

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

---

## 掲載内容 (サマリー) :

- 超電導関連 2015年2月-3月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (12/20-1/19)
- 「世界の動き」
- 隔月連載記事 IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿 (その1)
- 研究室紹介「山形大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 大嶋・齋藤研究室」

[超電導 Web21 トップページ](#)

---

### 超電導 Web21

〈発行者〉

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局  
213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号 KSP A-9  
Tel 044-850-1612 Fax044-850-1613

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/web21/web21.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

---

## 超電導関連 ‘15/2月－3月の催し物案内

### 2/20-2/21

超伝導科学技術研究会 第二回超伝導科学技術セミナー

古河電工健康保険組合 鬼怒川荘

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20150220.html>

### 2/25

German-Japan Symposium on Wind (and Solar) Thermal Applications

DLR Stuttgart, Germany

<http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx>

前後に風力・太陽熱研究設備の見学あり。詳細未定 (ISTEC 岡崎までお問い合わせ下さい)

### 3/11-14

応用物理学会 春季講演会

東海大学湘南キャンパス

<https://www.jsap.or.jp/activities/annualmeetings/index.html>

### 3/18-20

日本金属学会 春季講演大会

東京大学駒場キャンパス

[http://jim.or.jp/MEETINGS/2015\\_spr/news/meeting-guide.html](http://jim.or.jp/MEETINGS/2015_spr/news/meeting-guide.html)

### 3/21-24

日本物理学会 第70回年次大会

早稲田大学 早稲田キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/index.html>

### 3/24-26

電気学会全国大会

東京都市大学世田谷キャンパス

[http://www.iee.jp/?page\\_id=4347](http://www.iee.jp/?page_id=4347)

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

---

## 新聞ヘッドライン (12/20-1/19)

- 高温超伝導担う電子 異常な秩序状態形成 科学新聞 12/19
- 物質・材料研究機構 原子層超伝導体に形成されるジョセフソン接合を発見 インターネットコム 12/22
- 京都大理学研究科教授 松田祐司さん 固体物理 超電導に迫る 「重い電子」で新状態 京都新聞 12/27
- 鉄道総研 JR システム 今年の話題 新基本計画 4月スタート 交通新聞 1/01
- 新年号第1部 エレクトロニクス 超電導 化学工業日報 1/01
- ノーベル賞候補・細野秀雄氏「鉄系超伝導」も特別ではないと流す“現代の錬金術師” 産経新聞 1/04
- 住友重機械工業 極低温冷凍機 零下 269 度保ち充填省く 日経産業新聞 1/08
- 超電導 過去・現在・未来 電気抵抗ゼロの省エネ技術 日刊産業新聞 1/09
- 「電子密度のゆらぎ」増大が鉄系超電導の原因に 東大が理論計算で証明 日刊工業新聞 1/16
- ジョセフソン接合として働く原子ステップ発見 科学新聞 1/16

[超電導 Web21 トップページ](#)

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

## 世界の動き (2014年12月)

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター  
超電導工学研究所  
特別研究員 山田 穰



★News sources and related areas in this issue

### ▶基礎

#### 新高温超電導体現る? 190 K の T<sub>c</sub> か

マックス・プランク研究所および Nature (2014年12月12日)

これまで30年以上もの間、164 K (-109 °C) の温度までエネルギー損失なしに電流を運ぶことができる銅酸化物超電導体に注目した研究が進められているが、その一方、この度、地核で見られるような高圧にさらされると、190 K (-83 °C) という温度で硫化水素が超電導を示す可能性があることが最近発表された。

ドイツのマインツ市にあるマックス・プランク研究所の Mikhail Eremets 氏は、2つのダイヤモンドアンビル先端の間に小さな硫化水素のサンプルを置き、システムが冷却され絶対零度に近づくにつれて、物質の電気抵抗がどのように変化するかを測定した。そして180万気圧もの超高压下で、電気抵抗は190 K付近で急激に低下し、超電導転移を示すことを発見した。さらに、質量の重い硫黄重水素化合物と硫黄水素化合物を置き換えることで、かなりの転移温度の低下(90 K)が観察されたことも報告している。同研究チームは、結晶振動を減らすことで重い原子が超電導性を妨げると述べている。研究成果は、arXiv オンライン版の12月1日号に掲載されている。

