
掲載内容（サマリー）：

特集：超電導電力機器の技術動向

- ASC2008 のトピックスから
- SMES 報告
- 超電導電力ケーブルの技術動向
- 超電導変圧器の開発動向
- 超電導限流器（SFCL）の技術動向

- 超電導関連 11-12 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（9/20-10/16）
- 超電導速報—世界の動き（2008 年 9 月）
- 「NEDO 超電導応用基盤技術研究開発成果報告会」開催
- 隔月連載記事—粒子加速器と超電導（その 6）
- 読者の広場(Q&A)—超電導センサーで "TES" とはどのようなもので、どこに使われるのでしょうか？

[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://ringing-keirin.jp>



特集：超電導電力機器の技術動向「ASC2008 のトピックスから」



ACS2008 が開催された米国シカゴの街

応用超電導に関する国際会議 ASC2008（2008 Applied Superconductivity Conference）は、2008 年 8 月 17 日から 8 月 22 日まで米国、イリノイ州、シカゴにおいて開催された。世界 40 ヶ国から約 1,600 人が参加し、超電導材料並びに超電導エレクトロニクスから超電導電力機器に及ぶ最先端の応用技術とそれらの動向が示された。

特に、超電導電力機器関連では、発表数約 1,350 件の 3 分の 1 の発表数を占め、酸化物系超電導線技術の目覚ましい技術進展を背景とした SMES、超電導電力ケーブル、超電導限流器、超電導変圧器等の技術展望が示された。期を同じくしてスタートしたわが国のプロジェクト「イットリウム系超電導電力機器技術開発」にとっても、有効な情報が開示された。

ASC2008 の概要は、超電導 Web21 の 10 月号にて報告したが、ここでは、この会議に参加された専門家から SMES、超電導電力ケーブル、超電導変圧器及び超電導限流器について個々の分野におけるトピックスを詳細に報告いただくことにした。

（超電導 Web21 編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器の技術動向「SMES 報告」

中部電力株式会社
電力技術研究所 超電導グループ
研究主査 平野直樹

口頭発表 1 セッションとポスター発表 3 セッションがあり、例年に比べて発表件数自体は増加した感がある。

口頭発表では、明星大学の仁田先生から NEDO プロジェクトとして実施された 20 MJ/10 MVA 級金属系 SMES の実系統連係試験結果の紹介がなされた。日光市の実傾倒に SMES を設置し、工場の負荷変動に対して SMES から充放電することで電力変動を抑制することが実証され、計画の 2 万回に対して 4 万回以上の繰り返し充放電動作でもシステムは安定に機能したことや、他の電力貯蔵装置では実現が難しい高速の充放電動作も検証できたと紹介された。韓国からは、Kim 氏から今年度よりはじまった酸化物線材を用いた 2.5 MJ 級 SMES の計画が紹介された。この計画では、風力発電機が連系している小島での小規模な電力系統に対して、その変動を抑制し系統安定化機能を検証することが目的とのことで、現時点では線材を Y 系とするか Bi 系とするかは検討中とのことであり、線材開発動向等により慎重に今後の対応を検討しているとの説明であり、Safety Start した状況とのことであった。日本においても今年度から「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトがスタートしており、その計画も意識した内容と思われ、日韓でのこの分野での競争が楽しみである。

核融合科学研究所の三戸先生からは、伝導冷却の 1 MJ 級 NbTi コイルによる瞬低システム試験結果の紹介があった。東京工業大学の野村先生からは、電磁力低減を考慮したコイル形状による SMES コイルの提案があった。また、イタリアからは、移動手段のハイブリット化に絡めた SMES 適用として、液体水素を冷媒とした SMES の提案があった。冷媒はそのまま燃料としても利用できるメリットもあり、すでにこのアイデアは特許化しており、システムのシミュレーションまでは完了しているとのことで、今後、アイデア段階からシステム試作とその評価に移行するとのことであった。

ポスター発表では、韓国からの発表が多く、2.5 MJ 級 SMES 開発に向けた冷却システムやシステム設計結果などの発表があった。酸化物 SMES としては、Bi2223 線材を用いた研究開発が韓国とポーランドからそれぞれ発表がなされた。また、イットリウムを用いた SMES について、試作した小規模コイルの試験結果や、2 GJ 級のシステム試設計結果について、日本から国家プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」「超電導電力ネットワーク制御技術開発」の成果として紹介された。Y 系コイルは機械強度に優れ、しかも臨界電流の 2 倍以上の通電を繰り返しても温度安定性に優れた性能を示すことが紹介されていた。また、金属系に比べ、高磁界設計が可能なことから、体積で 1/3 以下にコンパクトとなる設計結果が示されていた。今後、SMES をはじめとしたイットリウム系のコイルを用いた応用研究開発が、国内外で一層活発化するものと感じられた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器の技術動向「超電導電力ケーブルの技術動向」

国内外で実施もしくは計画されている電力ケーブルのプロジェクトの実施状況を表 1 に示す。この中で ASC2008 において発表のあったものについて、「形態」、「損失」、「ケーブル冷却」等といった技術を切り口として報告する。

表 1 国内外の超電導電力ケーブルの開発プロジェクト

プロジェクト	国	電圧 kV	電流 A	容量 MVA	長さ m	形態	線材	系統連系	試験年
Albany (DOE)	米国	34.5	800	48	330	三心	Bi+Y	○	2006
AEP (DOE)	米国	13.2	3000	69	200	tri-axial	Bi	○	2006
LIPA (DOE)	米国	138	2400	574	600	単心×3	Bi	○	2008
LIPA2 (DOE)*	米国	138	?	?	600	単心×?	Y	○	?
Hydra (DHS) *	米国	138	4000	96	300	単心×3	Y	○	2010
Entergy (DOE)	米国	13	2500	60	1760	tri-axial	Y?	○	2013
DAPAS2	韓国	22.9	1250	50	100	三心	Bi		2007
DAPAS3	韓国	154	3750	1000	?	単心×?	?		2010
応用基盤	日本	66	1000	-	10+10	三心 (2心ダミー)	Y		2007
Bi 実証試験	日本	66	1750	200	200-300	三心	Bi	○	2011
Y 系プロジェクト	日本	66	5000	570	15	三心	Y		2012
		275	3000	1430	30	単心	Y		2012

凡例：赤字は No.1、青字は計画、*印は限流機能を有する。

形態：

各プロジェクトによって、ケーブルの形態は様々である。Albany、応用基盤などは三心一括、AEP は三心同軸、LIPA、DAPAS3 など単心ケーブルである。また、AEP のフォーマは中空である。単心ケーブルのフォーマは中実であるが、今後中空も計画されると考えられる。

損失：

Albany では、2.5 m 単相ケーブル（Y 系）を用いて測定した交流損失は 0.34 W/m@800 A との報告があった。応用基盤の報告で、0.1 W/m-相@1 kA の交流損失を達成との報告があった。Bi 実証試験、Y 系プロジェクトなど日本のプロジェクトは、損失を低減することに重きが置かれている。

ケーブル冷却：

ケーブルの冷却方法については AEP を紹介する。三相同軸一括、13.2 kV, 3 kA, 200 m のビスマスケーブルは、コア導体が中空になっており液体窒素の流路となっている。また、3 相の超電導層の外側にも流路がある。1 本のケーブルを往路は内側から冷却し、復路は外側から冷却することができる。液体窒素の流速を変化することによって超電導導体の長手方向の温度分布を小さくできるとの報告があった。

