

【隔月連載記事】

超電導市場のこれまでとこれから（その1）

SRL/ISTEC  
特別研究員 堀上 徹

その1：これまでの超電導市場

1. はじめに

今号から6回の隔月連載で「超電導市場のこれまでとこれから」という表題で掲載することになった。「これまで」の話は比較的簡単であるが、「これから」の話が大変難しく、読者の皆様にどの程度ご満足頂ける内容になるのか不安を抱えたままでの執筆開始である。

ISTEC/SRL では昨年度より超電導に関する「市場開拓委員会」や「実用化促進委員会」を設けて超電導市場をもっともっと拡大するためには何をどうしていけばいいのかを企業の方々と検討している。

超電導現象が発見されてから約1世紀が経過しようとしている現在、超電導が使われている分野は未だ極めて限定されている。1986年に発見された高温酸化物超電導体は液体窒素温度（絶対温度77K、摂氏マイナス196度）で使うことができるということで、世界的フィーバーを巻き起こしたことは未だ記憶に新しい。しかし、最近では友人に会うと「未だ超電導やってるの?」とか「超電導はどうなってるの?」とか聞かれることがしばしばある。

この連載記事では、これらの質問に幾許かでもお答えすることができればという思いと、高温超電導の実用化を控えて、今後どのように市場が発展すると予想されるかについて述べてみたいと思う。読者諸賢の忌憚のないご意見は大歓迎である。

2. 超電導材料について

本論に入る前に、超電導材料について説明しておこう。既に実用化されている超電導材料とこれから実用化されそうである超電導材料について簡単に纏めたものが表1である。

表1 実用化されている、または実用化が期待されている超電導材料

		材料	臨界温度 (K)	形状		
				バルク	線材(長さ m)	素子(数)
金属系	合金系	NbTi	9	×	自由	10,000 (Nb)
	化合物系	Nb <sub>3</sub> Sn	18	×	自由	×
		Nb <sub>3</sub> Al	19	×	?	×
		MgB <sub>2</sub>	39	?	~100	?
酸化物系	Bi系 (BSCCO)	BiSrCaCuO (2:2:2:3)	110		1kmxn	×
		(2:2:1:2)	90			
	Y系 (YBCO)	YBaCuO (1:2:3)	93		100m	100

数千種類の超電導物質が発見されているにも関わらず、実用に供されている、または今後実用化が期待されている物質は概ねこの程度なのである。超電導材料の実力を示す指標として、何度まで温度を下げると超電導現象が生ずるか（臨界温度）という以外に、どれくらい超電導電流が流せるか（臨界電流）とか、どの位大きな磁場がかかっても超電導性が壊れないか（臨界磁場）というものがあるが、表1にはとりあえず動作温度の目安となる臨界温度だけを示した。横軸のバルク、線材、素子というのは超電導体がどのような形状で利用されるか、そのための開発はどの程度進んでいるかを簡単に記載したものである。

金属系超電導材料は臨界温度、臨界磁場ともに酸化物系超電導材料に比べて低いが、バルク形状以外では既に製品化されており、後で説明する超電導市場の殆どが金属系超電導体である。

一方、酸化物系材料ではBi系がすでに市場参入の直前まできている。技術的には殆ど完成の域にあるが、問題はコストである。Bi系材料は臨界温度だけを見ればY系材料よりも良さそうに見えるが、液体窒素温度では磁場が加わると臨界電流が急激に減少し、超電導電磁石として用いた場合、機能が極端に低下するという弱点をもっている。従って、温度を20K程度にまで下げて使うことが考えられている。また、薄膜から構成される素子としての利用に関しては、表面が平滑な薄膜の作成が困難であること等から開発は殆ど行われていない。Bi系材料を用いたバルク形状の利用では電流リードとか限流器などへの展開が進められており、電流リードに関しては一部研究機関に納入・使用されている。

Y系では、バルク形状に関しては製造技術の完成度が高く、現在色々な企業で商品化の努力がなされているが、線材化技術や素子化技術は開発途上であり、ここ数年で実用可能な技術が完成するものと期待されている。

実は、この技術、即ちY系材料、特に線材化技術が完成した後の超電導市場がどのように拓けていくのか、また拓いていくのかを考えるための「超電導市場のこれから」ということになる。

### 3. 超電導材料の世界市場

超電導材料の市場については、Oxford Instruments社より調査結果が報告されている(図1)。\*1 これによると、2004年度(2003年10月～2004年9月まで)の世界の超電導材料(主に線材)の市場規模(売上高)は\$185M(約203億円。\$1=110円換算)で、生産高は約1,100トンである。内訳はNbTiが97.8%、Nb<sub>3</sub>Snが1.5%、残りがBi系高温超電導材料で0.7%となっている。

液体ヘリウム温度(絶対温

度4.2K、摂氏マイナス269度)で使用しなければならないにも関わらずNbTi材料が市場を独占している理由は、値段が安いということの他、取り扱いが極めて簡便であるということにある。線材の例でみると、ほとんど銅線と同じように取り扱えるという利点があり、このことはマグネット製作などにおいては製造コストを抑えることができるということにも繋がる。

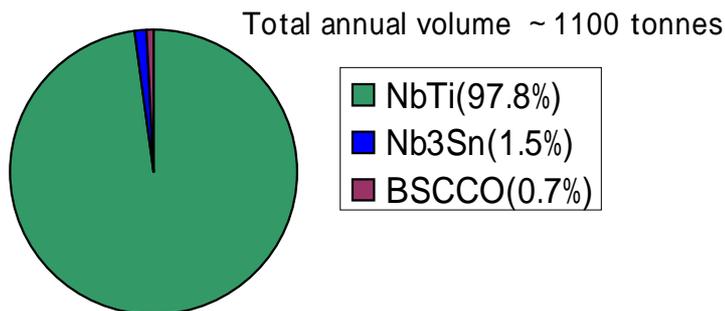


図1 2004年度(2003年10月～2004年9月)の世界における超電導材料別製造重量 (出展: ASC2004 2MW05 K. Marken) \*1

#### 4. 超電導製品の世界市場の現状と予測

上記超電導材料がどのような機器に使用され、商品となっているかを示したのが図2である。このデータもMRIやNMR用の超電導マグネットを製造販売しているOxford Instruments社の独自調査によるものである。

この図から分かるように、医療用MRIがほぼ半分の47%を占め、理化学用NMR（主にたんぱく質の構造解析とか創薬開発のための分析に用いられる）が11%で、この2種類の機器で材料の売上の半分以上を占めていることが分かる。通常このような機器の価格は線材価格の2~4倍であると言われている。従って超電導機器の売上高は年間400億円から800億円程度と考えるとよさそうである。

図中にあるBig Physicsとは、高エネルギー加速器用の超電導マグネットとか、核融合炉開発のためのR&D用マグネット製作などに使用された材料のことである。Othersには既に市場を形成している半導体引き上げ用のマグネットが含まれているかどうか分からないが、大学・研究機関向けマグネットなどを指しているものと考えられる。HTS Demoとは、米国海軍研究所が大いに関心を持って発注している開発途上の船舶用モーターに使用されている超電導材料が含まれていると考えられるが、いずれにしてもこれらの分野の拡大なしには、超電導市場の拡大は望めない。

Oxford Instruments社は、今後MRIは年8~10%の伸びが期待できると予測しており、これには主にNbTi線材が使用されるが、傾向としてより高磁場化に移行しつつあるとみている。1.5TのMRIが最も大きな売り上げの伸びを示しており、2003年度には約1800台が出荷されている（MRI全体で2750台）。しかし1999年頃から、より強い磁場を発生する3T機が市場に投入され、2003年時点ですでに100数十台が販売されている。NMRも同様毎年8~10%の伸びが期待され、16T（共鳴周波数700MHz）以上が発生可能なマグネットが主流になるとみている、これには高温超電導材料の実用化が可能になるまではNb<sub>3</sub>Snが

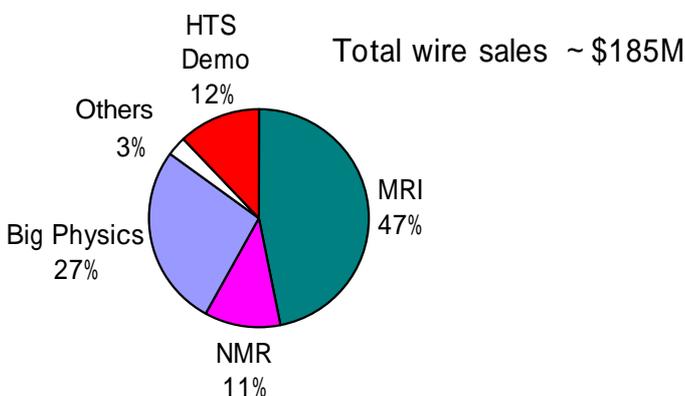


図2 2004年度の超電導線材の販売額と適用機器（出典 同）

表2 CONECTUSによる超電導の市場調査結果と予測

Worldwide Markets for Superconductivity & Market Shares for Low-Tc / High-Tc Superconductors (In M€)				
Business Field	Year 1997	Year 2000	Year 2003	Year 2010
Research & Technological Development (RTD)	355	415	550	840
Magnetic Resonance Imaging (MRI)	1400	1900	2100	2750
<b>TOTAL of RTD &amp; MRI</b>	<b>1755</b>	<b>2315</b>	<b>2650</b>	<b>3590</b>
New Large Scale Applications	35	25	55	900
New Electronics Applications	20	30	75	600
<b>TOTAL of Emerging New Businesses</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>130</b>	<b>1500</b>
<b>TOTAL WORLDWIDE MARKET</b>	<b>1810</b>	<b>2370</b>	<b>2780</b>	<b>5250</b>
Market Shares for Low-Tc Superconductors	1805	2365	2730	3650
Market Shares for High-Tc Superconductors	5	15	50	1600

