

実システムにおけるSMESの実証試験と開発状況

1 はじめに

効率よく電気エネルギーを貯めることができれば、電力を安定に送り続けることができる。超電導現象である電気抵抗がゼロになる特長を利用して、超電導線で作ったコイルで閉回路を作れば、その回路を電流が流れ続けるため、電力をエネルギー変換なく貯めることが可能になる。これが「超電導電力貯蔵(SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage)」と呼ばれる電力貯蔵技術である。他の貯蔵手法が一旦電気エネルギーを化学エネルギーや回転エネルギーなどに変換するのに対して、SMESは直接磁気エネルギーの形で貯蔵するため、変換によるロスがない。また貯えた全エネルギーを1秒で放出したり、数万、数十万回もの繰返し充放電に対して貯蔵部が劣化しない特長もある。SMESは、すでに瞬時電圧低下補償(瞬低補償)用途への開発が進められており、中部電力が東芝と共に開発した世界最大規模となる出力10,000kVAの瞬低補償用SMESが、三重県亀山市に新設された最新鋭液晶テレビ工場に設置され、フィールド試験が行われている。

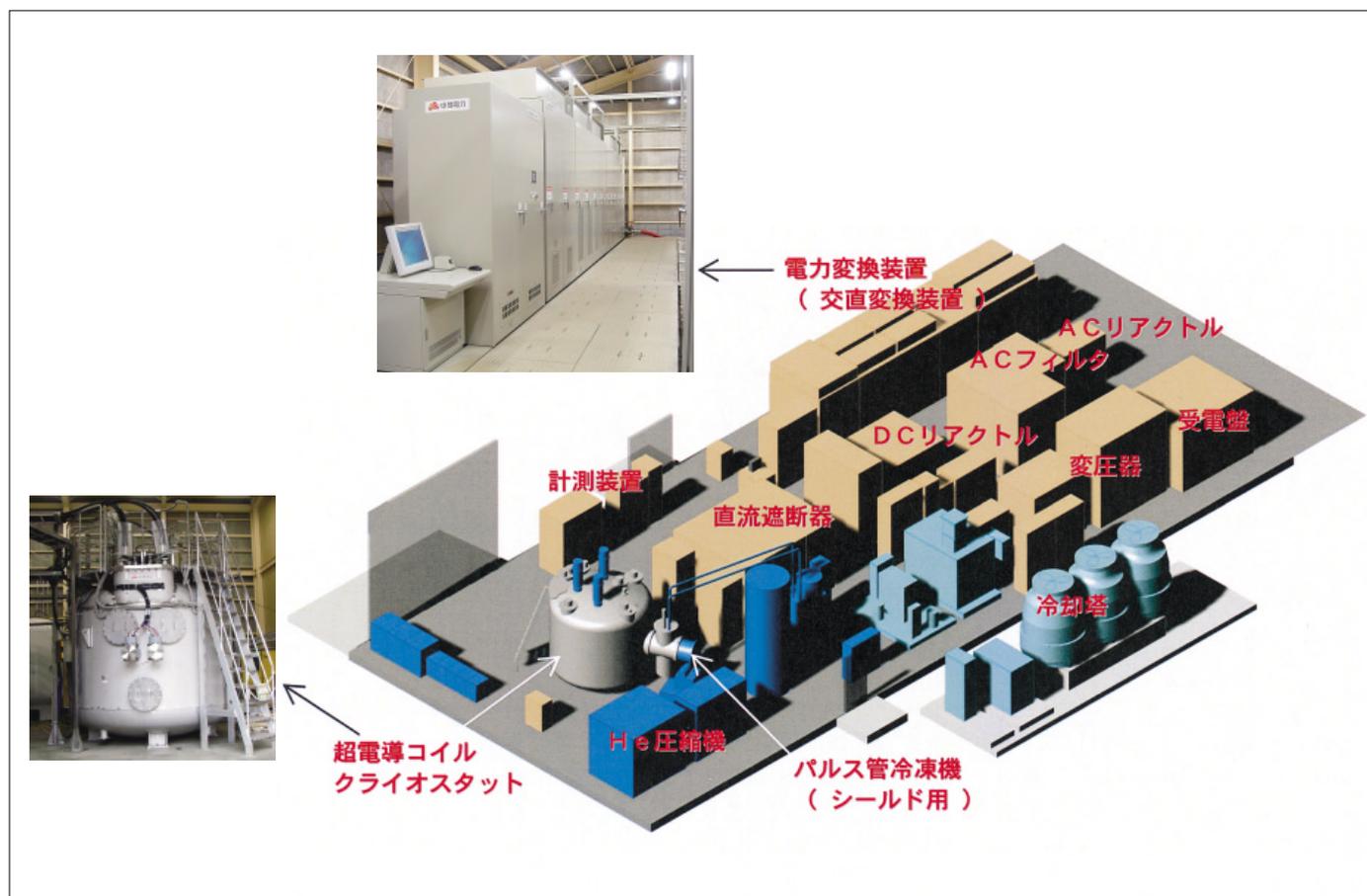
また、瞬低補償用SMESに比べ、もう一段高度な技術が必要とする電力システムを安定化するため(電力系統制御