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

同研究チームの最新研究は、ニューヨーク州イサカ市にあるコーネル大学物理学者で、水素化合物で超電導状態になる可能性を探求した Neil Ashcroft 氏の研究成果が足場となっている。特に、硫化水素に 160 万気圧をかけて約 80 K まで超電導状態にするという中国研究チームが最近出した理論的予測を調査することが研究の目的とされている。このような高圧下では、クーパー対の電子同士が圧迫され、熱揺らぎの影響を受けて結合破壊され難くなるのである。

「もしこのような研究成果が再現されれば、それは非常に衝撃的であり、歴史的な発見となるだろう。」とニュージャージー州にあるプリンストン大学の固体物理学者 Robert Cava 氏は述べる。BCS 理論は、他の高温超電導体の探究に役立つと期待されており、特に水素のような軽元素を含む物質は、より早い振動をもたらし、電子対を作る引力もより大きくなるという点で、その期待は高まっている。もし他の研究チームによってその成果が確認された場合、臨界温度の大幅な上昇を意味する（現在の記録は MgB<sub>2</sub> で測定された 39 K）。バージニア州ノーフォーク市にあるオールド・ドミニオン大学の理論家 Alexander Gurevich 氏は、これに対して慎重な態度を示し、マイスナー効果として知られる超電導の特徴のいずれもまだ実証されたわけではないと述べ、「私はこの研究が他の研究チームを刺激し、速やかに成果が再現されることを願っている。」と注釈を付けた。

現在、炭素系フラーレンや芳香族炭化水素等、他の水素含有物質で高い臨界温度を見つけることが可能かもしれないと Eremets 氏らは言う。しかし Cava 氏は、応用の可能性を検討するのはまだ早すぎると述べている。

Source: "Superconductivity record breaks under pressure"

(12 Dec, 2014)

Nature News by Edwin Cartlidge and Nature magazine

<http://www.nature.com/news/superconductivity-record-breaks-under-pressure-1.16552>

Siemens (2014年12月18日)

Author of the paper: A. P. Drozdov (Max-Planck Institut, Germany) m.eremets@mpic.de

## 超短時間だが室温超電導?

マックス・プランク研究所 (2014年12月3日)

2013年、ハンブルグ市を拠点とするマックス・プランク研究所の Andrea Cavalleri 氏とその国際研究チームは、YBCO 結晶に短パルス赤外レーザーを照射すると、わずか数百万分の 1 マイクロ秒ではあるが、一時的に室温超電導になることを発見した。物理学者たちは、レーザーパルスが結晶内の二重層間の結合を改変させ、結晶格子内にある個々の原子が瞬時に方向変換して超電導性の増進を引き起こすと示唆した。米国 LCLS の世界最強 X 線レーザーを用いて研究者たちが実験を行うまでは、その正確なメカニズムは不明であった。実験の結果、赤外レーザーパルスは原子を振動させるだけでなく、結晶内でその原子の位置も換え、一時的に酸化銅の二層構造を 2 ピコメートル分厚くすることが証明された。次いで、結晶が数ピコ秒間室温超電導になる程度まで、二層間の量子結合を強めることになるのである。

このハンブルグ拠点研究チームの貢献は極めて重要なものであり、現在その研究内容の説明が Nature 誌に記載されている。研究成果は今後、かなりの高温で超電導体になる物質の研究開発に貢献できそうである。複雑な冷却がもはや必要でなくなれば、この技術が飛躍的な進歩を遂げる時期

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

に入ったことをも意味する。

Source: "Superconductivity without cooling"

