

イットリウム系コイルの開発状況

電力・産業応用のためのエネルギー貯蔵部・マグネット

Current Status of Coil Development Using Yttrium Group Superconducting Wire Energy Storage System and Magnet for Electric Power and Industrial Applications

(電力技術研究所 超電導プロジェクト)

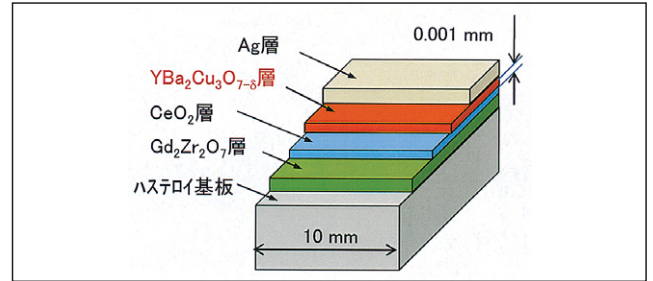
電力システムの制御用として超電導電力貯蔵装置(SMES)の開発を実施している。SMESに求められる大容量化、低コスト化を図るため、優れた特性のイットリウム系超電導線材を用いてSMESの電力貯蔵部となるコイル開発を進めている。コイル開発の主要課題となっている高磁界化・高強度化等のコイルの開発状況について紹介するとともに、その技術応用についても簡単に触れる。

(Superconductivity Group, Electric Power Research and Development Center)

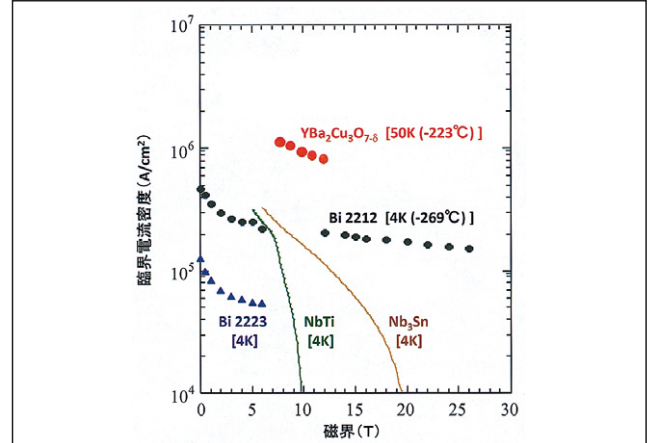
A superconducting magnetic energy storage system (SMES) has been developed for electric power system control. We have been developing the SMES coil (an energy storage part) using rare-earth superconducting wire of high performance, in order to fulfill the requirements for large capacity and cost reduction of SMES. Current status of the major challenges such as magnetic field and strength enhancements in the coil development and one of its technical applications are introduced.

1 開発の背景・目的

新エネルギー・産業技術総合開発機構より平成20年度から「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトを受託し、超電導電力貯蔵装置(SMES)の開発を実施している。SMESは電気抵抗の無い超電導コイルに銅線の100倍以上の大電流を流しつづけることができるため、強い磁界を発生し、大きな磁気エネルギーをコンパクトに効率よく貯蔵することができる。また、化学変化を伴わず、電気を流したまま貯蔵しているため、瞬時に大きなエネルギーを出し入れすることが可能である。さらに、電池のような化学反応を伴わず、熱劣化と程遠い極低温環境等、経年劣化の要因がほとんどなく、長寿命で環境汚染につながる廃棄物質の発生が少ない電力機器であることから、地球環境にもやさしいと期待される。これらの特長から、繰り返し短時間大電力が必要となる電力システムの制御を目的として貯蔵エネルギー2GJ(ギガジュール)級SMESの開発を目指している。風力等の再生可能エネルギーの増加により、今後さらに、電力システムに対する安定化ニーズが高まると予想される。



