

AC35kV 600 A 超電導ケーブルシステムの開発 2 - KEMA 型式試験

AC 35 kV 600 A Superconducting Cable System -KEMA Type Test -

菅根 秀夫
Hideo SUGANE

足立 和久
Kazuhiisa ADACHI

北村 祐
Tasuku KITAMURA

中西 達尚
Tatsuhisa NAKANISHI

青木 裕治
Yuji AOKI

小泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

三堂 信博
Nobuhiro MIDO

長谷川 隆代
Takayo HASEGAWA

昨年度、当社で保有する YBCO 超電導線材と極低温ケーブル技術を用いて超電導ケーブルシステムを開発したことを報告した。今回、第三者認証機関である KEMA 立会の下、CIGRE TB 538 に準拠した型式試験を実施し、要求性能を満たすことを確認した。

Last year, we reported that we had developed a superconducting cable system using a cryogenic cable technology and YBCO superconducting tape produced in SWCC group. Recently, we carried out a type test of our superconducting cable system that complies with the CIGRE TB 538 under the KEMA witness.

1. はじめに

東日本大震災以降、電力供給事情は厳しい状況が続いており、電力消費量の削減が望まれている。

一方、発電においては太陽光や洋上風力などによる再生可能エネルギーを用いる動きが広がっている。しかしながら、再生可能エネルギーは発電地から需要地までの距離が離れていることが多く、送電時におけるロス低減が課題となる。

超電導ケーブルはジュール損失無しで電力を輸送することができるため、理想的な送配電システムである。

昨年、当社は AC 35 kV 600 A の超電導ケーブルシステムを開発し、CIGRE（国際大電力システム会議）による超電導ケーブルの試験推奨案 TB 538 で定められる型式試験項目を満足することを報告した¹⁾。

今回、本ケーブルシステムについて第三者機関である KEMA 立会の下で型式試験を行った。立会を依頼した KEMA（オランダ電気規格協会）は電力ケーブルの型式試験において 90 年の歴史と世界的権威を持つ、公的かつ国際的認証機関である。

本報では上記型式試験の結果について報告する。

2. 超電導ケーブルシステム仕様

試験した超電導ケーブルシステムの写真を図 1 に示す。

KEMA 型式試験に供試した超電導ケーブルと試験用終端の仕様を表 1 に示す。



図 1 超電導ケーブルシステム

表 1 35 kV 超電導ケーブルシステムの仕様

項目	値
定格電圧	35 kV
導体-対地間電圧 (U_0)	21 kV
定格電流	600 A
臨界電流 (I_C)	1200 A
短絡電流	25 kA 2 秒間
運転周波数	50 - 60 Hz
クライオスタット運転圧力	0.3 - 0.4 MPa-G
クライオスタット運転温度	65 - 70 K
冷媒	液体窒素

3. 適用規格と試験項目

今回開発したシステムが上記仕様を満足することを確認するため、超電導ケーブルシステム試験の推奨案である

CIGRE TB 538 “Recommendations for testing of superconducting cables” を参照して型式試験項目を決定した。型式試験項目と要求仕様を表 2 に示す。

表 2 CIGRE TB 538 における要求仕様

試験項目	要求仕様
曲げ試験	曲げ半径 3200 mm 以下で 180° 3 回曲げを経験した後の I_C が、設計 I_C の 95% 以上であること
圧力試験	0.5 MPa·G にて漏れなきこと
長期課通電試験	42 kV 連続課電 600 A 通電 8 時間 on/16 時間 off を 20 回実施後、以降に続く残存試験に耐えること
商用周波耐電圧試験	53 kV 30 分に耐えること
雷インパルス試験	± 200 kV×10 回の雷インパルスに耐えること
	雷インパルス経験後、53 kV 30 分の商用周波電圧に耐えること
商用周波部分放電試験	37 kV×10 秒印加後、31.5 kV にて部分放電なきこと

4. 試験方法

試験を実施するため、当社愛知工場のシールドルーム内にケーブル試験回路を構築した。

各試験の試験方法を以下に示す。

4.1 曲げ試験

胴径 3000 mm φ のドラムに超電導ケーブルを巻いて、引き延ばし、180°回転して再度ドラムに巻く作業を 3 回繰り返した。(図 2)