短時間過電流：

Bi 実証試験では、ケーブル実証を行う変電所の状況を踏まえて想定される過電流値と通過時間

を示しながら短絡試験条件 31.5 kA、2 秒間を設定したとの報告があった。**DAPAS3** の 154 kV、1,000 MVA ケーブルの計画では、短時間過電流 50 kA、1.7 秒との報告があった。かなり厳しい条件との印象である。応用基盤の成果は、三心のうち 1 心（2 心はダミー）の Y 系線材で構成した導体層に 31.5 kA、2 秒間の電流を通じても I_c 劣化が無かったことの報告があった。

長期運転：

Albany は、Y 系ケーブル 30 m を接続したフェーズ II 以降 12 ヶ月以上実系統に連系し稼動してきた。2008 年中には設定した目標を達成し、2009 年にはケーブルは系統から外し、評価を行う予定である。今後は経済性や信頼性などを検討する予定とのことである。

その他：

LIPA は、2008 年 4 月より実系統で運転開始している。超電導ケーブルの冷却設備が発生する騒音が、周辺の住宅地へ与える影響などに関する報告があった。

LIPA2 および **DOHS**（国土安全保障省）のプロジェクト **HYDRA** は、ケーブルに限流機能を持たせることが特長である。**HYDRA** については、300 m に至るまでに、3 m、25 m のテストケーブルで検証を行いながら計画を進めるといった報告があった。長さ 1,760 m で注目されている **Entergy** については、筆者の調査範囲では今回詳しい報告はなかった。

(SRL/ISTEC 電力機器研究開発部長 藤原 昇)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器の技術動向「超電導変圧器の開発動向」

九州大学
超伝導システム科学研究センター
准教授 岩熊成卓

この 8 月にシカゴで開催された ASC において発表された超電導変圧器の開発動向についての報告のほとんどが超電導変圧器の概念設計か超小型器の試作もしくは試験結果の報告であった。その中で電気機器としての超電導変圧器の開発研究とみなしうるレベルの物は、唯一、名古屋大学のグループの YBCO 線材を用いた 100 kVA 器だけであった。今回の ASC において、超電導変圧器開発研究の主流は「変圧器タイプの限流器」であり、変圧器機能を主眼としたものは数が少なかった。また、変圧器機能を主眼にしたものについても、下記に述べるように超電導変圧器が成立するための条件を明確にし、それがどのようにしたら満足されるのかを議論しようとする発表はなく、超電導変圧器の開発研究が欧米において中断されている状況と、その理由を打破する動きは見られなかった。米国で限流機能付きの超電導ケーブルの研究開発が声高に叫ばれる中、「変圧器タイプの超電導限流器」の開発は、裏返せば「限流機能付きの超電導変圧器」の開発でもあり、この 6 月から我が国で始まった NEDO「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトにおいて、超電導変圧器に限流機能を付加することが計画されているのと方向性は同じである。しかし、限流器を機能の主眼にする場合と変圧器を主眼にする場合の一番大きな違いは、限流器の巻線が無誘導巻線を目指し、巻線への印加磁界が極めて小さいのに対し、変圧器の場合には一次巻線から二次巻線に電圧を伝えるために、巻線経路磁界が超電導線材の交流損失低減技術を本格的に開発せざるをえないほど大きいことである。いずれにしても、「変圧器タイプの超電導限流器」もまだアイデアの域を出ず、ようやく研究開発が始まった段階である。限流器の報告は別途行われるので、ここでは、ASC（の時期）における超電導変圧器の技術動向として、その実現にとって何が障害であり、我が国がこの問題にどう挑戦しているのかを解説したい。

変圧器超電導化の利点は、小型・軽量化と効率向上であるとよく言われる。これは、変圧器設計上のパラメータである 1 ターン電圧を常電導器より小さく設定し、鉄心断面積を小さくした上で、超電導線材の特長である低損失性と高電流密度性を活用すれば、巻数が増えても巻線も小型・軽量化できるという指針に基づくものである。「効率が 99 %以上もある変圧器を超電導化してどうする？」との批判をよく耳にする。しかし、都心部地下変電所等に接地される変圧器の場合、わずか 1 %の損失とは言え送電電力が莫大であるゆえ、1 %の熱量を地下から外部に取り出して冷却するための初期設備コストが、変圧器本体の 4 割から 5 割にも上るという事実はあまり知られていない。超電導化により、損失すなわち熱量が 1/3 もしくは 1/5 になれば、この初期設備コストは大幅に削減される。

変圧器本体の小型・軽量化は、超電導線材の高電流密度性という特性だけで可能である。しかし、超電導線材の低損失性が兼ね備わっていなければ、効率の向上に結びつかず、また損失量に見合った冷凍機が必要になることから変圧器システムとしての小型・軽量化も実現されない。

国内ではすでに Bi2223 線材を用いたサブクール液体窒素冷却方式の超電導変圧器の試作が 4 回行われている。(1) 1996 年に 6.6/3.3 kV-800 kVA 器（九州大学富士電機）、(2) 1998 年に 22/6.9 kV-1 MVA 器（NEDO：福岡県地域コンソーシアム研究開発事業、九州電力）、(3) 2003 年に 66/6.9 kV-2 MVA 器（NEDO：国プロ）、(4) 2005 年に新幹線車両用 25/1.2/0.4 kV-4 MVA 器（鉄道総研）が試

作された。いずれも単相器であり、短絡強度以外の特性について設計定格までの動作が確認されている。特に (2) 22/6.9 kV-1 MVA 器については九州電力今宿変電所において国内初の系統連系試験が行われた。また、(2) 22/6.9 kV-1 MVA 器については 100 kV 耐インパルス電圧試験、(3) 66/6.9 kV-2 MVA 器では 350 kV 耐インパルス電圧試験、140 kV 交流過電圧試験が実器でなされ、絶縁強度の確認も行われている。しかしながら、Bi2223 線材では高電流密度性は発揮されたものの低交流損失性は実現できず、真に超電導変圧器システムとして魅力あるものとはなっていなかった。

NEDO 事業超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトでは、上記の課題すなわち線材レベルの低交流損失化を図ることから超電導変圧器の開発が始められた。プロジェクトの主体は YBCO 薄膜超電導テープ線材の開発であったが、機器への応用展開を図る事が可能な特性を兼ね備えるべきとの目標設定から、上記の論理に従って低交流損失性を目指す開発も開始された。しかし、薄膜テープ線材には従来の超電導多芯線の低交流損失化の指針、すなわち細フィラメント化による低履歴損失、高抵抗母材化・短ツイストピッチ化による低結合損失化の手法は適用できない。そこで、プロジェクトでは、超電導薄膜低交流損失化のための新規概念を世界に先駆けて提唱し、これを実現すべく線材開発および巻線レベルでの検証実験を行っている。詳細は国際特許出願中との理由によりまだ明らかにされていないが、薄膜テープ線材のレーザまたはエッチングによるマルチフィラメント線材へのスクライビング加工と特殊巻線技術の合わせ技である。バッファ層が絶縁材であるため同一基板ながらフィラメントは電氣的に互いに絶縁された状態にある。プロジェクトでは、10 mm 幅 YBCO 線材をレーザスクライビングにより 3 本フィラメント線材とし、これを 16 層のコイルに巻いて、無加工線材のコイルと比較して交流損失が 1/3 に低減されることを確認している。さらに、5 mm 幅線材を 5 フィラメント線材とし、これを 19 層のコイルに巻いて、やはり無加工線材のコイルと比較して交流損失が 1/5 に低減されることも確認している。また、担当者は、将来、線材製造技術の向上に伴い、交流損失もフィラメント幅に比例してさらに低減されるとしている。