第1図 Y系超電導線材の基本構造例



第2図 各種超電導線材の通電特性

2 Y系線材を用いた大型コイルの課題

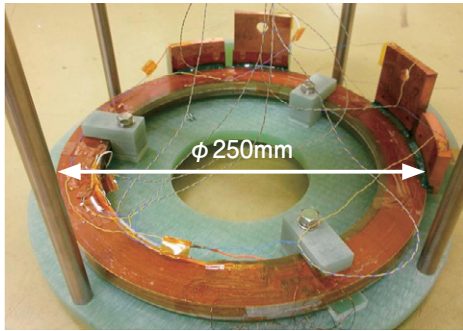
イットリウム(Y)系超電導線材の構造例を第1図に示す。Y系線材の基本構造厚さは約0.1mmであるが、電流が流れる超電導部分(YBa₂Cu₃O_{7-δ}層)はテープ状の厚さ約0.001mmの薄膜であり、現在でも幅10mmで液体窒素中において数百Aの電流を流すことができる。超電導線材は低温・低磁界になるほど大電流を流すことができるが、Y系線材は、従来の超電導線材より高温・高磁界においても大きな電流を流すことができる(第2図参照)。このため、SMESコイルにY系線材を用いることで、他の線材では困難な、高価な液体ヘリウムを用いない冷

凍機での伝導冷却や大電流密度化による高磁界発生が可能となる。ここで、SMES等の大型コイルに大電流を通電し、高磁界を発生させる場合、コイルには電磁力により線材の長手方向に強大なフープ力(巻き線への引張力)が発生する。このため、高磁界・大電流コイルを実現するには、線材が強大な電磁力に耐えることが不可欠である。

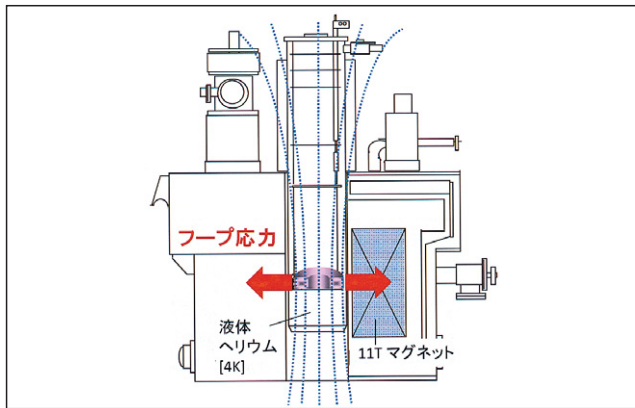
3 Y系コイルのフープ応力評価

耐フープ応力特性を評価するため、Y系線材を用いて試作したコイルの写真を第3図に示す。第4図に示すように外径φ250mmのコイルを液体ヘリウム中で4K

(-269°C)まで冷却し、外部から11T(110,000ガウス)の磁界を印加後、通电した。フープ応力の大きさは(磁界) \times (電流密度) \times (半径)で表される。今回、コイル電極接続部での不具合により制約を受けたため最大214Aまでの通电となったが、そのとき線材基板に対し560MPa(5,700kgf/cm²)のフープ応力が負荷されており、これまでに従来の2倍に匹敵する応力に耐えることが検証された。



