

掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 第 18 回国際超電導産業サミット（ISIS-18）報告
- 新規プロジェクト発足
「高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」

特集：超電導産業機器技術の展開

- 超電導産業機器技術の動向
- 「電気自動車用超電導モータ技術開発の進展」
- 船舶用超電導モータの技術開発の現状
- 風力発電用超電導回転機の設計技術の現状
- 超電導磁気分離装置の普及状況

- 超電導関連 2010 年 3-4 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（1/21-2/18）
- 超電導速報—世界の動き（2010 年 1 月）
- 電気学会 超電導応用電力機器研究会「超電導応用ならびに材料関連技術」報告
- 隔月連載記事—もっとやさしい「超電導」のおはなし（その 2）
- 読者の広場(Q&A)—「高温超電導線が実用される場合、用途によっても異なると思われるが、おおよそ何度位で使われるか教えて下さい」

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

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

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283 Fax(03) 3536-7318

超電導 Web21 トップページ：<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.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>



トピックス：第 18 回国際超電導産業サミット (ISIS-18) 報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長 津田井昭彦

平成 22 年 2 月 9 日 (火) ～11 日 (木)、ニュージーランド、ウェリントンで第 18 回国際超電導産業サミット (ISIS-18) が開催された。国際超電導産業サミットは、従来日米欧の回り持ちで開催されていたが、今次会合は昨年新規にサミットメンバー国となったニュージーランドで開催される初めてのサミットである。日、米、欧、ニュージーランド、韓国等から約 40 名の参加があった。会議は一般参加者も参加する Pre-ISIS 会議 (2 月 9 日) とサミットメンバーのみによる ISIS 会議 (2 月 10 日、11 日) から構成されていた。

Pre-ISIS 会議では、日本から塩原超電導工学研究所所長が CO₂ 削減の観点からの Y 系線材の長期的な実用化展望についての講演があったのを初めとして、米、欧、ニュージーランド、韓国から講演が行われた。ニュージーランドは各種超電導機器、システムに主眼を置いた開発、ビジネスを展開しており、海外パートナーと手を組んで手薄な部分を補い得意分野でその力を出すという戦略をとっている。この Pre-ISIS 会議では、専門家は勿論のこと、一般の参加も得て、啓蒙的な話から、今後いかに超電導商業化を図り、長期的なビジネスチャンスをものにしていくかという点に亘るまで幅広い範囲での講演が行われた。

ISIS 本会議では、開催地ウェリントン市長の開会挨拶に引き続き、大型電力機器、エレクトロニクス・マグネット、将来に向けた課題等をテーマにした各セッションにおいて、講演及び意見交換が行われた。日本からは、塩原融・超電導工学研究所所長が Y 系線材開発の現状と将来計画を中心とした我が国の超電導技術開発の総括講演を行った他、原築志・東京電力技術開発研究所長が高温超電導ケーブル実証プロジェクト、田辺圭一・超電導工学研究所副所長が超電導エレクトロニクス、藤原昇・超電導工学研究所電力機器研究開発部長が Y 系電力機器開発について、それぞれ我が国の現状及び今後の計画についての講演を行った。米国では、American Superconductor 社、SuperPower 社という 2 つの超電導線材メーカーが中心となって、国立研究所や大学と協力体制を組み Y 系線材の開発を進めている。また、SPI、SPE プログラムの下、超電導ケーブル等応用機器の開発も活発である。エレクトロニクスの分野でも超電導回路、超電導フィルターの開発やビジネスに積極的に取り組んでいる。欧州では、MgB₂ の実用化にも力を入れており、その線材がすでに商品として販売されている他、そのマグネット応用も進められている。また、HTS 線材の分野でも、電動機・発電機、誘導ヒーターといった応用領域で開発・ビジネス活動を展開している。現在、ニュージーランドでは、電力応用を目指した Roebel ケーブルの開発が進められており、これを変圧器に適用するための研究開発を行っている。また、超電導商品としての HTS マグネットを販売する企業 (HTS110 社) も活発に活動している。韓国においては 2001 年に開始された DAPAS (Development of the Advanced Power system by Applied Superconductivity technologies) 計画が最終フェーズに入り、また新たに韓国電力主導の GENI プロジェクトもスタートするなど高温超電導実用化に向けた動きを加速している。

昨年米国でオバマ新政権が発足して以来、ローバスト性を持ち、信頼性、経済性、効率が高く、環境にやさしい新たな電力グリッドとしてスマートグリッド計画が強力に推進されてきている。このスマートグリッドに関わる動きは米国内にとどまらず、世界的な広がりを見せている。このスマートグリッドでは超電導技術についてもその役割が期待されており、また、スマートグリッドは新

しいビジネスという面でも大きな期待を集めている。エネルギー利用の安全保障、地球温暖化問題は今後とも世界が取り組むべき大きな課題である。省エネ技術は我々の継続的な経済発展を約束するものであり、超電導技術は大きな選択肢の 1 つである。各国とも超電導技術が非常に重要な技術であるとの認識の下、実用化に向けた開発努力を続けている。今次会合は新たに超電導クラブの仲間に加わったニュージーランドで開催されたエポックメイキングな会合であり、今後とも実用化も含め超電導の輪が世界に広がっていくことを期待している。

最後に、今次会合はディナーには通商大臣（Minister of Trade）が参加、開会式ではウエリントン市長があいさつするなど、政府も含め公的機関が今回の会議をバックアップしていることを強く感じた。また、会期中現地新聞 The Dominion Post に ISIS 開催も含め超電導関連の記事が 2 回掲載され、現地の関心は極めて高かった。

次回会合は、2010 年 10 月、イタリアで開催することが合意された。



写真 ISIS-18 で講演する塩原融・超電導工学研究所所長

[超電導 Web21 トップページ](#)

トピックス：新規プロジェクト発足「高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所デバイス研究開発部
部長代理 安達成司

(独) 科学技術振興機構 (JST) は 2009 年度事業として戦略的イノベーション創出推進事業 (S-イノベ*) を開始した。この事業は、実用化に向けて長期一貫 (最長 10 年) した研究開発によって産業創出の礎となるイノベーションを興すことを目的としている。今年度は設定された 4 テーマ (IPS 細胞、有機エレクトロニクス、フォトニクスポリマー、超伝導) について、公開シンポジウム・公募・ヒアリング・選考を経て、それぞれ 4~5 件の研究開発計画が採択された。そのうちの一つとして「高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」が開始された。

本プロジェクトの概要は次のようなものである。： 高温超電導 SQUID 磁気センサのポテンシャルを最大限に引き出すことにより、低温 SQUID に匹敵する高感度性と高い信頼性を持つ SQUID システムを開発し、種々の産業応用への展開を可能とする。このために必要な、積層化技術を用いた高温超電導 SQUID、高感度センサシステム、及び先端磁気イメージング手法などの要素技術を確立する。これらの要素技術を統合して、従来にはない高性能と新機能を有する先端バイオ・非破壊センシング技術を開拓する。すなわち、医療診断や再生医療のためのバイオセンシング技術を開発し、免疫検査、培養心筋細胞検出、心磁検出、および超低磁界 MRI への応用展開を図る。また、エネルギー分野で重要となる電池や農業分野で重要となる水分の分析・評価のための非破壊検査システムを開発する。これらのプロトタイプの開発・評価を通して超電導センシング機器の基盤技術を確立し、製品化を目指した実証試験につなげる。

「S-イノベ」は実用化までを視野に入れた事業であり、研究開発は企業と大学等からなる研究開発チームで行うこととなっている。本プロジェクトのチーム構成は、九州大学、(株) 日立製作所、(株) 日立ハイテクノロジーズ、豊橋技術科学大学、岡山大学、ISTEC である。研究および開発リーダーはそれぞれ圓福敬二教授 (九大)、神鳥明彦氏 (日立) が務める。本チームにおける ISTEC-SRL の役割は、これまで蓄積してきた酸化物積層構造とランプエッジ接合の作製技術をより高度化し、各種応用に最適な SQUID チップを開発することである。これまでの高温超電導 SQUID の応用研究では、バイクリスタル接合やステップエッジ接合といった、単層の超電導薄膜をパターンニング加工して作製するチップが用いられてきた。本プロジェクトでは、これまで広く用いられることのなかった積層構造を持つ SQUID を採用し、様々な分野への実用化を念頭においた先進的なシステム開発を進めていく。