図 2 曲げ試験風景

その後、次項以降に続く全ての試験終了後にケーブルコアを切り出し、端子を取付けた状態で液体窒素のオープンバスに浸漬して臨界電流値 I_C を測定した。

I_C 測定時の試料形状を図 3 に示す。

4.2 圧力試験

圧力試験はケーブルシステムを密閉した状態で窒素ガスを導入することにより容器内を加圧し、0.5 MPa·G で 10 分間加圧状態を保持した。

4.3 長期課通電試験

長期課通電試験では、以下のプロセスで電流、電圧を印加した。

- ・ $2 \times U_0$ (42 kV) の電圧を連続課電

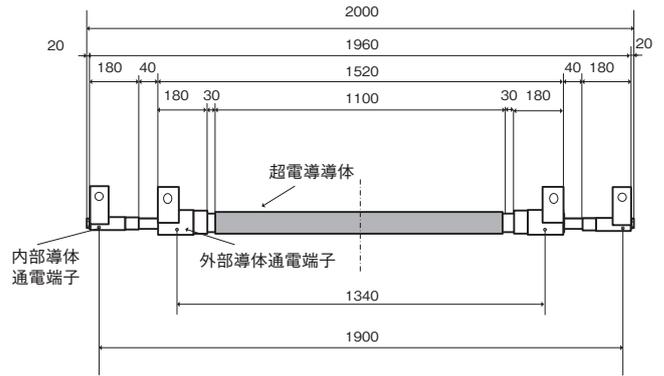


図 3 曲げ経験後 I_C 測定試料形状

- ・ 定格電流 (600 A) を 8 時間通電後、16 時間非通電
 - ・ 上記を 1 サイクルとし、20 サイクル繰り返す
 - ・ この時、試験圧力は最低使用圧力 (0.3 MPa·G) 未満とし、試験温度は最高使用温度 (70 K) 以上とする
- 試験用トランスから回路全体に電圧を印加し、通電用トランス 2 台を用いて通電した。それぞれの印加電圧、通電電流はトランスデューサを介して記録計に接続し、収集した。終端及びケーブルの容器内温度は終端容器内に設置した白金温度計で測定し、同様に圧力は歪ゲージ型圧力計で測定した。それらの結果は記録計に入力し、収集した。

4.4 残存試験

前項の長期課通電試験経験後の試験体に対し、以下の残存試験を行った。残存試験中は容器内の圧力を最低使用圧力 (0.3 MPa·G) 未満、温度を最高使用温度 (70 K) 以上となるよう保持した。

4.4.1 商用周波耐電圧試験

商用周波耐電圧試験の構成を図 4 に示す。

$2.5 \times U_0$ (53 kV) の電圧を印加し、30 分保持した後に降圧した。

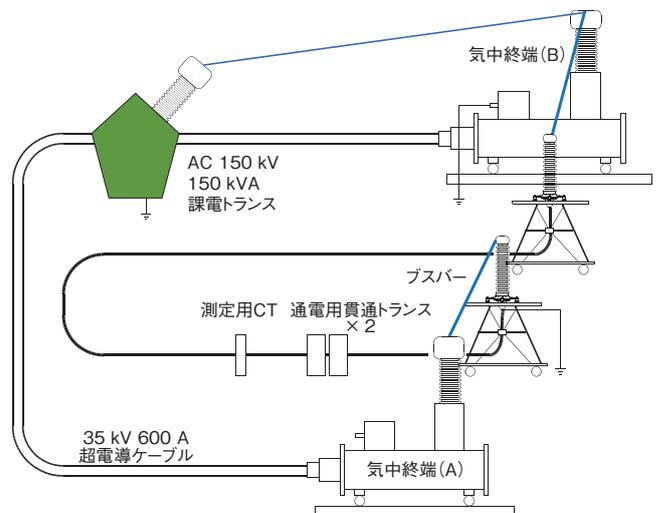


図 4 商用周波耐電圧試験 試験構成

4.4.2 雷インパルス試験

雷インパルス試験の構成を図5に示す。

試験電圧の校正は球ギャップを用いて実施した。試験電圧に対する50%, 65%, 80%の各電圧において昇降法を用いて充電電圧を決定し、その結果から試験電圧である ± 200 kVを得るための各充電電流を3点校正で算出した。試験電圧を各10回ずつ試験回路に印加した。

