

掲載内容 (サマリー):

トピックス

超電導電力貯蔵(SMES)システム技術開発成果報告会

特集: 超電導回転機の技術開発

わが国の超電導回転機技術開発への期待

低温超電導発電機プロジェクトの開発成果

高温超電導電動機技術の進展

超電導発電電動機技術への期待

船舶推進用高温超電導電動機の開発の現状

超電導関連 4 - 5 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (2/19-3/19)

超電導速報 - 世界の動き (2004 年 2 月)

標準化活動 - TC90 超電導国内技術委員会、第 10 回 TC90 総会の日本開催誘致提案承認 -
平成 15 年度第 4 回低温工学材料研究会報告

電気学会全国大会シンポジウム「新しい電気電子材料としてのカーボンナノチューブの魅力」

電気学会全国大会シンポジウム「超電導応用機器における最新の開発動向」

隔月連載記事 - ITER 超電導コイル開発への道のり (その 2)

読者の広場(Q&A) - 高温超電導体のかたまり『塊』や線はどのようにすれば超電導状態にできるのでしょうか? 実験室でもできる簡単な手順を教えてください?

[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

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

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。

超電導電力貯蔵(SMES)システム技術開発成果報告会

平成 16 年 3 月 11 日(木)、東京都千代田区の九段会館にて「超電導電力貯蔵(SMES)システム成果報告会」が開催された。本報告会は、経済産業省資源エネルギー庁の政策事業として、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)他へ委託し推進している「超電導電力貯蔵システム技術開発」において得られた成果に関する報告会である。企業、大学、研究機関など幅広い分野から総勢約 200 名の参加があり、会場が満席になる程の盛況であった。

講演に先立ち、ISTEC の田中昭二副理事長、正田英介プロジェクト推進委員会委員長の挨拶に続き、来賓の経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 電力基盤整備課の齋藤健課長より、電力を巡る情勢が大きく変化している中で革新的技術開発に強く期待する旨の挨拶があった。

講演は、ISTEC 常務理事の辰田プロジェクトリーダーによる成果の全体概要報告で始まり、コスト低減技術開発の成果報告として、系統安定化用 SMES について谷口俊二九州電力(株) 電力貯蔵グループ長、負荷変動補償・周波数調整用 SMES について長屋重夫中部電力(株) 超電導・新素材チームリーダーからそれぞれの講演があり、経済性と性能が両立する SMES コイル技術を確認し、特にコイルの性能検証試験においては、世界初の 5kA/s 級の高速通電や 10kA 級一万回繰返し通電に成功したとの報告があった。続いて、石山敦士早稲田大学教授と秋田調(財)電力中央研究所 電気物理部長による高温超電導 SMES 技術調査の成果報告では、伝導冷却で Bi2212 ラザフォード導体への世界初 27K 4000A 通電に成功する等、酸化物系高温超電導 SMES の技術的実現可能性の見通しを得たとの報告があった。



挨拶をする齋藤 経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部電力基盤整備課長



講演風景



活発な質疑応答

さらに、超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトリーダーである塩原融 SRL/ISTEC 線材研究開発部長から、SMES への応用が期待される次世代線材の開発動向についての報告があった。最後に、「SMES 技術開発の今後の展開」と銘打ち、大崎博之東京大学助教授より、本技術開発成果を踏まえ SMES 実用化へ向けた課題および展開のあり方についての講演があった。

それぞれの講演に対し、多くの質問が出され、活発な意見交換が行われ、SMES 実用化への期待の大きさが感じられた。

(ISTEC 調査企画部 清水延彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導回転機の技術開発 「わが国の超電導回転機技術開発への期待」

東京大学
大学院新領域創成科学研究科
助教授 大崎 博之

わが国における超電導回転機開発の代表は、昭和 63 年度に開始された Super-GM(超電導発電関連機器・材料技術研究組合)による界磁超電導発電機の研究開発であり、実証試験での 79MW の出力達成や 1,500 時間の連続運転、実系統連系試験の成功など、超電導発電機の実用化へ向けて重要な成果が得られた。ところが一方で、電力市場の自由化やコンバインドサイクル発電の普及、分散電源の導入拡大などの中、60～100 万 kW を超える大容量機の導入は減少し、従来機の低価格化なども進み、実用超電導発電機の開発は厳しい状況におかれている。しかしながら、超電導発電機の有する小型・軽量化、大容量化、効率の向上、安定度の向上、運転可能範囲の拡大などの特長は、地球環境問題への対応策の一つとなるだけでなく、電力市場の自由化や分散電源の導入拡大などともなう系統安定度や電力品質への懸念を本質的に軽減、さらには解決しうるものであり、将来の電力機器として重要であることに変わりはない。

海外に目を向けると、超電導回転機技術開発はほぼ高温超電導機に限られており、数千馬力の産業用電動機や数万馬力の船用電動機、および発電機の開発が米国およびドイツなどを中心に進められている。わが国では現在のところ高温超電導回転機を対象とする大きな研究開発プロジェクトは見当たらないが、回転機構造や冷却システムの簡素化、過負荷耐量の増大などの実用上の利点をもつ高温超電導回転機は有望な開発ターゲットになり得ると考えられ、Super-GM での開発成果も大いに活かされると思われる。また、超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトの中で進められた高機能超電導材料技術研究開発では、Bi-2223 線材を用いた長さ 1m 程度のレーストラックコイルの開発が行われ、それは回転機やリニアモータの界磁コイルとして適用が可能である。

回転機市場はすでに成熟しており、そこへの超電導機の進出には、高機能、高性能であることと同時に、コスト競争力を高めてユーザの選択肢の一つとしてあがる必要がある。機器信頼性の向上と検証もそのための重要なステップである。すなわち、高温超電導線材の低コスト化を図り、また、極低温冷却システムの簡素化と高信頼化により、ユーザに強く意識されない冷却システムとすることが求められる。Bi 系線材や MgB₂ 線材への期待に加え、Y 系線材への期待も当然大きい。これらの課題は回転機に限らず、超電導応用機器全般にも共通する課題でもある。開発ターゲットの一つとして高温超電導回転機の早期重点化を望むとともに、今後の進展を大いに期待したい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導回転機の技術開発 「低温超電導発電機プロジェクトの開発成果」

超電導発電関連機器・材料技術研究組合
発電機技術部
部長 武居秀実

1988年度から1999年度までのNEDOの受託研究として実施した「超電導電力応用技術開発プログラム(以下フェーズⅠという)」の開発成果を受けて2000年度から4年間に亘ってNEDOの受託研究として「超電導発電機基盤技術開発(以下フェーズⅡという)」を進めてきた。今回その成果を報告する。

1. 開発対象、開発目標

フェーズⅡで7万kWモデル機にて実証試験を実施し、20万kW級機のパイロット機の為の基盤技術を確立した。フェーズⅡはその開発成果を受けてコスト低減、大容量化を図る基盤技術を開発する。対象機は、高密度化が20万kW級、大容量化が60万kW級機であり、それぞれの技術開発目標としては表1のとおりである。

表1 技術開発目標

項 目		フェーズⅠ	フェーズⅡ
高密度化 基盤技術	電機子巻線電流密度	140A/cm ²	110A/cm ²
	界磁巻線電流密度	80A/mm ²	60A/mm ²
	出力密度	1.5	1.0
大容量化 基盤技術	電機子巻線電流	15kA級	6.5kA級
	界磁巻線電流	6kA級	3kA級
	回転子外径	1,100mm	900mm

2. 開発成果

超電導導体は、臨界電流密度と超電導安定性の向上、交流損失の低減を目標に開発を進め、高密度化ならびに大容量化線材ともに交流損失は組合自主目標値(200kW/m³以下)のほぼ50%の値を達成し、また、臨界電流密度 Jc もそれぞれ 3150A、3130A と組合自主目標値(3300A/mm² @5T)の95%以上を達成した。

超電導発電機に関しては、技術検証項目に応じた界磁と電機子の要素モデルならびに部分モデルの製作・試験の実施、数値解析結果との突き合わせ等により、開発技術を検証した。

20万kW級電機子部分モデルについては、製作性および所要性能を確認し、また60万kW級界磁巻線部分モデルについては通電試験において定格時5700A@5.1Tに対し9500A@7T以上流せることなど目標性能を確認した。これらの成果を踏まえて最終基本設計へ反映した。