Conectus, December 2001

用いられることになる。MRI や NMR 装置は発生磁場が強くなるほど分解能が上がるため、より強い磁場が発生できる超電導材料が望まれており、高温超電導材料の実用化が大いに期待されている分野である。

今まで使用してきたデータは Oxford Instruments 社の調査結果であった。この種の調査は極めて少なく（ということは産業での大きな位置を占めていない

ということに通ずるが）これ以外には CONECTUS<sup>\*2</sup>の調査結果が唯一入手可能なものである（表2、図3）。調査の方法については不明であるが、市場予測と実績がよく一致しているため、信憑性はかなり高いものと考えられる。この報告によると、成熟した超電導市場とこれから大きく成長する市場とに分け、かつ金属系超電導材料を用いた低温超電導体と酸化物系超電導体を用いた高温超電導とに分けた市場規模を報告している。

もともと超電導線材は大学や大規模研究所で研究開発のために使用する磁場発生用マグネットとして発展してきた。この分野は今でも相当の市場を有している（先述の'Big Physics'に相当）。とりわけ、近々建設が開始される予定の核融合炉 ITER の建設に対する期待は大きい。これには Nb<sub>3</sub>Sn が 600 トン、NbTi が 300 トン必要とされる。金額ベースで見れば、Nb<sub>3</sub>Sn は約\$560M（約 616 億円）、NbTi が約\$170M（約 187 億円）である。但し、これは線材だけではなく導体としての価格である。（炉総額 6182 億円、1998 年における推定）。導体だけで炉全体の 13%を占める。冷凍機を含む超電導関連機器は全体の 30%超と予測されている。ほぼ 10 年間にわたる建設と想定されている。

CONECTUS の 2002 年での予想では、医療用 MRI の市場が大きく開け、2003 年度では研究開発用および MRI として世界で 2.7BEURO（約 3510 億円、1EURO = 130 円換算）規模の市場に成熟している。さらに 2010 年には 5.2BEURO にまで成長すると予測している。これらの市場は低温超電導体で形成されている。（この調査結果は先の Oxford 社の結果とほぼ合致する。）

今後成長するであろう市場として、以下の分野に主に高温超電導体を用いた機器の市場が伸びるのではないかと予測している。即ち、電力機器、産業プロセス、交通、情報通信、新しい医療機器（何であるかは不明）等である。これらの分野への適用が 2010 年には 1.6BEURO(約 2200 億円)に達するとの予測である。

## 5. おわりに

以上、超電導市場が現在どのような状況であるかを数少ない資料を基にして紹介した。

ここでは詳しくは紹介できなかったが、わが国の独壇場である半導体 Si 単結晶引き上げ装置用超電導マグネットの製造・販売については着実に市場が拡大している。

それでも日本の大企業（製造業）が相手にするような市場は MRI や核融合 ITER のような'Big Physics'以外に中々見えてこない。製造業者が継続的な事業として取り上げていけるようになるためには、個々の産業分野において超電導ならではの製品を開発していくしか方法はない（一点突破、

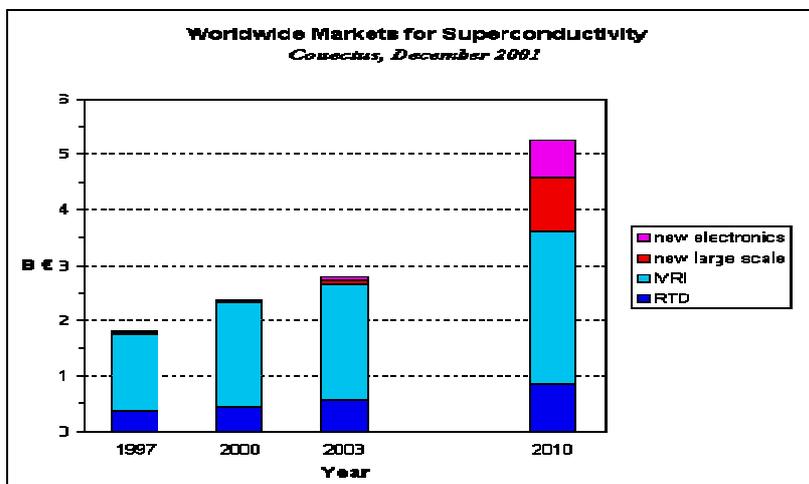


図3 CONECTUS による市場予測

全面拡大)

高温超電導材料が安価で使いやすくなれば、新産業の創出が可能か、どうすれば可能になるかをこれからの連載で考えていきたいと思う。

最後に、ドイツにおけるあるベンチャー企業の想定を紹介して、(その1)の終わりとしたい。

このベンチャーは1999年に創設した従業員30人程度の会社である。主にBi2223線材の売り込みに懸命になっており想定機器は回転機である。

船舶推進用電動機、風力発電用発電機、発電機(但し、既存発電機のローター部分のみを超電導化)、液化用コンプレッサー及び工業用電動機を視野に市場を開拓していく予定としている。以下各機器の容量や価格等を表3に纏めた。

表3 あるドイツベンチャー企業のビジネスプラン

	容量 (MW)	回転数 (rpm)	価格/ユニット (Mユーロ)	市場規模 (世界) (台)	備考
船舶推進用電動機	5~10	120~230	5~6	100~200	
風力発電用発電機	~5	低速	1.5~2	3000	回転機部分のみ超電導。 重量低減
発電機	5~100	~3000	~2500	400	retrofit. 効率 99.3 99.8%
液化用コンプレッサー	~5	~3000			低負荷 deno 効率向上
工業用電動機	1~5	100			効率 97 98.5%

このような企業が実績を上げ、超電導製品が一般の人々の身近にあるような状況になることを願って止まない。

何といても超電導ほど魅力に満ちた現象を示す物質はそう多くあるものではなく、このような物質が世の役に立たないわけがない。

\*1 K.Marken : Applied Superconductivity Conference 2004 Jacksonville, FL 口頭発表 2MW05

\*2 CONECTUS : 超電導を事業とする会社が、EC 内における超電導の商用化を活性化する目的で、1993年に組織した団体。CONNECTUSのメンバーは2004年10月現在、民間企業20社、国立研究所等が参加している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導市場のこれまでとこれから（その2）

SRL/ISTEC  
特別研究員 堀上 徹

その2：超電導市場形成の条件

1. はじめに

前号では超電導線材の売り上げ規模が年間 200 億円程度で、そのうち 98%が金属系超電導体である NbTi が占めていること、また適用機器は医療用 MRI と理化学用 NMR が過半を占めていることを紹介した。今号では、何故このような限られた機器にしか超電導が用いられていないのかを検討してみたい。

2. モノになる条件

話は唐突になるが、NTT の電力消費量はわが国の総電力消費量の約 1%を占めているといわれている。この消費電力の多くはデータセンター内のサーバーやルーターなどにより消費されているという。2002 年 9 月 11 日の日経産業新聞に「環境効率向上 NTT に壁」という見出しで「NTT ではサーバーやルーターなどの機器類を直流電源仕様に切り替える作業を進めている。従来のシステムは商用電源からサーバーの心臓部である中央演算処理装置（CPU）に達するまで交流 直流を 3 回繰り返す、これが電力ロスにつながっていた」という記事を掲載した。そこで、NTT ではいっそ始めから直流でビル内を給電しようと考え、そのような検討を行っている。

このような社会情勢の中で、一昨年度（平成 14 年度）に ISTEC/SRL では「大型ビル電力供給低温システム実用化」委員会（委員長：横浜国大 塚本教授）を設置し、NTT、電設工事会社、建設会社、ベンチャー企業、パワーエレクトロニクス等超電導とは関係のない方々に委員になって頂き検討を行った。超電導は直流使用では抵抗が零なので、最も適した使い方の一つであるからである。

前置きが長くなったが、この委員会の委員に就任して頂いた、ベンチャー企業のオーナー（ヒューマンコード（株）伊丹社長）に上記委員会での検討結果を踏まえてビジネスモデルを提案して頂いた。その内容は省略するが、その中でビジネスモデルを構築するために考慮しなければならない条件について以下のようなことを紹介して頂いた。

ビジネスモデル組み立て条件として、

- (1)社会性（普及することで社会が豊かになる）
- (2)技術性（普及することで技術発展に貢献する）
- (3)経済性（普及することで経済的効果が得られる）
- (4)環境性（普及することで環境的効果が得られる）
- (5)事業性（普及することで産業の拡大、創生に貢献する）

一方、上記条件を満たすとともに次のような考察が必要とされている。

<p>市場ニーズからの考察として</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・費用効果があるか？</li> <li>先のビルの例でいうと</li> <li>(1)電力料の削減</li> </ul>	<p>社会ニーズからの考察</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1)環境的配慮</li> <li>CO<sub>2</sub> の削減、景観への配慮、化石燃料の保護、安全性の向上</li> </ul>
--	--

