

九州・西日本支部 2019年度支部研究成果発表会・若手セミナーのご案内

- ・主催：低温工学・超電導学会 九州・西日本支部
- ・共催：福岡工業大学
- ・日時：2019年10月19日(土) 9:00~16:00
- ・場所：福岡工大セミナーハウス@湯布院（大分県由布市）
〒879-5114 大分県由布市湯布院町川北 894-78
URL：<http://www.fit.ac.jp/shisetsu/kagai/seminar/shisetsu>



・プログラム（予定）

- 10月19日(土) 9:00~12:00 支部研究成果発表会
9:00~ 9:10 支部研究成果発表会 開会の挨拶
9:10~12:00 参加学生からの最近の研究成果発表

10月19日(土) 13:00~16:00 若手セミナー

- 13:00~13:10 若手セミナー 開会の挨拶
- 13:10~14:00 松下 照男（九州工業大学）
- 14:00~14:50 西崎 照和（九州産業大学）
- 15:00~15:50 齊藤 敦（山形大学）
- 15:50~16:00 支部研究成果発表会・若手セミナー 閉会の挨拶

- ・参加費：学生：2,000円，一般（正会員）：3,000円，一般（非会員）：5,000円

（テキスト代を含みますが、昼食、宿泊費は含みません。同時に学会への入会申込みをされる方も正会員とみなします。開催当日までに支部事務局の銀行口座宛お振り込み下さい。）

前日 10/18 にセミナーハウスへの宿泊を希望される方は、6,000円（1泊2食付き）で申し込み可能です。

- ・申込締切：2019年9月30日(月)

- ・申込方法：参加申込書にご記入の上、下記事務局宛にお送り下さい。

低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 事務局（九州大学 木須研究室内）

Tel：092-802-3678 Fax：092-802-3677 E-mail：jcryo_qw@sc.kyushu-u.ac.jp

- ・参加費振込先：福岡銀行 黒門(くろもん)支店（店番 215） 口座番号：普通 1612494

口座名義：低温工学・超電導学会九州西日本支部事務局

会計幹事 木須 隆暢(きす たかのぶ)

2019年10月19日に、大分県由布市にある FIT セミナーハウスにて九州・西日本支部若手セミナー・支部研究成果発表会が行われた。九州大学、福岡工業大学、九州工業大学、熊本大学、鹿児島大学から合計で23名の学生と、大学、企業などから14名の参加者の合計37名で行なった。前日には第4回材料研究会／九州・西日本支部合同研究会が行なわれていて、多くの参加者は前日から会場の FIT セミナーハウスで宿泊したので、普段の若手セミナー・支部研究成果発表会よりもずっと交流が進んだ様子だった。

午前中に11名の学生から、最近の研究成果発表が行なわれた。午後には3名の講師による若手セミナーでの講義があった。

今回は Skype を使って、昨年度若手セミナー・支部研究成果発表会を行なった島根大学に中継をおこなった。午前中の分はカメラを使い、午後からは講師の発表を全画面共有にして配信を行なった。いくつかの中継における問題点を見つけることができ、次の中継の可能性を高めることができた。今後も支部活動では研究会などの中継について試行を続けていく予定である。

以下、講義と研究成果発表の詳しい内容についてまとめる。

若手セミナーにおける講義

松下照男先生（九州工業大学）

「超伝導体の臨界電流密度ーピンニング電流密度と対破壊電流密度ー」

最初に Ginzburg-Landau 理論について説明があった。自由エネルギー密度は、凝縮エネルギー密度、磁気エネルギー密度、運動エネルギー密度に分かれている。これをベクトルポテンシャルについて変分をして最小にするようにすると電流項を求めることができる。ここには Josephson が指摘して後にノーベル賞を受賞した、位相に比例して電流が流れるという項が含まれている。学生の参加者が多いことから、Josephson はこれを大学院生の時に見つけたという紹介があった。そして量子化磁束の構造について解説した。ここから要素的ピンニング機構の話題に進み、常伝導析出物と結晶界面によるピンニングについて説明した。そこで一体どのくらいまで高い臨界電流密度を得ることができるのかが興味となる。この講義では最初に対破壊電流密度を考え、そしてピンニングでどのくらいまで臨界電流密度を高めて対破壊電流密度に迫れるのかを明らかにする。

先生は、対破壊電流密度について参加者に予め宿題を出していた。それは 1975 年に Tinkham が導出した対破壊電流密度の求め方の間違いについて指摘するというものだった。最初に Tinkham の導出を解説した。Tinkham は、オーダーパラメータの値と超伝導電子の速度の値についてエネルギーが一番小さいということから、対破壊電流密度を求めた。ここで問題だったのは、超伝導電子の速度で自由エネルギー密度を考えていたが、正しくは電流密度を使って自由エネルギー密度を考えなければならない。これを元に対破壊電流密度を求めると、Tinkham の予想のちょうど 2 倍の値となる。また Gibbs のエネルギーからの議論を行なった。そこではルジャンドル変換が正しくなかったために、たまたま磁化電流が対破壊電流と同じ結果となり、Tinkham が正しいと勘違いしたと解説した。