用)のSMES開発が、平成3年から資源エネルギー庁の国家プロジェクトとして進められている。2004年度からの第3期では、実系統連系試験での負荷変動補償機能や、系統安定化機能の実証を目指した開発が行われた。この他、メンテナンスフリーの冷凍機開発、更にはSMESの応用先を大きく広げる高温超電導線材を用いたコイルの基礎開発など、革新的な基礎検討も合わせて進められた。ここでは、プロジェクトにおける電力系統制御用SMES開発の動向について紹介する。

2 SMES実系統連系試験の背景

(1) NEDOプロジェクトにおけるSMES開発

当社が参画した1991年度から1998年度までのNEDO((独)新エネルギー産業技術総合開発機構)プロジェクト第1期の開発では、いろいろな用途のSMESを実現するために必要な超電導コイルや直流遮断器などの要素技術を中心に開発が行われ、コスト低減が課題であることが明らかにされた。第2期では、1999年度から2003年度の期間、電力系統制御用SMESを想定した出力10万kW規模の負荷変動補償・周波数調整用と系統安定化用SMESシステムのうち、コイルの低コスト化技術を当社と九州



第1図 10MVA/20MJ級SMESの機器配置鳥瞰図

電力が受託して開発を進め、課題であったコイルコストを1/6～1/10に低減し、合わせてコイルの性能も大きく改善した。

続いて2004年度から2007年度までの4年間の期間で、電力システムにSMESを連系させて電力系統制御機能を実証することを目標に、第3期のプロジェクト「超電導電力ネットワーク制御技術開発」が中部電力、九州電力、ISTEC((財)国際超電導産業技術研究センター)によって行われた。

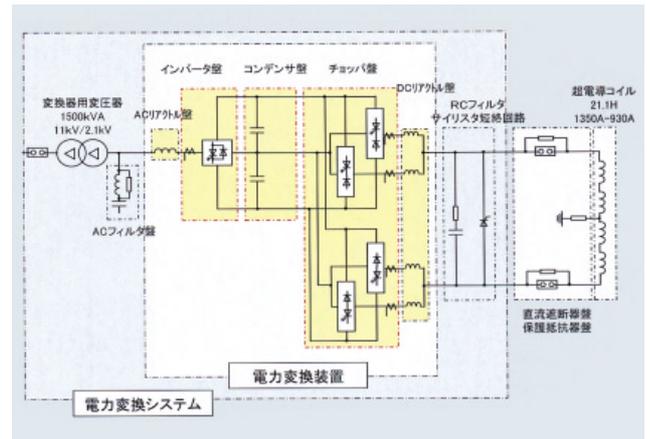
(2) 実証試験の目的

実証試験の目的は、SMESを用いた10万kW規模の電力ネットワーク制御システム技術を確立するため、システムを構成する要素技術の開発、システムコーディネーション技術開発、そして1万kW規模のSMESを製作し、負荷の変動による電力システムへの影響を低減する機能や、発電機が停止するなどの外乱により電力システムが不安定となることを防ぐ機能を検証することである。実システムに連系して試験を行うことで、工場試験では検証できない耐久性や制御応答性、監視機能などを実地で検証し、SMESのトータルシステムとしての完成度を高めることができる。

3 細尾発電所における実証試験結果

第1図に実システム連系試験の機器配置状況を、第2図にSMESの主回路構成図を、第1表および第3図に、各々主要機器仕様と超電導コイルの入出力イメージを、第4図にSMESを接続した古河日光発電細尾発電所の系統を示す。SMESは11kV母線に接続しており、工場の負荷変動に応じてSMESはそれを補償するよう電力を出し入れする。SMESの補償動作状況は、上流系統と接続する11/66kVの変圧器3台の負荷変動状況で確認することができる。