<p>(2)利用スペースの拡大 (3)二次的費用効果 光熱費の削減、家賃の削減、ビル建築費用の削減、メンテナンス費用の削減、デザイン効果、営業貢献、生産性貢献、労働環境貢献</p>	<p>(2)政治政策的配慮 エネルギー政策の支援、新インテリジェントビルの創出支援、省エネルギー化の促進 (3)国際的配慮 化石燃料の輸入削減、原子力給電の削減、省エネビルモデルのキャンペーン効果 (4)他の産業への効果 省エネによる産業創出</p>
<p>普及条件からの考察 (1)消耗品のスタンダード化が図れるか (2)サービスシステムのスタンダード化は図れるか (3)専門知識は Fix されているか (4)緊急時の対応組織は整っているか</p>	<p>明確な利益構造の存在という観点から (1)システムにあるのか (2)技術にあるのか (3)マーケティングにあるのか (4)ニッチ領域にあるのか</p>

新しい事業を起こす、或いは既存商品に取って代わるような新製品を世に出すということは上記の条件を十分検討した上でスタートすることが必要であると伊丹氏はいう。

### 3. 検証 (MRI、NMR の場合)

またまた話は唐突になるが、20 数年前筆者が未だ電気メーカーの研究所で超電導の仕事に携わっていた時、一面識もない医用機器関係の事業部の技師長から、超電導について説明して欲しいとの要請があった。行ってみると、この事業部では MRI (当時は医用 NMR と言ったが、N が Nuclear を意味するのでよくないということで、あるときから N を使わなくなった 余談)を開発するが、まずは普及品として銅線を巻いた電磁石で製品開発をする。同時に超電導電磁石で高級品としての品揃えをやる予定だということを知られた。

当時、超電導 MRI は 0.5T 級で 6 億円ほどすると考えられていた。一方、銅線で巻いた電磁石のシステムは 1 億円前後だったと記憶している。それがあっという間に殆どすべての MRI が超電導になり、価格も 1 億円程度に下がった。勿論その影には企業の涙ぐましい努力を見落としてはいけないが。

超電導 MRI が何故普及したか、超電導の専門家が普及のために何か努力をしたか？

答えは No である。本質的に超電導の持つ特性が他のものでは出せなかったからである。

しかし、上記のような際立った特性を差し引いた上で、前章で紹介したビジネスモデルのどの条件がこの商品に合致したのかを考えてみたい。

- 「ビジネスモデルの組み立て条件」の中の、(1) 社会性 (普及することで社会が豊かになる) についてはどうか。MRI は診断装置で治療装置ではないが、普及することで、病気の早期発見等に寄与でき、未然に病気の進行を防ぎ、各人の健康が保たれ、その結果社会が豊かになると考えられる。
- (2)技術性 (普及することで技術発展に貢献する) については、これは明らかに技術発展に貢献したといえる。なぜなら、永久電流という超電導の特性を最も活用したもので、この技術はその後の超電導機器に大いに活かされているからである。
- (3)経済性 (普及することで経済的効果が得られる) については、当時 X 線 CT が全盛であったにも拘わらず、MRI は新商品として大いに売れ、経済効果は十分あったと考えられる。
- (4)環境性 (普及することで環境的効果が得られる) については、よくわからないが、少なくとも銅

線で作った電磁石よりも遥かに省エネになることは間違いない。

(5)事業性(普及することで産業の拡大、創生に貢献する)については、医療機器関連産業が拡大した事は確かである。

ということで、上記ビジネスモデル組み立て条件はほぼ満足していると考えられる。

「市場ニーズからの考察に関して」は、銅線を巻いた電磁石よりは明らかに電力料は削減でき、利用スペースもはるかに小型になる。「社会ニーズからの考察」ではCO<sub>2</sub>の削減にも貢献できるし、極めて高度な超電導技術を開発することにより、超電導の他産業への展開を容易にし得るといって、影響は大きいと思われる。「普及条件からの考察」ではほぼ全てを満足している。実は、超電導MRIの第1号機は先に述べたように相当高価格であった。しかし、一度設計図が出来上がると、即ち標準化ができると先述のように価格があつという間に低減するのである。もっともコスト削減のための開発者の努力は並々ならぬものがあつたことも事実であるが。最後の「明確な利益構造の存在という観点から」では、(1)システム、(2)技術、(3)マーケティングの全てにあると考えられる。もっとも最近では寡占化が進み、MRIでは利益が出ないという企業もあるようであるが。

超電導磁石が永久電流状態で使えるという際立った特徴を有するため、MRIやNMRといったような非常に磁場均一性を要求する機器に適していることと相俟って、上記の新事業の条件が合致したことにより、普及したものと考えられる。際立った特徴があるとはいえ、マグネットの温度を4.2Kまで冷却しなければならない。このようなペナルティがあつてもなお超電導なのである。余談になるが、発売当時のヘリウム容器(魔法瓶)の断熱性があまりよくなかつたので、1週間に1回くらい液体ヘリウムを注入しなければならなかつた。これは利用者にとってはかなりの負担となる。それでも利用者の購買意欲は強かつた。その後技術が発展し、断熱容器の性能も飛躍的に向上し、半年や1年間はヘリウムの注入の必要がないくらいになつた。今度は半年に1回の注入では注入の仕方を忘れるのではないかという笑い話がでた程である。今では伝導冷却方式という技術が確立し、液体ヘリウムを用いずに冷凍機直結で冷却が可能となつている。技術の進歩には驚くばかりである。

#### 4. 市場開拓について

ものの本に、事業成長戦略立案に関するハウ・ツーものがあるが、その一つに「製品・市場マトリックス」と呼ばれるものがある。筆者はこの方面に疎いので、ある資料\*から引用することにより、次号以降の考え方の参考としたい。

即ち、企業の収益を伸ばすには大まかに言って顧客の数を増やす(新規市場開拓)か、新しい商品・サービスにより既存の顧客に、より多く購入して頂く(商品開発)かの二つの方策がある。マトリックス表示をすれば以下ようになる。

	既存市場	新規市場
新商品	新商品による既存市場のビジネス拡大	新商品による新規市場の開拓
既存商品	既存商品による既存市場の開拓	既存商品による新規市場の開拓

一方、事業を伸ばすために市場開拓をするか商品開発をするか、または両方を行うかの戦略を検討する必要がある。重要なのは投資の大きさ、リスクの大きさ、成功した時に得られるリターンをの大きさを考えて事業を成功へと導かなければならない。これを市場と商品のマトリックスに当て嵌めてみると以下のような図式になるとこの資料では述べている。当然といえば当然ではあるが。

	既存市場	新規市場
新商品	投資レベル：中 リスク：小 リターン：中	投資レベル：大 リスク：大 リターン：大
既存商品	投資レベル：小 リスク：小 リターン：小	投資レベル：中 リスク：大 リターン：中

各超電導製品の各々がこのマトリックスのどれに当てはまるか等を含め、次号以降の各超電導製品についての市場開拓を考える参考としたい。

### 5. (その2)を終えるにあたって

超電導に限らず、新たに市場を形成するということは、2.で述べたビジネスモデルの条件を全てではないにしても満足することである。何が一番の「売り」であるかを明確にすることが必須であると思っている。その上で、各製品が新商品か新規市場なのか或いは投資額に対するリターンはどうであるかというような観点から次号以降検討しようと考えている。

\* Business management cyber space: <http://www.v23.org/bizprac/index.html>

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導市場のこれまでとこれから（その3）

SRL/ISTEC

特別研究員 堀上 徹

その3：超電導と環境負荷軽減

1. はじめに

最近、日経エレクトロニクス誌（2005年2月28日号）の解説に、「20年の時を経て高温超電導体が現実に」という表題で8頁もの記事が掲載された。記事の内容は、「これまで超電導の応用は、低温 Nb 系超電導体（NbTi など）を使った MRI、NMR、加速器などの一部に限られてきた。これは他に使える材料がないためにコストや寸法を度外視してもこれらの超電導体を使うしかなかった分野に限定されてきた。しかし、Bi 系線材の量産体制がほぼ確立した今、超電導体を使った製品が、銅線を使った従来の常電導に基づく製品に置き換わろうとしている」というものである。コストや寸法を度外視しているとは思わないが、この記事はまさしく「超電導市場のこれから」を象徴する記事である。

とは言うものの、超電導を使った製品は何が「売り」なのか、「置き換えるためには何をしなければならぬのか」等を明確にしなければ、高温超電導体が使えるようになったからといって従来製品が超電導を使った製品に自動的に置き換わるものでもない。「使えること」と「使われること」とは別なのである。

そこで、今号では超電導の「売り」の一つである「超電導による CO<sub>2</sub> 削減効果」という点に的を絞って、従来機器が超電導にとって代わった場合の環境負荷軽減について紹介する。

2. 超電導製品の分類

さて、「超電導による CO<sub>2</sub> 削減効果」に入る前に、超電導はどのような製品に適用できるのかということ整理しておく必要がある。超電導が電気抵抗ゼロであるが故に超電導線材で巻かれたコイルは永久電流モードで使用できると同時に強い磁場を発生できる。この卓越した性質を利用することによって MRI や NMR が出現したということは前号で述べた。これは、上記日経エレクトロニクスが言うところの超電導を使うしかなかった分野に限定されてきたということの証左である。