更なる高密度化・材料コスト削減の可能性を有する鉄心磁性材料(13%Ni鋼)については実機相当の鋼塊を製作して性能試験を実施し実用可能であることを検証した。

冷凍システム技術は、高効率、高信頼度を目指して可変容量膨張タービンの採用と150L/H級を

想定した膨張タービン用高負荷軸受の設計を行い、送液効率 1.8~2.8kW/(lh)の目標に対し 2.0~2.5kW/(lh)を、また、連続運転時間 20,000 時間を達成する見通しを得た。更に、既設発電所への冷凍システム設置についても十分可能であることを確認した。

初期基本設計、要素モデル、部分モデルのこれまでの開発結果や解析技術を踏まえシステム全体のメンテナンスも考慮しつつ最終基本設計を実施し、20万 kW 級機は表 2 に示すように基本目標を達成すること、発電効率も計画以上の値を得られることを確認した。また、60万 kW 級機についても同様に確認した。

表 2 20万 kW 級超電導発電機基本設計結果

項目 \ 容量	フェーズ 技術	最終設計	磁性巻線軸 設計 (13%Ni)
電圧 (kV)	18.0	14.8	14.8
電流 (A)	7153	8699	8699
Xd (pu)	0.6	0.6 [0.6]	0.5 [0.6]
電機子電流密度 (A/cm ²)	110	140 (140)	140 (140)
界磁巻線平均電流密度 (A/mm ²)	61	80 (80)	80 (80)
回転子長 (胴部) (mm)	5700	4400	4160
効率 (%)	99.29	99.33 [>99.30]	99.35 [>99.30]
出力密度 (MW/m ³)	21.3 (1pu)	35.4 (1.66pu)	38.9 (1.82pu)

() 内技術開発目標 □内組合目標値

超電導発電機の導入シナリオに関しては、超電導発電機の経済性評価を行った。また、超電導発電機の電磁界解析手法の調査と試解析を実施し、分散電源導入時の超電導発電機の導入効果について電圧変動に対する有効性等を示した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導回転機の技術開発 「高温超電導電動機技術の進展」

京都大学
工学研究科電気工学専攻
助教授 星野 勉

高温超電導電動機は、米国中心に研究開発がされている「船舶推進用高温超電導モーター」に見られる界磁巻線超電導同期電動機と、Oxford University の D. Dew-Hughes ら、^{1), 2)} Moscow State Aviation Institute の L.K. Kovalev ら、^{3), 4)} 京都大学の牟田ら^{5), 6)} が研究しているブラシレスバルク電動機に大別できることは、2年前と変わっていない。⁷⁾ ただ、同期電動機は、経済性よりも小型軽量である特徴を生かした、艦船への適用が目標で、図1に示す単機容量の増加傾向が見られる。詳しくは、和泉氏の記事に譲る。ブラシレスバルク超電導機は、200 kW まで試作されているが、液化窒素ガスや液化水素ガスの送液ポンプの原動機として極低温部に直接組み込んで使用する、特殊用途への適用が考えられている。図2に製作されたラジアル型バルク超電導電動機の要素の写真を示す。今後、ベアリングレス化の取組みがされるであろう。わが国の中小形モータは、制御機器として使用されており、電動機の制御性が問われるが、超電導電動機については、これから検討される状況である。集中巻、永久磁石埋込型電動機で5 MW まで製作できるとされているので、特殊用途に特化した適用が期待される。なお、巻線形誘導電動機の回転子構造で回転子中で超電導巻線を短絡し、始動トルクを向上させる試みが試作試験されている。いずれも適用形態を明確に意識した研究開発をする状況になったといえるであろう。

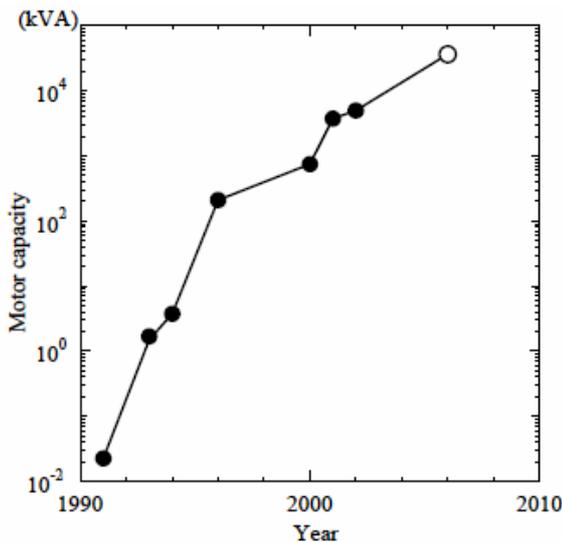


図1 米国における界磁巻線超電導同期電動機の開発容量の推移



図2 製作したラジアル型電機子(右)と回転子(左: Sm-123 バルク材とシャフト)

参考文献

- 1) G.J. Barnes, M.D. McCulloch and D. Dew-Hughes: "Applications and modelling of bulk HTSs in brushless ac machines", Supercond. Sci. Technol. 13 (June 2000) 875-878
- 2) M.D. McCulloch: "Future trends in the application of (RE)BCO in electrical machines", Supercond. Sci. Technol. 15 No 5 (May 2002) 826-830
- 3) L.K. Kovalev, K.V. Ilushin, V.T. Penkin, K.L. Kovalev, A.E. Larionoff, S.M-A. Koneev, K.A. Modestov, S.A. Larionoff, V.N. Poltavets, I.I. Akimov, V.V. Alexandrov, W. Gawalek, B. Oswald and G. Krabbes: "High output power reluctance electric motors with bulk high-temperature superconductor elements", Supercond. Sci. Technol. 15 (May 2002) 817-822
- 4) L.K. Kovalev, K.V. Ilushin, K.L. Kovalev, V.T. Penkin, V.N. Poltavets, S.M-A. Koneev, I.I. Akimov, W. Gawalek, B. Oswald, G. Krabbes: "High output power electric motors with bulk HTS elements", Physica C, 386 (Apr 2003) 419-423
- 5) T. Nakamura, H.-J. Jung, K. Fukui, I. Muta, T. Hoshino: "Electromagnetic Characteristics of Bi-2223 Disk in a Rotating Magnetic Field", Physica C, 392-396 (Oct 2003) 664-668
- 6) H.-J. Jung, T. Nakamura, N. Tanaka, I. Muta, T. Hoshino: "Characteristic analysis of hysteresis-type Bi-2223 bulk motor with the use of equivalent circuit", Physica C, in Press
- 7) 星野勉: "HTS 電動機開発の現状", 超電導 Web21, 2002年2月号 (2002.2) 3

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導回転機の技術開発 「超電導発電機技術への期待」

東海大学
電子情報学部 電気電子工学科
教授 牧 直樹

液体ヘリウム（4.2K）で冷却される大容量低温超電導発電機の開発が国プロで進められ、フェーズでは7万kW級モデル機により系統安定度向上や高効率性能を実証し、フェーズではACC火力機に適用される20～60万kW機を主ターゲットに大容量化・低コスト化技術を確立するなど、世界をリードしてきた。しかし、事業用発電機は経済性が重視される状況にあり、実績のない先端機器の実用化は厳しい状態にある。

この超電導発電機に高温超電導体（Bi系、 MgB_2 、Y系）を適用した高温超電導発電機は、1MW級の小容量機でも定格・部分負荷効率の向上（数%）や小型軽量化（～1/2）が維持できるほかに、冷凍機容量の大幅低減（1/10以下）、過負荷耐量の増大（数秒の短時間なら数倍）、強力ダンパによりインバータ運転時の歪高調波抑制と騒音低減などのメリットがあり、相当の省エネ効果と総合的な低コスト化が期待できる。

この高温超電導発電機に対して、米国とドイツでは実用化を目指した数MW級実証機の開発、韓国や英国、ロシアではサブMW級基礎実験機の試作研究が進められている。このように、超電導発電機技術は実用化にあと一步のところまで進展しており、21世紀初頭に花開く超電導応用製品のトップランナーになりうる。そこで今後、日本としては分散電源用発電機や産業・交通用モータなど汎用性の高い分野への1MW級機の実用化を達成することが望ましい。有望な適用分野と主たる狙いを以下に挙げる。