SMESは負荷の有効、無効電力の変動を検出し、これに応じて、有効電力の場合はSMESに蓄えられたエネルギーを放出、吸収することで補償し、無効電力の場合は変換器の位相制御により補償する。第5図にSMESによる負荷変動(有効電力)補償の状況を示す。変動負荷(黒)を補償するようにSMESが動作し、変圧器(補償後)の負荷変動(青)が小さくなっている。また、SMES出力(赤)に応じてSMESの電流(黄緑)が変化している。第6図はSMESの補償がある場合とない場合での変圧器の負荷状況の違いを周波数ごとに表している。0.01Hzから1Hzを超える成分までSMESが補償動作を行っていることがわかる。

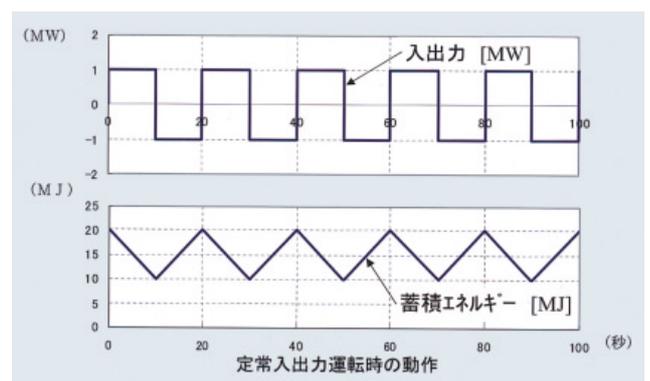


第2図 10MVA/20MJ級SMESの主回路構成図

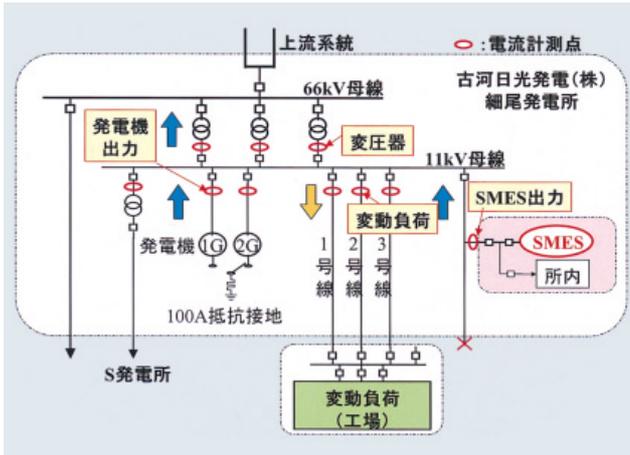
第1表 主な機器の仕様

超電導コイル	
項目	諸元
運転条件	1MW 出力運転
超電導コイルインダクタンス	21.1 H
最大蓄積エネルギー	19.2 MJ
利用エネルギー	10 MJ
定格直流電流	1,350 A
最小直流電流	930 A
通常運転時最大印加電圧	3 kV
定格電流遮断時印加電圧	6 kV
主回路接地方式	コイル中点接地
遮断時定数	5 秒

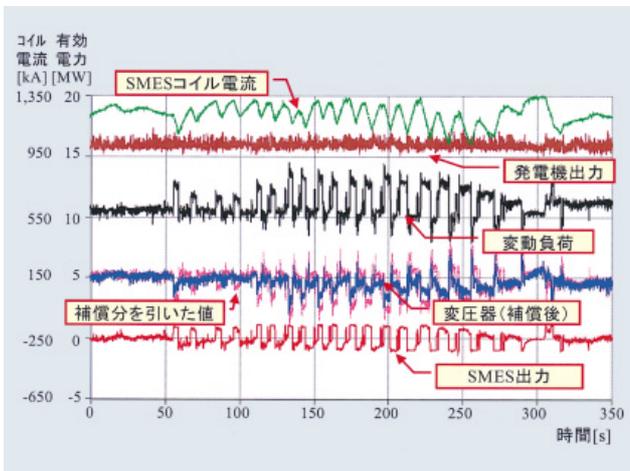
電力変換装置		
項目	インバータ諸元	チョッパ諸元
装置定格容量	10 MVA	20 MVA
適用素子	GCT	GCT
適用素子電圧	6 kV	6 kV
適用素子電流	6 kA	6 kA
変換器構成	1段3相インバータ	2並列チョッパ回路
アーム構成	3レベル構成	3レベル構成
冷却方式	純水冷却	純水冷却