次に、最大の臨界電流密度について解説した。ここではピンニングのエネルギーを含めて、REBCO 薄膜のナノ・ロッドを例として考えて具体的に計算を行なった。その結果では、現在のところ対破壊電流密度の 3 割程度しか臨界電流密度は迫ることができていない。実際に REBCO の場合には理論予想として 3.39×10^{12} A/m² となるが、現在のところは 1.2×10^{12} A/m² 程度であり、まだ差がある。したがって、まだ努力が必要である。

Q 規格化したオーダーパラメーターが 1 を超えるというのはいいのか。

A GL のフレームワークでは 2 まで許されるので問題ない。

Q クリープの場合にはどうなるか？

A クリープの影響は低温では数%程度なので問題ない。

西寄照和先生（九州産業大学）

「超伝導渦糸状態とナノスケール超伝導物性 ー相図・渦糸観測・ナノ構造制御ー」

西寄先生の関心は渦糸状態にあり、高温超伝導体における特異な性質に注目されている。この講演の前半では特に酸化物超伝導体における渦糸状態について解説があった。高温超伝導体では異方性が高い、凝縮エネルギーに対する熱エネルギーの割合である Ginzburg number が大きく熱揺らぎが大きいなどの特徴があり、渦糸状態が従来の低温超伝導体とは大きく異なる。磁束線は、磁場が最大であるか、オーダーパラメーターが最小になるところを見ればよい。たとえばトンネル電流を観測する STM(Scanning Tunnel Microscopy)STM を使うと、オーダーパラメーターの様子を見ることができるので、磁束線の様子を観察できる。

高温超伝導体の渦糸相図を考えることができる。マイスナー状態、磁束状態、磁束液体状態、磁束ガラス状態、常伝導状態など様々な相を考えることができ、理解することができる。磁束ガラス状態は Bragg glass, Vortex glass, Bose glass と分けることができる。これらは相転移研究の優れた実験系として利用されてきた。たとえば磁界というパラメーターを数桁にわたって変えることができたりする。また高温超伝導体が酸素ドーピング状態を変えることにより、性質を大きく変えることができるので、様々なことが実験的に検証されてきた。そしてさまざまな相図が紹介された。結局、弾性エネルギー、熱エネルギー、ピンニングのエネルギーが関係して相図を作っていると理解することができる。ここでピンニングのエネルギーは大きく変えることができるので、さまざまな相図ができる。

ここで磁束線を観察する方法について解説があった。STM により状態密度関数を観測できるので、超伝導状態と常伝導状態を区別することができる。これを使って、先ほどの磁束線系の相図と併せて考えると、状態をより深く理解することができる。

講演の後半に、ナノ構造を持つ金属超伝導体の最近の先生の研究について解説があった。ナノサイズの微細結晶粒で構成される超伝導体は臨界温度が高くなると特異な現象が現れる。これは電子の閉じ込め効果などから説明される。作り方は圧力をかけて、回転させてひずみをいれる。High-Pressure Torsion(HPT)と呼ばれている。体積は変わらずにひずみが蓄積される。そうすると実際にナノ構造が作られることにより、臨界温度が高くなるという現象を観測することができる。また磁化ヒステリシスもひずみを入れることにより大きくなっていく。なおかつ上部臨界磁界も大きくなる様子が確認できる。

Q 3つのエネルギーのバランスという解説があった。磁場を傾けるとどうなるのか？

A 弾性エネルギーが変わることから説明できるだろう。

Q 酸素量で YBCO の相図が変わる。酸素量により点欠陥の量が変わるからか？

A 同じ酸素量でも、温度履歴などで酸素欠損分布が変わる。ここでは温度だけで変えているので、同じように分布していて、量は変わっていると考えている。

齊藤敦先生（山形大学）

「超伝導体の高周波デバイス応用」

講演の最初に東北に疎い九州人のために山形県の紹介があった。

超伝導体の高周波損失から表面抵抗の測定方法について解説があった。超伝導体の表面抵抗は 1 GHz で銅に比べて 5 桁ほど低く、応用に利用されている。また周波数の 2 乗に比例するので、低周波で特に超伝導体の優位性が大きくなる。先生のグループで初めて臨界電流密度が高いほど表面抵抗が小さくなることを実験的に示したことが紹介された。低抵抗だと、高い Q 値をもつ共振器を作ることができるようになる。