(3 Dec, 2014) Research News

<http://www.mpg.de/8785897/superconductivity-room-temperature>

Contact: Roman Mankowsky, roman.mankowsky@mpsd.mpg.de

## 高温超電導体の発現機構解明

**Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL) (2014年12月18日)**

室温で超電導体になる物質の開発に期待が寄せられる中、銅酸化物超電導体についての研究開発が盛んに行われている。銅酸化物は、高温 (-120 °C) で超電導になる物質として有望視されている。EPFL 科学者たちは、銅酸化物高温超電導体の発現機構解明を実証するため、最先端技術を採用して研究を行っている。

従来の超電導体は、絶対零度 (-273.15 °C、または0ケルビン) まで冷却すると、電気抵抗なしに電気が流れる。「クーパ対」は物質内の電子によって形成されるが、それは原子が振動し二つの電子間に引力が働く場合のみである。しかし、銅酸化物超電導体は通常温度で電気を絶縁し、クーパ対は形成しない。ここで生じる質問は、銅酸化物がどのようにして超電導の性質を示すのかということである。

Marco Grioni 氏率いる EPFL 研究チームは、銅酸化物における高温超電導性発現について探求し、新たな理解を提供するため、最先端の分光技術を利用した。同研究チームは、共鳴非弾性 X 線散乱を用いて、超電導体に遷移するときの銅酸化物の電子構造を調べた。Grioni 氏は、「通常、超電導体は磁気を嫌うものである。良質な磁石であるか、良質な超電導体であるかであって、両方であることはまずない。しかし銅酸化物はこの点で非常に異なり、皆を驚かせている。なぜなら銅酸化物は通常絶縁体であり磁石でもあるが、その化学組成を慎重に微調整して数個の余分な電子を追加すると、超電導体になるからである。」と述べている。また銅酸化物は、超電導体になってもその磁性を失うことはない。同氏は、かれらの研究成果が、超電導発現機構の解明に大きな役割を果たすかもしれないと信じている。研究成果は、Nature Communications に掲載されている。

Source: "Electron spin could be the key to high-temperature superconductivity"

(18 Dec, 2014) News Mediacom

<http://actu.epfl.ch/news/electron-spin-could-be-the-key-to-high-temperature/>

Contact: Nikolaos Papageorgiou, n.papageorgiou@epfl.ch

## ▶電力応用

### 再生可能エネルギー用限流器の開発

シーメンス社 (2014年12月18日)

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

再生可能エネルギーや他の分散型エネルギーの大きな負荷を受けて、中電圧電力網で作動する電源装置に短絡事故が生じるリスクがある。電源装置を危険にさらす問題に対処するため、シーメンス社は、ドイツのアウクスブルク市にある地方電力公社 **Stadtwerke Augsburg** 社に、抵抗型超電導限流器 (SFCL) の設置を進めている。「ASSIST」と略されるこのプロジェクトは、バイエルン州の革新的エネルギー技術及びエネルギー効率 (BayINVENT) と呼ばれるプログラムの下、バイエルン州経済・メディア・エネルギー・技術省から支援を受けて行われている。欧州特許庁 (EPO) は、抵抗型超電導限流器で使われた技術に関して、シーメンス社にいくつかの重要特許を既に付与している。商用中電圧電力網の開発作業並びに設置は、2015年末までに完成する予定である。

超電導限流器は、送配電系統での事故電流を非常に迅速に抑制し、困難な条件の下であっても電力グリッドに高い信頼性を実現できる。グリッドはまた、短い冷却期間を経て、すぐに追加措置なしで通常作動を再開することができる。また、一定の高い抵抗特性を備える現在使用されている限流リアクトルとは異なり、超電導限流器は、電気抵抗ゼロという特性から、通常稼働中のグリッドに対して『不可視な存在』という長所も有する。さらに、超電導限流器は、異なるいくつかのサブグリッドを連結させることができ、操作上の安全性とグリッドの安定性を向上させ、度々の電気部品交換及びアップグレードに伴うコストが省かれる。