* <http://www.jst.go.jp/s-innova/index.html>

超電導 Web21 トップページ

特集：超電導産業機器技術の展開

「超電導産業機器技術の動向」

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
教授 大崎博之

各種産業分野での応用を目指して、これまでいろいろな超電導機器の開発が行われてきたが、ここではまず、最近、研究開発にいろいろな展開が見られる超電導回転機に着目してみたい。高温超電導モータは当初、産業部門の電力需要の 60 % 以上を占めるモータの損失を低減するための有望な技術として注目された。主にポンプやファン用などの大型モータをターゲットに超電導技術の適用可能性が検討され、米国を中心に研究開発が進められたが、その後、ターゲットは船舶推進用の低速・大トルクモータへと移り、主に米国やドイツなどで大型モータの開発と試験が行われた。我が国での動きはそれと比較して鈍く、小規模な研究にとどまっていたが、ここ数年は船舶用モータを中心に研究開発が産学連携で進められるようになった。特にこの 1、2 年は川崎重工業と東京海洋大学を中心とするグループで研究開発が盛んに進められている。また、電気自動車用超電導モータの基礎研究を継続的に進めてきた京都大学を中心とするグループは、研究開発が本格化し、数年後には実証試験が計画されている。また超低速・大トルク回転機である大容量風力発電機の研究開発も国内外で盛んになっている。回転機は汎用性の高い機器であり、小規模のものからタービン発電機のように大容量のものまで様々なものがある。現在は輸送システム用の回転機や風力発電機の開発が中心であるが、それらの技術開発が進行し、実用化へ向けて技術が向上していけば、他の回転機の要素技術の高度化にもつながり、将来的には機器適用領域の拡大やさらなる技術発展が期待でき、当初ターゲットとなっていたポンプやファン用駆動モータなどへの適用可能性も出てくることが期待できよう。

超電導産業機器が市場に受け入れられるためには、ニーズにマッチした機器開発を適切な目標を設定して推進すると共に、技術の実証及びデモンストレーションが必要である。さらに、当然のことながら、高温超電導線材のコストパフォーマンス向上、冷凍機・冷却システムの低コスト化、高信頼化・保守軽減が必須である。実用機器としてまずは直流超電導応用から切り開かれていき、直流超電導技術の特長を発揮できる高磁界、大電流などを大幅に活かすような応用を見出すことが必要である。5 年ほど前に発表され、すでに市場展開が図られている Zenergy Power と Bültmann の誘導加熱装置は、やや特殊ではあるが、成功している産業機器の代表例であり、超電導磁気分離なども着実に実用展開が図られている。すでに多くに超電導マグネットが導入されているシリコン単結晶引き上げ装置でも線材価格が下がれば高温超電導化の可能性もある。

一方、2025 年の営業運転開始を目指して実用システム開発が精力的に進められている超電導磁気浮上鉄道（超電導リニア）については、2009 年 7 月 28 日に開催された国土交通省 超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会において、「営業線に必要な技術が網羅的、体系的に整備され、今後詳細な営業線仕様及び技術基準等の策定を具体的に進めることが可能となった」との評価がされている。さらに 2009 年 12 月 24 日には、JR 東海と鉄道・運輸機構は、中央新幹線（東京都・大阪市間）の建設費や運輸需要等に関する調査報告書を国土交通大臣に提出した。報告書によると、候補 3 ルートで最短の南アルプスルートの場合、路線長 438 km で所要時間 67 分、建設費約 9 兆円、年間維持運営費約 3000 億円となっている。さらに 2010 年 1 月 25 日には、超電導リニアシステムの展開を図るため、米国を含む海外の高速鉄道路線プロジェクトに参入することを JR 東海は発表した。高温超電導マグネットの導入可能性についても引き続き注目される。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導産業機器技術の展開

「電気自動車用超電導モータ技術開発の進展」

京都大学大学院
工学研究科電気工学専攻
准教授 中村武恒

筆者をプロジェクトリーダーとする産学グループは、高温超電導誘導同期機（High Temperature Superconducting Induction-Synchronous Machine: HTS-ISM）^{1),2)}を電気駆動式自動車へ搭載する研究開発にチャレンジしている^{3),4)}。本研究開発は、NEDO の支援のもと、「省エネルギー革新技术開発事業」の一環として実施しており、国立大学法人京都大学とアイシン精機株式会社が委託先となり、株式会社イムラ材料開発研究所、国立大学法人新潟大学、財団法人応用科学研究所との共同研究として実施しているものである。本稿では、上記研究開発の概要について紹介する。

本プロジェクトでは、車載用高効率・高出力密度 HTS-ISM の研究開発、最適ドライブ技術開発、小型高効率無摺動冷凍機開発、小型回転機用冷却構造・方式の研究開発を 4 本柱とし、市販ベースの高温超電導線材を適用した次世代の冷凍機一体型磁石レス駆動システムを実現するものである。即ち、あくまで現状で量産化が可能か、若しくは量産化が展望できる高温超電導線材を対象とし、車載用として必要なスペックを満足する駆動システムを目に見える形で実証することを目指す。最も導入インパクトのあるミドルクラスの電気自動車を想定した場合、必要な最大出力は 100 kW 程度であるが、筆者の解説⁵⁾でも述べているように、冷却系の損失を考慮しても高温超電導化の革新的メリットを見出す必要がある。本プロジェクトでは、下記 2 項目を実現することによって、既存機（IPM モータ*（日本で主流）、誘導モータ（欧米で主流））に対して圧倒的な省エネ効果が達成可能と考えられる。

(1)可変速駆動に対して高効率

(2)高トルク密度化

即ち、まず項目 (1) に関して、自動車には様々な走行モードがあつて、車軸の感じるトルクや速度が時々刻々変化するが、そうした“可変速”駆動に対して総合効率が高くなければならない。なお、ここでいう“可変速”とは、一般的省エネ効果の観点から議論される概念と異なる。即ち、省エネとなる“可変速”運転（例えば大型送風機のダンパ制御など）を検討するのではなく、運転者の要求する“可変速”運転の制約条件下で高効率化を達成する意味から、一般的“可変速”運転と研究開発のベクトルがやや異なることに注意を要する。一方、回転機超電導化→銅損減少→回転機単独で見た場合に高効率、というロジックは真であるが、通常は数百 kW 級～MW 級程度以上を想定し、スケールメリットを活かした研究開発が主流である。それに対し、項目 (2) の高トルク密度化が達成されれば、既存車載駆動に必須のトランスミッションギアが不要となる。即ち、駆動系におけるトランスミッションの省略によって、車体の軽量化が可能になるだけでなく、同ギアの損失がゼロとなり、つまり冷凍機の冷却損失を考慮しても高効率になると期待される。以上より、所謂ダイレクトドライブ方式の可変速高効率駆動システムによって、究極の省エネを磁石レスで達成できると考えられる。

図 1 には、一例として非線形等価回路ベースで検討した 50 kW 級 HTS-ISM の効率マップを示す⁶⁾。同図は、第 2 世代 Prius[®]（トヨタ自動車株式会社）に搭載されている IPM モータと同等の体格ならびに最大出力⁷⁾について得られたものであるが、広範なトルク・回転速度において非常に高効

*Interior Permanent Magnet

率である。特に、低速の定トルクモードにおける高効率化は IPM モータでも得られない特性である⁷⁾。さらには、最大トルクが 1600 Nm に達している。第 2 世代 Prius[®]では、IPM モータ（公称最大トルク 400 Nm）にギアを介して上記値を実現しているが、HTS-ISM ではこのトルク値をモータのシャフト軸で達成している。つまり、このことはダイレクトドライブ駆動の可能性を明確に示唆している。なお、第 2 世代 Prius[®]はハイブリッド自動車であることから、搭載モータのみによる電気駆動運転は限定的であり、即ち電気自動車駆動モータとして純粋な比較が出来ていないが、現状で詳細な公表データが得られている車載回転機であることから検討対象とした。従って、勿論本来的には純粋な電気駆動自動車に搭載されている回転機との比較検討が必要であり、現在検討中である。

図 2 には、HTS-ISM を搭載したダイレクトドライブ車載システムの概念図を示す。本研究開発では、上記システムを実現すべく、現在精力的な研究開発を実施している。