- 風力発電機：軽量化によるナセルの小型化、信頼性向上とメンテナンスフリー化
- コージェネ用発電機：電圧安定・波形など良質の電力、小型・高効率化による低コスト
- 高速鉄道用モータ：小型軽量化と運転効率の向上、変圧器を含めた超電導システム化
- 電気自動車用モータ：小型軽量化と過負荷耐量の増大に伴う駆動部重量の大幅低減
- 船舶用発電機・モータ：小型軽量化と過負荷耐量の増大に伴う高速性・操船性・静音向上
- ポンプ・圧縮機・ファン用モータ：高効率化と小型軽量化に伴うコスト低減
- 鉄鋼圧延機用モータ：間歇過負荷・高効率運転による低コスト

この高温超電導回転機を開発するのに必要な主要技術課題として次項が挙げられる。

- ・高温超電導磁石の性能向上：高性能導体と巻線・支持・冷却技術の開発、経済性の向上
- ・極低温回転子の構造最適化：熱侵入量の減少による冷凍機容量の低減、信頼性の向上
- ・冷凍機の開発：回転子内蔵型を含めてコンパクト化とメンテナンスフリー化
- ・キーコンポーネント・モデル機試作による各種性能と経済性の実証

特に、高温超電導線材の選定（20～25K使用のBi-2212と MgB_2 、30～40K使用のBi-2223、65～77K使用のY-123）や回転子内部の大気使用、回転子内蔵型の冷凍機の出現など夢のある技術開発が期待できる点で大変に興味深い。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導回転機の技術開発 「船舶推進用高温超電導電動機の開発の現状」

東京海洋大学
海洋工学部 海洋電子機械工学科
教授 和泉 充

船舶の電気推進システムにおいて、現用の推進電動機（誘導機や永久磁石同期機など）に換えて回転界磁磁石を高温超電導化した同期機を採用するポイントを整理すると下記ようになる。常時使用する大型推進電動機の小型・軽量化・放射熱減につながる。船体内部（インハル）だけでなく、船外のポッド（さや）に収めた場合の積載量の増加や推進効率の優位性。ポッドにいれてしまえば、どのモータでも同じという議論もあるが、ポッドが小さくなり投影面積が減少して容器やストラッド支持部も含めて軽くなる効果は見逃せない。さらに静粛、また周辺のエンジニアリングでは、現用の送風などの冷却系にかわる界磁を冷却する冷媒によるパフォーマンスとこれを含めた総合的または電動機単独の効率の向上、特に推進器の出力特性から、定格回転速度より低い運転の場合の部分負荷時の高い効率は燃料消費において大きなメリットとなる。このような超電導電動機へのニーズは以下による。

多くの船舶では熱効率に優れるディーゼル機関を原動機としてギアとシャフトによってプロペラを回転させる機械推進であったが、二酸化炭素排出等にかかわる地球環境保全や居住性、ガスエンジンの採用、電動機制御の進展や総合輸送効率の観点から趨勢は原動機で発電してその電力でプロペラを電動機で回す電気推進、あるいはポッド式電気推進が採用される傾向にある。10メガワット級のポッド推進器も出回り世界最大の客船クイーンメリー2もポッド推進器4基で、推進出力11万7000馬力を誇り、ガスタービンで発電する電気推進方式を採用している。ポッドの支持部はラダー（舵）となって360°回転する。北欧においては原油輸送のためにバルバスバウと砕氷能力を各々船の前後に備えたポッド推進が実用されている。これらの情勢から、高温超電導電動機が確立されればその小型軽量性から電気推進船への適用は遠いことではないと推測される。実際、米国では、艦艇の電化構想のもと電気推進方式への切り替えの中で、液体ヘリウム温度までの冷却を必要としない、Bi系高温超電導線材コイルを実装して、5MWから一体で36.5MWまでの高温超電導電動機の開発を2006年を目途に着々と進めている。¹⁾ 現在、超電導電動機でプロペラを回す電気推進船は就航していない。高温超電導技術を、船舶の推進において“高い効率”を達成する技術基盤として確立しておくことが重要である。

高温超電導体をもちいた“高温超電導電気推進システム”は、大型の船舶に向けた大出力・大馬力ほどメリットは大きい。135(400)トンの現用電動機が界磁の高温超電導化によって50(75)トンほどになり、冷凍機・冷媒配管を考慮しても減容は著しい。液体ヘリウム温度までの冷却を要しないので、近年のコンパクトな閉サイクル冷凍機の進歩は、このようなシステムへの高温超電導電動機の適合性を高めていることは間違いない。米国では、電力供給網の整備と相俟って8MW級の高温超電導電動機をコンデンサとして発電送電に役だてようとしており陸上への普及も始まっている。現在、36.5MWのプロペラ直結型推進同期電動機の設計と製作がアメリカンスーパーコンダクター(AMSC)社によりアナウンスされている。同社では、5MW、230 r/minの同期機を開発しており、無負荷試験を完了、昨年来、米国フロリダのCAPSでロードテストをめざして準備が進んでいる。最近の情報では、この4月以降に実施試験されるという。5MWもの大きさになると負荷機を新たに設計製作する必要もあり、準備に時間がかかるのは予想できることである。彼等は、たとえば高温超電導発電機について、効率や損失、市場調査などの予測計算を行って、それがたとえわずかであっても、実用化されたことによる結果、そのライフサイクルの中で、どのくらいの得失となるかを

真摯に検討しながら思いきった投資によって積極的に開発計画を着々とすすめている。欧州においても船用電気推進用の小型軽量電動機への利用も目的とする 450-600kW 級の高温超電導電動機も SIEMENS 社により開発されており、4MW 級の回転機の開発も進んでいる。

一方、高温超電導電動機では、鉄心がなくても界磁磁束を大きく得られることから小型軽量化や静粛性などの多様なメリットが生じるが、他方、現状では線材コストが電動機のコストを押し上げることは間違いない。船舶の総合輸送効率の向上によるコストダウンと高価な推進器を導入するイニシャルコストをペイさせることは簡単ではない。次世代線材を交えた線材性能とコストの推移に期待したい。

最近、北野精機社長北野雅裕氏、東京海洋大学、福井大学杉本英彦教授のグループは、高温超電導バルク磁石を冷却、渦巻き型電機子コイルで着磁する技術²⁾を高温超電導回転機に応用して、回転界磁磁石を液体窒素によって冷却する推進用実証同期機モデルの回転に成功した(図1)。ブラシレスのアキシアルギャップ型であり、バルク体を液体窒素に浸漬しないで冷却することが可能である。定格は15kW、720 r/minであり、現在は1.6 kW、720 r/minである。要素技術試験ではこの界磁構造でバルク磁石に液体窒素温度で1テスラ以上の磁場のパルス着磁が可能であり、また冷媒を選択して界磁磁束を増やすことが可能である。電機子電流と着磁磁束を増加させて定格に至ることが可能である。このような高温超電導バルク磁石の電動機でも100キロワット級に至ると最大30%程度の減容を見込むことができる。

最後に、高温超電導技術が、小型、軽量で騒音の少ない環境調和した次世代の船舶と船舶運航システムの進歩に大きく資することを期待したい。



図1 アキシアルギャップ型バルク高温超電導電動機実証試作機

参考文献

- 1) S. Kalsi and S. Karon, "Status of Superconducting Motors for Ship Propulsion – No. 76", Proc. 9th Int. Conf. On Marine Engineering Systems, HUT and on board MS SILJA SERENADE, 19-21 May 2003
- 2) T. Ida *et al.*, "Magnetization Properties for Gd-Ba-Cu-O Bulk Superconductors with a couple of pulsed-field vortex-type coils, presented at ISS2003, Oct. 27-29, 2003 Tsukuba, Japan, Physica C, in press.