シーメンス・コーポレート・テクノロジー社超電導部品・応用事業部の代表である **Tabea Arndt** 博士は、「我々は、革新的パートナーである **Stadtwerke Augsburg** 社とともに商用電力網を所有し、そこでこの先進技術がどのようにしてエネルギー遷移の課題やグリッドのアップグレードの習得に役立つのかを実証できる。」と述べている。**Stadtwerke Augsburg** 社技術事業部長である **Jürgen Völkel** 氏は、「強力な再生可能エネルギー導入発電プラント (EEG プラント) は、電力関連設備を保護するため、効率的な限流器を経由してグリッドに接続される必要がある。」と述べている。

Source: "Siemens to use superconductors in building the power grid of the future in Augsburg"

(18 Dec, 2014) Joint Press Release

[http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=en/pressrelease/2014/corporate/pr2014120086coen.htm&content\[\]=Corp](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=en/pressrelease/2014/corporate/pr2014120086coen.htm&content[]=Corp)

Contact: Mr. Harald Hassenmuller, herald.hassenmueller@siemens.com

## ▶エレクトロニクス

### 新超電導スーパーコンピューター

**Office of the Director of National Intelligence (IARPA) (2014年12月9日)**

12月3日、米国国家情報長官室の権限下に設置されている情報先端研究プロジェクト活動 (IARPA) の役員たちは、**Cryogenic Computing Complexity (C3)** プログラムの第1次研究枠組を支援する上で、3つの研究開発契約が授与されたことを発表した。発表によると、**超電導コンピューティング研究**において、これまでかなりの技術的障害が妨げとなっていたものの、最近の技術革新が潜在的躍進を期する基盤技術の創生に繋がった。

3年に及ぶ C3 プログラムの初期目的は、研究者たちがメモリーとロジック・サブシステムの重要部

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

---

品を開発し、プロトタイプ・コンピューターを完成し、最終的には省電力・省スペース化を実現できる小型過冷却スーパーコンピューターのプロトタイプを開発することである。連邦政府は、エクサスケール・スーパーコンピューターシステムの開発に取り組んでおり、2020年には潜在的に1エクサフロップ級(1秒間に100京回の浮動小数点演算を実行する能力)というシステムが可能となり、これは米国エネルギー省傘下の「Titan」システムの50倍の計算速度に相当する。エクサスケール・コンピューターにより、情報機関はこれまで以上に難解な暗号アルゴリズムを解読し、膨大なデータを正確に分析できるようになる。

契約には、IBM、Raytheon BBN Technologies、そして Northrop Grumman が率いる研究チームが含まれている。スーパーコンピューティングにおけるエクサフロップの壁を最初に破る国家として、米国がリーダーとなることは大いに予想される。IARPA の C3 プログラム事業部長である Marc Manheimer 氏は、授与された契約は、第2次研究枠組の一部であり、連邦政府の現在のスーパーコンピューターを駆使し、より高性能な改良、更新を行なっていくと述べた。彼の推定では、過冷却システムは約200キロワットの電力で、100ペタフロップスという処理性能を発揮し、Titanに比べて設置面積がはるかに小さいながらも、理論的に40分の1の電力消費で5倍の計算速度を持つシステムが実現すると言う。IARPAは、第1次研究枠組が進む3年目に、さらなる提案公募を計画している。

Source: "IARPA awards contracts for supercomputer development"

(8 Dec, 2014) IARPA in the NEWS

<http://www.iarpa.gov/index.php/newsroom/iarpa-in-the-news/2014?start=10>

Contact: Federal Computer Week, mrockwell@fcw.com

[超電導 Web21 トップページ](#)

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

## 【隔月連載記事】

### IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿 (その1)

#### 「磁気分離法による汚染土壌の除染に関する研究」

大阪大学大学院  
工学研究科 吉田有輝

世界のエネルギー消費量は、2011年から2035年にかけて、35%増加すると予測されている。増大するエネルギー需要をまかなうため、原子力によるエネルギー発電量も増加する見込みである(2011年から2035年にかけて1.7倍)。実際、2014年1月現在、世界で新たに81基の原子力発電所が建設中である。原子力エネルギーは、今後も重要な役割を果たすと言われている。こういった状況下において、私は、将来の豊かなエネルギー社会を実現するためには、除染技術が一つの鍵になると考える。以下、理由を述べる。

