

特集

未来展望 (随想)

電力機器の超電導化

Superconducting Application to Electric Power Device

米田 えり子*

Eriko S. Yoneda



よく知られているように日本は人口の割にエネルギー資源に乏しく、省エネルギーへの要求は諸外国と比較し格段に大きい。しかも、昨今地球環境への対応が叫ばれ、使用できる資源やその利用法が制限されることになり情勢は一段と厳しさを増している。このような中、エネルギー総需要に占める電力の割合が増加する傾向にある(電力シフト)。これは電力がクリーンで使いやすく、省エネルギー対策もとり得るためであるが、この増大する需要に対し、電力側としては安全に供給するための原子力を中心とした大容量発電所の拡充と電力システムの強化拡大が必要となっている。一方、新規発電所設立は、原子力に限らず火力でさえ近年の社会情勢を反映して極めて厳しい状況にあり、電源の遠隔地化、集中化、大容量化、それに伴う大電力長距離送電化が今後さらに進むものと予想されている。このような電力情勢の中、切り札として電力機器の超電導化に大いなる期待がもたれているが、ここでは超電導のメリットを私自身の主観を交えて再認識してみたい。

超電導体の最大の特徴は電気抵抗零で大電流が流せるということにある。このため、従来電力機器設計において“熱”で制約を受けていたものが、その制約を受けなくなる。このことは電力機器のダウンサイジングや損失特性改善を導き、省エネルギーが条件とされる大規模電力システムにおいて現用技術の壁をブレイクスルーするものとして期待されている。電気抵抗零、すなわち、ジュール発熱が零である超電導体であるが、交流磁場下においては交流損失が発生する。このため初期には超電導体の商用周波数運転は不可能とされてきた。しかし1983年に仏のマルクーシ研究所が、これまでの水準より二桁以上小さい交流損失を持つ超極細多心超電導線を開発し、商用周波数50Hz運転に成功

して以来¹⁾、超電導の交流応用への道が急速に開けてきた。その後、全超電導発電機、送電ケーブル、変圧器、限流器等の超電導電力機器の開発が進んできたわけである。それ以前から直流超電導技術の適用範囲である界磁超電導発電機、SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)、直流送電ケーブルなどの研究開発は進められていたわけだが、この商用周波数で使用できる超電導電力機器の可能性がうまれたことの意味は非常に大きかった。現在、開発が進められている超電導電力機器と期待される性能について簡単にまとめた結果を表1に示している。この様に超電導電力機器導入のメリットは(1)効率向上(2)高エネルギー密度化(3)容量限界の増大(4)特性改善の4つにまとめられる。

例として限流器を取り上げ、さらに具体的に話を進めてみよう。限流器はSMESと並び現用機器にはない超電導を応用した新機能を持つ電力機器である。先に述べたように電力需要拡大によって系統規模が大きくなると、落雷時などの事故電流は多大になり、重大なダメージをもたらす。これを抑制することが安定な電力供給には不可避な問題である。事故電流への対処法としては、1) 基本的に短絡電流を抑制する、2) 設備の許容耐力を強化する方法とがある。当然のように多大なコストがかかる后者は敬遠され、安定性に優れた前者の方法が望まれている。そこで新しい限流器の概念が考案された。図-1²⁾に示すように各系統を連系する箇所に限流器を設置すると、通常時は一つの電力系統が停止しても他の電力系統から電力を送り、需要地で停電をおこさないようにすることができる。一方、事故時には電氣的に各系統を分割することにより短絡電流を抑制することが可能となる。超電導体を用いその常伝導への相転移を利用して限流する限流器は、1974年にその基本概念が示されて以来、系統限流器としての条件をクリアできる可能性が高いとして期待され、さまざまな方式が試されてきた。1993年には東京

* (株)東芝 研究開発センター 機械エネルギー研究所
第一研究所 研究主務

〒210 神奈川県川崎市川崎区浮島町4-1

表1 超電導電力機器の導入効果

超電導電力機器		設備形成面	運用面
超電導発電機		<ul style="list-style-type: none"> 機器の小型・軽量化 発電機の効率向上 	<ul style="list-style-type: none"> 系統の安定度向上・電圧安定性の向上 無効電力の供給・高調波の吸収
超電導ケーブル	交流用	<ul style="list-style-type: none"> 効率向上・高密度、大容量送電 都市部のコンパクト送電の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 送電ロスの低減
	直流用	<ul style="list-style-type: none"> 金属系：中距離大容量送電の可能性 酸化物：長距離大容量送電の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 安定度問題の解消
超電導変圧器	全超電導	<ul style="list-style-type: none"> 機器の小型・軽量化 効率向上 	<ul style="list-style-type: none"> 空心化による励磁突入電流の削減
	ハイブリッド	<ul style="list-style-type: none"> 自己限流効果 	<ul style="list-style-type: none"> 常伝導超電導両系統の接続
SMES	大容量	<ul style="list-style-type: none"> 任意地点への設置 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷率の改善（負荷の平準化） 安定度向上・広域融通 運用の簡素化・瞬動予備力の確保
	中小容量	<ul style="list-style-type: none"> 地下変電所への設置 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧安定性・安定度向上 系統の余剰電力吸収・負荷率の改善
限流器		<ul style="list-style-type: none"> 停電範囲の極小化 設備利用率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 短絡容量対策・ルート事故対策 安定度対策
同期調相機		<ul style="list-style-type: none"> 敷地面積1/3 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧安定化対策 無効電力の連続制御
移相器		<ul style="list-style-type: none"> 系統構成の自由度大 	<ul style="list-style-type: none"> 任意の送電ルートの潮流調整

