

N.9
2018/11

ハイブリッド量子ニュース

新学術領域ハイブリッド量子科学 ニュースレター

Scientific Research on Innovative Areas
Science of Hybrid Quantum Systems
Newsletter

HQ Interview

量子と古典をつなぐ新しいエレクトロニクス

About HQ Project

□ハイブリッド量子系の物理と応用に関するバリワークショップが開催されました

Research Highlights

- 核スピン共鳴プローブ顕微鏡の開発に成功
ー量子構造のスピン状態のミクロスコピックMRIを実現ー
- 一次元フォノン結晶における弾性波のトポロジカル局在状態

Hot Topics

- 光子ー電子コヒーレント操作に向けたEr位相緩和時間の長寿命化
- 量子ポイントコンタクトにおける動的な核スピン分極
- 位相緩和の影響下で古典限界を超えた感度を実現する量子計測
- セミナー報告「じっくり議論シリーズ1:公募研究・理論編」

Science of Hybrid
Quantum Systems





川村 稔

電荷・スピングループ研究分担者
理化学研究所

平山祥郎

領域代表者
東北大学

大野圭司

電荷・スピングループ連携研究者
理化学研究所

神田晶申

電荷・スピングループ研究分担者
筑波大学

量子と古典をつなぐ 新しいエレクトロニクス

今回は2018年8月に行われた、電荷・スピングループのミーティングを抄録します。ミーティングではまず、新学術領域代表者で、当グループ研究分担者でもある平山祥郎東北大学教授を囲んで、各研究者から、現在取り組んでいる実験の様子や最新の展望等が報告されました。続いて、質疑応答に加え、これらの成果の意味や新しい手法の可能性などについて具体的な議論が交わされました。それぞれの成果のどこが、なぜ量子なのか、どうしたら量子技術が広がっていくのかを問うことを通じて、「ハイブリッドとは何か」も深化します。



「トポロジカル絶縁体」は どんな材料ですか？

川村:トポロジカル絶縁体とは、一言でいえば物質内部は絶縁体なのに、2次元ならば外縁、3次元系なら表面が、電気を通す金属のような性質を持った物質です。この非常にユニークな性質が、最近特に注目を集めています。表面だけが金属というのがポイントで、仮に内部もすべて金属にしまうと、電子の移動が起こってしまい、量子的な現象が見えなくなってしまうんですね。

では内部はどうなっているかというと、スピンと電子の軌道が強く結合しながら、運動しているという状態にあります。いわば物質そのものが「天然のハイブリッド」と言えます。さらにこの強い結合が、金属みたいに電流が流れる界面を作っており、この界面では、電子が波でありかつ粒子であるという量子性が現れています。

そこで、この特殊な界面に、超伝導、絶縁体、磁性などさまざまな物質を置いて相互作用させるハイブリッドを作ったら、いろいろな機能が出せるのではないかと考え、実験に取り組んでいます。超伝導体を使った時のそのような新しい機能の1つに、マヨラナ粒子があります。マヨラナ粒子とは、エネルギー0で粒子であってかつ反粒子である中性フェルミ粒子ということになりますが、その性質はなかなか説明しにくいものがあります。このマヨラナ粒子を界面において量子操作を行うと、波動関数に変化が生じます。

平山:その波動関数の変化を用いると、量子コンピュータのゲートが実装できるということですね？

川村:はい、ただし難易度が高いので、まだ実現には至っていません。一方、今、石橋幸治主任研究員グループとの共同研究を始めており、量子的な現象を見ようとしています。エネルギー0の状態にあることの帰結としてジョセフソン接合の位相周期が 4π になるなどの特徴的な現象があるので、このような間接的な証拠から迫っていくという方針です。また応用については、量子異常ホール効果を使って次世代の抵抗標準化に向けた展開が考えられますね。



量子技術の時代も シリコンが活躍しそうですか？

大野:私は、シリコンを材料に量子ビットを部分的に用いることで、新しい量子機能を実装し、新学術「ハイブリッド量子」に貢献できればと考えています。このコンセプトを説明するのに、私がいつも用いているたとえば、実は「ハイブリッド車」なんです。ご周知のようにハイブリッド車は、ガソリン

エンジンという既存方式と、電動エンジンという新方式を組み合わせることで成功している新しいタイプの自動車です。エンジンという同じ機能を持ちながら、以前からある技術で信頼性や技術の連続性を保持しつつ、新しいもので補足する——このハイブリッドの考え方を使いたいなあ、と考えました。

私が材料に選んだシリコンは、これまでの半導体技術の流れから、システムそのものと親和性、接続性が極めてスムーズです。そこで量子ビットをシリコンで包むようなかたちで、計算機の中に導入して、両方のよさを活かしたものを作ろうというのが私の考えです。

平山:シリコン量子ビットが室温で動くことを想定していますか？

大野:はい。リンやヒ素を除くほとんどの不純物を用いたシリコン中の電子は、エネルギー準位の深いところに、強く閉じ込められており、ほとんど励起されません。シリコン中の深いエネルギー準位については、1970年代頃から研究されてきており、データの蓄積があります。そのような電子スピンを使えば、ちょうどダイヤモンドNVセンターのように極めて安定に動作します。

具体的には、シリコン中の不純物が持つ深い準位にある局在した電子のスピン状態を、電極にどう読み出し／書き出すかが課題です。そこで産総研との共同研究によって新しいタイプのトランジスタを作り、トンネル効果によって狙った準位にある電子を移すという方法を実現しています。現在のところ量子ビットの動作としては10ケルビン、量子ドットとしては300ケルビンの室温で動くデバイスが出来てきました。もう少し不純物の種類を最適化すれば、量子ビットのほうも室温に迫れるのではないかと思います。シリ



