

362 kV 気中断路器の製品化と 海外認証機関でのタイプテスト

■ 平野 智宏
Tomohiro Hirano

1 はじめに

海外向け 362 kV 4,000 A 63 kA/3 秒の引き合いに対応するために、接地装置付水平中心一点切断路器（以降、接地装置付断路器）および電動操作装置を製品化した。また、お客さまからの要求により海外認証機関における ANSI 規格でのタイプテストレポートを取得した。

2 仕様

今回製品化した接地装置付断路器の主な仕様を表 1、電動操作装置の仕様を表 2 に示す。

表 1 接地装置付断路器の仕様

名称		接地装置付水平中心一点切断路器	
形式		断路器：THB8T 形 LGP 式 接地装置：EB3 形 AB 式	
定格	電圧 (kV)	362	
	電流 (A)	4,000	
	周波数 (Hz)	60	
	短時間耐電流	63 kA / 通電時間：3 秒	
絶縁強度		対地	同相主回路間
	雷インパルス (kV)	1,425	1,430
	商用周波 (kV)	乾燥：610 (1 分) 注水：525 (10 秒)	乾燥：610 (1 分) 注水：525 (10 秒)
がいし	C10-1550-classB (IEC60273)		
強風中開閉性能 (断路器)	60 m/s 三相一括操作		
耐震	IEEE693 中レベル (ZPA: 水平 0.5 G, 垂直 0.3 G, 2% damping)		
連続開閉性能 (断路器)	10,000 回 (無保守無点検)		
準拠規格	ANSI C37		

表 2 電動操作装置の仕様

名称		電動操作装置
形式		断路器用：MCAA 形 DB2ME 式 接地装置用：MCAA 形 DB1ME 式
定格	操作電圧 (V) 制御電圧 (V)	AC220
	制御電流 (A)	約 0.5
	動作時間 (秒)	断路器用：5 接地装置用：8
	操作出力 (N・m)	断路器用：1,775 接地装置用：900

3 コンセプト

今回製品化した接地装置付断路器を図 1、電動操作装置を図 2 に示す。製品化にあたり、接地装置付断路器および電動操作装置をそれぞれ現行標準機種（電動操作装置は海外専用品）をベースに、引き合いのあったお客さまの厳しい個別仕様にあわせて強度や通電容量の強化等の設計変更を行った。接地装置付断路器は東光高岳のグループ会社である撫順高岳開閉器有限公司での OEM 生産品を適用、がいしは市場性のある IEC がいしとして中国製がいしを採用し、性能とコストのバランスを目指した。



図 1 製品化した接地装置付断路器

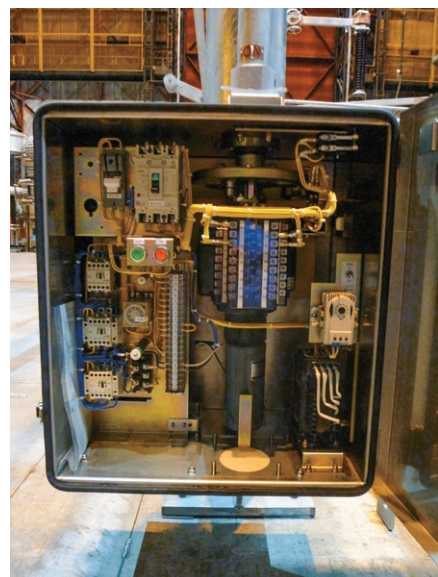


図 2 製品化した電動操作装置

4 性能と試験結果

4.1 試験場の選定

今回のタイプテストは、CESI S.p.A（イタリア電気部品・システム研究認証研究所）で実施した。選定には① ANSI 規格での試験実績があること、② 超高電圧の電気機器を試験可能であること、③ ANSI 規格の要求項目すべてを試験可能であること の条件を満たし、海外認証機関として評価されている CESI S.p.A とした。また、ANSI 要求のタイプテスト項目とは別に、お客様の個別要求による試験項目を社内で実施した。社内での試験は第三者機関として、日本国内の検査機関立会のもと実施した。耐震試験をお客さま指定の試験機関である NCREE（台湾国家地震工程研究センター）、がいし試験を日本国内の大手がいしメーカーで実施した。

4.2 タイプテスト項目および結果（ANSI C37）

今回実施した ANSI C37 に基づくタイプテスト項目および結果を表 3 に示す。個別仕様試験項目および結果を表 4 に示す。なお、規格はお客さまより指定の版

表 3 タイプテスト項目および試験結果（ANSI C37）

項目 No.	試験名		結果		
	名称	断路器	接地装置	操作装置	
4.1	絶縁耐力試験	商用周波耐電圧試験*	○	○	—
4.2		雷インパルス耐電圧試験*	○	○	—
4.4		開閉インパルス耐電圧試験	○	○	—
5.2	ラジオ障害電圧試験*		○	○	—
6	温度上昇試験		○	—	—
8	短時間耐電流試験 / 波高値耐電流試験*		○	○	—
11	操作試験（1,000 回）		○	○	○