現在、火力・原子力・再生可能エネルギー(水力を含む)といった様々な発電方法によってエネルギーが供給されている。この中で、火力・原子力は将来燃料が枯渇するという問題を抱える。一方、再生可能エネルギーは、そのみでは実際のエネルギー需要を満たすことができない。ゆえに、エネルギーの安定供給を保障するためには、複数のエネルギーをバランスよく用いることが重要となる。この観点から、既存エネルギーシステムの改善と新規エネルギーの開発は必要不可欠であり、原子力発電自身もエネルギー供給源の一つとしての役割を担うと考えられている。しかしながら、原子力発電を利用するには、安全性の向上が大きな課題となる。というのも、放射線による被ばくリスクが懸念されるためである。

原子力の安全性は、深層防護という概念により保障される。これは、5層の安全対策から構成される(第1層・異常発生防止対策、第2層・異常の拡大と事故への発展を防止し、正常に停止させる対策、第3層・事故の拡大と炉心熔融を防止し、正常に停止させる対策、第4層・過酷事故の影響を緩和し、放射性物質の放出を最小限化する対策、第5層・放射性物質が大量放出されても、周辺住民の被ばく被害を最小限化する対策)。簡単に述べると、第1層は、防波堤の建設など事故前の対策、第2~4層は、炉心の緊急停止など事故時の対策、第5層は、ヨウ素錠剤の配布など事故後の対策である。

ここで、事故前と事故時の対策が適切に機能するためには、原子力発電所で起こりうる全ての事象を想定する必要がある。しかしながら、人間の想像力には限界があるため、これはほぼ不可能である。すなわち、原子力発電所に完全な安全性はなく、事故を防ぐためには可能な限り安全性を向上させるほかないと言える。こういった理由から私は、深層防護の第5層を強化し、安全性向上に寄与する除染技術が、将来の豊かなエネルギー社会を実現する一つの鍵になると考える。現在、私は、超電導磁石を用いた汚染土壌の除染技術に関する研究を行っている。ここで、本手法について説明する(図1参照)。

土壌は、れき・砂・シルト・粘土といった大きさの異なる粒子から構成され、原子力発電所事故に伴い土壌に沈着する放射性物質の大部分は粘土に吸着されることがわかっている。本手法では、まず分級により、粘土のみを取り出す。次に粘土に対し、磁気分離法を適用する。この際、粘土は液体媒質に懸濁させる。粘土は大きく2種類に分けられる。反磁性で放射性物質吸着能の小さい1:1型粘土鉱物と、常磁性で放射性物質吸着能の高い2:1型粘土鉱物である。超電導磁石を用いて常磁性の2:1型を捕捉し、反磁性の1:1型を通過させることで、高線量土壌と低線量土壌に分離し、汚

