

電気鉄道変電所用新形直流高速度遮断器の性能検証

昆野 康二(こんの こうじ)

清水 直樹(しみず なおき)

菅野 朋人(かんの ともひと)

① まえがき

新形直流高速度遮断器(以下、直流真空遮断器という)は、電磁反発駆動機構をもった真空遮断器本体、強制的に電流零点をつくるための主振動回路、回路に蓄えられた電磁エネルギーを処理するための非線形抵抗、過電流を検出し、これらを制御するための検出制御ユニットなどから構成されており、機械的に動作する遮断器部と電子回路を複合化した装置である。

適用規格は JEC-7153「電気鉄道変電所用直流高速度ターンオフサイリスタ遮断器」であり、本装置のような自励転流式の直流遮断器に対して準用してもよいことが認められているが、本規格はゲートターンオフサイリスタを使用した完全静止形の遮断器を対象としているため本装置のように機械式遮断器を有するものには完全に適合しない面がある。このような状況から、規格に規定されている性能を満足させることはもとより、関連する規格を参考にしながら種々の検証試験を実施した。ここでは検証にあたっての考え方、検証試験結果について述べる。

② 検証の考え方

直流真空遮断器は、ゲートターンオフサイリスタ遮断器(以下、GTO 遮断器という)とは下記のように大きく異なる点がある。

- (1) 交流真空遮断器と同様な機械式遮断部を備えている。
また、電磁反発駆動によって高速度に動作する。
- (2) 電流零点をつくるための逆電流を供給するコンデンサをもち、それを充電するために一定の時間を要する。
また、GTO 遮断器において標準動作責務「O(遮断する動作)-10 秒-CO(投入に引き続き直ちに遮断する動作)」で性能的に影響を受けるものは非線形抵抗(規格上の名称：消弧装置)だけであり、JEC-7153においては標準動作責務に従って行う試験は消弧装置が消費するエネルギーに関する試験のみとなっている。このような GTO 遮断器と直流真空遮断器の違いを考えると、JEC-7153 の項目を

満足するだけでは十分ではない。特に機械的な開閉性能、標準動作責務に従った短絡電流遮断などは十分に検証されるべき項目である。したがって、実的な性能の検証という目的から JEC-7152「電気鉄道変電所用直流高速度気中遮断器」、旧日本国有鉄道規格(JRS)などを参考にし、直流真空遮断器特有の項目も洗い出して検証項目として取り入れた。また、本装置の制御回路には電子回路を使用しているため耐ノイズ性に関しても検証項目として取り入れた。内容としては JEC-2500「電力用保護継電器」、電力用規格 B-402「デジタル保護継電器および継電装置」などを参考とした項目のほかに、最近急速に普及している携帯電話機についても検証項目として取り入れた。

検証試験を実施した項目と準拠、参考とした各規格を表 1 に示す。各項目のなかには規格で定められている検証方法だけでは必ずしも直流真空遮断器の性能を評価できない項目もある。例えば、本装置の実現のポイントとして真空バルブの高周波遮断性能に適合した主振動回路定数の選定、1 万回開閉のための弱点部の抽出と強化などがあげられるが、これらを的確に評価できるように試験方法を定めた。

③ 検証試験結果

本装置は表 1 に示す検証試験項目すべてについて良好な結果が得られている。ここでは遮断性能に関連する検証試験結果について紹介する。

遮断性能は短絡発電機と整流器を組み合わせた直接短絡試験法によって検証した。規格では 10 Hz 程度以下の交流電源を使った交流等価試験法も認められているが、消弧装置が消費するエネルギーに等価性を持たせることが難しいため、遮断性能試験はすべて直接法で行った。試験回路を図 1 に示す。

3.1 短絡試験

短絡試験は推定短絡電流 50 kA、突進率 3×10^6 A/s の回路条件における遮断性能の検証試験である。JEC-7153 では表 1 のなかで「突進電流に関する遮断試験」に該当す



昆野 康二

真空遮断器、および関連機器の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所電力技術開発研究所開閉装置開発グループ副主任技師。



