩序転移を示すラムダ型の比熱のピークを観測した。ピークの高さは低磁場相及び高磁場相ではほぼ一定であるのに対し、プラトー相では強い磁場依存性を持ち、転移温度曲線  $T_N(H)$  はプラトー相で hump を示した。また、プラトーからギャップの存在が予測されるのに反して、プラトー相の比熱の温度依存性はギャップレスの振舞いを示した。

約 27 T で観測される  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  の 1/8 プラトー相近傍の比熱の温度依存性から、有限磁化の現れる約 21T から 1/8 プラトーまでの磁場では、それ以下の磁場と同様にギャップを持つことが示された。これは単純な理論的予測とは矛盾するが、NMR 及び ESR の結果と合致している。1/8 プラトー相では、全スピン数の 1/8 からなる 2 次元ボース気体が形成され、さらに、1/8 プラトー以上の磁場では、このスピン気体の状態が保たれたのち、低温で磁気秩序を起こすことが分かった。

## 液体ヘリウム 3 中のグラフィオルの界面磁性

東大物性研 山口 明、綿貫 孝道、枘富 龍一、石本 英彦

液体  $^3\text{He}$  中にグラフィオル基盤を浸すと、基盤とバルク液体  $^3\text{He}$  の界面に 2 次元固体層が形成される。過去の実験により、この 2 次元固体層は強磁性的な性質を示すことが知られているが、2 次元固体内の直接交換以外に、液を介した RKKY 相互作用の寄与が指摘されている。もし RKKY 相互作用が存在すれば、液の圧力に依存して相互作用が変調を受けると考えられる。そこで、圧力を細かく変え、固体磁化の温度依存性を測定した。CW-NMR により測定された  $^3\text{He}$  固体層の磁化はキュリーワイス的な挙動を示し、ワイス温度  $\theta$  は、0bar3.0mK から 18bar の 1.5mK に徐々に落ち込む。さらに圧力を増すと、急激に上昇し再び 3.0mK ぐらいの強い強磁性的な挙動を示す。複雑な圧力依存性は界面固体層が圧力の増加に伴い成長し、0~18bar の間で 3 層目、18bar 以上で 4 層目固体が成長すると考えると説明できる。キュリー定数の圧力変化もこのモデルを支持していた。この結果は、RKKY 相互作用についての確証を与えるものではないが、3 原子層以上が固化することはないと思われていたこれまでの常識を覆す結果である。

## 超低温走査トンネル顕微鏡の開発と低温物性研究への応用

東大院理 神原 浩、松井 朋裕、新見 康洋、福山 寛

我々はこの数年間、超低温 (> 55 mK)、高磁場 (< 6 T)、超高真空 (<  $10^{-8}$  Pa) の多重極限環境下で原子分解能をもって作動する走査トンネル顕微鏡 (ULT-STM) の開発を行ってきた。本装置の特徴は、i) 探針/試料を超高真空下で前処理および評価できる超高真空チェンバーを有していること、ii) それを利用して、低温・超高真空の環境を維持したまま、探針/試料を速やかに交換可能で、約 3 時間で最低温度まで冷却できることであり、これは他の超低温 STM にはないものである<sup>1)</sup>。完成した ULT-STM の性能の詳細と、これを用いて行った磁場中グラファイト表面における走査トンネル分光測定の結果<sup>2)</sup>を紹介した。

測定は、Kish graphite (単結晶) および HOPG (高配向性熱分解グラファイト; 人工の多結晶) の 2 種類について行った。トンネル微分コンダクタンスの磁場変化の測定から、グラファイト特有の磁場によってほとんどエネルギーが変化しない  $n=0, -1$  のランダウ準位によるピークと、磁場に比例してエネルギー間隔が広がるランダウ準位による規則的なピーク構造が観測された。測定結果は、バルクグラファイトの表面局所状態密度 (LDOS) の理論計算結果と非常によく一致する。一方、HOPG の測定では、複雑な振動スペクトルを観測したが、こちらは c 軸方向の stacking fault を反映して、有限層 (約 40 層程度) の表面 LDOS に対する計算結果とよく合うことがわかった。これまで、光磁気反射実験等によるバンド間遷移の測定から間接的にしか知ることのできなかつたグラファイトの磁場中ランダウ量子化にともなう電子 (ホール) 状態密度を、走査トンネル分光により初めて直接観測することができたといえる。

- 1) H. Kambara, T. Matsui, I. Ueda, T. Shishido, and Hiroshi Fukuyama, *to be published*.  
2) T. Matsui, H. Kambara, Y. Niimi, K. Tagami, M. Tsukada, and Hiroshi Fukuyama, *to be published*.

## 乱れの強いメソスコピックな超伝導体におけるコヒーレンス

東北大・院情報 鈴木 剛

乱れの強い超伝導体においては、電子の局在と超伝導転移との関係や、高温超伝導体に見られるような転移温度以上における特異な超伝導ゆらぎ等、従来の摂動論的な枠組みを越えた現象が現れる。多くの理論的研究が平均場理論に基づいてなされているが、その乱れの強さのため、いわゆる弱局在理論の適用範囲外にある。強い乱れと BCS 引力相互作用の効果を同時に取り入れた解析が要求される。Ghosal 等<sup>[1]</sup>は、引力ハバード模型を用いた従来の理論研究と異なり、秩序パラメータを系全体で一様とせず Bogoliubov-de Gennes 方程式を自己無撞着に解き秩序パラメータの空間分布の重要性を指摘している。彼らの結果の一つは、乱れが強い場合にはエネルギーギャップが消失しないことである。自己無撞着な計算により今まで見落とされていた新規な振る舞いを明らかにする可能性がある。

我々は 1 次元ないし周長に比べ幅が十分に狭い 2 次元超伝導リングを考え、秩序パラメータの分布やリングに流れる無散逸な永久電流の大きさを計算し、乱れの超伝導コヒーレンスに対する影響を調べている。この系には常伝導体に現れる AB 振動、AAS 振動のほか、超伝導体に特有の Little-Parks(LP) 振動が現れると予測できる。常伝導リングの場合には、系の大きさであるサイト数の増大とともに AB 効果から AAS 効果への移行が古くから知られているが、超伝導リングの場合には LP 振動の寄与もあり、三者間の競合が問題である。磁場の大きさやサイト数に依存した磁気応答の違いが期待される。特に磁場について同じ振動周期をもつ AAS 効果と LP 振動の競合等について議論した。

参考文献 [1] A. Ghosal, M. Randeria, and N. Trivedi, Phys. Rev. B 65, 014501-1(2001)

## 1 次元多孔体中の $^4\text{He}$ のボース流体と超流動 / 細孔中の吸着 $^3\text{He}$ の次元性のクロスオーバー

名大院理 和田 信雄、松下 琢

直径が 13 から  $28\text{\AA}$  の細孔に吸着した  $^4\text{He}$  が、その対称性や量子統計性を反映したボース流体になる可能性を比熱とねじれ振子による超流動観測から調べた。吸着量と温度の相図で  $^4\text{He}$  のボース量子流体と考えられる領域は、吸着した  $^3\text{He}$  と  $^4\text{He}$  の比熱が定性的に違う振る舞いを示し、また  $^4\text{He}$  の等温比熱が特徴的な吸着量依存を示すことから求めた。その結果  $13\text{\AA}$  の細孔からボース流体が存在する可能性がわかった。直径が  $18\text{\AA}$  以上の 1 次元多孔体では、ボース流体が存在する吸着量で低温比熱は  $T$  に比例しており、次元性を反映した 1 次元フォノン比熱であると解釈できる。一方、ねじれ振子実験では、直径が  $28\text{\AA}$  以上の 1 次元多孔体で初めて超流動が明瞭に観測された。直径が  $18\text{-}28\text{\AA}$  の 1 次元多孔体中で実現した  $^4\text{He}$  のボース流体について、その 1 次元性と超流動の関係が注目される。

またこれまで、孔径  $28\text{\AA}$  の 1 次元トンネル中の吸着  $^4\text{He}$  薄膜上に浮かべた希薄  $^3\text{He}$  気体の比熱実験を行ってきたが、その結果に未解決の問題点が残っている。特に、 $100\text{mK}$  以上の粒子間の相関が無視できると考えられる高温領域で、 $3/2Nk_B$  程度の比熱の大きな山が現れ粒子密度に依存して減少する、また、さらに高温で比熱が  $Nk_B$  程度になり  $^4\text{He}$  膜厚に依存して大きくなるなど、純粋な 1 次元 Fermi 気体では説明できない現象が見られた。そこで、円筒内の吸着状態を定量的に見積もり、吸着  $^3\text{He}$  の運動の次元性の変化を考慮に入れた場合の理想 Fermi 気体の振る舞いを検討した。まず円筒内の吸着ポテンシャルと  $^4\text{He}$  薄膜の hard core 斥力を考慮して、円周・動径方向に波動関数が節をもつ場合のエネルギーを見積もり、低温の 1 次元から高温で高次元へ、また、 $^4\text{He}$  薄膜が薄く壁のポテンシャルが強い時の 2 次元から  $^4\text{He}$  薄膜が厚い時の 3 次元へ、といった次元性の crossover が起こる領域を調べた。さらに、求められた吸着状態を考慮して理

想 Fermi 気体の比熱を計算し、100 mK 以上の実験結果とはほぼ定量的に一致する結果が得られた。この結果によれば、 $3/2Nk_B$  の比熱の山は純粋な 1 次元系から高次元への励起によるもので、粒子密度依存性はその励起準位を Fermi エネルギーを超えることによる。また高温の比熱の  $^4\text{He}$  膜厚依存性は 2 次元から 3 次元への次元性の変化と解釈できる。このように 1 次元トンネル中の  $^3\text{He}$  の実験結果の高温での比熱の振る舞いが、次元性の crossover によるものである可能性を示した。また 100 mK 以下では計算値は実験とは合わず  $^3\text{He}$  粒子間の相関を無視しては説明できないことがわかる。

## ナノ多孔体に閉じこめた強相関 $^4\text{He}$ の量子相転移的挙動

慶應義塾大学理工学部 白濱 圭也

我々は  $^4\text{He}$  をナノメートルサイズの微細空間に強く閉じこめることで、「強相関ボース粒子系」の粒子相関や乱れを制御し新しい物理現象の発現を目指した研究を行っている。 $^4\text{He}$  を 10nm 程度の狭い空間に閉じこめると、超流動転移温度 ( $T_c$ ) がバルクのラムダ点から低下することは、超流動サイズ効果としてよく知られている。しかし空間サイズを数 nm の極限まで小さくしたときに超流動がどのように抑圧されていくかについては、全く研究されていなかった。

我々は最近、直径 2.5nm のナノ細孔を有する多孔質ガラスに閉じこめた  $^4\text{He}$  の圧力温度相図を調べた[1]。その結果、加圧に伴って  $T_c$  と超流動密度が大きく低下し、約 3.4MPa の「臨界圧力」で  $T_c$  が絶対零度に近づき、それ以上の圧力では超流動が消失することを見いだした。この振る舞いは、ナノ空間への閉じこめにより、絶対零度近傍で「圧力誘起量子相転移」(一種の超流動-絶縁体転移)が起きていることを強く示唆する。これはバルク  $^4\text{He}$  やより大きなサイズの空間中  $^4\text{He}$  の振る舞いと全く異なり、従来のサイズ効果の理論(コヒーレンス長の概念)では決して説明できない。非超流動相は乱れによって超流動が抑圧された「ボースガラス状態」である可能性がある。ナノ多孔体中  $^4\text{He}$  は「(ランダム)ポテンシャル中の強相関ボース粒子系」として今後の展開が非常に興味深い系である。

[1] K. Yamamoto et al. cond-mat/0310375.

## ランダムポテンシャル中の強相関ボース流体のボース凝縮

大阪市立大理 小林 未知数、坪田 誠

近年、多孔質ガラス中での液体  $^4\text{He}$  の超流動やボース凝縮に関して数多くの実験が報告されている。2003 年には多孔質 Geltech silica 中の液体  $^4\text{He}$  の超流動が高圧化において絶対零度でも消失するという実験が観測された。これは制限系の液体  $^4\text{He}$  が、その強相関効果によって超流動状態から非超流動状態へ相転移するという興味深い現象である。

このような制限系の液体  $^4\text{He}$  に対する理論的な考察も幾つかなされているが、今回我々はランダムポテンシャル中のボース流体のモデルを用いて、この系におけるボース凝縮の転移温度の計算を試みた。粒子間相互作用、ランダムポテンシャルともに摂動論を用いることで、その効果を計算するが、粒子間相互作用は摂動を途中で止めると自己エネルギーが発散するため、エネルギースペクトルの繰り込みを行うことで発散を回避し、高次の摂動を擬似的に取り込むという操作を行った。この操作によってボース凝縮転移温度をあらゆる相互作用の強さで計算できるようになり、特に弱相関領域、強相関領域の両方において、ボース凝縮が抑制されるという結果を得た。この振る舞いは、実験で観測された超流動の振る舞いと定性的に一致している。

## エアロジェル中の液体 $^4\text{He}$ の超流動

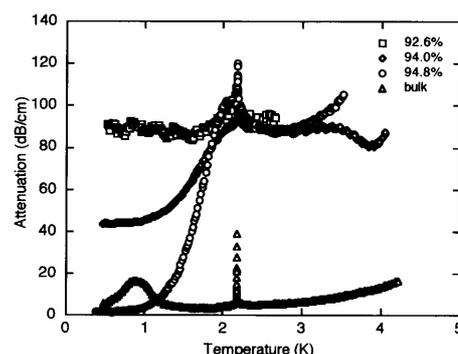
金沢大 理、AIST 中部 <sup>A</sup>

松本 宏一、西川 公章、吉野 敬一、阿部 聡、鈴木 治彦、田尻 耕治 <sup>A</sup>

エアロジェルは、silica の鎖状の高分子より成る高い空孔率を持つ物質である。エアロジェルは圧力や熱勾配で常流動成分と共に運動するため、従来の多孔質中とは異なった音波モードが存在する。我々は圧力波によりエアロジェル中の液体  $^4\text{He}$  の音速や吸収を測定し、飽和蒸気圧下におけるエアロジェル空孔率依存性を報告した。その結果、この系は従来多孔質体中で用いられてきた粘弾性理論では説明できない特異な性質を持つことなどを明らかにした。

超流動転移温度、音速、吸収の空孔率依存性を調べ、常流動成分がゼロと見なせる低温においては流体力学方程式を用いた解析では不十分であり、フォノン・エアロジェル間の相互作用を考えた解析をおこなった。加圧  $^4\text{He}$  の実験においては、エアロジェルでは超流動転移温度が bulk より数 mK 抑制されるが、よく似た圧力依存性を示すことが分かった。

図には音波の吸収の温度依存性を示す。超流動転移に伴う鋭い吸収ピークは観測されたが、1K での吸収ピークはエアロジェル中では抑制されている。



## 音響放射圧で駆動する $^4\text{He}$ 結晶の成長融解と核生成

東京工業大学理工学研究科物性物理

野村 竜司、木村 誠一郎、小笠原 太、多々良 辰哉、阿部 陽香、奥田 雄一

我々は超音波を用いるとその方向に応じて  $^4\text{He}$  結晶を自由に成長、融解、核生成できることを発見した。これは音響放射圧によるものと考えている。放射圧とは超音波が表面で反射したとき、音波の運動量が表面に渡されて力を受けるといいうものである。物体を非接触で動かす力としては昔から良く知られていたが、これが結晶成長のような一次相転移を駆動するかどうかなどは全く知られていなかった。低温で結晶成長係数が大きくなる固体  $^4\text{He}$  で始めて明らかになった。

この音波による界面の移動の温度依存性を調べたところ、音波を固体側から入射した場合に力の方向がある温度を境に逆転することが分かった。この逆転温度の結晶方位依存性を測定すると、c-ファセットに近づくにつれて逆転温度は急激に低下した。放射圧下での界面のダイナミクスは非常に異方的であった。この逆転現象の説明として、放射圧への非調和性の重要性について述べた。

また核生成の実験の臨界パワーの温度依存性を報告した。融解圧で存在する液体中で超音波を照射すると結晶核が生成し、結晶中で超音波を照射すると液胞核が生成した。このように両方向の核生成を誘起することは、圧力や温度などを駆動力としては不可能であることから、放射圧が駆動力になっている可能性を指摘した。

## スピン偏極によるヘリウム液面電子-水素原子 2次元混合系の安定化

九大高等教育センター 新井 敏一

温度 1K 以下のヘリウム液面上で電子と水素原子を共存させて 2次元混合気体にすると、水素原子による電子捕捉反応がおきて電子密度が減少する<sup>[1]</sup>。この変化は電子と中性原子の超低エネルギー衝突がひきおこす新しいタイプの反応で、

ミクロなメカニズムがどうなっているのか興味を持たれている。私たちはこの反応のメカニズムを明らかにするとともに、反応速度をできるだけ遅くして電子と水素原子の2次元混合系を安定化したいと考えている。安定化することによって、2次元希薄ボース気体である水素原子系の超流動状態を研究するために、共存する液面電子をプローブとして使おうという狙いである。

反応生成物である水素マイナスイオン ( $H^-$ ) の電子状態はスピン1重項なので、強い磁場でスピン偏極させることで反応速度が遅くなると期待できる。図1はあらかじめ用意しておいた液面電子に時刻  $t = 0$  sec で一定量の水素原子を液面に導入し、その後電子捕捉反応で液面電子密度が減少する様子をプロットしたものである。磁場が強いほど反応が遅くなっているのがわかる。今後はもっと強い磁場中でのデータを増やして反応速度の磁場依存性について議論するとともに、共存系をどこまで安定化できるか調べていくことにしている。

[1] 新井敏一、河野公俊：固体物理 38, 605 (2003)

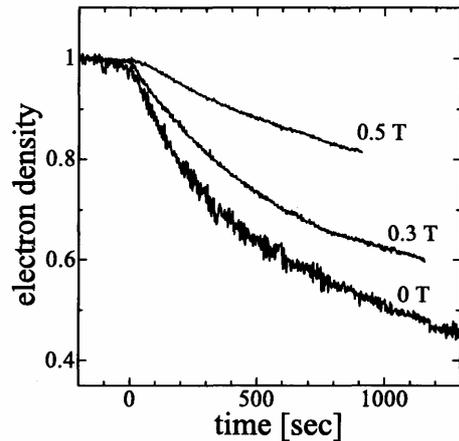


図1：液面電子と水素原子を共存させたあとの電子密度の減少。電子密度は最初が1になるようにスケールしてある。

## Essence of Hawking radiation

大阪市大・院理 石原 秀樹

物理の普遍性を背景に、宇宙物理と物性物理の間で分野横断的な研究が発展することを目指して、ブラックホールの「Hawking 放射」現象についての解説を行った。

まず、一般相対論におけるブラックホールの重要性について述べ、ブラックホールの時空構造の本質である「事象の地平線」について説明した。ここで、地平線近傍での“時間”と無限遠方での“時間”の間に無限の引き伸ばしがあることに着目した。

次に、ブラックホール時空上での場の量子論を展開し、真空の定義が一意的でないことを述べた。先に述べた時間の引き伸ばしが原因となって、ブラックホールでの粒子生成が起これ、黒体スペクトルをもった Hawking 放射が得られることを説明した。ここで、Hawking 放射が起これることに対して重力の法則は本質的ではない。

最後に、超流動体中の“人工ブラックホール”アナロジーについて述べた。超流動体においては流速の配位、音波がそれぞれ時空構造および光に対応している。そこで、ソニックポイントが出現するようなシステムを作れば、人工ブラックホールを作ることができる。宇宙ではブラックホールは物質の重力崩壊によって形成されるが、人工ブラックホールは形成過程を問題にする必要がない。このことより、多様な人工ブラックホールを研究することができるであろう。

## 2成分 Bose 凝縮体における量子渦状態

大阪市立大学大学院理学研究科 笠松 健一

回転ポテンシャル中に閉じ込められた2成分の Bose-Einstein 凝縮体における量子渦状態の構造について議論した。回転振動数と異成分原子間相互作用を変えパラメータとして安定な平衡状態を数値的に調べ、量子渦状態の相図を完成させた。混ざり合った2成分凝縮体の場合、回転によって生じる多数の量子渦は格子を形成するが、その2つのパラメータの

値に依存して三角格子から四角格子へ連続的に構造転移する。一方 2 成分間の斥力が強い時、凝縮体密度は相分離を起こし、それと共に渦ストライプ、ダブルコア格子、渦シート等の多彩な渦状態を形成する事が明らかになった。また 2 成分凝縮体の波動関数の相対位相を結合させる内部 Josephson 結合の渦状態に及ぼす効果を議論した。Josephson 結合は 2 成分に有効的な引力をもたらす、一方の成分に位置する渦は他方の成分の渦と相対位相空間で渦対を形成している事が分かった。また、スピン空間に投影するとそれは非軸対称なスピントクスチャーと見なす事ができる。回転を上げる事によりそのトクスチャーが格子を形成し、双極子に類似の相互作用で構造の秩序を形成する事を明らかにした。

## 冷却プロセスによる超流動 $^4\text{He}$ 量子渦の生成とその挙動

大阪市立大学 矢野 英雄

超流動  $^4\text{He}$  の渦はそのまわりの位相変化が量子化され、またその芯は秩序変数が 0 の singular であるために、渦は端のないリング状か、端が壁にあるループ状の安定な構造を持つ。我々は、超流動  $^4\text{He}$  中で振動子を振らせることにより、量子渦が生成される臨界速度を調べた。振動子として、直径  $2.5\mu\text{m}$  の超伝導線 (NbTi) による振動ワイヤーを用いた。また、振動ワイヤーを超流動  $^4\text{He}$  に入れるプロセス 1 と、振動ワイヤーを入れた常流動  $^4\text{He}$  を超流動まで冷却するプロセス 2 について測定を行った。

臨界速度は冷却プロセスによって変化し、プロセス 1 では  $270\text{mm/s}$ 、プロセス 2 では  $16\text{mm/s}$  だった。量子渦の生成はイオンを使った実験が知られており、超流動流速が  $60\text{m/s}$  で生成される。我々の結果は 3 桁近く低く、超流動流によって量子渦が生成されるとは考えにくい。一方、超流動相転移にともない量子渦が生成され、壁にピンされている残留量子渦が存在することが指摘されている。冷却プロセスによって臨界速度が変化する我々の結果から、臨界速度が残留量子渦によること、冷却プロセスによって残留量子渦が変化する事を明らかにした。

相転移通過時に量子渦が生成されるメカニズムはまだわかっていない。我々の方法により、このメカニズムを明らかにすることが期待できる。

## スピン自由度をもったボース凝縮体中における量子渦の生成と崩壊過程

京大院理、近畿大理工<sup>A</sup> 川口 由紀、中原 幹夫<sup>A</sup>、大見 哲巨

ボース・アインシュタイン凝縮体中の量子渦の生成方法の一つとして、スピン自由度を利用した方法がある。四重極磁場とそれに直交するバイアス磁場を組み合わせた磁気トラップ中に凝縮体を作り、バイアス磁場の方位を断熱的に反転することで渦が生成される。この方法を用いれば量子数が 1 以上の渦を生成することが可能であり、実際に量子数 2、4 の渦が観測された。

我々は、上記の渦生成過程における重力の効果を考察した。実験では四重極磁場の面内方向に重力がかかっている。渦糸は磁場中心にできるが、凝縮体は重力のため磁場中心からずれた位置にトラップされる。 $^{87}\text{Rb}$  と  $^{23}\text{Na}$  の凝縮体で比べると、質量の違いから分布半径が異なり、 $^{87}\text{Rb}$  では重力によるずれの効果がかなり大きい。 $^{87}\text{Rb}$  凝縮体における渦生成の数値シミュレーションの結果、凝縮体の振る舞いは磁場反転にかかる時間によって大きく異なり、分布の中心に渦糸を作るためには反転時間の細かい調節が必要であることがわかった。凝縮体は重力方向に運動するため、それが摂動となって渦の分裂が起こりやすい。反転時間を変えると、渦が分裂して凝縮体の外に飛び出す様子や、磁気遷移を起こした原子との相互作用により凝縮体が崩壊する様子もみられた。

また、渦糸まわりに軸対称な系で、量子数 4 の渦の分裂過程についても調べた。エネルギー散逸のない孤立系であっても、原子間相互作用の強さによっては渦の分裂を起こす。分裂の構造も単一ではなく、主に、渦糸周りに 2~4 回対称な

分裂が起こる。これらは凝縮体の粒子数と加える摂動の対称性を変えることによって制御可能であることがわかった。

## 回転下にある多孔質媒質中 He<sup>4</sup> 薄膜における新しいエネルギー散逸

東京大学大学院総合文化 物理 簗口 友紀

物性研究所(久保田研)で最近完成された回転クライオスタットと、それを用いて新しく見出された、回転下における多孔質媒質中 He<sup>4</sup> 薄膜の新しいエネルギー散逸を紹介し、それについて解釈(\*)を行った。

多孔質媒質中薄膜は、ジャングルジム上に吸着した膜と(ランダムネスを除けば)同等である。この薄膜は、捻り振子法のような動的測定で、2次元 He<sup>4</sup> で起こるコストリッツ-サウレス(KT)転移と見られる超流動転移が観測され、実際、超流動オンセット温度 T<sub>c</sub> で、超流動密度の大きな飛びと振子のエネルギーロスのピーク(KT ピーク)が現れる。これらでは薄膜に熱的に励起した点渦(2D 渦)の対が主要な役割を果たすと考えられている。一方で、比熱測定のような静的測定では、3次元 He<sup>4</sup> で起こるλ転移が起こると考えられている。T<sub>c</sub> は、一般にλ転移温度よりも高いと考えてよい。

さて、久保田研では、この系をはじめて回転させ、回転数に比例したエネルギー散逸のピークを、KT ピークのやや低温側で見出した。このピーク(回転ピーク)は、λ転移に伴って現れると考えることが可能であることを示した。すなわち、回転によって、λ転移温度を境に量子渦糸(3D 渦)が現れ、2D 渦対は、3D 渦の流れの場にさらされてエネルギー散逸ピークが低温側にシフトする、と考えることを示した。実際、定常流下の2D 渦対のエネルギー散逸ピークを別に測り、そのデータをもとに3D 渦のもとでの2D 渦対の散逸ピークを計算すると、回転ピークと非常に近いものを再現できる。但し、ピーク温度は非常に良く合うものの、ピーク値が一桁異なるということや、また薄膜の隙間構造が3D 渦に大きなピン止めポテンシャルを与えるにも関わらず、どうして容易に3D 渦が出現し得るか、など疑問点が残る。今後の課題としたい。

(\*) M. Fukuda, M.K.. Zalalutdinov, V. Kovacik, T. Minoguchi, T. Obata, M. Kubota and E.B. Sonin, in preparation.

## 熱容量測定による2次元ヘリウム3の強相関効果の研究

東大・院理 松本 洋介、辻 太輔、村川 智、秋里 英寿、神原 浩、福山 寛

グラファイト上に吸着したヘリウム(He)原子は理想的な2次元単原子層を形成する。最近、水素(HD)バイレイヤー上の2次元<sup>3</sup>Heで低面密度のFermi流体相から4/7相と呼ばれる整合相への相転移が、Mott-Hubbard型の量子局在転移として理解できるという主張がなされた<sup>[1]</sup>。我々は4/7相のごく近傍での系の性質を探るため、グラファイト表面に<sup>4</sup>Heを1原子層プレコートした上に吸着した2次元<sup>3</sup>Heの熱容量を、低密度域から4/7相に至る広い範囲でこれまでにない細かい密度( $\rho$ )ステップで測定した。

低密度域( $1.39 \leq \rho \leq 5.70 \text{ nm}^{-2}$ )で測定した熱容量は、充分低温で温度によく比例し、相互作用が<sup>3</sup>He準粒子有効質量 $m^*$ に繰り込み可能な“正常Fermi流体”相であることが分かった。 $m^*$ は密度の増加とともに<sup>3</sup>He原子質量の8倍まで、4/7相の密度( $\rho_{4/7} \approx 6.85 \text{ nm}^{-2}$ )に向かい発散的に増大する傾向を見せ、Mott-Hubbard転移のシナリオを強く支持する結果となった。一方、 $\rho_{4/7}$ のごく近傍の高密度域( $5.70 \leq \rho \leq 6.85 \text{ nm}^{-2}$ )では、スピン自由度に由来する交換相互作用程度の温度( $T \approx 1 \text{ mK}$ )に熱容量ピークが現れ、これが30 mK付近のなだらかなピークと共存することが分かった。この2つの熱容量ピークは、密度とともにその温度依存性や高さを変えながら4/7相の密度近傍まで共存し、空間的に相分離した単純な2相共存モデルでは明らかに表現できない。

そこで我々は4/7相をhalf filledのMott局在相として捉え、これより少し低密度の領域はホール(零点空格子)をドープしたMott局在相すなわち、系の自由度が零点空格子のホッピングによって記述できる“異常流体相”であるという新し

い考えを提案している。異常流体相は一様相であり、従来の空間的に相分離しているとする考えとは大きく異なる。

[1] A. Casey, H. Patel, J. Nyéki, B. P. Cowan and J. Saunders, Phys. Rev. Lett. **90**, 115301 (2003).

### $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ 混合薄膜における fermion - boson 相互作用の効果

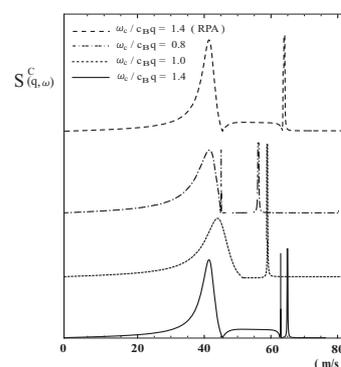
早大理工 余越 伸彦

我々は、 $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  混合薄膜における集団励起スペクトルに fermion - boson 相互作用が及ぼす影響について調べている。

今回は超流動  $^4\text{He}$  薄膜の上に浮かぶ 2 次元  $^3\text{He}$  について、 $^4\text{He}$  の第 3 音波との相互作用を考慮にいれた Fröhlich 型の有効 Hamiltonian から出発する<sup>[1]</sup>。絶対零度の乱雑位相近似 (RPA) の範囲で集団励起のスペクトルを数値的に求めた。その結果  $^3\text{He}$  のゼロ音波と  $^4\text{He}$  の第 3 音波のスペクトルが近づくところで、二つのスペクトルの混成を見ることができた。

また、 $^3\text{He}$  と  $^4\text{He}$  との非断熱的相互作用の効果を調べるため梯子近似で結節部分を計算した。その結果、結節部分が実軸に極を持つことがわかった。我々はこれを新しい集団励起のスペクトルと考え、動的構造因子に RPA の範囲では得られないピークを見出した(右図)。さらに、この集団励起の Landau の  $f$ -関数への寄与を計算し、 $^4\text{He}$  を介した  $^3\text{He}$ - $^3\text{He}$  相互作用の 3 乗に比例する補正を導出した。

これらの結果は、アルカリ原子を使った中性原子気体の 2 次元系にも適用できると考えており、注目している。



[1] S. Kurihara, J. Phys. Soc. Jpn., **51**, 3844 (1982).

[2] N. Yokoshi and S. Kurihara, Phys. Rev. B **68**, 064501 (2003).