雷インパルス印加後、本試験の残存試験として4.4.1項と同じ方法で商用周波耐電圧試験を実施した。

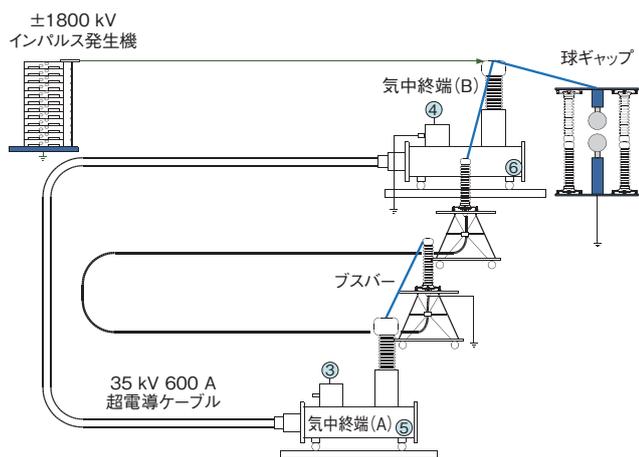


図5 雷インパルス試験 試験構成

4.4.3 商用周波部分放電試験

部分放電試験の構成を図6に示す。

37 kVを10秒印加後、32 kVまで電圧を降圧し、部分放電を測定した。

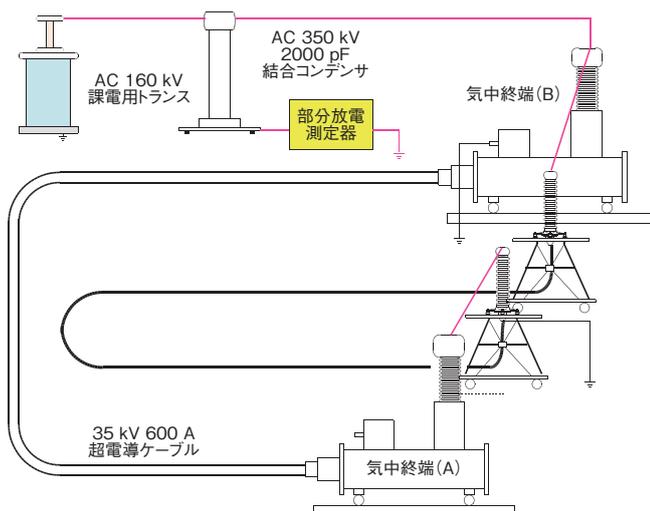


図6 商用周波部分放電試験 試験構成

5. 試験結果

実施した試験の結果を、試験項目ごとに順次示す。

5.1 曲げ試験結果

項4.1に示した方法で曲げを印加し、全ての試験項目を

経験したケーブルのコアを切り出し、 I_C を測定した。

試験結果を図7に示す。

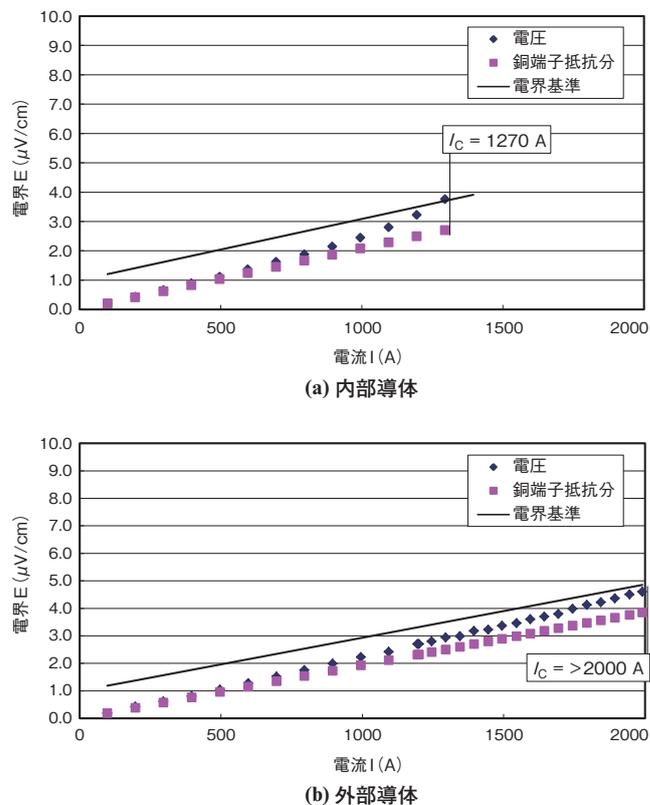


図7 曲げ経験後 I_C 測定結果

図7に示す“電界基準”は、導体抵抗から算出される発生電圧に $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ を加えたプロットである。導体抵抗の値は100 A通電時の発生電圧を元に算出した。この電界基準を超える電流値を I_C とすると表3の通り。

表3 曲げ経験後 I_C 測定結果

測定箇所	設計 I_C	要求 I_C (設計 I_C の95%)	I_C 測定結果
内部導体	1200 A	1140 A	1270 A
外部導体	1500 A	1425 A	2000 A 以上

上記より、外部導体、内部導体共に曲げ試験の要求性能を満たしていることを確認した。

5.2 圧力試験結果

項4.2で示した方法で容器内部を $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{G} \times 10$ 分間加圧し、圧力計に変化がなかったことから、漏れがないことを確認した。

5.3 長期課通電試験結果

項4.3の方法に則り、長期課通電を実施した。

結果、22サイクル(規定20サイクル+予備2サイクル)の課通電に耐えることを確認した。

5.4 残存試験結果

長期課通電経験後の残存試験結果を、試験毎に分けて以下に示す。

5.4.1 商用周波耐電圧試験

項 4.4.1 に記載の方法で課電を行い、53 kV×30 分の電圧に耐えることを確認した。

5.4.2 雷インパルス試験

項 4.4.2 に記載の方法で試験を実施した。±200 kV 各 10 回の雷インパルス電圧に耐えることを確認した。

5.4.3 商用周波部分放電試験

項 4.4.3 に記載の方法で部分放電を測定した。

結果、37 kV×10 秒印加後、32 kV 印加時において部分放電がないことを確認した。

6. ま と め

超電導ケーブルおよび気中終端接続部を開発し、KEMA 立会の下で型式試験を実施した。

超電導ケーブルシステム試験推奨案である CIGRE TB 538 に準拠して試験を実施し、要求仕様を満足することを確認した。

試験結果のまとめを表 4 に示す。