先に述べたように、残念ながら、現在、超電導変圧器の研究開発は欧米では進められていない。これは、超電導線材の低交流損失性が変圧器のみならずすべての超電導電力機器の生命線であると言う事実に気づいたからに他ならない。定性的にわかつてはいたが、定量的に把握できたのは研究開発の成果だと言えば間違っていない。米国では、DOE の支援により、Waukesha Electric Systems 社、SuperPower 社、Energy East 社、ORNL の研究グループが、138 kV/13.8 kV-30 MVA 器の開発を目指し、2003 年から 2004 年にかけて 3 相 24.9 kV/4.2 kV-5/10 MVA 器を試作し、その特性試験を行った。線材は Bi2223 線材である。しかし、冷媒としてヘリウムガスを使用したため、絶縁破壊を起こし、試作は失敗に終わっている。その後、米国は超電導線材の低交流損失化のめどがたたないことを理由に開発の中断を決定した。欧米で超電導回転機の研究開発が継続されているのは、超電導回転機磁巻線が基本的に直流仕様で良いからである。

NEDO 事業超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトでは、この線材の低交流損失化の他にも、REBCO 線材を転位並列導体として構成して kA 級の大電流容量導体として直流、交流ともに通電試験に成功している。また、JEC の基準を満たすべく、部分模擬試験コイルを用いて絶縁破壊試験を繰り返し、必要な絶縁距離の把握にも努めている。

応用基盤技術研究開発プロジェクトの後継プロジェクト「イットリウム系超電導電力機器技術開発」も今年度から開始され、4 年後に 66/6.9 kV の 2 MVA-6 MVA 器の試作を行うことが計画されている。また、このプロジェクトでは、欧米の後追いではなく、高電流密度の超電導巻線およびケーブルは元来 S/N 転移を活用することにより限流機能を兼ね備えているとの観点から、独自に超電導変圧器に限流機能を付加する技術の開発も当初より計画されている。

特集：超電導電力機器の技術動向「超電導限流器（SFCL）の技術動向」

SFCL に関する発表は、電力機器の発表の中で最も発表件数が多かった。

限流機能は超電導の特徴的な現象であり、Bi や Y 系のみならず MgB_2 による限流機能の研究が行われた。また、限流現象の技術的な解明、限流機能を発現するための構造、温度依存性を利用した限流のコンセプト、高速スイッチとの連動など多様な報告がなされた。ここでは、国別に大きなプロジェクトについて概要と進捗について報告する。

米国：

SCE（サザンカリフォルニアエジソン）、SIEMENS、AMSC、Nexans らが進める 115 kV 限流器プロジェクトは、Y 系線材を用いるものである。定格電流 1,200 A で、事故電流 63 kA を 40 kA に低減するプロトタイプ限流器を開発中である。この限流器は、SFCL と高速スイッチを直列に接続しさらにインダクタンスを並列接続した構造にすることで、超電導線材を短くするとともに適正な電流値に抑制できるとしている。限流器は SCE の電力需要が増大したときの事故電流対策として、500 kV/115 kV 変電所の二次側の Bus Tie に導入する予定である。

SuperPower、AEP、EPRI、オークリッジ、住友電工らが進める 138 kV 限流器プロジェクトは、Y 系線材を用いるものである。定格電流 1,200 A で、事故電流 13.8 kA（37 kA 設計）を限流する。現在、モデル機を製作し、負荷電流を通電しながら繰り返しの事故電流を通電するなど信頼性の検証を行っている。

日本：

応用基盤プロジェクトの成果として、東芝より 6.6 kV 限流器の開発について報告があった。Y 系線材を用いた S/N 転移型限流器は、工場試験において 1,600 A の事故電流を 800 A へ低減するなど所期の目標を達成し、自家用発電機が設置されているフィールドでの試験を実施している。本限流器の目的は、電力系統で事故が発生した時に、自家発から系統へ流れ込む電流の抑制である。将来的には、より電圧の高い限流器の開発を目指すとの報告があった。

韓国：

154 kV/22.9 kV の変電所の二次側で発生する事故電流の抑制対策として 22.9 kV, 3 kA の限流器を開発している。現在はその途中段階として、22.9 kV, 630 A の限流器を研究開発中である。この構造については、S/N 転位型と飽和鉄心型のハイブリッド構造としている。韓国では、現在も電力需要が堅調に伸び短絡容量は増大しており、経済的で信頼性のある対策としての超電導限流器への期待が大きい。

中国：

中国では既に三相 35 kV/90 MVA の Bi 線材を用いた飽和鉄心型の限流器を開発し、実系統へ導入し試験を行っている。さらに、新しいプロジェクトとして 2009 年の系統導入を目指し、220 kV/1,200 A の限流器を開発中との報告があった。

(SRL/ISTEC 電力機器研究開発部長 藤原 昇)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 11-12 月の催し物案内

10/30-11/1

2008CHATS on Applied Superconductivity Workshop

場所：つくば市

問合せ：Naoyuki Amemiya, Kyoto University, E-Mail: chats2008@rain.dnj.ynu.ac.jp

<http://www.chats-as.org/News/news.html>

11/4

大阪大学豊中地区における低温物性研究の最前線

場所：大阪大学豊中キャンパス 大阪大学職員会館（待兼山会館）

主催：低温工学協会 関西支部

問合せ：大阪大学レーザーエネルギー研究センター レーザーテラヘルツ研究部門

川山 巖 Tel: 06-6879-7983、Fax: 06-6879-7984、E-mail: kawayama@ile.osaka-u.ac.jp

11/8

21 世紀の環境・医療・食糧問題の解決のためにー 1 極低温と 1 寒冷から のアプローチ

場所：岩手大学図書館 2F（多目的学習室）

主催：低温工学協会 東北・北海道支部

問合せ：岩手大学工学部材料物性工学科 藤代博之

Tel&Fax: 019-621-6363、E-mail: fijijsiro@iwate-u.ac.jp

11/11

21 世紀の課題と新超伝導材料科学

場所：高知市文化プラザ「かるぽーと」内 高知市中央公民館第 3 学習室（9 階）

主催：低温工学協会 第 3 回材料研究会／九州・西日本支部

問合せ：九州工業大学大学院工学研究院物質工学研究系 松本 要

Tel: 093-884-3366、Fax: 093-884-3377、E-mail: matsu@post.matsc.kyutech.ac.jp

12/1

社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会<第 70 回ワークショップ>「超伝導で自然エネルギーを使いこなそう」

場所：全日通霞ヶ関ビル 8 階 大会議室、Tel: 03-3581-2261

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20081201.html>

主催：社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

問合せ：社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当：大貫留美子

Tel: 03-3503-4681、Fax: 03-3597-0535、E-mail: fsst@sntt.or.jp

12/4-6

CCA08: International Workshop on Coated Conductors for Applications

場所：Hilton Hotel, University of Houston, USA

問合せ：<http://www.tcsuh.uh.edu/cca08/>

12/9-13

IUMRS アジア国際会議 2008

場所：名古屋国際会議場、愛知県名古屋市

主催：The Materials Research Society of Japan (MRS-J)