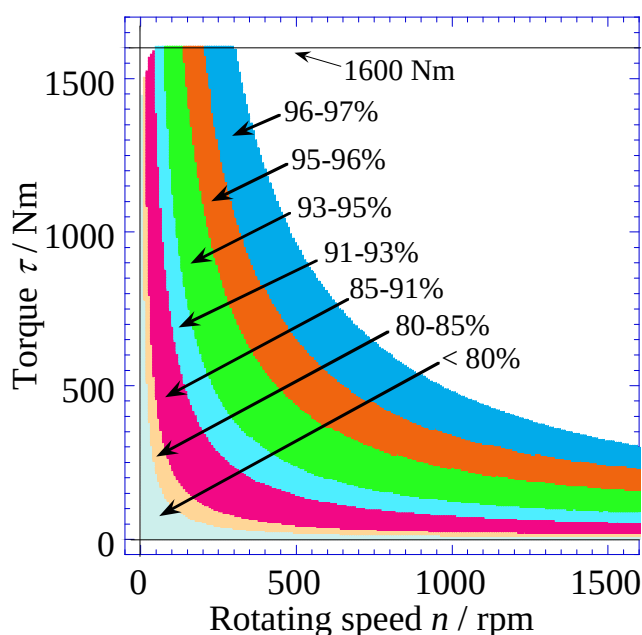


図 1 50 kW 級 HTS-ISM における効率マップの解析例⁶⁾

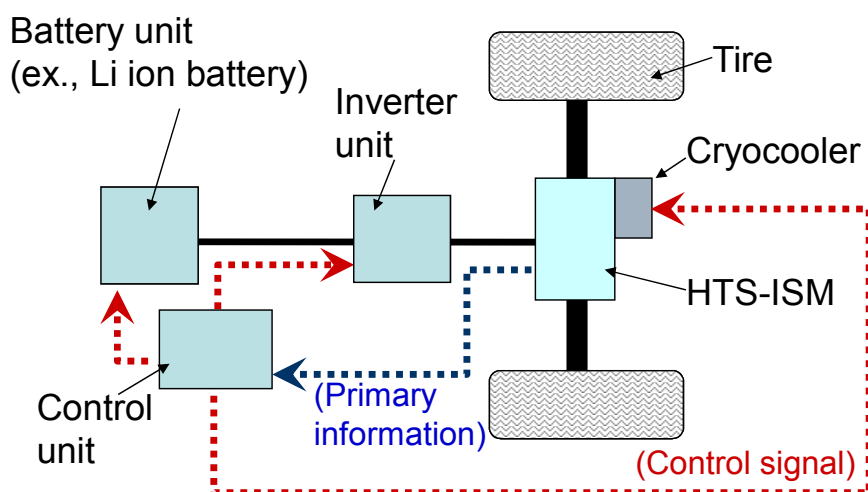


図 2 HTS-ISM を適用した車載駆動システムの構成例⁶⁾

参考文献：

- 1) 中村武恒, “超電導かご型誘導／同期モータの開発”, 超電導 Web21, 2007 年 3 月号, pp. 7-8
- 2) 中村武恒, “特集：超電導産業機器技術の進展「高温超電導誘導・同期回転機技術の展望」”, 超電導 Web21, 2008 年 3 月号, pp. 3-4
- 3) 2009 年 6 月 10 日付日経産業新聞「2030 年への挑戦 次世代産業技術 高温超電導材料⑤」 p. 9
- 4) 2009 年 11 月 30 日付日本経済新聞「超電導モーター 電気自動車向け開発加速」 p. 12
- 5) 中村武恒, “超電導モータの過去・現在・未来(その 1)”, 超電導 Web21, 2010 年 2 月号, pp. 22-23
- 6) T. Nakamura, T. Nishimura *et al.*, to be submitted to Superconductor Science and Technology
- 7) R. H. Staunton *et al.*, “Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System”, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Under contract DE-AC05-00OR22725 (2006)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導産業機器技術の展開

「船舶用超電導モータの技術開発の現状」

東京海洋大学海洋工学部
教授 和泉 充

高温超電導体の結晶を溶融成長させたイットリウム系バルク超電導体を固定界磁とするモータが試作されて以来、我が国では、回転界磁にバルクを応用したモータの試作、またビスマス系高温超電導線材を鉄芯の周りに巻き線して界磁や電機子に応用したモータの開発等が進展し¹⁾、一方では、線材を鉄芯に巻き線しない空芯（コアレス）の超電導コイルを製作して大電流を通電させるコアレス界磁とし、これを組み込んだモータなどが試作されている²⁾。米国からは **36.5 MW** の船舶推進モータの負荷試験の成果が公表されているほか、我が国を含めて欧州や韓国において、超電導モータの船舶推進への導入メリットが高くなる **MW** クラス以上の回転機の開発が進んでいる。このことは「超電導材料・線材の実証」から「超電導産業機器としての超電導モータ成立性の実証」の段階へと本格的な移行期にあることを示している³⁾。今後、多様なモータについて超電導材料（バルク、線材）のポートフォリオを明らかにしておくことも必要であろう。

原油価格の変動や国際的な温暖化対策などの船舶を取り巻く社会情勢から、海運業界は、一層の燃費改善や **GHG (Greenhouse Gas)**・排ガス規制への対応に迫られている。このため、太陽光などの自然エネルギーや、燃料電池を活用した地球環境に優しい「エコシップ」の開発がアピールされている^{4),5)}。市場投入のポイントとして、新燃料・発電プラントとともに、プロペラ効率の改善として **2 重反転プロペラ**などが挙げられている。今後、操船性、排ガス規制や経済性、省エネ性などを要素として一層の高効率推進システムが求められる。

この点、**MW** 以上の大出力超電導モータにおいて、高効率、コイルの耐久性、信頼性、保守性に加えてコストがクリアされれば、超電導モータが船舶推進システムに実装される日も遠くないと予想される。推進動力は海上を単独で航行する船舶のバイタルパートであり、負荷変動に対応できることはもちろん、無骨でも頑健で壊れないシステムが要求されることを十分に銘記しておかなければならない⁶⁾。

参照：

- 1) <http://www.ihl.co.jp/ihl-ism/techno/motor1.html>
- 2) <http://www.jrft.go.jp/business/research/seika/data/h20-02b.pdf>
- 3) Proc. of EUCAS2009, J. of Phys., Conference Series, in press.
- 4) http://www.nyk.com/release/5/NE_090416.html
- 5) <http://www.mol.co.jp/ishin/carcarrrier/future/index.html>
- 6) <http://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2003/00390/mokuji.htm>

超電導 Web21 トップページ

特集：超電導産業機器技術の展開

「風力発電用超電導回転機の設計技術の現状」

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
教授 大崎博之

地球温暖化問題に代表されるエネルギー・環境問題の解決あるいは軽減へ向けて、自然エネルギーのいっそうの有効利用が叫ばれる中、風力発電の導入量は世界規模で増大している。風力発電機出力は現状で最大 **6 MW** 程度であり、スケールメリットを活かすためにさらに出力を増大させることも検討されているが、発電機（+増速機）重量は著しく増大するため、従来技術に基づく設計・製作および建設は急激に困難になる。そこで、超電導技術を適用することにより **10 MW** 級の大型風力発電機が可能になることが期待され、研究開発が進められている。

風力発電機の設計において、他の超電導機器と同様に電磁界設計、機械・構造設計、熱設計は重要である。例えば、**10 MW** 級のダイレクトドライブ風力発電機を想定すると、直径 **160 m** 程度の風車の定格回転数は **10 rpm** 程度であり、発生トルクは約 **10 MN** に達する。**10 MN** のトルクを伝達しつつ、良好な断熱が求められるトルクチューブはたいへん重要なコンポーネントである。したがって、超電導機としての軽量・コンパクト性を活かし、かつ電磁力支持構造を考慮した電磁界設計と、強力な電磁力・トルクに対応した機械・構造設計、及び回転機を効率的に冷却かつ断熱する熱設計の技術の向上と確立が必要である。また、発電機システムとしては冷却システム、電力変換器、電力ネットワークと連系するための設備等もちろん重要である。

世界的には、**Converteam** 社が **8 MW** 風力発電機の設計、要素技術開発から発電機開発へと、かなり開発ステージが進んでいるようである。米国 **AMSC** 社も **8~10 MW** 出力の発電機の検討を進め、設計された **8 MW** 機は外径 **5 m**、長さ **3 m** で重量 **120~140** トンとなり、従来技術と比較して軽量化のメリットが大きいことを示している。デンマーク工科大学（**DTU**）でも **10 MW** 機の設計を行い、その発電機外径は **4.7 m**、運転温度 **20 K**、**16** 極、最大経験磁界 **9.1 T** というような設計パラメータとなっている。

また、我が国においても最近、**10 MW** 級の風力発電機をターゲットに、構造に特徴のある超電導発電機の提案と設計研究が進められている。私を含む東大・中部電力グループは横方向磁束強化型とよぶ、単純形状の円形パンケーキコイルで超電導界磁を構成する超電導発電機を提案し、東大・新日鐵グループでは超電導コイルとバルクを併用した超電導界磁の可能性を探っている。また、新潟大・横浜国大・中部電力グループは、回転子側の界磁コイルを径方向に **2** 分割し、その間に電機子巻線（固定子側）を配置するタイプと、界磁コイルの両側に電機子巻線を配置するタイプの両方を検討している。最近では電磁界解析ソフトウェアがたいへん進歩し、**2** 次元あるいは **3** 次元モデルで磁束密度分布、発生電磁力・トルク、発電特性等を詳細に解析できるようになり、超電導回転機の設計にも大いに役立っている。今後はさらに機械・構造設計や熱設計を詳細に詰めていくことが必要である。

我が国では **Super-GM** プロジェクトで **200 MVA** 級タービン発電機の設計と、その縮小モデルとして **70 MVA** 機を設計、製作、試験をした実績があるが、高温超電導発電機の大型プロジェクトはこれまで無く、超電導回転機の設計、製作技術の向上と機器実用化の加速のためにも研究開発ステージの大幅な前進が大いに望まれるところである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導産業機器技術の展開