次に超伝導バルク共振器を用いた帯域通過フィルタについて解説があった。多段化により急峻な特性を得られることになるが、挿入損失が増えてしまう。しかし超伝導体では損失が小さいので優れたフィルタを作ることができる。初めて超伝導バルクを使ってフィルタを作った。これは応用物理学会超伝導分科会論文賞を受賞している。さらに特性の改善にも努めた。

さらに NMR 用高温超伝導ピックアップコイルの紹介があった。超伝導体を用いることにより NMR の高感度化ができると期待される。確かに銅コイルに対して 6.6 倍の性能を得ることに成功した。

ここで、Break time があった。研究物品が欲しいときの話であった。調子が悪くなった部品についてただ単に新しいものが欲しいではなくて、故障原因を考えたり規格とか調べて提案するといったことだった。BNC ケーブルの芯線の抵抗はいくつかというクイズがあった。

次に THz 波検出器（マイクロ波力学インダクタンス検出器:MKID）について説明があった。MKID を使うとイメージを取り出せる可能性がある。ここでは 3×3 のアレイイメージングを実現した例が紹介された。

最後に Q 値の評価方法について解説があった。 Q 値には 6 つの種類がある。主なものは観測される Q である Q_L 、無負荷の Q である Q_0 がある。3 つのモデル（透過形、反射形、反作用形）に対してそれぞれの Q の評価方法について説明があった。

Q 臨界電流密度と表面抵抗の関係について、ピンから外れないからか？

A そうである。

Q フィルタの他に活発に研究されている分野は？

A MKID、ピックアップコイルとか量子通信系が活発である。

（九州工業大学 小田部荘司）

支部研究成果発表会

1. 「GdBa₂Cu₃O_{7- δ} 超伝導線材接続体の高 T_c 化」 安山 正太郎(九州大学)

高 J_c 超伝導接続のため、超伝導接続の方法として接続体に隙間を作るような加工を施すことで、酸素の拡散に必要な距離が短くなり、酸素ドーピング量が増加したことで T_c が向上した。REBCOにおいて酸素欠損量が増加すると T_c が低下するため、XRD測定により結晶内部の酸素欠損量を測定したところ、 δ が0.43から0.28に減少しており、 T_c の増加が示された。

2. 「BaHfO₃添加YBa₂Cu₃O_{7- δ} 薄膜へのBa塩追加による表面析出物の抑制」 山田 眞(九州大学)

電流パスの妨げとなる異相の析出は幕中のBa源の不足によるものであるため、Ba塩を追加した溶液を用いて試料表面の観察を行った。Ba塩を添加したことによって、いずれの粒径においても試料表面の粒子数が低減した。組織観察の結果と反応生成式による計算結果が一致したことにより、追加したBaが析出を抑制できることが示された。

3. 「c軸とab面の両方向に柱状欠陥を導入したYBCO薄膜のピン止め特性」 榎畑 龍星(熊本大学)

J_c の磁場角度依存性を調査するため、c軸に平行な柱状欠陥に加えて重イオン照射によって対称に交差した柱状欠陥を導入して J_c の変化を見た。交差角が60°未満の場合には2種類の欠陥の相乗効果が確認されたが、ab面方向へのピン止めの

寄与は見られなかった。±80° で交差させることによって同角度で J_c のピークが得られたが、c軸方向のピン止めの寄与は消えた。

4. 「複数方向の重イオン照射による YBCO 薄膜の全磁場方向の高 J_c 化」 日高優夏(熊本大学)

J_c の異方性の改善のため、c軸に対して0°、45°、60°、80°の柱状欠陥を導入し、それぞれの角度における J_c の磁場角度依存性への影響を調査した。0°付近ではピン止め効果の寄与が弱くなってしまいが、90°付近では90°以外の角度において高い J_c が得られた。また、1.0 Tでは J_c が低下してしまいが、0.3 Tではピークは消えるものの均一で高い J_c を得ることができた。

5. 「Face-to-Face Double Stack 構造による細線加工 REBCO 高温超伝導線材のロバスト性向上」 鬼塚 雄大(九州大学)

電気特性の空間不均一性による影響を低減させるため、1 mm 幅線材の FFDS 構造の電流輸送特性の評価を行った。電流が欠陥部分を迂回するため、その分流効果によって電流容量が向上し、局所電界の緩和・均一化が確認された。これによって線材の活用領域を広げることができた。また、空間不均一性の影響の強い細線加工線材に対して FFDS 構造を用いることで、ロバスト性の向上が可能となった。

6. 「IMD 法による 7 芯MgB₂線材の局所臨界電流分布評価」 加藤 大季(九州大学)

IMD 法によって作製されたMgB₂線材の局所臨界電流制限因子を解明するため、SHPM を用いて磁気シース飽和磁界を超える領域での特性評価を行った。これによって外観ではわからないバリア材の破れを確認することができた。破れの原因となるプロセスを改善することでフィラメント構造が改善され、臨界電流値と電流の均一性が向上した。