コンは単体でエレクトロニクスと接続できるので、室温の磁気センサーに応用したり、スマホの認証に使ったりと、1量子ビットができるだけで応用が大きく広がります。

平山:室温で動作するという点では、ダイヤモンドのNVセンターという材料と競い合うことになりますね。シリコンの優位点はどこにありますか？

大野:これまでの半導体技術の洗練のおかげで、やはり材料として扱いやすいのがシリコンのよさだと思いますね。しかもわれわれの提案するデバイスは、これまでのトランジスタの中に量子ビットを埋め込んだ構造を使っているので、トランジスタと同じように扱えて、操作や測定量も変わりません。その中のオンオフだけが量子的に動作しているという形にうまく形式化することによって、量子を知らなくてもその上のシステムをデザインすることができるわけです。——まさにそれがハイブリッドというポリシーで、たとえば従来型の認証に量子をちょっと混ぜるとか、磁性体のインピーダンスを上手く利用したような現在最も高い精度を達成しているセンサーに、さらなる感度が必要なところだけに、スピンで磁場を検出するような量子センサーを使うとかいったように、従来技術と整合性のよい量子性を見つけていくことが大切ではないかと考えています。



グラフェンや超伝導体のどこに注目しているのですか？

神田:私はグラフェンという材料を使って、歪みを持つ構造をつくったり、架橋構造をつくったりして、擬似的なベクトルポテンシャルを構成し、おもしろい量子的な現象を探索しています。これまではひずみによってグラフェンにギャップ

を生成する実験に取り組んできて、ある程度の成果を出すことができました。今後は、主に架橋構造を作って機械振動を起こす実験に取り組んでいきたいと考えています。こちらはまだ試料作製の段階です。

また昨年頃から、超伝導体の渦糸と呼ばれる粒子の量子力学的な性質を引き出し、これを操作可能にするとともに、その基礎的な物性を明らかにしようという実験にも取り組んでいます。超伝導体の渦糸状態はよく知られた現象ですが、小さな超伝導体では、ジオメトリー効果が現れ、バルクとは異なる渦糸状態が出現します。私は10数年前からこのような微小な超伝導体の研究をしており、渦糸状態を結構短時間で簡単に検出できる方法を考案しました。今後は微小な超伝導体の渦糸状態の量子的な振る舞いを物理として理解しながら、転移させて検出する操作や、量子ビットとしての可能性があるかなどの解明を目指していきます。

平山:集積化という観点からも面白い材料だと思うのですが、量子ビットとして使う場合、相互作用をどうやって調節するのですか？

神田:それは大きな問題でして、2つの微小超伝導体をただ横に置いておくだけではほとんど相互作用しないので、工夫が必要です。グラフェンなどの原子層物質で培われた積層化技術を層状超伝導体に応用することが可能なので、3次元的な構造の形成は実現可能だと考えています。グラフェンの場合は、歪みで(擬似)磁場の空間変化を作ることができ、しかもナノメートルのオーダーで歪みが設計できる点に特徴があり、固体物理の実験としても重要だと考えています。

平山:どちらのテーマも新学術領域の中で研究している人がいるので、ぜひいろいろと意見交換して欲しいと思います。例えば超伝導量子ビットならば第2期公募研究の久保結丸さん(沖縄科学技術大学院大学)、フォノンを見るのならばフォノングループ研究代表者の山口浩司さん(NTT物性科学基礎研究所)が取り組んでいます。機械振動によるグラフェンの歪み制御は期待できそうですし、渦糸を量子的に扱うことができれば、これまでの量子ビットとは得意・不得意な点が違う、新しいハイブリッドにつながるはずだと考えています。



量子と古典は「ハイブリッド」できますか？

大野:私に取り組んでいるシリコンのハイブリッド量子では、まさに量子ビット(量子)としてもトランジスタ(古典)と

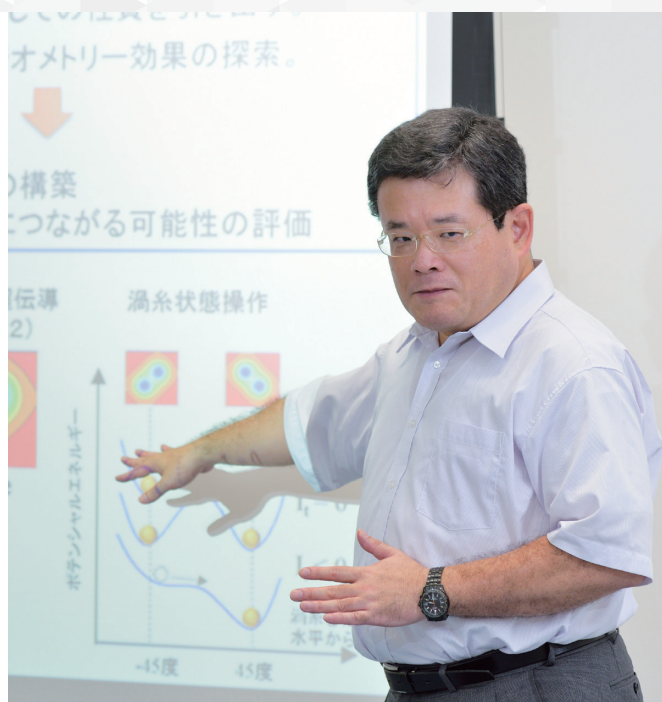


しても動くものを目指しています。ただしすべての機能が量子的に動作しなければいけないかというと、必要ない部分もむしろ多いので、そこは最適化していこうというわけです。将来的にはもちろん古典でも量子でも動くし、複数の量子でも動くしというようにシームレスに動作するようなデバイスへと発展させたいと考えています。