清水 直樹

配電盤の試験に従事。現在、神戸工場品質保証部。



菅野 朋人

高圧真空遮断器の開発に従事。現在、吹上工場器具設計部。

表 1 検証試験項目一覧

試験項目	試験細目	準拠, 参考規格
構 造 検 査	構造検査	JEC-7153 JEC-7152 社内規定
	コイル抵抗値測定 (投入, 電磁反発, 引外し)	
	絶縁抵抗測定	
消弧装置特性試験	JEC-7153による	JEC-7153
商用周波耐電圧試験	JEC-7153による	JEC-7153
雷インパルス耐電圧試験	JEC-7153による	JEC-7153
温 度 上 昇 試 験	温度上昇試験	JEC-7153 社内規定
	主回路抵抗測定	
保護特性および動作試験	電流検出器出力確認	JEC-7153 社内規定
	目盛試験	
	逆流検出試験	
開 閉 試 験	開閉特性試験	JEC-7153 JEC-7152 社内規定
	連続開閉試験	
	手動開閉試験	
	主回路抵抗測定	
	各信号のタイミング確認	
	主振動電流波形の測定	
漸進過電流による遮断試験	JEC-7153による	JEC-7153
負 荷 投 入 試 験	JEC-7153による	JEC-7153
突進電流に関する遮断試験	JEC-7153による	JEC-7153
アークエネルギーに関する短絡試験	JEC-7153による	JEC-7153
制御電源装置入力 の測定	制御電源の負担測定	JEC-7153 社内規定
	操作電源の負担測定	
	操作電源による充電時間測定	
	操作電源停電時の放電時間測定	
消弧装置放電耐量試験	JEC-7153による	JEC-7153
短 絡 試 験	JEC-7152による	JEC-7152
小 電 流 遮 断 試 験	JEC-7152による	JEC-7152
逆 流 遮 断 試 験	社内規定による	社内規定
200回定格電流 開閉試験	旧JRSによる	旧JRS
耐 ノ イ ズ 試 験	社内規定による	社内規定

るが、動作責務に関しては規定がない。この試験は JEC-7152 を参考にして標準動作責務「O-10 秒-CO」に従って行った。オシログラム例を図 2 に示す。目盛 12 kA、選択性なしの条件である。「O」および「CO」でそれぞれ遮断電流最大値 17.2 kA、17.3 kA で遮断に成功しており、安定した遮断性能を示している。

3.2 小電流遮断試験

小電流遮断試験については JEC-7153 では規定されていない。しかしながら、本装置のような自動転流式の遮断方式の場合、遮断電流が小さいほど遮断時間が長くなるという特性を示す。本装置は特に小電流遮断時間を短縮するた

図 1 遮断試験回路

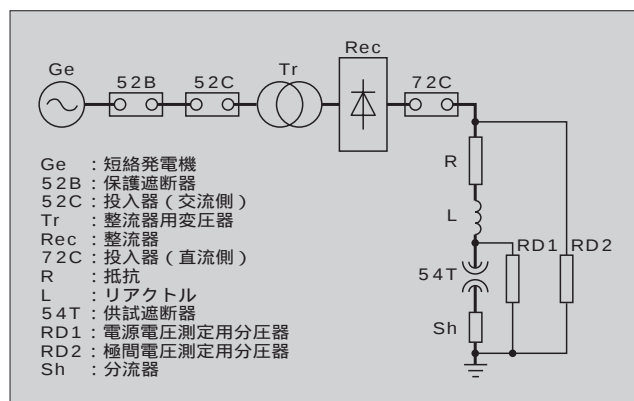
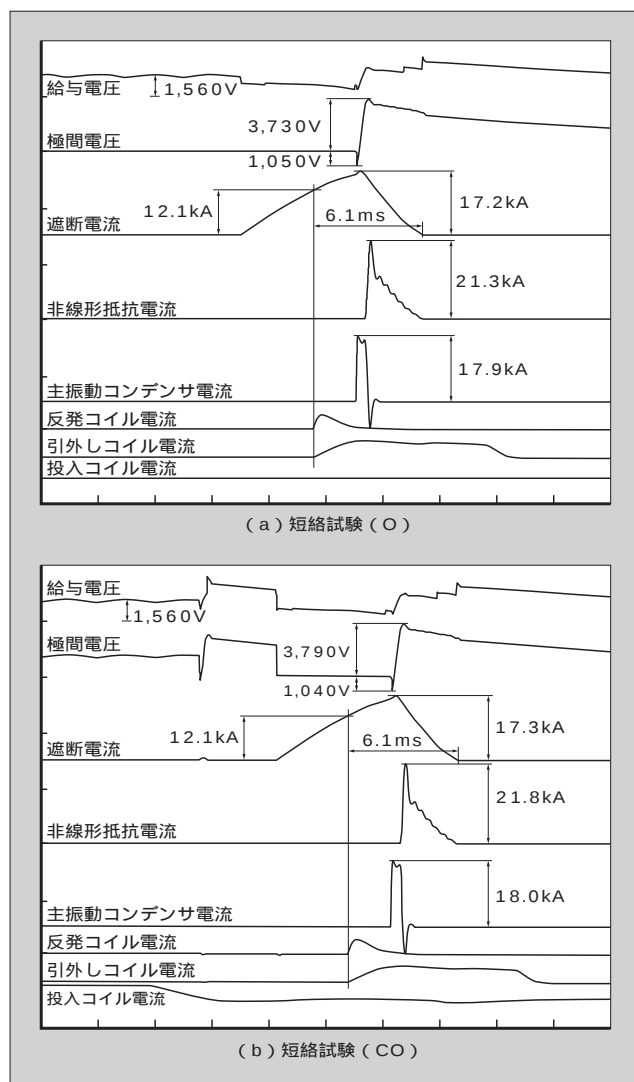