「超電導磁気分離装置の普及状況」

大阪大学大学院工学研究科
教授 西嶋茂宏

近年の廃水処理法として超電導磁気分離が注目されている。2009 年 3 月にドラム缶洗浄廃水処理システムが開発された。また、2009 年 9 月には揮発性有機塩素系化合物（Chlorinated Volatile Organic Compounds、以下 C-VOC）汚染土壌修復技術に使用される浄化薬剤の回収装置が開発されている。現在、それら以外にも計画されている磁気分離装置もあり、徐々にその全貌が明らかになっていくものと考えられる。ここでは、前者 2 件について紹介する。

日本板硝子エンジニアリング(株)は、環境省からの助成を得、ドラム缶洗浄水を浄化する磁気ろ過器を開発し、協業組合関西ドラムセンターで実証試験を実施した。

ドラム缶には、未使用である新缶と使用済みドラム缶を洗浄した再生缶の 2 種類がある。新缶の方が安価で経済的であるが、廃棄物を含むドラム缶の野積みなどにより、汚染物質が土壌や河川に流出する環境悪化が問題となる可能性がある。そのためドラム缶を洗浄して使用する再生缶が望ましい。しかし再生缶は洗浄して再使用するため、洗浄水の処理の問題が新たに惹起され、現在では産廃として処理されている。洗浄するドラム缶は主に化学会社、石油会社、食品会社、薬品会社等で使用されたものである。このため洗浄廃水は、種々の油分、薬品等を含んだ混合廃水であり、その浄化処理には困難が伴う。その結果、その廃水は産廃処理、下水処理がなされている。この廃水を適切に処理し、再利用することが可能となれば、環境保全に貢献するのみならず、工業用水の使用量を減少させ、経済的メリットが大きい。このような背景で、磁気ろ過器が開発された。

当該システムでは、磁気シーディング機で洗浄廃水中の汚濁物質（以降 COD）を、強磁性微粒子と共にフロック化した後、磁界発生源の近傍を通過させることで、磁気力によりろ過するシステムである。そのため本システムは、磁気シーディング装置、永久磁石による磁気分離部そして高温バルク超電導磁石を利用した磁気ろ過装置である。本装置を用いて、COD を 100 ppm 以下に、日量 40 トンの廃水を処理する事ができるようになった。

鹿島建設(株)は、地下水中の C-VOC を効果的に処理する手法を開発するとともに、MS エンジニアリング(株)と共同で、その手法の中で利用する鉄粉を効率的に回収する方法を、超電導磁気分離を利用して実現した。C-VOC は地下水中に混入すると水に溶解し難く、長期に滞留して地下水を汚染しつづける。そこで C-VOC 汚染に対して原位置浄化を行うエンバイロジェット工法が開発された。当該方法は（高圧噴射）ウォータージェットを用い、C-VOC を分解する機能を有する鉄粉を地中に注入して（地盤と混合して）浄化する方法である。しかしながら、本技術では地盤に混合するために注入した鉄粉の一部が、地上に排泥と共に排出される課題があった。この地上に排出される排泥中の鉄粉を、超電導磁気分離装置を利用することによりほぼ 100 %回収できるようにした。これまで排泥中の鉄粉は、排泥から分離できなかったため浄化に使用されていなかったが、排泥中に含まれる鉄粉を回収して再利用することで、浄化工法のコストが 10 %程度削減できる可能性があるという。磁気分離装置は、(株) MS エンジニアリングと共同で開発したものであり、高勾配超電導磁気分離を利用した鉄粉回収装置で、回収した鉄粉は再利用できることが確認された。

超電導関連 2010 年 3 月 - 4 月の催し物案内

3/2

第 4 回超電導応用研究会／第 7 回冷凍部会例会／第 74 回超伝導科学技術研究会「高温超電導機器の冷却技術」

場所：前川製作所守谷工場、茨城県守谷市

共催：低温工学協会／超伝導科学技術（未踏科学技術協会）

問合せ：長嶋 賢（鉄道総合技術研究所）

Tel: 042-573-7301、Fax: 042-573-7300、E-mail: ken@rtri.or.jp

3/15-19

American Physical Society, APS 2010 March Meeting

場所：Portland Oregon, USA

<http://www.aps.org/meeting/march/index.cfm>

3/17

2010 年第 57 回応用物理学関係連合講演会シンポジウム 超伝導分科会企画「超伝導で“進む”未来技術の最新動向～超伝導の物流・交通への展開～」

場所：東海大学、平塚市

主催：応用物理学会 超伝導分科会

問合せ：応用物理学会 超伝導分科会幹事長（東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻）

下山淳一、Tel: 035841-7705、Fax: 03-5802-2908、E-mail: shimo@sogo.t.u-tokyo.ac.jp

3/17

第 10 回応用物理学会業績賞（研究業績）受賞記念講演「高温超伝導のアキレス腱 超伝導揺らぎ問題と 20 年かかった線材の実用化」、科学技術振興機構 北澤宏一

場所：11.1 超伝導 基礎物理セッション内（会場 ZM：11 時 15 分-50 分）、東海大学、平塚市

主催：応用物理学会 超伝導分科会

問合せ：東北大学 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター 淡路 智

Tel: 022-215-2151、Fax: 022-215-2149、E-mail: awaji@imr.tohoku.ac.jp

4/25-30

ICSM2010: International Conference of Superconductivity and Magnetism

場所：Antalya, Turkey

問合せ：<http://www.icsm2010.org>

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (1/21-2/18)

- ITER 計画の具体像徐々に 六ヶ所研究棟、3 月竣工へ 1/21 電気新聞
- イーター推進へ 日本が主導 超伝導コイル用導体 原子力機構、3 月から製造 1/22 科学新聞
- 東大・電通大 熱力学関数を決定 高温超電導の機構解明へ 1/22 日刊工業新聞
- 第 2 種超伝導体における渦糸格子のモルフォロジー 全容解明へ向け研究進む 岡山大グループ 1/22 科学新聞
- リニア「技術は確立」 JR 東海と米社、強調 米運輸長官、来日の意向 1/26 朝日新聞
- 温室ガスの削減目標どうなったの? 各国の「言い値」だから、まだばらばらなんだ 1/26 朝日新聞
- 新幹線、米で積極営業 JR 東海「フロリダ州が最優先」 海外事業計画発表 リニア受注も狙う 関連企業、米で商機拡大 1/26 日本経済新聞、朝日新聞、読売新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 理論値とエントロピー 摩擦によって減少するエクセルギー 1/26 電気新聞
- 科学技術政策への要望 成長戦略、早期実行を 技術立国へ姿勢崩さず 将来見据えた重点投資 1/29 日刊工業新聞
- スマートグリッド 国際標準規格獲得へ 経産省 重要アイテム特定 1/29 電気新聞
- 期待高まる粒子線治療 がん患者の負担軽減 施設維持費がネック 2/1 日刊工業新聞
- リニア輸出 「ガラパゴス」脱し世界へ 2/1 朝日新聞
- 次世代送電網の研究加速 日立 大型蓄電池、寿命 10 年 三菱電機 安定供給で故障防ぐ 技術標準化戦略も進む 日本勢、中印市場進出カギ 2/1 日本経済新聞
- 国際宇宙ステーション搭載の全天 X 線監視装置 X 線天体、世界に速報 2/2 日刊工業新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 理論値とエントロピー 熱エネルギー利用では必ず「無効分」が 2/2 電気新聞
- 次世代電力網「スマートグリッド」 電力業界も本格始動 新規事業展開も視野 2/4 朝日新聞
- 古河電工 中国スマートグリッド実験 超電導ケーブル応札 2/4 日刊工業新聞
- マーケティングという考え方 STP で標的市場絞り込み 2/4 日経産業新聞
- 原子力機構 ITER 計画 核融合研究の拠点始動 材料照射へ加速器開発 遠隔実験で成果に期待 総合力ではトップクラス 成果重ね六ヶ所を世界に 2/4 電気新聞
- 環境省の温暖化対策 行程表素案に反発の声 補助金の規模・新エネ導入量不鮮明 2/5 電気新聞
- 名古屋産業科学研・先端医療振興財団 「磁化水」計測に成功 高感度センサー開発 2/5 日刊工業新聞
- リニア中央新幹線 東京～名古屋 40 分に 2/9 日本経済新聞
- エネルギーのものさし 暖房と冷房のエクセルギー 熱エネルギーの効率的利用がカギ 2/9 電気新聞
- バイオ資源の有効活用に向け 代謝混合物の新たな NMR 評価法を開発 2/12 科学新聞
- 次世代送配電網 官民連携で国際展開 経産省 標準化へ情報共有 2/12 電気新聞
- 環境支援型外債広がる 風力や太陽光発電に活用 日本の家計に照準 2/13 日本経済新聞
- 15 年までに GDP 比 10 % 中国 環境 省エネ産業 2/15 電気新聞
- 低炭素 変わる電力利用 家庭の省エネ“見張り番” スマートメーター 2/15 日刊工業新聞
- 高速鉄道ー海外へ展開 「新幹線」米で受注狙う 2/15 日刊工業新聞
- 三菱重工、米で風力装置 貿易摩擦を回避 2/15 日本経済新聞