表 4 CIGRE TB 538 による試験結果

試験項目	要求仕様	試験結果
曲げ試験	曲げ半径 3200 mm 以下で 180° 3 回曲げを経験した後の I_C が、 設計 I_C の 95% 以上であること	良
圧力試験	0.5 MPa・G にて漏れなきこと	良
長期課電試験	42 kV 連続課電 600 A 通電 8 時間 on/16 時間 off を 20 回	良
商用周波耐電圧試験	53 kV 30 分に耐えること	良
雷インパルス試験	± 200 kV×10 回の 雷インパルスに耐えること	良
	雷インパルス経験後、 53 kV 30 分の商用周波電圧に耐えること	良
商用周波部分放電試験	37 kV×10 秒印加後、 31.5 kV にて部分放電なきこと	良

今後、本超電導ケーブルシステムで用いたものと同等の終端及びケーブルを用い、実フィールドにおいて実証試験を行うことを予定している。

参考文献

1) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol.61, No.1, p.15 (2015)

昭和電線ケーブルシステム(株)
菅根 秀夫 (すがね ひでお)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
足立 和久 (あだち かずひさ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主査
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
北村 祐 (きたむら たすく)
工学博士
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主幹
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
中西 達尚 (なかにし たつひさ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主査
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
青木 裕治 (あおき ゆうじ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主幹
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
超電導テクノロジーセンター
線材開発グループ長
超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
三堂 信博 (みどう のぶひろ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ長
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)
長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)
工学博士
取締役 技術企画室 室長
兼 昭和電線ケーブルシステム(株)
超電導テクノロジーセンター長