超電導関連 4 - 5月の催し物案内

4/7

強磁場を利用した新規高分子光学素子開発を目指して

場所：東京大学本郷キャンパス 工学部5号館3階 談話室(341号室)

主催：低温工学協会「新磁気科学調査研究会」

Tel: 029-863-5619、Fax: 029-863-5571

e-mail: HIROTA.Noriyuki@nims.go.jp

4/12-16

Materials Research Society Spring Meeting

場所：San Francisco, USA

<http://www.mrs.org/meetings/spring2004/>

4/19-23

2004 IDW (2004 International DAPAS Workshop)

場所：Hyundai Hotel, Gyeongju, Republic of Korea

主催：Center for Applied Superconductivity Technology (CAST)

Tel:+822-421-9515, Fax:+822-421-9525, e-mail:eddy@b612pro.com

<http://cast.re.kr/2004idw/>

5/11-14

ICEC20:20th International Cryogenic Engineering Conference

場所：Beijing, China

<http://WWW.icec20.org>

5/20

超電導技術動向報告会 - 黎明期を迎えた超電導産業

場所：都市センターホテル 3F コスモスホール

主催：財団法人 国際超電導産業技術研究センター

<http://www.istec.or.jp/event/index.html>

5/24-26

第70回春季低温工学・超電導学会

場所：横浜国立大学(横浜市)

主催：低温工学協会

e-mail: LDJ04246@nifty.ne.jp

5/25-26

Third International Congress on Material Science and Engineering ICMSE'3

場所：Jijel, Algeria

e-mail: cisgm3@mail.univ-jijel.dz

5/27-30

International Symposium on High-Temperature Superconductors: Fundamentals and Applications (ISHTS-2004)

場所：Samarkand, Uzbekistan

e-mail: taylanov@yandex.ru

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (2/19-3/19)

ITER 建設誘致先問題を協議 21日ウィーンで次官級会合 2/19 日刊工業新聞
極低温で起きる不思議な現象 極低温の原子ペアで動く 超電導の仕組み解明に手がかり 2/22
日本経済新聞
熱核融合実験炉の立地先 専門家が来月討議 日仏両国誘致譲らず 2/23 日本経済新聞
ITER 決着せず 参加国・地域の合意重視 2/24 電気新聞
電動スクーター兼自転車 タカラが折り畳み式 2/26 日経産業新聞
未来を開く科学技術 新生 NEDO の挑戦 「特許」「国際標準化」の二本柱で 2/26 日本工業新聞
ITER 誘致問題 来月にも日仏直接交渉 政府方針 両者間の打開策模索 妥協案、地元には波紋
2/27 電気新聞
量子コンピューター実現に道 光情報の転送 数千倍効率化 米大が成功 3/1 日本経済新聞
核融合研のプラズマ閉じ込め能力 ヘリカル型で世界最高 3/3 日経産業新聞
NEC、ナノ特許開放 住商に2件供与 用途開発、知財価値を向上 3/4 日本経済新聞、日刊工業新聞
「2010年の有望技術・市場」キーワードは 環境 コピキタス 薄型 主要148社最高技術責任者調査
高情報・電機 低バイオ・宇宙 成長率ランキング 3/4 日経産業新聞
電池長持ち 新技術続々 新たな材料使い40年ぶり新種 より高性能を追求 3/7 日本経済新聞
MRI内の手術支援 患者の体内「透けて」表示 臓器の位置一目で 3/8 日経産業新聞
磁気的免疫時反応検出法 感度光学の30倍 九大磁気センサー/マーカ使用 3/8 日刊工業新聞
究極のエコカー 水で走る 大同メタル、ミニカーで開発 3/9 日経産業新聞
永久磁石同期モーター利用 神奈川大が電気自動車 3/9 日刊工業新聞
宇宙放射線量の計測法 日本主導で国際比較実験 「標準」目指し17機関参加 3/12 日刊工業新聞
高温超電導物質 京大が世界最高性能 リニア実用での低コスト化へ道 3/13 日本経済新聞
SMESの成果報告 ISTEK コスト減など7件 3/15 電気新聞
大強度陽子加速器進む建設 中性子実験普及へ弾み 3/16 日経産業新聞
磁気の観察精度5倍 顕微鏡の針にナノチューブ 産総研 3/18 日経産業新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2004年2月)

電力

American Superconductor Corporation (2004年2月4日)

American Superconductor Corporation (AMSC) とニュージーランド国立研究所の Industrial Research Limited (IRL)は、BSCCO2223として知られている HTS 材料の基本組成を規定した特許が米国特許庁の許可査定を受けたと発表した。AMSC はこの特許の独占的实施権を有し、今後 17 年間その権利は有効である。第 1 世代の HTS 線材やその他製品の原材料となる BSCCO2223 は、1988 年に IRL により開発された。1989 年、本特許は米国及びその他大市場を持つ各国 (英国、フランス、ドイツ、オランダ、ニュージーランド) に出願された。当該特許は、ニュージーランドの Superlinks 社が管理に当たり、現在は IRL 及びニュージーランドの電力会社である Meridian Energy Ltd. が保有している。1992 年 IRL とのビジネス上の関係を結んだ時、AMSC はこの特許について (出願) 各国における独占的实施権を得た。米国内においては、この特許のおかげで AMSC は BSCCO2223 の独占的権利を持ち、また同時に、市場に出始めた同線材応用製品についても権利を持つ。この特許の力は大きい。この BSCCO2223 特許は、商用 HTS 線材生産の本質的な特許であるため、世界の各社から異議の申し立てを受けてきた。この特許は、組成としては、2:2:2:3 ではなく 2.1:2:2:3 と規定しているが、現在の使用されている線材はピスマス及び鉛がややリッチである。従って、特許は、商用の第 1 世代線材として使われている材料組成をカバーしている。AMSC 技術担当取締役 Alex Malozemoff は、「この特許は今日の HTS 線材の商用応用全てに適用される。この特許は極めて強い。というのは米国特許庁の 14 年に亘る審査に耐え、また多くの世界中からの異議申し立てに打ち勝ってきたのだから。」と述べた。米国の同業他社は、AMSC がサブライセンスしない限り、第 1 世代の HTS 線材を販売することはできない。現在、AMSC は米国内では唯一の BSCCO2223 メーカーである。また、住友電工とは米国及び欧州地域での第 1 世代線材に関するクロスライセンス契約を結んでいる。但し、この特許は YBCO 系の第 2 世代線材は対象外である。

(出典)

“American Superconductor Is Exclusive Licensee of Newly Issued Patent For Material Used In Commercial High Temperature Superconductor Wire”

American Superconductor Corporation press release (February 4, 2004)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601749.html>

“BSCCO Patent Announcement Frequently Asked Questions”

American Superconductor Corporation press release (February 4, 2004)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601752.html>

American Superconductor Corporation (2004年2月5日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2003年12月31日に終了する第3四半期の収支を発表した。当期純収入は1,230万ドルで、前年同期280万ドルから347%の増加。また、2003年第2四半期比でも28%の増加。当期損失は650万ドル。前年同期の損失は1,260万ドル。第3四半期の間に290万ドル分の新規受注及び新規契約締結があり、受注残の合計は2003年12月31日現在で7,520万ドルある。その内1,060万ドルは第4四半期に現金化される見込み。AMSCは第3四半期終了時点で現金及び現金に準じる流動資産、また長期投資を併せて5,690万ドル保有しており、長期負債はない。同社は2004年度は、収入が4,000~4,200万ドル、損失が2,700~2,900万ドルと予想している。

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2004 Third Quarter and Nine-Month Results”
American Superconductor Corporation press release (February 5, 2004)
<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601753.html>

Pacific Northwest National Laboratory (2004年2月13日)

Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)の研究者は、米国内で今後20年の電力需要を満たすためには4,500億ドルの設備投資が必要であると予想している。電気設備用の固定資産は、燃料経費よりも電気料金に占める比重がずっと大きいため、電気料金を適正な範囲に納めるためには新規のインフラを最小限にとどめておかなければならない。米国では年間400時間の電力ピークに対応するため発電系では10%、送電系では25%の余裕を見ておく必要があり、通常時には発電能力の75%、送電能力の50%しか使われていない。このため、(電力料金という点で)グリッドの効率を増加させるというのは極めて重要なことである。このような問題点を解決するため、Pacific Northwest National Laboratoryの研究グループはIT技術、超電導、電力貯蔵、負荷管理、分散電源などを統合した完全な現行システムの改造・変革を提案した。特に、IT技術を使えばシステムを最適化することができ、新規投資を最小限に、かつ、システムをより安定なものにすることができる。これにより、800億ドルの建設投資が節約できる。

(出典)

“PNNL envisions smart energy approach projected to save billions”
Pacific Northwest National Laboratory press release (February 13, 2004)
<http://www.pnl.gov/news/2004/04-05.htm>

Trithor (2004年2月18日)

Trithorは、EUが電力応用第2世代線材の生産プロセス開発に向けたコンソーシアムに200万ユーロの支出を決定したと発表した。コンソーシアムのリーダーはTrithorである。同社専務 Jens Müllerは、「技術シードに投資するとともに欧州のベストラボ同士がネットワークを組んで協力するというのは次世代線材開発の最高のスタートの切り方である。」と述べた。コンソーシアムは検討するプロセスのバリエーションを絞り込むとともに、以下の3つの基準を採用することとしている。