問合せ：IUMRS-ICA2008 事務局、Tel: 052-581-3240、E-mail: iumrsica2008@intergroup.co.jp、

<http://www.iumrs-ica2008.jp/>

12/11-13

超電導 EXPO2008/10/22

場所：東京ビッグサイト・東展示場「エコプロダクツ 2008」に併設、江東区有明

主催：日本経済新聞社

問合せ：超電導 EXPO 運営事務局（日経ピーアール） Tel: 03-6812-8694、Fax: 03-6812-8649、

E-mail:s-co@nikkeipr.co.jp <http://www.eco-pro.info/eco2008/superconductivity/index.html>



12/12

関西支部特別講演会 8 第 7 回低温工学・超伝導若手合同講演)

場所：大阪市立大学文化交流センター 大セミナー室

主催：低温工学協会関西支部

問合せ：大阪府立産業技術総合研究所情報電子部 笥 芳治

Tel: 0725-51-2671、Fax: 0725-51-2639、E-mail: kakehi@tri.pref.osaka.jp

12/19

応用物理学会超伝導分科会 38 回研究会「エネルギー・環境問題解決の鍵を握る超伝導技術の進展」
—詳細別紙—



応用物理学会超伝導分科会第 38 回研究会



低温工学協会



未踏科学技術協会協賛

『エネルギー・環境問題解決の鍵を握る 超伝導技術の進展』

世界の人口増大に加え、非OECD諸国の急速な経済発展とも相まって、化石燃料消費に伴うCO₂排出量の増大は、地球環境に深刻な影響を及ぼしている事が広く認識されつつある。エネルギー問題と環境問題、さらに資源問題も加えた上で、持続可能な経済発展を実現する技術開発は、人類共通の危急の課題といえる。超伝導材料は、損失をほとんど無視できる状態で大電流を通電することが可能であり、小型軽量、省エネルギーを実現する革新的機器や高磁界の発生とその応用など、従来技術の壁を破る技術として実用化が期待されている。また、巨視的量子効果を利用した高感度センシングは、環境モニタリングの手法としても不可欠なものとなりつつある。本研究会では、エネルギー・環境分野で期待される超伝導応用と、それを実現するための材料開発について、先導的成果を挙げられている方々にご講演いただくと共に、エネルギー・環境問題解決を目指した超伝導技術開発の今後の展開について、議論することを目的とする。

■日時：2008 年 12 月 19 日（金）10:00～17:00

■場所：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 大会議室

（東京都江東区東雲 1-10-13 地図 <http://www.istec.or.jp/Operation/map-J.html>）

プログラム	
10:00-10:05	開会挨拶 藤巻 朗 (名大)
10:05-11:05	GENESIS 計画と超伝導電力ケーブル 畑 良輔、磯嶋 茂樹 (住友電工)
11:05-12:05	RE123 高温超伝導線材の開発と電力機器応用 塩原 融、和泉 輝郎、山田 稔、藤原 昇 (ISTEC-SRL)
12:05-13:05 昼食・休憩	
13:05-13:35	超伝導線材のナノ組織制御による実用性能向上 松本 要 (九工大)
13:35-14:05	MgB ₂ 線材の開発 熊倉 浩明 (物材機構)
14:05-14:35	新超伝導材料創成の指針 下山 淳一 (東大)
14:35-15:05	希土類酸化物の環境材料としての可能性:熱電材料・超伝導材料 吉田 隆 (名大)
15:05-15:25 休憩	
15:25-16:10	超伝導磁気分離技術による環境改善 西嶋 茂宏 (阪大)
16:10-16:55	ミリ波・サブミリ波を用いた地球環境計測 菊池 健一 (産総研)
16:55-17:00	閉会挨拶 下山 淳一 (東大)

参加費（当日受付・消費税込）：分科会会員 2,000 円、応用物理学会会員 3,000 円、
協賛会員 3,000 円、非会員 4,000 円、学生 1,000 円

問合せ先：銭谷 勇磁（パナソニック） TEL:0774-98-2566 e-mail: zenitani.yuji@jp.panasonic.com
木須 隆暢（九州大） TEL:092-802-3686 e-mail: kiss@sc.kyushu-u.ac.jp
田中 康資（産総研） TEL:029-861-5720 e-mail: y.tanaka@aist.go.jp
高野 義彦（物材機構） TEL:029-859-2842 e-mail: TAKANO.Yoshihiko@nims.go.jp
明連 広昭（埼玉大） TEL:048-858-3763 e-mail: myoren@super.ees.saitama-u.ac.jp

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (9/20-10/16)

- 巨大加速器「LHC」って何じゃ？ ビッグバン直後を再現し宇宙のナゾに迫るんだ 9/20 朝日新聞
- 精度高まる乳がん検査 MR マンモグラフィー 範囲を明確に撮影 診断の確定に課題も 9/21 朝日新聞
- 理研ノ最前線 NMR 解析施設 外部へ開放 効率的に試料調整 高昨日材料開発に貢献 生命分子システム基礎研究領域副領域長 木川隆則 9/23 日刊工業新聞
- 東洋炭素 原子炉向け部材拡販 原研機構から受注 海外で攻勢 9/26 日経産業新聞
- 原子力委専門部会 核融合の方向性検証 知的基盤構築を提言 9/26 電気新聞
- 汽力発電の蒸気条件向上 高度経済成長が求めた「超臨界圧」 9/30 電気新聞
- 東大院 核融合の教育強化 ITER 研究者を育成 10/7 日刊工業新聞
- 汽力発電の蒸気条件向上 高温耐熱材料の開発で USC 進歩 10/7 電気新聞
- 宇宙の起源 解明の基礎 10/8 朝日新聞、日刊工業新聞
- 粒子線治療装置を納入 三菱電機 国内民間向け第 1 号 10/9 電気新聞
- 超伝導理論に疑念 契機 南部陽一郎さん 10/9 朝日新聞
- 国際リニアコライダー計画誘致 ノーベル賞受賞で追い風 「ビッグバン」再現 国民にアピール必要 10/11 Fuji Sankei Business i.
- ノーベル物理学賞 「対称性の破れ」とは 南部、小林、益川 3 氏が構築した素粒子論 質量の起源を導く 6 種類で「破れ」成立 10/12 毎日新聞
- 「最後の」粒子解明に期待 南部理論裏付け？ LHC 運転開始 ビッグバンを再現 「狩人」ふるい分け 10/13 朝日新聞
- 絶縁体+プラスチック→超伝導 東北大が新手法 新材料探しに道 10/13 朝日新聞、河北新報
- 第 37 回 グリーン電力証書を買った人の環境性 購入前にまず努力 10/14 電気新聞
- ガスタービンの性能向上 ジェットエンジンの開発技術生かす 10/14 電気新聞
- 国際規格の整合など議論 日韓電気協会 30 日交流会議 10/14 電気新聞
- カネボウと茂木氏共同研究 化粧顔、脳には他人の顔？ 10/15 Fuji Sankei Business i.
- リニア経路綱引き本格化 JR 東海 3 ルート併記 中間駅含め調整 10/15 日本経済新聞
- 産総研 NTT テラヘルツ波を高感度検出 単一受信機で成功 10/15 電気新聞
- 発電税控除の延長、議会で可決 米国 再生エネルギー業界、ひと安心 風力倍増、有力な推進役 10/15 電気新聞
- 極低温冷凍機で 韓国に販売拠点 住重 10/15 日経産業新聞
- 電力需要 産業向け 下り坂 10/16 Fuji Sankei Business i.

