

超伝導限流変圧器の電力システム導入効果に関する実証的研究
Feasibility Study on Introduction Effects of Superconducting
Fault Current Limiting Transformer (SFCLT) into Electric
Power System

大久保 仁 (OKUBO HITOSHI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

本研究は、超伝導変圧器と超伝導限流器を複合多機能化した「超伝導限流変圧器(SFCLT)」を開発し、その電力システム導入効果を実証的に検証することを目的とするものである。本研究により、最先端のYBCO超伝導テープ導体を用いた配電系統レベル(2MVA, 22kV/6.6kV)のSFCLTを設計・製作し、各種の機能検証試験を通じてSFCLTの有効性を検証することができた。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電気機器工学

キーワード：電気機器

1. 研究開始当初の背景

次世代の高性能・高機能型電力機器として、各種の超伝導応用電力機器(変圧器, 限流器, ケーブル, 発電機, モーター, SMES等)が世界各国において開発されている。これらは、主として機器単体としての機能(高効率化, 小型化, 環境負荷低減など)の追求に主眼が置かれているが、超伝導電力機器を実用化するためには、機器の複合多機能化による電力システム全体としての構成・運用の合理化・高信頼度化という新しいメリットの創成が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、超伝導変圧器と超伝導限流器を複合多機能化した「超伝導限流変圧器(Superconducting Fault Current Limiting Transformer: SFCLT)」を開発し、その電力システム導入効果を実証的に検証することを目的とする。

3. 研究の方法

研究代表者らは、過去の科学研究費(平成12~13年度:基盤研究B, 平成14~15年度:基盤研究A)により、SFCLT開発プロジェクトのSTEP-1~3を実施してきた。本研究では、それらの研究成果を踏まえたSTEP-4およびSTEP-5において、SFCLT開発プロジェクトを格段に発展させる。すなわち、STEP-4では柱上変圧器レベル(100kVA, 6600/210V), STEP-5では配電系統レベル(2MVA, 22kV/6.6kV)の

SFCLTを設計・製作し、超伝導変圧器および超伝導限流器としての各種機能検証試験を実施する。特に、故障電流の限流特性および故障除去後の超伝導復帰特性を評価する。

4. 研究の主な成果

- (1) Bi2212/CuNi 複合バルクコイルを用いたSTEP-3(6.25kVA, 275V/105V)において、限流後における超伝導状態への復帰限界を実験的に見出すとともに、電気回路方程式と熱伝導方程式との連成によるシミュレーションプログラムを開発して実験結果を検証し、限流動作中におけるBi2212/CuNi 複合バルクコイルの発生抵抗および温度上昇過程を評価した。
- (2) STEP-4のHTc-SFCLT(100kVA, 6600/210V)の設計において、YBCO系の次世代超伝導テープ導体を適用した。2種類のYBCOテープ導体を用いることにより、SFCLTとしてのフレキシブルな変圧器/限流器設計が可能であることを実証した。また、製作したHTc-SFCLTの超伝導変圧器および超伝導限流器としての基礎的機能を検証した。
- (3) HTc-SFCLTの高電圧化に対する技術的課題である極低温電気絶縁現象の解明を目的として、液体窒素/エポキシ複合絶縁系におけるインパルス電圧印加時の沿面放電特性を取得した。電気的信号(放電電流, 電磁波)と光学的信号(発光強度, 発光像)との高速時間分解・同

期観測系を構築し、沿面放電の発生・進展過程を可視化した。

- (4) STEP-5 の HTc-SFCLT (2MVA, 22kV/6.6kV : 図 1) を設計・製作した。低圧側には YBCO テープ導体を適用するとともに、変圧器／限流器巻線と変圧器巻線とで別諸元の線材を選定・適用することにより、変圧器設計と限流器設計との分離を可能とした。また、高圧側には Bi2223 テープ導体を用いた。
- (5) STEP-5 の 2MVA 級 HTc-SFCLT において、種々の機能検証試験を実施・評価した。まず、HTc-SFCLT の超伝導変圧器としての設計パラメータ (変圧比, 漏れインピーダンスなど) と基本動作を検証した。また、HTc-SFCLT の超伝導限流器としての限流機能の一例として、固有短絡電流 $I_{PRO}=786A_{peak}$ に対して、第 1 波高値において $267A_{peak}$ (I_{PRO} の 34%), 5 サイクル通電後において $145A_{peak}$ (I_{PRO} の 18%) まで限流可能であることを確認した。さらに、超伝導復帰試験から、故障発生前と故障除去後における低圧側コイルの通電電流および発生抵抗により、HTc-SFCLT の超伝導状態への復帰の可否を評価するとともに、復帰限界を定量化した (図 2)。