既存の第1世代線材よりも同等以上のパフォーマンスを持つこと、コスト・パフォーマンスが銅を含む既存の線材と同程以上であること、商業生産が2010年までに可能であること。Trithorは、現時点では、第1世代及び第2世代のHTS線材に関わっている欧州唯一のメーカーである。

(出典)

“Trithor Receives Grant to Develop Second Generation HTS Wire”
Trithor press release (February 18, 2004)
<http://www.trithor.de/pdf/2004-02-18%20Trithor%20received%20COCON%20grant.pdf>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2004年2月4日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、2003年12月31日に終了する第4四半期の収支予想(監査前)を発表した。純収入は概ね1,640万ドル、2003年通年では4,940万ドル。収入は、前年第4四半期の700万ドル、2002年通年の2,240万ドルと比べて大幅に増加している。また、同社は(収支確定した時点で)同社の重要なマイルストーンである黒字化を第4四半期に達成したことを発表する予定。同社社長 M. Peter Thomasは、「2004年に入り、STIの製品は通信インフラを

改善するための分野で益々マーケットに受け入れられるようになる。従って、今後も継続して成長していくことが可能であるし、2004年は年間を通じて黒字化する初めての年になることを期待している。」と語った。第1四半期は季節的に売上が伸びない。次の第1四半期は政府契約収入の減少も予想されるが、STIは、新たな顧客を獲得し、世界へも打って出ており、成長がこのような減少を補ってくれるものと考えている。第4四半期の正式な収支は2004年3月1日発表される予定。
(出典)

“Superconductor Technologies Announces Preliminary Results for 2003”

Superconductor Technologies Inc. press release (February 4, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=106520>

ISCO International, Inc. (2004年2月17日)

ISCO Internationalは、2003年12月31日に終了する第4四半期及び2003年通年の収支を発表した。純収入は第4四半期が128万9000ドル(前年同期153万6000ドル)、2003年通年が323万8000ドル(2002年通年366万3000ドル)であった。純損失は、第4四半期が前年同期248万3000ドルから31万9000ドルに減少、通年でも2002年の1,407万8000ドルから715万6000ドルへと減少した。(商品の)グロス・マージンは、前年の3%から49%へと改善した。マージン改善の主な理由はISCOのアウトソーシング戦略を継続して進めていること及びより付加価値の高いビジネスへの志向によるものである。2004年3月に公判が予定されていた訴訟については和解の方向で動いている。その結果として、2003年35万ドルの費用計上を行った。この費用がなければ第4四半期の純収入はプラスであった。同社社長 Amr Abdelmonem は、「ISCOの業績見通しは、通信セクターの回復とともに明るくなってきている。データ通信が通信量を爆発的に伸ばしていることもあって、携帯市場は力強く成長を続けるだろう。無線ネットワークへの投資は以前の低いレベルから大きく伸びることが期待される。」と述べた。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS FOURTH QUARTER AND FULL YEAR 2003 RESULTS; GROSS MARGIN IMPROVES FROM 3% TO 49%”

ISCO International, Inc. press release (February 17, 2004)

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

ISCO International, Inc. (2004年2月24日)

ISCO International, Inc.は、投資家から200万ドルの資金を得た他、既存の借入金の期日を2005年4月まで延長したと発表した。返済期日の延長により、従来借り入れていた400万ドルの利率は2004年4月1日付けで14%になる。これは追加融資200万ドルの利率と同じである。この期日延長のために特別な保証を行う必要はない。貸し手の裁量となる100万ドルの貸し出し枠がまだ残っている。

ISCO International, Inc.は前社長 Edward Laves との訴訟についても和解した。この裁判は2004年3月に予定されていたもの。Edward Lavesは70万ドルを受け取る。半分はISCOが支払い、半分は保険から支払われる。

(出典)

“ISCO International Announces Financing and Litigation Settlement”

ISCO International, Inc. press release (February 24, 2004)

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

基礎

University of Illinois at Urbana-Champaign (2004年2月12日)

University of Illinois at Urbana-Champaign の研究者は、高温超電導のメカニズム解明の手がかりになる可能性のある隠れたパターンを銅酸化物中に発見した。擬ギャップ状態にある物資中の電子の動きを透過型電子顕微鏡で調べ、臨界温度以上の銅酸化物超電導体においてクーパー対がランダムな状態になるのではなく、チェッカーボード・パターンへと電子の状態が変化することを見出した。どうやら、銅酸化物中の電子は、コヒーレント状態と空間変調状態がせめぎあっているようである。この知見は高温超電導の謎に重要な示唆を与えているのかも知れない。この結果はオンライン版 Science2004年2月12日号に掲載された。本研究は日本の電中研と共同研究である。

(出典)

"Hidden order found in cuprates may help explain superconductivity"

University of Illinois at Urbana-Champaign press release (February 12, 2004)

<http://www.news.uiuc.edu/news/04/0212yazdani.html>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 4月のトピックス

- TC90 超電導国内技術委員会、第10回 TC90 総会の日本開催誘致提案承認 -

IEC/TC90超電導委員会(国内審議委員会、委員長 斉藤茂樹 / ISTECS専務理事)技術委員会(委員長 長村光造 京都大学教授)は、平成16年1月9日森ビル新橋アネックスにおいて、平成15年度第2回国内技術委員会を開催した。同会議において、H15年度事業経過、TC90活動、関連国内規格審議、円滑な国際標準化のための推進業務などの報告及び審議が行われた。また、2004年9月米国アルゴンヌにて開催の第9回IEC/TC90総会に向けた議題の審議がなされた。さらに、同第10回総会の日本への誘致提案がなされ、承認された。

(1) 主な報告・審議事項

H15年度事業経過が事務局より報告され、了承された。

TC90国際幹事代理人から、バルク捕捉磁束密度試験方法の改訂CDVが中央事務局から再回付された旨の報告がなされた。同CDVについて日本はコメントなしで2004年7月23日までに投票手続きすることが承認された。

現行規格のメンテナンスに関して、Document for Comments(DC)のコメントレビュー、改正案(WD)、メンテナンスサイクルレポート(MCR)等について、WG2:Nb-Ti線直流Ic試験方法、WG3:Bi系線直流Ic試験方法、WG4:RRR試験方法、WG5:引張試験方法、WG7:Nb₃Sn線直流Ic試験方法、WG8:表面抵抗試験方法、WG9:交流損失試験方法及びWG11:臨界温度試験方法についてそれぞれ進捗報告がなされ、今後これらを6月末を目標にCD段階提案又はCDV段階提案に向けて作業することになった。

JISH7005 超電導関連用語の規格改訂原案作成結果、JISH7309 臨界温度試験方法の規格原案作成結果、JISH7308 Nb₃Sn線銅比試験方法の規格原案作成結果及び交流損失試験方法規格(JISH7310, JISH7311)原案作成状況について報告され、了承された。

円滑な国際標準化推進業務の一環である超電導技術調査委員会の成果として、SMES用低温超電導導体PAS素案、超電導発電機用低温超電導導体TS素案及び超電導電力機器関連標準化調査結果が報告され了承された。

(2) 第9回IEC/TC90総会向け議案

アルゴンヌ会議のDraft Agendaが提案され、了承された。

わが国のプロジェクトの成果であるSMES用低温超電導導体PAS素案、超電導発電機用低温超電導導体TS素案は、新規提案議案として妥当であるとの見解が出された。

これら新規業務項目は、8月の国内技術委員会において最終的な審議を行うことになった。

(3) 第10回総会の日本への誘致案

平成16年度の標準化事業の一つとして、2006年のIEC/TC90総会を日本へ誘致する提案が基本的に合意され、日本開催に向けた活動が了承された。

(ISTEC標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

平成 15 年度第 4 回低温工学材料研究会報告

京都大学 大学院工学研究科
材料工学専攻
助教授 松本 要

2003 年度第 4 回低温工学材料研究会が 2004 年 3 月 3 日に大阪大学付属図書館吹田分館、視聴覚ホールにて開催され「超電導磁気分離システム開発の現状と今後の展望」をテーマに討議が行われた。