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き (2008 年 9 月)

電力

American Superconductor Corporation (2008 年 9 月 9 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、自社特許の PowerModule PM3000W 電力変換装置を市場投入した。大型化の観点から非常に柔軟性のあるこのソリューションは、750-kW から 6-MW までの風力発電機に時間をかけずに組み込むことが可能のように設計されている。AMSC 社海外営業、ビジネス開発担当役員 Timothy Poor は次のように述べた。「PM3000W は、風力発電機とグリッドを結合するニーズを満たすべく特別に開発された世界初の電力変換モジュールである。この変換装置は、完全プログラマブルな柔軟性の高いモジュールタイプの電力変換装置で、発電機の接続自由度が高く、どのようなタイプのメガワット級風力発電機にも対応可能である。この革新的なソリューションは遠隔地の風力発電所がしばしば経験する気候の大きな変動や、貧弱な電力グリッドの条件にも耐えることができるよう設計されている。」この PM3000W は、工場試験及び稼働中の風力発電所でのフィールド試験にパスし、すでに、カナダ (AAER Inc.)、中国 (Sinovel Wind, CSR-ZELRI and Dongfang Steam Turbine Works)、ドイツ (Fuhrlander AG) 及びインド (Ghodawat Industries) から、3,300 台以上の PM3000W 変換機の予約注文が入っている。PM3000W 第 1 号機は 2008 年 9 月に出荷される。

出典:

“AMSC Launches PowerModule PM3000W Converter for the Wind Power Market”

American Superconductor Corporation press release (September 9, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1194966&highlight

Zenergy Power plc (2008 年 9 月 29 日)

Zenergy Power plc は、ドイツ子会社 Zenergy Power GmbH が特殊材料メーカーである Honeywell Specialty Products 社と 5 年間の共同開発契約を締結したと発表した。両社は共同して、Zenergy 社の次世代 HTS 線材量産向け全化学プロセスに使われる各種の前駆体化合物の開発を行う。Honeywell 社が Zenergy 社のパートナーとなることは、Zenergy 社の次世代線材製造技術が認められたということのみならず、その潜在市場の大きさにも魅力があるということを意味する。Zenergy 社はすでに次世代 HTS 線材量産のためのリール・トゥ・リール全化学プロセスの開発を進めている。これが完成すれば、このプロセスは次世代線材向けの最も低コストで効率的な製造方法となることが期待される。Honeywell 社と組むことで、Zenergy 社は補完的な専門性を有する化学産業界の強い協力者を得ることとなり、今後の次世代線材生産のスケールアップに必要な多量の高品質前駆体化合物の供給が保障されるばかりでなく、より優れた化学プロセスの開発にも有力なパートナーを得ることとなる。Zenergy Power 社会長 Michael Fitzgerald は次のように述べた。「この共同開発契約は次世代 HTS 線材の工業化に向けた大きなステップである。我々の 2 つの主要なパートナーである ThyssenKrupp VDM 社と Honeywell 社とともに、大型再生可能エネルギー対応発電機市場に必要な確固とした（線材）サプライチェーンを確立できるものと確信している。」

出典:

“Zenergy Signs Joint Development Agreement with Honeywell”

Zenergy Power plc press release (September 29, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-09-29-joint_development_agreement_with_honeywell.pdf

加速器

CERN (2008 年 9 月 10 日)

CERN では、Large Hadron Collider (LHC) の最初のビームを世界で最も強力な粒子加速器の 27-km のトンネルを飛翔させることに成功した。この歴史的な成功は LHC20 年の開発と建設におけるキーとなる瞬間であった。次の数週間で、加速システムは定常状態となり、粒子衝突が行われる。これにより、4 つの大きな研究プログラムが開始される。測定・キャリブレーション期間を経て約 1 年で、LHC 研究プログラムが新しい結果をもたらしてくれるものと期待される。CERN 所長 Robert Aymar は次のように述べた。「この LHC は発見を目的としたもの。その研究プログラムは我々の宇宙観を大きく変える可能性を持っており、今後とも人類が生まれたときから持っている好奇心を満たしてくれるものである。」

出典:

“First beam in the LHC – accelerating science”

CERN press release (September 10, 2008)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR08.08E.html>

Thomas Jefferson National Accelerator Facility (2008 年 9 月 15 日)

Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Jefferson Lab) は米国 Department of Energy (DOE) から 12-GeV の Continuous Electron Beam Accelerator Facility (CEBAF) の施設更新のための 3 億 1,000 万ドルプロジェクトについて建設着手のゴーサインをもらった。この施設更新は、DOE の Office of Science が刊行した 2003 年の基幹報告書 “Facilities for the Future of Science: A Twenty Year Outlook” にも触れられており、高いプライオリティーを持っている。この建設着手は、科学的必要性、メリット、12-GeV CEBAF の更新プロジェクトの質を明確にするための困難、かつ数年にわたるレビューの結果、その承認を受けたものである。このプロジェクトの下、施設の加速ビームの 6 GeV から 12 GeV への増強、新たな実験施設の建設、既存の実験施設の設備更新が行われる。建設資金は大統領の 2009 年度予算要求に盛り込まれており、このプロジェクトは 2015 年に完了する。

出典:

“DOE's Jefferson Lab receives approval to start construction of \$310M upgrade”

Thomas Jefferson National Accelerator Facility press release (September 15, 2008)

<http://www.jlab.org/news/releases/2008/CD-3Approval.html>

CERN (2008 年 9 月 20 日)

Large Hadron Collider (LHC) の 5 TeV での運転のための Large Hadron Collider (LHC) の最終セクター (セクター 3-4) における高電流試験 (無ビーム状態) の時に、大きなヘリウム漏れ事故が起こった。初動調査によれば、2 台の磁石を電氣的につないでいる箇所が問題の原因であると思われる。即ち当該箇所が熔融して、機械的な故障を起こしたらしい。故障を修理するためには、このセクターを (室温まで) 暖める必要があり、LHC の運転を最低でも 2 ヶ月止めなければならない。詳細は、調査結果を待つて報告される。

出典:

“Incident in LHC sector 3-4”

CERN press release (September 20, 2008)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR09.08E.html>

CERN (2008 年 9 月 23 日)

CERN における調査の結果、Large Hadron Collider (LHC)のセクターにおけるヘリウム漏洩事故の原因は、2 台の加速マグネットの間の電氣的な不具合による可能性が非常に高いことが分かった。しかしながら、原因を確定するためには当該セクターを室温まで温める必要がある。これには 3~4 週間かかる。マグネットを開ければ、詳細が明らかになるだろう。CERN 所長 Robert Aymar は次のように述べた。「9 月 10 日の LHC の運転の大成功の直後に起こったこの事故は、疑いもなく大きな心理的ダメージではある。しかしながら、いずれにしても、LHC の最初のビーム試験の成功は加速器建設、運転にかかわったチームの何年にもわたる苦勞の多い準備や、また、その技能の証であることには違いがない。これまでと同じ熱意と献身によりこの不幸な出来事に我々が打ち勝っているものと確信している。」事故調査と修理にかかる時間を考えれば、冬季の義務的メンテナンスの時期以前に装置の運転再開は望めない。運転再開は 2009 年春の早い時期となる。運転再開時に LHC ビームが再度生成される。