### エアロジェル中の回転超流動ヘリウム 3

京大院理 A、京大低物セ B、阪市大院理 C、東大物性研 D、CRTBT-CNRS<sup>E</sup>  
山下 穰 A、松原 明<sup>AB</sup>、佐々木 豊<sup>AB</sup>、石川 修六<sup>C</sup>、片岡 祐己<sup>D</sup>、  
久保田 実<sup>D</sup>、Yu. M. Bunkov<sup>E</sup>、水崎 隆雄<sup>AB</sup>

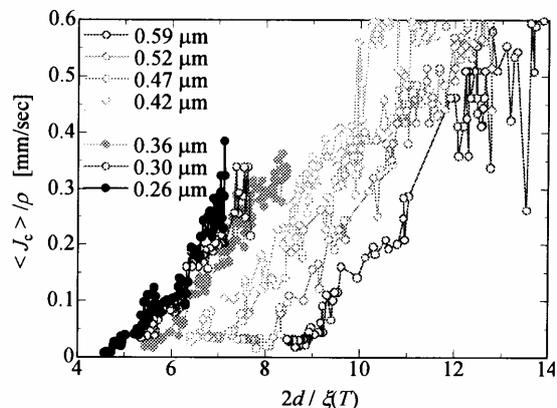
空孔率 98% のエアロジェル中の超流動ヘリウム 3 B 相の回転 NMR 測定についての報告を行った。B 相では NMR spectrum が回転によって変化するのでそれから内部に生成した超流動速度場と常流動速度場との相対速度場の情報を得ることができる。回転変化は大きなヒステリシスを示し、エアロジェル内部に渦が入ったことを示した。渦はエアロジェルの存在によって内部で強くピンされていて、内部に入るにも外に出るにも大きな相対速度場が必要なことがわかった。渦が内部に入っていくときのメカニズムは臨界速度の温度依存性から、ギャップエネルギーで決まるような過程ではなく、ピンニング間の平均距離というようなエアロジェルの構造で決まる過程が推測されることを報告した。

## $^3\text{He}$ 薄膜超流動の膜厚依存性

A 東工大理工、B 理研 齋藤 政通<sup>A</sup>、池上 弘樹<sup>B</sup>、椋田 秀和<sup>B</sup>、河野 公俊<sup>B</sup>

飽和蒸気圧下の超流動  $^3\text{He}$  薄膜は、膜厚をパラメータとして制御できるため、秩序変数への系のサイズの影響を直接変化させることのできる研究対象である。我々は、くし型電極を用いることで、これまででない自由度の高さで超流動  $^3\text{He}$  薄膜を制御することを可能にし、 $0.2 \sim 7.2 \mu\text{m}$  の膜厚範囲について、超流動転移温度および臨界流の膜厚依存性の測定を行った。

その結果、臨界流の膜厚依存性から膜厚  $0.4 \mu\text{m}$  を境に振舞いが異なり、薄い領域では  $2d/\xi(T)$  に対し同一の傾向を示すことがわかった。この膜厚領域でのフィルムフローの散逸に、サイズ効果による秩序変数の抑制の関与が考えられる。



## エアロジェル中 $^3\text{He}$ 超流動相の安定性

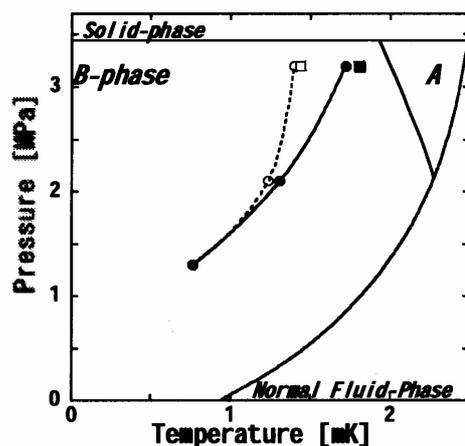
大阪市大院理超低温物理学研究室 中川 久司、小原 颯、矢野 英雄、石川 修六、畑 徹

98%以上の高い空孔率を持つエアロジェルはこれまでの研究から超流動  $^3\text{He}$  に対して不純物散乱体として振舞うと考えられている<sup>[1]</sup>。我々はこれまで誰も手をつけていない低い空孔率を持つエアロジェル中での  $^3\text{He}$  超流動相に対する不純物散乱効果の解明を目的に NMR 法を用いた研究を行っている。

用いたエアロジェルは空孔率 97.5%、バルクの隙間が無いようガラス容器内で直接成長させている。まずこれに液体  $^3\text{He}$  のみを入れ、温度は  $0.4 \text{ mK}$  から  $100 \text{ mK}$ 、磁場  $28.4 \text{ mT}$ 、圧力  $1.3, 2.1, 3.2 \text{ MPa}$  で cwNMR 測定を行った。共鳴周波数の温度変化より得られた P-T 相図を下図に示す。(参考に純粋な超流動の相図を実線で示している。) 超流動転移温度:  $T_c^{\text{aero}}$  (●) はバルク液体に比べ大きく低下、 $2.1, 3.2 \text{ MPa}$  では冷却時 AB 相転移:  $T_{\text{AB}}^{\text{aero}}$  (○) が観測され、昇温時 B 相は  $T_c^{\text{aero}}$  まで観測された。また 98%のもの<sup>[2]</sup>と比べ、 $T_{\text{Caer}}$  は更に低下、A 的な相の領域がより抑制されている。一方、このとき非常に大きなエアロジェル表面の  $^3\text{He}$  固体層の影響が観測された。

次に  $^3\text{He}$  固体層の影響を取り除くために  $2.5$  層分の  $^4\text{He}$  を入れ、圧力  $3.2 \text{ MPa}$  の液体  $^3\text{He}$  において cwNMR 測定を行った。観測した磁化の大きさは、 $2 \text{ mK}$  で  $^4\text{He}$  が無い場合の  $2$  分の  $1$  に減少したが、固体  $^3\text{He}$  磁化が観測されたことから、実際にはすべての  $^3\text{He}$  固体層は  $^4\text{He}$  に置き換わっていない。このとき観測された  $T_c^{\text{aero}}$ : ■、 $T_{\text{AB}}^{\text{aero}}$ : □を右下图に示す。冷却時、A 的な相、B 相の 2 相共存状態を経て AB 転移が起こった。AB 転移温度は、A 的な相が消失した温度とした。このような共存状態は  $^4\text{He}$  が無い場合では観測されていない。また  $^3\text{He}$  だけの場合より  $T_c^{\text{aero}}$ 、 $T_{\text{AB}}^{\text{aero}}$  が上昇した。以上の結果は  $^4\text{He}$  を入れたことでエアロジェル表面の  $^3\text{He}$  固体層の多くが  $^4\text{He}$  に置き換わったために磁気的な散乱体が減少したことが原因であると考えている。

一方、我々は同時に中性子散乱や小角 X 線散乱によりエアロジェルの内部構造解析を行い、その結果エアロジェルにはフラクタル次元や空孔率に依存して構造に周期性があることが分かった。



今後の課題としては特に AB 共存状態に注目し超流動性の安定性がエアロジェルの内部構造とどのような関係があるのかを調べていくことである。

[1] G.Gervais et al , Phys.Rev.B 66 054528 (2002)

## エアロジェル中の超流動 $^3\text{He}$ における流体力学的音波

広大総合科 東谷 誠二、三浦 真毅、山本 幹雄、永井 克彦

エアロジェルは、シリカの鎖状高分子が網目状のネットワークを形成している多孔質物質で、その空孔率は 90% を超える。エアロジェル中に液体  $^3\text{He}$  を導入すると、結果得られる混合系は、不純物を含む p 波 BCS 超流動体と見ることが出来る。我々は、この系を伝搬する流体力学的音波について、二流体理論に基づく考察を行った。エアロジェル中の超流動  $^3\text{He}$  では、不純物散乱を介して、液体とエアロジェルが運動量を交換する。このため、常流動成分とエアロジェルとの間に摩擦が働くと考えられる。エアロジェルに作用する摩擦力密度は、 $\mathbf{F} = -(\rho_n/\tau_f)(\mathbf{v}_a - \mathbf{v}_n)$  と書けるであろう。ただし、 $\rho_n$  は常流動密度、 $\mathbf{v}_n$  は常流動速度、 $\mathbf{v}_a$  はエアロジェルの局所速度、 $\tau_f$  は摩擦を特徴づける緩和時間である。摩擦  $\mathbf{F}$  によってカップルしたエアロジェルと超流動  $^3\text{He}$  との連立運動方程式を解くことで、この系の流体力学的音波の分散関係を求めることができる。

研究会では、焼結銀中に組み込まれたエアロジェル-超流動  $^3\text{He}$  系で観測される第四音波の  $Q$  値の計算結果を報告した。この系の特徴は、エアロジェルが焼結銀に固定されることである。すなわち、 $\mathbf{v}_a = 0$  となる。このことを考慮すると、上述の二流体理論から、

$$Q^{-1} = \frac{\rho_n}{\rho_s} \omega \tau_f$$

となることが示される。ここで、 $\rho_s$  は超流動密度、 $\omega$  は第四音波の振動数である。この結果は、粘性係数  $\eta$  に依らない。つまり、エアロジェル中での第四音波の吸収は、エアロジェルとの摩擦に支配される。このことは、純粋  $^3\text{He}$  の場合と本質的に異なる点である。

二流体理論では、 $\rho_s$  や  $\tau_f$  は現象論的なパラメータとして導入される。これらを決めるには微視的な理論が必要である。研究会では、エアロジェルをランダムに分布した不純物とモデル化した場合の、 $\rho_s$ 、 $\eta$ 、 $\tau_f$  の温度依存性を数値計算した結果についても紹介した。

## 超流動 $^3\text{He}$ における横波音響インピーダンス

広大総合科、先端研 山本 幹雄、三浦 真毅、東谷 誠二、永井 克彦

超流動  $^3\text{He}$  をはじめとする異方的超流体では、境界散乱により界面近傍の秩序状態はバルクのそれとは著しく異なるものと考えられている。音響インピーダンスには、境界近傍の情報が大きく影響すると考えられ、界面近傍の状態を調べるプローブとしても期待される。壁表面における乱雑な散乱によって生成する対励起の効果を議論するためには、壁における散乱の様子をあらわに評価する必要がある。我々のグループでは、散乱行列  $S_{KQ}$  に境界散乱の様子を取り込んだ準古典的境界散乱理論 "Random S-matrix model (RSM)", を提案しており、平衡状態を記述する理論的手法をすでに得ている。今回は、z 軸に垂直な壁が x 方向に速度  $u = dR(t)/dt$  で振動する系を考え、時間に依存する境界効果を記述する RSM 拡張理論を提案した。壁による散乱準粒子は、壁と平衡状態にあるという境界条件を課すと、速度  $u = dR(t)/dt$  で壁が振動する効果は、散乱行列  $S_{KQ}$  に壁の変位  $R(t)$  に依存した変換  $e^{i(K-Q)R(t)}$   $S_{KQ}$  を施すことにより取り込まれることになる。

結局、壁の駆動の効果は、表面自己エネルギー

$$\delta\Sigma(K, t, t') = 2W \left\langle i(K-Q)(R(t) - R(t'))G(Q, t-t') \right\rangle_Q + 2W \left\langle \delta G(Q, t-t') \right\rangle_Q$$

を評価することにより記述できる。 $W$ は、壁による散乱の様子を現すパラメーターで、 $W=0$ が鏡面散乱、 $W=1$ が散漫散乱極限に対応する。P波3重項状態では、第1項は、対角項補正、第2項は非対角項補正になる。第2項の評価を行えば、対振幅の揺らぎの効果も議論可能である。今回は簡単のため、第1項のみを評価し、秩序振幅に空間変動のないABM状態を仮定して、音響インピーダンスの周波数依存性及び温度依存性の計算結果を紹介した。

## 強磁場下における超流動 $^3\text{He-A}_1$ 相のスピンの緩和

Rutgers 大、東大物性研\*

栢富 龍一、木村 幸太\*、山口 明\*、石本 英彦\*、小島 東生

超流動  $^3\text{He-A}_1$  相は凝縮対の核磁気モーメントが静磁場と同じ方向を向いているという特徴がある。この相において Rutgers 大学小島研究室で磁気噴水効果を利用したスピン密度緩和の実験が行われてきた<sup>[1]</sup>。この実験によると  $T_{c1}$  (常流動相と  $A_1$  相との移転点) と  $T_{c2}$  ( $A_1$  相と  $A_2$  相との移転点) のほぼ中心の温度で緩和時間に不連続な飛びが観測されている。この原因はセルの構造上存在する界面 (常流動相と  $A_1$  相もしくは  $A_1$  相と  $A_2$  相) の影響が示唆されている。今回、東大物性研石本研究室の大型希釈冷凍機を用い、セル内の全て  $^3\text{He}$  を  $A_1$  相にし、界面の影響を無くした状態で緩和時間の測定を行う。さらに高磁場での測定を目的として実験を開始した。圧力 17bar、静磁場 5Tesla の条件下で緩和時間の温度依存性を測定した結果、不連続な飛びは観測されなかった。今後、圧力、静磁場を変化させ測定を行う予定である。

[1] S. T. Lu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **62** 1639 (1989).

## グラファイト基板上的 $\text{He}$ 吸着膜のスリップ現象

電気通信大学、名古屋大学\*

細見 斉子、檜枝 光憲\*、鈴木 勝

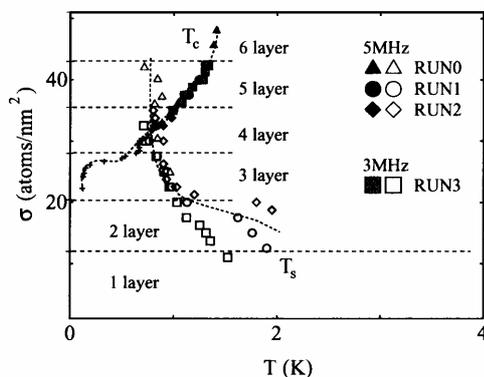


図 1: 超流動開始温度  $T_c$  (黒塗りの記号) とスリップ開始温度  $T_s$  (白抜きの記号) の面密度による変化. 十字の記号はねじれ振り子による  $T_c$  の観測結果<sup>[2]</sup>. 点線は層の完結を表す.

私たちの研究室では、ヘクトライト基板上的  $\text{He}$  膜の摩擦力が低温で減少し、膜が基板に対してスリップする現象を見出した<sup>[1]</sup>。今回、グラファイト基板上的  $^4\text{He}$  吸着膜のスリップを水晶マイクロバランス (QCM) 法により測定した。測定の結果、膜厚が 4 層以下の面密度においてグラファイト基板上的  $^4\text{He}$  膜がスリップを起こす現象を観測した。図に超流動転移温度  $T_c$  とスリップ開始温度  $T_s$  を面密度の関数として示す。QCM 法により測定した  $T_c$  はねじれ振り子により測定された  $T_c$  とほぼ等しい<sup>[2]</sup>。  $T_c$  は面密度の増加と共に高温側へ移動する。一方、スリップは  $\text{He}$  膜が不活性な面密度で、温度  $T_s$  以下の低温で起きる。一般に固相膜は液相膜に比べて摩擦力が小さい。スリップ現象は、低温で膜の状態が液相から固相的な状態へと変化することにより起きると説明できる。スリップ開始温度  $T_s$  は面密度の増加と共に低温側へ移動する。さらに、 $^4\text{He}$  の膜厚が 4 層以上の面密度でも、基板の振れ幅を大きくすると、超流動転移した膜の下層の不活性膜が基板に対し滑るという現象も観測した。

- [1] M. Hieda, T. Nishino, M. Suzuki, N. Wada, and K. Torii, Phys. Rev. Lett. 85, 5142 (2000).  
 [2] P. A. Crowell and J. D. Reppy, Phys. Rev. B 53, 2701 (1997).

### 3次元メゾ多孔体中のヘリウム4の超流動

名大院理 山田 智也、松下 雄樹、戸田 亮、浅野 良太、檜枝 光憲、松下 琢、和田 信雄

我々は三次元的につながった  $^4\text{He}$  薄膜における超流動転移の三次元的性質を調べる事ために、孔径  $27\text{\AA}$  の細孔が規則的に三次元的につながっているメゾ多孔体 HMM-2 中に吸着した  $^4\text{He}$  をねじれ振子による超流動の測定により研究してきた。

$^4\text{He}$  薄膜の超流動は、約 1.3 層以上で超流動転移が観測され、吸着量  $n$  の増加に伴いオンセット温度  $T_0$  は増加していく。同じ基盤を使った共同実験者による比熱測定(P10)では超流動オンセット温度  $T_0$  にピークが観測されており、細孔中の超流動は三次元的性質を示しているといえる。

約 1.5 層以下の吸着量で超流動密度  $\rho_s$  は特に明確な超流動オンセットを示し、 $T_0$  近傍での温度依存性は  $\rho_s \propto (T_0 - T)^{0.8 \pm 0.1}$  であった。これは KT 転移の  $\rho_s$  のジャンプや他の三次元多孔体で見られた有限サイズの KT 転移の温度依存性とは異なっており、超流動転移において KT 転移以外の機構を考える必要がある事を示している。また、 $\rho_s$  の低温での温度変化は  $[\rho_s(T=0) - \rho_s] \propto T^{1.7}$  と表せた。低温では  $\rho_s(T=0) - \rho_s$  に  $T^{d+1}$  に比例する  $d$  次元のフォノン励起の寄与が現れると考えられているが、今回の結果はそれとは異なっている。今後、より低い温度で測定を行いフォノン励起の寄与の項が現れるかどうかを確認する必要がある。

また、 $\text{H}_2$  で約一層分基盤をコートしその上に  $^4\text{He}$  を吸着させ超流動を観測し  $\text{H}_2$  コートが超流動に与える影響について調べた。その結果、吸着量のオンセット  $n_c$  が約 0.6 層まで減少した。これは  $\text{H}_2$  コートによって基盤のポテンシャルが減少したためと考えられる。一方、 $T_0$  の  $n - n_c$  に対する依存、 $\rho_s$  の温度依存については違いが見られなかった。これは超流動の性質自体には  $\text{H}_2$  コートの影響が無い事を示している。

#### 超流動の性質

1. 超流動の 3 次元性：比熱のピーク温度  $T_c$  と  $T_0$  が一致
2.  $\rho_s$  の温度依存：形状が KT の特徴を持たず  
     3D-BEC に近い温度依存性を示している  
     低温側では  $[\rho_s(0) - \rho_s(T)] \propto T^{1.7}$
3.  $T_0$  の吸着量依存： $T_0$  のオンセットでの臨界指数  $w = 1.2 \pm 0.2$   
     他の基盤の例 ( $w = 1.6 \sim 1.8$ ) に比べ小さい
4.  $\text{H}_2$  コートの影響： $n_c$  の大幅な減少  
      $T_0$  の吸着量依存、 $\rho_s$  の温度依存は変化無し

### 超低温 X 線測定

金沢大学理学部 鈴木 治彦、薛 芸、浅田 誠司、細道 晶子、山内 力也

$^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  希釈冷凍機を用いた X 線回折装置を用いて種々の物質について測定している。単に結晶構造の測定だけでなく格子定数の温度変化、反射線強度、および半値巾の温度変化などは興味深い振る舞いを示している。今回はその中で  $\text{MgB}_2$  についての結果を報告する。 $\text{MgB}_2$  の超伝導転移温度は 39K である。反射線強度が転移点近傍でピークを作る。反射線強

度は Debye-Waller 因子により格子振動と密接に関係している。従ってこの結果は  $\text{MgB}_2$  が Phonon による超伝導であることをサポートした結果である。一方格子定数は低温で負の熱膨張係数を示す。しかしこの負の熱膨張は  $\text{MgB}_2$  の特徴と言うよりは多くの物質において見られる一般的な現象のようである。我々がこの装置を用いて測定した殆ど全ての物質、 $\text{PrPtBi}$ ,  $\text{CeB}_6$ ,  $\text{Ce}_{0.75}\text{La}_{0.25}\text{B}_6$ ,  $\text{GdB}_6$  そして  $\text{MgB}_2$  において観測されている。一般的な理論が必要である。

## 超低温 MRI 法とその応用

京都大学 低温物質科学研究センター、大学院理学研究科 物理学第一教室  
佐々木 豊(\*), 田中 孝佳、伊東 英昭、水崎 隆雄

京都大学において開発を続けている、超低温 MRI 法の現状について報告した。ライデンクライオジェニクス製大型希釈冷凍機関連のトラブルに長年苦しんできたが、ようやく超低温 MRI 装置全体として稼動する段階に到達した。この装置はパワフルな希釈冷凍機を利用した 80 モルの核断熱消磁冷凍機と、その 8T 断熱消磁用マグネットの漏れ磁場と干渉せぬように設計された 1T 高均一度ヘルムホルツ型回転マグネット、および最大 1T/m の 3 軸磁場勾配マグネットからなる。12 月より開始した冷却で、この実験装置としては初めて固体ヘリウム 3 の  $U2D2$  相のシグナルを観測したことを報告した。まだプレリミナリーな結果しか出ていないが、超流動ヘリウム 3 中で  $U2D2$  ヘリウム 3 結晶を成長・融解させたときの MRI 画像を公開した。

## 毎秒 6 回転の高速回転希釈冷凍機

東京大学物性研究所  
久保田研究室 田沼 厳美、小幡 利顕、五十嵐 武、高橋 健、久保田 実

超流動の研究にとって重要な量子渦の振る舞いは回転により制御することが出来る。我々は回転条件下での量子渦と薄膜超流動の関係などを研究している。回転下で多孔質体に吸着したヘリウム薄膜のねじれ振り子実験を行うと、回転励起される 3 次元渦に起因したエネルギー散逸が観測される。

我々は柏キャンパスにおいて世界最速の回転希釈冷凍機を開発した。この回転冷凍機は大きく 4 つの構成要素に分かれている。回転駆動モーター、回転計測器とそれを搭載するラック、回転結合部、希釈冷凍機本体である。回転駆動モーターは PID 制御により  $10^{-5}$  程度の安定度を達成し、毎秒 10 回転まで駆動できるものを使用している。ラックは硬質プラスチックシートを巻くことで円筒対称の形にして空気抵抗を減らした。回転結合部には特製のバイトンチューブを用いることにより回転下での振動を除去することに成功した。希釈冷凍機は循環ラインを減らし熱的な振動を除去するために、自作の Joule-Thomson 予冷タイプのものを使用している。

現在、毎秒 6 回転までの高速回転で冷凍機温度を長時間保つことに成功している。研究会では高速回転冷凍機の立ち上の時に装置の各部位に施した工夫について発表した。

## Viscosity measurements of highly polarized liquid $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ mixture

<sup>a</sup>理化学研究所、<sup>b</sup>University of Florida、<sup>c</sup>University of Massachusetts Amherst  
秋元 彦太 <sup>a,b,c</sup>, J. S. Xia<sup>b</sup>, D. Candela<sup>c</sup>, W. Mullin<sup>c</sup>, D. Adams<sup>b</sup>, N. Sullivan<sup>b</sup>

スピン偏極した 150ppm  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  混合液の粘性係数測定の実験を紹介した。希薄な  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  混合液は弱く相互作用したフェルミ液体のモデルシステムとして知られ、多くの興味を集め、さまざまな測定がなされてきた。スピン偏極した体系はこの体系のスピン縮退を解き、新たな自由度をあたえ、輸送係数にとくに大きな変化を及ぼす。粘性係数の測定はバイブレーションワイヤーを用い、1 テスラから 15 テスラの磁場、1 mK から 200mK の温度領域で行った。1 テスラではスピン偏極は小さく、測定された粘性係数は、スピン偏極のない場合とかわらないが、磁場の印加により粘性係数は増大、とくに低温ほどその傾向は大きくなり、15 テスラ、2 mK のもと (99%以上のスピン偏極) では、100 倍以上の大きくなった。最後に 2 体の相互作用にもとづく粘性係数の計算値と、測定された粘性係数を比較、それらはよい一致を示した。

## 理化学研究所ナノサイエンス研究棟低温実験室の紹介

理化学研究所 秋元 彦太、河野 公俊、青柳 克信

理化学研究所は、"ナノ"をテーマに研究者が分野横断的に研究活動を行い、新たな研究フィールドを切り拓いていくことを目的として、ナノサイエンス研究プログラムを、2002 年 12 月よりスタートしました。「ナノサイエンス実験棟」は、プログラムを実施する中核拠点として建設され、原子操作レベルの実験が可能な実験環境条件(クリーンルーム(1室)、除振、電磁シールド対策を施した 13 の個別の実験室群、通常の実験のための一般実験室(5室)、化学薬品を扱うケミカルルーム(2室)と低温実験室(1室))を備え、ナノサイエンスの研究の拠点となっています。現在、研究テーマにもとづき 18 のサブチームが、ナノサイエンス棟で研究を進めています。

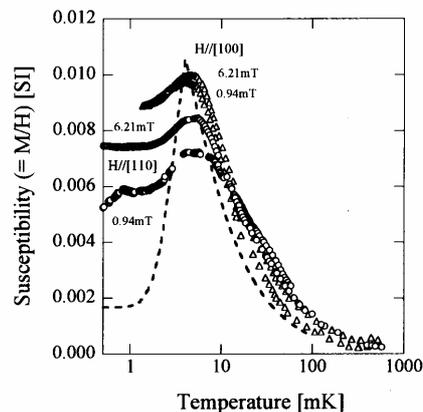
低温実験室は広さ約 500m<sup>2</sup> で、10 の大型冷凍装置を設置できます。冷凍機は歩行フロアの振動を避けるため地階から立てられたピラー、および防振台の上に設置され、電気、磁気によるノイズの混入をさけるため、シールドルーム及びシールドボックスで、外界から遮断されます。現在、低温実験室は 3 つのサブチームが 5 つの研究課題を持ち研究を進めている。

## 反強四重極子秩序状態における $\text{PrPb}_3$ の核磁性

金沢大<sup>A</sup>、理研<sup>B</sup>、九州工業大<sup>C</sup>

阿部 聡<sup>A</sup>、高橋 大輔<sup>B</sup>、吉田 潤<sup>A</sup>、松本 宏一<sup>A</sup>、鈴木 治彦<sup>A</sup>、北井 哲生<sup>C</sup>

$\text{PrPb}_3$  は 0.4K で反強四重極子秩序転移(AntiFerro Quadruple Ordering : AFQO)を起こすが、電子基底状態が非磁性  $\Gamma_3$  二重項であり、Hyperfine 相互作用による Pr 増強核磁性が期待される。また AFQO 状態で  $\Gamma_3$  二重項は 2 つの一重項に分裂し、四重極子モーメントの符号によって基底状態が異なるため、AFQO 状態の 2 つの副格子では異なる増強因子をもつ。今回、静磁化測定を 6.21[mT]および 0.94[mT]の外部磁場を[100]および[110]方向へ印加し最低温度 0.2[mK]まで行なった。 $\text{PrPb}_3$  試料は熱処理を行うことにより鉛不純物による超伝導を示さないものを使用した。図に静磁化から求めた帯磁率(M/H)の測定結果を示す。帯磁率の原点は Van-Vleck 帯磁率である。10mK 以上では Curie-Weiss 則に従い、有効磁気モーメントから増強因子



は  $1+K \sim 30$  となる。また約  $5[\text{mK}]$ においていずれも帯磁率にピークが現れ、AFQO 状態での増強核磁気モーメントの反強磁性転移を示すものと考えられる。点線は Ishii らによる AFQO 状態での帯磁率の計算結果であり、ピークより低温側で実験結果とずれがあるが、転移温度などは良く一致している。

## 2 層系量子ホール状態での面内磁場に対する電流方向による伝導率変化

東北大学理学研究科 岩田 一樹

量子 Hall 効果は 2 次元電子系特有の現象であり、2 層系とは 2 次元電子系を 2 枚近接させた系のことである。この系では 2 層間のトンネリングにより 1 層系にはない多くの興味深い現象が観測されている。本研究では、伝導率の振る舞いが面内磁場と試料に流す電流方向のなす角度によって大きな違いがあることが観測された。

この現象は電子密度、電子密度差によらずフィリングが 2 より小さく縦抵抗が落ちきっていない場合に観測された。

本実験の測定方法は試料自体を 2 軸回転させるので試料の成長過程などによる試料の異方性を観測することはない。従って、面内磁場と電流方向による異方性だと考えられる。

このような現象が観測される原因については不明な点が多いが、電子密度によらず同じ面内磁場の大きさのときに異方性が最大となることから整合・非整合相転移との関連が考えられる。この点については今後活性化エネルギーの測定を行うことで解明していく。

また、抵抗が 0 に近いときに観測されないことから面内磁場が存在した場合の 2 次元系での電子輸送に対する理解を深めるために重要な現象ではないかと期待している。

## 2 層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態整合非整合相転移に伴う磁気抵抗極小の分離

東北大学大学院理学研究科 古住 信介

半導体界面で形成される 2 次元電子面は、量子ホール効果の舞台である。低温、強磁場下でホール抵抗は量子化値をとり、磁気抵抗はほぼゼロになる。2 次元電子面を 2 枚重ねた 2 層系では、新たに層間の相互作用が加わり、1 層系に比べより豊かな物理を見せてくれる。2 層系  $\nu = 1$  量子ホール状態では、面内磁場を加えると励起エネルギーが急激に減少していき、その後ほぼ一定となる変化を示す。これは整合非整合 (CIC) 相転移によると考えられている。今回、CIC 相転移点付近での磁気抵抗の極小部分が 2 つに分裂することが観測された。その二つの極小の振る舞いを調べ、二つの極小はそれぞれ整合相で安定な領域と、非整合相で安定な領域に対応していることがわかった。分裂した極小には含まれた「コブ」は、整合相から非整合相に相転移するとき量子ホール状態が不安定になる領域が存在することを表している。この振る舞いは、今実験で用いたトンネリングギャップ  $33\text{K}$  の試料でのみ観測されている。

## $S=1$ カゴメ格子有機反強磁性体の量子磁性

名大院理 浜口 伸子、後藤田 朋孝、釘宮 義和、松田 直子、松下 琢、和田 信雄、藤田 渉、阿波賀 邦夫

物質中の磁性原子が持つ磁気モーメント (以下スピンと呼ぶ) は、反強磁性相互作用が働いていても、そのスピン空間配置が特殊である場合、Néel 転移が妨げられ、スピンのフラストレーションがある。カゴメ格子有機反強磁性体  $m\text{-MPYNN} \cdot \text{BF}_4$  は、カゴメ格子を組む  $S=1$  のダイマー間に反強磁性相互作用 ( $\sim 3\text{K}$ ) が働くため、そのようなスピンフラストレーションが期待される物質である。これまで零磁場の交流帯磁率が  $T < 0.43\text{K}$  で急激にゼロに落ち込むことから、

スピギャップを伴う非磁性の量子基底状態をもつことが確認されている。今回、磁場中で交流帯磁率と比熱を測定することにより、この2次元量子磁性体の磁場中の基底状態を調べた。最低温度(70mK)における交流帯磁率を磁場に対して積分することにより磁化曲線を得た。この  $MH$  曲線はゼロ磁場のスピギャップに対応する磁化 0、全磁化の 1/2 および 3/4 の磁化において磁化 plateau (磁場に依存しない磁化領域) を示した。これは、 $S=1$  の2次元カゴメ格子の磁化曲線は 1/3 plateau をもつという理論の予測と異なっており、格子歪みによる相互作用の分布の可能性、もしくは多体交換相互作用や次近接相互作用が働いている可能性が考えられる。

### 3次元フェルミ液体の輸送係数—酸化物超伝導体の理論—

日本大学量子科学研究所 三沢 節夫

銅酸化物超伝導体のノーマル状態における電気抵抗・比熱・帯磁率などの温度変化の異常は、超伝導の発見以来、永年の謎であった。電気抵抗は転移点から 1000K までの広い範囲でほぼ温度に線形に振る舞い、比熱係数・帯磁率にはある温度でなだらかな極大が現れる。また、スピン・ギャップとか擬ギャップが現れると言われている。これらの異常性の故に、この系は異常金属、非フェルミ液体、あるいはスピノン・ホロン分離系と呼ばれてきた。既存の全ての理論は、系の準粒子が2次元のフェルミ粒子であることを出発点とするが、このモデルでは上記の異常を統一的に説明することができない。

我々は、この系は異常が一切ない Landau が提唱した通りの3次元の(異方的)フェルミ液体であることを証明した。まず、比熱係数と帯磁率に現れる極大は2次元のフェルミ液体では全く説明することができない。実験データは3次元のフェルミ液体効果による  $T^2 \ln T$  の変動を正確に再現している。電気抵抗は、3次元のフェルミ液体効果により対数的依存性のエネルギーをもつ準粒子が不純物散乱をすることにより  $T^2 \ln T$  の変動が生まれる。これにクーロン散乱による  $T^2$  項を加えても  $T^2 \ln T$  依存性は変わらない。この電気抵抗の  $T^2 \ln T$  依存性は全ての典型的な酸化物超伝導体の実験データを説明するだけでなく、元来、3次元である他の典型物質(CeAl<sub>3</sub>, ZrZn<sub>2</sub>, MnSi など)のデータを広い温度範囲で再現している(Kadowaki-Woods 則の破綻)。このようにして、3次元フェルミ液体モデルは、この系の全ての異常を統一的に説明することができた。2次元フェルミオン系に基づく今までの理論は全て改変を迫られている。