7. 「3 本 REBCO 並列導体の付加的交流損失の評価」 古川 琢馬(九州大学)

転位並列導体による大電流容量化を目的として、3 本の REBCO 線材を転位並列導体として構成し、n 値モデルを用いた付加的交流損失の理論式の導出、また測定による理論式の妥当性の証明を行った。外部磁界による磁束とファラデーの法則による式を比較することで数値解析から遮蔽電流を求め、付加的交流損失の理論式の導出に成功した。ピックアップコイル法によって測定したところ、解析値と実験値がよく一致したため、理論式の妥当性が示された。

8. 「REBCO 全超伝導電動機の冷却試験」 相川 拓也(九州大学)

超伝導体を用いた機器を採用するべく、新たな冷却構造をもつ全超伝導同期モータの冷却特性を調査した。65 K の過冷却液体窒素と 62 K のガスヘリウムを循環させることで、超伝導巻線の臨界温度以下まで冷却することができた。一方で磁性流体シールは室温に保たれており、軸が凍結することなくモータをスムーズに回転させることを確認した。運転休止による温度上昇はわずかであり、再冷却の必要もないことがわかった。

9. 「ピックアップコイル対を用いた高温超伝導コイルの健全性診断法の開発」 藤原 明宏(鹿児島大学)

Energy Flow からの臨界電流の低下の程度を明確にするため、印加磁場中にある HTS コイルで発生する EF から臨界電流の推定可能性を調査した。測定系の位置を変化させた場合に温度を変化させても一本の EF 特性曲線に測定値が乗ることや、推定した臨界電流値が四端子法で測定したものと一致することから、EF から推定が可能であることを示した。また、斜め磁場であっても並行磁場と同様に臨界電流の推定が可能であった。

10. 「ニューラルネットワークを用いた高温超伝導コイルの局所臨界電流推定の検討」 園田 修久(鹿児島大学)

理論的に臨界電流の異常を診断する場合の計算時間・信頼性の問題を解決するため、ニューラルネットワークを用いてテープ線材内の臨界電流分布を推定するプログラムを開発した。磁場・合計電流・電流分布の座標を入力として、電流分布の推定をすることができた。また、8 点のみ学習させていたがその 8 点以外の推定においても臨界状態モデルに合った電流値を返すことから、学習していない点での推定も可能であることを証明した。

11. 「有限要素法を用いた超伝導線材による磁気研磨切削装置の評価」 木下 雄士(九州工業大学)

バルクに代わる材料であることを調査するため、有限要素法を用いて永久磁石に対する超伝導線材の力を評価した。超伝導線材は 5 mm 幅のものを 6 枚並べたものを 20 層積み重ねた。初期着磁位置から近い部分では反発力を示し、遠い部分では引力を示すことが分かった。積層数が 20 ではバルクの方が強い力を示すが、38 層にすることでバルクと同等の力を得ら

れることが分かった。

(九州工業大学 木下雄士)

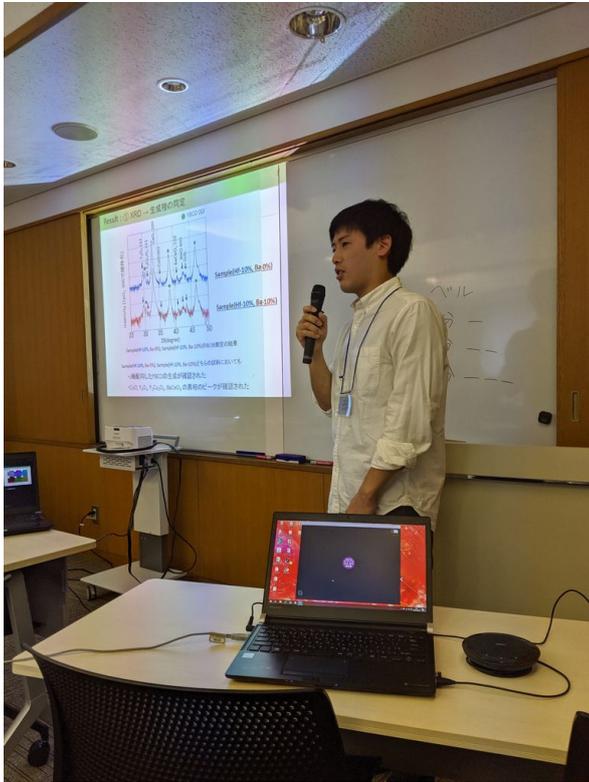


写真1 学生による成果発表。手前は Skype による中継をしている PC。



写真2 松下先生による講義。



写真3 齊藤先生による講義。

本文はここから・・あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ あ s d ふ

最後に署名を右寄せで入れてください。

(所属名は略名, お名前)