最初に西嶋茂宏氏（大阪大学）より磁気分離技術の最近の新しい技術についての報告があった。西嶋氏は各種プロジェクトを通じて磁気分離技術を開発してこれ、豊富な知見を元に説明された。製紙工場で行っている磁気分離プラントの紹介では、主装置として超電導コイルが用いられており、その諸元は 400mm ボア径で 3T の磁場を発生し、その内部空間にはステンレスメッシュでできた磁性フィルター（直径 300mm）が多数枚設置できる構造をしている。この装置に製紙工場から出る排水を流して不純物を取り除き、水の再利用ができるとのことで大幅なコストダウンにつながるということである。また排水を工場の外に出さないことで環境保全にもつながる技術である。このような技術が可能となった背景は、最近の超電導冷却技術の向上と磁性物質を不純物にとりつける坦磁技術の進歩にあるという。またこれ以外にも新しい坦磁法によってマグネタイトをタンパク質に取り付け、DNA を磁場によって動かす生物への応用や、薬にマグネタイトを坦磁して磁場によって患者の患部に薬を運ぶドラッグデリバリーシステム(DDS)などが紹介され聴衆の興味をひいていた。

武田真一氏（大阪大学）からは磁気分離のための前処理として坦磁技術の紹介があった。磁気分離技術のポイントは汚水から磁性のない不純物をどうやって取り除くかであり、そのためには磁性物質を不純物に吸着させる技術が必要である。ただし磁性物質のリサイクルを考えるとあまり強くつけるとはまずしくなるため、適度に吸着する物質を見つけることがノウハウという。この技術はコロイド化学の知識が必要であり、1960-70 年代にソ連において water chemistry として始まった技術とのことである。例えば鉄を付ける場合は、鉄イオンを含む水溶液に水酸化カリウム溶液を滴下してコロイド状のマグネタイト粒子を作製し、これらを不純物に取り付けて坦磁を行う。これ以外にはメカノケミカル手法で砥粒を機械的にこすりつけることでも可能とのことである。このような新しい技術が先述の DDS への応用をにらんですでに始まっており、コダック社などトナー技術などを持つ会社が磁性微粒子技術の開発を進めているという。

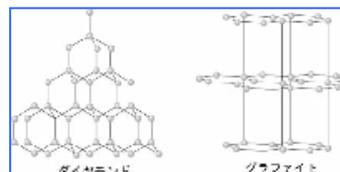
また西嶋氏（大阪大学）からは現在開発中の製紙排水プラントを例に取り、超電導を使った磁気分離システムの工業応用についての報告がなされた。このプラントでは排水の不純物濃度が 200ppm から 20ppm まで低減でき、リサイクルが可能となる。現在の処理速度は 500 トン/日であるが、1500-2000 トン/日が可能とのことである。コスト計算によれば水処理に 35 円/トンかかるが、排水を処理しないで捨てると 250 円/トンかかるので大幅なコスト削減になるとのことで、今後の進展次第では超電導を使った有望なシステムになり、新しい市場開拓の可能性がある。世界ではすでにカウリン処理などで磁気分離システムが稼働中であるが、製紙工場排水設備に目を向けると世界的には 2000 億円規模の市場があり、食品、繊維、化学、機械などへの応用を目指せばさらに巨大な市場があるとのことであった。

続いて行われた総合討論においては大変活発な意見交換がなされ、超電導磁気分離技術の新たな展開への期待が強く感じられた。

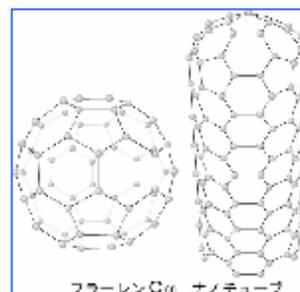
[超電導 Web21 トップページ](#)

電気学会全国大会シンポジウム「新しい電気電子材料としてのカーボンナノチューブの魅力」

(社)電気学会は、平成16年3月17日青山学院大学相模原キャンパスにおいて掲題の平成16年電気学会全国大会シンポジウムを開催した。このシンポジウムは、同学会A部門の金属・セラミックス技術委員会が企画したもので、徳本 圓(産業技術総合研究所)、春山純志(青山学院大学)、徳本洋志(北海道大学)、荻野俊郎(横浜国立大学)、栗野祐二(富士通研究所)及び村上裕彦(アルバック)を講師に招き、参加者約50名を得て電気電子材料としてのカーボンナノチューブ(CNT)の基礎から応用に亘るつぎのような幅広い最新の技術情報交換がなされた。



CNTは、炭素の同位体である2次元グラファイト(黒鉛)を直径数ナノメートルに丸めてシームレスに繋ぎ合わせた構造である。CNTは、繋ぎ合わせ方によって、金属的及び半導体的性質になる。金属的CNT電流密度は銅より3桁大きい約 10^9 A/cm²である。しかし、金属的なCNTには、量子細線のバリスティック電子伝導特性、朝永・ラッテンジャー液体などの性質がある。特に、電気電子材料としては、バリスティック電子伝導特性を克服したオーミックコンタクト技術が重点課題である。
(炭素の同位体)



CNTの純粋な超電導転移は、未だ再現性がない。しかし、Au/Nb/MWNTs/Al接合では近接超電導が再現性よく確認されている。すなわち、多孔質のアルミナ板中に多層のCNT(MWNTs)を成長させ、その上下をニオブ極及びアルミ極とし高温処理を施すとニオブ極近傍のNbが拡散しNbCになるとクーパー対波動関数の染み出しが改善され約0.8 μ m長の近接超電導が実現する。この現象は、多層CNT(MWNTs)の直径80 μ mから10 μ m範囲で確認される。

STM(走査型トンネル顕微鏡)やAFM(原子間力顕微鏡)の探針(プローブ)技術が、CNTの出現によって大きく変わろうとしている。従来のシリコン探針に比較して多層CNT探針の強靱性と高アスペクト加工性を利用すると、単層CNT観察、シリコンCDタップのピット観察、二重鎖DNA観察、有機薄膜の分子像観察、Si(111)-7x7再構成表面の原子観察などに威力を発揮する。

Si-MOSFETのナノデバイス化に伴う配線におけるリソグラフィによる細線化限界、電流密度限界及び信頼性低下が技術課題となっている。これらを解決し得るものとしてCNTの自己組織化配線が注目されている。近接する電極へのCNTの自己組織化配線の技術見通しは得られたが、オーミックコンタクト技術が解決すれば、画期的な知的配線技術も可能である。

CNTを電子デバイスに適用するためには、適用材料の成長技術、オーミック接続技術、パシベーション技術及びドーピング技術が確立する必要がある。すでに、CNT形成にはCVD法を基本プロセスとし、多層配線のビアへの適用、CNT-FET開発、CNT単一電子トランジスタ開発などが進められている。

CNTにおけるオーミックコンタクト技術の一つの解決策として、熱CVD法によるグラファイトナノファイバ(GNF)技術が開発され、すでにGNF-FED(電界電子放出ディスプレイ)パネルの試作が進められている。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

電気学会全国大会シンポジウム「超電導応用機器における最新の開発動向」

平成 16 年 3 月 19 日に青山学院大学相模原キャンパス（神奈川県相模原市）で開催された平成 16 年電気学会全国大会において、シンポジウム「超電導応用機器における最新の開発動向」(座長：谷口治人氏（電中研） 浜島高太郎氏（東北大）)が出席者約 50 名で開催されました。超電導技術の電力・産業分野への応用に関する技術開発は国家プロジェクトをはじめ各種進められており、SMES、発電機、電力ケーブル、磁気分離について実施機関の専門家から最新の状況が報告されました。



写真左より講演をする塚本氏（横浜国大）、辰田氏（ISTEC）

辰田昌功氏（ISTEC）は NEDO 事業「超電導電力貯蔵システム技術開発」のうち要素モデルコイル試験、コスト評価ならびに高温超電導 SMES の研究成果を報告し、今後の課題をまとめました。武居秀実氏（Super-GM）からは NEDO 事業「超電導発電機基盤技術研究開発」の成果が、長屋重夫氏（中部電力）からは国内外の超電導電力ケーブルの開発動向が、渡辺恒雄氏（都立大）からは超電導の磁気分離応用の開発動向が報告され、最後に塚本修巳氏（横浜国大）が高温超電導応用機器開発のロードマップの検討結果を報告し、今後の実用化への期待で締めくくりました。

総合討論では、コスト、実用化プロセス、技術継承等が議論され、超電導について活発な意見交換となりました。

（ISTEC 調査・企画部 安部秀行、丸山敦志）



左から座長を務める
谷口氏（電中研） 浜島氏（東北大）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

ITER 超電導コイル開発への道のり (その2)