### ナノギャップ電極による C<sub>60</sub> ナノクリスタルの電気伝導測定

理化学研究所<sup>1</sup>、東京工業大学<sup>2</sup> 渡辺 英一郎<sup>1,2</sup>、塚越 一仁<sup>1</sup>、青柳 克信<sup>1,2</sup>

ナノギャップ電極(電極間隔: 5 nm – 100 nm)を利用して測定した C<sub>60</sub> ナノクリスタル膜の電気伝導測定を紹介した。真空蒸着により作製した C<sub>60</sub> 膜はナノスケールの C<sub>60</sub> クリスタル(直径数十 nm)で構成され、AFM によりクリスタル界面が明瞭に観測される。ナノクリスタルサイズより小さな電極間隔を有するナノギャップ電極は従来の素子構造では観測困難なナノクリスタル間の伝導を明確化した。電極間隔が 10 nm 以上の素子では室温・低温ともに伝導は認められず、電極間隔 10 nm 以下の素子でのみ 4.2 K でクーロンブロッケイド効果を観測したことから 10 nm 程度の C<sub>60</sub> ナノクリスタルがアイランドとして伝導に寄与していることを示した。

### 重い電子系 CeRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の超低温における量子臨界状態の可能性

理研<sup>A</sup>、金沢大<sup>B</sup>、Kazan State Univ.<sup>C</sup>、阪大院<sup>D</sup>  
高橋 大輔<sup>A</sup>、阿部 聡<sup>B</sup>、D. A. Tayurskii<sup>C</sup>、松本 宏一<sup>B</sup>、鈴木 治彦<sup>B</sup>、大貫 淳睦<sup>D</sup>

CeRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は  $T_K=20K$ 、電子比熱係数  $\gamma=350mJ/K^2mol$  の典型的重い電子系物質であり、かつ  $T_K$  以下のフェルミ流体(FL)状態においても、3つの非整合短距離反強磁性的相関が存在し、かつ、非常に小さな強度ではあるが、強磁性相関の

存在も示唆されている。これらは、より低温において磁気秩序状態を形成する可能性を示唆するが、現在のところ極低温領域までの測定では磁気的秩序の報告はなく、基底状態は長らく議論がなされてきた。

我々は、 $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  の磁気的基底状態に注目し、超低温、超低磁場下において、交流帯磁率および静磁化の同時測定を行なった。その結果、 $T < 50\text{mK}$  の温度領域で交流帯磁率、静磁化共に Curie 則に従った変化、より低温において、交流帯磁率に磁場依存性を持つピークを観測した。また、交流帯磁率にピークを持つ磁場の範囲において、静磁化に飽和を観測した。また、交流帯磁率にピークをもつ  $0.20\sim 0.94\text{mT}$  の印加磁場において、ユニークな Scaling 則が成立する。

これらの測定結果は、これまで報告されていた  $T_K$  以下の FL 状態とは明らかに異なる。現在我々はこれらの結果が、反強磁性相関と強磁性相関の拮抗により磁場によって制御される  $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  の量子臨界現象であると考えている。

## 不整合電荷密度波の集団励起による熱電特性の解析

早稲田大学理工学部物理学科 吉元 広行 栗原 進

様々な導体における熱電特性の研究がこれまで長年に渡りなされてきている。熱起電力の研究は近年、廃熱を電気に変えるクリーンなエネルギー源として、実用化の観点からも関心を集めている。本研究においては集団励起による熱電の輸送特性について、とくに電荷密度波について解析した。モデルは Frölich ハミルトニアンを用い、線型応答により熱起電力および熱伝導度の集団励起の影響を解析した。ただし準粒子およびノーマルフォノンの影響は無視し、励起の減衰は密度波の位相モードおよび振幅モードの二つの集団励起による非線形相互作用のみによるものとした。この結果熱起電力については、熱流および電流の演算子の相関関数が電気伝導度と同じ温度依存性を持つこと結果となった。これから熱起電力は温度に逆比例する結果となった。また熱伝導度については電子による寄与とフォノンによる寄与とともに、位相モード、振幅モードの生成、消滅のプロセスから計算され結果として同じ温度依存性を持つことが分かった。この温度依存性については、振幅モードのギャップより大きな値では一定値にむかい、またこれより十分に低温では指数関数的に小さな値をとる結果となった。

## ESR を用いた 2 次元偏極原子状水素の研究

京都大学 低温物質科学研究センター、京都大学 大学院理学研究科<sup>(A)</sup>、理化学研究所<sup>(B)</sup>  
松原 明、石田 晋太郎<sup>(A)</sup>、能藤 久幸<sup>(A)</sup>、福田 昭<sup>(B)</sup>、水崎 隆雄<sup>(A)</sup>

我々は ESR を用いた超流動ヘリウム膜上に吸着された 2 次元偏極原子状水素( $\text{H}\downarrow$ )の検出とその物性測定を目的に研究を行っている。これまで、福田らによって曲率半径  $6\text{cm}$  の Fabri-Perot 型のミラー共鳴器と InSb 検出器を用いたホモダイナミック方式およびアクアダックボロメータでの検出を行ってきたが、吸着された水素の信号を観測するには至っていない。おもな原因としては、磁場の不均一度と検出器の感度不足があげられる。磁場の不均一度に関しては、ミラー共鳴器の曲率半径が大きいため、共鳴器で検出される bulk 中の  $\text{H}\downarrow$  の信号の線幅が広くなり、表面に吸着された  $\text{H}\downarrow$  の信号が隠れてしまう。また、検出器の感度に関しては InSb によるホモダイナミックでは室温でのノイズのため、S/N 比があがらず、表面に吸着されていると思われる個数の  $\text{H}\downarrow$  を検出できるだけの感度がない。

そこで我々は、(1)ミラー共鳴器の曲率半径を  $2\text{cm}$  とし、磁場の均一度のよい領域のみの信号を捕らえる、(2)電波天文学でよく用いられている SIS ミキサーと低温低雑音 HEMT アンプを用いたヘテロダイナミック方式を用いて、感度と S/N 比の向上を目指す、こととした。これまでのテストの結果、ミラー共鳴器の曲率半径を小さくすることで、これまで得られていた信号の線幅が  $4\text{Gauss}$  から  $0.1\text{Gauss}$  まで細くなっている。一方 SIS ミキサーを用いたテストは、まだ始まったばかりであり、今後本格的なテスト行って、感度の向上を目指す。

## 核整列固体 $^3\text{He}$ における超音波測定

京大院理<sup>A</sup>、京大低物セ<sup>B</sup> 佐々木 聡<sup>A</sup>、高木 大輔<sup>A</sup>、佐々木 豊<sup>AB</sup>、水崎 隆雄<sup>AB</sup>

核整列固体  $^3\text{He}$  における多体交換相互作用の微視的機構を解明するため、融解圧上の核整列固体  $^3\text{He}$  の単結晶 (U2D2 相では単磁区) に対し、パルス・エコー法を用い 5MHz から 60MHz までの周波数帯で、縦波及び横波超音波の音速変化と減衰に関する温度依存及び磁場依存の実験結果について報告した。音速変化に関して具体的には、磁場一定 (約 0.03 T) の下での温度依存 (0.5mK から  $T_N$ ) がマグノン励起による  $T^4$  依存を持つこと、また温度一定 (約 0.5 mK) の下での磁場依存 (約 0.4 T 以下) がゼーマンエネルギーによる  $H^2$  依存を持ち、U2D2 相から高磁場の CNAF 相 (Canted Normal Anti Ferro) への転移時に音速の大きな飛びがあることを報告した。内部エネルギーのマグノンが寄与する項は、多体交換モデルによって交換パラメータを使って記述される。従って、U2D2 相において実験から得られたスピン波速度に関するグルナイゼン定数と、磁化率  $\chi$  に関するグルナイゼン定数を、理論から得られたグルナイゼン定数と結びつけ、多体交換モデルの検証を試みた。

また超音波減衰に関しては、U2D2 相においてその微視的機構を磁氣的面欠陥によるマグノンの散乱モデルによって説明し、減衰の周波数が  $\omega^2$  依存を持ち、温度依存が  $T^4$  で表されることを示し、実験結果と比較した。今後核スピン構造の異なる CNAF 相において超音波減衰の温度依存を測定し、U2D2 相での結果と比較してこのモデルのより詳しい検証を試みたい。

## 音響放射圧で駆動する $^4\text{He}$ 結晶の異方的表面運動の可視化

東京工業大学理工学研究科物性物理

小笠 原太、木村 誠一郎、多々良 辰哉、阿部 陽香、野村 竜司、奥田 雄一

超音波を用いることによって  $^4\text{He}$  結晶を自由に成長、融解、核生成できることを見出した。これは音響放射圧によるものと考えている。放射圧はフォノンが表面で反射したとき、その運動量が表面に渡されて受ける力と考えることが出来る。この放射圧を用いれば結晶表面を簡単に制御して大変形させることが可能となり、量子界面の異方的運動を調べることが出来た。実験は我々が保有する窓付きの希釈冷凍機で行い、低温部分を直接高速カメラで撮影することによって行った。

超音波を微斜面に照射することによって成長した結晶表面の盛り上がりの頂上部分は平らになっておりファセットが出現した。これはラフな結晶表面においては見られず、異方性の大きい微斜面に特有の現象であった。超音波を止めると、まずファセットが非常に速く消滅した (1msec 後)。その後に残された針状にとがった構造はすぐには消滅せず、非常にゆっくりと緩和する様子が見られた (数 100msec)。このような針状の構造は表面エネルギーが大きいにもかかわらず、なぜ急速に消滅せずに安定に長時間観測出来たのかは分かっていない。この過程で結晶表面は最大 1m/sec という高速で移動していることから、超流動流や量子渦がこの構造の安定化に関わっているのではと考えている。

## 量子固体 $^4\text{He}$ 中の負結晶のダイナミクス

東京工業大学理工学研究科物性物理

米山 圭一、宮下 渉、西山 努、野村 竜司、奥田 雄一

我々は低温で非常に大きな結晶成長係数を持つ  $^4\text{He}$  結晶中で負結晶がどのように振舞うかに興味を持った。hcp 固体  $^4\text{He}$  は温度を下げていくにしたがって c-facet ( $T_{R1} = 1.23$  K)、a-facet ( $T_{R2} = 0.95$  K) が出現することが知られているが、これらのラフニング転移が負結晶の形態と運動に与える影響を調べた。

bcc 固体ではラフニング温度より高温であるために負結晶の形は球形であった。負結晶は重力を駆動力として真上に上昇して行った。その形態にも運動にも全く異方性は無かった。hcp 相のラフニング温度以下ではその形態が一変した。上面にはファセットが現われ、下面には滑らかな曲面が現われた。負結晶の運動に伴って、必然的に上面は融解し下面は結晶化するわけであるが、上面では移動速度の遅いファセット面が広がり下面では移動速度の速いラフ面が広がったと考えられる。言わば結晶の成長形と融解系を上下に半分ずつくっ付けたような形であり、負結晶の運動様式と結びついたものである。またこのとき負結晶は真上には上昇せず、このファセットに平行な斜め上方に移動して行った。ファセット面は非常に易動度が小さいので、負結晶の形態と運動は異方的なものとなった。負結晶の移動速度の温度依存性も測定したが、0.9 K 以下で上昇速度が減少することが分かった。これは a- facet が側面に出現したためであると考えられる。温度を下げるにしたがって負結晶の形態と運動が逐次的に異方性を増していく様子が観測できた。

## 液体ヘリウム上の量子ビット ～現状と展望～

理化学研究所 福田 昭、椋田 秀和、秋元 彦太、河野 公俊

ヘリウム液面上の2次元電子は、液面に垂直方向に水素原子同様の Rydberg 状態を形成する。その基底状態と第一励起状態を用いて、量子ビットを作成しようという魅力的かつ挑戦的な提案がなされている。この系では、10mK 程度の十分低温で電子と外界（液体ヘリウム表面の素励起であるリブロン）との結合が弱く、十分長いコヒーレンス時間を持つという特長がある。本研究では、まず基底状態と第一励起状態のエネルギー差に相当する約 130GHz 程度のマイクロ波を用いて、量子ビットを制御し、量子計算に応用することを目標とする。

現在、液体ヘリウム4を用いて、2次元電子のマイクロ波吸収を調べるために、希釈冷凍機の建設及び測定セルの準備を行っている。2次元電子のマイクロ波吸収の実験では、遷移周波数から2次元電子の押さえつけ電場依存性、線幅から緩和に関する情報がそれぞれ期待できる。マイクロ波ソースとしてガン・ダイオード及び後進行波管を、導波路として誘電体導波路を、検出器として InSb ボロメタをそれぞれ導入した。現在、測定セルを 10mK 程度の極低温まで冷却し、2次元電子系の作成に成功し、マイクロ波吸収信号を探索中である。さらに、液体ヘリウム上の単電子を量子ビットとして読み出すための単電子トランジスタを開発し、上記の実験と合わせて量子計算への応用の道を模索する予定である。

## 高速回転希釈冷凍機を用いた多連結ヘリウム薄膜のねじれ振り子実験

東大物性研 久保田研究室 小幡 利顕、田沼 巖美、五十嵐 武、福田 宗之<sup>1</sup>、  
V.コバチェック<sup>2</sup>、M.ザラルトディノフ<sup>3</sup>、簗口 友紀<sup>4</sup>、E.B.ソーニン<sup>5</sup>、久保田 実  
(現所属 1:日立製作所、2:神津精機、3:コーネル大、4:東大総合文化、5:ヘブライ大)

<sup>4</sup>He 薄膜はサブモノレイヤー以下の薄膜でも超流動を示す興味ある物質である。孔径のそろった多孔質ガラス表面に吸着した <sup>4</sup>He 薄膜は、薄膜としての性質と多孔質体の構造に起因した多重連結性とその超流動渦状態に影響を与える。

我々は柏キャンパスにおいて新たに世界に例のない高速回転冷凍機を建設し、最速 4.5 回転までの回転速度でねじれ振り子実験を行うことに成功した。ねじれ振り子セルは多孔質体の孔径が 1  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$  の2つを用意し、孔径の違いによる渦状態の変化を調べようと試みた。

毎秒1回転以下の低速回転では両者に共通して回転速度に比例するエネルギー散逸ピークを観測した。これは回転によって3次元渦糸が励起されることを示している(参照1)。孔径 10  $\mu\text{m}$  セルに関してはこれ以上の高速回転下でエネルギー散逸ピークの回転依存性が変化することを観測した。この変化は高速回転下における孔径が 10  $\mu\text{m}$  のセルでは回転励起される3次元渦の構造に何かしらの変化が生じていることを示している。研究会では、これらの実験結果と解析に関して報告した。

参照1: M. Fukuda et.al. in preparation.

## 「速度に依存しない乱流遷移」は、熱カウンター流でも存在するか？

大 市立大 三谷 陽 坪田 誠

最近、超流動  $^3\text{He}$  の回転系で、系が乱流状態へ遷移するか否かが速度によらず、温度に依存する固有のパラメーター、 $q$  に強く依存することがヘルシンキ工科大他のグループにより報告された<sup>[1]</sup>。この事実は速度に依存したレイノルズ数により乱流遷移が引き起こされる古典流体と著しく異なり、超流動乱流特有の現象と考えられる。この報告では回転系で議論が行われたが、もし、パラメーター $q$  が超流動乱流遷移に本質的な役割を果たすのならば、系の回転は必須ではないと考えられる。言い換えれば、回転が無い系でも先の報告と同様の著しい系の振る舞いの変化が見られることが予想される。本研究では、回転を加えず熱カウンター流のみが印加された状態で、 $q$  により引きこされる渦糸タングルの振る舞いの変化を調べた。その結果  $q$  が小さい状況では一様な渦糸タングルが形成されるが、反対に  $q$  が大きい状況では渦糸タングルが局在化するという、極めて興味深い結果が得られた。これは前述の回転系での  $q$  に依存した乱流遷移に対応する現象と考えられる。我々は以上の報告を短期研究会で行った。

[1] A.P. Finne, et.al., Nature 424 1022 (2003)

## 2つのボース凝縮体間における音波トンネル現象の位相特性

早稲田大学物理学科 段下 一平、余越 伸彦、栗原 進

二重井戸型ポテンシャルにおける2つのボース凝縮体は、葉巻型の磁気トラップの中央部にレーザー光線を照射することによって作られる。この系はボソンの超流動-絶縁体-超流動(S-I-S)接合系とみなすことができる。このようなボソンのS-I-S接合系で凝縮体間に位相差がないとき、低エネルギーの音波励起が共鳴トンネルを起こすことが提言されている(Yu. Kagan *et al.* Phys. Rev. Lett. 90, 130402 (2003))。

我々は凝縮体間に位相差のあるボソンのS-I-S接合系を考え、集団励起のトンネル現象がどのような位相特性を示すのかを、ボゴリューボフ方程式を解くことによって調べた。位相差が0のとき起こっていた共鳴トンネルが、位相差が大きくなるにつれて抑制され、位相差が $\pi/2$ では起こらなくなることがわかった。さらに共鳴エネルギーは、位相差が大きくなるにつれて、0から徐々にずれている。また、凝縮体がバリア障壁付近で減少しないモデルを同様に解析し、上述の結果と比較することによって、共鳴トンネル及びその特徴的な位相特性は凝縮体ポテンシャルによって引き起こされる事を確認した。

上記の顕著な位相特性から、音波励起のトンネル確率を測定することで、凝縮体間の位相差の決定が可能であることがわかった。

## 回転する狭い円筒内の超流動 $^3\text{He-A}$ 相の渦

福井大工 高木 丈夫

回転する半径が0.05mmと0.1mmの円筒容器に超流動  $^3\text{He-A}$  相を入れて、回転速度 $6.28\text{rad/sec} \sim 6.28\text{rad/sec}$ の範囲でのtextureを計算した。この条件下では、半径0.05mmの容器では渦度0,1の渦、半径0.1mmの容器では渦度0~4の渦の出現が期待される。渦のtextureの決定は、壁面での境界条件を考慮したうえで、A相での全ての自由度を取り入れたGL自由エネルギーを極小化して行なった。この極小化には局所的な滑降法を用い、初期配置から疑似的な時間発展を行なった。渦のtextureが求まった後に、NMR横共鳴のスピン波解を有限要素法を用いて決定した。有限要素法を

用いることにより、スピン波の容器壁での境界条件や、高次のスピン波解も求める事ができる。このようにして得られた NMR 振動数を実験で得られた NMR 振動数と比べると半径 0.05mm の容器においては、以前から予想されていた Mermin-Ho の渦が出現していることが解った。また Mermin-Ho 構造も、d ベクトルが軸対称型のものと、双曲型のものがあり、これにより実験で得られた比較的安定な 2 種類の NMR 信号を説明することがわかった。半径 0.1mm の容器では、計算からは渦度が 1、3 のものが回転角速度により安定に存在することがわかった。それぞれの渦の安定領域は、実験での渦度の変化をある程度説明できている。

## 超流動 $^3\text{He}$ における robust 相の NMR

福井大工<sup>A</sup>、京大院理<sup>B</sup>

高木 丈夫<sup>A</sup>、松原 明<sup>B</sup>、山下 穰<sup>B</sup>

Aerogel 中において、ABM 状態は長距離秩序を持たないことが Fomin によって主張されている。そして ABM 状態に代わる凝縮状態がおなじく Fomin により提唱された。この状態は robust 相と呼ばれており、スピン空間と軌道空間が分離している ABM-like な性質と、ギャップが等方的な BW-like な性質を併せ持つ。この robust 相の NMR に付いて考察を行った。Fomin の提唱した robust 相は、 $\alpha$ 、 $\beta$  2 個のパラメーターを含み、双極子相互作用を考慮しても縮退は解けないが、共鳴振動数には現れてこない。robust 相はスピン空間の d ベクトルが 2 次元的な自由度をもつため、NMR の際のダイポールトルクに関して ABM 状態とは異なり縦共鳴、横共鳴全て併せると 3 自由度を持つ。これに伴い、縦共鳴と 2 本の分岐を持つ横共鳴が現れる。横共鳴振動数は

$$\omega_{\pm}^2 = (1/2)[\omega_L^2 + \Omega_{xx}^2 + \Omega_{yy}^2 \pm \{(\omega_L^2 + \Omega_{xx}^2 + \Omega_{yy}^2)^2 - 4\Omega_{xx}^2\Omega_{yy}^2 + (\Omega_{xy}^2)^2\}^{1/2}]$$

であり、遅いモードの振動数は、常磁場の増加にともない低下する。また  $\alpha$  のパラメーターに関する縮退は、壁面や流れの影響による対破壊効果を考えると、解ける。これは、流れの方向や壁面の法線方向の Cooper 対密度を減らして、凝縮エネルギー的に有利な ABM 状態に近づけようとするためである。

## 常流動及び超流動 $^3\text{He}$ 自由表面下に束縛されたイオン

理化学研究所 椎野 俊之、河野 公俊

超流動  $^3\text{He}$  は異方的な p 波のクーパー対をもつために、固体壁や自由表面などがあると界面からコヒーレンス長程度の厚さをもつ領域で、アンドレーエフ束縛状態など多彩な境界効果が起きると予想される。我々は超流動  $^3\text{He}$  自由表面の性質を調べることを目指して、常流動及び超流動状態の自由表面下に束縛されたイオンの移動度測定方法の開発を行い、それを用いて移動度を測定した。得られた常流動及び超流動状態でのイオン移動度は、バルク中で測られたイオンの移動度とほぼ一致した。超流動状態において、コヒーレンス長程度の深さにイオンが束縛されているにもかかわらずバルク中で得られたイオンの移動度とほぼ一致したのは、 $^3\text{He}$  準粒子の平均自由行程がコヒーレンス長よりもはるかに長くなっているためだと考えられる。移動度測定からは、自由表面で起こる境界効果は確認できなかったが、イオンを極力表面に近づけたり、温度を下げてバルクの準粒子数を減らして実験を行えば、境界効果が観測される可能性があり、今後の課題として残っている。

また、超流動状態において、イオンの運動速度に対する入力電圧依存性を調べたところ、イオンの運動速度に非線形な振る舞いが観測された。非線形な振る舞いが起こる臨界速度はランダウの臨界速度に近い。このことから、非線形な振る舞いは、イオンがランダウの臨界速度を越えて運動したために対破壊を起こし、イオンが余分の抵抗を受けたことが原因と考えられる。さらに、観測された臨界速度はランダウの臨界速度よりも小さかった。これは表面でのオーダーパラメータの抑えのためと期待される。このことを確認するために、臨界速度の束縛距離依存性の測定や表面下のイオンによる対破壊の機構の解明が必要であると考えられる。

## 液体ヘリウム表面下の電子バブルと水素原子

理化学研究所 椎野 俊之、河野 公俊

これまでに、我々の研究室では液体ヘリウム表面上の二次元電子系と水素原子との化学反応の研究を行ってきた。この研究の結果、二次元電子と水素原子が化学反応を起こし、生成物である負水素イオン ( $\text{H}^-$ ) が液体中に潜ることが明らかになった。今回は新しい系として液体ヘリウム表面下に束縛された電子バブルの二次元系に水素原子を降らす実験を行った。

実験では、1 K 以下の低温において、液体ヘリウム表面下に電子バブルの二次元系を用意しておき、電子バブルの移動度をモニターしながら水素原子を導入した。その結果、水素原子を導入するとともに電子バブルの移動度が高移動度側に変化することが観測された。さらにプラズマ共鳴の測定から、水素導入前に比べて導入後に電子バブルの有効質量が減少することも観測された。このような振る舞いの定性的な解釈として、電子バブルの一部が水素原子、あるいは水素分子との相互作用により負水素イオンを核とするスノーボールに変化したということが期待できる。反応機構の可能性としては、電子バブルがトンネル効果により表面上に逸出し、そこでの電子と水素原子、あるいは水素分子との化学反応により負水素イオンが生成され、再び表面下に潜ることが考えられる。その他の機構の可能性として、表面上で水素原子が再結合し液中に水素分子が溶け込み、電子と化学反応を起こしているとも考えられる。そして、液中の負水素イオンがまわりのヘリウム原子を引き付けスノーボールを形成すると予想される。もし、負水素イオンのスノーボールが形成されていれば、多彩な境界効果が考えられる超流動ヘリウム自由表面の物性研究の新たなプローブとなることが期待される。

## 物性研究所短期研究会

# 超高速レーザー分光における最近の発展

日時：平成 16 年 2 月 16 日(月)～17 日(火)

場所：東京大学物性研究所

レーザー光源を駆使した超高速現象学の研究は、いわゆる「量子エレクトロニクス」分野における光源や非線形光学の原理の研究から発展して「光物性」分野における強力な研究手法となった。さらに、レーザーの利用は各種の分光法へとひろがり、固体、液体などの凝縮相における素励起の生成緩和、固体における秩序の形成崩壊、化学結合の変化など、超高速現象の解明を中心に発展してきた。そして、超高速現象の研究テーマは、いまや物理、化学、生物、工学のきわめて学際的な分野にまたがっており、特に近年、生体物質への応用など伝統的物質観にとどまらない広い意味での物質科学全般へ広がりを見せている。

最近の状況を「光源」という点からみると、1990 年頃に登場した波長可変性、安定性などで非常に優れた特性をもつチタンサファイアレーザーをベースとして、短パルスの発生やそれを利用した非線形効果による波長変換技術が非常に使いやすいものとなり、可視、近赤外領域での光源は成熟期を迎えたといえる。

新しい方向としては、真空紫外、X 線など短波長領域における光源開発と更なる短パルスの発生、テラヘルツ（遠赤外に相当）へ至る長波長領域での強力コヒーレント光源の開発が注目される。このような広い周波数範囲での極限的な超短波パルスの発生技術がかなり進歩し、分光への応用が始まっている状況にあわせ、この研究会では、それらの光源の特性を生かした分光実験の最近の発展に焦点を当て、最新の研究成果の紹介と議論をおこなった。

全国から予想を上回る多数の参加者があり、非常に中身の濃い研究会となった。物質としては、半導体、ナノ構造、フォトニック結晶、強相関係から、有機物質、生体物質までをカバーし、現象としても、高次非線形現象、光電子分光、波束ダイナミクス、光誘起相転移、テラヘルツ放射など幅広い話題が紹介され、裾野の広さをあらためて感じさせられた。

また、この研究会は 16 年ぶりに 2004 年 7 月に日本で開催が予定されている「第 14 回超高速現象国際会議」に向けて国内の研究活動の総括を行うという意味も兼ねていたが、その面でも十分に役割を果たしたと思う。

## プログラム

### 2月16日(月曜日)

10:00-10:10 開会の辞

### <午前の部>

座長：三沢 和彦

10:10-10:40 「ポリジアセチレンのフェムト秒時間分光」

湯浅 吉晴、井久田 光弘、齋藤 敬、小林 孝嘉（東大理）、木村 龍実、  
松田 宏雄（産総研）

10:40-11:10 「波束ムービーの制作」

末元 徹（東大物性研）

- 11:10-11:40 「真空に穴は掘れるか？」  
萱沼 洋輔（大阪府大工）
- 11:40-12:10 「カロテノイドの励起状態における振動緩和」  
吉澤 雅幸、小澄 大輔、柳 和宏、橋本 秀樹  
東北大理、大阪市大理、PRESTO/JST)
- 12:10-13:10 昼食

<午後の部>

座長：吉澤 雅幸

- 13:10-13:40 「超高速非線形分光による液体中の振動ダイナミクス」  
太田 薫、前川 宏明、富永 圭介（神戸大分子フォトサイエンス研究センター）
- 13:40-14:10 「チャープパルス励起過程の3準位モデル解析」  
三沢 和彦（農工大工）
- 14:10-14:40 「光合成電子移動系の多様性を探るフェムト秒レーザー分光」  
熊崎 茂一（京大理）
- 14:40-15:10 休憩

座長：石原 照也

- 15:10-15:40 「低次元強相関電子系における超高速4光波混合」  
高橋 聡、五味 広喜、相原 正樹（奈良先端大物質創成科学）
- 15:40-16:10 「擬一次元系における光誘起相転移の超高速ダイナミクスとコヒーレント振動」  
岡本 博（東大新領域）
- 16:10-16:40 「結晶の光誘起対称性の破れ」  
花村 榮一、高橋 淳一、松原 英一（千歳科技大光科学部、JST-CREST）
- 16:40-17:10 「超高速レーザー分光法で探る半導体における電子系の協力現象」  
五神 真（東大工物工）
- 17:40～ 懇親会(カフェテリア)

2月17日(火曜日)

<午前の部>

座長：末元 徹

- 9:10-9:40 「時間分解オージェフリー発光」  
関川 太郎、清水 俊彦、伊藤 稔、渡部 俊太郎（東大物性研、信州大工）
- 9:40-10:10 「レーザー光源による光電子分光—高分解能から時間分解へ」  
辛 埴（東大物性研）
- 10:10-10:40 「高強度 XUV 光による多光子イオン化」  
緑川 克美、長谷川 宗良、高橋 栄治、鍋川 康夫、須田 亮  
（理研・レーザー物理工学研）
- 10:40-11:00 休憩

座長：田中 耕一郎

- 11:00-11:30 「時間分解構造解析」 腰原 伸也 (東工大理)
- 11:30-12:00 「光誘起絶縁体金属転移のダイナミクス」  
岩井 伸一郎 (東北大理)
- 12:00-12:30 「量子ドットの超高速レーザー分光」  
舛本 泰章 (筑波大物理)
- 12:30-13:30 昼食

#### <午後の部>

座長：猿倉 信彦

- 13:30-14:00 「金属ナノ粒子の光学非線形性と超高速ダイナミクス」  
濱中 泰、中村 新男 (名大工)
- 14:00-14:30 「Coherent control of plasmon-phonon oscillations in a semiconductor using two ultrashort laser pulses」  
Michael I. Bakunov (University of Nizhny Novgorod, Russia、 阪大超伝導フォトニクス研究センター)
- 14:30-15:00 「磁場中 InAs, InSb からの THz 電磁波放射」  
小野 晋吾、高橋 啓司、猿倉 信彦  
(分子研・分子制御レーザー開発研究センター)
- 15:00-15:15 休憩

座長：舛本 泰章

- 15:15-15:45 「テラヘルツ帯における、金属フォトニック結晶の透過特性」  
宮丸 文章、萩行 正憲 (阪大超伝導フォトニクス研究センター)
- 15:45-16:15 「時間領域テラヘルツ ATR 分光法の確立」  
田中 耕一郎、広理 英基、永井 正也 (京大理)
- 16:15-16:45 「サブ 10 アト秒精度のコヒーレント制御」  
大森 賢治 (分子研・電子構造研究系)

### ポリジアセチレンのフェムト秒実時間分光

東大理 湯浅 吉晴、井久田 光弘、齋藤 敬、小林 孝嘉  
産総研 木村 龍実、松田 宏雄

1次元π共役高分子の一種であるポリジアセチレン誘導体 (PDA-3BCMU (青相)) を 5fs 超短光パルスによるポンプ・プローブ法によって研究した。PDA-3BCMU (青相) は電子格子相互作用が強く、蛍光の量子効率が  $10^{-5}$  以下と小さいため、60fs 程度で光学遷移禁制な  $2^1A_g$  状態に緩和すると考えられている。今回 Multi Channel Lock-in Amplifier を用いた、高エネルギー分解能 (10 meV) かつ多波長 (128 ch) での同時測定により、励起直後の構造緩和 ( $1^1B_u FE \Rightarrow 2^1A_g$ ) によるストークスシフトを実時間で直接とらえることができた。また、格子振動による電子吸収スペクトルの形状変化を振動周期でとらえることができた。プローブ波長ごとの振動解析の結果(図 2)、基底状態・励起状態の振動をそれぞれ同定できた。この結果、励起状態でも一重結合・二重結合だけでなくそれらと共に三重結合が存在することがわかった。