平山:技術の可能性として、大きな広がりを持つという意味では、量子と古典のハイブリッドが最も重要かもしれませんね。

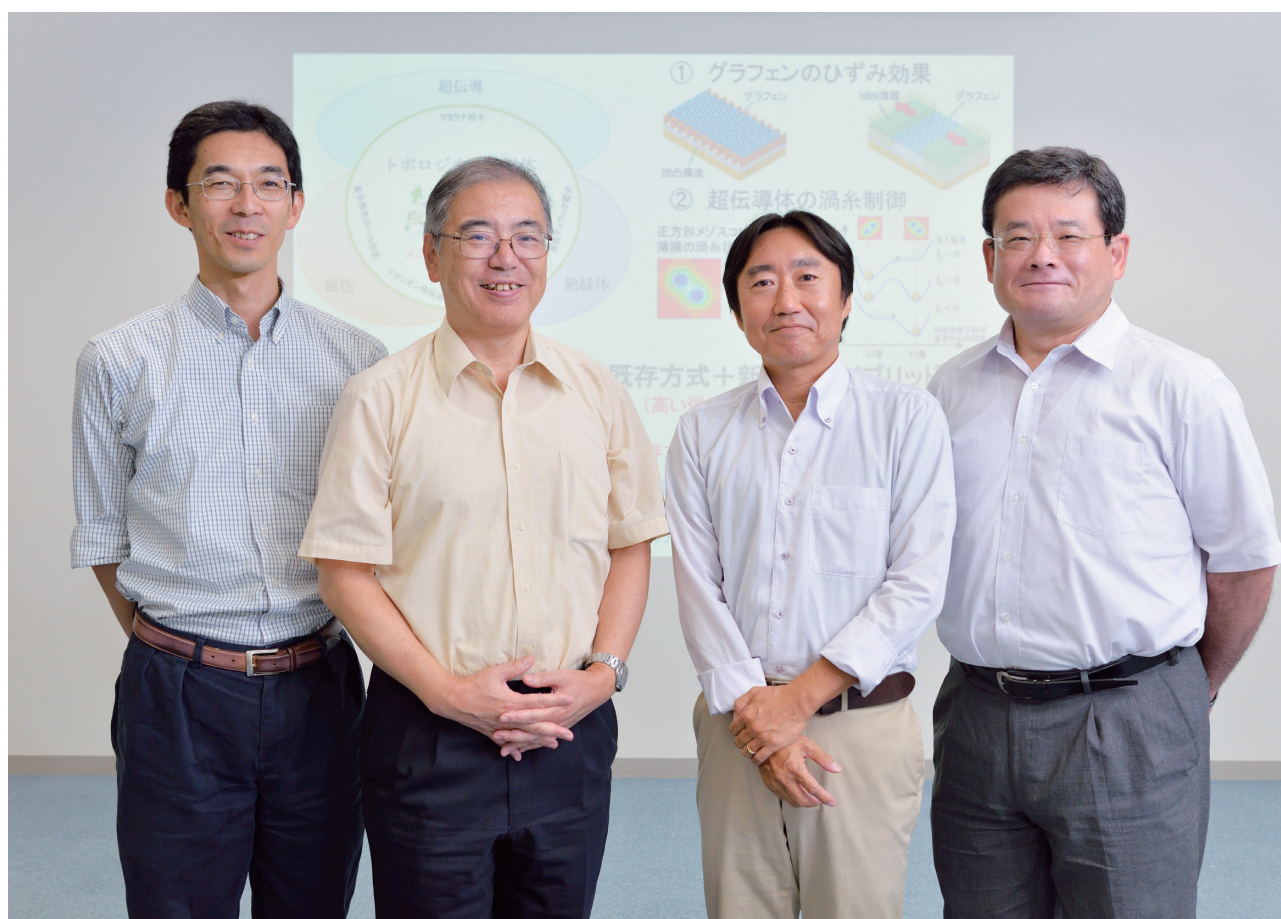
大野:量子と量子をつなぐことも大事だけれども、隣にはやはり古典計算もあるし、室温で動作するところに市場もあるでしょう。量子系を使った技術になっても、それをコントロールするのは現在のエレクトロニクスなのだとこのころに企業の参加を促していく……その時に「シリコンだからこそできるのだ」という発想が、イノベーションを活性化させていくのではないかと思います。どうしたら企業の方々に量子技術に取り組んでもらえるかを念頭に置きながら、引き続き提案していきたいと考えています。

平山:それからトポロジカル絶縁体ですが、この新学術領域の中で、川村専任研究員の他にもフォトンクスでこの材料を扱うグループが出てきました。新学術領域「ハイブリッド量子」の大きな目標のひとつは間違いなく量子トランスデューサーなのですが、先ほど見てきたように量子と古典の



ハイブリッドには、果てしない応用の広がりがあること、そしてトポロジカル絶縁体をフォトンクスで見たり、フォノンクスで追求したりというように、いわばトポロジーを通じた「概念のハイブリッド」という展開もあることがわかってきました。これから10年、20年先の科学技術を見据えて、いつそう急ピッチで研究を進めていただきたいと思います。

取材・文：池谷瑠絵(情報・システム研究機構)