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

染土壌の除染が実現できると考えられる。

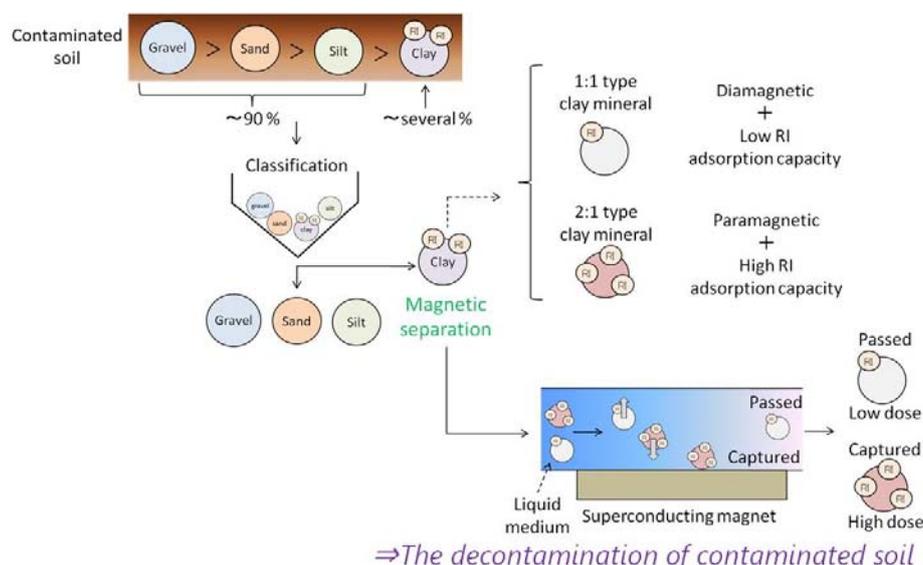


図1 磁気分離法による土壌除染の流れ  
Flow of soil decontamination by magnetic separation method

実際、本手法を福島県で採取した汚染土壌に対し適用した。結果は、高線量土壌と低線量土壌への分離に成功した。これによって汚染土壌の除染を実現できる可能性が示された。

最後に、土壌除染技術によってもたらされる利点について述べる。世界を仮に、原子力エネルギー利用の観点から分類すると、各国は次の3タイプになる; 1. 原子力エネルギー利用継続国、2. 原子力エネルギー後退・撤退国、3. 原子力エネルギー未使用国。まず、原子力エネルギー継続利用国では、土壌除染技術が人々の生活を保障する。これは、土壌除染技術によって、原子力事故後、短期間での放射線量低減と事故からの復興が実現されるためである。また、土壌除染技術による原子力エネルギーの安全性向上は、原子力エネルギー利用の幅を広げる。原子力エネルギー後退・撤退国においては、原子力を既存エネルギーシステムの補強、核融合等の新エネルギー構築時の橋渡的なエネルギー源として用いることができる。原子力エネルギー未使用国においては、原子力をエネルギー供給源の一つとして選択することで、複数のエネルギーをバランスよく使用できるようになる可能性がある。さらに、原子力エネルギーの利用促進は、地球温暖化対策と人口増加対策となる。原子力発電は二酸化炭素排出量が少なく、安定したエネルギー供給を可能とするためである。以上より私は、土壌除染技術が将来の豊かなエネルギー社会を実現する鍵の一つになると考える。

[超電導 Web21 トップページ](#)

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

## 研究室紹介

「山形大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 大嶋・齋藤研究室」

山形大学 大学院理工学研究科

電気電子工学専攻

教授 大嶋重利、 准教授 齋藤 敦

## 研究室概要

山形大学工学部電気電子工学科は現在、9名の教授、9名の准教授、5名の助教、6名の技術職員で構成されている学科です。主な研究分野は、超伝導、磁性、半導体、情報通信、環境エネルギーなどですが、超伝導研究に携わっている教員が比較的多く（教授2、准教授2、助教1）、皆レベルの高い研究維持に努力しています。中でも、大嶋・齋藤研究室は、高温超伝導薄膜の作製・評価～デバイスの設計・試作まで幅広い研究を行っています。また、JSTのプロジェクトや企業との共同研究にも積極的に取り組んでおり、全ての学生のテーマを「超伝導」に絞っている研究室です。薄膜への人工ピン導入、表面抵抗の測定やNMRのrfコイルの試作などの研究は主として大嶋教授が指導し、送信用バルクフィルタ、MKIDsやトンネルデバイスなどは齋藤准教授が指導しています。ここでは、いくつかの最新データを例に、研究室の近況を紹介します。

## スタッフ

大嶋重利教授、齋藤敦准教授、堺三洋技術職員、秘書、学生（博士前期課程13名、学部4年生8名）  
我々の研究の流れを一つの図で表すと、下図のようになりますので、その中から幾つかの研究テーマを紹介します。



# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

## 1. デバイス応用のための高品質超伝導薄膜の作製と評価

YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>(YBCO)薄膜は主にレーザ蒸着法により作製しています。YBCO 薄膜をフィルタやNMRのrfコイルに応用するためには表面抵抗の小さい、高臨界電流密度を有する薄膜が必要です。それを満たす薄膜作製を検討しています。