日本アドバンスト・テクノロジー株式会社
安藤俊就

3. ITER の核融合開発での位置づけ

この章では ITER が核融合炉の開発においてどのような位置付けにあるかを簡単に説明する。また、その開発で超電導コイルへのインパクトとなるコイルの最大磁場および大きさとの関連について述べる。

1950 年ごろから開始された。核融合の開発研究は、1990 年代に JT-60 (日本), TFTR (米国), JET (EU) の三大トカマク装置がいずれも臨界プラズマ条件を達成し、制御の下で核融合反応を起こす科学的実現性を示すことに成功し、いよいよ炉としての開発となる実験炉、すなわち ITER に進み科学的・工学的実現性を示す段階にきた。さらに ITER 後は核融合発電を実証する原型炉 (発電実証プラント) に進み、国としての核融合炉開発研究の最終段階に入る。その後は商業炉へととなって発電会社が炉を建設し、電力を供給することになる。その開発のステップを図 6 に示す。このような大規模な開発として同様な形態で進められているのが高速増殖炉である。すでに実験炉に相当する「常陽」(1970 年着工) 及び原型炉に当たる「もんじゅ」(1985 年着工) が建設され稼働しているのは承知のことである。

現在核融合による発電炉の開発は、核融合反応が最も容易に起こる重水素と 3 重水素との反応を制御することを目標に進められている。それらの粒子を外部から加熱 (P_h) することにより高温のプラズマ(電離)

年	1996	2015	21世紀半ば
目的	科学的実証	工学的実証	発電実証 実用化
炉の名前	大型トカマク装置 (JT-60 など)	実験炉 (ITER)	原型炉 (SSTR など)
核融合出力	—	~500 MW	3~4 GW
発電出力	—	—	1~1.6 GW
Q	~1	10~∞	~50
TFコイルの蓄積エネルギー	2.8 GJ	40 GJ	70~150 GJ
TFコイルの最大磁場	10 T	12.5 T	16~20 T
TFコイルの電流	20 kA	60 kA	80~150 kA

図 6 核融合炉実用化への道のり

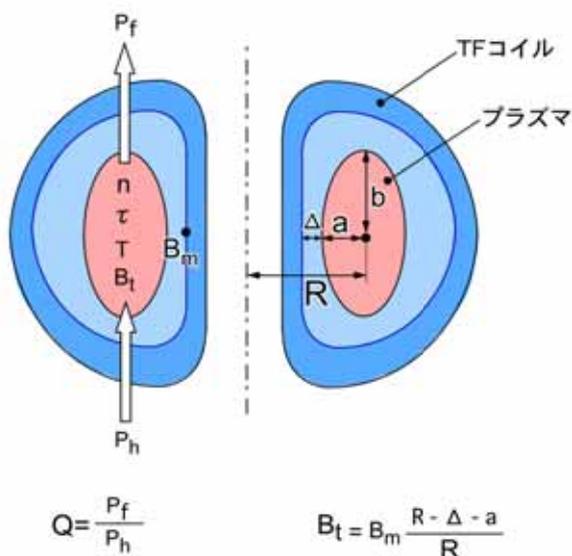


図 7 トカマク核融合炉の概念

状態とし、磁場 (B_f) によって閉じ込めて核融合反応させ、その反応エネルギー (核融合出力パワー: P_f) を熱として取出し、その熱で蒸気タービンを廻して電力とする。ここで P_h に対する P_f の割合 (エネルギーの増倍率) を Q と呼ぶ。図7にトカマク核融合炉のプラズマと TF コイルの概念を示す。プラズマは楕円形をしている。これは円形よりもプラズマ性能が良くなるためである。三角形にするとさらに良くなる。このプラズマ性能が良くなることと TF コイルを D 型のコイルにしてコイル内の応力低減 (張力一定に近づく) を計るのと符合する。

Q の値は、核融合発電炉では 50 程度を達成する必要がある。したがって、核融合炉の開発は Q を大きくするための開発と云っても良い。JT-60 らにより $Q=1$ が達成され、ITER では Q が 10 以上になることを目標に開発される。この Q 値はプラズマ粒子の密度 (n)、プラズマエネルギーの閉じ込め時間 (τ)、プラズマ粒子の温度 (T) をパラメータとして表すことができる。次式はいくつかの条件の下で得られた Q と n 、 T との関係式である。⁴⁾

$$Q = 5 n T / (C - n T) \quad (1)$$

$$C = 2.9 \times 10^{22} \text{ [Ks/cm}^3\text{]}$$

この(1)式を図化したのが図8であり、プラズマの性能の進展を知る上で有効である。横軸はプラズマの中心温度 (一般には最高温度)、縦軸はプラズマの密度と閉じ込め時間とプラズマの温度の積 ($n T$: 核融合積と呼び、プラズマ性能の指標として良く使われる) である。これまで得られた値を核融合装置名 (特に原研の JT-60 装置の成果を中心に) と共に示している。これまでの最大の Q は原研の JT-60 による 1.25 である。ただし、この値は重水素同士の反応で得られた値を重水素と三重水素反応で換算したものである。これまで得られた重水素-三重水素での最大の Q は JET で 0.64 であり、そのときの核融合出力は 16MJ であった。

これらのパラメータの最大値の目安がこれまでのプラズマ研究で解ってきている。プラズマ密度 (=電子密度) では、グリーンワールド電子密度 (n_{GW}) を達成最大値としている。

$$n_{GW} = I_p / (a^2) \times 10^{20} \text{ [m}^{-3}\text{]} \quad (2)$$

I_p : トーラス方向に流れるプラズマ電流[MA]、 a : プラズマ小半径[m]

この式は次の用に書き換える事もできる。⁵⁾

$$n_{GW} \propto B_f / R \quad (3)$$

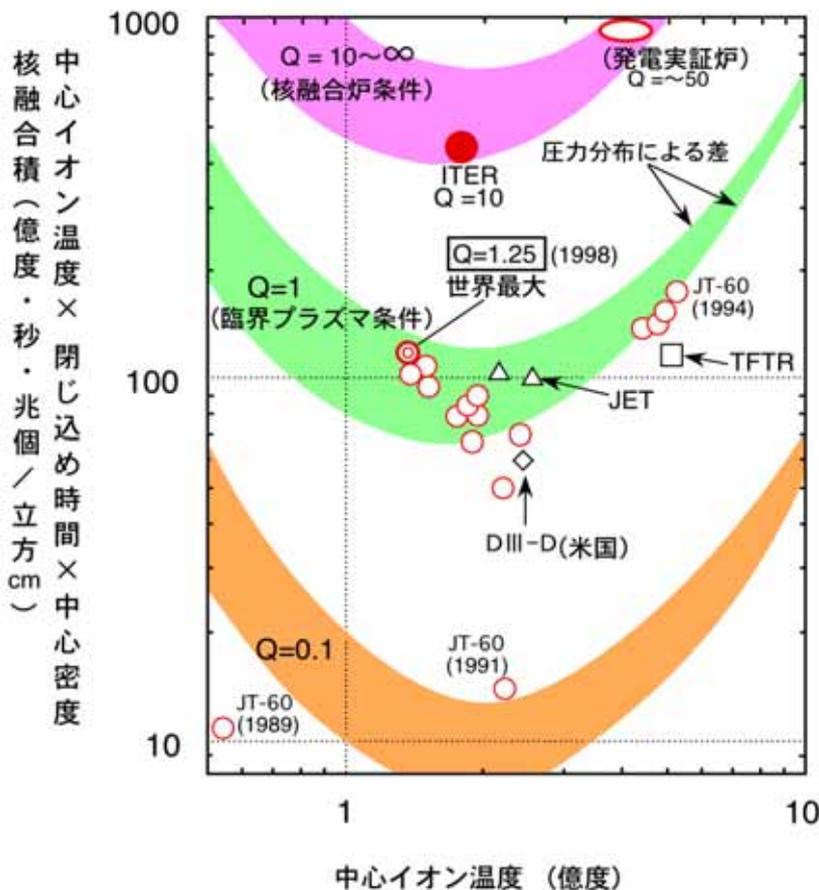


図8 トカマク核融合装置のプラズマ性能の進展

B_t : プラズマ中心での磁場[T]、 R : プラズマ大半径[m]