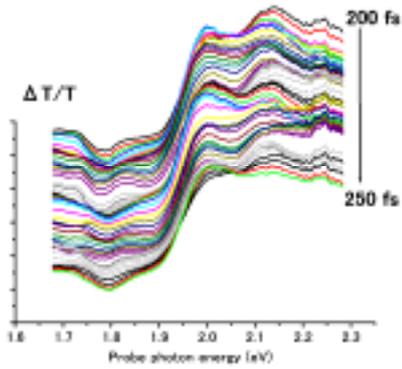


図1 透過率変化スペクトルの形状変化 (200fs~250fs)

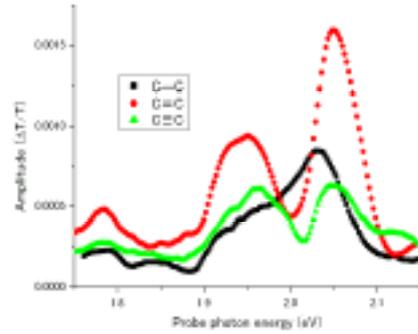


図2 透過率変化スペクトルの振動振幅 (300fs)

### 超高速発光分光による波束ムービーの制作

東京大学物性研究所 末元 徹

我々は、和周波ゲート (up-conversion) の手法を用いて、擬 1 次元ハロゲン架橋錯体における自己束縛励起子の超高速ダイナミクスを研究してきたが、最高時間分解能 40fs を達成し、局在励起子の断熱ポテンシャル上における核波束運動を詳細に観測することが可能になった。1 次元鎖として  $\text{Br}^- - \text{Pt}^{+4} - \text{Br}^- - \text{Pt}^{+2} -$  の構造をもつ錯体 (以下 Pt-Br と略) では、励起子は  $-\text{Pt}^{+3} - \text{Br}^- - \text{Pt}^{+3} -$  の形で局在化する。発光スペクトルは強い電子格子相互作用を反映して大きなストークスシフト (0.8eV) を伴い、幅広いガウス型である。その発光強度をある光子エネルギーで測定すると、波束の通過に対応して図 1 (上) のような振動が見られる。これをいろいろなエネルギーについて測定し、2D マップとしたのが図 1 (下) である。波頭の sin 的な振動と非指数関数的な減衰が見てとれる。これを縦に切った断面から、瞬間的な波束の形状が得られる (図 2)。更に時間順に並べることでムービーを制作し、波束の幅や形状の時間的変化を観察することができる<sup>[1]</sup>。波束の時間的振舞いは調和振動子モデルで定性的に説明できる。t = 0 付近の振舞いは自己束縛に至る過程を反映していると考えられるが、まだ有効なモデルはない。このほか、Pt-Cl における波束運動、Ni-Br 系における局在励起子生成の可能性についても述べる。

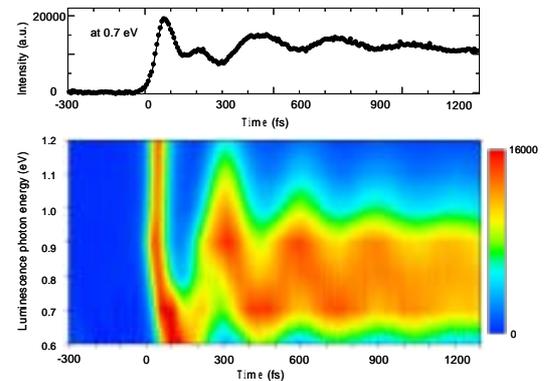


図1 発光強度の時間発展 (上) と、2D マッピング (下). 発光光子エネルギーは  $\text{Br}^-$  イオンの位置に対応する。

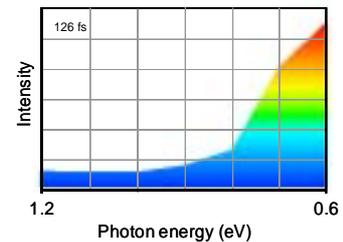


図2 t = 126fs における波束の形状。

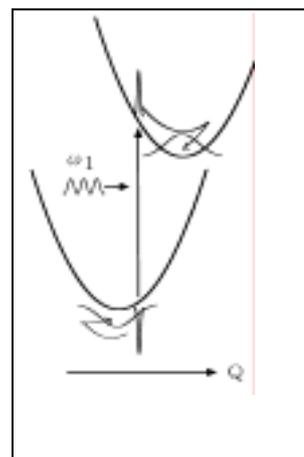
[1] T. Matsuoka et al., Phys. Rev. Lett. **91**, 247402 (2003)

## 真空中に穴は掘れるか？

大阪府立大学工学研究科 萱沼 洋輔

フェムト秒分光技術の進展で、電子・フォノン強結合系のダイナミクスをフォノン波束のスナップショットとして観測できるようになった。超高速時間分解測定には、時間分解ポンプ・プローブ法と時間分解発光測定とがある。

2準位系で近似できるシステムでは、この二つはほぼ同様の情報を与えるが、ポンプ光の波長とプローブ光の波長が等しい縮退条件下では、ポンプ・プローブ信号には、時間分解スペクトルに見られない透過利得の長寿命の振動成分が観測される。この振動は励起状態のフォノン波束によるものではなく、フェムト秒パルスにより基底状態（フォノンの真空）に生じたホールの振動と breathing によるものである。このような squeezed 状態にあるホールが生じる原因はボゾン（フォノン）の時間相関の特徴に求められる。また、このような機構を用いて、孤立分子の基底状態にメモリー機能を持たせる可能性についても議論する。



## カロテノイドの励起状態における振動緩和

東北大理、大阪市大理<sup>A</sup>、PRESTO/JST<sup>B</sup> 吉澤 雅幸、小澄 大輔、柳 和宏<sup>A</sup>、橋本 秀樹<sup>A,B</sup>

カロテノイドは光合成系において光エネルギーを受け取り反応中心に受け渡すという重要な役割をもつ。カロテノイドでは光励起により  $1B_u^+$  状態が作られた後、 $1B_u^+ \rightarrow 1B_u^- \rightarrow 2A_g^- \rightarrow 1A_g^-$ （基底状態）の順に緩和が進む。本研究では、 $1B_u^+$  の異なる振動準位を光励起し、その緩和過程をフェムト秒発光・吸収・ラマン分光を用いて調べた。下図は、 $\beta$ -carotene の光励起直後における発光（白丸）

および光誘起吸収（黒丸）である。発光と吸収の時間依存性はよく一致しており、 $1B_u^+$  による信号と同等された。異なる振動準位を励起した違いは  $1B_u^+$  の寿命の差として現れている。緩和速度やスペクトルの違いは  $2A_g^-$  まで緩和した後も数ピコ秒以上にわたって続いており、カロテノイドの緩和過程において振動準位が大きな役割をもつことを示している。

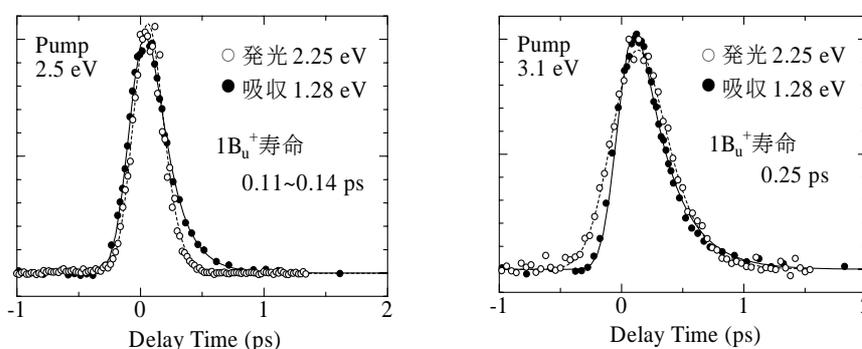


図 all-trans- $\beta$ -carotene (cyclohexane 溶液) の発光と光誘起吸収の時間依存性

## 超高速非線形分光による液体中の振動ダイナミクス

神戸大学大学院自然科学研究科<sup>A</sup>、神戸大学分子フォトサイエンス研究センター<sup>B</sup>、CREST/JST<sup>C</sup>  
太田 薫<sup>A</sup>、前川 宏明<sup>A</sup>、富永 圭介<sup>A, B, C</sup>

液体中における分子の振動スペクトルは、気相中のそれにくらべ必ずそのスペクトル幅が広がる。このスペクトルの広がり、液体中における分子間相互作用や動的挙動を反映しており、その意味で振動スペクトルは液体中における微視的

情報の“宝庫”であるといつてよい。しかし、スペクトルに対する線形解析ではその議論に限界があり、常にある曖昧さが伴う。そこで本研究では、振動スペクトルを詳細に追跡し液体の微視的情報を得るため、3 次の光学非線形現象に基づいた分光法を高出力赤外短パルスを用いて開発し、液体中の分子間相互作用や動的挙動を調べることを目的とした。本研究では特に液体中における動的な側面に注目した。液体中では、分子は互いに相互作用を及ぼし、熱的に運動をおこなうため、振動状態の遷移エネルギーはつねに揺らぐ。この遷移揺らぎを調べるために我々は赤外領域における3 次の非線形分光を活用する。この実験では3 発の赤外短パルスを異なる時間に試料に入射し、それにより生じた3 次の非線形分極による電場を検出する。このような光学非線形現象を記述するためしばしば密度行列を用いた方法が取られる。非線形分光では、入射パルスの位相整合条件や各パルスの入射時間の順序、また偏光条件などを適当に選ぶことにより密度行列の特徴的な成分を選択的に調べることができるため、この手法を用いることにより相関関数に関する詳細な知見を得ることができる。講演では、水素結合性液体中における三原子イオン、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ のCN伸縮振動に及ぼす溶媒同位体効果などについて議論した。

### チャープパルス励起過程の3準位モデル解析

東京農工大 三沢 和彦

我々は、スペクトル位相を制御したフェムト秒パルスで、凝縮系における光物性を制御することを試みている。これまでに、最も単純な位相制御パルスとして、線形チャープパルスでシアニン系有機色素を励起し、その励起状態分布数のチャープ依存性を調べてきた。図1のように、パルス幅、パルスエネルギー、スペクトルがすべて等しく、チャープの向きだけ逆転したパルスで励起すると、励起状態の分布数が異なる結果となった。このチャープ依存励起の本質的なメカニズムを、図2の3準位系モデルを用いて議論する。この3準位系モデルは2光子励起などのより一般的な系におけるフェムト秒量子制御に適用できることを示す。

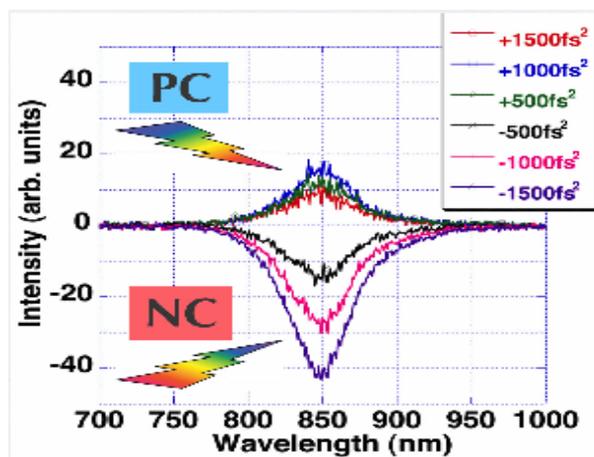


図1：シアニン系有機色素のチャープ依存蛍光

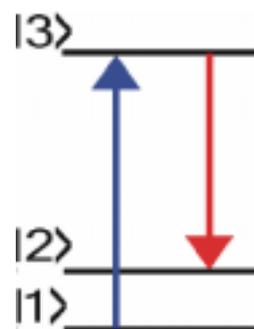


図2：3準位モデル

## 合成電子移動系の多様性を探るフェムト秒レーザー分光

京大院理・北陸先端科技学院材料 熊崎 茂一

[kumazaki@kuchem.kyoto-u.ac.jp](mailto:kumazaki@kuchem.kyoto-u.ac.jp)

植物型光合成を担う光合成反応中心（植物やシアノバクテリア）では、「クロロフィル *a* (Chl *a*) またはその構造異性体のみが電子伝達分子として機能できる」という長年の定説があった。しかし、シアノバクテリアに類似した原核生物である *Acaryochloris marina* (*A. marina*) では、Chl *d* がアンテナ色素および、電子伝達色素として使われていることが最近発見された。Chl *d* は有機溶媒中とたんぱく質内において、Chl *a* より約 30nm 長波長に Q<sub>y</sub> 帯の吸収極大を示すので、Chl *d* 型反応中心は Chl *a* 型より低エネルギーの光子を利用するが、Chl *a* 型反応中心と同等の機能を果たす。

植物型光合成反応を担うのは光化学系 1 と光化学系 2 であるが、我々は特に光化学系 1 (PSI) の電荷分離過程を、Spinach (Chl *a* 型) と *A. marina* (Chl *d* 型) の間で比較して、Chl *d* 型 PSI の初期過程の特徴を初めて明らかにした。手法はフェムト秒白色光を用いたフェムト秒過渡吸収スペクトル測定で、パルス繰り返し 1kHz であった。

<参考文献>

Energy Equilibration and Primary Charge Separation in Chlorophyll d-Based Photosystem I Reaction Center Isolated from *Acaryochloris marina*, FEBS Letters, 530 (2002) 153 - 157.:

Shigeichi Kumazaki, Kazuki Abiko, Isamu Ikegami, Masayo Iwaki, Shigeru Itoh

## 低次元強相関電子系における超高速 4 光波混合

奈良先端大物質創成科学 高橋 聡、五味 広喜、伊東 久、相原 正樹

低次元強相関電子系における短パルス光による励起状態のダイナミクスを、4 光波混合、自由誘導減衰、光吸収スペクトル、電荷およびスピン相関関数の時間変化を解析することにより理論的に研究した。1、2 次元ハバードモデルから、同一サイト間クーロン相互作用エネルギー  $U$  が、最近接サイト間 transfer integral  $t$  よりも十分に大きい場合に成立する有効ハミルトニアンを導出した。この有効ハミルトニアンを用いて、光励起状態の時間発展を数値的に厳密に計算することにより、これらの物理量を計算した。図 1 からわかるように、2 次元系における緩和過程は 2 段階に分離可能であり、速い緩和は、光生成された電荷の回りの反強磁性スピンへの拡散に由来し、遅い緩和は、拡散によって形成された新しい電荷配置に対するスピンの再配置に由来する。この結果から、スピン-電荷分離が立脚点としては妥当であり、短パルス光により誘起された電荷の運動が、弱いスピン自由度と電荷自由度の結合を通じて、スピン緩和を誘起していることがわかる。1 次元系においては、スピン-電荷分離がほぼ厳密に成立し、上述の我々の計算した物理量において、スピン-電荷分離に由来する特異な振る舞いが見出された。

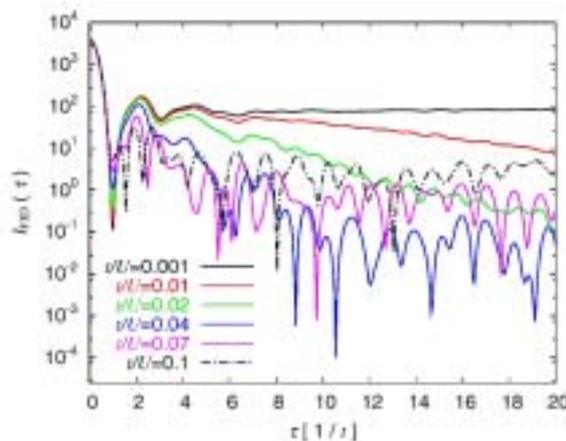


図 1 様々な  $t/U$  に対する自由誘導減衰信号強度  $I_{\text{FID}}(\tau)$

## 擬一次元系における光誘起相転移の超高速ダイナミクスとコヒーレント振動

東京大学新領域創成科学研究科 岡本 博

光照射によって物質の電子状態やマクロな物性が変化する現象は、光誘起相転移と呼ばれており、最近の光物性のトピックスとなっている。特に、一次元電子系では、光照射によって生じる電子励起や光キャリアが、強い電子間相互作用や電子格子相互作用を通して周囲の電子（あるいはスピン）一格子系の高速の変化を引き起こすことが予想され、様々な光誘起相転移現象の発現が期待できる。本講演では、有機電荷移動錯体（TTF-CA, Rb-TCNQ, K-TCNQ）および、ハロゲン架橋遷移金属錯体（ $[\text{Pd}(\text{chxn})_2\text{Br}]\text{Br}_2$ ）の光誘起相転移の超高速ダイナミクスをフェムト秒過渡反射分光で調べた結果について報告した。

TTF-CA では、フェムト秒レーザーパルス照射によって、イオン性 (I) から中性 (N)、中性 (N) からイオン性 (I) への双方向の転移が可能である。I 状態で光励起を行なった場合、励起後瞬時に N ドメインが生成される。この N ドメインは約 300 ps の寿命で消滅するが、励起光強度が強くドメインの密度が高い場合には、20ps 程度の時間で周囲を中性化し、寿命の長いセミマクロな N 状態を形成して安定化する。注目すべき点は、この光誘起 I-N において、周期が約 600fs、50ps、85ps の三種類のコヒーレント振動が観測されることである。それらは、二量体化に対応する格子振動、ドメイン壁対の運動、および構造変化に伴う shock-wave によるものであることが明らかとなった。N 状態で光励起を行なった場合にも、瞬時に I ドメインが生成するが、このドメインは数ピコ秒のうちに緩和し、準安定な I 状態は生成しない。

Pd 錯体では、電荷密度波状態からモットハバード状態への光誘起相転移が生じるが、電子系の瞬時の応答に引き続いて、格子歪の減少がコヒーレントな振動を伴って観測される。また、Rb-TCNQ における光誘起絶縁体—金属転移の可能性、K-TCNQ における光誘起逆スピンパイエルス転移のダイナミクスについても、詳細な報告を行なった。

## 結晶の光誘起動的対称性の破れ

千歳科学技術大学、科学技術振興機構 花村 榮一、高橋 淳一、松原 英一

量子常誘電体結晶  $\text{KTaO}_3$  や  $\text{SrTiO}_3$  に、フェムト秒レーザーパルスを 2 本照射する。その 2 つの周波数  $\omega_1$  と  $\omega_2$  の差  $\Delta\omega \equiv \omega_1 - \omega_2$  が、結晶内素励起の周波数に共鳴させて、更にその結晶中で時間的にも、空間的にも重なる様にする。その時ラマン散乱で、その素励起がコヒーレントに形成されると同時に、Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) 信号が多段にわたって観測される。

上記結晶は最も高い  $O_h$  の対称性を持ち、 $\Gamma$  点のフォノンは全て odd モードでラマン不活性であるが、ブリルアン域端付近の 2 つのフォノンを同時に励起する多段の CARS がまず観測される。2 本のポンプ光の強度を臨界値を越えて増大する時、 $O_h$  の対称性で禁制であった X 点の  $X_1$  と  $X_5$  のモードが  $\Gamma$  点に折り重ねられて  $D_{4h}$  対称性の下での  $A_{1g}$  と  $E_g$  モードとして、多段 CARS 信号として観測されるようになる。このラマン選択則の破れを、動的結晶対称性の破れとして理解するモデルを紹介する。

## 超高速レーザー分光で探る半導体における電子系の協力現象

東大工学系研究科物理工学専攻、量子相エレクトロニクス研究センター 五神 真

半導体の電子正孔系は励起密度に依存して様々な状態をとる。特に低温領域では、励起子のボースアインシュタイン凝縮、フェルミ粒子としての凝縮体である電子正孔液体、さらには量子縮退した領域でのモット転移すなわち、ボース粒子からフェルミ粒子へのクロスオーバーなど興味深い問題が多数存在する。ここで、電子正孔系は質量が軽く量子力学が本質的であること、また粒子間に強いクーロン相互作用が働くこと、光励起強度を調整することで密度を広い領域で変化さ

せることが出来ること等から、相互作用の強い多体量子系のモデル系として注目されてきた。一方で、電子正孔系が有限寿命の開放系であるという難しさもあり、励起子ボース凝縮の問題など永く議論が続いているにもかかわらず未解決の問題も少なくない。近年の超短波パルスレーザー技術の急速な進歩はこの問題解決に向けた新たな展開をもたらしつつある。特に、中赤外から遠赤外にわたる広い領域での時間分解分光は、光励起された励起子の内部遷移や電子正孔系の集団運動を直接捉えることを可能にした。この観点から我々は（１）直接遷移型半導体における過渡的電子正孔液滴の形成<sup>[1]</sup>（２）励起子内部遷移を利用した亜酸化銅スピン禁制励起子の検出<sup>[2]</sup>などの研究を進めている。ここでは励起子ボース凝縮の有力候補である亜酸化銅のスピン禁制励起子系の最近の実験について紹介し、ボースアインシュタイン凝縮の可能性について議論したい。

[1] M.Nagai,R.Shimano,M. Kuwata-Gonokami, “Electron-hole droplet formation in direct-gap semiconductors observed by mid-infrared pump-probe spectroscopy” Phys. Rev. Lett. 86, 5795 (2001)

[2] M. Kuwata-Gonokami, M. Kubouchi, R. Shimano, A. Mysyrowicz, “Time-resolved Excitonic Lyman Spectroscopy of Cu<sub>2</sub>O”, J.Phys. Soc. Jpn, in press.

### 時間分解オージェフリー発光

東大物性研、信大工\* 関川 太郎、清水 俊彦、伊藤 稔\*、渡部 俊太郎

軌道放射光、X線レーザー、プラズマ X線に比べ、高次高調波は極端紫外・軟 X線領域の光源として 3 つの特徴がある。（１）時間・空間コヒーレンスをもち、（２）高繰り返しであり、（３）大学実験室で展開可能なコンパクトさ、である。これらの特徴を生かした高調波の応用研究分野として、非線形光学と時間分解分光が挙げられる。本講演では、前者の研究例として、高次高調波のパルス計測と高次高調波によるヘリウム原子の 2 光子超閾イオン化、後者の例としてアルカリハライド結晶中の内殻励起状態の緩和ダイナミクスについて、最近の我々の研究を報告する。

### レーザー光源による光電子分光—高分解能から時間分解へ

東大物性研 辛 埴、木須 孝幸、横谷 尚睦、富樫 格、渡部 俊太郎

軟 X線領域の高調波レーザーを用いて、超高分解能光電子分光装置の作成を行った。本研究では、当時の光電子分光装置のエネルギー分解能と冷却能力の限界（10meV と 20K）を上回ることを目的として建設を行った。励起光源として固体光電子分光装置としてはじめてレーザー（Nd:YVO<sub>4</sub> の 6 次光、6.994eV）を用いた。これにより高分解能化、そのエネルギーによるバルク敏感性、偏光依存性等を得ることが出来るようになった。また低温もヘリウム冷却機構を開発した。完成した装置の性能はエネルギー分解能 360 μeV、到達最低温度 2.7K となり、大幅な装置性能の向上に成功した。またこの性能とレーザー光源の特徴により、これまで指摘されてきた光電子分光法の欠点の殆どを解決している。

レーザーを用いれば、これまでの放射光源と比べ、分解能が上がるだけでなく、顕微分光や、時間分解光電子分光を行うことがたやすくなる。時間分解光電子分光の可能性やその物性研究の意義について、議論した。

## 高強度 XUV 光による多光子イオン化

理化学研究所レーザー物理工学研究室

緑川 克美、長谷川 宗良、高橋 栄治、鍋川 康夫、須田 亮

レーザーの発明後間もなく 1961 年に第二高調波の発生と 2 光子吸収の観測に端を発して、非線形光学という当時では全く新しい研究分野が急速に開拓されたことは周知の通りである。XUV 領域の非線形光学現象はそれ自体が興味深い研究対象であるだけでなく、高次高調波パルスの時間波形の計測において自己相関信号を検出するために必要不可欠であり、それにより時間領域の計測の大きな進展も期待できる。

我々は、高次高調波を用いて軟 X 線領域における非線形光学現象の発現とその自己相関法によるパルス幅計測への応用を目的として、その高出力化と利用のための光学素子開発をおこなってきた。今回、完成した高次高調波発生装置による希ガス原子の多光子吸収過程の可能性について検討した。まず、開発した高調波発生装置から得られた 27 次光（波長得 30nm）を SiC/Mg 多層膜の軸外放物面鏡で集光し、その集光特性を評価した。その結果、回折限界の約 2 倍にあたる約  $1\mu\text{m}$  のスポットサイズが得られ、集光強度として  $10^{14}\text{W/cm}^2$  が達成された。回折限界まで集光できなかった理由は、主に使用した放物面鏡の面精度にあると考えられる。石川や中島等の計算によると、この強度は He 原子からの二光子二重電離や超閾値イオン化を観測するのに十分であり、今後、高次高調波による多光子イオン化を実験的に観測していく予定である。

## 「時間分解構造観測が物質開発にもたらすもの」

東京工業大学 理工学研究科 物質科学専攻 腰原 伸也

固体内の電子状態やその空間的分布が結晶のメゾスコピックな動的構造変化と強く結合した電子-格子強相関材料、特に有機結晶を用いて、既存材料にはない新規な光電的機能の可能性を開拓しようとする試みが我々のグループの現在の中心の課題である。この種の物質の特徴は、内在する電子-格子結合や電子相関による強い協同的相互作用によって、物質構造と電子状態の両者が、強い協力的効果を相互に及ぼしあっている点にある。そのような条件のもとでは、光や電場、磁場等の外場によって生成された微量の局所的励起状態が核となって、巨視的な光電的機能に劇的な変化を誘起する可能性がある。そこでは従来、半導体、電導体、誘電体、磁性体など個別材料で扱われてきた多様な機能性が、単独の材料で複合的に発現する、全く新しいタイプの電子材料が登場することも可能となる。実際我々は、電子-格子強相関効果を示す電荷移動錯体結晶群について、光励起条件下で、線形・非線形光学特性、磁性、磁気伝導性、誘電性、強弾性など多角的な物性測定を集中的に行い、これらの物性に従来の予想を超える巨大な光誘起変化が超高速（100 ps：サブ THz 応答速度域）で起きることを実証することができた。この光誘起変化では、単一光子によって数 100-1000 サイトの集団的電子移動が生じ、それに伴って結晶秩序の動的変化が引き起こされる。ここではその典型的な例として、電荷移動錯体テトラチアフルバレンクロラニル（TTF-CA）について、電子-格子強相関効果による新規な光電的機能性発現と、ピコ秒スケールでの動的格子変形の重要性を具体的に報告する。また時間が許せば、分子内変形と電荷秩序が組み合わされた新しい構造相転移を示す EDO-TTF 系についても述べる。この系では、光誘起相転移により、超高速（サブピコ秒）かつ高効率な光誘起反射率変化と電気伝導度変化が初めて室温付近で観測された。なおこの研究は H.Cailleau, E.Collet(以上レンヌ第一大学)、太田明、矢持秀起、斉藤軍治（以上京大・理）各氏との共同研究である。

## 光誘起絶縁体金属転移のダイナミクス

東北大理、PRESTO-JST 岩井 伸一郎

この十数年の間に行われた、フィリング制御によるモット転移の研究によって、 $3d$ 遷移金属酸化物の詳細な相図が描かれてきた<sup>[1]</sup>。相図上のある相から別の相へ、光によって瞬時に飛ばすことが出来れば、伝導性、磁性、光学特性などの多様な電子物性を高速制御することが可能となるだろう。また、熱力学的な非平衡状態である光励起状態を介したモット転移のダイナミクスの探索は、電子状態や格子配置の準安定点をも露にし、その物質相の成り立ちに対する理解をより深めることが期待される。我々は、そのような試みの一つとして、 $3d$ 遷移金属化合物である一次元ニッケル錯体とペロブスカイト型遷移金属酸化物を対象にした、光モット転移の探索を行っている<sup>[1]</sup>。

典型的なモット絶縁体のひとつである、ハロゲン架橋ニッケル錯体 ( $[\text{Ni}(\text{chxn})_2\text{Br}](\text{Br})_2$  単結晶を対象に、可視～中赤外 ( $\sim 0.1\text{eV}$ ) 領域の反射型ポンププローブ分光を行い、その励起強度依存性を詳細に調べた。強励起下 ( $x_{\text{ph}}=\text{Ni}$  イオン一個あたりに吸収される光子数=0.5) において、光励起直後、光学ギャップを特徴付ける励起子反射 ( $\sim 1.3\text{ eV}$ ) の強度が減少し、一方中赤外光領域 ( $<0.3\text{ eV}$ ) の反射強度が増加する。その変化量はきわめて大きく、 $0.1\text{ eV}$  において、元の反射率の3倍以上にも達する。

過渡反射スペクトルのKK変化によって得られる光学伝導度スペクトルは、

- 1: 光学伝導度スペクトル ( $\sigma(\omega)$ ) の変化に見られる、CTバンド近傍 ( $\sim 1.3\text{ eV}$ ) の減少分と中赤外域の増加分は、面積がほぼ等しく、励起前後のスペクトルの面積はほぼ保存されている。
- 2: 励起強度の増加に伴い、中赤外光領域のスペクトル重心が、連続的に低エネルギー側へと異動し、最終的にドルーデ型スペクトルに類似の形状に到る。

という二つの特徴を示すが、これらのスペクトル変化は、二次元銅酸化物において観測されたフィリング制御型モット転移の場合<sup>[1]</sup>と酷似しており、光励起によって瞬時に金属相が形成されていることが結論できる。さらに、ペロブスカイト型遷移金属酸化物である、 $\text{LaCoO}_3$  においても、同様な絶縁体-金属転移を観測した。これらの光誘起金属相は、ピコ秒の時間スケールで元の絶縁体へと緩和する。

[1] M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, Rev. Mod. Phys. 70, 1039 (1998).

[2] S. Iwai et al. Phys. Rev. Lett. 91, 057401 (2003).

## 量子ドットの超高速レーザー分光

筑波大物理 舛本 泰章

フォトンエコー法は物質系の位相緩和を測定する標準的手法である。レーザーの時間幅で時間分解能が決まるフォトンエコー法はフェムト秒よりも速い時間領域でも有用な役割を果たすと期待され、これからますます重要となるであろう。その際、フォトンエコー法を可能な限り高感度化し、微量な試料に対しても適用できればフォトンエコー法の適用範囲を飛躍的に広げることとなる。一方、量子ドットのコヒーレンス時間を様々な環境下で調べる事は、励起された量子ドットの遷移双極子がどのように位相緩和するかを知ることになり、大変に興味深い。自己生成量子ドットはレーザー、メモリー、スイッチ、単光子素子、量子計算などへの応用が期待されているが、これらの性能にコヒーレンス時間は極めて深く関わっているので、この観点からもコヒーレンス時間測定は必要である。筑波大物理の研究グループでは、ヘテロダイナ検出フォトンエコー法を開発して、単層のInP自己生成量子ドットおよび単層の歪み誘起GaAs量子ドットの位相緩和測定に成功したので、これを報告する。これによれば、単層の量子ドットわずか量子井戸換算で1モノレイヤー程度からのフォトンエコー信号が検出できる。見えてきた現象は、Pauli blocking, Hole tunneling および Dimensionality of biexciton binding energy である。

## 金属ナノ粒子の光学非線形性と超高速ダイナミクス

名古屋大学大学院工学研究科、CREST - JST 濱中 泰、中村 新男

直径 2 nm 以上の金、銀、銅などの金属ナノ粒子を透明な絶縁体マトリックス中に埋め込んだ金属ナノ粒子-絶縁体複合系は局所電場効果による高い 3 次非線形感受率 ( $\chi^{(3)} \sim 10^7$  esu) と超高速な応答 ( $< 1$  ps) を示す<sup>1)</sup>。一方、直径 1 nm 程度のクラスター領域の金属ナノ粒子では量子サイズ効果による非線形光学応答の発現が期待される。本研究では金属ナノ粒子-絶縁体複合系における非線形光学応答の応答時間を決めるメカニズムを明らかにするために、サイズとマトリックス材料を系統的に変えた試料のフェムト秒ポンプ・プローブ測定を行った。また 28 原子で構成された金クラスター (直径  $\sim 1$  nm) の非線形光学応答を調べた。

直径 3 nm 以上では、ナノ粒子が小さく体積弾性率が大きいマトリックス材料を用いた場合に応答時間の高速化が観測された。この結果はナノ粒子に特有のブリージング振動の励起とダンピングによる電子の緩和過程を考慮した新しいモデルで良く説明された<sup>2)</sup>。バルク金属とは異なる金属ナノ粒子複合系に特有の緩和機構が存在することを明らかにした。

一方、金クラスターの吸収スペクトルには大きいナノ粒子とは異なり表面プラズモン共鳴によるブロードな吸収帯は観測されず、多数の吸収ピークが重なったスペクトルが観測された。これらの吸収ピークは構成原子数の減少により生じた量子化準位間の光学遷移に起因し、光学応答に対する量子サイズ効果の発現を示している。非線形吸収スペクトルにはこれらの吸収ピークに対応する構造が現れ、スペクトルの形状解析により吸収ピークが大きくレッドシフト ( $\sim 140$  meV) することがわかった。レッドシフトの原因と非線形光学応答のメカニズムの解明を目指し研究を進めている。

1) K. Uchida, S. Kaneko, S. Omi, C. Hata, H. Tanji, Y. Asahara, A. J. Ikushima, T. Tokizaki, and A. Nakamura, *J. Opt. Soc. Am. B*11, 1236 (1994).