- 次世代電力網で都市開発 経産省が企業組織化 2/16 日刊工業新聞
- 次世代産業技術 大型リチウムイオン電池 自然エネ電力、安定供給 2/16 日本経済新聞
- インドで風力発電機参入 シーメンス 3 年で 300 億円投資 2/16 日本経済新聞
- 再生可能エネルギー利用 利害対立が顕在化 調整ルールの整備必要に 2/16 日本経済新聞
- 法案 本格協議スタート 温暖化対策 司令塔不在 政府へ募る不信 実現に裏付けなく 2/16 毎日新聞
- NEDO 次世代送配電網を推進 3 月新組織成立 2/16 電気新聞
- 100 兆円市場の主役達たち 超電導ケーブルに期待 世界標準巡り競争加熱 2/17 日刊工業新聞
- IT 活用など検討 環境問題の解決策に 産講審分科会 2/17 電気新聞
- 大規模風力先駆け 欧州仕様 19 機稼動 2/17 電気新聞
- 太陽電池 出荷倍増 過去最高 4 年ぶり更新 昨年 開発競争も激化 2/17 毎日新聞
- 三井物産 米で天然ガス権益 クリーンさ 需要が急増 2/17 毎日新聞
- スマートグリッドに軸足 LP ガス IT 推進協 組織体制を一新 共通テレメータリング構築 2/18 日刊工業新聞

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き (2010 年 1 月)

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長 津田井昭彦

会議

ivSupra (2010 年 1 月 13 日)

ivSupra は「Future and Innovation of Energy Technology with High-temperature Superconductor」第 2 回会合を 2010 年 3 月 16、17 日 Bonner Wasserwerk 会議場（ドイツ、ボン）で開催すると発表した。会議の公用語はドイツ語。会議では、研究機関や企業の専門家が超電導技術の現状を概観し、超電導を利用した現代電力ネットワーク技術に焦点を当てて、エネルギー効率の観点からの利点を説明する。新しい電力ネットワークの研究、中間電圧及び高電圧超電導ケーブルや先端限流器システムの最近の実用上の経験がトピックス。また、会議では超電導線材や各般の超電導応用についての講演も行われる。金属産業への超電導技術応用（2009 年ドイツ環境賞受賞）や船舶推進への応用の成功事例も取り上げられる。本会議はドイツ経済技術省の後援の下、Industrieverband Supraleitung e.V.、Karlsruhe Institute of Technology (KIT) 及び Project Agency Jülich (PtJ) により主催される。詳細は www.ivsupra.de を参照されたい。

出典:

“More energy efficiency with Superconductivity”

ivSupra press release (January 13, 2010)

http://www.ivsupra.de/images/stories/Presse/2010_01_ivs_ziehl_ii_final.pdf

電力

American Superconductor Corporation (2010 年 1 月 5 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) の完全子会社 AMSC Windtec™ は、オフショア風力発電向け 5-MW フルコンバージョン風力発電機の設計と共同開発を目的としたフォローオン契約を中国 Dongfang Turbine Co., Ltd と締結したと発表した。Dongfang 社総支配人兼技師長の Wang Wei M in は次のように述べた。「AMSC 社との協力関係が拡大し、クリーンな風力発電に対する需要の高まりを満たすため高出力フルコンバージョン風力を我が社のポートフォリオに加えることができ我々は大変喜んでいる。」Dongfang 社は 5-MW フルコンバージョン風力発電機の設計に関し中国内で独占実施権を保有し、2012 年にはこの風力発電機を世界のオフショア風力発電機市場に供給することを計画している。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「Dongfang 社は中国での風力発電機主要メーカーの 1 つとしての地位を確立しており、新たな 2.5 MW 発電機を今年後半に、5 MW 発電機を 2 年後に導入するなど 2010 年以降に大きな飛躍をしようとしている。我々は益々多くの顧客が新しい風力発電機設計のリピーターとなっていることをとりわけ嬉しく思っている。このことは我々の先端風力発電技術が世に認められたことを示すものであり、我々の顧客及び我が社が更に成長していることを示すものである。」

出典:

“AMSC Signs Contract to Develop 5 Megawatt Wind Turbines with China's Dongfang Turbine Co. Ltd.”

American Superconductor Corporation press release (January 5, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1370610&highlight

Zenergy Power plc (2010 年 1 月 7 日)

Zenergy Power plc とそのパートナー企業 Bültmann GmbH は、磁気ビレットヒーターの追加発注を最初の顧客である Weseralu GmbH & Co. KG から受け、これにより過去 6 ヶ月での販売台数を 3 とした。Weseralu 社が以前導入した磁気ビレットヒーターにより、エネルギー消費 50 % を節減し、生産性を 25 % 向上することができたと伝えられている。また、Weseralu 社は磁気ビレットヒーターがメンテナンスに手がかからず、優れた加熱性能を持ち、柔軟な運転が可能であることに強い印象を受けたと語っている。超電導磁気ビレットヒーターが経済的で運用上の優位性が明確になったことを受け、Weseralu 社は世界初の産業スケールの超電導装置の導入からわずか 18 ヶ月後に現在保有している従来型ヒーターを超電導ヒーターに置き換えることを決めたものである。Zenergy Power 社 CEO の Jens Mueller は次のように述べた。「今回の注文は我がグループにとって大きな意義を持つものであり、満足のいく勝利である。初期の顧客との繰り返しの取引や現行機器の完全な置き換えほど新規技術に対する大きな支えはない。今回は継続取引と新規技術による完全な置き換えという 2 つのものを一挙に得た。このことは我々の超電導技術の革新性やこれにより物事の本質を変えていくということを実証するものである。我々の装置の導入コストの元をとるのは 1 年以内で可能である。特に我々の最初の顧客が技術の利点を認識して最初の注文から時を経ずして追加購入を決定したことを喜んでいる。」

出典:

“Magnetic Billet Heater: Repeat Order”

Zenergy Power plc press release (April 26, 2007)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-01-07-MBH-Repeat-Order.pdf

American Superconductor Corporation (2010 年 1 月 11 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国の Xiamen Red Phase Instruments Inc から新しい D-VAR システムの注文を受けた。この装置は、China Southern Power Grid Company Ltd により運用されている電力グリッドの一部についてその信頼性を向上するために使われる。AMSC 社はこの D-VAR を 2010 年 7 月末までに出荷する予定。この D-VAR の注文は Red Phase 社からの 2 回目のものであり、過去 12 ヶ月で中国からの 4 番目の注文となる。また、AMSC 社は Red Phase 社を中国南部の電力グリッド市場の販売パートナーに指名した。

出典:

“AMSC Receives Fourth D-VAR® System Order for Power Grid in China”

American Superconductor Corporation press release (January 11, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1373321&highlight

Zenergy Power plc (2010 年 1 月 13 日)

Zenergy Power plc は、Honeywell Specialty Materials 社が次世代線材の量産に求められる産業スケールでの原材料薬品供給メーカーとして十分な能力を持つものと認定したと発表した。Honeywell 社の認定は、Zenergy 社が同社特許である全化学プロセスを採用することにより線材コストを大幅に低減させるという計画実現に向けての大きな 1 歩である。この認定により、Zenergy

社は線材性能の再現性や品質を維持しつつ必要な原材料薬品供給を確保して全化学プロセスのスケールアップを図ることができる。この認定は、両社の間で締結された共同開発契約の一環であり、この契約は Zenergy Power 社向け産業規模の大量の前駆体の供給を確保することを目的とし、次世代線材生産のスケールアップに伴い両社の関係を更に深めていくための基盤となるものである。

出典:

“2G Qualification of Honeywell”

Zenergy Power plc press release (January 13, 2010)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-01-13-2G-Qualification-of-Honeywell.pdf

Zenergy Power plc (2010 年 1 月 21 日)

Zenergy Power plc は英国 Applied Superconductor Limited から超電導限流器のコマーシャルベースでの初めての注文を受けた。初めて受注したこの中間電圧限流器は 2010 年後半英国 CE Electric 社の配電ネットワークに設置される予定。西ヨーロッパ及び米国は過去に類を見ない電力グリッドへの投資が必要な地域と見られており、これら地域で Zenergy 社の限流器が設置されようとする状況になったという意味で、今回の注文は注目に値する。Zenergy Power 社 CEO、Jens Mueller は次のように述べた。「増大する電力需要のため世界中の電力グリッドに大きな負担がかかっている。我々の限流器は性能を上げた新たな電力グリッド機器の導入に替わる代替手法であり、費用は 1/8 ～ 1/2 程度ですむ。地域によらず、電力会社やグリッド事業者にとって、このコスト低減効果は極めて魅力的であり、大きな関心を集めている。我々の限流器開発の多くの部分は米国で実施されているが、実際の商用 1 号機の販売がヨーロッパで実現し、その商業化が現実のものとなった。増大する電力需要や再生可能エネルギー発電は世界のトレンドであり、限流器の世界市場を後押ししている。」