○：試験合格を示す。—：試験対象外を示す。

*：お客さま要求項目を示す。

表 4 個別仕様試験項目および試験結果

試験名	結果		
	断路器	接地装置	操作装置
インパルスフラッシュオーバー電圧試験*（CESI で実施）	○	○	—
温度上昇試験（オプション付）*	○	—	—
操作試験（無保守無点検 10,000 回）*	○	—	○
強風中開閉性能試験（風速 60 m/s）*	○	—	—
耐震試験（IEEE693 中レベル 2% damping）*	○	○	○
がいし試験*	○	—	—

○：試験合格を示す。—：試験対象外を示す。

*：お客さま要求項目を示す。

数としている。

(1) 絶縁耐力（ANSI C37.34-1994）

商用周波耐電圧、開閉インパルス耐電圧については ANSI 規格値を満足する性能を有している。雷インパルス耐電圧対地については、個別要求により 1,425 kV（ANSI:1,300 kV）を印加し、合格した。これについては ANSI 要求より高い性能を有している。開閉インパルス耐電圧はバイアス試験 [825 + (295) kV] も実施し、ANSI 規格を満足している。

(2) ラジオ障害電圧（ANSI C37.34-1994）

ラジオ障害電圧は、定格電圧の $1.1/\sqrt{3}$ 倍の 230 kV を印加し、ラジオ障害レベルが最大で 398.1 μ V であり、ANSI 基準値 500 μ V を満足している。

(3) 温度上昇値（ANSI C37.34-1994, ANSI C37.30-1997）

温度上昇値は、定格電流 4,000 A を通電し、温度上昇値は最大で接触部 35.6 K（基準値 53 K）、ヒンジ 58.7 K（基準値 67 K）、端子台 33.1 K（基準値 43 K）であり、ANSI 規格を満足している。

(4) 短時間耐電流 / 波高値耐電流（ANSI C37.34-1994）

短時間耐電流 / 波高値耐電流は、63 kA（波高値 2.6 倍）、通電時間は仕様どおり 3 秒間（ANSI 標準値）での試験を実施した。断路器・接地装置ともに、試験後には溶着も無く接触部の状態や ANSI 要求の通電後 15 回の開閉操作も良好であり、要求の性能を有している。

図 3 に試験後の断路器接触部状態を示す。図 4 に試験後の接地装置接触部状態を示す。なお、JEC-2310：2014 では接地装置接触部の溶着が許容されるが、ANSI 規格では許容されないため、今回、JEC 規格よ

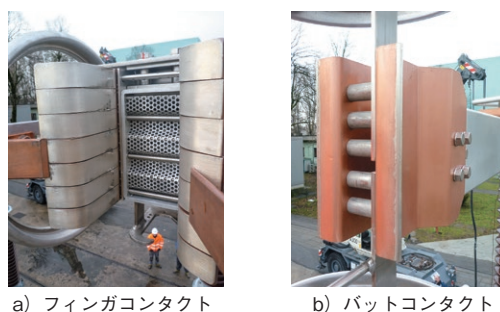


図 3 短時間耐電流試験後の断路器接触部

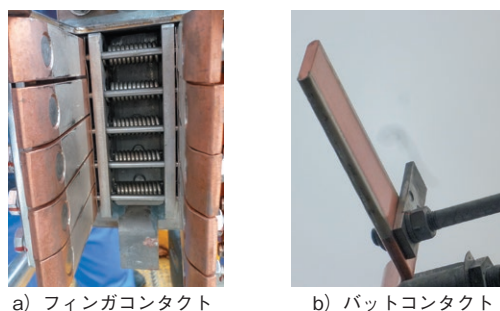


図 4 短時間耐電流試験後の接地装置接触部

り厳しい要求仕様を満足している。

(5) 連続開閉性能 (1,000 回) (ANSI C37.34-1994)

連続開閉性能は ANSI 規格で推奨されている 1,000 回、機械端子荷重 $F_1/F_2 : 1,020 \text{ N}$, $F_3 : 330 \text{ N}$, $F_4 : 1,824 \text{ N}$ にて試験を実施した。試験後の接触部の状態も良好であり、要求の性能を有している。図 5 に端子荷重試験負荷条件、図 6 に端子荷重試験設置状況を示す。