2) Y. Hamanaka, J. Kuwabata, I. Tanahashi, S. Omi, and A. Nakamura, *Phys. Rev. B*63, 104302 (2001).

## Coherent control of plasmon-phonon oscillations in a semiconductor using two ultrashort laser pulses

M. I. Bakunov

*University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

In recent years, the progress in femtosecond lasers and ultrafast spectroscopy has enabled the excitation and observation of coherent phonon oscillations in solids. In polar semiconductors, such as GaAs, the excitation occurs in the depletion layer, where the built-in electric field induces an initial lattice displacement. The optically created carriers move in the electric field and produce polarization. The polarization screens the field and induces a change in the lattice displacement. As a result, plasmon-phonon modes are excited.

We developed a theory of the coherent control of the plasmon-phonon modes by two ultrashort optical pulses that arrive with a delay. We found that for some values of the time delay, the second pulse can strongly suppress the plasmon-phonon oscillations excited by the first one. The mechanism of the effect lies in the excitation of free-streaming currents: After the arrival of the second pulse, carriers not only oscillate at the plasmon-phonon frequencies but also produce counter-directed dc currents without any net dc current. Although this motion does not manifest itself macroscopically it takes a significant part of the oscillations energy, thus, strongly reducing the amplitude of the oscillations (Fig. 1).

The results obtained may be used for interpretation of recent experiments on the two-pulse excitation of the plasmon-phonon modes in GaAs<sup>[1,2]</sup>.

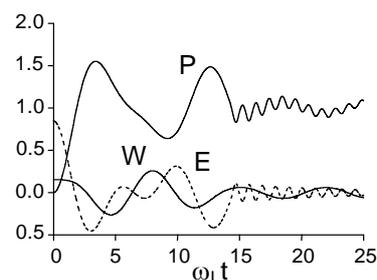


Fig. 1. Time dependence of the electronic polarization ( $P$ ), lattice displacement ( $W$ ), and electric field ( $E$ ) in the depletion layer of GaAs for  $N_1 = 6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_2 = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , and time delay  $\tau = 260 \text{ fs}$  ( $\omega_L \tau = 14.28$ ). Here  $N_{1,2}$  is the plasma density after the first and second pulse excitation, respectively,  $\omega_L$  the frequency of the LO phonon.

1. K. Mizoguchi *et al.*, *J. Luminescence* **87-89**, 939 (2000).
2. Y.-M. Chang and N.-A. Chang, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3771 (2002).

## Magnetic Field Enhanced THz-radiation Emitter Irradiated with Femtosecond Optical Pulses

岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所 猿倉 信彦

今日のテラヘルツ技術の進歩は著しい。このテラヘルツ技術の躍進の結果、多くの重要な研究報告がなされている。これは、テラヘルツ波領域が物質中にあるフォノンのエネルギーに相当するため、様々な物質の中での変化を見ることができると考えられるからである。現在、テラヘルツ分光は分光学のなかにおいても有力な手段として幅広く使用されるようになり、工業技術への応用もすすめられている。この観点において、コンパクトで簡易な強力テラヘルツ光源を開発することは、これからのテラヘルツ分光やテラヘルツ波を用いた応用に対して必要不可欠であると考えられる。我々の研究室では、1.5W のフェムト秒レーザーで照射した InAs に磁場印加することによって、テラヘルツ波の強度が著しく増大することを論文によって報告した ( Fig.1 )。この論文において、テラヘルツ波の強度が $\sim 3\text{T}$  までの磁場と励起レーザー強度の二乗依存性をもっていることを示唆している。さらに強磁場を印加することによってテラヘルツ波の強度が 3T 程度の磁場によって飽和し、この飽和の仕方は結晶の軸方向と磁場の方向の関係に大きく依存することであることも報告している。また、より高強度な磁場を印加することによって、テラヘルツ波の強度が印加磁場に対して飽和後減少し、そしてまた増加して 13T 程度の磁場で再飽和するという複雑な振舞をするを明らかにした。さらに、これらのデータをもとにテラヘルツ波発生源の解明や、励起レーザーのエネルギー密度依存性なども行っている。研究会においてこれらについて詳細に述べた。

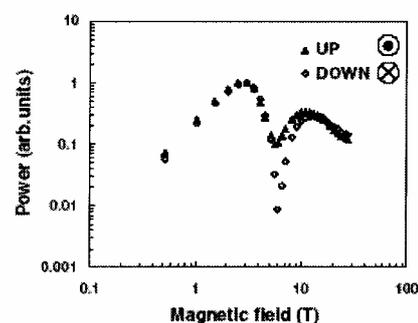


Fig. 1. THz radiation power measured at various magnetic fields.

## テラヘルツ帯における金属フォトニック結晶の透過特性

大阪大学超伝導フォトニクス研究センター 宮丸 文章、田中 優紀、萩行 正憲

光の波長よりも小さい直径を持つ金属円形開孔を周期的に並べた 2 次元金属フォトニック結晶 (2D-MPC) において、ある特定の周波数の透過率が増幅される現象が可視光領域で観測されている<sup>1</sup>。この現象は、入射した電磁波が表面プラズモン-ポラリトンと結合することにより生じるものと考えられている。我々はテラヘルツ領域において、この 2D-MPC の透過特性の研究を行っており、可視光領域と同様な、表面プラズモン-ポラリトンによる特異な透過特性を観測している。テラヘルツ領域では、試料の作製が比較的容易なことから、単純な 2D-MPC のみでなく、複雑な構造の試料や、ドープ半導体を用いたフォトニック結晶に関する透過特性も調べることができる。例えば、図 1 に示すように、2 層の 2D-MPC を積層させた場合、2 層間の開孔位置を半周期ずらした方が透過率が高くなるといった、一見、直感と反した結果を見いだしている。また図 2 に、ドープ半導体 (Si) のフォトニック結晶における、透過スペクトルの温度変化を示す。低温になるに従い、Si 中のキャリア濃度が減少し、金属フォトニック結晶から、誘電体フォトニック結晶に変化していく。

このとき、表面プラズモン-ポラリトンに起因する透過ピーク（破線）は温度とともに減少し、キャリア凍結に伴い Si 内部にテラヘルツ波が進入できるようになると、急激に透過率が增加している様子がわかる。講演では上記の他に、2D-MPC を透過するテラヘルツ波の、時間一周波数解析に関する議論なども行う。

<sup>1</sup> Ebbesen *et al.*, Nature **391**, 667 (1998).

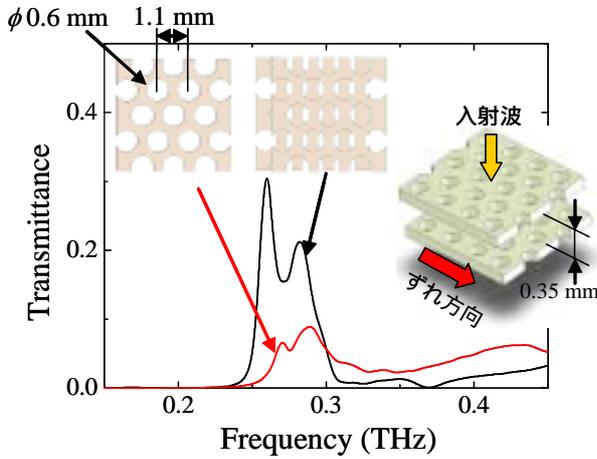


図1. 2枚積層金属フォトニック結晶の透過スペクトル

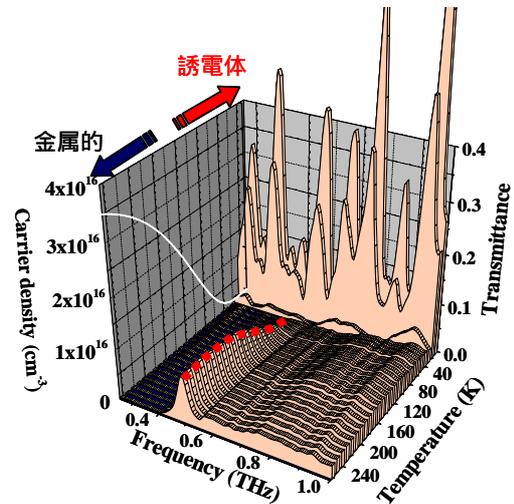


図2. Siフォトニック結晶の透過スペクトルの温度変化

### 時間領域テラヘルツ全反射減衰分光法

京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻 田中 耕一郎

最近のモノサイクルテラヘルツ波をもちいたセンシング技術の進展は、イメージングや材料分析、遠赤外領域の時間分解観測などの新しい応用分野を切り開いてきている。これ等の進展は、時間領域の測定がテラヘルツ波の振幅と位相を独立に決定可能である点を基本にしている。材料分析などの分光技術に限ってみると、透過測定においてはこの利点を生かし数多くの成果が報告されているのに対し、反射測定においては問題が山積している。これは、反射測定における参照光の「位相の不確定性」の問題から生じている。

上記の問題の解決を図るために、通常の透過配置 THz 分光装置に挿入するだけで全反射減衰分光 (ATR) 測定を可能にする「Magic プリズム」を作製し、時間領域テラヘルツ分光をおこなった。プリズムの屈折率の影響を調べるために、テフロン、Si、MgO の 3 種類の材料で作製した。プリズムは THz 波が p-偏光になるように挿入した。試料は底面に平行になるようにセットし、底面との距離の関数として THz 電場波形を測定した。参照光として距離を十分離れた時のデータをもちいることにより、再現性の高い全反射減衰スペクトルが得られた。このシステムをもちいてアンドープの InAs を測定したところ、1.5THz 近傍に表面プラズマによる共鳴が確認された。これは、ATR によりはじめて可能になったものである。サンプル-プリズム間距離を変えることにより、プラズマ共鳴の周波数で位相のπジャンプの向きが逆転、反射率の dip 構造のシフトなど、興味深い現象が観測された。これらは、プリズム、空気および表面プラズマの存在する媒質の 2 境界問題として理解される。講演では、プリズム依存性、誘電率の導出、距離依存性などについて議論した。

## サブ 10 アト秒精度のコヒーレント制御

岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所・科学技術振興機構 CREST 大森 賢治

例えば、二原子分子に核の振動周期よりも短い光パルスを照射すると、「波束」と呼ばれる局在波が結合軸上を往復する状態を造り出す事ができる。波束の発生に際して、数フェムト秒からアト秒のサイクルで振動する光電場の位相は波束の量子位相として分子内に保存されるので、光の位相を操作することによって波束の位相を操作することができる。我々はこれまでに、10 アト秒以下の精度で光学位相を操作する技術を開発し、これを用いて分子内に発生した2個の振動核波束の量子干渉をほぼ100%のコントラストで完全制御することに成功した。また、干渉直後の波束の位相情報は、各振動固有状態のポピュレーション比を使って読み出すことができ、このポピュレーション情報は、系全体のコヒーレンスが消失した後でも分子集団内に30ns以上保存されることを実証した。これら一連の見聞は、様々な量子系における波束干渉に共通する極めて普遍的なものであり、コヒーレント制御の新たな局面の開拓に結びつくものである<sup>[1]</sup>。今後、分子波束の量子位相を量子情報処理や反応制御に応用するにあたって、これまで行なってきたデコヒーレンス後のポピュレーション測定をコヒーレンスの直接測定に発展させる事が望ましい。そこで最近我々は、分子波束干渉の実時間観測を開始した。位相ロックされた fs パルス対によってヨウ素分子内に誘起される波束の発生から干渉に至る一連の事象を、別の fs パルスを用いて実時間観測する(→図1)。測定結果の一例を図2に示す。このように、干渉後にも分子内にコヒーレンスが持続しており、ポピュレーション情報だけでなく、位相情報を操作して保存することが可能であることがわかる。なお、この実験は東北大多元研の上田グループの協力を得て行なわれた。

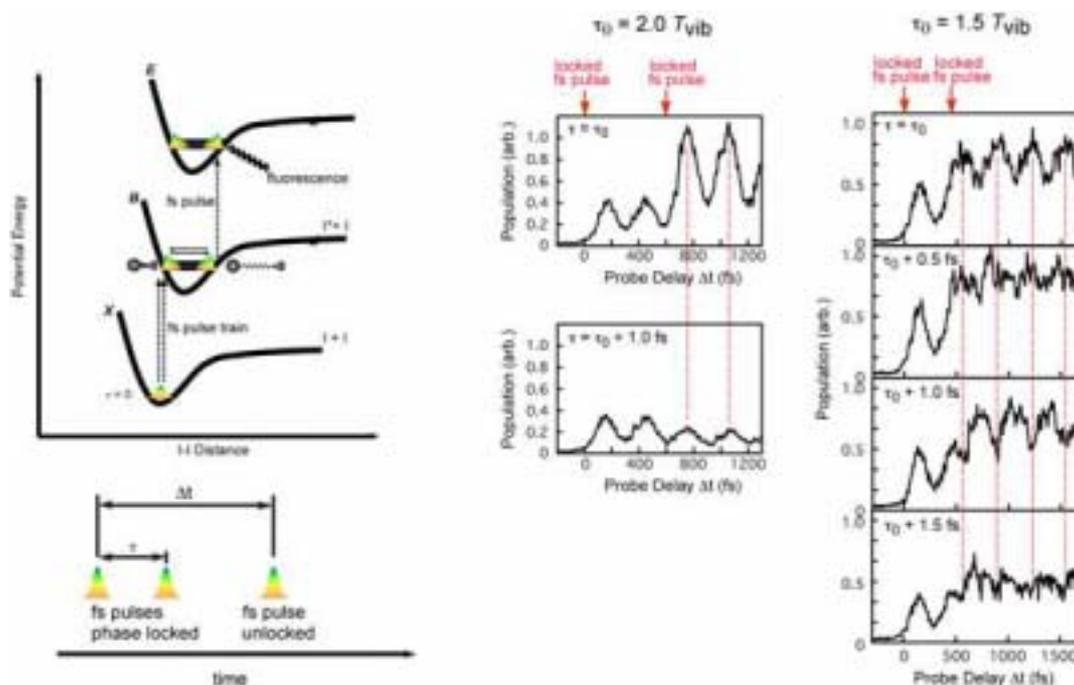


図 1. 位相ロックされた fs パルス対によって  $I_2$  分子の  $B$  状態ポテンシャル上に生成した2個の振動波束の量子干渉を別の位相ロックされていない fs パルスによって実時間観測する。

図 2. 位相ロックされた fs パルス対によって  $I_2$  分子の  $B$  状態ポテンシャル上に生成した2個の振動波束が干渉する様子を実時間観測した例。  $T_{vib}$  は古典的な分子振動の周期で約 300fs。2個の波束を空間的に重ねて作った場合(左)とそれぞれポテンシャルの対峙する二つの壁付近に空間的に離して作った場合(右)。

### 参考文献

[1] Kenji Ohmori, Yukinori Sato, Evgueni E. Nikitin, and Stuart A. Rice, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 243003 (2003).

# 物性研究所 ISSP 国際ワークショップ

## 物性研国際若手夏の学校

夏の学校世話人代表

東京大学理学部物理 小形 正男

物性研国際若手夏の学校 (International Summer School for Young Researchers on “Quantum Transport in Mesoscopic Scale and Low Dimensions”) は、最近研究が進展しているメゾスコピック系や低次元系の分野での若手の研究者が集まり、ナノ構造等における特に量子輸送現象に関連した最近の研究を議論しようという目的で、平成15年8月13日～21日に東京大学物性研究所において開催されました。参加者は予想していた人数を大幅に越え130名 (内外国人20名) 近くとなり、大変盛況な学校となりました。9日間 (うち1日休暇) という比較的長い期間で、かつ2時間の講義が多くあり密度が高いプログラムでしたが、余裕も取っており議論等も十分行うことができました。講演者にとっても聴講の国内若手研究者にとっても、今後研究の上で非常に役立つことは間違いありません。

会議の運営は、世話人代表として筆者が行い、他の世話人として(以下アルファベット順) 遠藤彰(物性研)、藤井達也(物性研)、井村健一郎(Karlsruhe)、小林研介(物性研)、妹尾仁嗣(産総研、CERC)、Christophe Texier (Orsay) が行いました。また、会議のAdvisory CommitteeをHelene Bouchiat (Orsay)、福山秀敏(物性研)、家泰弘(物性研)、前川禎通(東北大金研)、Gilles Montambaux (Orsay)、永長直人(東大工学部)、高柳英明(NTT) の各氏にお願ひし、プログラム・運営などに関しいろいろと助言をいただきました。

プログラムの内容は、1) quantum dots + nanostructures, 2) quantum Hall phenomena, 3) quantum wire / one-dimensional transport and carbon nanotubes, 4) organic conductors, 5) spin-dependent transport, and 6) quantum coherence, disorder, etc. とメゾスコピック系から低次元固体まで幅広い対象における量子輸送現象を取り上げました。それぞれのトピックに対してintroductoryな分野の紹介を含めた長めの「講義(2時間)」と、それらを踏まえた最新の研究内容を議論する「セミナー(40分)」、そして多数参加していただいたポスター発表(3時間30分)、が行われました。

外国人参加者のうち、世話人が招待し講演していただいた方々はChristopher Bauerle (CRTBT Grenoble), Stuart Brown (UCLA), Adeline Crepieux (Marseille), Richard Deblock (LPS Paris), Michele Governale (SNS Pisa), Juergen Koenig (Karlsruhe), Jan Martinek (Karlsruhe), Julia Meyer (Minnesota), Omar Stern(Max Planck Stuttgart), Christophe Texier (LPTMS Paris), Bjoern Trauzettel (Freiburg), Wilfred van der Wiel (Tokyo), Ulrich Zuelicke (Massey New Zealand), Igor Zutic (Maryland)の方々でした。すべてそれぞれの分野での卓越した若手であり、学校終了後、皆さんからはまたこのような夏の学校があれば(日本に限らず)参加したいという強いご希望を世話人に寄せていただきました。

物性物理が細分化する現在、概して同様の興味や共通の物理がありながら「直交」する形で、各分野での研究が進んでいることが多くあると思われます。上記の広範な分野で研究する若手にとって、夏の学校が違う分野を知り、また自分の分野を見直すよい機会となり得たのではないかと思います。実際、途中で質問を自由にできるという環境で長めの講演を行い、また質疑応答をすることによって、様々な「すれ違い」を埋めていっ

た感があります。いずれにせよ世界でも類を見ない新しい形のワークショップであり、予想外の参加人数は、やはりこのようなニーズが特に若手研究者や大学院生の間で高まっているからと理解しており、夏の学校を開催してよかったと心底感じております。

会議運営については経験が未熟な若手で行うということで準備段階から大変な労力がかかってしまいましたが、Advisory Committeeの方々に様々なアドバイスをいただき、成功のうちに夏の学校を終了することができました。

最後となりましたが、物性研究所にはこのような新しい形の夏の学校があればぜひ参加したいという若手研究者達の自発的な願いを、物性研国際ワークショップとして採用していただき予算援助を賜わり、また財団法人材料科学技術振興財団からもご援助いただきまして、大変感謝しております。まさに若手による若手のための夏の学校を実現することができました。その際にお世話になりました国際交流室の高田康民先生、会場運営などでお世話になった物性研内の国際交流室、技官、秘書、院生の方々、そしてお忙しい中時間を割いていただき運営に関して叱咤激励していただきました福山秀敏先生、家泰弘先生に、「物性研国際若手夏の学校」世話人一同を代表して、御礼申し上げます。

# 物性研究所 ISSP 国際ワークショップ

## ゲルシンポ 2003 報告

中性子科学研究施設

ゲルシンポ 2003 実行委員長 柴山 充弘

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/GelSympo2003/>

平成 15 年 11 月 18 日から 20 日の 3 日間にわたり、東大物性研柏キャンパスにおいて第 5 回ゲルシンポジウム（ゲルシンポ 2003）を開催した。物性研では初のソフトマターに関する国際会議であり、17 日夕のミキサー、21 日のミニワークショップを含めると、ほぼ一週間にわたる国際会議であった。

この会議の目的は、従来の「材料」としてのゲルから、高性能・高機能材料としてのゲル、さらには能動素子化などを指向したゲル研究の現状を踏まえ、ゲルの新概念の創成、構造、物性に関する新理論の構築、新規特性ゲルや高機能性ゲル、環境認識性、高分離特性をもつゲルの開発などを目指した国際会議を開催する、ことであった。

### 1. 会議の意義と内容

会議の副題に「Polymer Gels: Fundamentals and Nano-Fabrication」とあるように基礎から微細加工を視野に入れたゲルの科学について、統計物理、物性物理、高分子精密合成などの基礎科学と応用研究である工業技術の学融合を目指し、ゲルの新概念の創成、構造、物性に関する新理論の構築、新規特性ゲルや高機能性ゲル、環境認識性、高分離特性をもつゲルの開発などについて活発な議論が行える場を提供した。

また、物性研にてこのようなソフトマターの会議を開く意義として、物理学的観点から高分子ゲルを眺めたとき、臨界現象や相分離、パーコレーション、結合相関など、物性物理学一般に共通する問題を多く内包していることがあげられる。ゲルの物性や構造についての基本概念は、欧米を中心とした物性物理研究者によって開拓されてきた経緯があり、理論面では欧米にまだ遅れをとっている感がある。その一方で、応用研究やナノテクノロジーでは日本が他国を大きくリードしている状況にある。そこで、物性研におけるソフトマターサイエンスの活性化および所員の理解や支援を得るためにも、ISSP 国際ワークショップとしてゲルの国際会議を開くことの意義は大きいと考えた。

会議の規模は以下のとおりである。参加登録者 154 名（発表者 110 名、参加者 35 名、ゲスト 9 名）、招待講演者は 18 名のうち外国人が 12 名（アメリカ 3、ロシア、香港、ベルギー、イスラエル各 2、フランス 3、オーストラリア 1）、日本人が 6 名、一般口頭講演が 18 件（日本人 17 人、ポーランド 1 人）、ポスター発表が 74 件であった。また、高分子学会、日本化学会、日本物理学会の協賛を得た。

### 2. プログラム

プログラムは、理論、合成、構造、ゾルーゲル転移、レオロジー、分光学、ダイナミクスと運動、細胞工学、ナノファブリケーション、オイルゲル化剤、環境敏感型ゲル、高分子電解質、両親媒性ゲルなど、多岐にわたる分野から、3 件の基調講演、15 件の招待講演、18 件の一般講演を中心として企画した。一般発表としてはポスター発表の募集をしたところ、74 件の応募があった。プログラムについては、物性研ホームページ掲載（URL 上述）のプログラムリストを参照されたい。

プログラムおよびイベントの内容は

11 月 17 日 ミキサー（柏クレストホテル 4 F ローズルーム）

- 11月18日 口頭発表、ポスター1
- 11月19日 口頭発表、ポスター2、懇親会（カフェテリア）
- 11月20日 口頭発表
- 11月21日 ミニワークショップ\*、ISSP ツアー（家研、渡部研）

であった。ポスター発表のうち、学生による発表については、招待講演者を審査員とするポスター審査を行い、19日の懇親会にて3人の学生にポスター賞が授与された。ミニワークショップはパネルディスカッション方式による未解決問題についての議論、将来の方向性についての議論・自由討論形式で、あらかじめ4人の招待講演者に、高分子ゲル合成の最新動向(Prof. Lutz, Charles Sadron Institute, フランス)、高分子ゲルの理論(Prof. Y. Rabin, Bar Ilan 大学、イスラエル)、「生命とゲル」(長田義仁北海道大学副学長)、「シンポジウム総括」(Prof. A. Khokhlov,モスクワ大学)で、司会は筆者が務めた。会期中では討論時間が非常に限られていたため、この昼食をはさんだ3時間にわたるミニワークショップは非常に好評で、大いにゲルの未解決問題について、理論・実験、合成・物性・応用、と分野、背景の異なる研究者間での議論に沸いた。午後は2つのグループに分かれてISSP ツアーを行い、家研究室と渡部研究室の見学を行った。それぞれ家教授、渡部教授じきじきの説明を受け、参加者一同、ハードマターサイエンスの先端研究の一端に触れることができ有意義であった。

### 3. 出版・広報

多くの学会のプロシーディングス発行において、発行まで非常に長い時間がかかることが多いこと、著作権の問題、限られた紙面では自由な情報伝達が難しいことなどが問題となっている。このゲルシンポ2003では、こうした問題に対する一つの解決策として、コンパクトディスクにプログラムはもちろん、発表者全員の予稿、発表原稿やパワーポイント図などを取り込んでリンクを張ったデジタルプロシーディングス(*GelSympo2003CD*)を制作し、参加者全員に配付するとともに、物性研ホームページにて公開することとした。参加者にとってはプロシーディングスが冊子体でないため、文献としての引用が難しいかもしれないがホームページにて公開されるため、ある程度の引用が可能となるのではないかと主催者側は考えている。しかし、何より重要なのは会議終了後すみやかにプロシーディングスが発行、公開されることである。原稿の提出は会議開催中であつたので原則的にはプロシーディングスはすでに発行されている予定であつた。しかし、原稿提出が遅れている発表者があるため、平成16年3月初めの発行、アップロードの予定で現在、プロシーディングスの制作を続けている。論文などへの未発表原稿の取り扱いについては発表者に一任し、特許などで問題となる図があれば、原稿から自主的に削除してもらおう方法をとった。このようなデジタルプロシーディングスの発行はまだまだ試行段階であり、幾多の問題に遭遇するかもしれないが、新しい会議のスタイルとして提案したい。

### 4. おわりに

ホームページ掲載のプログラムリストをご覧になっていただければわかると思うが、高分子ゲルに関して、非常に広い分野から多くの発表があり、会場、ロビー、ポスター会場を問わず、活発な議論が繰り広げられた。多いに研究交流ができた学会であり、次世代を担う学生にとっても有意義な経験の場となったと思う。

1995年以来の久しぶりの開催とスタッフ不足で運営が危ぶまれたが、高分子学会ゲル研究会の有志からなる実行委員会と中性子科学研究施設職員、学生の応援、高山一所員はじめ、物性研所員、国際交流室の支援を得て大成功に終わることができた。シンポ終了後、多くの参加者からお礼と会議成功のお祝いのメールをいただいた。また、非常に活発で友好的かつ家庭的な学会であつたとの感想を多くの参加者からいただいた。主催者としてこれに勝る賛辞はない。最後にゲルシンポ2003の開催に際し、ご理解とご支援をいただきました、福山秀敏前物性研所長、上田和夫物性研所長、ならびに物性研国際交流委員会に感謝します。

# 物性研究所談話会

日時：2004年1月23日(金) 午後5時~6時

場所：物性研究所6階 612号室

講師：Prof. Michael von ORTENBERG

(Institute of Physics, Humboldt University at Berlin)

題目：Experiments in Megagauss and Multi-Megagauss Magnetic Fields

要旨：

Measurements on semiconductors structures in strong magnetic fields using the single-turn equipment in Berlin, Germany, as well as the explosive flux-compression in Sarov, Russia, are reported. The experiments are discussed in comparison with the theoretical concept of the tight-binding model in extreme magnetic fields beyond the usual  $k^*p$ -model.

日時：2004年2月20日(金) 午後1時30分~3時

場所：物性研究所6階 A615号室

講師：Dr. Jean-Pascal Brison

(CRTBT-CNRS Grenoble France)

題目：Phase diagram of heavy fermion systems : basic measurements for complex physics

要旨：

Interest in the superconductivity of heavy fermion systems was renewed in the last years by the discovery of quasi systematic superconducting pockets at the verge of magnetic instabilities in cerium compounds, together with the discovery of new superconductors with complex phase diagrams like  $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ . In Grenoble, these systems have been investigated with rather basic measurements (upper critical field, specific heat, thermal conductivity), with or without pressure, but carefully controlled conditions (sample characterization, hydrostaticity of pressure cells, thermalization...).

For these complex systems, the simple determination of the superconducting phase diagram under magnetic field or pressure is already very rich. We show that systematic investigations of the upper critical field  $H_{c2}$  have given some clues on the parity of the order parameter in many of these systems, together with their strong coupling regime : the role of the pairing mechanism in the strong mass renormalization will be contrasted in the cerium compounds and in  $\text{UBe}_{13}$ . A multi gap structure is also often revealed by these measurements, and will be compared with the cases of  $\text{MgB}_2$  or borocarbide superconductors where direct microscopic measurements back these observations.

Eventually, we discuss the interest of specific heat measurements in the determination of these phase diagrams, with the case of the  $\text{CeRhIn}_5$  compound that might reveal a new superconducting state when superconductivity and Neel order coexist. The respective role of lattice instabilities and magnetism in the pairing mechanism will be discussed, pushing to set up a new generation of (still basic) experiments.

日時：2月24日(火)午後3時～4時半

場所：物性研究所6階 A615教室

講師：Daniel Khomskii

(ケルン大学物理)

題目：CHARGE AND ORBITAL SUPERSTRUCTURES IN OXIDES

要旨

There exist many different types of superstructures in oxides, connected with spin, charge and orbital degrees of freedom and their interplay. In this talk I will discuss three topics in this big field:

1. Interplay of frustrations and orbital ordering, both in the usual systems and in materials with the geometric frustrations, such as  $\text{LiNiO}_2$  and spinels;
2. Bond vs site charge and orbital ordering, including the possibility to obtain ferroelectricity in charge-ordered manganites;
3. Orbital-driven Peierls transitions in spinels and some other systems.

日時：2004年3月3日(水)午後3時～

場所：物性研究所6階 A615教室

講師：Yunqi Liu

(中国科学院科学研究所・京大客員教授)

題目：Synthesis, Characterization and Electronic Properties of Phthalocyanine derivatives

要旨：

Phthalocyanines (Pcs) have excellent optoelectronic properties as well as good chemical and physical stability. They have been widely used in the fields of chemical sensors, nonlinear optics, electrochromics and photocatalyst, etc. In addition, they have been proven to be good building blocks for constructing supramolecular or giant-molecular systems. A series of new phthalocyanine derivatives were synthesized characterized. Thin films fabricated by Langmuir-Blodgett, self-assembly and vacuum deposition were investigated. Their applications in optical-electronic devices, such as molecular rectifiers, molecular switches, optical limiting, gas sensors, light-emitting diodes and field-effect transistors are reported.

日時：2004年3月10日(水)午後1時30分～3時

場所：物性研究所6階 A615号室

講師：Prof. Jeffrey T. Koberstein

(Department of Chemical Engineering Columbia University)

題目：Molecular Design of Functional Polymer Surfaces

要旨：

Almost all applications of polymers these days involve some sort of surface modification procedure in order to impart the correct properties and function to polymer surface. From a simplistic viewpoint, these procedures involve putting certain functional groups at the surface to improve either the release or adhesive properties of the surface. Our interest is to develop an understanding that can be used to design such functional surfaces at the molecular level. In this presentation, a number of molecular design principles will be described that are useful for the molecular design

of polymer surface properties: surface segregation of functional groups; the structure of functional polymer surfaces; and surface reorganization. Experiments on model end-functional polymers are used to illustrate these principles and a lattice model is developed to successfully predict this overall behavior. Finally the principles are applied to optimize the architecture of functional polymers and to design polymeric surfactants that deliver precise concentrations of reactive functional groups to polymer surfaces.