新領域の活動から

ハイブリッド量子系の物理と応用に関する パリワークショップが開催されました

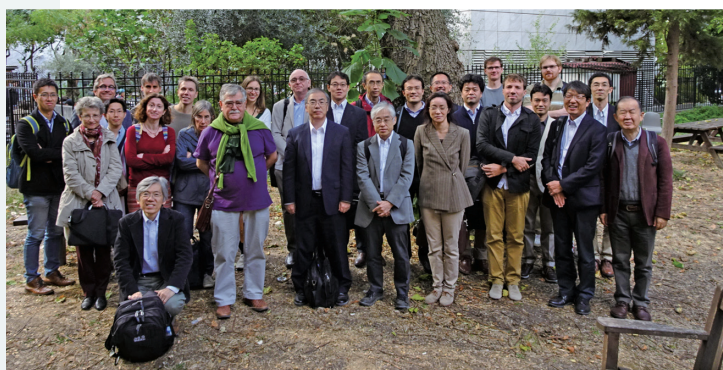
新学術領域研究「ハイブリッド量子科学」が主催した France-Japan Bilateral Workshop on Hybrid Quantum Systemsが、パリのEcole Normale Supérieure (ENS) で平成30年10月1日(月)、2日(火)に開催されました。本ワークショップは、ハイブリッド量子系の物理と応用に関する最新の成果を議論するために開催され、日本側からは新学術領域メンバー13人とゲストとして樽茶清悟教授(東京大学)が参加し、また本分野の第一線で活躍するフランス人研究者15人に加え、若手研究者らがフランス各地から参加して活発に議論を行いました。パリの中でも古い石畳が残り風情があるカルチュラタン地区にあるグランゼコールの名門ENSの物理学科で、じっくり議論することができる大変いい機会になったと思います。ワークショップでは、ハイブリッド量子系に関する様々な発表と議論がなされましたが、全てを網羅することは不可能ですので、私の個人的趣味で、いくつか印象に残った発表について紹介させていただきます。

ワークショップは、平山祥郎領域代表によるハイブリッド量子系に関する新学術領域研究の主旨説明の後、Jean-Marc Berroir物理学科ディレクターの挨拶で始まりました。メゾスコピック物理、トポロジカル材料、オプトメカニクス・フォノン、スピントロニクス、量子光学などの話題で活発な議論が行われました。

メゾスコピック物理では、カーボンナノチューブや半導体を用いて作製された量子ドット内のスピンと光子との相互作用により、量子もつれを生成する話題等が議論されました。近年注目を集めているトポロジカル材料についても活発な議論があり、Crなどの磁性不純物を含んだトポロジカル絶縁体表面にカイラルな表面状態が形成され、磁場を印加しない状態でも量子化された異常ホール抵抗が観測されることや、Biの特異な電子状態によりBiナノワイヤーに超伝導電極を形成すると、超伝導電流が結晶のリッジを1次元的に流れること、HgTeに形成された弱いジョセフソン接合の伝導の特異性などが報告されました。

オプトメカニクス・フォノンのセッションでは、ピエゾ効果を介して光によるキャリア励起と微小機械的共振器がコヒーレントな相互作用をし、機械的振動の光による制御やその逆過程が可能であることなどが報告されました。また複数のナノ共振器が協調的に相互作用するオプトメカニカルな系では、構造の表面状態や原子スケールでの構造の微妙なチューニングが系の特性を大きく改善するという発表も印象的でした。さらにコヒーレンスを破ることなく量子的に光子の波長変換を行う研究やフォノンナノ構造を用いて熱伝導を制御するという研究も紹介されました。また、複数の量子ドットが同一のコンタクトでつながった状態の時、量子ドットのサブレベル間遷移で光検出を行うと、条件がそろえば量子もつれの効果で光の検出感度が上昇するという理論提案も非常に興味深いものでした。

スピントロニクスのセッションでは、希薄磁性半導体中



のスピン波のダイナミクスや抵抗検出によるNMRのナノ領域のイメージングへの応用などについて議論されました。

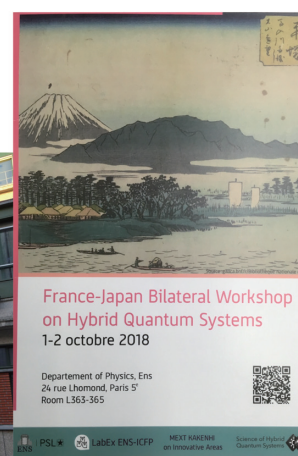
ナノフォトニクス、量子光学の分野では、フォトニック構造におけるトポロジカルな効果についてホットな話題が紹介されたほか、主量子数が数十、直径が数 μm に及ぶRydberg原子と呼ばれる系で様々な量子計測を行なう研究やダイヤモンド中のNVセンターで磁場のみならず温度の検出も可能で、ガン研究などへの応用も検討されていることが報告されました。さらにテラヘルツ領域での超強結合の物理の話や光ファイバーとトラップされた原子による量子光学、冷却原子の物理などについても議論が行われました。

今回のワークショップは、約10人対10人による少人数の発表で、2日間教室に缶詰になって議論を行うという環境で、非常に密な議論ができたことと、日仏の研究者間の新たな交流を生み出し、共同研究の種を育てるのに大いに

役立ったと感じています。今回のパリワークショップの成功を受け、本新学術領域では引き続き同様な会議を企画していく予定です。

最後になりましたが、本ワークショップの開催を支えて下さいました本新学術領域研究の海外アドバイザーの一人でいらっしゃるGerald Bastard教授、ENS物理学科ディレクターのJean-Marc Berroir教授、ENSのスタッフの方々に厚く御礼申し上げます。