このように超電導ならではの実現し得ない製品が数多くあれば、競合製品も少なく、市場を形成するのはそう難しくない。しかし、現実にはそのような製品はそう多くはない。従って、既存製品を超電導に置き換えることを考えないと市場は大きく拓けない。高温超電導体の出現によって、銅線を使った従来の常電導に基づく製品を、高温超電導体を使った製品に置き換えようとするもので今考えられるものを表1に記載した。

表1には、その他すでに低温超電導体を使った製品を高温超電導化するものや超電導による新規システムを含めて三つのカテゴリーに分類した。（但し、表1には超電導デバイス関連製品は除いた）

ここでは、表中の製品が超電導に置き換わった場合の環境負荷軽減について次章で述べる。

表 1 超電導製品の分類

<p>(1)既存機器の超電導化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄道用変圧器</li> <li>・ 船舶用電動機</li> <li>・ 電力用ケーブル</li> <li>・ 電力用変圧器</li> <li>・ 発電機</li> <li>・ 産業用電動機</li> <li>・ 風力発電用発電機</li> <li>・ 磁気分離装置</li> <li>・ 製鐵プロセス</li> </ul>	<p>(3)超電導による新規システム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 限流器</li> <li>・ 核融合炉</li> <li>・ 医療用重イオン加速器</li> <li>・ 超電導エネルギー貯蔵装置 (SMES)</li> <li>・ リニア鉄道用超電導マグネット</li> </ul>
<p>(2)低温超電導機器の高温超電導化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MRI</li> <li>・ NMR・質量分析計</li> <li>・ 粒子加速器用マグネット</li> <li>・ 研究用マグネット</li> <li>・ 単結晶引き上げ用マグネット</li> </ul>	

### 3. 超電導機器の環境負荷軽減への貢献 (社会ニーズからの考察)

周知の通り、「気候変動に関する国際連合枠組み条約」の中での第3回締約国会議(COP3)が平成9年12月に京都で提起された。2008年から2012年の間に、わが国はCO<sub>2</sub>等の有害物質の排出量を1990年を基準年として6%削減するという内容を含む議定書が採択され、今年2月に発効した。所謂京都議定書である。

日本における1990年のCO<sub>2</sub>排出量は約12億37百万トンである。従って京都議定書に則れば、この6%、即ちCO<sub>2</sub>を7400万トン削減しなければならないことになる。もっとも2002年時点では1990年時点よりもCO<sub>2</sub>排出量が約7.6%増えているため、現時点よりも13.6%程度を削減しなければならない勘定になる。(以上、毎日新聞 平成17年4月11日)

さて、これから数年以内にこれをどのような施策で実現するかは難しい問題であり、また2012年以降も引き続き削減努力が必要で、関係各所で真剣に検討されているところではあるが、超電導の普及が進めばかなり改善されると期待される。

表1に示した超電導を用いた機器及び情報通信関連機器である超電導ルーターやサーバーが普及した場合、どの程度の省エネとCO<sub>2</sub>排出量削減が図れるかについては、今までに幾つかの調査がなされている(注1)。超電導によるCO<sub>2</sub>削減効果の調査結果例をグラフにすると図1のようになる。当然のことながら、導入の時期や導入量等省エネ量の計算には、前提や仮定が多く入っているが、大体の目安にはなる。調査結果は13.6%削減に対して1~2%の大きさになるとしている。

注1: 「超電導応用の省エネルギー効果」平成10年度調査報告書(財)国際超電導産業技術研究センター  
「超電導応用技術の省エネルギーに関する調査」平成12年度調査報告書 同上  
「超電導応用基盤技術開発 総合調査」超電導技術開発実用化状況の調査  
平成14年度 NEDO、(株)テクノバ

## 超電導によるCO<sub>2</sub>削減効果

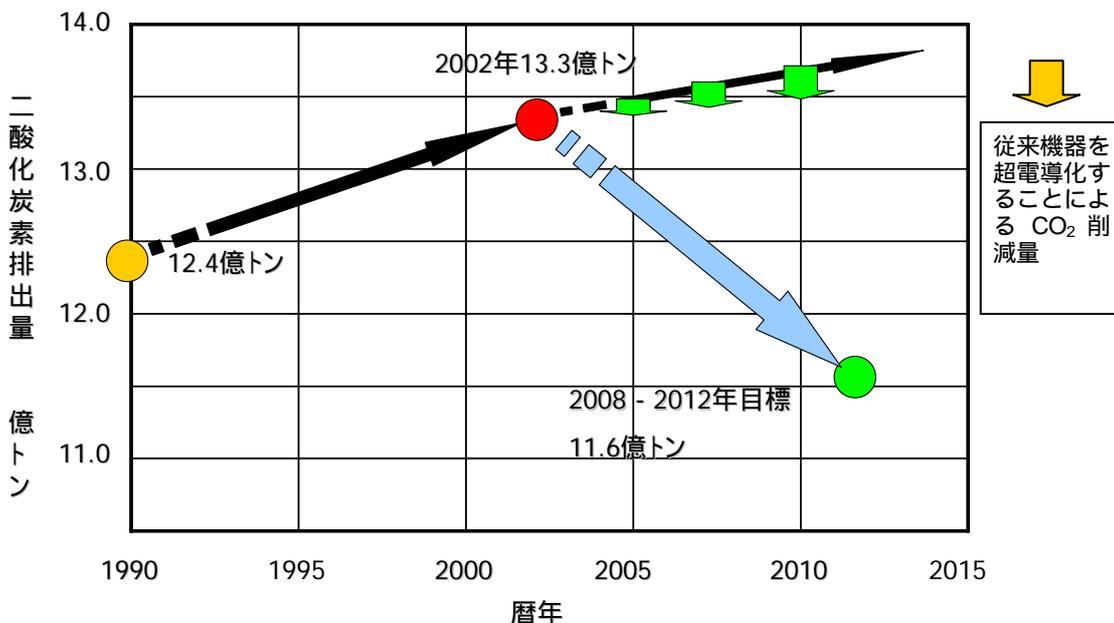


図1 従来機器を超電導化することによるCO<sub>2</sub>削減効果

このように環境負荷軽減という視点と同時に、市場参入に関しても、前号において説明した「モノになる条件」の中の「社会ニーズからの考察」の要求に合致するものである。そこでは、(1)環境的配慮 (2)政治・政策的配慮 (3)国際的配慮等の考察が必要であると書いたが、まさしくこの線に沿った内容となる。

一例として産業用モーターについての省エネ量を先の報告書から引用すると、以下のようになる。現状の産業用モーターの効率は凡そ95%程度であるが、超電導モーターでは冷凍機損失を含めても96~98%程度が期待できるとしている。現状、容量1MW以上のモーター1台当たり年間約10GWhの電力を消費していると、超電導化により3%の効率向上が図られたとすると、1台あたり年間300MWh程度の省エネが達成されると、上記報告書は述べている。容量1MW以上のモーター(誘導機)は年間500~600台出荷されている(機械統計年報)ので、もしも超電導同期機に代えることができれば年間150~180GWhの省エネが図られることになる。ここでは大変乱暴な仮定・前提をしているが省エネ量に対して大体のイメージは掴める。

### 4.(その3)を終えるにあたって

今回は超電導製品が高機能・高性能であるにとどまらず、環境負荷軽減に関しても大いに貢献する可能性があるということ、以前の調査結果を基に紹介した。

次号以降、本稿の表1の製品分類に沿って、「超電導市場のこれから」を考えてみたい。

詳細は次号以降に委ねるが、最近、石川島播磨重工業株式会社を中心となって民間7社と1大学が共同で、Bi系高温超電導線材を用いた船舶用超電導電動機のプロト機を開発し、船外のポッドに収納して実際に運転したとの新聞発表があった。

筆者も見学させてもらったが、実に超電導の特徴を活かした設計となっており、大いに感心した。「船舶の推進システム向けに、液体窒素で冷却できる超電導モーターを作りたい」という一念で、超電導技術者和其他の様々な分野の技術者が協力して開発したものである。液体窒素で冷却できる超電導モーターは世界初である。出力はまだ 12.5kW と小さいものの、500kW 級のモーターは受注可能であるとして、すでに受注活動を始めている。このような機運が盛り上がり、一般産業用モーターまで展開できれば「超電導市場のこれから」も明るいし、環境問題の解決にも貢献できることになる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 【隔月連載記事】

### 超電導市場のこれまでとこれから（その4）

SRL/ISTEC

特別研究員 堀上 徹

#### その4：健康社会の実現と超電導市場

##### 1. はじめに

超電導機器の普及が、我々の生活にどのような影響をもたらすかという切り口から、超電導市場のこれからを考えてみたい。

最近、経済産業省では、2020年および2030年までを見越した技術開発ロードマップとその技術が実現した場合の社会像を纏めている。実現すべき社会像として、高度情報通信社会の実現 世界をリードする高度産業基盤構築 環境・エネルギー調和型社会の構築 健康長寿生活の実現 国民生活の安全確保という5項目を柱に、それぞれに該当する技術開発計画を立てている、或いは立てつつある。（経済産業省 HP: <http://www.meti.go.jp>）