出典:

“First Commercial Sale of Fault Current Limiter”

Zenergy Power plc press release (January 21, 2010)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-01-21-First-Commercial-Sale-of-FCL.pdf

Zenergy Power plc (2010 年 1 月 22 日)

Zenergy Power plc は 2,004 万ポンド（実際の手取り額は約 1,920 万ポンド）の資金を集めた。これは、16,700,000 株の新規発行によるもので、社内向け 1 株 1 ペンス（通常株式）、外部新規及び従来から取引のある機関投資家には 1 株 120 ペンスという価格であった。過去 6 ヶ月 Zenergy 社はそのターゲットとする市場での競争力強化を行い、2010 年の受注が約 410 万ユーロに達したことを受け、この新規株式発行を行ったものである。この株式発行で得られた資金は次のような用途に使われる予定。1) 開発している高電圧限流器の完成（2011 年後期に American Electric Power 社の電力グリッドに設置予定）、2) 低コスト超電導線材量産化に必要な全化学プロセスの技術開発の完成、3) 米国及びヨーロッパにおける中間電圧及び高電圧限流器の販売及びマーケティングといった営業活動の拡大、4) 2010 年及び 2011 年に予想される磁気ビレットヒーターの注文増加に対応するための運転資本。この新規通常株式は、従来の通常株式と同じ位置づけであり、満額払い込みと同時に割り当て、発行される。手続きが完了すれば、Zenergy Power 社の通常株式発行総数は 68,941,970 株となる。

出典:

“Institutional Placing to Raise £20,040,000”

Zenergy Power plc press release (January 22, 2010)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-01-22-Institutional-Placing.pdf

American Superconductor Corporation (2010 年 1 月 26 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国 XJ Group Corporation から風力発電機用コア電気部品 100 セットの初めての発注を受けた。この部品は、AMSC 社完全子会社の AMSC Windtec™ と XJ Group が共同開発した 2-MW 二重誘導風力発電機に組み込まれる。XJ Group は、2009 年 12 月に 2-MW 風力発電機 1 号機の製造を終了しており、同時に年間生産能力 1000 MW の新しい風力発電機製造工場の建設も終えている。XJ Group は中国で風力発電機を量産する 3 番目の AMSC Windtec 社の顧客である。XJ Group 社社長 Li Fusheng は次のように述べた。「AMSC Windtec 社は我が社に幅広いサービスを提供してくれる。これは、我が社の風力発電機製造事業が強い基盤を作るために大いに助けになった。AMSC Windtec と協力を開始してわずか 15 ヶ月で 2 MW 風力発電機の生産に入れることを誇りに思う。また、我々の前には中国風力発電機市場における大きなビジネスチャンスが待っている。」

出典:

“China's XJ Group Orders Initial 100 Sets of Wind Turbine Core Electrical Components from AMSC”
American Superconductor Corporation press release (January 26, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1378894&highlight

マグネット

GE Global Research (2010 年 1 月 27 日)

General Electric Company の技術開発部門である GE Global Research は、MRI システムをより安価に、また、その設置をより容易にする無冷媒マグネットの開発を目的とした 4 年間、総額 327 万ドルの補助金を National Institutes of Health (NIH) から受けることとなった。GE Global Research の MRI マグネットプロジェクト主任研究者 Minfeng Xu は次のように述べた。「極低温冷媒を使うことにより、MRI の設置場所に制約を受ける。我々はこの状況を打ち破り、世界中でより多くの人々がこの重要な画像診断技術の恩恵に浴せるようにしたいと考えた。無冷媒マグネットの開発により、我々は全体のサイズ、コストを低減し、設置場所の要件を緩和することができる。また、発展途上でインフラが十分でない地域でもこの新しい MRI システムであれば設置がより容易になる。」今回提案したマグネットの開発に成功すれば、今日の永久磁石型 MRI (磁界 0.2 – 0.35 T) と同様の価格と設置の容易さを持つ MRI が実現でき、しかも高磁界 (1.5 – 3.0 T) で優れた品質の画像が得られる。

出典:

“GE Working to Expand Access of Magnetic Resonance Imaging (MRI) Systems to Underdeveloped Regions”

GE Global Research press release (January 27, 2010)

<http://www.genewscenter.com/Press-Releases/GE-Working-to-Expand-Access-of-Magnetic-Resonance-Imaging-MRI-Systems-to-Underdeveloped-Regions-2530.aspx>

冷凍機

Air Force Office of Scientific Research (2010 年 1 月 28 日)

Air Force Office of Scientific Research からの大学間共同研究のための補助金により、University of New Mexico, Los Alamos National Laboratory 及び University of Pisa (イタリア) の共同研究チームは航空機及び衛星搭載全固体冷凍機を開発した。この技術を使えば、超電導エレクトロニクス的小型化を可能にすることが期待される。プロジェクトリーダーで University of New Mexico 教授 Mansoor Sheik-Bahae は次のように述べた。「光学冷却即ち固体光学冷却技術は、現在使われている大型の機械的冷凍機に比べ大きな利点を持っている。固体冷凍機は振動がなく、小型、軽量で、使い勝手がよい（高速でスイッチの切り換えが可能）。」この冷凍機を使って、研究グループは 155 K を達成した。今後 10 K にまでも到達できるような新材料の研究を行う予定。

出典:

“Optical refrigeration expected to enhance airborne and spaceborne applications”

Air Force Office of Scientific Research press release (January 28, 2010)

<http://www.wpafb.af.mil/news/story.asp?id=123187569>

通信

HYPRES, Inc. (2010 年 1 月 28 日)

Hypres Inc. は、SQUID アレーアンテナの開発が Small Business Innovative Research (SBIR) Phase III レベルに移行し、新たに約 300 万ドルの契約を締結したと発表した。Hypres 社は米国 Navy Space and Naval Warfare Systems Center Pacific (SSC Pacific) と共同で、高ダイナミックレンジ Signals Intelligence (SIGINT) アンテナを製造する。このアンテナは、従来のものと比べ優れた性能を有し、小型、軽量、エネルギー消費量も少ない。Hypres CEO、Richard Hitt は次のように述べた。

「我々は SQUID アレー技術の成功を大変喜んでおり、これが武器システムに本格採用されるようパートナーとともに努力していく考えである。」

出典:

“Hypres Successfully Transitions SQUID Array Technology for Antenna Applications to SBIR Phase 3 Contract”

Hypres Inc. press release (January 28, 2010)

<http://www.hypres.com/>

基礎

Brookhaven National Laboratory (2010 年 1 月 7 日)

Brookhaven National Laboratory, Ames Laboratory, Iowa State University, National High Magnetic Field Laboratory at Florida State University 及び St. Andrew's University (スコットランド) の国際研究チームは、鉄基高温超電導体の親物質の中に電子液晶状態が存在する証拠を見出した。重要なことは、この知見は銅基超電導体の親物質で見られるものと類似であることから、これら全く異なる両物質の高温超電導メカニズムに共通要因があることを示唆しているということである。この研究は、独自の非常に高感度な走査型トンネル顕微鏡を使って行われた。この高感度走査型トンネル顕微鏡により物質中の電子配列が直接画像として観察でき、結晶中の電子構造を調べることが可能に

なる。この技術を使って、研究チームは鉄の原子間距離の 8 倍に相当する長さに亘って、特定の結晶軸方向に整列する静的なナノスケールの電子配列を観察することができた。その電子の空間秩序は液晶と類似である。さらに、物質中を自由に移動できる電子は、上記電子整列方向と直角方向に動き、電流を担う電子は液晶状に配列する電子とは異なるものであることを示唆している。次の段階として、研究チームはこのような状態が物質が超電導状態に遷移した後、その超電導性にどのような影響を与えるかを調べる計画である。研究結果は、**Science**2010 年 1 月 8 日号に掲載された。

出典: “Electronic Liquid Crystal States Discovered in Parent of Iron-Based Superconductor”

Brookhaven National Laboratory press release (January 7, 2010)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=1061

Rice University (2010 年 1 月 8 日)

Rice University, the University of Tennessee, Oak Ridge National Laboratory (ORNL), National Institute of Standards and Technology (NIST), Chinese Academy of Sciences -Institute of Physics 及び Renmin University (中国北京) の研究グループは、鉄ニクタイトの無ドーブ親物質であるいくつかの鉄砒素化合物を調べ、これら物質の中を電子が無抵抗で流れることができるのは、電子の磁気的な性質と直接関連しているとの結論を得た。中性子散乱を使って、研究グループは中性子を照射し、構造と磁気特性を調べた。その結果は以前の理論予想を支持するものであり、物質中の磁気秩序の強さは砒素原子がそれよりやや軽い隣原子と置き換えられたときに減少することを見出した。この結果は、量子臨界点がこの物質に存在する初めての直接的な実験的証拠である。Rice University の物理研究者 Qimiao Si は次のように述べた。「今回の研究で得られた証拠は鉄ニクタイト中の高温超電導性は電子の磁性に由来するという仮説を支持するものである。これは、格子振動に由来する従来の低温超電導と対照的である。」研究結果は、**Physical Review Letters**1 月 8 日号に掲載された。

