

電気鉄道変電所用新形直流高速度遮断器

栗飯原 一雄（あいばら かずお）

鈴木 伸夫（すずき のぶお）

菊地 征範（きくち まさのり）

① まえがき

21世紀に向けた電気鉄道電力設備に求められる要件は、運輸技術審議会答申「21世紀に向けての鉄道技術開発のあり方について」にあるとおり、「ライフサイクルコストの低減」「環境調和・省エネルギー」「安全性・信頼性の向上」の3要件に集約できよう。

都市圏を中心とした直流電気鉄道において、き電用変電システムを構成する各機器については着実に技術革新が行われてきた。このなかで、列車運転電力供給の要（かなめ）である直流高速度遮断器は、その技術革新をめざして十数年前から種々の方式が考案されてきたが、上記の要件に照らし合わせると一長一短であったと考えられる。

富士電機は、上記のすべての要件を満足した新形直流高速度遮断器の製品化を完了したので、そのコンセプトと概要について紹介する。

② 現行直流高速度遮断器の課題

直流電気鉄道の初期から使用されてきた直流高速度遮断器は、設備規模によって1変電所あたり2台（単線設備）から二十数台（首都圏超大規模設備）が設置されており、全国の1,200か所の直流変電所で約7,000台使用されている。

直流高速度遮断器は原理的には空気遮断器で、図1に示すような爆発的なアークを発生することにより電流を遮断するものであり、接点やアークシュートの損耗が避けられず、性能や信頼性の維持のためには頻繁な保守点検や調整作業を要し、かつ大きなアークスペースを要するため小形化が困難な機器であった。

さらに、整流器用やき電用として使用されるために主回路機器のうちで最も台数が多く、結果的に「最も台数の多い機器が最も頻繁な保守を要し、小形化も困難である」という問題を抱えていた。

表1に複数のユーザーの実態調査結果から、それを最大公約数的にまとめた直流高速度遮断器の保守点検基準を示

す。

③ 新形直流高速度遮断器の開発コンセプト

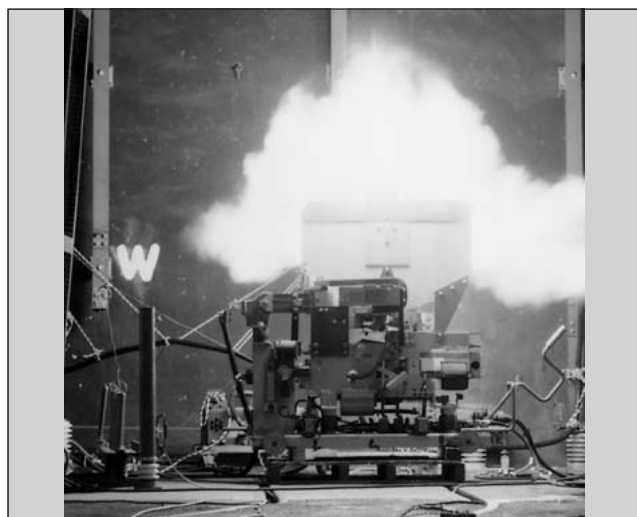
前述の3要件を満足すべく、省保守化、安全性向上および小形化の必須（ひつ）条件を「アークレス方式」に置き、経済性を含めて種々検討した結果、基本方式を転流式高速度真空遮断器とした。

製品の外観を図2に、コンセプトと各要件の実現手段を図3に示す。本装置の製品化の狙いは、ライフサイクルコストの低減と性能・信頼性および安全性の向上にある。

ライフサイクルコストは、イニシャルコスト（初期費用）、ランニングコスト（運転費用）およびリプレースコスト（更新費用）からなる。小形化は省スペース化によるイニシャルコストの低減や、今後ますます増加していく余剰スペースを活用した無停電更新工事でのリプレースコストの低減に直結する。