超電導技術は上記 ~ までの分野に強くかかわる。目標とする社会像を実現するということはそこに市場が存在することを意味する。

今回は「健康・長寿生活の実現」と「超電導」とのかかわりをテーマとする。

##### 2. 診断装置

###### 2-1 MRI (Magnetic Resonance Imaging : 磁気共鳴映像法)

MRIは癌細胞などの早期発見に有効であり、X線CTでは実現し得ない機能を持っており、電離放射線被曝のない安全な検査装置で、この15年ほどで国内でも急速に普及してきた。

既に述べたように超電導市場の半分近くがMRIで占められている。発生磁場は0.5Tから3Tの範囲が主流である。この市場は今後も堅調に伸び、年率8~10%の伸びが予想されている。世界で年間2500台程度の市場で、装置売り上げは3500億円程度、そのうち超電導マグネットが900億円程度である。しかし、低価格化が進み市場拡大という点からは新しい技術開発が必要である。既に設置されている病院等では買い替えという需要が期待されるが、新規市場を開拓するには、使い易さの改良、運転コストの低減等の技術開発を進めていかなければならない。使い易さやコスト低減が図られれば、地方の病院とか発展途上国への市場が拓けることが期待される。現在国のプロジェクトで精力的に進められている高温酸化物超電導線材（主にY系線材）の実用化が進めば冷凍機の運転コストも低減し、かつクエンチの心配もなくなるので市場が格段に大きくなることが期待される。

一方、米国の保健省（NIH : National Institute of Health）が力を入れているのが、10T以上の高磁場を用いたMRIである。磁場強度が強ければ強いほど、体から出てくる電波も強くなり、より微細な構造が画像化できるようになる。とくに脳の局所的な働きをしらべる機能的MRI(functional MRI, fMRI)やMRによる血管撮影、脳の局所の代謝をしらべるスペクトロスコーピーなどでは超高磁場装置の圧倒的有用性が報告されている。米国、ヨーロッパ諸国、韓国などでも臨床応用が始まっているが、わが国では、アメリカ製頭部専用装置の薬事承認がなされただけで、全身での使用がまだ認められていない。この方面の市場が期待されるが、これとても先ほど述べた高磁場特性の優れた高温酸化物超電導線材の実用化を待たなければならない。2010年以後になると考えられている。

## 2-2 心磁計

最近発売された心磁計も超電導を用いた診断装置の一つで、今後市場が期待されるものである。

人体から出る微弱な電流を調べることで異常や疾患を発見できることを利用した心電計とは異なり、心磁計は微弱な電流が生ずる極微弱な磁場を測定し、心臓の状態を心電計よりも正確に測定できることが特徴である。心臓から出る磁場は、地磁気の約百万分の一の微弱なものであるため、その測定には、超高感度磁気センサ SQUID (超電導量子干渉デバイス) が活用されている。虚血部位や不整脈信号源の高精度な測定が非侵襲で可能となり、心電図では分からなかった心臓の不整脈も早期に発見できる。装置は地磁気の影響を避けるための磁気シールド等が必要となるため、現状では1億円程度と高価であり、限られた病院にしか導入できないが、これも低価格化が進めば市場が拓ける商品であり期待されている。

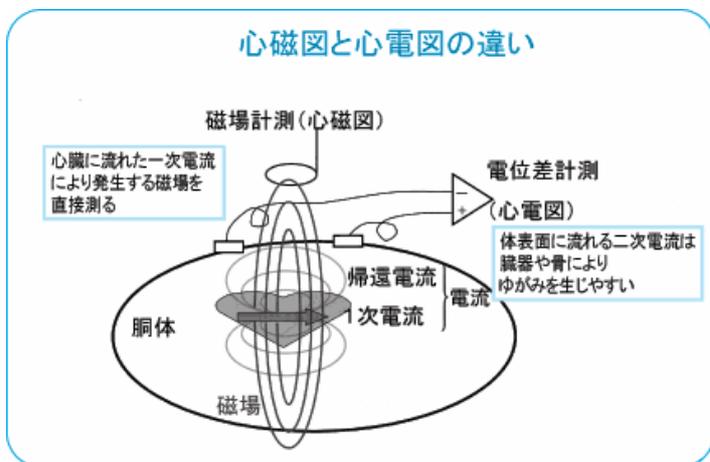


図1 心磁図と心電図との違い



(本体測定時写真)

図2 心磁計での測定風景

(図1,2ともに日立ハイテック(株) ホームページより)  
(<http://www.hitachi-hitec.com/about/library/flagship/cardiac/>)

## 2-3 脳磁計

人間の脳が活動するときには非常に小さな電気や磁気を発生する。この磁気を測定する検査が脳磁計 (MEG) である。これを用いれば従来脳波で見つけられなかった異常を見つけれられる可能性がある。

また、脳波で電気を見るよりも脳磁計で磁気を見た方がより正確な場合がある。従って、てんかんの患者では脳の中のでんかん源が正確にわかる可能性も高く、また脳外科手術を受ける患者では術前に脳の機能を正確に評価しておくことができるので、手術をより安全に受けることができる。

この分野に参入している企業は未だ少なく価格も高価であるため市場は大きくはないが、これも今後普及することが期待される。

以上、超電導を用いた診断装置として、MRI、心磁計、脳磁計を採り上げた。これらは超電導でなければ実現しな



図3 脳磁計による測定風景  
国立療養所西新潟中央病院 磁気脳波 (MEG)測定室ホームページより  
(<http://www.masa.go.jp/epi/meg.html>)

い装置である。MRI 以外は市場に出て未だ日が浅いため、今後の市場規模が読みにくい状況にあるが、これらの装置を普及させるためには低価格化を目的とした技術開発が必須であると同時に多くの臨床例を得て社会に認知されることが重要である。また、これらの装置の導入が容易となるような政策的配慮も必要である。

### 3. 治療装置

#### 重粒子線がん治療装置

最近話題になっているのが、重粒子線がん治療装置である。

わが国の癌患者は年間 50 万人で、約 30 万人が亡くなっているという。癌治療には、外科手術が 22%、放射線治療や外科手術と放射線の併用治療が 18% などであり、放射線治療の実績が上がってきてはいるものの、周辺の正常組織への影響もあり十分な線量を投与できないという課題があった。

しかし、炭素イオン線のような重荷電粒子を用いると腫瘍周辺の正常組織をほとんど傷めることなく患部に必要線量を短時間に集中照射できる（「超電導 Web21」2005 年 1 月号「低温工学研究会「RI ビームファクトリーと重粒子加速器の応用」報告」）

次に重粒子線とは何かを独立行政法人 放射線医学総合研究所（以下 放医研）のホームページからの引用で説明する。エックス線やガンマ線は、電磁波の一種で光の仲間である。電子は非常に軽い粒子で、それよりはるかに重く、大きい粒子として陽子、ヘリウム、炭素、ネオン、シリコンなどがある。自然界の放射線のひとつとしてよく知られているアルファ線は、ヘリウムイオン（粒子）が高速に加速されたものである。もっと重く大きい炭素、ネオン、シリコン、アルゴンなどのイオン（粒子）を高速に加速すると重粒子線といわれる放射線になる。陽子線や重粒子線の場合は、照射するときのエネルギーによってある深さに大量の線量を与え、その前後に与える線量は少ないので、線量がピークになる部分を癌の患部にあわせることにより、正常組織の障害を少なくすることができる。

日本には現在このような装置が 5 台（世界では 22 台）ある。わが国における本格的な重粒子線治療は 1994 年に放医研で始められた。この装置は、粒子線加速器で装置が大型・高価であることが普及を遅らせている。

図 4 は放射線医学総合研究所（千葉市）の重イオン加速器「HIMAC」である。この加速器は重イオンを用いた癌治療のために建設されたもので、ヘリウムからアルゴンまでの重イオンを核子あたり数 MeV～数百 MeV に加速することができ、実際の治療も行われている。

荷電粒子を曲げたり収束させたりするためには電磁石が必要で、現在は常電導の電磁石が用いられている。そこで、一般医療の中で日常的に用いられるためには装置の小

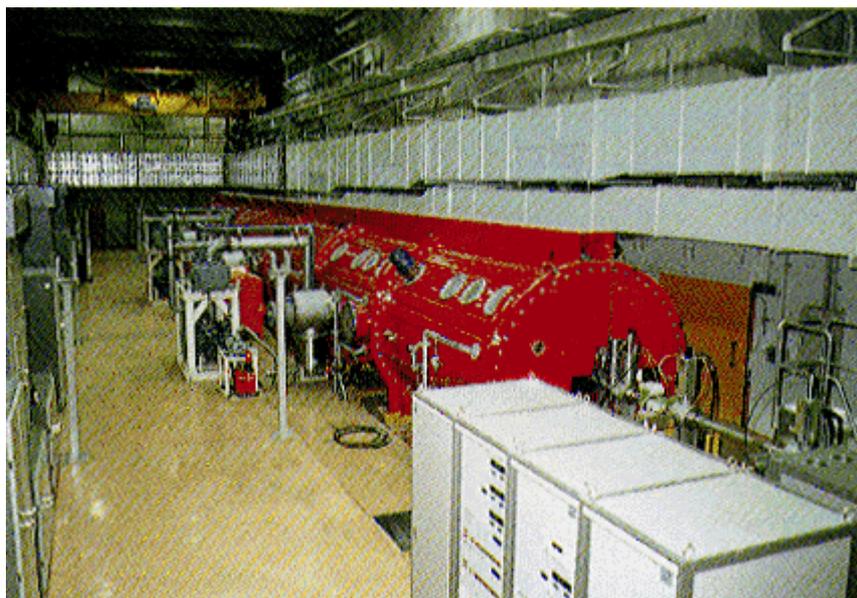


図 4 重イオン加速器（HIMAC）

型化が必要となり、そのためには強い磁場が発生できる超電導マグネットが必要となってくる。

この装置も設置面積が小さく、かつ比較的小型化が図れれば今後各地方都市に最低1台は設置されるものと考えられる。因みに現在の放医研の加速器施設は6~70m四方を必要としている。