出典:

“LHC re-start scheduled for 2009”

CERN press release (September 23, 2008)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR10.08E.html>

基礎

Massachusetts Institute of Technology (2008 年 9 月 3 日)

Massachusetts Institute of Technology (MIT) では、超高速量子計算機に向けた主要な障害に打ち勝つ方法を発見した。研究グループは、非常に広い周波数域で量子主体をキャラクタライズすることができるアンプリチュード分光と呼ばれる手法を開発した。この手法は、超電導人工原子の性質を調べるのに有効であると期待されている。これは、量子計算機の開発のためには非常に重要な仕事である。有害な影響を与えないように選ばれた特定の周波数に対して超電導人工原子がどのように反応するのかを調べることにより、アンプリチュード分光法は「スペクトロスコピー・ダイヤモンド」として知られる干渉パターンをキャラクタライズするのに使うことができる。また、その結果として人工原子のエネルギー・スペクトルを知ることができる。研究結果は、Nature 9 月 4 日号に掲載された。

出典:

“MIT probe could aid quantum computing”

Massachusetts Institute of Technology press release (September 3, 2008)

<http://web.mit.edu/newsoffice/2008/artificial-atom-0903.html>

University of Montreal (2008 年 9 月 11 日)

スイス Paul-Scherrer Institute (PSI) 及び海外共同研究者は、従来信じられていたこととは異なり、超電導が磁性を生成し得ることを示した。スイス Villigen にある Paul-Scherrer Institute (PSI) の破砕用中性子源を使って、共同研究チームは、超電導が 2 種類の魅力的な量子的性質を示すことを発見した。第 1 に、調べた材料は超電導を示すと同時に磁気秩序を発現する。第 2 に、実験の結果超電導ペアは運動量 0 の状態であった。これは他の知られている超電導体では見られないことである。このような状態は理論的には予言されていたが、実際にはこれまでミクロスコピックには観察されたことがない。問題の超電導体はセリウム、コバルト、インジウムからなる金属間化合物 CeCoIn5 である。絶対 0 度近くまで冷却すると、この材料は超電導と磁性とを同時に示す。さらに、

試料を温めるか、磁場を加えると超電導と磁性は同時に消滅する。この発見は、少なくとも今回の特殊な材料では、磁性と超電導は互に避けあわず、かえって超電導が磁性を生み出している。Paul Scherrer Institute の研究者で Swiss Federal Institute of Technology Zurich 教授 Michel Kenzelmann は次のように述べた。「我々の仕事は、磁性から生まれる超電導対がいかに生成されるかを理解する可能性につながる。我々は、この結果が近い将来新しい技術的な応用の発展につながることを期待している。グループの研究結果は、Science 11 月 11 日号に掲載された。

出典:

“Superconductivity can induce magnetism”

University of Montreal press release (September 11, 2008)

<http://nouvelles.umontreal.ca/content/view/1696/125/>

Cornell University (2008 年 9 月 19 日)

Cornell University、Brookhaven National Laboratory 及び日本の研究者は、初めて高温超電導体のミステリーの富む擬ギャップ中から電子の動きを明らかにした。高温超電導体の擬ギャップに関連する電子は対を形成するが、大部分の電子は結晶格子中の特定の位置に固定され、超電導の発現が阻害されていることが実験的に明かにされた。非常に精密な走査型電子顕微鏡を使って、ドーピング量の異なる BSCCO 超電導体を調べ、ドーピング量が 5 – 15 % で擬ギャップが生成していることを確認した。このドーピング量の範囲内で、一部の電子は特定の位置に固定され、その他の電子は自由に動き回る。ドーピング量を減らしていくと、固定される電子が増加する。固定された電子対を引き離すには、自由に動く電子対を引き離すよりも大きなエネルギーが必要である。理論的には、電子対はより強く結合すればするほど、温度上昇しても、それらを引き離すのに大きな抵抗を示す。研究グループの実験結果は、今後の理論的な解明を待たなければならない。しかしながら、多くの研究者達は擬ギャップの理解は室温超電導を達成するための鍵となると信じている。この結果は、8 月 28 日の Nature に掲載された。

出典:

“Atomic-scale structure of the 'pseudogap' revealed in high-temperature superconductors”

Cornell University press release (September 19, 2008)

<http://www.news.cornell.edu/stories/Sept08/pseudogap.ws.html>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「NEDO 超電導応用基盤技術研究開発成果報告会」開催

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、平成 20 年 9 月 16 日、九段会館（東京都千代田区）にて平成 15 年度から平成 19 年度に実施された「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトの成果報告会を開催し、主催者の集計で約 130 名が参加のもとで成功裏に終了した。

なお、このプロジェクトは、第 2 期のプロジェクトとして高性能イットリウム系超電導線の作製技術並びに同線材を超電導電力機器に適用するに必要な要素技術開発を目的とした（財）国際超電導産業技術研究センター（ISTEC、荒木浩理事長）、（株）フジクラ及び住友電気工業（株）の共同提案により実施されたものである。

成果報告会は、主催者である NEDO 新エネルギー技術開発部長福田秀樹氏の挨拶ではじまり、来賓者の経済産業省製造産業局非鉄金属課長田端祥久氏及び平成 19 年度超電導技術委員会委員長正田英介氏の挨拶の後、ISTEC、古河電工、京都大学、九州大学、九州電力、大陽日酸から各担当分野の研究成果の報告がなされた。

研究成果報告は、まず、研究開発責任者の塩原 融氏（ISTEC 超電導工学研究所所長代行）からプロジェクトの全体目標と成果概要の説明がなされ、数値目標がほぼ 100 %達成したとの報告があった。次に、ISTEC の担当者からイットリウム系超電導線の作製技術の成果報告がなされ、線材長 500 m で臨界電流 300 A の目標達成、3 円/Am の極低コスト線材の技術見通しなどが明らかにされた。さらに、この線材を超電導電力機器へ適用するためのイットリウム系線材の要素技術開発に関して、超電導電力ケーブルについて古河電工の向山晋一氏が、超電導限流器について京都大学の雨宮尚之氏が、超電導モーターについて九州大学の岩熊成卓氏が、超電導変圧器について九州電力の林秀美氏が、高性能冷凍機について大陽日酸の鈴木佳明氏が、実用化促進調査について ISTEC の佐伯正治氏がそれぞれ報告した。

研究成果報告会の最後に、塩原 融氏から、平成 20 年度からスタートしている後継プロジェクト「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の概要説明がなされた。



塩原 融氏の報告



研究成果報告会会場風景

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

粒子加速器と超電導（その 6）

日本大学
大学院総合科学研究科
教授 新富孝和

Linear Collider 計画

6.1 Linear Collider 目的

2008 年 9 月 10 日に LHC において最初のビームを周回させることに成功した。この加速器の最大の狙いは、標準理論で予言され質量の根源となるヒッグス粒子の発見である。LHC は陽子（ハドロン）同士を衝突させて新しい現象を見つけ出す装置であるが、クォークで構成されるハドロン同士の衝突のため非常に沢山の事象が発現し、ヒッグス粒子の性質を精密に測定することが困難である。それに比べて電子・陽電子（レプトン）の衝突では、現象が単純で、狙った粒子の精密測定が可能となる。これによって、ヒッグス粒子の精密測定のみならず標準理論を越える超対称性理論の検証ができると予測されている。それによって、宇宙創世いわゆるビッグバンの状態により近づくことになり、強い相互作用、弱い相互作用、電磁相互作用と重力が一つになっていた手掛りが得られるものと期待されている。International Linear Collider (ILC) は、LHC と相補的な関係にあり、人類最大の興味の一つである物質の根源を見つけ出すという壮大な計画である。