図 2 短絡試験オシログラム例 (社内試験)



めに副振動回路を設けている。

遮断試験は電流 5 ~ 500 A の範囲で行った。小電流遮断時のオシログラム例を図 3 に示す。同一の回路条件で副振動回路がない場合、遮断時間は約 90 ms であり、副振動回路によって遮断時間が 21.5 ms にまで短縮されていることが示されている。

図3 小電流遮断試験オシログラム例

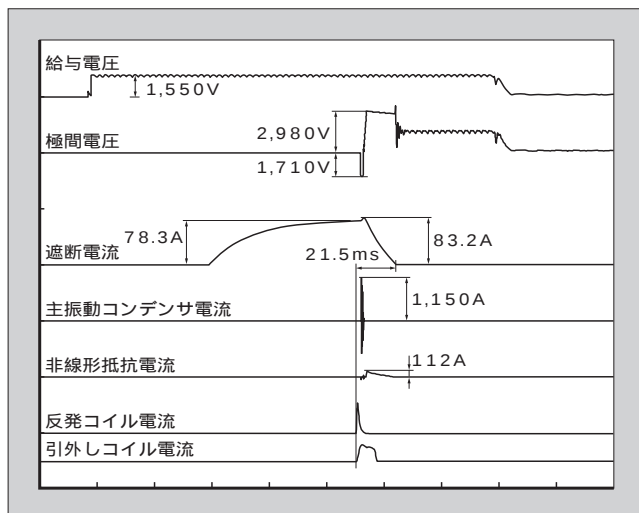
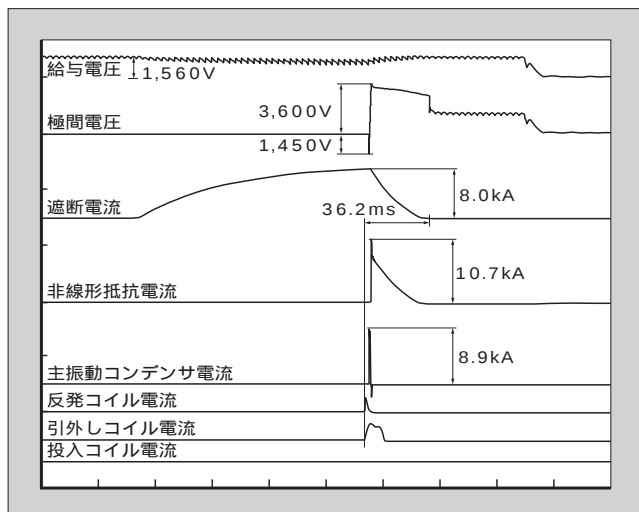