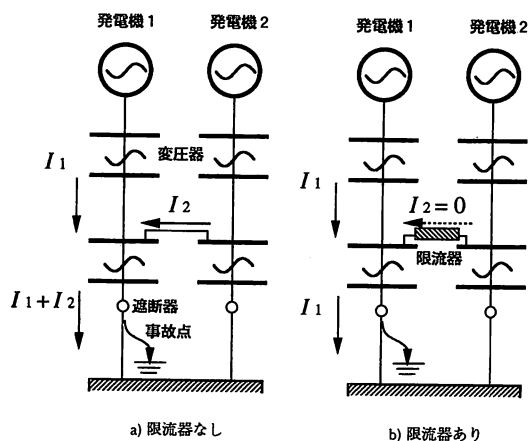


図-1 限流器の電力系統への適用例²⁾
I₁:事故電流

電力(株)が(株)東芝と共同で配電系統連系に応用できる6.6kV2kA級限流素子の試作に成功している。今後電流電圧容量の増大、システム化の必要があるが、実用化に向けて一歩進んだものといえるだろう。さらに液体窒素温度以上で使用できる酸化物超電導体を用いた限流器が開発段階にあることも考えれば、限流器はおそらく現状開発中の超電導電力機器の中で最も実用化

が早いといつてよいであろう。

さてこの様に素晴らしい可能性をもつ超電導電力機器ではあるが、それにも拘わらず、その実用化への道が困難を極めてい。理由は何であろうか。技術的には皮肉なことに機器導入をした場合の損失が大きくなるという問題になっている。超電導体そのものの交流損失は低減できつつあるとはいえ、超電導機器中には、例えば素子とパワーリードとの間の連結部分に代表されるように随所に常伝導物質が存在している。これらの発生するジュール損失や渦電流損失は、やはり“熱”の問題となって、超電導部分を冷却する冷凍機の効率に高い値を要求せざるを得なくなり、実際の導入への道を険しいものとしている。さらに、このような技術的問題以外に、超電導機器の導入に伴う超電導・極低温のような新しい概念そのものが、現状技術で完成され極度に高度化している電力システムシステムに入り込む余地がないことも事実である。これまででもそうであったように、新しい技術の導入につきまとう、周辺技術の底上げや概念の認識の広がりが鍵となってしまっているのだ。これを打開するためには、現用機器より優れた機能特性を実証により認識させたり、汎用性のある

冷凍システム技術の確立，建設コスト運転コストの高精度な見積り，信頼性に対する評価検証の実施等が必要になってくる。

このような状況の中，超電導技術者・研究者にとって必要なことは，何であろうか。それは，きたるべき未来に対して超電導技術のポテンシャルを必要十分レベルに上げておくことはもちろんのこと，電力系統が超電導技術を必要とする時期，即ち現用技術の限界が

いつどのような形で到来するかを的確に把握し，予測をすることであろう。超電導の一研究者としてはその点を意識したうえで，開発にこれからも努力を続けていきたい。

参考文献

- 1) P. Dubots, et al. ; Proc. 8th Int. Conf. on Magnet Technology (MT8), Crenoble (1983),467~469.
- 2) 原築志 ; 電気学会誌, 114巻, 4号 (1994), 229~232.

新刊紹介

「研究者たちの海」

神奈川県理学部長・東京大学名誉教授 寺本俊彦 編著

地球表面の7割を占める海。海は多くの生命をはぐくみ，また地球環境にも多大な影響を与える。海洋汚染や異常気象等の環境破壊がとりざたされる現在，海を知り，海洋の実態を把握することは大変重要なことといえる。

本書は，その海を理解し，海洋への興味を深めるために，海の研究・調査や海洋に関する業務の第一線で活躍する49名の専門家が，それぞれの立場から海洋についてのエッセイを執筆したものである。

その内容は ・海を測り，海を探る ・海の仕組み，海の現象 ・海の利用，海の資源等をテーマに最先端の海洋観測技術や海流，地震，火山活動等の海洋のメカニズム，資源開発や漁業との結びつきなど多岐にわたり，それをわかりやすく，54の短編におさめている。

海の研究者たちの面白く役立つ話。一読に値する本である。

四六判/248頁/定価2200円(税込)/発送費360円

発行所：〒160 東京都新宿区南元町4-51 成山堂ビル

(株)成山堂書店 TEL: 03 (3357) 5861 FAX: 03 (3357) 5867