

関西支部だより

2017年度第4回関西支部講演会が2018年1月26日(13時30分~16時55分)に大阪市立大学文化交流センター大セミナー室(大阪市北区)において開催された。参加者総数は講演者を含め34名(大学・研究所関係17名、会社関係・一般17名)であった。今回は「新年情報交換会の集い(若手研究者、関西の大学を中心として)」と題して大学の若手研究者に4件の先端的な講演をお願いした。当初、講演を予定していた島根大学の舩木修平氏がインフルエンザのため登壇できなくなったため、急遽、大阪大学の秋山庸子氏に講演を依頼した。

関西支部長の白井康之氏による開会の挨拶に続き、以下の4件の講演が行われた。

1. 「超電導高勾配磁気分離を用いたCs汚染土壌減容化の試み」

秋山 庸子 氏 (大阪大学 大学院工学研究科)

2. 「トポロジカル超伝導からネマティック超伝導へ」

米澤 進吾 氏 (京都大学 大学院理学研究科)

3. 「超伝導検出素子を用いた宇宙・地球惑星科学の展開」

前澤 裕之 氏 (大阪府立大学 大学院理学系研究科)

4. 「高温超電導体のピンニング効果を用いた応用技術」

大橋 俊介 氏 (関西大学 システム理工学部)

大阪大学大学院工学研究科の秋山氏の講演では、超電導高勾配磁気分離を用いたCs汚染土壌減容化の試みについて報告がなされた。まず福島の震災後の除染に関する現状について説明があった。除染は土壌の表層5cmを剥ぎ取って行われ、そこで集められた汚染土壌は中間貯蔵施設で減容化される予定であるが、未だ過半の汚染土壌は仮置きされたままであるとのことである。放射線量8000ベクレル/kg以下の土壌は再使用可能あるいは通常廃棄可能とし、それ以上のものは高放射能土壌として減容化の対象となる。土壌を大粒径、小粒径に分け、大粒径の土壌は放射線量が少ないため処理が不要である。小粒径については湿式分級、磁気分離、化学処理、熱処理などにより減容化を進める。湿式分級は、コストは安いが粘性土に不適である。磁気分離は粘性土の適用が可能である。化学処理は処理剤の残留という課題があり、熱処理はコストが問題となっている。磁気分離が対応可能な粘性土には構造の相違により1:1型のカオリナイト(反磁性、磁化率: -6×10^{-5})と2:1型のパーミキュライト(常磁性、磁化率: $2 \sim 4 \times 10^{-4}$)が含まれる。放射性物質であるCsが特に2:1型に多く吸着されるため、これを磁気分離することで減容化が可能となる。まず、実験的に2:1型の磁気分離を行ったところ、分離率は2テスラで73%、5テスラで85%、7テスラで89%であった。次に、南相馬市小高区で実際の土壌を使用した磁気分離による減容化実験を行った。腐植物質が絡んでいる

ため、事前にアルカリ剤で有機分離処理を行い、ボア径が50mmのソレノイド型超電導磁石を用い、SUS430製20メッシュを100枚重ね、6テスラの磁場で磁気分離を行った。その結果、農地土壌の放射線量23,000ベクレル/kgを10,000ベクレル/kgにまで減容することができた。一方、除染で集められた165万 m^3 の土壌を10年で処理するためには、単純計算で55 m^3 /時、固溶化に100倍時間がかかるとすると5,500 m^3 /時の処理速度が必要となる。今後の実用化に向けては、連続運転の実現、処理速度の増加が必要であり、そのためにはボア径の増大、粒子捕捉効率を増加するフィルタの設計、フィルタ洗浄システムの開発等が必要である。福島第一原子力発電所事故の放射能漏洩による除染作業は長期の取り組みとなるが、必ず成し遂げないといけない。その中で、除染の新しい技術として超電導技術が役に立つ可能性があり、着実に進展していることを知ることができた。放射能除染に資する技術として完成されることを願ってやまない。

京都大学大学院理学研究科の米澤氏の講演では、トポロジカル超伝導からネマティック超伝導へと題して報告がなされた。トポロジーとは数学の位相幾何学のことであり、「連続変形によって変わらない性質」によって物体を分類することである。物理学では波数空間における波動関数のトポロジーが注目されており、2016年のノーベル物理学賞で脚光を浴びた。トポロジカル絶縁体は物質の内部が絶縁体でありながら、表面エッジが電気を通すという物質であるが、この考えを超伝導に拡張したものをトポロジカル超伝導と呼び、エッジ状態にマヨナラ準粒子が励起されることが理論的に示されている。マヨナラ準粒子は粒子と反粒子が全く同じという特異な粒子であり、これを実験的に検証することが大きなテーマである。また、マヨナラ粒子を量子ビットとして利用した量子コンピュータも提案されており、応用の観点からも注目されている。トポロジカル超伝導の候補物質としては Sr_2RuO_4 、 $Cu_xBi_3Se_3$ 等がある。このうち、京大グループが主導的に研究してきた Sr_2RuO_4 について最近の進展が報告された。 Sr_2RuO_4 は多くの物性測定からスピン三重項・カイラル超伝導と言われている。今回、強磁性薄膜 $SrRuO_3$ の上に Sr_2RuO_4 薄膜をエピタキシャル成長させた試料のコンダクタンス測定や Sr_2RuO_4 のマイクロリングの磁気抵抗測定において新奇現象が観測された。一方、最近、アンチペロブスカイト酸化物 $Sr_{3-x}SnO$ の超伝導($T_c \sim 5$ K)の発見に成功し、そのトポロジカル超伝導の可能性を研究中とのことである。次に、ネマティック超伝導について説明があった。液晶では分子同士が流動性を持ちながらある方向に整列することで回転対称性が破れる。これをネマティック状態と呼び、同様に、超伝導ギャップの振幅がある方向に整列することで回転対称性が破れる状態をネマティック超伝導と呼び、超伝導物理研究の最先端のテーマである。今回、トポロジカル超伝導として知られ