(6) インパルスフラッシュオーバー電圧

インパルスフラッシュオーバー電圧は、昇降法によりインパルス電圧を 30 回印加し、50% フラッシュオーバー電圧を測定した。その結果、対地: $+1,821.1/-1,937.0 \text{ kV}$, 同相主回路間: (バット側印加) $+1,857.0/-1,860.7 \text{ kV}$, (フィンガ側印加) $+1,760.4/1,869.3 \text{ kV}$ であった。

(7) 温度上昇値 (オプション付)

温度上昇値は、お客さまの個別仕様により、端子台は ANSI 規格より厳しい基準値 30 K の要求があった。この仕様を満足させるため、お客さま指定で標準装備となる端子アダプタや LCS (Loop Current Switch) およびシールドリングなどのオプションを装備し、放熱面積を増やした状態で試験を実施した。その結果、端子台の温度上昇値は最大で 27.9 K となり ANSI 規格より厳しい要求仕様を満足している。断路器本体の基本構造を変えないようにすることで、コスト抑制を行った。

(8) 連続開閉性能 (10,000 回)

連続開閉性能は、無保守無点検で 10,000 回の断路器開閉試験を実施した。試験後の接触部の状態も良好であった。接点部には国内で十分な実績があり性能が確認

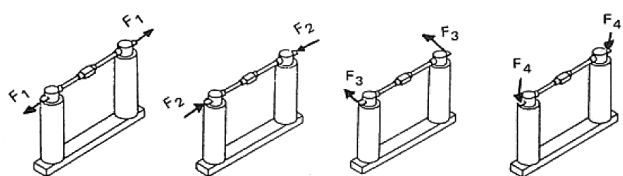


図 5 端子荷重試験負荷条件



図 6 端子荷重試験設置状況

されている銀グラファイト接点を採用し、耐摩耗構造としている。これにより、無保守無点検 10,000 回という厳しい要求仕様を満足している。

(9) 強風中開閉性能

強風中開閉性能は、要求の風速 60 m/s 相当の模擬荷重をそれぞれのブレードに取り付け、電動操作での動作試験を実施した。開放・投入ともに断路器が動作することを確認した。JEC2310:2014 では強風中開閉性能の要求は無く、操作時の衝撃荷重および短絡時の電磁力に加えて 40 m/s の風圧荷重の重量で倒壊しないことが要求されている。今回、JEC 規格と比較して非常に厳しい要求を満足している。図 7 に強風中開閉性能試験イメージを示す。

(10) 耐震性能

耐震性能は、お客さまの指定により高さ 4.3 m の架台に断路器 1 相分を設置し、IEEE693 中レベル (ZPA: 水平 0.5 G, 垂直 0.3 G, 2% damping) を断路器開放状態、投入状態で各 1 回の加振試験を実施した。図 8 に IEEE693 中レベルの入力波形と応答スペクトルを示す。耐震試験にあたっては、事前に三次元モデルを作成して動的解析で強度検証を実施した。図 9 に三次元モデルを示す。事前解析により IEEE693 の 3 軸同時加振という厳しい要求に耐える強度を有していること、およびがいし基部に最大応力が発生することが確認できた。図 10 に耐震試験供試器設置状況を示す。実加振試験後は、機器の変形・損傷もなく、開閉動作も良好であった。また、加振前後の共振周波数の変化は X 軸: 6.33%, Y 軸: 3.82%, Z 軸: 2.59% (基準値: 20%) となった。また、最大応力が発生するがいし基部について、事前解析結果と実加振試験結果と比較したところ、実加振試験結果の安全率が高くなる結果となった。これは、事前解析で設定している減衰定数は、過酷評価の 2% に設定しているのに対し、実器の減衰定数は 5% くらいであったためと推測される。表 5 に事前解析結果と実加振試験結果

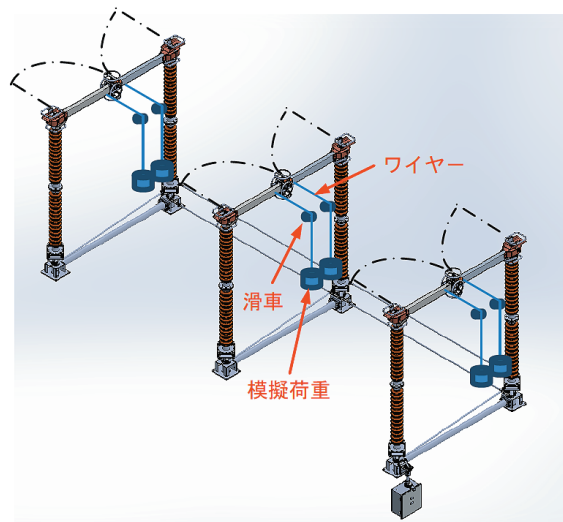


図 7 強風中開閉性能試験イメージ

表5 事前解析結果と実加振試験結果の安全率比較

	事前解析結果		実加振試験結果	
	固有振動数	安全率	固有振動数	安全率
支持がいし	2.7 Hz	1.4	2.2 Hz	1.7

の安全率比較を示す。JEC2310:2014 では入力波形は0.3 G 共振正弦3波の水平1軸加振の要求である。

(11) がいし (ANSI C29.1-1998, ANSI C29.9-1983 (R2012))

