

超伝導電力機器の開発推移と将来展望

核融合科学研究所 (総合研究大学院大学併任) 佐藤 隆

NbTiなどヘリウム冷却金属超伝導体を使用する超伝導マグネット応用は1960年代に始まったが、応用分野の多様化に対応して、超伝導マグネットの忌磁界化、大型化、志性能化(高電流密度、函安定性、高磁界安定度、低損失、パルス運転等)のための技術開発が欧米・日本で活発に行われてきた。超伝導マグネットが実用化され現在多磁に使われている応用分野は、高磁界を必要とする研究分野と、MRI(磁気共鳴イメージング)装臨を断階画像撮影に用いる医療分野である。しかし、これら超伝導マグネットの蓄積エネルギーは高々数MJであり、より大型の装臨で将来需要を期待できる分野は常力と見られている。

超伝導電力機器の開発推移については筆者作成の分析図によって説明し、将来展望についての分析と見解を述べる。



・超伝導電力機器の分類

超伝母応J11分野は多岐にわたっているが、その中の電力応J1は、新しい発屯方式の磁界発生装設の超伝禪化と、現在広く使用されている電力機器の超伝碎化とに大別される。それらをさらに分類すると第1表ようになる。MHD発砲や核躁合発並の分野では、定常的に窃磁界を発生するためには超伝禪化のみが唯一の解決策になる。一方、現状電力機器の超伝染化による省エネルギーの利益は比較的少ないため、特に有意義な質的利点のない限り、超伝禪電力機器は従来機器に対して信頼性と経済性で仮劣を競うことになるので、現状屯力機器の超伝泣による実用化は、開発意欲と資金の点でかなり蔽しい状況にある。

・超伝導電力機器の開発推移に関する分析図

以上のような電力分野の超伝部機器の特色が一目で分かる分析図(第1圈)を、現在までに開発された超伝消マグネットの蔞梢エネルギーの観点によって作成した(1990年のOHI'v110月号に発表)。運転モードによって超伝迎マグネットを、静止型直流、回転型而流、パルス、交流の4種に分類している。図1には核融合科学研究所で1990年から第1期8ヶ年計画で建設中の大型ヘリカル装設(LHD)の超伝迎マグネットの設計特性も付記した。第II期は第I期のヘリカル磁界を33%向上させる計画案である。

・超伝導電力機器開発の推移、現状、計画

1 静止型直流マグネット

超伝禪マグネットの大型化は、アメリカAVCO社の3.9MJのMHD発電用超伝碎マグネットを端緒とする(1965年)。1966年に始められたMHD発電に関する逕産省大型プロジェクトによって、幾つかの大型超伝禪マグネットが開発された。このプロジェクトが日本の超伝禪マグネット技術の基盤確立に果たした役割は非常に大きい。しかし、石炭燃焼MHD実験装設CFFF(068MJ)が発電実験に使用されなかったように、MHD発電の開発のネックはむしろ発電チャネルなど本体側にあった。

静止型直流マグネットの大型化を現在推進している分野は核融合である。トロイダルマグネットの現在までの品大の実績は、日米欧の国際協力事業LGTの6コイル同時励磁による944MJの達成である。国際協力核融合実験炉ITERの概念設計と要素技術開発が現在行われているが、その超伝蔞マグネット全体の蓄梢エネルギーは40GJにもなる。

大型ヘリカル装設は、2個のヘリカルコイルと、内側垂直磁

界コイル(IVコイル)、形状制御磁界コイル、外側垂直磁界コイル各2個、i i 6 (Hのボロイダルコイルをもつ現在建設中のH界抽大の超伝碑マグネット装設である。IVコイル1個(80MJ)の単体励磁試験は米邪行う予定である。第1期では全8コイルの組合せ直流励磁(1.1GJ)を行う。

2 パルスマグネット

核除合装設やSMESのパルスマグネットの相租エネルギー実績は静止型直流マグネットより1桁低い。SMESを分類すると、(1) 負荷平準用の大容紐SMES、(2) 電力の品質改善のための多用途SMES、(3) パルス屯流供給用の電源SMES、になる。

我が国の主要な楊水発電所のもつ悦臨エネルギーは4.200~168.000GJである。18.000GJ(龍力浜5GWh)大容風SMESの概念設計によれば、超伝苧コイルの外直径は400~500mmにもなる。このように大容拭SMESは、現状技術レベルとのギャップ、建設コストの差災などの点で、現在使用されている規校の楊水発電所に代わりうるとは到底考えられない。