る $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ においてベクトルマグネットシステムを用いた精密な 2 軸磁場方向制御により磁場中比熱と上部臨界磁場の角度依存性を測定し、結晶軸とは無関係に超伝導ギャップの異方性を観測し、つまり、本来等価である方向が等価でなくなっているということで、これがネマティック超伝導の明確な証拠になった。2 つの超伝導磁石を組み合わせ、電流を制御することにより、あらゆる方向に磁場印加を可能にするベクトルマグネットシステムはきわめて強力な基礎物性研究ツールである。物理の基礎や理論的な側面に基づく新しい超伝導物質の発見や新しい物理現象の開拓等とても興味深い内容であった。物理学の進展に対する寄与とともに応用の観点からも科学技術への寄与がなされることに期待したい。

大阪府立大学大学院理学系研究科の前澤氏の講演では、超伝導検出素子を用いた宇宙・地球惑星科学の展開と題して、最近のテラヘルツ帯電波天文学の最前線の話と超伝導デバイスを用いた高感度検出に関する紹介があった。まず、南米チリの標高 4800m のアタカマ高地で夜空にかかる雲の正体が天の川（銀河）であるとか、そこに建設されたアルマ望遠鏡の空間分解能が 0.01 秒（立体角、東京にあるメロンとスイカの区別が大阪でわかる程度）などのスケールを身近な例で示された。次に、宇宙からの微弱電波を巨大なパラボラアンテナで集光し、それを様々なフィルタを通して微小な超伝導ホットエレクトロノボロメータ（HEB）に導き、ヘテロダイン検波を行うという電波分光の原理が示された。観測する電波の周波数を 3THz まで拡張するためには、従来の Nb を用いた超伝導—絶縁体—超伝導（SIS）検出器では超伝導エネルギーギャップが小さく、動作が困難になる。そこで、動作周波数に上限の無い Nb(Ti)N を用いた HEB 検出器の開発が進んでいる。この場合、大気中の水蒸気によるテラヘルツ帯の吸収が大きく、これが高地観測のボトルネックになっているとのことである。また、Nb(Ti)N ベースの HEB、高温超伝導（YBCO）HEB、Nb ベースの SIS および半導体検出器と、4 種類のミキサについて等価雑音温度の周波数特性が示された。SIS 検出器は 1.2THz 程度までしか測れないが、その範囲で一番雑音が少なく、一方、1THz 以上では Nb(Ti)N ベースの HEB 検出器が一番雑音が少ない。それに比して半導体検出器は約一桁雑音が大きいのとのことである。星の誕生プロセスなどはもとより、地球上で普通に存在する水がどこからもたらされたかなども電波天文学のデータを基に議論できるとのこと、全くの異分野領域で最先端の超伝導デバイス開発がすすめられ、大いに役立っていることに深い感銘を受けた。

関西大学システム理工学部の大橋氏の講演では、高温超伝導体のピンニング効果を用いた応用技術と JR リニアの超伝導磁気浮上解析について発表があった。はじめにハイブリッド磁気浮上搬送システムの紹介があった。これは搬

送車に永久磁石と高温超伝導体を組み合わせる浮上方式である。推進コイルはネオジウム磁石をハルバツハ配列にセットした 2 本の磁気レール上に設置されている。このシステムは永久磁石の大きな反発力を利用しつつ、高温超伝導のピンニングにより無制御安定浮上を可能にするもので、横ずれが起こらないようになっている。推進方式は推進コイルと搬送車の永久磁石との反発吸引力を利用するものと、推進コイルと高温超伝導のピンニング力を利用するものがあり、いずれも推進コイルに流す電流で制御する。搬送車の位置をレーザ変位計でモニターしながら推進コイルの切り替えを行うことで連続推進を行い、推進速度特性および推進速度制御特性を得た。次に、高温超伝導磁気ベアリングの紹介があった。回転体には 2 極の永久磁石を同心状に組み合わせた円盤を設置し、固定子側に高温超伝導体と永久磁石を組み合わせたハイブリッド方式を構築し、回転体を非接触で無制御かつ安定に支持し、3kg の荷重で 5000 rpm を達成した。固定子側に配置した永久磁石の向きを変え、またはこれを省略することにより、吸引・反発型のハイブリッド方式とピンニングのみのベアリングについて、鎖交磁束の解析と回転体の浮上方向加重特性、案内方向復元特性および振動特性など詳細な測定および解析がなされた。その結果、浮上力と案内方向振動特性では反発型がすぐれ、案内方向復元特性は吸引型が勝り、それぞれ一長一短があるといえる。最後に、JR リニア（超伝導磁気浮上鉄道）について高速走行時における台車の上下振動を抑制するアクティブダンパの導入と解析、さらに超伝導コイルがクエンチした時のシミュレーション結果について紹介があった。JR リニアは実用化目前で世界的に注目を集めている。今回の研究紹介では、地道な研究であるが、超伝導技術による系の安定性、安全確保に大いなる自信が示されたものと受け止めた。時間を超過して活発な質疑応答があった。



講演会の様子

最後に、関西支部副支部長の武田実氏による閉会の挨拶で講演会を締めくくった。

講演会終了後、有志 24 名により恒例の懇親会が開催され、会員相互の交流を深めた。

最後に、今回の講演会の開催にあたり、大変興味深い話題をご紹介頂きました講師の先生方にこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

(大阪府立大 野口 悟、住友電工 永石 竜起)