図4 アークエネルギーに関する短絡試験オシログラム例

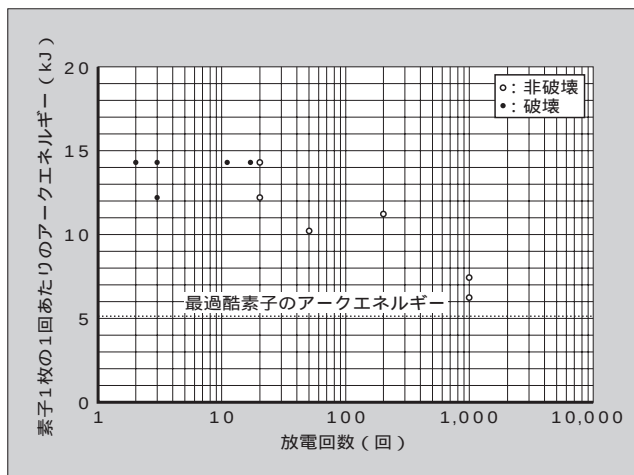


3.3 消弧装置の責務と寿命

消弧装置の責務はGTO遮断器の場合と同様であり、これに関してはJEC-7153に従った検証を行った。規格では標準動作責務「O-10秒-CO」において電流目盛で決まる最大エネルギーを消費させ、動作開始電圧の変化率が10%以下であることが規定されている。オシログラム例を図4に示す。この例では規格で決められた最大エネルギーの103%に相当するエネルギーを消費させている。動作開始電圧の変化率は1%以下であり、消弧装置の特性にはほとんど変化がないことを確認している。

消弧装置に関しては寿命に関する検証項目がある。JEC-7153には参考試験として「消弧装置放電耐量試験」として規定されている。すなわち、1回で消費させるエネルギー量とそれを何回消費できるかを検証する試験である。消弧装置は酸化亜鉛素子を多数枚並列接続して構成されているが、1枚で代表して検証してもよいことが規格で認められている。しかし、わずかではあるが素子ごとに動作開始電圧にばらつきがあるため、最も責務が過酷となる素子のエ

図5 消弧装置の放電寿命試験



ネルギー量をシミュレーションによって確認し、検証試験を行った。試験結果を図5に示す。この図から分かるように、最大エネルギーを1,000回以上処理することができる。

4 特殊試験

装置の能力の限界、信頼性を確認するために下記の試験を実施した。

(1) 短絡遮断寿命試験

真空バルブの短絡遮断寿命を検証する試験であり、突進率 $3 \times 10^6 \text{ A/s}$ の短絡電流に対して100回の遮断試験を行った。遮断試験後の接点消耗量はごくわずかであり、100回以上の遮断寿命を有していることを確認した。

(2) アーク電流通電試験

万が一、真空バルブ中で大電流アークが継続した場合に、真空バルブの破壊などが生じないかの試験を行った。真空バルブを開極し、主振動電流を注入しない状態で35kAの電流を80ms以上通電した。その結果、真空バルブの破壊、その他の不具合が生じず、上記電流通電後も正常に遮断が可能であることを確認した。

5 (財)鉄道総合技術研究所における評価試験

本装置の評価試験を(財)鉄道総合技術研究所にて実施した。試験状況を図6に示す。項目としては小電流遮断試験、短絡試験(突進率 $3 \times 10^6 \text{ A/s}$ における試験)、および高突進率の電流による過責務試験を実施した。短絡試験のオシログラム例を図7に示す。社内での検証試験結果と同等の遮断電流最大値16.9kAで遮断に成功している。

限界性能を確認する目的で推定短絡電流と突進率がそれぞれ75kA、 $7.5 \times 10^6 \text{ A/s}$ と100kA、 $10 \times 10^6 \text{ A/s}$ の2種類の回路条件において、前者の条件では目盛12kA選択性あり、後者の条件では目盛6kA選択性ありの条件で試験を実施した。両条件とも遮断に成功し、定格遮断容量以上の性能があると評価された。