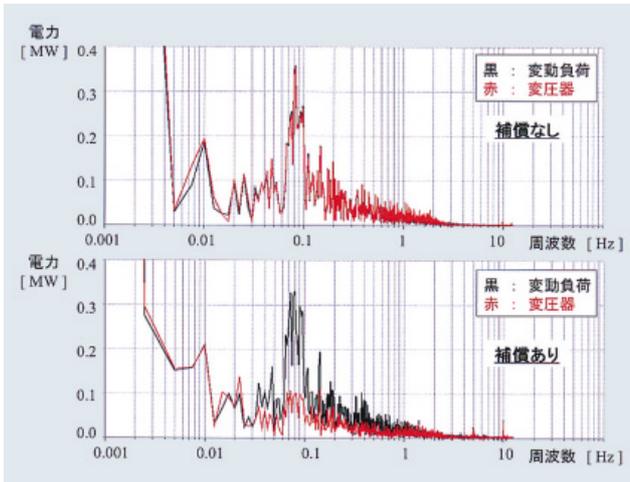
第3図 超電導コイルの入出力イメージ



第4図 SMESの接続系統図



第5図 SMESによる負荷変動補償状況



第6図 SMESによる補償の有無による違い

前述した紹介内容を含め、今回の実証試験結果を以下にまとめる。

(1) 負荷変動補償

SMESの有効電力の入出力により変圧器負荷の変動が軽減されていること、また同時に無効電力の入出力により、発電機の無効電力制御が軽減され、界磁電流、界磁電圧変化も小さくなっていることを確認した。

(2) 高速応答性検証

SMESの数Hzまでの高速追従性を確認した。

(3) 負荷変動補償動作回数

200kWの入出力を1回とし、約4ヶ月で50,000回ほどの補償動作を確認した。これらの動作を通して、保護動作、制御、運転に関するシステムとしての完成度や信頼性の高さを確認した。

4 SMES要素技術開発の成果

(1) 高信頼性冷凍機

極低温冷凍機とは -100℃以下に冷却する冷凍機で、圧縮されたヘリウムガスが膨張するとき熱を奪う性質を利用してものを冷やす装置である。SMESをはじめとする超電導応用機器には欠かすことができない。開発したパルス管冷凍機は従来の冷凍機と違って、冷凍能力を向上させるために、ヘリウムガスを膨張させる部分を1気筒から2気筒構造とし、冷凍機効率の面でクラス最高を達成した。また、閉じこめたヘリウムガスを圧縮・膨張させる部分に擦れる部分がないため、摩耗による劣化がなく、従来機の課題であった半年毎のメンテナンス間隔を10倍に延ばす技術的な見通しを得ている。開発した冷凍機の特長を以下に、第7図に外観、第2表に主な仕様を示す。

- 196℃において従来機の2倍の冷凍能力(300W)を達成

従来機に比べ効率が1割向上しクラス最高の6.7%を達成

150W級冷凍機において、メンテナンス周期5万時間を実現

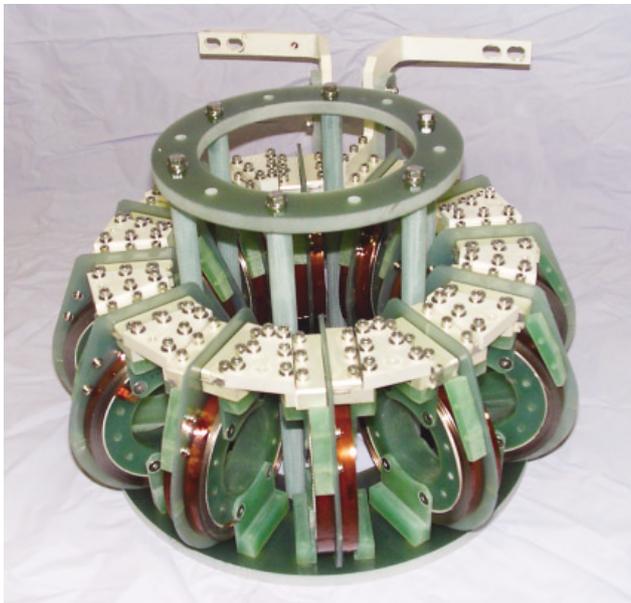
冷凍機の圧縮・膨張する部分での仕事量(容器内圧力×容積)と冷凍能力の割合



第7図 パルス管冷凍機の外観

第2表 冷凍機の仕様

項目	諸元
型式	スターリングパルス管冷凍機
冷凍能力	77K 300W 以上
消費電力	7kW 以下
使用電圧	AC200V ± 10%
使用電流	65A 以下
電源周波数	50/60 Hz
所要水量	1.0m ³ /h 以上
入口温度	30 以下
寸法 (単位:mm)	H800×W1,037×D700
製品重量	約300 kg