日時：2004年3月12日(金) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 A615号室

講師：Davide GALLI

(ミラノ大学物理)

題目：Quantum Monte Carlo simulations of confined solid  $^4\text{He}$

要旨：

A problem of great interest in Condensed Matter Physics is the study of strongly interacting quantum Systems where a confinement of the system is present; this is specially true for  $^4\text{He}$  systems where the interplay of the confining potential with the interparticle interaction may yield completely new phenomena, as well as strongly enhancing correlation effects. Very recently <sup>[1]</sup> from torsional oscillator experiments it has been found evidence of an abrupt drop in the rotational inertia of solid helium confined in porous medium. Recognizing that solid helium confined in porous medium is likely to be more populated with defects and vacancies than the bulk, the most likely interpretation of this drop is the entry into a supersolid phase<sup>[2]</sup>. The microscopic origin of this effect is however not completely understood. The overall goal of our present research activity is the assessment of the effects of confinement on the properties of solid  $^4\text{He}$ . The development of Quantum Monte Carlo simulation techniques in the recent years has been so great that these have become the most important way to study strongly interacting quantum particles. We have studied ground state properties of confined solid  $^4\text{He}$  by advanced Quantum Monte Carlo techniques like the Shadow Wave Function (SWF) variational technique<sup>[2,3]</sup> and the recent exact ( $T=0\text{K}$ ) method called Shadow Path Integral Ground State (SPIGS)<sup>[4]</sup>. Our first model for  $^4\text{He}$  in confined geometries has been a system of  $^4\text{He}$  atoms free to move in a lattice of big static spherical impurities, whose geometry does not match with the crystal structure of  $^4\text{He}$  in the solid phase. We have studied the equation of state of this system. The freezing and the melting densities of the confined  $^4\text{He}$  system increase respect to the typical value of the bulk so that one has to increase the pressure up to about 56 atm to stabilize the solid phase; this is similar to what is found experimentally for  $^4\text{He}$  confined in porous Vycor glass (see ref.10-15 in <sup>[1]</sup>). We have found that near the melting density, in the solid phase, exchanges between  $^4\text{He}$  atoms are present like in the bulk solid at melting density in presence of a finite concentration of vacancies. In order to model a more realistic situation, the simulation of  $^4\text{He}$  confined in a nano-pore structure is under construction.

[1] E. Kim and M. H. W. Chan, *Nature* **427**, 225(2004).

[2] D. E. Galli, L. Reatto, *J. Low Temp. Phys.* **124**, 197(2001).

[3] D. E. Galli, L. Reatto, *Phys. Rav. Lett.* **90**, 175301/1(2003).

[4] D. E. Galli, L. Reatto, *Mol. Phys.* **101**, 1697(2003).

日時：2004年3月22日(月) 午後1時30～

場所：物性研究所6階 612号室

講師：吉森 明

(九州大学理学研究院物理学部門・助教授)

題目：構造ガラスへの化学反応理論の応用

要旨：

構造ガラスには微視的な理論はまだ確立されていない。そういう段階では現象論が重要な役割を果たすが、トラッピング拡散モデル(TDM)は、簡単な仮定から出発して、多くの現象の統一的な理解を与える。その仮定は構造ガラスに重要なジャンプ運動の速度分布に関係している。ジャンプ運動とは、1粒子の運動で細かい振動とは別に、大きな距離を動く運動を指す。TDMは、このジャンプ運動の速度がべきで分布することを仮定する。

ここでは、現象論の次の段階として、この仮定の微視的な基礎付けを議論する。化学反応の理論を使って、過冷却液体の緩和時間に分布があると、ジャンプ速度も分布することを示す。さらに、液体のダイナミクスを調べるのによく使われる近似から、べきの指数を微視的なパラメータと結びつける。

# 人 事 異 動

## 【研究部門等】

○ 平成16年2月1日付け

(転入)

氏名	所属	職名	異動内容
山室 修	附属中性子科学研究施設	助教授	大阪大学大学院理学研究科講師から

○ 平成16年3月1日付け

(採用)

氏名	所属	職名	異動内容
加藤 岳生	物性理論研究部門	助教授	大阪市立大学大学院工学研究科・工学部講師から
松浦 直人	附属中性子科学研究施設	助手	オークリッジ国立研究所ポストドクター研究員から

○ 平成16年3月16日付け

(転出)

氏名	所属	職名	異動内容
武田 直也	新物質科学研究部門	助教授	新潟大学工学部教授へ

○ 平成16年3月31日付け

(定年)

氏名	所属	職名	異動内容
石川 征靖	新物質科学研究部門	教授	定年退職
丸山 志津枝	物性理論研究部門	技術専門官	定年退職
吉田 辰彦	低温液化室	技術専門官	定年退職

(任期満了)

氏名	所属	職名	異動内容
後藤 恒昭	極限環境物性研究部門	教授	任期満了
藤井 保彦	附属中性子科学研究施設	教授	任期満了

(辞職)

氏名	所属	職名	異動内容
横谷 尚睦	先端分光研究部門	助手	財団法人高輝度光科学研究センターへ

(採用)

氏名	所属	職名	異動内容
佐藤 卓	附属中性子科学研究施設	助教授	採用(独立行政法人物質・材料研究機構から)

○ 平成16年4月1日付け

(辞職)

氏名	所属	職名	異動内容
藤原直樹	極限環境物性研究部門	助手	京都大学大学院人間・環境学研究科助教へ

(採用)

氏名	所属	職名	異動内容
大谷義近	ナノスケール物性研究部門	教授	採用(理化学研究所から)
小嶋映二	極限環境物性研究部門	助手	採用
伊藤功	附属軌道放射物性研究施設	技術職員	採用

(併任)

氏名	所属	職名	異動内容
金道浩一	極限環境物性研究部門	教授	大阪大学極限科学研究センター教授から

(客員併任)

氏名	所属	職名	異動内容
後藤輝孝	ナノスケール物性研究部門(客員)	教授	本務:新潟大学大学院自然科学研究科教授 任期:平成16年10月1日~平成17年3月31日
坂田英明	ナノスケール物性研究部門	助教授	本務:東京理科大学理学部助教授 任期:平成16年4月1日~平成16年9月30日
梅原出	ナノスケール物性研究部門	助教授	本務:横浜国立大学大学院工学研究院助教授 任期:平成16年4月1日~平成16年9月30日
有賀哲也	ナノスケール物性研究部門	助教授	本務:京都大学大学院理学研究科助教授 任期:平成16年10月1日~平成17年3月31日
石川修六	極限環境物性研究部門	助教授	本務:大阪市立大学大学院理学研究科助教授 任期:平成16年4月1日~平成17年3月31日
山本樹	極限環境物性研究部門	助教授	本務:高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所助教授 任期:平成16年4月1日~平成17年3月31日
瀬戸秀紀	先端分光研究部門	助教授	本務:京都大学大学院理学研究科助教授 任期:平成16年4月1日~平成17年3月31日
山本量一	先端分光研究部門	助教授	本務:京都大学大学院理学研究科講師 任期:平成16年4月1日~平成16年9月30日
陰山洋	先端分光研究部門	助教授	本務:新潟大学大学院自然科学研究科助教授 任期:平成16年10月1日~平成17年3月31日

【事務部】

○ 平成16年3月31日付け

(定年)

氏名	所属	職名	異動内容
赤石眞	経理課	課長補佐	定年退職

(辞職)

氏名	所属	職名	異動内容
千日坂美由紀	経理課	経理第二掛	北海道教育大学総務部総務課へ
菊地仁一	学務課	総務掛	大学共同利用機関法人自然科学研究機構本部総務課職員係主任へ
酒井芳夫	学務課	総務掛	放送大学学園修学支援・大学院指導係へ

○ 平成16年4月1日付け

(転出等)

氏名	所属	職名	異動内容
羽田 勇雄	企画課	企画課長	情報基盤センター事務長へ
覺張 邦夫	庶務課	庶務課長	史料編さん所事務長へ
羽野 敦子	庶務課	学術情報掛長	柏図書館研究情報係長へ
坏 陽子	庶務課	人事掛主任	教養学部等事務部総務課庶務係長へ
大橋 正浩	庶務課	共同利用掛主任	生産技術研究所総務課庶務係長へ
新井 寛	経理課	用度第二掛主任	理学系研究科施設係主任へ
森口 広美	駒場事務分室	総務掛主任	生産技術研究所総務課国際交流係長へ
曾我 典子	庶務課	学術情報掛	柏図書館研究情報係へ
鈴木 康之	経理課	施設第二掛	施設部整備課電気第二係へ

(採用)

氏名	所属	職名	異動内容
橋本 宏之	庶務課	共同利用係	採用(筑波大学から)
齋藤 節朗	学務課	教務係	採用(独立行政法人大学入試センターから)
五十嵐 久敬	駒場事務分室	総務係主任	採用(独立行政法人日本学術振興会から)
中川 繁	学務課	研究交流係	再雇用(アイソトープ総合センター事務主任から)

(転入等)

氏名	所属	職名	異動内容
中塚 数夫	企画課	企画課長	経理部主計課課長補佐から
白勢 祐次郎	学務課	学務課長	総務部人事課課長補佐から
日向 知実治	経理課	副課長	史料編さん所総務主任から
瀬戸 美香子	庶務課	人事係主任	医学部附属病院総務課職員掛主任から
山寺 祐介	経理課	用度第二係	経理部主計課から
小野間 健二	経理課	施設第二係	施設部電気通信設備課電気第四掛から
常行 晴美	学務課	総務係主任	工学部化学・生命系専攻事務室から
石田 さよ	学務課(本郷分室)	教務係	理学部学環・学府総務掛から

(事務部内異動)

氏名	所属	職名	異動内容
井上 幸太郎	庶務課	庶務課長	学務課長から
古川 稔子	学務課	総務係主任	企画課渉外・広報掛主任から
荻野 とみ	学務課(本郷分室)	教務係主任	学務課教務係主任から

(昇任)

氏名	所属	職名	異動内容
河原 博之	経理課	施設第二係主任	昇任
松本 武彦	経理課	用度第一係主任	昇任

# 東京大学物性研究所の教官公募の通知

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

1. 研究部門名等及び公募人員数  
先端分光研究部門（辛研究室） 助手 1名
2. 研究内容  
軟X線領域の分光実験により電子状態の研究を行う。特に超高分解能光電子分光を用いて強相関物質やナノ物質等の幅広い物質の物性研究を行うと同時に、時間分解光電子分光等の新しい研究分野の開発にも関心がある研究者を求める。分野の経験は問わない。
3. 応募資格  
修士課程修了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。
4. 任 期  
任期は5年とする。ただし、再任は可とし、1回を限度とする。
5. 公募締切  
平成16年4月23日（金）必着
6. 就任時期  
決定後なるべく早い時期を希望する。
7. 提出書類  
(イ) 推薦の場合：  
○推薦書（健康に関する所見を含む）  
○履歴書（略歴で結構です）  
○業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）  
○主要論文の別刷（5編以内）  
(ロ) 応募の場合  
○履歴書（略歴で結構です）  
○業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）  
○主要論文の別刷（5編以内）  
○健康診断書  
○所属の長又は指導教官等の本人についての意見書（宛先へ直送）
8. 書類提出先  
〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号  
東京大学柏地区庶務課人事掛  
電話 04(7136)3205  
e-mail [jijin-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp](mailto:jijin-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp)
9. 本件に関する問い合わせ先  
東京大学物性研究所先端分光研究部門 辛 埴  
電話 04-7136-3380  
e-mail [shin@issp.u-tokyo.ac.jp](mailto:shin@issp.u-tokyo.ac.jp)
10. 注意事項  
「辛研究室助手応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留で郵送のこと。
11. 選考方法  
東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成16年2月25日

東京大学物性研究所長  
上 田 和 夫

# 平成 16 年度前期 短期研究会一覽

研究会名	開催期日	参加予定 人員	提案者
LEEM・PEEM を用いた表面研究の 新しい展開	4月26日(月)～27日(火) (2日間)	70名	○越川 孝範(大阪電気通信大) 辛 埴(東大・物性研) 尾嶋 正治(東 京 大) 小林 啓介(高輝度光科学研究センター) 木下 豊彦(東大・物性研)
遍歴系の特異な磁性と磁性材料への 応用	5月13日(木)～15日(土) (3日間)	100名	○山田 鏑二(信 州 大) 深道 和明(東 北 大) 小山 佳一(東 北 大) 鹿又 武(東 北 学 院 大) 和田 裕文(京 都 大) 高橋 慶紀(姫 路 工 業 大) 後藤 恒昭(東大・物性研) 榊原 俊郎(東大・物性研) 上床 美也(東大・物性研)
極端非平衡系の物性とエネルギーラ ンドスケープ	8月9日(月)～10日(火) (2日間)	70名	○山室 修(東大・物性研) 高山 一(東大・物性研) 柴山 充弘(東大・物性研) 小田 垣孝(九 州 大) 金谷 利治(京 都 大) 深尾 浩次(京都工芸繊維大) 樋渡 保秋(金 沢 大) 笹井 理生(名 古 屋 大) 田中 秀樹(岡 山 大)

○は提案代表者

# 平成 16 年度前期外来研究員一覽

## 囑託研究員

氏 名	所 属	研 究 題 目	関係所員
近 藤 忠	東北大学理学研究科 助教授	レーザー加熱ダイヤモンドアンビル装置における測温システムの開発	八 木
深 井 有	中央大学理工学部 教 授	Pd-H系の高温高压下における相平衡関係の解明	〃
米 田 忠 弘	東北大学多元物質科学研究所 教 授	低温STM/STSによる吸着分子のダイナミクス	吉 信
山 口 茂 弘	名古屋大学理学研究科 助教授	有機バイ共役分子群をもちいたナノリンク系の物性	〃
多 田 博 一	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教授	ウェットプロセスにより化学修飾したSi表面の物性	〃
並 木 章	九州工業大学工学部 教 授	冷原子状水素源の開発と氷表面における反応ダイナミクスの研究	〃
百 瀬 英 毅	大阪大学低温センター 助 手	超強磁場下における半導体短周期超格子の遠赤外磁気光学効果に関する研究	嶽 山
横 井 裕 之	熊本大学工学部 助教授	一巻きコイル方式超強磁場下高压磁気光測定システムの開発	〃
高 柳 滋	北海道教育大学教育学部 教 授	多重極限関連装置の調整 (比熱)	上 床
折 茂 慎 一	東北大学金属材料研究所 助教授	高压ガス中での水素貯蔵材料合成システムの開発	〃
小 尾 淑 久	東北大学金属材料研究所 助 手	希土類薄膜水素化物の圧力効果	〃
梅 原 出	横浜国立大学工学研究院 助教授	高压下の比熱測定装置の開発	〃
坂 本 功	名古屋工業大学 教 授	希土類金属間化合物の圧力効果と物性評価	〃
稲 田 佳 彦	岡山大学教育学部 助教授	チャコール式 <sup>3</sup> He冷凍機の装置の開発	〃
吉 村 倫 拓	九州大学大学教育センター 助 手	X線吸収微細構造解析装置の調整	〃
松 本 武 彦	物質材料研究機構イコマテリアル研究センター 技術参与	非磁性圧力容器材料NiCrAl合金による圧力装置開発	〃
高 橋 博 樹	日本大学文理学部 助教授	多重極限関連装置の調整	〃
手 塚 泰 久	弘前大学理工学部 助教授	共鳴逆光電子分光の開発	辛
金 井 要	名古屋大学理学研究科 助 手	有機化合物の光電子分光	〃
竹 内 恒 博	名古屋大学難処理人工物研究センター 講 師	Bi系超伝導体の角度分解光電子分光	〃
河 合 潤	京都大学工学部教授	固体の発光実験	〃
鎌 田 雅 夫	佐賀大学シンクロトロン光応用研究センター 教 授	レーザーおよび放射光の同時照射の研究	〃
伊 藤 孝 寛	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助 手	有機物の光電子分光	〃
木 村 真 一	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教授	強相関系物質の共鳴逆光電子分光の研究	〃
鈴 木 拓	北九州市立大学国際環境工学部 講 師	軟X線スペックルの開発	〃
田 村 隆 治	東京理科大学基礎工学部 助 手	準結晶の高分解能光電子分光	〃

樋口 透	東京理科大学理学部 助手	共鳴逆光電子分光装置の開発	辛
石井 啓文	Synchrotron Radiation Research Center 研究員	X線非弾性散乱の研究	〃
菅 滋正	大阪大学基礎工学研究科 教授	高輝度光源を用いた固体分光実験設備の基本設計	柿崎
高橋 隆	東北大学理学研究科 教授	高分解能光電子による電子状態の研究	〃
上野 信雄	千葉大学工学部 教授	高輝度光源における有機薄膜光電子分光ビームラインの設計	〃
大門 寛	奈良先端科学技術大学院大学 教授	二次元表示型スピン分解光電子エネルギー分析器の開発	〃
田中 健一郎	広島大学理学研究科 教授	高輝度光源における表面化学研究用コインシデンス分光ビームラインの設計	〃
間瀬 一彦	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助教授	高輝度光源における表面化学研究用コインシデンス分光ビームラインの設計	〃
鎌田 雅夫	教授	レーザーと放射光を組み合わせた分光研究	〃
宮原 恒昱	東京都立大学理学研究科 教授	コヒーレント放射光を用いた分光研究	〃
小杉 信博	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 教授	高輝度光源を利用する分子分光実験設備の基本設計	〃
宇理須 恒雄	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 教授	表面光化学反応研究用高輝度光源大フラックスビームラインの設計	〃
仲武 昌史	広島大学放射光科学研究センター 助手	高輝度光源計画におけるスピン分解光電子分光実験ステーションの検討	〃
柳下 明	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授	高輝度光源を利用する原子分光実験設備の基本設計	〃
濱 広幸	東北大学理学研究科 教授	高輝度光源におけるシンクロトロン設計及び開発研究	中村
磯山 悟朗	大阪大学産業科学研究所 教授	アンジュレータの基本設計	〃
安東 愛之輔	姫路工業大学高度産業科学技術研究所 教授	高輝度光源計画のリング設計および軌道解析	〃
春日 俊夫	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授	加速器モニタリング・システムに関する研究	〃
設楽 哲夫	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 助教授	高輝度光源における線形加速器（ライナック）設計及び開発研究	〃
小林 幸則	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助教授	高輝度光源リングのラティス設計及び色収差に関する研究	〃
堀 洋一郎	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助教授	高輝度光源計画における真空システムの設計	〃
佐藤 政則	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 助手	ライナックの初期ビームローディング補正及びリングの軌道安定化の研究	〃
飛山 真理	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 助手	電子入射器の設計及びフィードバック・システムに関する開発	〃
本田 融	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助手	高輝度光源計画における電子ビームモニタの設計	〃
原田 健太郎	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助手	高輝度光源リングにおける誤差磁場や挿入光源磁場のビームへの影響に関する研究	〃
佐藤 佳裕	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 技 官	高輝度光源計画におけるコントロールシステムの設計計画	〃
伊澤 正陽	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授	高輝度光源計画における高周波加速空洞の開発研究	中村
加藤 政博	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教授	高輝度光源における電磁石の設計及び開発研究	〃
小関 忠	理化学研究所 前任研究員	高輝度光源リングにおける高周波加速及び電磁石システムの設計及び開発研究	〃
熊谷 教孝	高輝度光科学研究センター 部門長	高輝度光源加速器の設計及びビーム入射システムの研究	〃

田中均	高輝度光科学研究センター 副主席研究員	高輝度光源リングにおける低エミッタンスビームに関する研究	中村
高雄勝	高輝度光科学研究センター 主幹研究員	高輝度光源におけるビームの高品質化に関する研究	〃
手塚泰久	弘前大学理工学部 助教授	高輝度光源用直入射分光器の設計	木下
木村真一	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教授	〃	〃
鈴木章二	東北大学理学研究科 助教授	高輝度光源高分解能斜入射分光ビームラインの設計	〃
江島丈雄	東北大学多元物質科学研究所 助手	高輝度光源における軟X線ビームラインの検討	〃
福井一俊	福井大学遠赤外領域開発センター 助教授	高輝度光源用直入射分光器の設計	〃
曾田一雄	名古屋大学工学部 教授	高輝度光源私用発行実験装置の開発	〃
今田真	大阪大学基礎工学研究科 助教授	高輝度光源計画における、スピン分解光電子分光及び光電子顕微鏡ビームラインの設計	〃
木村昭夫	広島大学理学部 助教授	高輝度光源におけるスピン分解光電子分光実験ステーションの検討	〃
生天目博文	広島大学放射光科学研究センター 教授	高輝度放射光による高分解能光電子分光の検討	〃
島田賢也	広島大学放射光科学研究センター 助教授	〃	〃
斉藤裕樹	高エネルギー加速器研究機構 放射光研究施設 技官	高輝度光源ビームラインにおける制御系の開発	〃
見附孝一郎	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教授	高輝度光源における原子・分子分光ビームラインの検討	〃
小池雅人	日本原子力研究所光量子化学センター 主任研究員	高輝度光源計画における、高輝度放射光源回折格子ビームラインの設計	〃
斎藤祐児	日本原子力研究所放射光研究センター 研究員	高輝度光源計画における、高分解能分光器の検討	〃
大橋治彦	高輝度光科学研究センター放射光研究所 主幹研究員	高輝度光源ビームラインにおける光学素子冷却システムの検討	〃
梶谷剛	東北大学工学研究科 教授	中性子散乱装置のアップグレード計画実施	吉澤
野田幸男	東北大学多元物質科学研究所 教授	〃	〃
大山研司	東北大学金属材料研究所 助教授	〃	〃
岩佐和晃	東北大学金属材料研究所 教授	〃	〃
河原崎修三	大阪大学理学研究科 教授	〃	〃
日野正裕	京都大学原子炉実験所 助手	〃	〃
日高昌則	九州大学理学研究院 助教授	中性子散乱装置のアップグレード計画実施	〃
大竹淑恵	理化学研究所 前任研究員	〃	〃

一 般

氏 名	所 属	研 究 題 目	関係所員
ギ リ ラ ム	室蘭工業大学工学研究科 博士2年	充填スクッテルダイト化合物の高圧合成と熱電特性	八 木
城 谷 一 民	室蘭工業大学工学部 教 授	重希土類を持つスクッテルダイト化合物の高圧合成	〃
荒 関 信 人	室蘭工業大学工学研究科 博士1年	〃	〃
長谷川 正	東北大学金属材料研究所 助教授	高温超臨界流体を利用した高温高圧化での結晶成長技術の開発	〃
平 井 寿 子	筑波大学地球科学系 講 師	SiO <sub>2</sub> クラスレートの高圧構造変化	〃
町 田 真 一	筑波大学教育研究科 修士1年	〃	〃
中 辻 知	京都大学理学研究科 講 師	磁気フラストレーションに基づく重い電子状態における低温磁性	榊 原
町 田 一 成	岡山大学理学部 教 授	第2種超伝導体の渦の研究	〃
松 平 和 之	九州工業大学工学部 助 手	スピナイス化合物の磁場下における液体-気体型相転移の研究	〃
藤 山 茂 樹	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助 手	磁場誘起超伝導体における磁気的相互作用のNMRによる研究	瀧 川
吉 村 一 良	京都大学理学研究科 教 授	-NaV <sub>2</sub> O <sub>5</sub> における <sup>17</sup> Oをプローブとした核磁気共鳴実験	〃
和 氣 剛	京都大学理学研究科 博士1年	〃	〃
伊 東 裕	名古屋大学工学研究科 助教授	2価の価数をもつBEDT-TTF塩における電子状態の分光的研究	田 島
村 田 恵 三	大阪市立大学理学研究科 教 授	有機伝導体の低温磁場下光学測定	〃
吉 野 治 一	大阪市立大学理学研究科 講 師	〃	〃
中 西 努	大阪市立大学理学研究科 博士1年	〃	〃
鳥 塚 潔	神奈川工科大学 非常勤講師	有機薄膜の低温物性測定( )	〃
北 孝 文	北海道大学理学研究科 助教授	MgB <sub>2</sub> の電磁応答の理論的研究	松 田
森 山 広 思	東邦大学理学部 教 授	C <sub>60</sub> フラレーンアニオンラジカル塩の磁気特性	森
持 田 智 行	東邦大学理学部 助教授	フェロセン・ピフェロセン系金属錯体の合成と物性評価	〃
岡 澤 和 也	東邦大学理学研究科 修士1年	〃	〃
山 本 昌 司	北海道大学理学研究科 教 授	低次元磁性体包括的核磁気緩和理論の構築	高 橋 ( 貴 )
坂 井 徹	東北大学理学研究科 助教授	低次元磁性体の統計力学	〃
中 野 博 生	姫路工業大学理学研究科 助 手	量子スピン系の数値シミュレーション	〃
中 野 博 生	姫路工業大学理学研究科 助 手	強相関電子系における金属絶縁体転移の理論的研究	今 田
嶋 原 浩	広島大学先端物質科学研究科 助教授	電子フォノン相互作用による異方的超伝導におけるスピンと電荷の揺らぎの効果	甲 元
御 領 潤	青山学院大学工学部 助 手	スクッテルダイト超伝導PrOs <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> の対称性とメカニズム	〃
坂 本 一 之	東北大学理学研究科 助 手	STMとSTSを用いたグラファイト表面上に形成した一次元C <sub>60</sub> 鎖の研究	小 森
金 沢 育 三	東京学芸大学教育学部 教 授	低速陽電子ビームによる表面・界面の動的的研究	〃

大石 陽次郎	東京学芸大学教育学研究科 修士1年	低速陽電子ビームによる表面・界面の動的な研究	小 森
川村 隆明	山梨大学教育人間科学部 教授	結晶表面の原子配列制御	〃
石井 晃	鳥取大学工学部 助教授	半導体表面上の銀原子吸着と島・細線成長の第一原理計算	〃
河村 紀一	NHK放送技術研究所 主任研究員	ナノ磁性体応用研究	〃
宮岡 秀治	NHK放送技術研究所 ポストドクトラル研究員	〃	〃
古川 義純	北海道大学低温科学研究所 助教授	分子レベルでの不凍たんぱく質分子と氷結晶成長の相互作用の研究	吉 信
松浦 良樹	大阪大学蛋白質研究所 助教授	アミロース-ヨード複合体分子のSTMによる直視観察	〃
黒川 修	京都大学国際融合創造センター 助手	走査プローブ顕微鏡による半導体表面近傍のドーパントの原子分解能観察	長谷川
組頭 広志	東京大学工学系研究科 助手	放射光光電子分光による強相関酸化物薄膜・超格子の電子状態の研究	Lippmaa
橋本 龍司	東京大学工学系研究科 修士1年	〃	〃
松本 祐司	東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 講師	同軸型直衝突イオン散乱分光法による酸化物薄膜表面の構造解析	〃
目黒 伸也	物質・材料研究機構 技術補助員	薄膜合成と新規酸化物発見のためのソフトウェアツールの開発	〃
和田 信雄	名古屋大学理学研究科 教授	メゾ多孔体中ヘリウム3量子流体の研究	石 本
河野 公俊	理化学研究所 主任研究員	量子流体の表面物性の研究	〃
椋田 秀和	理化学研究所 研究員	〃	〃
池上 弘樹	理化学研究所 研究員	〃	〃
川崎 健司	理化学研究所 協力研究員	〃	〃
秋元 彦太	理化学研究所 技術開発研究員	〃	〃
音 賢一	千葉大学理学部 助教授	タイプ 高密度状態の強磁場量子磁気伝導	嶽 山
藤川 敦史	千葉大学自然科学研究科 博士1年	〃	〃
室 清文	千葉大学理学部 教授	磁気ポーラロン超強磁場磁気光学	〃
山室 智文	千葉大学自然科学研究科 博士1年	〃	〃
森 伸也	大阪大学工学研究科 助教授	超強磁場下における半導体短周期超格子のサイクロトロン共鳴に関する研究	〃
百瀬 英毅	大阪大学低温センター 助手	〃	〃
出口 央	大阪大学工学研究科 博士1年	〃	〃
濱口 智尋	高知工科大学 客員教授	〃	〃
松田 康弘	岡山大学理学部 助教授	超強磁場下における希薄磁性半導体のサイクロトロン共鳴	〃
横井 裕之	熊本大学工学部 助教授	系半導体量子井戸中2次元電子ガスの強磁場下磁気光学非線形特性	〃
原田 修治	新潟大学工学部 教授	低温下における金属中の水素の量子効果	久保田
荒木 秀明	長岡工業高等専門学校 助手	〃	〃

千代浦 祐 紀	新潟大学自然科学研究科 博士1年	低温下における金属中の水素の量子効果	久保田
今 井 彰 夫	新潟大学工学部 修士1年(予)	"	"
松 原 明	京都大学低温物質科学研究センター 助教授	回転超流動 <sup>3</sup> HeのNMR実験	"
佐々木 豊	京都大学低温物質科学研究センター 助教授	"	"
山 下 穰	京都大学理学研究科 博士2年	"	"
山 谷 和 彦	北海道大学工学研究科 教 授	低次元導体における超高压・低温下の異常な電子状態	上 床
四 方 亮 輔	北海道大学工学研究科 修士1年	"	"
小 島 憲 道	東京大学総合文化研究科 教 授	架橋八口ゲンを制御した金混合原子価錯体の高压化構造解析	"
榎 本 真 哉	東京大学総合文化研究科 助 手	"	"
仲 本 亜希雄	東京大学総合文化研究科 博士1年	"	"
池 田 和 寛	東京大学総合文化研究科 博士1年	"	"
大 塩 寛 紀	筑波大学化学系 教 授	一次元白金錯体の電気伝導度の圧力効果	"
山 本 千 尋	筑波大学教育研究科 修士1年	"	"
北 川 宏	九州大学理学研究院 教 授	"	"
谷 口 弘 三	埼玉大学理学部 助 手	有機導体における超高压印加による物性研究	"
永 井 卓 也	埼玉大学理学研究科 修士1年	"	"
毛 利 信 男	埼玉大学理学部 教 授	YbInCu <sub>4</sub> 系物質の価数揺動と物性	"
才 賀 裕 太	埼玉大学理工学研究科 博士1年	"	"
小 坂 昌 史	埼玉大学理学部 助教授	炭素や硼素を含む希土類金属間化合物の単結晶育成	"
加 藤 慶 顕	埼玉大学理工学研究科 博士1年	"	"
原 良 平	埼玉大学理工学研究科 博士1年	"	"
小 坂 昌 史	埼玉大学理学部 助教授	圧力下における熱電能測定システムの開発	"
柏 木 洋 行	埼玉大学理工学研究科 博士1年	"	"
岩 田 広太郎	埼玉大学理工学研究科 修士1年(予)	"	"
梅 原 出	横浜国立大学工学研究院 助教授	Ce <sub>2</sub> RhIn <sub>8</sub> とCePd <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の低温高压比熱	"
富 岡 史 明	横浜国立大学工学研究院 博士2年	"	"
坂 本 功	名古屋工業大学工学部 教 授	重い電子系超伝導体Ce <sub>2</sub> CoIn <sub>8</sub> の超伝導特性	"
繁 岡 透	山口大学理学部 教 授	TbRh <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> の磁気転移	"
樋 森 明 登	山口大学理工学研究科 博士2年	"	"
繁 岡 透	山口大学理学部 教 授	DyCu <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> の異常メタ磁性	"