6.2 何故 Linear Collider か

荷電粒子を加速すると放射光が出ることは 4 章で述べた（7 月号参照）。すなわち、磁界中を荷電粒子が走るとき Lorentz 力によって加速度を受け、接線方向に放射光を出す。その損失エネルギーは、粒子の質量が軽く、エネルギーが高いほど大きくなる。これまでの最大の電子シンクロトロンは、CERN の LEP (Large Electron Positron Collider) で、電子（陽電子）のエネルギーは約 100 GeV であった。しかし、放射光によるエネルギー損失のために、これ以上のエネルギーに加速するのは実際上不可能である。そこで、放射光損失のない直線加速器（Linear Collider）が次世代のエネルギー・フロンティアの加速器として検討されてきた。

6.3 計画の概要

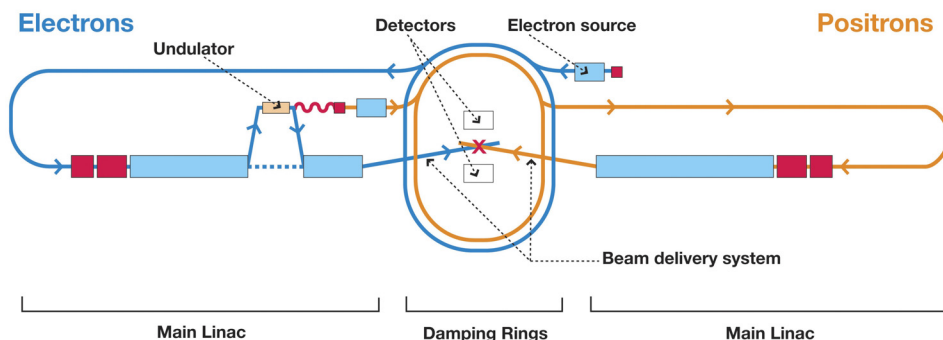


図 6-1 ILC の概略構成図。電子と陽電子を超電導加速空洞で加速して正面衝突させる。

2004 年 8 月 ICFA (International Committee for Future Accelerators) は、国際協力により重心系エネルギーで 500 GeV~1 TeV の ILC を建設することを了承した。計画実現に向けて、国際的な機関が設計研究、開発研究を精力的に進めている。建設地はどこになるかはまだ決まっていない。加速方式では超電導か常電導かの選択があるが、高い電力効率、大きな設置位置許容誤差、高い加速勾配の見通しなどの理由から、超電導加速空洞方式によることが決定した。全長で 30 km 余りにもなる加速器をできるだけコンパクトで、かつ少ない運転電力にするためには超電導が必要な技術としてとらえられた。ILC の概略構成図ならびに設置概念図を図 6-1, 6-2 に示す。

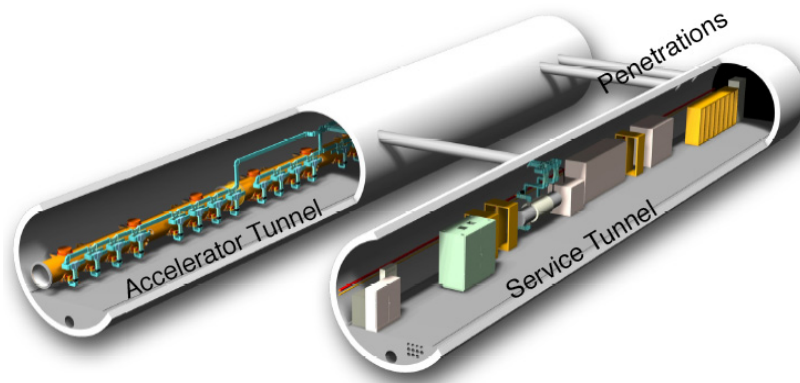


図 6-2 LHC の設置概念図。加速トンネルに加速空洞本体が据え付けられ、サービストンネルに高周波電源が設置される。

6.4 必要な超電導技術

a) 加速空洞

現在、日・米・欧の研究所で高性能加速空洞の開発が進められている。開発では、まず単セル空洞の性能試験を行う。実機では 9 セルを連ねたものが使われるので (図 6-3)、最終的には 9 セルでの性能が問題となる。空洞の共振周波数は 1.3 GHz である。建設コストを抑えるために可能な限り高い加速勾配とすることが必要であり、ILC の目標は 9 セルの実機において 35 MV/m (定格運転では 31.5 MV/m)、Q 値 0.8×10^{10} 以上である。空洞の材料には高純度 Nb ($RRR \geq 300$) が使われる。9 セルの加速空洞 9 台を 12 m 長のクライオスタット (クライオモジュール) に収納し、2 K の飽和超流動 He で冷却する。全体で約 1900 台のクライオモジュールが必要となる。



図 6-3 9 セルの Nb 超電導加速空洞。これが基本ユニットになる。

開発された 9 セルの高性能加速空洞の試験結果を図 6-4 に示す。目標である 35 MV/m の加速勾配 (E_{acc}) を越え、40 MV/m が得られている。KEK での単セルの性能試験では 52 MV/m が得られている。超電導空洞の場合、空洞表面磁界が臨界値を越える点が限界となるが、2 K 温度での加速勾配の理論限界は 50 MV/m 程度といわれており、最高性能の空洞は理論限界値に達していると考えられている。

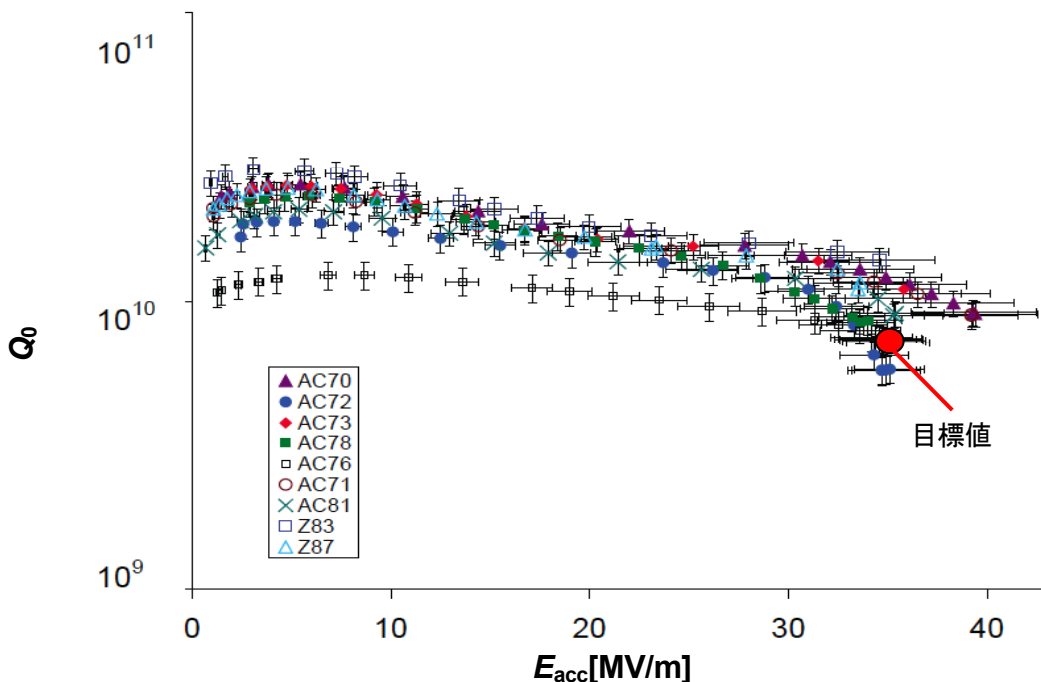


図 6-4 試験で得られている種々の超電導加速空洞 (9 セル) の加速勾配。

建設費のかかなりの部分は加速空洞の製作費である。特に、Nb 材とその製作方法によって価格が左右されるので、製法や空洞内面の洗浄方法などの開発研究が行われている。銅と Nb のクラッド材にすることで Nb 材を減らす研究もされている。全部で約 17,000 個の 9 セルの空洞が必要であり、確実に目標性能が得られる製作上の歩留まりが計画の死命を制すると言っても過言ではない。