がいしは、ANSI C29.1 および ANSI C29.9 に準じた項目について試験を実施した。その結果、すべての要求を満足しており、初採用となる中国製がいしの実力を示す貴重なデータとなった。表6にがいし試験実施項目と結果を示す。今回、日本製がいしの性能試験をあわせて実施し、比較評価を行った。その結果、機械的強度について、日本製がいしと同等の性能を有していることが確認できた。

5 おわりに

今回、強風中開閉性能試験および短時間耐電流試験ならびに耐震試験は、東光高岳断路器製造の歴史の中でも最高レベルの要求となった。これらすべてをクリアする断路器を製品化できたことで、今後同様の要求に対して、構造検討の基礎となるデータが取得できた。また、取得実績のなかった海外認証機関におけるANSI規格でのタイプテストレポートを取得したことで、ANSI規格の地域への入札に参入することができ、売上拡大に寄与



図8 IEEE693 中レベルの入力波形と応答スペクトル

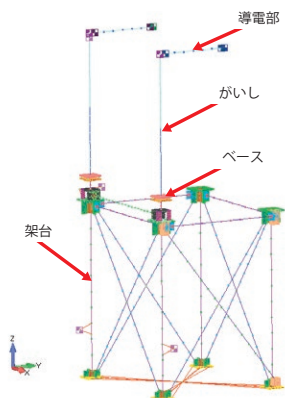


図9 三次元モデル

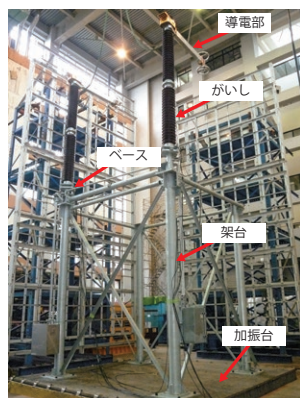


図10 耐震試験供試器設置状況

表6 がいし試験実施項目と結果

No.	試験項目	仕様	結果
1	商用周波乾燥フラッシュオーバー電圧試験	AC745 kV	良
2	商用周波注水フラッシュオーバー電圧試験	AC660 kV	良
3	商用周波乾燥耐電圧試験	AC610 kV 1分間	良
4	商用周波注水耐電圧試験	AC525 kV 10秒間	良
5	雷インパルスフラッシュオーバー電圧試験	+1,410 kV -1,650 kV	良
6	雷インパルス耐電圧試験	±1,300 kV	良
7	ラジオ障害電圧試験	AC230 kV 500 μV 以下 (1,000 kHz)	良
8	曲げ試験	4,559 N 以上	良
9	捻り試験	10,152 N・m 以上	良
10	引張試験	111,151 N 以上	良
11	圧縮試験	333,396 N 以上	良
12	吸湿試験	4,000 psi (27.6 MPa) 5時間加圧浸漬し、染色液が滲まない	良
13	熱衝撃試験 ^{注1}	湯槽: 66°C 水槽: 4°C 各10分間、10サイクル各槽への浸漬を行い、破壊のないこと。また、浸漬試験後、電気チェックを行い、異常がないこと。	良
14	めっき試験	フランジ [mil] 個々: 3.1 以上 平均: 3.4 以上 ボルト類 [mil] 個々: 1.7 以上 平均: 2.1 以上	良

注1) 設備能力の関係で湯槽 74~76°C、水槽 9~11°C とし、温度差 62°C 以上を確保した。

することができる。要求の厳しいANSI規格で合格したことで、IEC規格およびJEC規格の地域への適用も可能である。さらに国際入札では海外認証機関におけるタイプテストレポートの提出が入札条件に組み込まれることが通例となっており、362 kV 4,000 A 63 kA/3秒とおよそ最大クラスの断路器でのタイプテストレポートを取得したことから、今後の海外展開における営業活動に大いに活用できるものとなる。

■ 語句説明

注1) 減衰定数: 機器の振動がしだいに減衰していくとき、その減少の速さを表す数値。

注2) 応答スペクトル: 機器には、その高さや大きさ、材質などから、揺れやすい固有の周期がある。地震の揺れが、さまざまな固有周期を持つ機器に対してどれだけの揺れ(応答)を生じさせるかを示したグラフ。

平野 智宏

電力プラント事業本部
断路器製造部 設計グループ 所属