木村 渚 康	山口大学理工学研究科 修士1年	DyCu <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> の異常メタ磁性	上 床
巨海 玄 道	九州大学理学研究院 教 授	インパー合金における圧力誘起量子相転移の探索	”
大橋 政 司	九州大学理学研究院 助 手	”	”
斎藤 稜 平	九州大学理学府 修士2年	”	”
大橋 政 司	九州大学理学研究院 助 手	強相関電子系化合物における圧力および磁場誘起量子相転移の探索	”
秋山 秀 治	九州大学理学府 修士2年	”	”
北川 宏	九州大学理学研究院 教 授	金属ダイマー鎖型部分酸化錯体における高压物性	”
山内 美 穂	九州大学理学研究院 助 手	”	”
矢ヶ崎 克 馬	琉球大学理学部 教 授	スピネル化合物の高压・強磁場における輸送特性	”
仲間 隆 男	琉球大学理学部 助教授	”	”
野津 史 耕	琉球大学理工学研究科 博士2年	”	”
高江洲 義 尚	琉球大学理工学研究科 博士2年	スピネル化合物の高压・強磁場における輸送特性	”
菅原 仁	東京都立大学理学研究科 助 手	充填スクッテルライト化合物の高压下における電子輸送効果	”
佐藤 英 行	東京都立大学理学研究科 教 授	”	”
菊池 大 輔	東京都立大学理学研究科 修士2年	”	”
四方 周 輔	北海道東海大学 教 授	LaSr <sub>2</sub> 14酸化物高温超伝導体のホール係数の圧力効果	”
高橋 博 樹	日本大学文理学部 教 授	デラフォサイト型遷移金属酸化物の高压下電気抵抗測定	”
柳川 郁 雄	日本大学総合基礎科学研究科 修士2年	”	”
三浦 康 弘	桐蔭横浜大学工学部 助教授	導電性ラングミュア・プロジェクト膜の電氣的性質	”
盛田 伸 一	桐蔭横浜大学工学部 学振特別研究員	”	”
石井 康 之	理化学研究所 協力研究員	擬二次元分子性導体Pd(demit) <sub>2</sub> 塩の高压下輸送現象測定	”
太田 仁	神戸大学分子フォトサイエンス研究センター 教 授	パルス強磁場とマイクロカンチレバーを用いたESR測定装置の開発	長 田
木俣 基	神戸大学自然科学研究科 博士1年	”	”
矢口 裕 之	埼玉大学工学部 助教授	-N混晶半導体のフォトルミネッセンス特性に関する研究	秋 山
森 桶 利 和	埼玉大学理工学研究科 博士2年	”	”
Mark Jablonski	東京大学先端科学技術研究センター 外国人協力研究員	カーボンナノチューブによるモード同期超短パルスレーザーの開発	”
Sze Yun Set	東京大学先端科学技術研究センター 外国人協力研究員	”	”
石井 晃	鳥取大学工学部 助教授	GaAs(110)結晶成長の第一原理計算と動的モンテカルロシミュレーション	”
小柴 俊	香川大学工学部 教 授	化合物半導体ナノ・ヘテロ構造の光学特性の評価と形成機構	”
神藤 欣 一	東京工業大学総合理工学研究科 助 手	モンテカルロ法による合金の相変態、相安定性の研究と新物質の探索	高 山

大野 隆	徳島大学工学部 教授	規則格子R <sub>2</sub> BaMn <sub>2</sub> O <sub>6</sub> のNMRによる研究	上田 (寛)
奥田 哲治	鹿児島大学	低次元導体における超高压・低温下の異常な電子状態	廣井

### 物質合成・評価設備Pクラス

氏名	所属	研究題目	関係所員
中山 則昭	山口大学工学部 助教授	強相関係遷移金属酸化物の透過電子顕微鏡法による研究	上田 (寛)
稲辺 保	北海道大学理学研究科 教授	分子性伝導体における強相関効果の研究	田島
内藤 俊雄	北海道大学理学研究科 助教授	"	田島

### 物質合成・評価設備Gクラス

氏名	所属	研究題目	関係所員
金澤 英樹	京都大学人間・環境学研究所 博士1年	ケイ酸塩単結晶の合成	物質合成室
野原 実	東京大学新領域創成科学研究科 助教授	層状遷移金属酸化物およびカルコゲナイドの超伝導と熱電特性	化学分析室
横道 治男	富山県立大学工学部 助教授	電気化学的手法により合成されたカーボンナノチューブの形状に関する研究	化学分析室 電子顕微鏡室
元島 栖二	岐阜大学 教授	触媒CVD法で得られたカーボンナノコイルの微細構造解析	電子顕微鏡室
緒方 啓典	法政大学工学部 助教授	新規ナノチューブ状物質の合成と構造評価	"
神戸 士郎	山形大学理工学研究科 助教授	Bi2201超伝導体のPb置換効果	電磁気測定室
藤原 正彰	山形大学理工学研究科 博士1年	"	"
木村 薫	東京大学新領域創成科学研究科 教授	ボロン系正20面体クラスター固体の電子物性に関する研究	"
曾我 公平	東京大学新領域創成科学研究科 助手	"	"
竹田 真帆人	横浜国立大学工学研究院 助教授	ナノ磁性微粒子の微視的組織変化と磁気的性質	"
小池 亮	横浜国立大学工学研究院 修士1年	"	"
廣井 政彦	鹿児島大学理学部 助教授	ホイスラー型合金の磁性と伝導の研究	"
中津 隆一	鹿児島大学理工学研究科 博士1年	"	"
吉田 喜孝	いわき明星大学理工学部 教授	閉殻構造炭素に内包された金属炭化物の超伝導特性に関する研究	"
小島 憲道	東京大学総合文化研究科 教授	架橋ハロゲンを制御した金混合原子価錯体のラマン分光法による研究	光学測定室
池田 和寛	博士1年	"	"

### 長期留学研究員

氏名	所属	研究題目	関係所員
津留 道孝	東海大学理学研究科 博士2年	X線レーザー及び高エネルギーTi Sapphire Laser実験	黒田

# 平成 16 年度 中性子回折装置共同利用採択課題一覧

所 属	研究代表者	研 究 課 題 名	申請装置
物質・材料研究機構	佐藤 卓	p 型 ZnMgRE(RE: 希土類元素) 準結晶の磁性	GPTAS
日本原子力研究所	大和田 謙 二	リラクサーPb(In <sub>1</sub> /2Nb <sub>1</sub> /2)O <sub>3</sub> のフォノン測定	PONTA
CNRS/LTPCM ENSEEG/INPG	Marc de Boissieu	Zn-Mg-Sc 準結晶および Zn-Sc 近似結晶の格子振動	PONTA
産業技術総合研究所	李 哲 虎	La <sub>2</sub> -y-xNd <sub>y</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> のスピンの揺動	TOPAN
産業技術総合研究所	李 哲 虎	高効率熱電材料スクテルライトの格子振動	TOPAN
物質・材料研究機構	佐藤 卓	p 型 ZnMgRE(RE: 希土類元素) 準結晶の磁性	HER
産業技術総合研究所	李 哲 虎	La <sub>2</sub> -y-xNd <sub>y</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> のスピンの揺動	HER
理化学研究所	池田 一 昭	高Q平面および曲面多層膜スーパーミラーの冷中性子反射特性評価	MINE-2
産業技術総合研究所	李 哲 虎	La <sub>2</sub> -y-xNd <sub>y</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> のスピンの揺動	KSD
産業技術総合研究所	小林 弘 典	MEMを用いた層状酸化物Li(NiMnCo)O <sub>2</sub> の規則構造の解明	HERMES
産業技術総合研究所	野村 勝 裕	(La, Sr)MnO <sub>3</sub> 系ペロブスカイト型酸化物の高温中性子回折	HERMES
産業技術総合研究所	野村 勝 裕	(La <sub>0.9</sub> Sr <sub>0.1</sub> )MO <sub>3</sub> (M = Al, Ga, Sc, In) 系ペロブスカイト型酸化物イオン導電体の高温中性子回折	HERMES
産業技術総合研究所	李 哲 虎	高効率熱電材料スクテルライトの格子振動	HERMES
東京大学物性研究所	吉 沢 英 樹	4G (汎用3軸型中性子分光器) IRT課題	GPTAS
島根大学教育学部	秋 重 幸 邦	還元六方晶チタン酸バリウムの高圧誘起絶縁体・金属転移	GPTAS
北海道大学 理学研究科	網 塚 浩	URu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> における隠れた秩序と反強磁性秩序の競合	GPTAS
高エネルギー加速器研究機構	伊 藤 晋 一	二次元パーコレーション反強磁性体における磁気フラクトンの観測	GPTAS
早稲田大学理工学部	上江洲 由 晃	臨界組成をもつ量子強誘電体におけるTOフォノンとTAフォノンの挙動	GPTAS
高エネルギー加速器研究機構	梶 本 亮 一	非整合磁気秩序を示すTbMnO <sub>3</sub> のスピンの揺らぎ	GPTAS
東京都立大学理学研究科	門 脇 広 明	カーボンナノチューブに吸着されたArの構造と運動	GPTAS
東京都立大学理学研究科	門 脇 広 明	カゴメアイスにおけるスピン相関	GPTAS
山形大学理学部	亀 田 恭 男	濃厚尿素水溶液中における尿素分子のカルボニル基周囲の水和構造	GPTAS
大阪大学理学研究科	河原崎 修 三	重い電子系の量子臨界領域の磁気秩序の研究	GPTAS
東京都立大学理学研究科	神 木 正 史	希土類 6 硼化物RB <sub>6</sub> におけるフォノン異常	GPTAS
東京大学物性研究所	榊 原 俊 郎	PrPb <sub>3</sub> の反強四重極秩序	GPTAS
島根大学教育学部	重 松 宏 武	Rb <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> の低温不整合相転移とフォノン分散	GPTAS
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	重い電子系のスピン密度波/電荷密度波とフォノン	GPTAS
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	フラストレート磁性体Y <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 及びその近縁物質におけるスピングラス転移と磁気相関	GPTAS
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	一軸異方性をもつ反強磁性体の横磁場誘起量子相転移	GPTAS

愛媛大学工学部	富吉昇一	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系熱電材料のフォノンの中性子散乱による研究	GPTAS
お茶の水女子大学理学部	永田貴志	三角格子物質;Na <sub>x</sub> CoO <sub>2</sub> ・yD <sub>2</sub> Oの超伝導と磁性	GPTAS
お茶の水女子大学理学部	永田貴志	Sr <sub>2</sub> RuO <sub>4</sub> 系の帯磁率測定と超伝導対称性	GPTAS
富山県立大学工学部	福原忠	CeNi <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> の圧力下の磁気転移	GPTAS
お茶の水女子大学理学部	古川はづき	Sr <sub>2</sub> RuO <sub>4</sub> の強磁性揺らぎの検証	GPTAS
お茶の水女子大学理学部	古川はづき	La <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> TiO <sub>3</sub> における磁性と軌道整列	GPTAS
山口大学理学部	増山博行	亜硝酸ナトリウムの格子振動と緩和型モード	GPTAS
東京理科大学理学部	満田節生	三角格子反強磁性体CuFeO <sub>2</sub> の擬Ising性と磁気励起	GPTAS
東京理科大学理学部	満田節生	幾何学的スピンフラストレーション系に特有な磁区成長過程	GPTAS
東京理科大学理工学部	元屋清一郎	希釈磁性体の原子秩序制御と磁気相関・磁気励起	GPTAS
東京理科大学理工学部	元屋清一郎	ランダム磁性体における異なる磁気相関・磁気励起の共存	GPTAS
茨城大学理学部	横山淳	一軸応力による重い電子系反強磁性体の物性制御	GPTAS
東京大学物性研究所	吉沢英樹	CaAlSiのフォノンと超伝導オーダーパラメータのゆらぎ	GPTAS
東京大学物性研究所	吉沢英樹	Nd <sub>1-x</sub> Sr <sub>1+x</sub> MnO <sub>4</sub> における軌道状態の競合	GPTAS
東京大学物性研究所	廣田和馬	高性能偏極中性子散乱装置PONTA	PONTA
島根大学教育学部	秋重幸邦	還元六方晶チタン酸バリウムの高圧誘起絶縁体・金属転移	PONTA
青山学院大学理工学部	秋光純	La <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> TiO <sub>3</sub> (x = 0, 0.3)における軌道秩序及び磁気励起の研究	PONTA
青山学院大学理工学部	秋光純	Lu <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の軌道秩序の観測	PONTA
青山学院大学理工学部	秋光純	DyB <sub>2</sub> C <sub>2</sub> の四重極秩序の直接観測	PONTA
青山学院大学理工学部	秋光純	新しいスピン・パイエルス物質における相転移と磁気励起	PONTA
青山学院大学理工学部	秋光純	超伝導体NbB <sub>2+x</sub> におけるフォノン分散の研究	PONTA
東京大学物性研究所	阿曾尚文	圧力誘起強磁性体Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の一軸圧下での結晶構造解析	PONTA
北海道大学 理学研究科	網塚浩	URu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> における隠れた秩序と反強磁性秩序の競合	PONTA
東北大学理学研究科	岩佐和晃	PrFe <sub>4</sub> P <sub>12</sub> における重い電子系-四重極秩序相転移と軌道励起	PONTA
東北大学理学研究科	岩佐和晃	金属-絶縁体転移系PrRu <sub>4</sub> P <sub>12</sub> における磁気異常の原因	PONTA
京都大学理学研究科	陰山洋	新規二次元スピンギャップ物質(CuCl)LaNb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の非弾性中性子散乱	PONTA
京都大学理学研究科	陰山洋	金属絶縁体転移化合物Bi <sub>x</sub> V <sub>8</sub> O <sub>16</sub> の電荷・スピン・軌道秩序	PONTA
京都大学化学研究所	金谷利治	高分子ガラス化過程におけるモーショナルスローイングダウン	PONTA
筑波大学物理工学系	喜多英治	ZnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> の中性子散乱	PONTA
東京都立大学理学研究科	桑原慶太郎	偏極中性子によるURu <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の隠れた秩序に関する研究	PONTA
東京都立大学理学研究科	神木正史	重い電子系超伝導体 UGe <sub>2</sub> における強磁性と超伝導の共存	PONTA
名古屋大学理学研究科	佐藤憲昭	UGe <sub>2</sub> における強磁性と超伝導の共存状態の研究	PONTA
名古屋大学大学院	佐藤正俊	高温超伝導体の磁気励起	PONTA
早稲田大学理工学部	角田頼彦	次世代型記録メディアPtFe規則合金のフォノン分散関係	PONTA
お茶の水女子大学理学部	外館良衛	NiOおよびドーブしたNiOのスピンダイナミクス	PONTA

早稲田大学理工学部	富安啓輔	CoOのパラマグノンの測定によるフラストレーションの検証	PONTA
秋田大学教育文化学部	留野泉	高温におけるPbTiO <sub>3</sub> のフォノン分散	PONTA
秋田大学教育文化学部	留野泉	NaNbO <sub>3</sub> のフォノン分散	PONTA
秋田大学教育文化学部	留野泉	BiVO <sub>4</sub> のフォノン分散	PONTA
秋田大学教育文化学部	留野泉	RVO <sub>4</sub> の音響フォノン	PONTA
秋田大学教育文化学部	留野泉	KTa <sub>1-x</sub> NbxO <sub>3</sub> (x=0,0.1)のフォノン	PONTA
東京大学物性研究所	西正和	二本脚梯子系 Sr <sub>0.33</sub> V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PONTA
東京大学物性研究所	西正和	VOSb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> のスピンの・パイエルズ転移	PONTA
東京大学物性研究所	西正和	La <sub>4</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub> O <sub>10</sub> の強磁性	PONTA
東京大学物性研究所	西正和	古典的直交ダイマー模型Nd <sub>2</sub> BaZnO <sub>5</sub>	PONTA
東京大学物性研究所	廣田和馬	不純物置換効果を利用した高温超伝導体La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> における磁気レゾナンスピークの探索	PONTA
芝浦工業大学システム工学部	堀富栄	RMn <sub>6</sub> Sn <sub>6</sub> 合金の磁気構造	PONTA
東北大学理学研究科	岩佐和晃	東北大学偏極中性子分光器TOPAN	TOPAN
青山学院大学理工学部	秋光純	La <sub>x</sub> Y <sub>1-x</sub> VO <sub>3</sub> (x = 0,0.7,1)の軌道秩序の観測	TOPAN
青山学院大学理工学部	秋光純	Ca <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> RuO <sub>4</sub> (x = 0,0.2)の軌道秩序とその揺らぎの研究	TOPAN
電気通信大学電気通信学部	浅井吉蔵	LaCoO <sub>3</sub> 中のCo <sup>3+</sup> 中間スピン状態の軌道揺らぎに伴うフォノン異常	TOPAN
東北大学理学研究科	岩佐和晃	Ceモノブニクタイトのp-f混成軌道による励起構造	TOPAN
東北大学理学研究科	岩佐和晃	PrFe <sub>4</sub> P <sub>12</sub> における重い電子系-四重極秩序相転移と軌道励起	TOPAN
東北大学理学研究科	岩佐和晃	充填スクッテルダイトPrOs <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> のフォノン(ラットリング)	TOPAN
東北大学大学院理学研究科	岩佐和晃	Yb <sub>4</sub> As <sub>3</sub> の電荷秩序構造相転移におけるソフトフォノン	TOPAN
東北大学金属材料研究所	大山研司	強誘電体LiNbO <sub>3</sub> での電荷放出の起源の研究	TOPAN
東北大学金属材料研究所	大山研司	四極子秩序物質RB <sub>2</sub> C <sub>2</sub> でのスピン格子ダイナミクス	TOPAN
東北大学多元物質科学研究所	木村宏之	La <sub>1.875</sub> Ba <sub>0.125-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> 高温超伝導体における電荷ストライプ秩序と低エネルギーフォノン	TOPAN
東北大学工学研究科	小池洋二	高温超伝導体における電荷ストライプ揺らぎと超伝導の相関	TOPAN
東京都立大学理学研究科	神木正史	CeOs <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> における近藤半導体的異常の研究	TOPAN
東京都立大学理学研究科	神木正史	CeRu <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> における非フェルミ液体的異常の研究	TOPAN
東北大学金属材料研究所	平賀晴弘	金属Crの電荷密度波における揺らぎの探査	TOPAN
東京大学物性研究所	廣田和馬	高温超伝導体La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> における低エネルギー磁気励起と静的磁気相関の磁性・非磁性不純物置換効果	TOPAN
東北大学金属材料研究所	藤田全基	電子ドーピング型高温超伝導体の磁気揺らぎに対する不純物効果	TOPAN
東北大学金属材料研究所	藤田全基	La <sub>214</sub> 系のアンダードーピング領域における低エネルギー磁気揺らぎと結晶構造の相関	TOPAN
東北大学理学研究科	松村武	三角格子ヘビーフェルミオンYbAgGeの磁気構造とスピン揺動	TOPAN
東北大学理学研究科	松村武	TmTeの高圧下金属相における磁気励起	TOPAN
京都大学低温物質科学研究センター	壬生攻	界面効果を利用したCr薄膜のスピン構造制御-スピン密度波の温度依存位相スリップの検証-	TOPAN
東京大学物性研究所	阿曾尚文	C1-1 (HER) IRT課題	HER
島根大学教育学部	秋重幸邦	還元六方晶チタン酸バリウムの高圧誘起絶縁体・金属転移	HER

青山学院大学理工学部	秋 光 純	新しいスピン・パイエルス物質における相転移と磁気励起	HER
青山学院大学理工学部	秋 光 純	YbB6の結晶・磁気構造解析	HER
北海道大学理学研究科	網 塚 浩	URu2Si2における隠れた秩序と反強磁性秩序の競合	HER
高エネルギー加速器研究機構	伊 藤 晋 一	二次元パーコレーション反強磁性体における磁気フラクトンの観測	HER
東北大学理学研究科	岩 佐 和 晃	PrFe4P12における重い電子系-四重極秩序相転移と軌道励起	HER
東北大学理学研究科	岩 佐 和 晃	充填スクッテルダイトPrOs4Sb12のフォノン(ラットリング)	HER
東北大学理学研究科	岩 佐 和 晃	金属-絶縁体転移系PrRu4P12における磁気異常の原因	HER
東北大学理学研究科	岩 佐 和 晃	Yb4As3の電荷秩序構造相転移におけるソフトフォノン	HER
東北大学金属材料研究所	大 山 研 司	四極子秩序物質RB2C2でのスピン格子ダイナミクス	HER
京都大学理学研究科	陰 山 洋	新規二次元スピンギャップ物質(CuCl)LaNb2O7の非弾性中性子散乱	HER
高エネルギー加速器研究機構	梶 本 亮 一	非整合磁気秩序を示すTbMnO3のスピン揺らぎ	HER
東京都立大学理学研究科	門 脇 広 明	フラストレートしたパイロクロア磁性体の研究	HER
東京都立大学理学研究科	門 脇 広 明	Ce(Ni <sub>1-x</sub> pdx) <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> (x=0.08)の量子臨界点におけるスピン揺らぎ	HER
東京都立大学理学研究科	門 脇 広 明	量子臨界点におけるスピン揺らぎの臨界指数	HER
東北大学多元物質科学研究所	木 村 宏 之	La <sub>1.875</sub> Ba <sub>0.125-x</sub> SrxCuO <sub>4</sub> 高温超伝導体における電荷ストライプ秩序と低エネルギーフォノン	HER
東北大学工学研究科	小 池 洋 二	高温超伝導体における電荷ストライプ揺らぎと超伝導の相関	HER
東京都立大学理学研究科	神 木 正 史	CeOs <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> における近藤半導体的異常の研究	HER
東京都立大学理学研究科	神 木 正 史	CeRu <sub>4</sub> Sb <sub>12</sub> における非フェルミ液体的異常の研究	HER
名古屋大学理学研究科	佐 藤 憲 昭	UGe <sub>2</sub> における強磁性と超伝導の共存状態の研究	HER
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	量子グリフィス相におけるスピンドイナミクス	HER
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	重い電子系のスピン密度波/電荷密度波とフォノン	HER
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	フラストレート磁性体Y <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 及びその近縁物質におけるスピングラス転移と磁気相関	HER
大阪大学理学研究科	田 畑 吉 計	一軸異方性をもつ反強磁性体の横磁場誘起量子相転移	HER
早稲田大学理工学部	角 田 頼 彦	特異な原子価状態におけるフラストレーション系の研究 1 II	HER
早稲田大学理工学部	富 安 啓 輔	弱い磁気幾何学的フラストレーション系MnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> のスピン構造とスピンドイナミクス	HER
お茶の水女子大学理学部	永 田 貴 志	三角格子物質:NaxCoO <sub>2</sub> ・yD <sub>2</sub> Oの超伝導と磁性	HER
東京大学物性研究所	西 正 和	擬一次元磁性鎖をもつ LiTiSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> の磁性	HER
東京大学物性研究所	廣 田 和 馬	高温超伝導体La <sub>2-x</sub> SrxCuO <sub>4</sub> における低エネルギー磁気励起と静的磁気相関の磁性・非磁性不純物置換効果	HER
東北大学金属材料研究所	藤 田 全 基	電子ドーブ型高温超伝導体の磁気揺らぎに対する不純物効果	HER
東北大学金属材料研究所	藤 田 全 基	La <sub>214</sub> 系のアンダードーブ領域における低エネルギー磁気揺らぎと結晶構造の相関	HER
お茶の水女子大学理学部	古 川 はづき	Sr <sub>2</sub> RuO <sub>4</sub> の強磁性揺らぎの検証	HER
東北大学理学研究科	松 村 武	三角格子ヘビーフェルミオンYbAgGeの磁気構造とスピン揺動	HER
東京理科大学理学部	満 田 節 生	三角格子反強磁性体CuFeO <sub>2</sub> の擬Ising性と磁気励起	HER
東京理科大学理学部	満 田 節 生	幾何学的スピンフラストレーション系に特有な磁区成長過程	HER
東京理科大学理工学部	元 屋 清一郎	ランダム磁性体における異なる磁気相関・磁気励起の共存	HER

東京大学物性研究所	吉 沢 英 樹	CaAlSiのフォノンと超伝導オーダーパラメータのゆらぎ	HER
東京大学物性研究所	吉 沢 英 樹	Nd <sub>1-x</sub> Sr <sub>1+x</sub> MnO <sub>4</sub> における軌道状態の競合	HER
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	二次元位置測定小角散乱装置SANS-U	SANS-U
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	Phase behavior of weakly charged PNIPA-co-Acrylic acid gels and solutions in the P-T plane	SANS-U
山形大学理工学研究科	和 泉 義 信	コントラスト変調法によるミリストイル化タンパク質とカルモデュリン複合体の溶液構造解析	SANS-U
東京大学 新領域創成科学研究科	伊 藤 耕 三	トポロジカルゲルの滑車効果と不均一性解析	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	今 井 正 幸	ラメラ・Double Gyroid 転移における Least Stable Fluctuation Modes のスローダイナミクス	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	今 井 正 幸	両親媒性ブロック共重合体を埋め込んだ分子膜の静的および動的構造	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	今 井 正 幸	膜間に閉じ込められた棒状粒子(TMV)が膜の弾性的性質に及ぼす影響	SANS-U
東京都立大学理学研究科	加 藤 直	ずり流動場により誘起される界面活性剤ラメラ相の局所的相分離と膜のダイナミクス	SANS-U
京都大学化学研究所	金 谷 利 治	シリカ微粒子上にグラフとした高分子鎖のダイナミクス	SANS-U
京都大学化学研究所	金 谷 利 治	せん断流動下におけるポリエチレンの結晶化過程	SANS-U
京都大学化学研究所	金 谷 利 治	ポリエチレン延伸結晶化物の構造	SANS-U
京都大学原子炉実験所	川 口 昭 夫	ポリアミドコンプレックスの膨潤活性化と構造	SANS-U
名古屋大学工学研究科	川 口 大 輔	新規相溶性ポリマーブレンドの相互作用パラメータの評価	SANS-U
東京都立大学理学研究科	川 端 庸 平	C <sub>16</sub> E <sub>6</sub> ・水 2 元系における温度・圧力効果	SANS-U
名古屋大学工学研究科	北 野 利 明	高結晶性ポリオキシメチレン中の単分散リングポリマーの中性子小角散乱によるキャラクタリゼーション	SANS-U
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	高機能性ナノコンポジット型ハイドロゲルの機能発現メカニズムの解明	SANS-U
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	オイルゲル化剤で形成された有機ゲルの構造と緩和機構の解明	SANS-U
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	弱荷電高分子ゲル粒子のマイクロ送分離挙動へのゲルサイズ依存	SANS-U
東京大学物性研究所	柴 山 充 弘	水-エタノール混合状態の高分子ゲルへの転写	SANS-U
京都大学理学部	瀬 戸 秀 紀	リン脂質水溶液に見られる膨潤ゲル相の形成要因	SANS-U
名古屋大学工学研究科	高 野 敦 志	単分散カテナン型ポリスチレンの溶液中におけるコンフォメーション	SANS-U
名古屋大学工学研究科	高 野 敦 志	環状ポリスチレンの溶液中、およびバルク中における拡がりの分子量依存性	SANS-U
九州大学総合理工学研究院	高 橋 良 彰	回転型試料交換機の整備とそれを利用したポリビニルアルコール/アルキル酸トリウム混合溶液からのIPNの形成過程の研究	SANS-U
佐賀大学理工学部	高 椋 利 幸	温度低下にともなうアセトニトリル-水混合溶液の相分離現象	SANS-U
佐賀大学理工学部	高 椋 利 幸	中性子小角散乱法によるアミド溶媒の混合状態に関する研究	SANS-U
広島大学総合科学部	武 田 隆 義	両親媒子系複雑液体の構造とダイナミクス	SANS-U
東京大学物性研究所	長 尾 道 弘	ゲル中に構造凍結された球状マイクロエマルジョンの構造解析	SANS-U
東京大学物性研究所	長 尾 道 弘	非イオン性界面活性剤系マイクロエマルジョンの圧力誘起構造相転移	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	永 田 貴 志	Sr <sub>2</sub> RuO <sub>4</sub> 系の帯磁率測定と超伝導対称性	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	中 谷 香 織	高分子鎖が誘起する球状マイクロエマルジョンの逐次相転移	SANS-U
お茶の水女子大学理学部	中 谷 香 織	メゾ球空間に拘束された高分子鎖のコイル-グロビュール転移	SANS-U
京都大学工学研究科	長谷川 博 一	ABCトリブロックコポリマーのナノ拘束空間における自己組織化過程に関する研究	SANS-U
群馬大学工学部	平 井 光 博	スフィンゴ糖脂質ミクロドメインと抗体との相互作用に伴う膜構造変化の解析	SANS-U

お茶の水女子大学理学部	古川 はづき	強磁性超伝導体の自発的渦糸構造の観測	SANS-U
東京農工大学工学部	古川 英 光	末端架橋型ポリイミドゲルの微細網目構造に関する研究	SANS-U
京都大学工学研究科	松岡 秀 樹	強いイオン性ポリマーが高密度に表面グラフトした高分子ナノ粒子の構造と特性	SANS-U
京都大学工学研究科	松岡 秀 樹	リビング重合機構の中性子散乱による解明	SANS-U
名古屋大学工学研究科	松下 裕 秀	熱可塑性オレフィン系ポリマーブレンドの相溶性に関する研究 <sup>2</sup>	SANS-U
京都大学工学研究科	松原 誠二郎	中性子小角散乱による水熱反応系の解析	SANS-U
京都大学工学研究科	松原 誠二郎	中性子小角散乱による遷移金属触媒の溶液中での構造の解明	SANS-U
新潟大学理学部	丸山 健 二	液体Rb-Se混合系の2相分離臨界点近傍の中性子小角散乱	SANS-U
福岡大学理学部	山口 敏 男	超臨界水-アルコール系の中性子小角散乱	SANS-U
福岡大学理学部	吉田 亨 次	tert-ブタノール-水混合系におけるアルコールクラスターのダイナミクス	SANS-U
京都大学化学研究所	渡辺 宏	マルチブロック共重合体マイクロ相分離系の流動中中性子散乱とレオロジー	SANS-U
理化学研究所	大竹 淑 恵	C1-3, ULS IRT装置メンテナンス等	ULS
北海道大学工学研究科	金子 純 一	ピエゾ結晶の電気的な変形制御法による新しい中性子光学素子の開発研究	ULS
東京大学物性研究所	長尾 道 弘	中性子スピンエコー分光器 ISSP-NSE	NSE
お茶の水女子大学理学部	今井 正 幸	ラメラ-Double Gyroid 転移における Least Stable Fluctuation Modes のスローダイナミクス	NSE
お茶の水女子大学理学部	今井 正 幸	両親媒性ブロック共重合体を埋め込んだ分子膜の静的および動的構造	NSE
お茶の水女子大学理学部	今井 正 幸	膜間に閉じ込められた棒状粒子(TMV)が膜の弾性的性質に及ぼす影響	NSE
名古屋大学物質科学国際研究センター	今 栄 東洋子	ゲスト分子内包デンドリマーのダイナミクスに関する研究	NSE
東京都立大学理学研究科	加藤 直	ずり流動場により誘起される界面活性剤ラメラ相の局所的相分離と膜のダイナミクス	NSE
京都大学化学研究所	金谷 利 治	シリカ微粒子上にグラフとした高分子鎖のダイナミクス	NSE
東京都立大学 理学研究科	川 端 庸 平	C16E6・水2元系における温度・圧力効果	NSE
大阪大学 理学研究科	河原崎 修 三	超伝導セラミックスにおけるカイラルガラス相の偏極中性子による探索	NSE
京都大学理学部	瀬戸 秀 紀	紐状ミセルの拡散と絡み合い運動	NSE
京都大学理学部	瀬戸 秀 紀	リン脂質水溶液に見られる膨潤ゲル相の形成要因	NSE
東京大学物性研究所	長尾 道 弘	ゲル中に構造凍結された球状マイクロエマルションの構造解析	NSE
東京大学物性研究所	長尾 道 弘	非イオン性界面活性剤系マイクロエマルションの圧力誘起構造相転移	NSE
お茶の水女子大学理学部	中谷 香 織	高分子鎖が誘起する球状マイクロエマルションの逐次相転移	NSE
群馬大学工学部	平井 光 博	スフィンゴ糖脂質マイクロドメインと抗体との相互作用に伴う膜構造変化の解析	NSE
名古屋大学工学研究科	松下 裕 秀	熱可塑性オレフィン系ポリマーブレンドの相溶性に関する研究 <sup>2</sup>	NSE
福岡大学理学部	吉田 亨 次	tert-ブタノール-水混合系におけるアルコールクラスターのダイナミクス	NSE
大阪大学大学院理学研究科	山室 修	冷中性子分光器AGNES	AGNES
高エネルギー加速器研究機構	大友 季 哉	ナノ多孔質体FSM-16における細孔内水分子のダイナミクス	AGNES
東北大学工学研究科	梶谷 剛	熱電材料中の低エネルギー励起	AGNES
大阪大学理学研究科	金子 文 俊	エルカ酸の凝集構造の分子運動性に与える影響	AGNES
大阪大学理学研究科	金子 文 俊	トリアシルグリセロールにおけるアシル鎖の分子構造と運動性の相関	AGNES