#### 4. 生命解明

NMR ( Nuclear Magnetic Resonance : 核磁気共鳴 ) 分析装置

与えられた頁数を相当超過してしまったが、最後にNMRについて簡単に触れておく。

$^1\text{H}$  や  $^{13}\text{C}$  などの原子核は「核スピン」と呼ばれる量子数をもっている。言い換えると、これらの原子核は小さな磁石のような性質を持っており、こういった磁石の集団を核磁化と呼ぶ。

大ざっぱな言い方をすると、核磁化をあやつって欲しい分子情報を得るとというのがNMRである。

タンパク質の構造解析は、生命解明に不可欠なものである。タンパク質の分子量が大きくなればなるほどその構造解析には強い磁場が必要とされる。現在23Tの磁場発生により共鳴周波数1GHzを達成寸前であるが、今後は更なる高磁場化が望まれている。また、市場拡大という点ではもっと磁場の低い(例えば16T程度)のNMR装置が低価格化すれば市場が更に膨らむことが期待される。

#### 5. その4を終わるにあたって

超電導がMRIに用いられているという認識は、最近になって漸く一般市民に浸透してきた。前にも述べたように超電導MRIが現在ほど普及するとは、開発当時だれも予想しなかった。

今回ここにあげた超電導を用いた診断・治療機器はMRIを除けばまだ緒についたばかりである。低価格化や使い勝手の改良等の技術開発はあるが、今後成長していく産業であると期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 【隔月連載記事】

### 超電導市場のこれまでとこれから（その5）

SRL/ISTEC

特別研究員 堀上 徹

その5：超電導の産業応用市場

#### 1. はじめに

経済産業省は、日本が戦略的に取り組むべき技術分野の道筋を示した「技術戦略マップ」を作成している。ここでは2020年あるいは2030年までを見越した技術開発ロードマップとその技術が実現した場合の社会像を纏めている。実現すべき社会像として、高度情報通信社会の実現、世界をリードする高度産業基盤構築、環境・エネルギー調和型社会の構築、健康長寿生活の実現、国民生活の安全確保という5項目を柱に、それぞれに該当する技術開発計画を立てている、或いは立てつつある（経済産業省 HP：<http://www.meti.go.jp/>）。ということは前号で書いた。

技術戦略マップは20の技術分野を網羅しているが、この度「超電導」と「がん治療」についても追加して技術戦略マップを作成することになった。（日刊工業新聞 2005年7月20日）

目標とする社会像を実現するという事は、そこに市場が存在することを意味する。

今回は上記の「高度産業基盤構築」との関連から超電導市場を考えてみたい。

#### 2. 超電導の産業応用

超電導技術は、電力、医療・福祉、情報・通信、運輸、半導体、環境等々多岐の産業分野にわたって応用が可能である（一部既に市場形成しているものもある）。前号では、上記の「健康長寿生活の実現」にかかわる医療分野に焦点を絞って超電導の医療機器への適用の現状と今後について概説し、その市場規模についても触れた。

今号では電力、情報・通信、医療・福祉以外の産業分野に焦点を当てて、これまで及びこれからの市場について概観する。

超電導技術を産業分野に適用するメリットは、新機能の創出、装置の小型・軽量化、高速度化、高信頼性化、高度生産性、及びCO<sub>2</sub>削減等である。

ここでは、産業分野を一般産業応用（半導体、環境分野等）と輸送産業応用とに分けて、市場の現状及び今後について解説する。

#### 3. 一般産業分野

超電導機器の一般産業分野への適用として、超電導マグネット、回転機及び計測機器等が考えられている。高度産業基盤技術確立のためには計測技術は不可欠なものであるが、SQUID応用等の超電導エレクトロニクスデバイスが主であるので本稿では割愛する

##### 3.1 半導体シリコン単結晶引き上げ装置（半導体産業）

最近、シリコン・ウエハの直径が段々と大きくなってきている。既に直径8インチから12インチに移行しつつあり、そのうち20インチウエハが登場すると予測されている。これと超電導とに関係があるのかと訝る向きも多いかも知れないが、実は半導体ウエハメーカーでは相当数の超電導マグネットが使われているのである。何故、半導体シリコン（以下 Si）単結晶引き上げに超電導

マグネットが必要か？Si単結晶は、多結晶Siを坩堝（材質石英、SiO<sub>2</sub>）の中で溶かし、種結晶を用いて作製される。このとき、溶融Siの温度が高いために坩堝表面の酸素が溶解し、これが対流している溶融Siに溶け込むためにSi純度の低下をきたす。この対流を抑制するために外部から磁場を加える。中心磁場は約0.3テスラとそう高くはないが、単結晶の直径が大きくなればなるほど、磁場空間が大きくなるため、結局超電導を使わざるを得なくなる。銅線で作ったマグネットでは容積、重量共にとてつもなく大きくなり、また消費電力も大きく、そのために水冷しなくてはならないことになる。このような事情で、超電導マグネットがどんどん使われているのである。これは半導体産業分野への適用の一例である。

過去何台の装置がどのメーカーに納入されているかは企業秘密とかで中々把握できず、工業会等のデータもないが、年間30億円規模の市場があるといわれている。今後20インチウエハが市場に出回ると市場規模はさらに拡大することが予想されている。

### 3.2 超電導磁気分離装置（環境産業）

この装置には、超電導線をコイル状に巻いたマグネットタイプと永久磁石としての機能を持たせた超電導バルク体タイプの二つのタイプがある。いずれも現状では、廃水浄化用としての市場開拓を狙っている。環境産業分野である。いずれのタイプもまだ市場には出回っていない。

線材を用いたマグネットを磁気分離装置に適用する技術は、大阪の二葉商事（株）が大阪大学等と共同開発中で、平成13年度より3カ年間NEDOの基盤技術研究促進事業に採択され、このほど2000トン/日の処理実験に成功している（実用化には5000トン/日が必要とされている）。これは製紙工場から出る廃水処理を目的としたもので、今後食品工場、化学工場からの廃水処理にビジネス展開していくという。年間300億円程度の市場が見込まれている。（図1参照）

（分離の原理については以下のホームページを参照）

（<http://j-net21.smrj.go.jp/info/renkei/company/016.html>）

超電導バルク体を用いた磁気分離装置は（株）日立製作所が開発中で、現在ビジネスモデルを構築中であると聞く。

### 3.3 マグネトロンスパッタ装置（半導体、電子部品産業）

これは薄膜形成装置の一種で、（株）イムラ材料開発研究所と名古屋大学等が共同で開発しているものである。低圧の気体中で、2つの電極間に高電圧をかけて放電を起こすと、放電のために



図1 超電導磁気分離を利用した製紙工場からの廃水処理システム（大阪大学 西嶋教授提供）

生じた正イオンが陰極に衝突する。その結果、陰極表面の原子が飛び出すが、この現象をスパッタと呼ぶ。スパッタされた原子を基板に堆積することで、薄膜を形成することができ、この成膜方法は半導体、電子部品等に広く利用されている技術である。スパッタ膜の生成速度を上げて生産性を向上させる手法として、陰極内部に磁界を組み込む、マグネトロンスパッタ法が用いられる。

(図2参照)

強力な磁場発生が可能な超電導バルク体を使用することにより、

1. 成膜速度が上がることによる生産性の向上
2. 高真空化や基板ターゲット間隔の拡大による膜質の向上
3. 磁性体の成膜が可能になることが期待されている。

半導体関連の成膜装置の世界市場は1兆円といわれており、このうちの何%かを超電導装置に置き換えることで、大きな市場が拓けることが期待されている。

以上は下のホームページから引用した。

(<http://www.nisri.jp/sputterproject/sputtering/sputtering.html>)