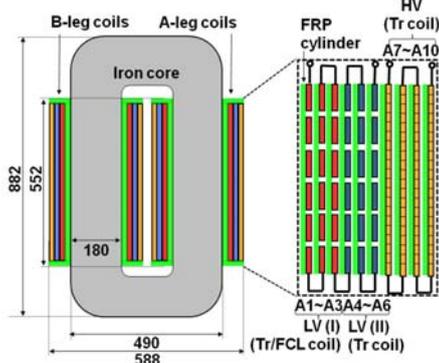


図 1 HTc-SFCLT (STEP-5)

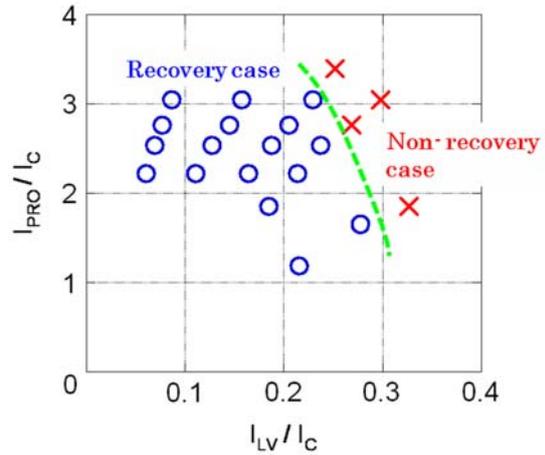


図 2 HTc-SFCLT (STEP-5) の復帰限界

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究では、SFCLT が次世代の電力システムの高効率化・高信頼度化に貢献するというコンセプトを世界に先駆けて実証し、最先端の YBCO テープ導体を用いて STEP-5 の 2MVA 器まで開発した。また、SFCLT がフラックスフロー抵抗によって故障電流を限流した後、故障除去後に自発的に超伝導状態に復帰するという特性は、「超伝導限流ケーブル」のアイデアに発展した。さらに、本研究は国内外のプロジェクトや学界・産業界に波及した。

6. 主な発表論文

- (1) M.Kotari, H.Kojima, N.Hayakawa, F.Endo, H.Okubo: "Development of 2 MVA Class Superconducting Fault Current Limiting Transformer (SFCLT) with YBCO Coated Conductors", Journal of Physics: Conference Series (to be published) (2010)
- (2) 神足将司, 鬼頭豊明, 小島寛樹, 早川直樹, 遠藤奎将, 大久保仁: 「2 MVA 級超伝導限流変圧器 (HTc-SFCLT) の限流・復帰特性」, 電気学会超伝導応用電力機器研究会, ASC-10-001 (2010)
- (3) 早川直樹, 小島寛樹, 遠藤奎将, 大久保仁: 「超伝導限流変圧器 (SFCLT) の開発」, 電気学会全国大会シンポジウム, S12-6 (2009)
- (4) H.Kojima, S.Ito, N.Hayakawa, F.Endo, M.Noel, H.Okubo: "Self-recovery Characteristics of High-Tc Superconducting Fault Current Limiting Transformer (HTc-SFCLT) with 2G Coated Conductors", Journal of Physics: Conference Series (JPCS), Vo.97, No.12154 (2008)
- (5) H.Okubo, C.Kurupakorn, S.Ito, H.Kojima, N.Hayakawa, F.Endo, M.Noel: "High-Tc Superconducting Fault Current Limiting Transformer (HTc-SFCLT) with 2G Coated Conductors", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol.17, No.2,

pp.1768-1771 (2007)