第8図 イットリウム系超電導線材を用いて作製したトロイド型(低漏れ磁場)コイル

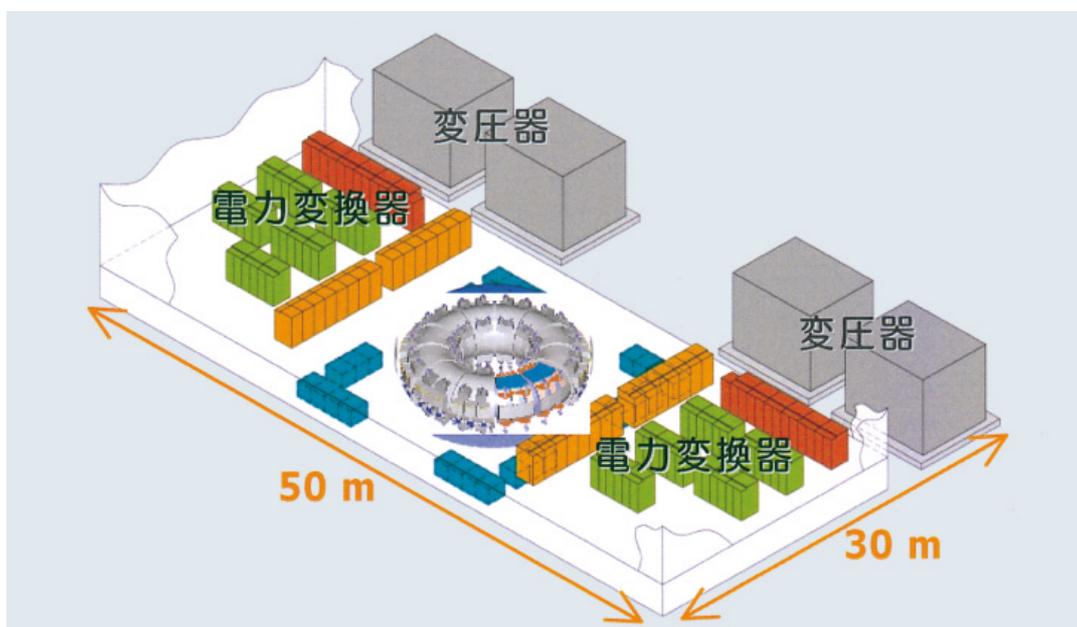
(2) イットリウム系コイルの開発

SMESのさらなる低コスト化を目指し、次世代高温超電導線材(イットリウム(Y)系超電導線材)を用いたSMESコイルの開発を進めている。Y系超電導線材を使用したコイルは、従来の金属系超電導コイルに比べて、より高い磁界でも使用できるためコンパクト化が可能で、液体ヘリウムなどの冷媒を必要としないため、低コスト化が可能になる。第8図には実際にY系線材を使用し、外部に漏れる磁界を低減したトロイダル形状のモデルコイルを、また第9図には、強力な磁場中でも多くの電流を流すことができ、機械的強度も高いY系超電導線材の特性をもとに設計した、出力100MW、貯蔵エネルギー2GJ級の負荷変動補償用Y系SMESシステムの概念図を示す。

今後、低コストで高信頼性SMESを実現するため、コイルのコンパクト化(最高磁場10T級、要素コイル径3m)および金属系より高温(20K)となる運転を目指した開発を進める計画である。

5 今後の展望

電力系統制御用SMESの開発動向を紹介した。SMESは、エネルギー変換効率が高く、繰り返し充放電による劣化がないことからエネルギー貯蔵部の取替えが不要となり廃棄物が出ないシステムであるなどの特長を持っており、瞬低補償用途の実用化がはじまろうとしている。今後は、既存電源や普及が見込まれる分散電源、風力発電などとSMESの最適な融合を図り、電力系統制御に役立つ技術として開発を展開するとともに、Y系線材によるコイル開発など、SMESの低コスト化に向けた技術開発と、電力機器に求められる高い信頼性の検証を進めていくことが重要であると考えている。



第9図 2GJ級負荷変動補償用Y系SMESシステム概念図