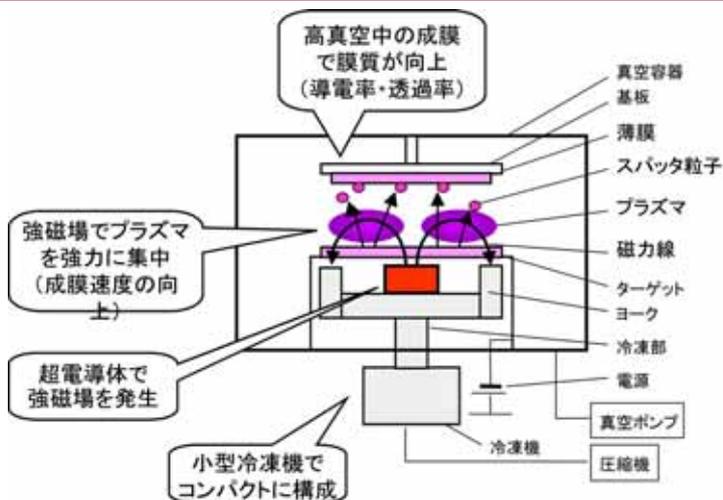


図2 超電導永久磁石を用いたマグネトロンスパッタ装置の概念図

#### 3.4 産業用モータ(一般産業)

産業用モータは既に十分成熟した製品であり、これが超電導モータに置き換わるのは容易ではない。しかし、産業界で用いられているモータの消費電力は大きく、超電導に置き換えれば相当の省エネ化が図られると予想されている。市場規模としては、1000kW以上の容量を持つモータは世界で年間6000台程度、金額にして約1000億円程度の市場であると報告されている。(注1)

普及のためには、先ず船舶用モータ(後述)から実績を積んでいく必要があると考えている。

(注1)「高温超電導の産業用マグネット応用に関する調査報告書」

(平成14年3月(財)国際超電導産業技術研究センター発行)

### 4. 輸送産業分野

#### 4.1 超電導リニアモーターカー

先ず採り上げなければならないのは、リニアモーターカーであろう。東京-大阪間の実用線路の総額は10兆円前後といわれている。このうち超電導関連製品がどれだけ占めるかについての公式発表は見当たらない。しかし、相当な市場を形成することは確かである。

#### 4.2 鉄道用トランス

鉄道用車載機器にはとにかく小型・軽量化が望まれる。軽量化は運行の効率向上と密接に関係するからである。鉄道用トランスについては銅線をアルミ線に代えるとかして今までに相当軽量化の努力がなされてきた。東海道・山陽新幹線に用いられている主トランスの容量当たりの重量は当初2kg/kVA程度であったものが、現在では0.75kg/kVAとなっている。これらを超電導トランスに代えた場合、冷凍機を含めても軽量化が可能であるということから、(財)鉄道総合技術研究

所が中心となって現在鋭意開発努力がなされている。

現状の市場規模はそう大きくはなく、年平均 69 台、金額にして年間 6 億円程度となっている。

しかし、ひとたび車載用の変圧器が市場に出ると、一般産業用に展開される可能性が大きく、期待できる分野であると考えられる。

#### 4.3 船舶用モータ

船舶の推進装置に超電導モータを利用しようとする動きが日・米・欧で活発に進められている。わが国では、今年 4 月に石川島播磨重工業（株）等が新聞発表した超電導線材を用いた船舶用モータのプロト機開発の成果内容は大きな反響を呼んだ。（図 3 参照）それによると、出力 5000kW の製品では、一般的なモータに比べ、容積 1/10、重量 1/5 になるという。またエネルギー損失が小さく CO<sub>2</sub> の排出量を 1 割程度削減できると試算している。出力 500kW の製品は 3500 万円で発売、1 万 2000 トン級の船舶の動力となる 1 万 kW の製品は 1 億 2000 万円程度で、現状のモータよりも 5～15%高くなるらしい。

少々高くても費用対効果が十分にあると見ている。販売初年度は 10 億円、5 年後には 300 億円の売り上げを見込んでいる。

欧米に目を向けると、ドイツのシーメンス社が船舶用モータの開発に注力しており、北欧の船会社から注文を受けていると聞く。また、この技術は今後発電機等へと発展させる計画である。

一方、米国では、AMSC 社（American Superconductor 社）が中心となって米国エネルギー省や海軍等からの資金援助を受けて大型超電導モータの開発を進めている。いずれも今後市場が大きく拓けるとの期待を持って進めているものである。

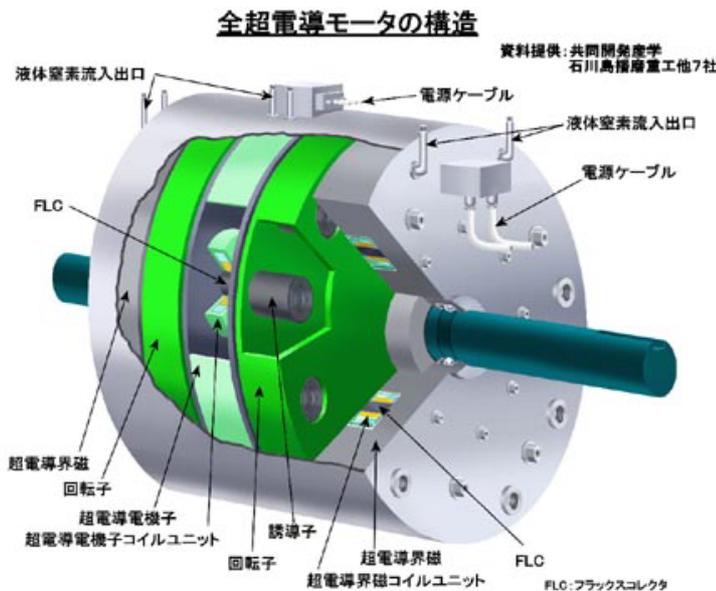


図 3 石川島播磨重工業株式会社が開発した船舶用モータの構造 (<http://www.ihl.co.jp/>)

#### 5. その 5 を終えるにあたって

以上見てきたように、超電導応用は多岐にわたり、市場規模も大きいことをご理解いただけたと思う。いくつかの産業応用製品については、既に企業が本気で開発を行っている。環境負荷低減にも貢献できることも魅力の一つである。あとは既存製品に比べてコスト競争力をもつことと、実際にものを作って見せることである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 【隔月連載記事】

### 超電導市場のこれまでとこれから（その6 最終回）

SRL/ISTEC

特別研究員 堀上 徹

その6：超電導の電力応用市場

#### 1. はじめに

前回、超電導マグネットを使った磁気分離装置のことを書いた。その中で、大阪の二葉商事という会社が製紙会社向けの水浄化システムを開発していることを紹介した。この会社が主体となって今年8月に超電導磁気分離装置を製造・販売する新会社（株）MS エンジニアリング）を設立した。船舶用モータも石川島播磨重工業(株)が受注を開始するという。このように、超電導の産業向けビジネスが徐々にではあるが台頭し始めてきたことは、「超電導市場のこれから」にとって大変明るいニュースである。

本号でこの連載も最終となるが、最終に相応しく社会インフラである電力機器を対象として今後の市場を展望する。

#### 2. 超電導が使われそうな電力機器

電力分野に超電導を用いようとしている対象機器の多くが既存機器との置き換えということになる。

既存機器は100年余の歴史を有するものであり、改良に改良が重ねられ、かつ長期信頼性も実証済みのものばかりである。ここに社会インフラである電力分野に超電導が入り込むのはそう容易ではない。とはいうものの、既存機器は銅線やアルミ線というような電気抵抗がある材料を用いているため効率の点では超電導線材を用いたものより劣る。このことはとりもなおさず環境負荷に対して好ましくない。超電導を用いればかなり改善されることが期待されている。「環境・エネルギー調和社会の構築」という視点からも超電導機器の導入が望まれるところである。

環境負荷軽減ということの他、超電導を使えば各機器の小型・軽量化や大容量化も実現できると同時に電力系統の信頼性向上も期待される。

電力産業分野に超電導を用いばいいのではないかと考えられている機器には以下のようなものがある。既存機器の代替としては、電力ケーブル、変圧器、回転機（電動機・発電機等）、また、超電導を用いなければ実現出来ないものとして、限流器、超電導エネルギー貯蔵装置（SMES、大容量フライホイール）、核融合炉等がある。

夫々の機器を超電導で実現するためには、克服しなければならない多くの技術課題があるが、本連載は「市場」を主体としているので、ここでは技術的課題は採り上げないことにする。

#### 3. 各機器の市場規模

ここでは、昨年度ISTECが事務局となって各専門家から成る高温超電導市場開拓委員会を設け、そこでの検討結果を、「高温超電導市場調査」報告書に纏めたので、それを主体に各機器の市場規模を紹介したい。

##### 3-1 電力用ケーブル：

超電導材料を電力ケーブルに適用しようという考えが現実味を帯びてきたのは、高温超電導体の出現があったからである。以前にも日米で低温超電導線を用いた電力ケーブルの開発は行われたが、

液体ヘリウム冷却や電気絶縁等の課題のために途中で断念したという経緯がある。高温超電導体の出現により、液体窒素温度での冷却が可能となったため、俄かに開発が進むようになった。現状の送電ケーブルは、発電所から需要家まで電力を送るのに7~10%の損失があるといわれている。これを超電導化することにより大幅に損失を減らすことができ、さらに、電圧を上げずに電流を増やすだけで大容量化できるため、変電所の変圧器の数を減らすことができるという利点もあるというのが開発に拍車をかけている理由である。

すでに、わが国では、東京電力(株)と住友電気工業(株)が共同で、Bi系線材を用いた長さ100mのケーブルを製作し、実験を成功裏に終了している。(図1)