新学術領域研究 国際交流担当 平川一彦



第7回領域会議報告

第7回領域会議は、2018年8月6日(月)～7日(火)に、引き続き開催された第5回若手研究会と合わせて名古屋大学で開催されました。領域アドバイザー3人、企業アドバイザー4人を加えて総勢84人の参加があり、アドバイザーの皆様からは様々な視点から有意義な、そして研究者を勇気づけるアドバイスを頂きました。また、初日夜のポスターセッションでは36件のポスター発表があり、夜遅くまで、大変充実した議論が行われました。そのような中で、今回の

最大のトピックスは、この春から新たに領域に加わった武田(横国大)、井上(日大)、内山(山梨大)、山本(倫)(東大・理研)、安(北陸先端大)、島田(電通大)、野村(筑波大)、久保(OIST)、毛利(立命館大)の先生方の口頭講演でした。領域代表として新たに加わったグループのアクティビティの高さを嬉しく思うとともに、新学術の後半の活動で、さらに素晴らしい共同研究が多数生まれる期待を持ちました。中間審査が終了し、本領域はあと残り2年を切りましたが、領域全体をより引き締め、充実したものにしていきたいと思っています。

最後に今年の異常な猛暑の中、全国から領域会議に参加頂いた皆様に感謝するとともに、暑い時には特にありがたい駅から近い会場(ナショナルイノベーションコンプレックス)を準備頂き、会議期間中、暑い中で様々な準備にご尽力頂いた大野雄高教授ならびに研究室の皆様にご改めて御礼申し上げます。

領域代表 東北大学 平山祥郎



研究成果から

核スピン共鳴プローブ顕微鏡の開発に成功 —量子構造のスピン状態のミクロスコピックMRIを実現—

MRI（核磁気共鳴イメージング）は、医療分野で病気の画像診断に広く用いられています。小さな病気を発見するためにはMRIを細かい画素で表示する必要がありますが、画素の間隔が髪の毛よりも細い数十マイクロメートル以下となるような高分解能診断は難しいのが現状です。量子構造を持つ半導体デバイスにおいても、MRIの根幹技術である核スピン共鳴が、量子構造のスピン状態を調べるための強力な手段として用いられています。しかし、MRIを半導体デバイスのようなナノからマイクロスケールに閉じ込められた構造に用いる場合は、前述の分解能の問題に加え、半導体中に埋め込まれた量子構造からの核スピン共鳴信号をどのように抽出するかが問題となります。

今回我々は、走査プローブ顕微鏡に核スピン共鳴技術を組み合わせた「核スピン共鳴プローブ顕微鏡」を開発し、半導体量子構造中にある原子核スピンの共鳴信号をミクロスコピックにとらえることに成功しました。開発した顕微鏡のデモンストレーションは、半導体量子構造に閉じ込められた二次元電子に、強い磁場をかけることで生じる量子ホール状態を利用して行いました。各点で得られた核スピン共鳴信号から、信号強度だけではなく、核スピン周辺の電子偏極度を示すナイトシフトと呼ばれる共鳴周波数のずれを抽出す

ることで、原子核と電子の両方のスピン情報を得ることができます。今回、これらの信号強度と共鳴周波数のずれをマッピングすることで、厚さ数十ナノメートルの半導体量子構造内に生じる核スピン偏極度の分布（図1）と、電子スピン偏極度の数マイクロン程度の空間変化（図2）を明瞭に映し出すことに成功しました。図1は、異なる量子ホール状態で核スピンが偏極する位置が、ホールバー試料の一端から中央付近に大きく変わることを示しています。また、図2の電子スピン偏極度分布では、異なる電流を試料に流した際、電流が高くなるにつれて電子スピン偏極度の空間変化が激しくなることが分かりました。

本研究成果は、量子構造における電子・原子核スピンの分布を明瞭に映し出す新しい技術を提供するものであり、今後、様々な量子構造のスピン状態、量子デバイスのMRI診断への応用が期待されることから、核スピンを用いたスピントロニクス分野の促進につながると考えられます。

東北大学理学研究科 助教 橋本克之

助教 富松 透

教授 平山祥郎

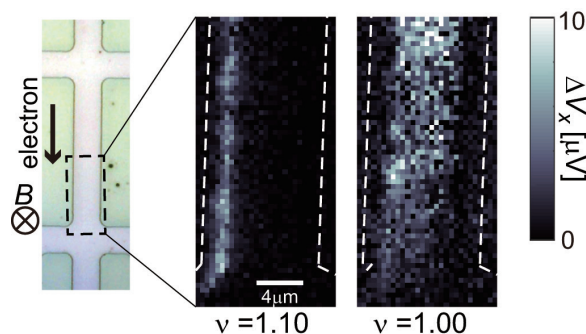


図1：ホールバー試料（左）で得られた、異なる量子ホール状態（図下に表記）における核スピン共鳴信号強度のイメージ（右）。

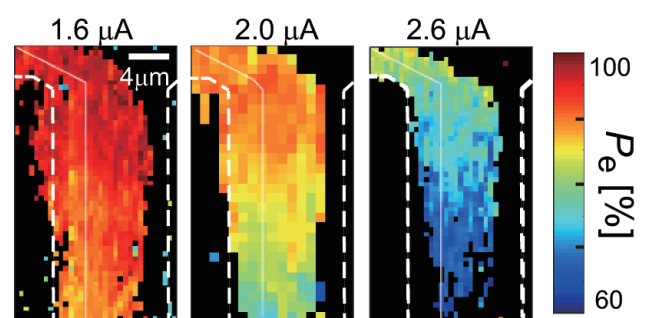


図2：異なる電流（図上に表記）を試料に流した際に得られた電子スピン偏極度 P_e のカラースケールイメージ。

References

Hashimoto, K., Tomimatsu, T., Sato, K., & Hirayama, Y. Scanning nuclear resonance imaging of a hyperfine-coupled quantum Hall system. *Nature Communications*, 9, 2215. (2018).