### 1) YBCO 薄膜への人工ピン導入

我々は、高温超伝導薄膜、特にYBCO薄膜をフィルタやNMRのrfコイルに応用することを目指しています。フィルタ用の薄膜に要求される主な事項は、①マイクロ波帯での表面抵抗(Rs)が小さいこと②臨界電流(I<sub>c</sub>)が大きいこと。③表面が平滑であることです。また、NMRのrfコイル用の薄膜に要求される主な事項は、①熱伝導の良いサファイア基板上に完全にc軸配向した薄膜を作製すること②マイクロ波帯でのRsが15テスラ以上の磁場でかつ基板面に平行に磁場が印加された状態で、銅箔のRsより1000分の1以下であること③J<sub>c</sub>が15テスラ以上の磁場でかつ基板面に平行に磁場が印加された状態で1 MA/cm<sup>2</sup>以上あること④表面が平滑であることです。YBCO薄膜に関する今までの研究では、3次元の人工ピンを導入した薄膜において磁場中でのJ<sub>c</sub>が高くなると報告されていますが、基板面に平行に磁場を印加した時には、必ずしもJ<sub>c</sub>は大きくはなりません。それは、基板面に平行に磁場を印加した場合、ブロック層が強い固有ピンとして働くので、3次元ピンを導入する必要が無く、逆に3次元ピンがブロック層の周期を乱す恐れがあるからです。しかしながら、NMRのrfコイルでは垂直方向にも磁場がわずかに印加されるので、ブロック層だけのピンでは優れた特性を示すコイルを作製することは難しい。ブロック層の周期を乱さないで、人工ピンを導入する手法として、基板装飾(基板表面にBaZrO<sub>3</sub>ナノロッドの装飾)及び基板加工(基板表面をミクロンサイズの凹凸をつける)による人工ピンの導入を検討しています。YBCO薄膜はレーザ蒸着法で、また基板にはMgO(100)面を用いています。作製したYBCO薄膜の基板面に平行及び垂直に磁場が印加した状態でのJ<sub>c</sub>やRsを測定し、その効果を検討しています。既に、両者の方法で導入した人工ピンが、基板面に平行及び垂直に磁場を印加した時のRsの低減に有効であることを実証し、それを基に、その方法で作製したYBCO薄膜をNMRのrfコイル材に応用できるかどうかを今後検討する予定です。

### 2) 高温超伝導薄膜の高磁場中での表面抵抗測定

フィルタ、アンテナやNMRのrfコイル等に高温超伝導薄膜を応用する場合、マイクロ波帯での表面抵抗(Rs)を評価することは極めて重要です。超伝導薄膜のRs測定法は既に国際標準として誘電体共振器法が提案され、日本JIS規格にも登録されています。我々はその標準化に深く関与し、現在ではRsを正確に測定できる数少ない研究機関の一つになっています。特に、高磁場中でのRsを測定できるのは我々の研究室だけです。誘電体共振器法で1GHzのRsを正確に測定するためには、2インチ丸以上のサイズの薄膜が2枚必要ですが、そのような大きなサイズの薄膜を用意することは難しい。従って、20GHz以上の周波数でRsを測定し、その値を1/f<sup>2</sup>で規格化すればマイクロ波帯でのRsを精度よく導出することができます。(1/f<sup>2</sup>での規格化で十分精度よく算出できることは実験で確かめられています)我々は21.8GHzで共振するサファイアロッドを用いてRsを測定しています。その場合、薄膜のサイズは、20mm角以上あれば、十分精度よく測定できます。YBCO薄膜のRsを基板面に平行及び垂直に磁場を印加して測定した場合、①基板面に垂直に磁場を印加した時のRsは磁場の増加に伴い急激に大きくなる②平行に磁場を印加した時のRsは印加磁場を増加してもRsはほとんど変化しないことが分かりました。磁場によるRsの変化は、磁束量子の動きに影響されると言われており、その観点で考察すると、ある程度定量的にRsの磁場依存性が説明できることが分かってきました。