出典:

“Study:Quantum fluctuations are key in superconductors”

Rice University press release (January 8, 2010)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=13532&SnID=1739118847>

[超電導 Web21 トップページ](#)

電気学会 超電導応用電力機器研究会「超電導応用ならびに材料関連技術」報告

名古屋大学 エコトピア科学研究所
エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門
助教 小島寛樹

2010 年 1 月 25、26 の両日、名古屋大学にて電気学会「超電導応用電力機器研究会」が超電導応用電力機器技術委員会（委員長：濱島高太郎（東北大学））の主催で開催された。今回のテーマは「超電導応用ならびに材料関連技術」である。参加者は約 40 名、発表論文は以下の 14 件であり、機器応用技術と損失低減技術を中心として、テーマの通り多岐にわたる内容であった。

1. 電力機器応用関係

「2 MVA 級超電導限流変圧器（HTS-SFCLT）の限流・復帰特性」（名古屋大）

「275 kV 系統 YBCO 超電導ケーブルの過電流通電特性」（早稲田大、古河電工、ISTEC SRL）

「275 kV 級高温超電導ケーブルの開発」（古河電工、ISTEC SRL、昭和電線ケーブルシステム、フジクラ、早稲田大、京都大）

「トロイダル配置された SMES 用冷凍機伝導冷却 YBCO 超電導コイルの安定性と保護」（早稲田大、中部電力）

2. 磁気浮上関係

「高温超電導バルク体の磁気遮蔽効果を用いた磁気浮上システムの改良」（上智大、鉄道総研）

「永久磁石と銅板を用いた超電導免震装置における静止安定浮上と振動伝達特性の検討」（東北大、奥村組）

3. 加速器応用

「粒子線がん治療用加速器応用を想定した高温超電導線材の中性子照射実験」（早稲田大、中部電力、放医研）

4. NMR 応用

「 ^{33}S -NMR 低温プローブと低温プリアンプの開発」（上智大、横浜市立大、理研）

5. 磁気分離関係

「高粘性流体用高勾配超電導磁気分離システムの開発」（大阪大）

6. 損失低減技術関係

「多層構成した三相同一軸型 HTS ケーブルにおける交流損失の検討」（東北大）

「大型 CIC 導体の素線軌跡計測による素線間結合損失に関する検討」（東北大、原子力機構、核融合研）

「多角形配置 YBCO 集合導体の交流損失特性の測定及び評価」（新潟大）

「繰り返し引張り応力/歪み下における銅安定化層付 YBCO 薄膜線材の交流損失特性」（上智大、横浜国立大）

「新構造材料を用いた Bi-2223 線材の機械的損失の低減」（上智大、新潟大、東洋紡、核融合研）

このように、超電導ケーブルや SMES など、実用化を目指した研究開発が行われている一方で、交流損失特性など材料開発・基礎特性に関わる研究発表も多くを占めており、機器応用技術開発と材料関連技術開発が車の両輪となって互いの技術発展に貢献しつつ、分野全体の研究開発が加速される超電導応用技術開発の特徴がよく表れていると言えるであろう。両日ともに、研究会終了後に名古屋大学の超電導電力実験室の見学会が行われ、超電導限流変圧器（SFCLT）や極低温高電圧実験設備が紹介された。



研究会会場の様子

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

もっとやさしい「超電導」のおはなし（その2）

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所材料物性研究部
特別研究員 中尾公一

前回は、超電導状態とは超電導物質が取りうる一つの相であり、低温では超電導相の方が常電導相よりも自由エネルギーが小さいために超電導状態が実現していることをお話しました。今回は超電導相と常電導相の違いを、より微視的な観点から理解したいと思います。

1. 量子力学

超電導状態を理解するには、量子力学と呼ばれる理論体系を知る必要があります。

電気伝導は物質中の電子の流れによって担われています。^{注1)}従って、超電導状態と常電導状態の違いは固体中の電子の振る舞いの違いです。超電導状態を理解するためには固体中の電子の状態を理解し、特に常電導状態との違いを理解する必要があります。そのためには量子力学と呼ばれる理論体系に従う必要があるのです。量子力学はミクロな世界で起こる非常に変わった、直感的に理解しがたい現象を記述する物理理論です。量子力学の奇妙さについては様々にいわれています。「量子力学が理解できたと思うのは、理解できていない証拠だ」といわれる事もあります。「量子力学を理解することは不可能で、慣れることができるだけだ」といわれる事もあります。アインシュタインは最後まで量子力学に慣れることを拒んだ人でした。彼は量子力学が間違っていることを確信し、そのことを証明するために多大の努力を費やしました。しかしこのことに関してはアインシュタインが間違っていました。量子力学は誰にも理解されていないかもしれませんが、しかし正しいと信じられています。

2. 常電導状態

さて、まず順番として常電導状態にある固体中の電子の挙動を量子力学的に理解する必要があります。

2.1 固体の成り立ち

固体は多数の原子からなっており、それぞれの原子は正の電荷を持った原子核とその周りの（複数の）電子からなっています。原子が集まって固体を形成したとき、電子の一部がもともと所属していた原子を離れて固体全体を動き回るようになることがあります。そのような電子を伝導電子と呼びますが、伝導電子を持つ固体が電気を良く通す導体となります。低温になった時に超電導現象をもたらすものはこの伝導電子ですから、伝導電子の挙動が重要です。

2.2 パウリの原理

固体中で伝導電子になっていない電子は特定の原子に所属していますから、その電子の「状態」^{注2)}を表現する時に、どの原子に所属するかを考えればいいことになります。しかし伝導電子の場合は特定の原子に所属しないで動き回っていますから、その電子がどこにいるかということより、どのような速度で動いているかに注目する方が適当です。基本的には速い速度の電子程大きなエネルギーを持っています。さて物理系はそのエネルギーが小さければ小さい程安定するわけですから、総ての伝導電子が最も遅い共通の速度を持つ状態が固体全体として最も安定な状態でしょうか。ところが量子力学の世界ではそうはならないのです。量子力学では2個以上の電子が同じ「状態」を

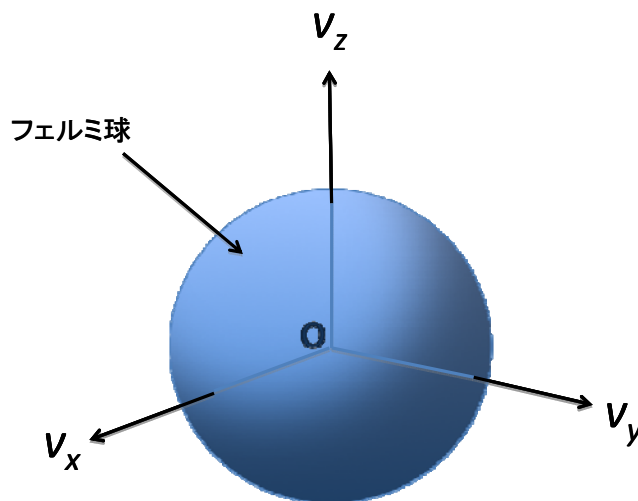
とすることは出来ないという決まりがあるのです。これを「パウリの原理」といいます。「パウリの定理」や「パウリの法則」と呼ばないところが大事で、これはあくまで原理であって、量子力学の中で導きだされる様なものでなく、むしろ量子力学がその上に建設されている土台の様なものなのです。したがって自然はそうなっているとして黙って受け入れるしかありません。

パウリの原理を受け入れた上で、伝導電子全体として最もエネルギーの低い状態はどのようなものか考えてみます。まず最も遅い速度を持った「状態」に 1 個の電子はいられるわけですから 1 個目の電子はその「状態」に入ります。2 個目の電子は最も遅い「状態」には入れませんので、その次に遅い「状態」に入ります^{注3)}。3 番目は更にその次、という風に順番にすべての電子を、パウリの原理に抵触しない範囲で最も小さなエネルギーを持つ「状態」に割り振った状態が、全体としても最も小さなエネルギーを与える状態です。ある「状態」を持つ電子が存在しているとき、その「状態」が電子によって占められている、という言い方をします。劇場の座席が占められているか、空席かという様なことです。なお速度はベクトル量なので、ベクトルとして異なる速度を持った「状態」が同じ運動エネルギーを持つこともあり得ます。

マクロな物体^{注4)}の中には多数の電子が存在しています。例えば 1 cm^3 の金属中には 10^{24} 乗個もの伝導電子が含まれています。したがって全体として最も低いエネルギーを持つと言っても、そのなかで一番速い速度を持つ電子はかなり速い速度で動いていなければなりません。その速度をフェルミ速度と呼びますが、毎秒 1000 km にも達する高速になります。