一次元フォノンニック結晶における弾性波のトポロジカル局在状態

物性科学の分野ではバンドトポロジーの概念を活用して新しい材料や物質相が多く見出されており、その応用を目指した研究が進んでいます。この概念を周期構造中の光や音波、弾性波に適用し、その物理を探索するとともに新たな機能を実現しようとする試みが注目されています。我々のグループでもフォノンニック結晶やフォノンニック結晶を用いた光や弾性波のトポロジカル状態の実現とその応用を目指した研究を進めています。本研究では、完全フォノンニックバンドギャップを持つものの、そのトポロジカルな性質が異なる2つの1次元フォノンニック結晶を設計し、その界面に現れる弾性波のトポロジカル局在状態を観測することに成功しました。

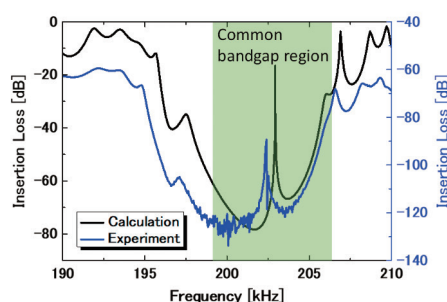
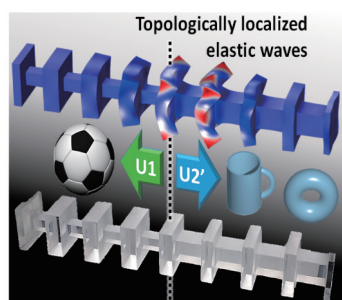
フォノンニック結晶の単位構造は大きさと厚みの異なる2つの直方体ブロックで構成されており、バンドのトポロジーはその形状を変えることで制御出来ます。一次元のフォノンニックバンドのトポロジカルな性質はZak位相と呼ばれる量で規定されます。我々は、共通する完全バンドギャップ帯域をもちながらも、一方の構造ではそのバンドギャップより下のバンドのZak位相の総和が0、もう一方の構造では π となる2種類の構造を見出しました。これは2つの構造がトポロジカルな性質が異なる共通バンドギャップを持つことを意味します。この2つの構造を接合したのが図（左）下に示したものです。この試料は石英ガラスで出来ており、超音波掘削加工技術により作製されたものです。2つの構造はトポロジカルな性質が異なるバンドギャップを共有しているため、バルク-エッジ対応により、その接合界面にはトポロジカル

エッジ状態（今の場合は界面に局在した状態）が形成されます。図（左）上に示したのは、数値解析により得られたこのモードの変位分布です。大きな変位が界面周辺に局在している様子がわかります。

図（右）（青線）は、試料端面から入射した弾性波の透過スペクトルの測定結果です。共通バンドギャップ中にトポロジカル局在モードに起因する鋭い透過ピークがみられ、計算（黒線）とも良い一致を示しています。この局在状態の周波数は約200kHzで、共振器としてのQ値は約5,700でした。さらに、弾性波により生じる歪に起因して光の屈折率が変化する光弾性効果を利用して、このトポロジカル局在状態の空間分布のイメージングにも成功しました。また、トポロジカルな性質が同じバンドギャップを有する2つの構造を接合した場合には、このような局在状態は現れないことも確認しています。

連続体中の弾性波では縦波や横波、その混成波が存在するためバンド構造が複雑になり、完全バンドギャップ中のトポロジカル状態の実現は困難でした。今回の成果は、連続体で完全フォノンニックバンドギャップ中のトポロジカルな弾性波状態を実現したもので、Appl. Phys. Expressに掲載されSpotlight論文の一つに選ばれました。サイズ縮小による高周波化やオプトメカ結晶への展開などにより、弾性波制御や光-振動ハイブリッド系などへの応用が期待されます。

東京大学生産技術研究所 准教授 岩本 敏
博士課程 金 仁基



図：（左）石英一次元フォノンニック結晶とトポロジカル局在状態の計算結果、（右）弾性波の透過率スペクトル

RESEARCH

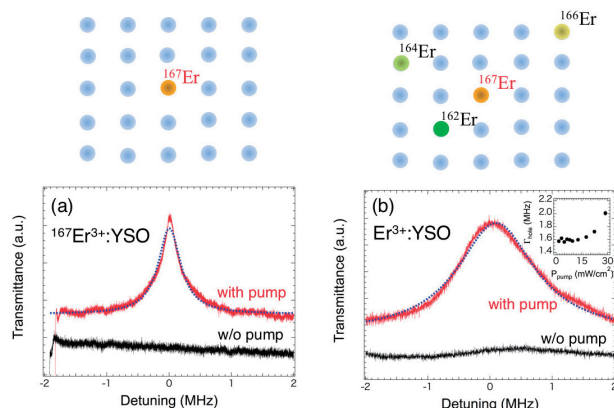
光子—電子コヒーレント操作に向けたEr位相緩和時間の長寿命化

エルビウム (Er) 希土類元素の同位体純化により、 ^{167}Er 超微細構造準位間光学遷移の位相緩和時間 T_2 の長寿命化に成功しました。これは ^{167}Er 以外の Er 同位体自身から発生する磁気ゆらぎを抑制したことによるもので、同位体純化しない場合と比べ約4倍 (1.5マイクロ秒) に長寿命化しました。我々が着目している Er 中の 4f 軌道電子状態は通信波長帯光子と相互作用が可能で、かつ長いエネルギー緩和時間 T_1 (約 11 ミリ秒) を示すため、光子による量子コヒーレント操作の実現に有望な物質です。しかし Er 自身のもつ電子スピンや Er を添加する母体結晶構成原子の核スピンから生じる磁気揺らぎによ