SMESによる電力の竹の向上には、Hi変動補償、系統安定度向上、周波数調整、伊も対応、瞬停対応がある。実系統のF11でこれら改善を期待できるSMESの規設の下限は100kWh(360MJ)程度であり、パルスマグネットとして現状技術の射程距離内にある。

我が国では1991年から6ヶ年計画で、通、省表I原エネルギー100kWh級多用途SMESパイロットプラントの淡素技術開発調査が始まった。これは国際超伝産業技術研究センター(I STEC)が受託し、大学・国立研究所、地力会社、煎地・旭線メーカーの協力によって実施されている。t1前半の3年間に、超伝笛マグネット、コイル磁疫方武、変換器、水久屯流スイッチ、SMESシステムの設計と、超伝森線4種の試作試験を行う計画である。後半3年間には装沿要素とシステムの技術確立を目指しており、1996年度にパイロットプラントのための技術の総合評価が実施される。

SMESを術要素側に設設することによって、電力系統の瞬時地圧挺乱に起因するコンピュータの飲動作を防ぐことが可能であり、アメリカでは1MJマイクロSMESが最近市販された。これは2~3サイクル以内に電力波形を正常に戻す性能もっている。

3 回転型直流マグネット

同期発電機の超伝導界磁巻線を回転させる形式の超伝函発屯機は、巡転の視点から見れば、回転型直流マグネットである。危力機器の花形らしく、超伝沸発電機の開発の歴史は長く、かつ開発数も多い。開発機岱の規模も現在は300MVAにまで達している。

日本では、電力会社、重電・電線・冷凍機メーカーなど16法人による超伝導発電関連機器・材料技術研究組合 (Super-GM) が、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて、70MW級超伝導発電機モデル機3種類および関連技術とシステムを1988年度からの8年計画で開発中である。この計画にはフィールドテストも予定されており、200MW級パイロット機の設計製作技術を獲得することが目的となっている。

4 交流マグネット

超伝導線の交流損失がネックとなり、交流応用は1980年頃まではほとんど進展しなかった。1970年代後半からのパルスマグネットの研究開発によって超伝導線の低交流損失化技術が進み、1982年に交流用超伝導線が開発され始めた。試作された交流マグネットの最大容量は500kVAであるが、それでもパルスマグネットに比べると4桁下のレベルにある。

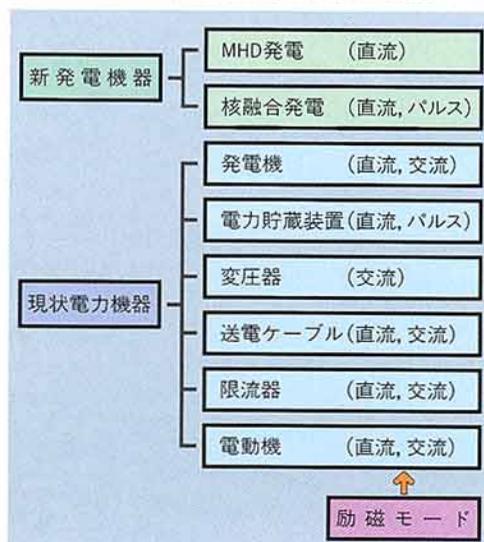
超伝導変圧器の研究開発は、1980年代半ばに始まり、フランスでは単相50Hz-660V/4000V-220kVA内鉄型変圧器が開発された。全超伝導発電機は界磁だけでなく電機子も超伝導化するものであり、究極の超伝導発電機といえるが、1991年から20~30kVA機の試作試験がフランスと日本で行われた。

新首都の電力システムの超伝導化

超伝導発電機、超伝導変圧器、超伝導限流器、SMESを全て超伝導ケーブルでつなぐという電力システム全超伝導化の考えが出されている (名古屋大学・鬼頭幸生)。その実現の方法として既存のシステム内の機器を超伝導機器に順次取り替えるという考えもありうるが、むしろ全く新しく超伝導電力システムを建設する方が実現性が高いように思われる。その舞台として、このごろ話題の首都移転構想のうち、社会経済国民会議の人口20万人「新都」(堺屋太一:「新都」建設,文春文庫)に着目し、電力システム超伝導化の可能性についての試算を行った。