第3図 Y系線材を用いて製作したフープ応力試験用コイル



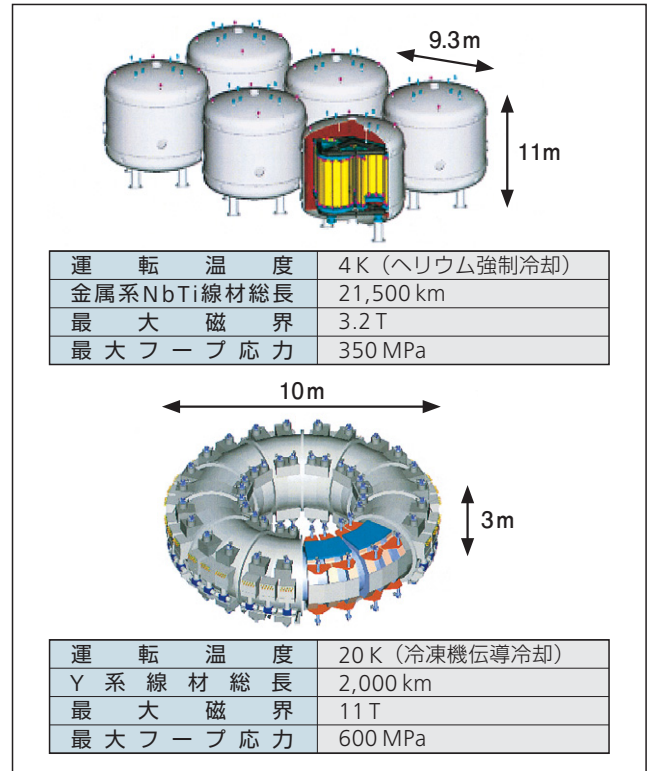
第4図 コイルのフープ試験評価方法

4 効果・メリット (加速器等マグネットへの応用)

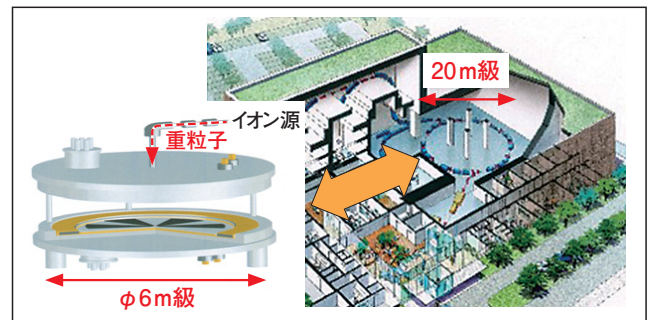
ターゲットとなる貯蔵エネルギー2GJ級のSMES概念設計図を第5図に示す。Y系線材を用いたSMESは高磁界を発生するため、漏れ磁界を低減するトロイド形状(ドーナツ形)に多分割コイルで構成されている。Y系線材の高磁界・高強度に優れた特性を活かし、今回の試験結果と同等の600MPaで設計した結果である。従来の金属系超電導線材(NbTi)を用いたコイルと比べ、台数が1/6となっているが、今回の試験結果と同等の600MPaを許容することで11Tまでの高磁界化が可能となり、コンパクト化が図られている。信頼性の向上にも繋がる高温運転も可能となり、冷却コストと併せて大幅なコストダウンが期待できる結果となっている。

今回高強度特性が検証されたY系線材を用いた電力貯蔵用超電導コイルは、同時に高い磁界を発生するため、高磁界を必要とするマグネット機器への産業応用も可能である。例えば、現在がん治療用としての加速器が複

数の地点で検討されているが、本成果を重粒子線(炭素イオン等)加速器のマグネットに適用した概念設計例を第6図に示す。現在建設中の重粒子線加速器と比較して、Y系線材を用いて高磁界・高強度マグネットから構成される加速器が可能となれば大幅なコンパクト化が期待される。



第5図 2GJ級電力系統制御用SMESコイル概念図・主要諸元 (上:NbTiコイル、下:Y系線材コイル)



第6図 重粒子線照射施設(従来型加速器)とY系超電導線材を用いた加速器本体の概念設計図

5 今後の予定

平成22年度に外径φ700mm級のコイルで繰り返しフープ応力試験を行い、Y系コイルの耐久性を検証し、プロジェクト後半となる平成23年度からはコイルを複数製作してSMESとしての動作性能を検証する計画である。現プロジェクト最終年度となる平成24年度までに10T級の磁界、2GJ級の貯蔵エネルギーが実現可能な高磁界コンパクトコイルの要素技術を確認する予定である。



執筆者/式町浩二