り、 T_2 は理論的な限界 ($T_2 \leq 2T_1$)

からはるかに短く (約 400 ピコ秒) なり、これが操作時間を制限していました。今回得られた T_2 時間は依然として T_1 限界には達していませんが、これは Er を添加したホスト結晶構成元素からの核スピンゆらぎに由来することもスペクトルホールバーニング測定により分かりました。そのため現在、核スピンの排除されたホスト結晶を Si 基板上にエピタキシャル成長し、Er を添加する試みも同時に進めています。これらの成果は、通信波長帯で動作する光・電子 (スピン) 量子コヒーレント操作デバイスの実現に向け、重要な指針を与えるものです。

NTT 物性科学基礎研究所 主幹研究員 俵毅彦



同位体制御が(a)ある場合と(b)ない場合の ^{167}Er 超微細構造準位のホールバーニングスペクトル

Ref: T. Tawara, G. Mariani, K. Shimizu, H. Omi, S. Adachi, H. Gotoh, "Effect of isotopic purification on spectral-hole narrowing in $^{167}\text{Er}^{3+}$ hyperfine transitions," Appl. Phys. Express 10, 042801 (2017).

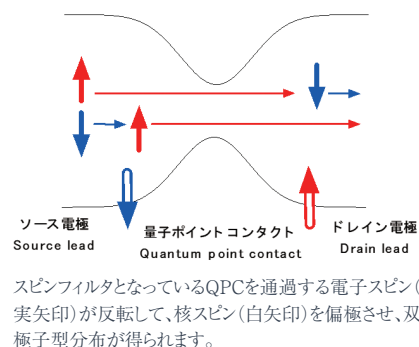
RESEARCH

量子ポイントコンタクトにおける動的な核スピン分極

電子スピンは磁場を用いてスピン偏極を容易に偏極できますが、核スピンでは容易ではありません。核スピン分極を引き起こす方法の一つとして、電子と核スピンの間のスピンフリップフロップを用いて、核スピンへの分極を実現する、動的核スピン分極 (DNP) と呼ばれる方法があります。近年になり、NMR信号を電気抵抗変化として検出する抵抗検出型NMR法と呼ばれる手法が開発され、半導体ナノ構造におけるDNP生成の検出が可能となりました。

本研究では、量子ポイントコンタクト (QPC) を用いたDNP生成と抵抗検出型NMRによるDNP検出を理論的に考察しています。面内磁場中QPCがスピン偏極するようにゲート電圧を調整して、コンダクタンス G が e^2/h のときに、有限バイアス電圧を印加すると、図に示したように、ソース電極側とドレイン電極側でDNPの符号が反転する、双極子型のDNPが生成されることがわかりました。この双極子型のDNPは、抵抗検出型NMR法によって検出したときに、均一な核スピン分極とは定性的に異なる応答特性をもつことがわかりました。

茨城大学 准教授 青野友祐



スピンフィルタとなっているQPCを通過する電子スピン (実矢印) が反転して、核スピン (白矢印) を偏極させ、双極子型分布が得られます。

Ref: P. Stano, T. Aono, and M. Kawamura, "Dipolelike dynamical nuclear spin polarization around a quantum point contact," Phys. Rev. B 97, 075440 (2018).

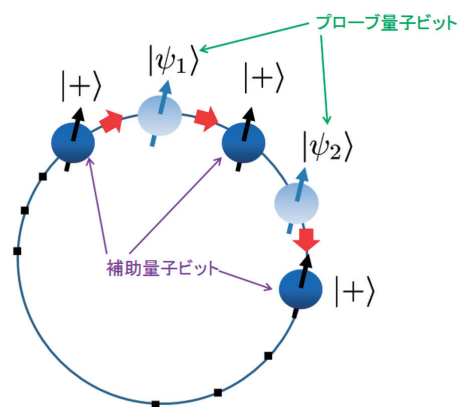
RESEARCH

位相緩和の影響下で古典限界を超えた感度を実現する量子計測

量子ビットを用いた磁場センサは、生物学や工学での応用が期待されています。古典的な磁場センサでは、磁場の推定誤差 δB は積算時間 T に対して $\delta B \propto 1/T^{0.5}$ というスケール則に従います。一方で、ノイズの無い理想的な環境では、量子ビットを用いると $\delta B \propto 1/T$ という量子的なスケール則を達成することが可能です。しかし、量子ビットはノイズに対して脆弱であり、容易に位相緩和するため、現実的な環境が存在すると、量子的なスケール則の達成は難しいと考えられてきました。そこで我々は、量子ビットに対して量子テレポーテーションを行うことで、位相緩和を抑えて、量子的なスケール則を達成する手法を理論的に提案しました。量子ビットと環境の間の相互作用のために、この両者の間に相関が形成されて量子ビットの位相が失われますが、量子テレポーテーションはこの相関形成を抑制します。この手法を使うことで、古典的なセンサよりも何桁も高い感度を持つ量子センサが実現できる可能性があります。

NTT物性科学基礎研究所 研究主任 松崎雄一郎

Yuichiro Matsuzaki, Simon Benjamin, Shojun Nakayama, Shiro Saito, and William J. Munro, Phys. Rev. Lett. 120, 140501 (2018)