新都の発電設備容量と都市全体の1日当り需要電力量を、中部電力管内と愛知県の実データから算出すると、各々約300MWと約4GWhである。需要電力量に対する揚水発電量の割合の約1%を用いれば、新都の電力システムに必要なSMES容量は約140GJとなる。このSMES構成を、蓄積エネルギー5GJ級の超伝導コイルを24個組み合わせたトロイドとすれば、20年後完成の新都建設計画にSMESを導入するのは技術的に可能と思われる。また、新都の発電設備容量の約300MWは超伝導発電機の実績の300MVAと同じレベルにある。システム検討と、

第1表 電力応用超伝導機器の分類

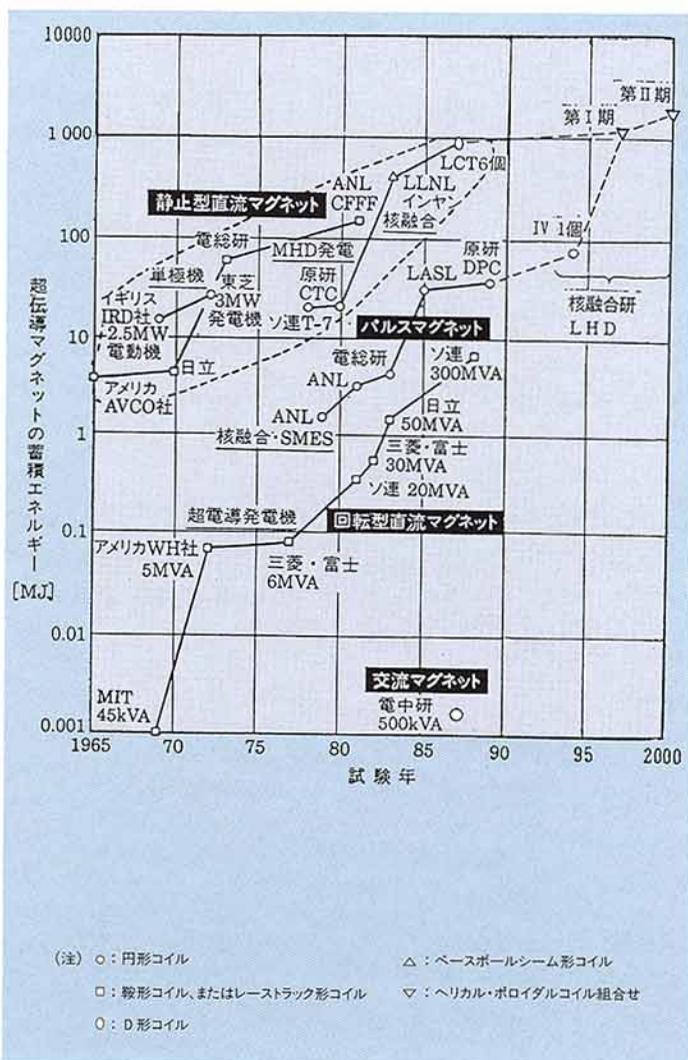


そのシステムと整合する機器についての技術と経済性の検討を今から本気で始めれば、電力システム超伝導化の可能性はかなりあるというのが筆者の見解である。

しかし、20万新都の電力システムに1台の超伝導変圧器を設置する場合には300MVA級が必要となるが、現在の実績の3桁上の容量であり、2010年頃に交流損失、絶縁など技術面において、ヘリウム冷却金属超伝導体で対応できるのだろうかという危惧の念を抱いている。むしろ高温超伝導体のほうが実用化に近いという見方をしている。ケーブル、変圧器、限流器、電機子など比較的低磁界の交流機器は、窒素冷却高温超伝導体が電力システム超伝導化の本命のように思われる。即ち、ヘリウム・窒素混合超伝導システムの提案である。

むすび

超伝導応用電力機器の開発の歴史と現状、および将来展望について蓄積エネルギーの視点から論じた。現状電力機器の超伝導化は多様な局面をもっており、長い雌伏の時を経てきたが、1MJマイクロSMESのように小型の市販品が出てきたことを皮切りに、超伝導発電機、多用途SMESなど比較的小規模段階での実機適用を期待できそうな様子に光明を見いだしている。実用化の可能性を探るため、20万新都の電力システムにおける超伝導電力機器の導入可能規模を試算した。変圧器、全超伝導発電機、限流器など交流応用の前途は中々険しいが、電力システムにおける位置付けを明確にする検討と目標設定が重要と思われる。



第1図 電力機器用超伝導マグネットの蓄積エネルギー増加の推移