図 6 試験状況

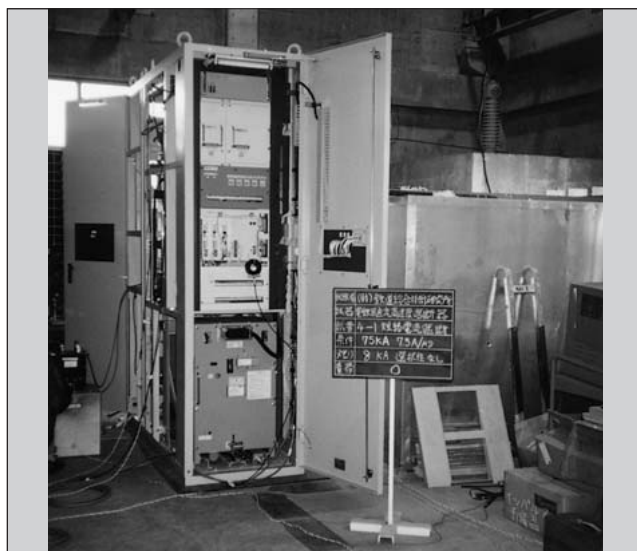
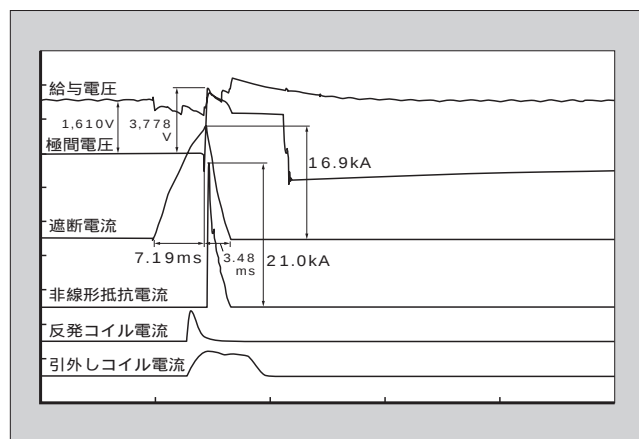


図 7 短絡試験オシログラム例〔(財)鉄道総合技術研究所における試験〕



⑥ 受入試験の考え方

受入試験は品質を満足し、なおかつ試験の効率化を助案して最大公約数の試験項目とする必要がある。②章と同様に JEC-7153 に規定されている項目だけでなく、各規格、本装置の特性を考慮に入れて試験項目を抽出した。特に本装置が遮断性能を十分に発揮するためには、過電流検出から決められたタイミングに従って各構成要素が確実に動作する必要があり、その点に重点をおいている。受入試験項

表 2 受入試験項目一覧

試験項目	試験細目	準拠、参考規格
構造検査	構造検査	JEC-7153 JEC-7152 社内規定
	コイル抵抗値測定 (投入、電磁反発、引外し)	
	絶縁抵抗測定	
消弧装置特性試験	JEC-7153による	JEC-7153
商用周波耐電圧試験	JEC-7153による	JEC-7153
主回路抵抗測定	社内規定による	社内規定
保護特性および動作試験	電流検出器出力確認試験	JEC-7153 社内規定
	目盛試験	
	逆流検出試験	
開閉試験	開閉特性試験	JEC-7153 JEC-7152 その他
	手動開閉試験	
	主回路抵抗測定	
	各信号のタイミング確認	
	主振動電流波形の測定	
制御電源装置入力 の測定	制御電源の負担測定	JEC-7153 社内規定
	操作電源の負担測定	
	操作電源による充電時間測定	

目の一覧を表 2 に示す。

⑦ あとがき

新形直流高速度遮断器の性能検証の考え方、検証試験結果について述べた。本装置は規格を上回る実力を有しており、省保守化、省スペース化、環境適合化の流れのなかで次世代に向けて普及していくものと期待している。

最後に、本装置の評価試験を実施いただいた(財)鉄道総合技術研究所に深く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 昆野康二ほか：直流遮断器の小電流遮断に関する検討，平成 9 年電気学会全国大会，No.1599 (1997)
- (2) 昆野康二ほか：直流遮断器用エネルギー吸収装置の開発，平成 9 年電気学会全国大会，No.1601 (1997)
- (3) 昆野康二ほか：直流遮断器の電流遮断特性，平成 9 年電気学会電力・エネルギー部門大会，No.617 (1997)
- (4) 水間豊ほか：新形直流高速度遮断器の製品化，平成10年電気学会開閉保護研究会資料，SP-98-44 (1998)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。