我々の提案する磁場センサの概念図。磁場と相互作用する測定量子ビットとテレポート用補助量子ビットをリング状に配置する。

EVENT

セミナー報告 「じっくり議論シリーズ1:公募研究・理論編」

2018年8月28日、異分野間で密に議論して理解を深め合い、ハイブリッド量子科学を深化させることを目的とする、「じっくり議論シリーズ」と題したセミナーが国立情報学研究所で開催されました。登壇者は、公募班理論研究から、第2期(2018年度～)から参加の内山智香子教授(山梨大学)、第1期参加の青野友祐准教授(茨城大学)、第1期から継続となる泉田渉助教(東北大学)と村尾美緒教授(東京大学)と、新旧交えたプログラムです。まず内山教授から量子輸送の環境エンジニアリングの解説と光励起輸送の自立組織化を目指したプロトコル開発に関する展望が示され、続いて青野准教授から量子ポイントコンタクトに関してハイブリッド量子科学を介して得られた成果が紹介されました。泉田助教からはハイブリッド系に着目したカーボンナノチューブにおける量子効果に関するお話があり、最後に、村尾教授から高階量子演算による量子動力学的操作について解説いただきました。講演1件の時間を90分、更にリラックスして議論頂くための休憩兼議論の時間を計60分が2回に分けて設けられていましたが、後半は時間が押してしまうほど議論が白熱しており、ハイブリッドの更なる深化が期待できるセミナーでした。

国立情報学研究所 編集部 松岡史晃



泉田助教講演の様子。本セミナーではこれまで以上に積極的な議論が飛び交った。

ハイブリッド量子科学がつなぐ架け橋

東京大学生産技術研究所 准教授 岩本敏

10月1日～2日にパリで開催された本新学術領域主催の日本―フランスの二国間ワークショップに参加させていただいた。テーマはもちろんハイブリッド量子科学。国内での領域会議同様、様々な物理系を対象とした発表があり大変勉強になった。旧知の先生方といろいろな議論が出来たほか、新たな出会いもあり、“ハイブリッド”をキーワードにした人的交流も存分に楽しませていただいた。また、新学術の国内メンバーの方とも、2日間の滞在でより相互理解が深まったように思う。

我々の分野では毎年米国で開催される大きな国際会議がある。参加すればいつも多くの人に会うことができるし多くの情報が手に入る。ただ、なんとなく挨拶程度で終わってしまったり、パラレルセッションが多くて聞きたい講演が重なっていることもしばしばである。そんなわけで、今回のような少人数ワークショップやトピカルミーティングの方が私は好きである。講演後に直接議論しやすいこともあるし、ある種の閉じた感覚が親密感を増し、関係が深まるように思う。とはいえ、「はい、スタート」で、交流が始まるというわけではないことも改めて感じた。

ワークショップ最初のコーヒブレイクのときは、日本人研究者とフランス人研究者の“相分離”が多くみられたように思うが、ワークショップも終わる頃には見事に混じり合っていた。講演が進むに従って、“さっきのこの部分だけど…”のような形で共通の話題ができたためであろう。“ハイブリッド量子科学”が人的交流の相互作用定数を大きくしたというわけである。もちろん、バンケットで訪れた歴史あるレストランでの、おいし

い食事とワインもその増強効果の大きな部分を担ったことも否定できないが（それが大きい？）。本新学術領域では物理系を“ハイブリッド”するわけであるが、それを実現するためには、いろいろな工夫・細工が必要である。黙っていて勝手にハイブリッド化するなら苦労はない。専門や文化が異なる人と人の交流も同じで、何かきっかけや工夫が必要なのである。

このニュースレターをご覧の方にはまさに釈迦に説法であるが、“ハイブリッド”するということは、あるものとあるものを単に相互作用させたり混ぜることではなく、それぞれの利点を活かして新たな何かを創り出すことである。今回のワークショップは、交流の素晴らしいきっかけになったことはすでに述べたとおりであるが、一部を除けば、まだ“弱結合”交流といってもいいかもしれない。このきっかけを“強結合”交流へと発展させ、それぞれの専門・得意分野をハイブリッドした新たな共同研究（国内外問わず）を含めた新展開の芽を示すことが、本新学術領域の目指すところの一つである。新学術領域も残り1年とちょっととなった。参加させていただいているメンバーとしてその展開に貢献できるように引き続き取り組んでいきたいと思う。

有意義なワークショップを過ごせたことに加えて、移動中にスーツケースが壊れるという、初めての経験(?)をしたこともあり、特に記憶に残る出張の一つとなった。パリで新調したスーツケースのお蔭もあり、その後に向かったミュンヘンでも有意義な議論ができたことを報告して、本稿を終えたいと思う。

「新学術領域」事務局からのお知らせ

□OIST合同シンポジウム・第8回領域会議
日程:2019年1月8日(火)～10日(木)
会場:沖縄科学技術大学院大学(OIST)

1/8はOISTと本領域の合同シンポジウムを開催します。OISTと本領域、さらには海外から招へいする研究者のあわせて11名が研究発表をおこなう予定です。また、1/9～10にかけては領域会議を開催いたします。こちらは、領域の研究成果や進捗状況について口頭発表とポスター発表をおこない活発な議論を展開いたします。

□第6回若手研究会
日程:2019年1月10日(木)午後～11日(金)
会場:沖縄科学技術大学院大学(OIST)

3名の若手研究者に講義をしていただくとともに、グループディスカッションにより若手同士の交流を促進するイベントも用意しています。沖縄の開放的な雰囲気の中で有意義な議論を展開していただき、新たな研究テーマの開拓などにつながる機会を提供いたします。

Science of Hybrid
Quantum Systems

<http://quant-trans.org/hybridqs/>