すなわち、電子密度は磁場を高く、大半径を小さくすることにより大きくすることが出来る。エネルギー閉じ込め時間()はこれまでの実験結果から ITER では次の経験式で設計している。

$$= 0.0562 I_p^{0.93} B_t^{0.15} P_h^{-0.69} n^{0.41} M^{0.19} A^{-0.58} 0.78 \text{ [s]} \quad (4)$$

P_h : 加熱パワー[MW]、 M : 燃料ガス元素の質量数、

A : アスペクト比(= R/a) : プラズマ断面形状の非円形度(= b/a)

表 2 に ITER の標準動作モードの主要パラメータを示す。⁶⁾ 核融合出力は 500 MW である。ITER では発電は行わない。

一方、核融合出力 (P_f) は次式で表示される。

$$P_f = \beta^2 B_t^4 a b R \quad (5)$$

: プラズマ境界での磁場圧とプラズマ圧力との比で単位はパーセントで表し、 β 値と呼ぶ。

β 値はプラズマの性能を表し、他のパラメータはコイルの磁場とサイズに関するパラメータである。 β 値が高ければ、コイルは低い磁場でコンパクトにできることになる。しかし、 β 値にはプラズマの電磁流体力学不安定性による限界が存在し、それは規格化 β_N 値と呼び β_N と表示され、次式で与えられる。

$$\beta_N = \beta / (I_p / (a B_t)) \quad (6)$$

したがって、プラズマの研究はこの β_N を高めるための研究とも言える。核融合炉の経済性(発電単価)を簡易的に知る一つの指標(多くの仮定を含む)として、この β_N とコイルの最大磁場 (B_m) との関係で表した式が提案されている。⁷⁾

$$COE = 11.8 / (\beta_N^{0.9} B_m^{0.63}) \quad (7)$$

COE : 現在の原子力発電(軽水炉)で規格化した核融合炉発電単価

: 発電出力/核融合出力

B_m : $B_t (R/(R-a))$

は図 7 に示すようにプラズマの境界とコイルの最内層導体間の距離を

表す。この間には真空容器の壁、ブランケット、コイルの容器の内壁が存在する。

ITER では、 β_N は約 1 m である。

図 9 は(7)式をグラフ化したものである。ITER と全く同様な設計で発電炉を製作すると、その発電単価は現在の発電単価の約 2 倍になる。現在と同じ発電単価を得るためには、例えば β_N を約 4 とするとコイルの最大磁場は 16 - 20 T が必要となる。ITER の標準動作モードでは β_N は、裕度をもって 2 で設定されているが、これまでの装置でも $\beta_N = 3$ は達成されている。ITER やその他のトカマクの実験においては新しい手法が試みられ β_N の向上に対して研究する計画になっている。一方、磁場においても、高温超電導体を用いて 25 T のコイルの製作に成功している。大型の 16 - 20 T のコイルの実現も 20 年後には見通しを得ることが期待される。もちろん、そのためにはこれまで以上の技術開発が必要とされることは言うまでもない。なお本章作成にあたり日本原子力研究所・炉心プラズマ研究部の菊地 満次長のご指導を頂いた。

表 2 ITER の標準動作モードの主要パラメータ

全核融合パワー (P_f)	500 MW
全核融合パワー/外部加熱パワー (Q)	10
平均中性子壁負荷	0.57 MW/m ²
燃焼連続時間	400 s
プラズマ大半径 (R)	6.2 m
プラズマ小半径 (a)	2 m
プラズマ電流 (I_p)	15 kA
非円形度	1.84
プラズマ体積	815 m ³
平均プラズマ密度 (n)	$1.1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
閉じ込め時間 ()	3.4 s
平均プラズマ温度 (T)	8.1 keV (0.9 億度)
平均核融合積 ($n T$)	$3 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ s keV}$
トロイダル磁場 (B_t)	5.3 T
規格化ベータ (β_N)	2

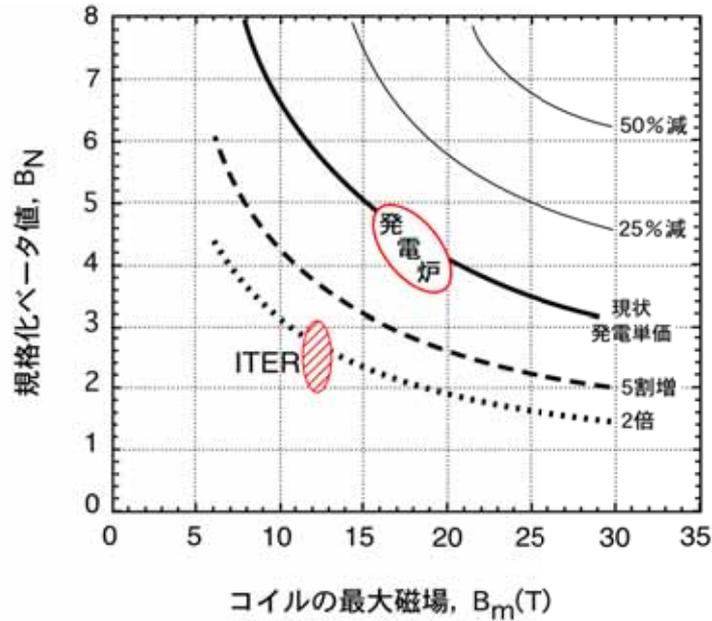


図9 核融合炉の経済性とコイルの最大磁場

参考文献

- 4) 関 昌弘編：核融合炉工学概論 日刊工業新聞
- 5) 宮本健郎：エネルギー工学入門 培風館
- 6) 下村安夫ら：プラズマ核融合学会誌 78 (2002) 特集/ITER 工学設計
- 7) 岡野邦彦，吉田智朗：プラズマ核融合学会誌 74 (1996) 365-372

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q:高温超電導体のかたまり『塊』や線はどのようにすれば超電導状態にできるのでしょうか？
実験室でもできる簡単な手順を教えてください

A:

1. 超電導状態にするためには冷却しなくてはならない

現在までに様々な材料で超電導体が報告されてきました。室温超電導体への夢はまだ終わったわけではありませんが、今のところ、再現性が確認されて超電導体と認知された材料において超電導状態にするためには、材料を冷却しなくてはなりません。

設備の整った実験室においては、冷凍機を用い低温にすることができますが、超電導材料によっては安価で扱い易い液体窒素温度(77 K = -196)に冷却することで超電導状態になる材料もあります。ここでは、液体窒素を用いた冷却について説明します。

2. 液体窒素を用いた冷却の手順

準備するものとしては、超電導体、液体窒素、液体窒素を入れる容器、ピンセット等の補助器具および保護用具などです。まず、超電導材料を手に入れます。液体窒素温度で超電導状態になり、比較的手に入り易いあるいは作り易い材料として、RE123系材料があります。これは、同和鋳業(株)や新日本製鐵(株)などより販売されてます。次に液体窒素を入れる容器ですが、デュワー(真空断熱した保温容器)があれば良いのですが、なくても発泡スチロールの容器で代用できます。液体窒素は、ガス会社に問い合わせれば、比較的簡単に手に入ります。10リットル程度でも容器ごと手配してもらえます。

保温容器に超電導体を入れ、ゆっくりと液体窒素を入れていきます。急激に冷やすと、デュワーや超電導体が破損することもありますので、徐々に冷やし、熱衝撃を減らすことが重要です。材料表面の泡の発生がなくなったら、液体窒素温度に冷却されたことを示していますので、これでRE123系材料は超電導状態になっています。

3. 液体窒素を使用する際に注意すること

液体窒素は低温液化ガスです。凍傷にならないよう十分に注意して取り扱ってください。素手で触ってはいけけないのはもちろんのこと、軍手も水分を含みやすいため使用しないで下さい。できれば、皮手袋を着用して下さい。なお、冷却した材料を動かす際には、ピンセットやトンクスにより扱い、液体窒素が体や衣服に触れないようにして下さい。また、保護眼鏡などで目を保護して下さい。

液体窒素を入れた容器からはガスの窒素が蒸発しています。これを呼吸すると酸素欠乏症になり非常に危険ですので、顔を近づけたりのぞき込んだりしないようにして下さい。また、容器は密封せず換気のきく場所に置くよう気をつけて下さい。

液体窒素を扱う際には、必ず指導の先生や専門家の指示に従い、上記の点に十分に注意し安全な実験を行ってください。

回答者：SRL/ISTEC 材料物性研究部 バルク研究開発室
坂井直道

[超電導 Web21 トップページ](#)