大阪大学理学研究科	川口辰也	脂肪族ジカルボン酸エステルの運動性	AGNES
岡山理科大学理学部	橋高茂治	ナノ空間における2成分溶液の相挙動と成分分子のダイナミクス	AGNES
京都大学工学研究科	田崎誠司	重水の準・非弾性散乱測定による群定数の構築	AGNES
東京大学総合文化研究科	錦織紳一	シアノ錯体宿主包接体におけるゲスト分子のダイナミクス	AGNES
大阪大学理学研究科	山室修	クラスレート水溶液のダイナミクスと構造	AGNES
東京電機大学理工学部	山室憲子	界面活性剤DTAB水溶液の球状-棒状ミセル転移のダイナミクス	AGNES
京都大学原子炉実験所	日野正裕	多層膜中性子干渉計・反射率計MINE1	MINE-1
京都大学原子炉実験所	川端祐司	極低エネルギー中性子の屈折効果を利用した中性子イメージング法の開発	MINE-1
京都大学工学研究科	田崎誠司	多層膜スピンスプリッターを用いた水素吸蔵金属中の水素量の精密測定	MINE-1
京都大学工学研究科	田崎誠司	重水の準・非弾性散乱測定による群定数の構築	MINE-1
京都大学理学研究科	舟橋春彦	Jamin型冷中性子干渉計を用いたアハラノフ=キャッシャー効果の精密測定	MINE-1
京都大学原子炉実験所	日野正裕	多層膜中性子干渉計・反射率計MINE2	MINE-2
龍谷大学理工学部	井上和子	中性子反射率法によるトライボロジー(摩擦、潤滑、摩耗)の研究	MINE-2
理化学研究所	大竹淑恵	ミリング法によりつくられたサンプルを用いて量子コヒーレンシーの変化を研究	MINE-2
九州大学先端物質化学研究所	高原淳	中性子反射率測定に基づく(高分子誘電体/有機半導体)二層膜の構造評価	MINE-2
九州大学先端物質化学研究所	高原淳	中性子反射率測定に基づく(有機高分子薄膜/水)界面における水の構造評価	MINE-2
京都大学工学研究科	田崎誠司	多層膜スピンスプリッターを用いた水素吸蔵金属中の水素量の精密測定	MINE-2
九州大学工学研究院	田中敬二	中性子反射率測定に基づく(線状高分子/多分岐高分子)混合物表面・界面の凝集状態の精密解析	MINE-2
高エネルギー加速器研究機構	鳥飼直也	中性子反射率測定による低誘電率薄膜の構造解析	MINE-2
京都大学原子炉実験所	日野正裕	高性能多層膜中性子偏極ミラーの開発II	MINE-2
京都大学原子炉実験所	日野正裕	極薄面間隔の多層膜中性子反射ミラーの開発	MINE-2
京都大学理学研究科	舟橋春彦	Jamin型冷中性子干渉計を用いたアハラノフ=キャッシャー効果の精密測定	MINE-2
京都大学理学研究科	舟橋春彦	マッハ=ツェンダー型多層膜冷中性子干渉計の開発	MINE-2
東京大学物性研究所	西正和	高分解能中性子散乱装置HQR	HQR
東京大学物性研究所	阿曾尚文	圧力誘起強磁性体Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の一軸圧下での結晶構造解析	HQR
鳥取大学教育地域科学部	安藤由和	RPdSn(R=Dy,Er)の磁気構造	HQR
早稲田大学理工学部	上江洲由晃	臨界組成をもつ量子強誘電体におけるTOフォノンとTAフォノンの挙動	HQR
千葉大学教育学部	加藤徹也	歪んだ三角格子イジングスピンの系TlCoCl <sub>3</sub> の格子歪みと磁気変調構造	HQR
東京都立大学理学研究科	門脇広明	フラストレートしたパイロクロア磁性体の研究	HQR
京都大学原子炉実験所	川野真治	希土類化合物DyNiSnにおける磁場誘起磁気転移の中性子回折による研究	HQR
大阪大学理学研究科	河原崎修三	重い電子系の量子臨界領域の磁気秩序の研究	HQR
名古屋大学理学研究科	佐藤正俊	スピネル型硫化物の特異な異常ホール効果と磁気構造	HQR
鳥根大学教育学部	重松宏武	Rb <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> の低温不整合相転移とフォノン分散	HQR
広島大学教育学研究科	薦岡孝則	金属間化合物R <sub>7</sub> Ni <sub>3</sub> (R=Pr,Nd)の磁気構造	HQR
早稲田大学理工学部	角田頼彦	次世代型記録メディアPtFe規則合金のフォノン分散関係	HQR

早稲田大学理工学部	角田 頼彦	金属磁性体の3次元スピンフラストレーション	HQR
早稲田大学理工学部	角田 頼彦	フェライト系スピンフラストレーションの研究	HQR
早稲田大学理工学部	角田 頼彦	特異な原子価状態におけるフラストレーション系の研究 2 II	HQR
早稲田大学理工学部	角田 頼彦	強磁性と反強磁性が競合する系の磁性 ~ MnPtの磁気構造とスピン波 ~	HQR
早稲田大学理工学部	富安 啓輔	弱い磁気幾何学的フラストレーション系MnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> のスピン構造とスピンダイナミクス	HQR
早稲田大学理工学部	富安 啓輔	CoOのパラマグノン測定によるフラストレーションの検証	HQR
秋田大学教育文化学部	留野 泉	高温におけるPbTiO <sub>3</sub> のフォノン分散	HQR
秋田大学教育文化学部	留野 泉	NaNbO <sub>3</sub> のフォノン分散	HQR
秋田大学教育文化学部	留野 泉	BiVO <sub>4</sub> のフォノン分散	HQR
秋田大学教育文化学部	留野 泉	RVO <sub>4</sub> の音響フォノン	HQR
秋田大学教育文化学部	留野 泉	KTa <sub>1-x</sub> Nb <sub>x</sub> O <sub>3</sub> (x=0,0.1)のフォノン	HQR
北陸先端科学技術大学院大学	中本 剛	斜方晶CeCu <sub>2</sub> 及びe-TiNiSi型YbPdGe化合物の磁気構造	HQR
東北大学多元物質科学研究所	野田 幸男	強誘電体 RMn <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (R=Tm, Yb, Tb)における希土類イオンの磁性	HQR
大同工業大学教養部	原科 浩	NiAS型CrTe <sub>1-x</sub> Sb <sub>x</sub> の異常ホール効果と磁気構造	HQR
九州大学 理学研究院	日高 昌則	スピネルCuV <sub>2</sub> S <sub>4</sub> の磁気誘導型構造相転移	HQR
東京理科大学理学部	満田 節生	三角格子反強磁性体CuFeO <sub>2</sub> の微量希釈による磁気構造変化	HQR
東京理科大学理工学部	元屋 清一郎	希釈磁性体の原子秩序制御と磁気相関・磁気励起	HQR
東京理科大学理工学部	元屋 清一郎	ランダム磁性体における異なる磁気相関・磁気励起の共存	HQR
東北大学金属材料研究所	大山 研司	単結晶中性子回折装置KSD	KSD
東北大学多元物質科学研究所	木村 宏之	La <sub>1.875</sub> Ba <sub>0.125-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> 高温超伝導体における電荷ストライプ秩序と低エネルギーフォノン	KSD
東北大学工学研究科	小池 洋二	高温超伝導体における電荷ストライプ揺らぎと超伝導の相関	KSD
東京大学物性研究所	榊原 俊郎	PrPb <sub>3</sub> の反強四重極秩序	KSD
東北大学理学研究科	東方 綾	Tb <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> の磁気構造と反強四極子相互作用	KSD
九州大学理学研究院	日高 昌則	スピネルCuV <sub>2</sub> S <sub>4</sub> の磁気誘導型構造相転移	KSD
九州大学理学研究院	日高 昌則	圧電層状化合物BaMnF <sub>4</sub> の不整合構造・磁気相転移	KSD
東北大学金属材料研究所	平賀 晴弘	金属Crの電荷密度波における揺らぎの探査	KSD
東京大学物性研究所	廣田 和馬	高温超伝導体La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> における低エネルギー磁気励起と静的磁気相関の磁性・非磁性不純物置換効果	KSD
東北大学金属材料研究所	藤田 全基	電子ドーブ型高温超伝導体の磁気揺らぎに対する不純物効果	KSD
東北大学金属材料研究所	藤田 全基	La <sub>214</sub> 系のアンダードーブ領域における低エネルギー磁気揺らぎと結晶構造の相関	KSD
芝浦工業大学システム工学部	堀 富栄	RMn <sub>6</sub> Sn <sub>6</sub> 合金の磁気構造	KSD
東北大学 理学研究科	松村 武	三角格子ヘビーフェルミオンYbAgGeの磁気構造とスピン揺動	KSD
東京理科大学理工学部	桃沢 信幸	中性子回折法による六法晶フェライトの超交換相互作用の研究	KSD
東北大学金属材料研究所	大山 研司	粉末回折装置HERMES	HERMES
東京理科大学理工学部	井手本 康	リチウム二次電池用正極材料斜方晶LiMn <sub>1-x</sub> MxO <sub>2</sub> の充放電サイクルに伴う結晶構造変化および熱力学的安定性と電池特性	HERMES
東京大学物性研究所	上田 寛	ペロブスカイト型Mn酸化物R <sub>2</sub> BaMn <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (R=Pr, Nd, Tb, Y)のAサイトランダムネス効果	HERMES

東北大学工学研究科	小野 泰 弘	金属間化合物合金Yb <sub>1-y</sub> Al <sub>3-x</sub> M <sub>x</sub> (M=Si, Ge, Sn) 中のE3クラスター (E=Al, Si, Ge, Sn)	HERMES
大阪大学理学研究科	金子 文 俊	トリステアリンの準安定相におけるアシル鎖の凝集構造の秩序性に関する研究	HERMES
芝浦工業大学工学部	白石 浩	三元系Ni <sub>2</sub> In型金属間化合物の磁気構造	HERMES
九州大学理学研究院	武田 信 一	液体及び過冷却状態におけるSi-Au合金系の低波数領域における構造	HERMES
九州大学理学研究院	武田 信 一	溶融AgCl-AgI混合系の共晶組成近傍における低波数領域の構造	HERMES
大阪大学理学研究科	田畑 吉 計	フラストレート磁性体Y <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 及びその近縁物質におけるスピングラス転移と磁気相関	HERMES
大阪大学理学研究科	田畑 吉 計	一軸異方性をもつ反強磁性体の横磁場誘起量子相転移	HERMES
早稲田大学理工学部	角田 頼 彦	特異な原子価状態におけるフラストレーション系の研究 3 II	HERMES
早稲田大学理工学部	角田 頼 彦	フェライト系のスピンプラストレーションの研究	HERMES
佐賀大学理工学部	鄭 旭 光	Cu <sub>2</sub> Cl(OD) <sub>3</sub> のエキゾチック磁性の解明	HERMES
宇都宮大学工学部	手塚 慶太郎	二価のクロムを含むランタノイド複合硫化物R <sub>2</sub> CrS <sub>4</sub> (R = Ho, Tm, Y) の磁気転移	HERMES
東北大学 理学研究科	東方 綾	Tb <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> の磁気構造と反強四極子相互作用	HERMES
東京理科大学基礎工学部	常盤 和 靖	高圧合成及び常圧合成Tl-1223超伝導体の中性子線回折による研究	HERMES
龍谷大学理工学部	中沖 隆 彦	ゲル中の自由溶媒と束縛溶媒の凝固点以下での凍結構造の相違	HERMES
お茶の水女子大学理学部	永田 貴 志	三角格子物質;Na <sub>x</sub> CoO <sub>2</sub> ・yD <sub>2</sub> Oの超伝導と磁性	HERMES
横浜国立大学工学研究院	中津川 博	金属酸化物熱電材料Na <sub>x</sub> CoO <sub>2</sub> の最適組成に関する研究	HERMES
東京大学物性研究所	西 正 和	古典的直交ダイマー模型(La <sub>x</sub> Nd <sub>1-x</sub> ) <sub>2</sub> BaZnO <sub>5</sub>	HERMES
北海道大学理学研究科	日夏 幸 雄	6Hペロブスカイト型酸化物Ba <sub>3</sub> LnRu <sub>2</sub> O <sub>9</sub> の磁気構造	HERMES
東北大学金属材料研究所	平賀 晴 弘	金属Crの電荷密度波における揺らぎの探査	HERMES
東北大学工学部	深道 和 明	遍歴電子反強磁性体 MnOs合金の磁気的性質	HERMES
お茶の水女子大学理学部	古川 はづき	La <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> TiO <sub>3</sub> における磁性と軌道整列	HERMES
芝浦工業大学システム工学部	堀 富 栄	RMn <sub>6</sub> Sn <sub>6</sub> 合金の磁気構造	HERMES
東北大学理学研究科	松村 武	三角格子ヘビーフェルミオンYbAgGeの磁気構造とスピン揺動	HERMES
東京理科大学理工学部	元屋 清一郎	希釈磁性体の原子秩序制御と磁気相関・磁気励起	HERMES
名古屋大学工学研究科	守友 浩	光誘起磁性を示す遷移金属錯体の中性子回折	HERMES
東京工業大学総合理工学研究科	八島 正 知	Liドーランタンチタン酸塩の相転移機構およびLiイオンのディスオーダーと伝導経路	HERMES
東京工業大学総合理工学研究科	八島 正 知	ジルコニア固溶体における酸化物イオンのディスオーダーと伝導経路	HERMES
東京工業大学総合理工学研究科	八島 正 知	セリア固溶体における酸化物イオンのディスオーダーと伝導経路	HERMES
大阪大学理学研究科	山室 修	クラスレート水溶液のダイナミクスと構造	HERMES
大阪大学工学研究科	山本 孝 夫	Co <sub>2</sub> Z型フェライトの希土類置換による電磁波吸収特性の向上-中性子回折による磁気構造解析-	HERMES
茨城大学理学部	横山 淳	Sr(Ru <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> )O <sub>3</sub> の金属絶縁体転移と磁性	HERMES
東京大学物性研究所	吉沢 英 樹	CaAlSiのフォノンと超伝導オーダーパラメータのゆらぎ	HERMES
東京大学物性研究所	吉沢 英 樹	Nd <sub>1-x</sub> Sr <sub>1+x</sub> MnO <sub>4</sub> における軌道状態の競合	HERMES
北海道大学理学研究科	分島 亮	低次元カルコゲナイドの磁性	HERMES
東北大学多元物質科学研究所	野田 幸 男	中性子4軸回折装置FONDER	FONDER

青山学院大学理工学部	秋 光 純	La <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> TiO <sub>3</sub> (x = 0, 0.3)における磁気構造解析	FONDER
青山学院大学理工学部	秋 光 純	La <sub>x</sub> Y <sub>1-x</sub> VO <sub>3</sub> の結晶構造・磁気構造解析	FONDER
青山学院大学理工学部	秋 光 純	Lu <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の結晶構造解析	FONDER
青山学院大学理工学部	秋 光 純	YbB <sub>6</sub> の結晶・磁気構造解析	FONDER
東京大学物性研究所	阿 曾 尚 文	圧力誘起強磁性体Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の一軸圧下での結晶構造解析	FONDER
東北大学金属材料研究所	大 山 研 司	強誘電体LiNbO <sub>3</sub> での電荷放出の起源の研究	FONDER
東北大学多元物質科学研究所	木 村 宏 之	強相関電子系酸化物の結晶・磁気構造同時解析-軌道秩序状態のイメージング-	FONDER
北里大学理学部	菅 原 洋 子	ヌクレオチド水和物結晶の低温における水素結合網の秩序化の解析	FONDER
筑波大学物質工学系	高 橋 美和子	-Snにおける異方的散漫散乱	FONDER
東北大学多元物質科学研究所	野 田 幸 男	強誘電相転移と磁気相転移が同時に起こる RMn <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (R=希土類)における磁気秩序	FONDER
東北大学多元物質科学研究所	野 田 幸 男	孤立水素結合型物質R-HPLN (C <sub>13</sub> O <sub>2</sub> H <sub>7</sub> -R:R=Br,Me)の水素結合の温度変化と同位元素効果の起源	FONDER
九州大学 理学研究院	日 高 昌 則	圧電層状化合物BaMnF <sub>4</sub> の不整合構造・磁気相転移	FONDER
山口大学理学部	増 山 博 行	亜硝酸ナトリウムの核座標、電荷密度、電気分極	FONDER
東京理科大学理学部	満 田 節 生	三角格子反強磁性体CuFeO <sub>2</sub> の微量希釈による磁気構造変化	FONDER
九州大学理学研究院	日 高 昌 則	スピネルCuV <sub>2</sub> S <sub>4</sub> のCDW型構造相転移	KSD
大阪大学理学研究科	河原崎 修 三	アクセサリ-IRT	アクセサリ-

# 平成 16 年度前期 スーパーコンピュータ共同利用採択課題一覧

所 属	代 表 者	タ イ ト ル
熊本大 助教授	下 條 冬 樹	第一原理分子動力学法による溶融銅ハライドの構造と電子状態
北海道大 教 授	中 山 恒 義	量子回転系の多体運動とその光制御
北海道大 助教授	矢久保 考 介	金属 - 絶縁体転移点における異常局在状態の統計的性質
大阪大 教 授	川 村 光	地震の統計モデルの数値シミュレーション
東京大 助 手	柳 瀬 陽 一	強相関電子系における異方的超伝導の理論的研究
産業技術総合研究所 主任研究員	瀬 浩 樹	鎖状有機分子の氷-水界面への吸着による氷の結晶成長抑制機構に関する計算機シミュレーション研究
東京工業大 助 手	神 藤 欣 一	第一原理計算による合金の相変態の研究と新物質の探索
東北大 助 手	横 山 寿 敏	最適化変分モンテカルロ法による 2 次元ハバードモデルの研究
長岡技術科学大 助教授	北 谷 英 嗣	転送行列法によるスピングラスオーダーパラメータ確率分布関数
東北大 教 授	前 川 禎 通	遷移金属酸化物の励起スペクトル
名古屋工業大 助 手	磯 部 雅 晴	極限環境下における多階層分子動力学法開発と大規模シミュレーション
東北大 教 授	川 勝 年 洋	高分子/コロイド系における自己組織構造の形成と動力学
お茶の水女子大 助教授	小 林 功 佳	ナノスケールでの表面電気伝導の理論的研究
京都大 教 授	大 見 哲 巨	ボース凝縮体中における量子渦の運動
東北大 助教授	遠 山 貴 己	厳密対角化法によるハバード模型および t-J 模型の研究
上智大 教 授	大 槻 東 巳	ネットワーク模型の数値的研究
大阪大 助教授	播 磨 尚 朝	FLAPW法によるf電子系の電子構造の研究
大阪大 教 授	吉 田 博	第一原理計算による半導体価電子制御とその物理
山形大 助教授	野々山 信 二	強磁性ナノコンタクトにおけるスピン揺らぎと磁壁の効果
広島大 助 手	田 中 新	遷移金属化合物における金属絶縁体転移と高エネルギー分光の理論
東北大 教 授	白 井 正 文	高スピン偏極ナノ構造のデザイン
早稲田大 教 授	武 田 京三郎	半導体ヘテロ構造におけるミスフィット転位の第一原理電子論
島根大 助教授	川 口 高 明	超伝導ネットワークにおけるグラス状態のダイナミクス
日本原子力研究所 副主任研究員	堀 田 貴 嗣	微視的モデルに基づくf電子系化合物の磁性と超伝導の研究
東北大 教 授	倉 本 義 夫	f電子系における多極子秩序とモーメント分布
千葉大 助教授	太 田 幸 則	低次元強相関電子模型に対する新型数値計算手法の開発
千葉大 助教授	中 山 隆 史	半導体エピタキシャル成長における原子秩序変換機構の第一原理的研究
千葉大 助教授	中 山 隆 史	第一原理計算による有機分子/半導体界面のバンドオフセットと光学的性質の研究
慶應義塾大 講 師	江 藤 幹 雄	リードと強く結合した量子ドット中の多電子状態

東京大 助教授	伊藤伸泰	非平衡緩和法を用いたHubbard-typeモデルにおける超伝導の研究
東京大 学振特別研究員	鈴木正	量子モンテカルロ法による強磁場中二次元電子系の研究
京都大 助教授	常次宏一	近藤格子中の準粒子の数値計算
東工大 教授	斎藤晋	大規模炭素系総合研究システム
東京大 学助 手	藤井達也	量子ドットにおける非平衡状態での近藤効果の理論
八戸高専 教授	鈴木壯吉	銅酸化物高温超伝導体の擬ギャップ現象におけるフォノン相互作用-d波の起源と役割
東京大 助 手	城石正弘	厳密に解ける1次元スピン系、および電子系模型の相関関数の数値計算による研究
埼玉大 助教授	紺谷浩	各種強相関電子系における輸送現象の研究
東京都大 教授	酒井治	希薄磁性半導体の電子状態
京都工繊大 教授	高河原俊秀	半導体ナノ構造におけるスピン光子結合系の量子状態制御の理論
東京大 教授	宮下精二	協力現象のダイナミクスと新奇な秩序状態
岩手大 講 師	西館数芽	リチウムイオン二次電池電極材料の第一原理電子構造計算
福井工大 教授	利根川孝	空間構造をもつ次元量子スピン系の数値的研究
京都大 講 師	山本量一	ソフトマターの大規模計算機シミュレーション
大阪大 教授	川村光	フラストレート磁性とカイラリティ秩序
三重大 助教授	中村浩次	表面、界面、磁壁におけるノンコリニア磁性
東京大 産学官連携研究員	藤本義隆	第一原理に基づくナノ構造の電子輸送特性計算
大阪大 教授	川上則雄	強相関電子系における軌道選択型モット転移
埼玉大 助教授	飛田和男	空間構造を持つ低次元量子磁性体の磁化過程
三重大 助 手	秋山亨	第一原理計算に基づく窒化物半導体中欠陥の物性解明
大阪大 助教授	菅誠一郎	強相関電子系における磁場誘起相転移
東京大 教授	藤原毅夫	複合手法による第一原理電子構造計算の拡張
京都大 助教授	池田隆介	欠陥を含む第二種超伝導体の磁場中相転移の数値的研究
広島大 教授	小口多美夫	HiLAPWコードによる凝縮系の第一原理計算
産業技術総合研究所 主任研究員	石橋章司	分子性固体の第一原理電子構造計算
物質・材料研究機構 特別研究員	塚本茂	第一原理計算による重合フラーレンの電子状態と電気伝導特性の計算
北海道大 助 手	寺尾貴道	溶液中の分岐高分子系に関する研究
広島大 助 手	獅子堂達也	GW-FLAPWコードの開発と軌道秩序・軌道分極系への適用
東京大 助教授	初貝安弘	低次元系におけるトポロジカルな量子相転移と外場応答の数値的研究
東京都大 助教授	川島直輝	4次以上の項をもつ量子スピン系に特有な相・臨界現象の研究
金沢大 講 師	小田竜樹	磁性クラスターを内包したカーボンナノチューブの第一原理分子動力学
鳥取大 助教授	石井晃	第一原理計算によるGaAs(110)結晶成長の研究
奈良県立医大 助教授	平井國友	層状人工格子界面の電子状態と近接効果
大阪大 教授	笠井秀明	第一原理量子ダイナミクス計算による固体表面ナノ領域における水素の反応ダイナミクスのデザインと解析
東京理科大 助教授	藤代博記	第一原理分子動力学計算を用いた電界下におけるGaAs表面上のS原子の挙動に関する研究

東京理科大 教授	渡 辺 一 之	炭素ナノ構造の非平衡電子・原子過程の第一原理計算
慶應義塾大 助教授	高 野 宏	平行板間に閉じ込められた濃厚系中の高分子鎖の動的性質
産業技術総合研究所 研究員	橋 本 保	Ge表面及び強誘電体の第一原理分子動力学計算
筑波大 教授	押 山 淳	ソフトナノ物質の原子構造と電子物性
東京大 教授	青 木 秀 夫	強相関電子系におけるtriplet超伝導の理論的研究
物質・材料研究機構 研究員	西 野 正 理	外場により誘起される物性発現(ハード・ソフトマターの光・磁場・温度によ状態変化)
電気通信大 助教授	黒 木 和 彦	強相関電子系におけるフェルミ面形状効果による異方的超伝導発現機構に関する数値的研究
青山学院大 COE研究支援者	安 田 千 寿	格子歪みをもつ二次元ハイゼンベルク反強磁性体の不純物効果
大阪大 教授	広 瀬 喜久治	第一原理に基づくナノ構造体の電子輸送特性予測シミュレーションプログラムの開発
東京都大 助 手	大 塚 博 巳	低次元量子系の相転移現象II
東京工大 助 手	小 関 之 康	非平衡緩和法の応用：量子K T 転移を中心にして
東北大 助教授	坂 井 徹	ランチョス法による量子スピン液体の研究
早稲田大 客員講師	木 村 敬	超流動と超伝導における粒子相関
東京大 教授	今 田 正 俊	電子相関の強い現実物質に対する第一原理的アルゴリズムとその応用
東京大 助教授	羽田野 直 道	巨大非エルミート行列の固有値分布計算ライブラリの開発と応用
姫路工大 助 手	中 野 博 生	強相関電子系における強磁性金属の数値的研究
産業技術総合研究所 研究員	小 林 伸 彦	ナノ構造の電気伝導の第一原理計算
東京大 助 手	湯 川 諭	レナード・ジョーンズ粒子を用いた相転移を伴う非平衡現象の研究
大阪大 助教授	草 部 浩 一	炭素系ナノ磁性材料の理論設計
愛媛大 教授	淵 崎 員 弘	非平衡状態での遅い緩和過程
鳥取大 教授	逢 坂 豪	第一原理計算によるAg/Si(001)表面における低温構造と高温構造の解明
産業技術総合研究所 研究グループ長	柳 沢 孝	遷移金属酸化物における特異量子現象の数値的研究
東京大 助教授	佐々木 岳 彦	第一原理計算による固体表面化学過程の研究
名古屋大 助教授	田 仲 由喜夫	異方的超伝導体における量子干渉効果
東京大 助教授	渡 邊 聡	局所高電界場中の表面ナノ構造における電流関連現象の理論解析
東京大 学振特別研究員	佐々木 志 剛	交換モンテカルロ法による、スピングラスにおける熱平衡状態の不安定性の研究
筑波大 助教授	白 石 賢 二	次世代LSI用の高誘電率絶縁膜の第一原理計算による設計
東京大 産学官連携研究員	菅 野 量 子	LLG方程式に基づく有限温度での強磁性ナノ粒子系の解析
金沢大 助 手	仙 田 康 浩	ハイブリッド計算によるマルチスケール・シミュレーションの研究
東京大 講 師	藤 堂 眞 治	量子スピン模型のためのシミュレーションフレームワーク開発
東京大 助 手	富 田 裕 介	3次元ハイゼンベルクスピングラスにおけるエイジング現象
東京大 機関研究員	松 下 勝 義	ナノ磁性粒子系のスピンドायナミクスの研究
東京大 助 手	赤 木 和 人	半導体表面における不飽和結合を持つ有機分子の吸着プロセス
東京大 助教授	常 行 真 司	第一原理による極限条件下の物性研究
東京大 助教授	杉 野 修	電極触媒反応の第一原理計算
東京都大 教授	岡 部 豊	新しいモンテカルロアルゴリズムのスピン系への応用

関係各研究機関長 殿

東京大学物性研究所長

上 田 和 夫 (公印省略)

## 平成16年度後期共同利用の公募について(通知)

このことについて、下記のとおり公募しますので、貴機関の研究者にこの旨周知くださるとともに、申請に当たっては遺漏のないようよろしくお取り計らい願います。

### 記

#### 1 公募事項

- (1) 共同利用(一般、物質合成・評価設備) (平成16年10月～平成17年3月後期実施分)
- (2) 共同利用(スーパーコンピュータ) (平成16年10月～平成17年3月実施分)
- (3) 短期研究会 (平成16年10月～平成17年3月後期実施分)

#### 2 申請資格

国公立大学及び国公立研究機関の教員、研究者並びにこれに準ずる者。

#### 3 申請方法

東京大学物性研究所ホームページ「平成16年度後期共同利用公募要項」

(<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/kyoudou/h16kkyoudou.html>) をご覧ください。

申請書は、ここからダウンロード(印刷)し、記入・押印のうえ、下記まで郵送してください。

送付先: 〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5

東京大学物性研究所 庶務課共同利用係

電話 (04) 7136-3209

#### 4 申請期限

- (1) スーパーコンピュータの共同利用 平成16年6月11日(金)必着
- (2) その他の共同利用 平成16年6月21日(月)必着

#### 5 採否の判定

平成16年9月下旬

# 平成 15 年度外部資金の受入について

## 1. 奨学寄附金

### (1) 500万円を超える奨学寄附金

件数	金額
1 件	5,000,000 円

### (2) 500万円以下の奨学寄附金

件数	金額
16 件	16,750,000 円

## 2. 民間との共同研究

研究題目	相手側機関名	共同研究経費(円)		研究担当職員
		相手方負担分	本学負担分	
量子流体の表面物性の研究	理化学研究所	2,700,000		教授 石本英彦
高輝度光源用ビームラインの開発・研究	(株)トヤマ	420,000		教授 柿崎明人
材料の水素脆性、輻射率の特性把握	カシオ計算機(株)	1,000,000		助教授 上床美也
接触燃焼式 CO センサー動作原理の解明	(株)坂口技研	412,000		助教授 小森文夫
合計		4,532,000		

## 3. 受託研究

研究題目名	委託者	受入金額(円)	研究担当者
相関電子系の新しい大規模計算アルゴリズム	科学技術振興事業団	1,950,000	教授 今田正俊
ナノサイズ一次元構造の電子物性特性評価	科学技術振興事業団	4,290,000	助教授 長谷川幸雄
量子細線レーザーの作製とデバイス特性の解明	科学技術振興事業団	2,600,000	助教授 秋山英文
機能性ナノ分子及びナノクラスター置換による新規物性の創出	科学技術振興事業団	800,000	助教授 森初果
トポロジカルゲルの構造解析および動的制御の実現	科学技術振興事業団	2,340,000	教授 柴山充弘
合計		11,980,000	

## 4. その他

研究題目名	委託者	受入金額(円)	研究担当者
ナノ磁性	岡崎国立共同研究機構	48,220,000	教授 高山一

## 第 49 回物性若手夏の学校

- 主 催** 第 49 回物性若手夏の学校準備局
- 後 援** 日本物理学会、応用物理学会、日本化学会
- 日 時** 2004 年 7 月 29 日(木)～8 月 2 日(月)
- 場 所** 岩手県網張温泉休暇村  
(〒020-0585 岩手県岩手郡雫石町網張温泉 TEL 019-693-2211)
- 内 容** 院生を中心とする若手研究者の研鑽と相互交流を目的としたサマースクールを開催します。具体的には物性各分野よりお招きした諸先生による講義の受講と、分科会、ポスターセッション等による参加者自身による発表よりなります。奮ってご参加ください！
- 定 員** 約 250 名
- 申込期間** 2004 年 5 月 6 日(木)～6 月 12 日(土)
- 参加費** 5,000 円、懇親会費 2,000 円 宿泊費 参加日数に応じた実費
- 詳細&問合せ** <http://ss2004.issp.u-tokyo.ac.jp/> office@ss2004.issp.u-tokyo.ac.jp
- 連絡先** 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1  
東京大学理学系研究科物理学専攻 辰己 創一  
電話 03-5841-4216 FAX 03-5841-4183

## 編集後記

本号は、新所員の山室先生の「物性研に着任して」、長田研究室の「研究室だより」に加え、平成15年度後期に行われた4件の短期研究会と2件の国際ワークショップの報告があり、豊富な内容となりました。「研究室だより」は、一時休眠状態だったものを平成15年度から再開・継続しているところですが、いつも先生と学生さんが楽しそうに過ごす長田研究室の様子が個人的にも覗いてみたくて今回は長田先生にお願いしました。柏移転の頃の楽しい苦労や、強磁場伝導測定などの様子がうかがえる期待以上の文章が頂けました。国立大学法人化への対応などで大変な毎日を過ごされている方も多いと思いますが、ご一読いただけると幸いです。

秋山英文