b) 冷凍システム

現在の設計では、10 台の冷凍機で 2 K に冷却するようになっている。1 台の冷凍機の冷却能力は 4.5 K 換算で約 25 kW である。冷凍機 1 台での冷却長さは約 2.5 km で考えられており、この長さで、かつ超流動ヘリウムによる冷却はすでに CERN で経験されている。冷凍機能力もほぼ同程度である。冷却の基本ユニットは 12 クライオモジュール (全長 154 m) である。

冷凍機動力は、全部で約 48 MW (運転動力は 37 MW) と算定されており、電力消費の大きな割合を占めている。

7. まとめ

これまでにエネルギー・フロンティアとしての高エネルギー加速器について述べてきた。できるだけ高い粒子エネルギーを得るために、強い磁界や高い加速勾配を必要とし、超電導技術の応用が不可欠である。その究極として、ILC 計画が進められつつある。今まさに運転を開始した LHC とは

相補的な関係にあり、高エネルギー物理の最前線とともに重要な働きをしようとしている。

ILC 計画は、ITER に匹敵する規模のプロジェクトである。幸い高エネルギー物理では、これまで国際協力のもとに計画を遂行する経験を持っているので、ILC も齟齬なく完遂されるものと思う。

超電導技術、特に超電導磁石技術は、高エネルギー物理の分野で発展してきた。それは、この分野では超電導技術が必要不可欠なものであったからである。今回触れることができなかったが、高エネルギー物理実験用検出器には磁場が必要であり、水素泡箱の時代から現在の検出器にいたるまで、最先端の超電導・低温技術が随所で駆使されてきた。高エネルギー物理には超電導・低温技術が不可欠であり、それらの技術が遺憾なく発揮されてきた分野である。

参考文献

横谷馨、「ILC (International Linear Collider) 計画、低温工学 40 巻 12 号 (2005) pp. 549-557.

ILC の種々の情報については HP <http://lcdev.kek.jp/> を参照。

ILC の最近の動向については、A. Yamamoto, "Superconducting RF cavity development for the International Linear Collider," presented at ASC 2008.

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：「超電導センサーで "TES" とはどのようなもので、どこに使われるのでしょうか？」

A： 超電導になる物質（超電導体）の温度を下げていくと、転移温度（ T_c ）とよばれる温度以下では急激に抵抗がゼロになることは良く知られています。 T_c 付近で温度を拡大してみると、どうなっているのでしょうか？ 有限な抵抗から抵抗がゼロになるまでの温度範囲は非常に狭いのですが、 T_c を境に突然抵抗がゼロになる訳ではありません。有限な温度範囲があります（図 1）。では、抵抗がゼロになる途中の温度（図 1 の A 点）で止めておくとうどうなるのでしょうか？ ほんの僅かな温度変動で抵抗が大きく変わることが分かります（例えば 10,000 分の 1 度の温度変動で抵抗が 10 倍変わる程度）。

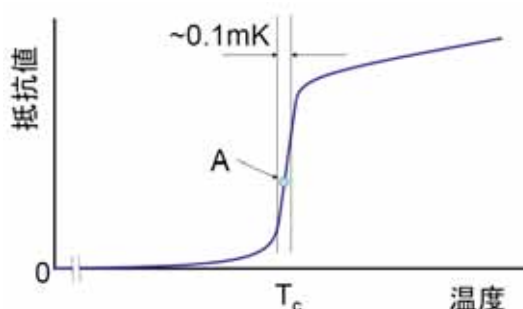


図 1 超電導体の転移温度付近での抵抗変化の様子

一方、物質に光や X 線などの電磁波、あるいは電子線や中性子線などの粒子を照射すると、物質と相互作用して電磁波や粒子のもつエネルギーは熱になってしまいます。そこで、先ほどの T_c 付近の温度（図 1 の A 点）に保たれた超電導体に電磁波や粒子を照射すると、これらのもつ僅かなエネルギーが温度変動を起こします。図 2 にその様子を示します。照射される電磁波や粒子のエネルギーを E とし、超電導体の熱容量を C とすれば、 E/C だけ温度が上昇します。その結果、図 1 から分かるように抵抗が大きく変化します。この抵抗変化を測定すれば、非常に微弱な電磁波や粒子の持つエネルギーが測定できます。このような原理に基づくセンサーを TES（Transition Edge Sensor）といいます。日本語では超電導転移端センサーと呼ばれています。

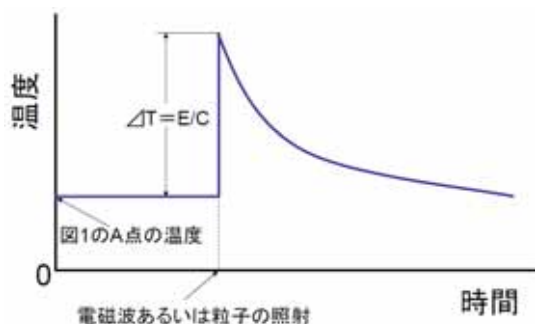


図 2 光や X 線などの電磁波や中性子線などの粒子が照射された時の超電導体の温度変化

では、TES はどのようなところに使われるのでしょうか？ これまで説明したとおり、1 万分の

1 度程度の僅かな温度上昇で大きな抵抗変化が得られますので、非常に微弱な電磁波や粒子線の測定に用いることができます。たとえば、光子（フォトン）1 個を検出することもできます。これを利用して量子暗号通信の信号検出器として TES を用いることができます。また、非常にエネルギー分解能が高いために、ウラン 235 などの物質から放射される γ 線（185.7 keV）のエネルギーを TES で測定すれば、隣接したラジウム 236 が放出する γ 線（186.1 keV）との違いをはっきりと区別することができます。つまり、物質の正確な分析に用いることができるのです。TES の特長をまとめると、近赤外から X 線までの広い波長範囲にわたって非常に高精度・高感度で電磁波を検出できることです。このため、応用範囲は上で述べたものに限らず、電波天文、たんぱく質の解析、核物質検出装置、など広い範囲で利用されるか、またはされようとしています。

もっと知りたい方は以下の文献が参考になると思います。

参考文献

K.D.アーウィン “光子 1 個を見る超電導センサー”、日経サイエンス 2007 年 2 月号、pp48-55.

回答者：SRL/ISTEC 特別研究員 蓮尾信也

[超電導 Web21 トップページ](#)