また、昨年度終了した国のプロジェクトにおいては、古河電気工業(株)と電力中央研究所とで、これもBi系線材を用いて500m長のケーブルを製作し、通電実験に成功している。一方、米国では国のプロジェクトが3件進行中である。中国や韓国も開発中である。いずれもBi系線材を主体としているが、一部では現在開発中のY系線材の使用も計画されている。米国や中国は日本と異なり送電容量不足ということもあり、超電導を用いることにより大容量化を図りたい考えである。外国での実使用が始まり、実績を積み、日本での普及も促進されるものと期待している。市場規模に関する報告は殆どなされていないが、わが国における既存の275kV地中送電ケーブルの3%が置き換わるだけで700億円規模になると試算されている。



図1 東京電力(株)と住友電気工業(株)が共同開発した超電導送電ケーブル

### 3-2 変圧器:

超電導を使うことにより効率が0.5%程度向上するというものの他、現在ガス変圧器の冷却媒体として用いているSF<sub>6</sub>が環境負荷に影響を与えることや油入変圧器の可燃性が懸念されること等により、環境負荷がなく不燃性の液体窒素を冷却媒体として用いることの利点が超電導変圧器開発の動機となっている。

前回述べた鉄道車両に超電導変圧器を導入するという意図は、車両の効率向上を図るために超電導化により軽量・小型化を狙ったものであった。この分野の市場はそう大きくはなく、年間6億円程度と見込まれている。鉄道用変圧器も電力用変圧器も技術的には共通する部分が多いので、ひとたび鉄道車両に導入されれば、かなり大きな市場が見込まれる電力分野にも普及が進むことが期待されるが、どの程度の市場規模になるかについては現状ははっきりしない。

### 3-3 回転機:

電力用回転機には電動機(モータ)と発電機とがあるが、原理的にはほとんど同じなので、基本的な技術開発はほぼ共通と見ていい。電動機の超電導化については、冒頭船舶用電動機を石川島播

磨重工業(株)が近々販売する計画であるということを紹介した。これも鉄道車両用変圧器と同様、小型・軽量化という特徴が電気推進船に極めて適しているという事情から市場が拓けそうな状況にある。産業用電動機の中でも出力 1,000kW 以上のものは、現状の市場として年間世界で 1 千億円規模である。一方、発電機においては、現状のものよりは発電効率と発電の安定性が向上すること及びロータの短軸化と軽量化等の特徴があるため、わが国でもプロジェクトで低温超電導を用いた出力 7 万 kW の製作・試験に成功した。しかし、電力会社が使うという状況にはなっていない。数 10 万 kW 級の現状の発電機にも冷却用にヘリウムガスを用いているので、液体窒素冷却はそう重荷にならないと考えられる。

米国では、ゼネラルエレクトリック社が米国 DOE の補助を受けて Bi 系高温超電導線材を使って 10 万 kW 級の超電導発電機を開発している。その背景には、現在米国の電力会社が有する約 10,000 台の既存の発電機を今後 10 年から 15 年間にオーバーホールする必要があるため、この機会にロータ部分のみを超電導化して特長を出すという狙いがあるようである。単純に計算すると年間 1,000 台程度の市場が拓けることになる。欧州では、風力発電に軽量・小型化が可能な超電導発電機を適用しようという動きがある。

#### 3-4 限流器：

これも高温超電導体の発見以後、活発に開発が進められるようになったものの一つである。

電力自由化の進展とともに多数の電源が電力網に接続され、1 箇所の電源事故でも全体の故障に繋がる可能性がある。

限流器は、電力系統で事故が起こった時に発生する事故電流を遮断する際に、事故電流を減衰させる役目を果たすもので、遮断器などの系統のスイッチ要素の定格を軽減するとともに、電力系統に導入されれば大きな系統運用効果がある。

未だ基幹電力系統の高電圧(66kV 以上)に適用できる技術レベルにないが、電力自由化により拡大している分散電源の電圧レベル(6.6kV クラス)用ではかなり開発が進んでいる。

先の調査報告書によると、2003 年度の国内総発電量は 1 兆 kWh であり、2005 年 4 月には 6,000 億 kWh の電力取引が自由化される。電力系統に連系される電圧階級として 6.6kV 系統があり、ここに 4,000 箇所以上の中規模分散電源が連系されることが予想され、この系統に限流器を導入して事故時の過電流を抑制することが期待されている。国内市場規模として年間 40~60 億円あると推測されている。国内市場のみならず、電力網が必ずしも充実していない海外での導入が実現すれば大きな市場になると期待されている。

#### 3-5 SMES：

これは、超電導エネルギー貯蔵装置(Superconducting Magnetic Energy Storage)のことである。

現状の蓄電池などのエネルギー貯蔵装置と比べて貯蔵効率が 80~90%と高く、エネルギーの出し入れが極めて早いのが特徴である。これが導入されると、単にエネルギーを貯蔵するだけではなく、電力系統安定化、負荷変動補償、周波数調整などの電力の安定化や品質維持などに対する効果もあることから、わが国においてもプロジェクトとして開発が進められている。

一方、IT の発展によるデータセンタの設立や半導体、液晶等のハイテク産業の発展に伴い、電力の質(瞬間的な電圧の低下等)の維持や更なる安定性が求められている。ここへの SMES の適用も進められている。(図 2)

すでに中部電力(株)がシャープ(株)の液晶工場に SMES を設置し、落雷などによる瞬時電圧低下(瞬低)を未然に防ぐという具体例も出てきている。このような用途だけにかぎっても 300 億円程度の市場があると見込まれている。

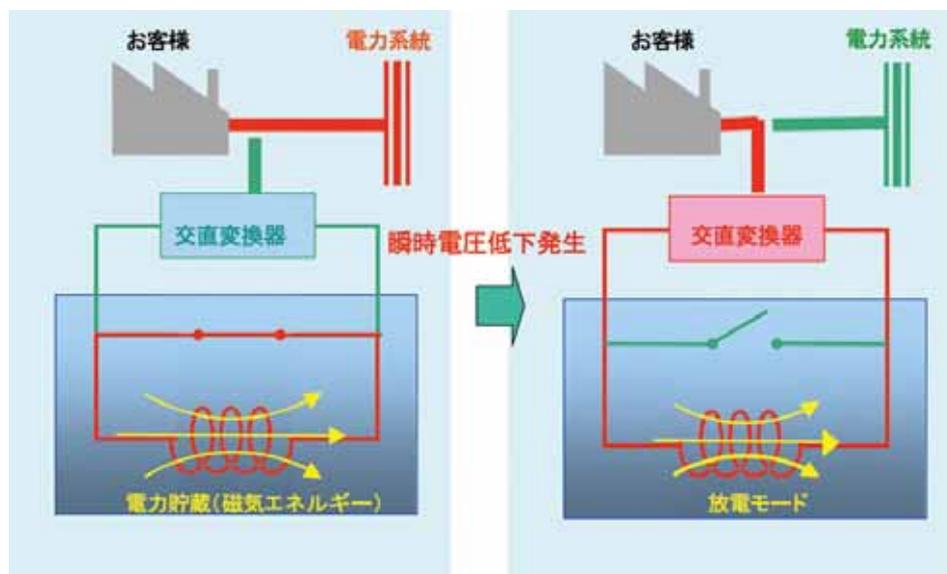


図2 瞬低補償 SMES の原理と動作

(磁気エネルギーとして貯蔵した電力を、系統に瞬時電圧低下が発生すると、系統から負荷に供給されていた電力を SMES から供給するように一瞬のうちに切り替わります。系統の電圧が回復後、再び系統から負荷への電力供給に速やかに戻ります。) 東芝レビューVol.59 No2.(2004)からの引用

### 3-6 核融合炉：

核融合原型炉としての ITER がフランスに建設されることが決まった。総額 6 千億円以上といわれるこの巨大装置には超電導が不可欠である。このうち 1/3 が超電導関連機器で占められる。今後約 10 年間の建設期間を経て完成する予定であるが、それに続く実証炉、商用炉と息の長い開発期間があり、超電導市場の安定な成長が見込める分野である。

## 4. 終わりに

本号では超電導の電力分野への適用について述べてきたが、電力網がしっかりしているわが国では、超電導の電力分野への早期導入は容易ではない。しかし、地球環境問題を考えるとそう悠長なことも言っておれないのではないかとも思う。電力分野に限らず、新しい技術は必ず従来技術の壁に阻まれるのが常である。超電導技術も例外ではない。超電導の特長を最大限活かしつつ、冷やさなければならぬというようなペナルティをできるだけ少なくする技術開発も今後益々大切になってくる。

技術開発と並行して、国内市場のみならず世界を見据えて、必要とするところから市場に参入することが市場拡大の近道と考えられる。

実際、超電導送電ケーブルに関しては、住友電気工業(株)が米国のプロジェクトに参加したり、韓国のプロジェクトに納入したりしており、世界の市場を視野に入れた活動を行っている。技術の継続性という観点からも、極めて重要なことと思われる。

見てきたように、超電導技術は様々な産業分野に適用が可能で、かつ省エネルギー化が可能という際立った特徴を有している。新しい技術が社会に浸透するためには相当の時間を必要とするが、本当に社会に役立つ技術であれば必ずや普及する。もうあと一息で市場が急激に拓くところまでできているという認識をもっている。

6 回にわたって紹介してきた「超電導市場のこれまでとこれから」の拙文をお読み頂きまして誠にありがとうございました。今後とも超電導に対するご興味とご理解を継続して下さいませよう切にお願い申し上げます。

[超電導 Web21 トップページ](#)