2.3 仮想的な運動量空間

このように伝導電子系を考察する時には各電子がどの位置にあるかよりも、各電子がどういう速度で動いているかが問題になりますので、電子の「状態」を表現する舞台としては位置座標によって表される通常の 3 次元空間よりも、運動量^{注5)}座標で表した、仮想的な運動量空間を思い描いた方が便利です。速度は方向と大きさを持ったベクトル量ですから 3 次元空間で原点から引いた矢印の終点として表現することが出来ます。これが仮想的な運動量空間です。運動量空間においては一つの点が特定の速度、あるいはその速度で運動している電子を表すこと



になります。運動量空間で原点に近い点は比較的に遅い速度を持つ「状態」、原点から遠い点は速い速度を持つ「状態」です。従って全体として最もエネルギーの小さい状態は、原点を中心として球状に分布した「状態」が電子によって占められていて（満席になっている）、その外側の「状態」は総て占められていない（空席になっている）様な状態です。この球のことをフェルミ球、球の表面のことをフェルミ面と呼びます。超電導にならない物質の絶対零度における常電導状態はこの様なものと理解して下さい。

有限の温度（その 1）で説明した通り、絶対零度よりちょっと高い温度を想定しています）ではどうなるのでしょうか。温度の影響で一部の電子はより高いエネルギーを持つ「状態」に移る可能性があります。但しパウリの原理がありますから、既に占められている「状態」に移ることは出来ません。従って、元々運動量空間の原点に近いところにいた電子は少し位高温になっても、上の「状

態」が総てふさがっていますから、別の「状態」に移ることが出来ません。原点に近いところにいた電子がフェルミ面の上の空席まで一気に飛び移るには数万度もの高温が必要です。しかしそのような高温ではそもそも固体は存在し得ませんから、そのような現象は決して起こりません。ただしもともとフェルミ面の少し下にいた電子にとっては、わずかなエネルギーをもらえばフェルミ面の上の空席に飛び移ることが出来ますから、比較的低温でもそのような飛び移りがおこるはずで。いったんそのような飛び移りがおこれば、今度はフェルミ面の下に空席が出来ますから、より高いエネルギーを持っていた「状態」からべつの電子が飛び移ってくることもあります。有限の温度ではこのような動きが常におこっています。フェルミ球の原点近くでは電子の飛び移りが無く総ての電子がじっとしていますが、フェルミ面の近くでは常に電子の入れ替わりがおこっています。ちょうど水深 4000 メートルの太平洋の海底は静かでも海面では嵐が吹き荒れている様なものです。実際にフェルミ球をフェルミの海と表現することもあります。

もし映画「ミクロの決死圏」に出てくる様な乗り物に乗って運動量空間の中を探検できたらどのように見えるでしょうか。運動量空間内の総ての速度に対応する位置に発光ダイオードのようなものがおかれていて、その「状態」が電子によって占められている時には点灯し、占められていない時には消灯するものとします。するとフェルミ球の奥深くにある発光ダイオードは常に点灯しています。またフェルミ面より遥かに高いところにある発光ダイオードは常に消灯しています。フェルミ面付近にあるものだけがひっきりなしに点灯と消灯を繰り返しています。常電導状態の運動量空間を探検することが出来たら、そのような光景が見られるはずで。

3. 超電導状態

さて、以上は常電導状態のお話でした。それでは超電導状態ではどうでしょうか。超電導状態も運動量空間を使って表現されます。超電導状態の運動量空間を探検したら常電導状態と異なるどのような光景が見られるのでしょうか。やはりフェルミ面付近の発光ダイオードだけが点滅を繰り返しています。一見したところ常電導状態の場合とかわらないように見えます。しかし常電導状態とは何かが違うはずで。点滅の様子を慎重に観察してみましょう。すると重大な違いに気がつきます。いくつもの発光ダイオードがランダムに点滅しているように見えたのですが、実はそこにある種の規則性があるのです。この点が発光している時にはあの点も必ず同時に発光しているという様な相関があるのです。

さて今回は字数がつかまりました。

今回は超電導の電気伝導を理解するために、おもに常電導状態の電子の振る舞いについて説明しました。次回はいよいよ超電導の本質に迫りたいと思います。

注 1) 電気には正負の区別があり、電子は負の電荷を持っています。電子の電荷を正と定義するか負と定義するかは純粹に便宜的、歴史的なもので、電子の電荷が正と定義されていたとしても特に不都合はなかったのです。しかし歴史的偶然によって負と定められたために、電流の向きと実際に電線の中で電子が移動している向きとが逆になってしまいました。このことを悔しがっている人がいますがものは考えようです。電子の電荷が負と定義されたために原子の中心に存在し、電子と反対の電荷を持つ粒子を陽子と命名することができました。太陽のまわりをいくつもの惑星が公転している太陽系モデルで原子をイメージすることがありますが、その場合中心に存在している粒子が「陽子」であることはごく自然ではないでしょうか。

注 2) 状態という言葉は日常でもよく使われる言葉ですが、量子力学では単独の粒子や粒子の集合体に対して厳密に定義された専門用語です。意味は日常用語の状態とほぼ同じです。ここでは仮に量子力学の専門用語としての「状態」を括弧付きで表すことにします。「状態」についての計算を行

うためには「状態」を数学的に表現する必要がありますが、そのための一つの方法が波動関数と呼ばれるものです。

注 3) いったいどれくらい速度が違えば別の新しい「状態」と見なされるのかという疑問がおこるかもしれませんが、その辺はうまく出来ているとだけ言っておきます。

注 4) マクロな物体というのは大きい物体という意味ですが、ここでは原子サイズより遥かに大きいという意味です。従って、例えば 1 ミクロン (1000 分の 1 mm) ぐらいの大きさがあれば十分マクロな物体と言えます。

注 5) 習慣上「運動量」という言葉を使いますが、ここでは「速度」と同等のものだと思って下さい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q:「高温超電導線が実用される場合、用途によっても異なると思われますが、おおよそ何度位で使われるか教えてください」

A: まず、「高温超電導」の「高温」の意味を確認してみます。一般の世界では「高温」は 100°C とか 1000°C とかになるでしょうが、超電導の世界では、一般の世界でいう「低温」のかなり下の方にあたります。20 年くらい前までは、超電導状態になる温度が最も高い物質でも、 -250°C 程度でしたので、その温度に冷却するためには、非常に高価で枯渇の心配もある液体ヘリウム（沸点が -269°C ）が使われていました。しかし、1980 年代にある種の金属の銅酸化物では比較的扱いやすく安価な液体窒素（沸点が -196°C ）で冷却することによって超電導状態になる物質が発見されました。この発見に伴い国際規格 IEC では、「高温超電導」は約 25 K （ -248°C ）以上と定義されました。勿論日本の工業規格である JIS でも、国際規格に整合して、「高温超電導」は約 25 K 以上の定義になっています。

超電導線は、一般に低温になればなるほど最も重要な性能である臨界電流*が大きくなります。また、その結果、より強い磁界をつくることができます。例えば、液体窒素でも超電導状態になる超電導線を液体ヘリウムまで冷却すれば、性能は何倍にも向上します。しかし、より低い温度まで冷却するには、より大きなエネルギーが必要ですので、要求特性、用途、経済性等を考慮して、適切な温度で使われるわけです。

例えば、現在最も実用的で応用開発の進んでいる高温超電導線はビスマス系と呼ばれるものですが、約 -200°C 、約 -250°C もしくは約 -270°C などで使用されています。

①超電導電力ケーブルや輸送用超電導モータなどの場合、安価な液体窒素を使った冷却を行う方が効率的なため、約 -200°C で使用されています。

②一方、超電導ではじめて実現できる強い磁界を必要とするような NMR 等の用途では、液体ヘリウムの約 -270°C まで冷却されています。

③また、冷凍機で伝導冷却するような機器では、これらの中間の任意温度（例えば -250°C ）で使用される場合もあります。

④将来的には、燃料電池の燃料である水素が液体水素として供給されれば、水素の沸点である約 -253°C での使用が好都合になる場合も考えられます。

このように、超電導線の材料特性や冷却技術の進歩によって、最も用途に最適な温度で使われることとなりますが、まず、液体窒素の温度（約 -200°C ）、そして冷凍機技術の進歩次第ではどのような温度が最適になるかわかりません。また、水素社会が実現すれば、液体水素の温度（約 -253°C ）での使用も増えると考えられます。一方、従来使われてきた液体ヘリウムは資源の枯渇問題もあり、超電導線や冷凍機の性能向上によって減少してゆくのではないかと考えられます。

*臨界電流とは抵抗なしで流せる最大の直流電流値。工業的には、超電導線の 1 cm 当たりに $1\text{ }\mu\text{V}$ または $0.1\text{ }\mu\text{V}$ の電圧が発生するまで流しうる電流値として定義しています。

回答者：ISTEC-SRL 電力機器研究開発部主管研究員 山田雄一

[超電導 Web21 トップページ](#)