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

## 2. デバイスの設計・試作・評価

フィルタ、NMR の rf コイルや MKIDS の最適な形状・配置は電磁界シミュレータ (Sonnet-em, MW-studio) により検討し、それに基づき、実際に素子を試作し、評価している。現在力を入れている主なデバイスは、高耐電力超伝導フィルタの開発、HighQ の NMR rf コイルの開発、MKIDs アレー素子の開発である。その開発状況を以下に述べます。

### 1) 送信用超伝導フィルタ

我々は、以前から高耐電力超伝導バンドパスフィルタの開発に力を入れてきました。超伝導フィルタの共振器を形成するマイクロストリップ線路を細線に分割する手法や超伝導薄膜を積層にした多層マイクロストリップ線路を用い、既に耐電力 10 W を超える超伝導バンドパスフィルタを実現しています。しかしながら、携帯電話基地局の送信用フィルタに応用する場合には、更に高耐電力の超伝導フィルタが必要となります。我々は、熔融単結晶の表面抵抗( $R_s$ )が、高品質な薄膜の  $R_s$  の数倍程度であることを実験的に確かめ、熔融バルクをフィルタの共振器に応用することを検討しています。熔融単結晶の円形パッチ共振器を用いて、100 W 超級の超伝導バンドパスフィルタの開発に成功しています。この成果を基に、次世代用無線通信基地局のオール超伝導の送受信フィルタの実現を今後検討する予定です。

### 2) NMR の rf コイル

NMR はタンパク質や DNA などの構造解析には不可欠な分析器ですが、残念ながら未だ感度が低く、精密な実験には長時間の分析が必要とされています。NMR の感度を上げる有力な方法としては、検出 rf コイルの Q を上げることですが、Q を上げるのにはコイル材の表面抵抗を下げる必要があります。我々は、磁場中の  $R_s$  測定の結果より、YBCO 薄膜の  $R_s$  は、16.5 T の磁場下でも冷却した銅箔の  $R_s$  の 1000 分の 1 以下であることを明らかにしています。従って、YBCO 薄膜で rf コイルを作製すれば、コイルの Q は劇的に向上することが予想されます。事実、フロリダ大学のグループでは、500 MHz の NMR の rf コイルを YBCO 薄膜で作製し、Q の向上を確認しています。我々は JST の S イノベプロジェクトにおいて、700 MHz NMR の rf コイルを YBCO で作製し、感度を飛躍的に向上させる研究を行っています。現在、試作的ではありますが、700 MHz NMR の rf コイルを YBCO 薄膜で作製すると、Q 値が 10000 を超えるという結果が得られており、高感度化の期待がもてます。実際の実用化では、高パルス電流に耐えるコイルの検討、コイル出る放射電界を下げることで、コイルに流れるシールド電流を低減させることなどを解決することが重要ですが、高温超伝導薄膜を用いた NMR の rf コイルは大いに期待が持てるデバイスです。

### 3) MKIDs アレー素子

テラヘルツ波を受信する素子はいくつか提案されていますが、最近 MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors) が注目されています。その理由は、テラヘルツ波をマイクロ波の周波数に変換して受信できるのでシステムの簡素化が可能なこと、容易にアレー化ができることや入出力ポートが 2 端子で済むことなどです。我々も新たな MKIDs アレーを開発しています。特徴は、アンテナと MKIDs を一体化した Spiral-MKIDs の提案であり、小型で、アレー化が容易です。この素子を用いて、テラヘルツ波の受信システムを構築し、テラヘルツ波イメージングデバイスの開発も近い将来実現できると確信しています。

# 超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

---

## 連絡先

〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16

山形大学 工学部 電気電子工学科 大嶋・齋藤研究室

教授 大嶋重利 Tel: 0238-26-3286, E-mail: ohshima@ya.yamagata-u.ac.jp

准教授 齋藤 敦 Tel: 0238-23-3289 E-mail: atsu@yz.yamagata-u.ac.jp

<http://www.ohshima-lab.yz.yamagata-u.ac.jp>

自薦・他薦を問わずこのコーナーで紹介できる研究室を募集しています。  
企業や国研の研究室でも構いません。

ご連絡先：[web21@istec.or.jp](mailto:web21@istec.or.jp)

[超電導 Web21 トップページ](#)