主接点は真空バルブで構成され、通電損失は微少であるために、ランニングコストは保守点検費用と言い換えることができる。

図1 直流高速度遮断器の遮断状況



栗飯原 一雄

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在、システム事業本部交通・特機事業部通技術第一部主任。



鈴木 伸夫

配電盤の開発・設計に従事。現在、神戸工場配電盤設計部主任。



菊地 征範

真空遮断器、高圧開閉器の開発設計に従事。現在、吹上工場器具設計部。

これを低減するためには、「信頼性を確保しつつ点検周期を長期化できる」ことが必須条件であり、新形直流高速度遮断器の点検周期は、細密点検周期を6年ごととし、そ

表1 現行直流高速度遮断器の保守点検基準（例）

頻 度	点検内容	
	部 位	内 容
1回/半年	消弧装置	アークシュートの損傷 吹消コイルの絶縁、鉄心との締付け
	主接触子	接触面の荒れ、ワイブ測定
	アーク接触子	接触面の荒れ、ワイブ測定、擦合せ
	主回路	ボルト類の締付け、絶縁物の損傷
	投入コイル	固定状態およびコイル、抵抗、リード線の損傷
	保持コイル	コイル・配線・絶縁物の損傷
	磁気保持回路	接触面の発錆（はっせい）、汚損 目盛調整ボルトの位置および緩み
	動作機構	連結ピンなどの摩耗、給油状態
	補助開閉器	連結レバー絶縁棒の異常 開閉器接点、配線の損傷
	操作試験	手動、電磁操作 ダッシュボット・空気吹付装置の動作
	絶縁抵抗測定	主回路 - 大地
1回/年 精密点検	投入操作試験	投入操作電圧・電流
	抵抗値測定	各種コイル・抵抗
	目盛試験	整定値における試験コイル電流・最小保持電流
	各部調整・ばね長測定	投入ばね、開放ばね 主接触子、アーク接触子間隔、ワイブ測定
	絶縁抵抗測定	主回路 - 制御回路 - 大地

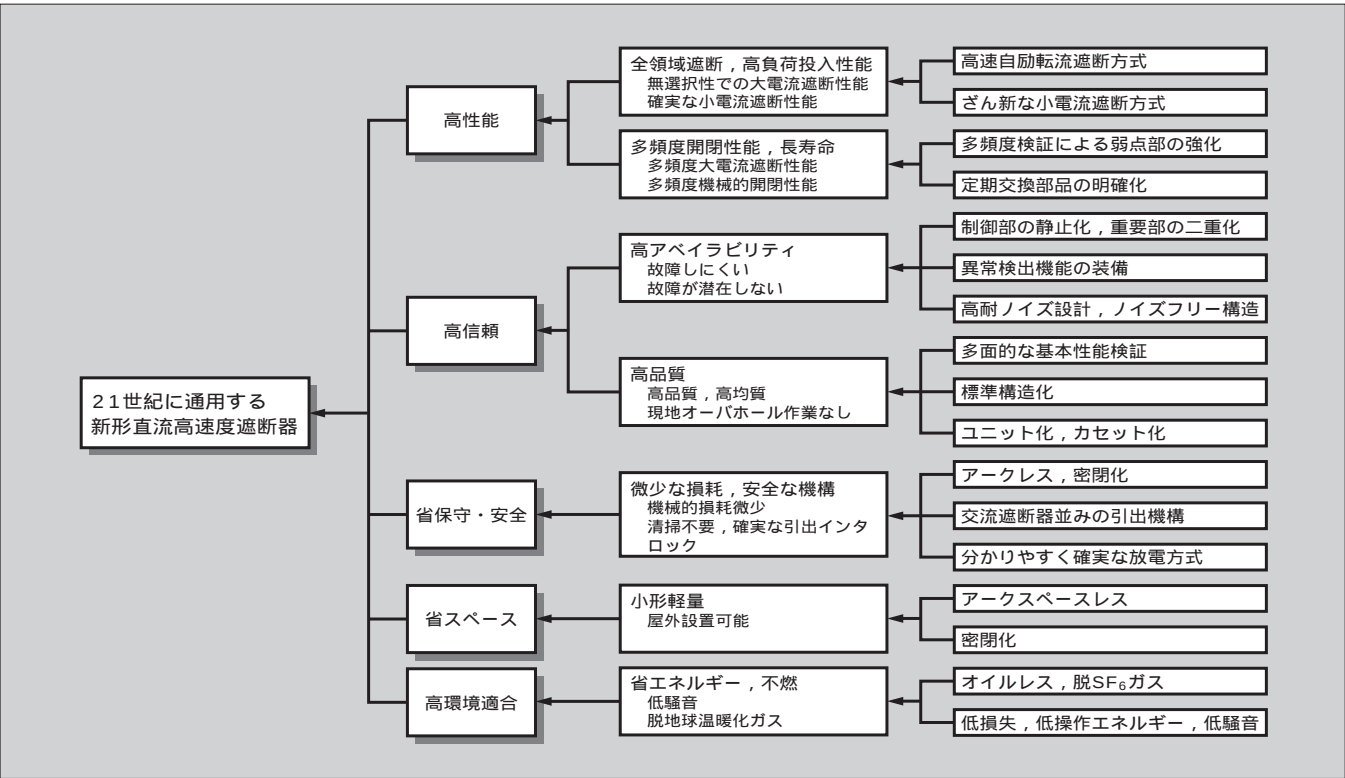
の中間期にきわめて簡易な点検を行うものとした。これは、すでに技術革新により省保守化されてきた機器（ガス絶縁開閉装置、変圧器、整流器、デジタル式制御・保護システムなど）の点検周期と整合できる可能性が高くなるため、保守点検作業の効率化はもちろんのこと、集中的な点検による機能維持レベルの向上も期待できる。保守点検の概要を表2に示す。

性能面では、高速開極による低限流値を実現しているため、選択性〔高い突進率（ di/dt ）の事故電流については、目盛値以下で電流検出することにより高速開極し、限流値を抑制する機能。反面、負荷投入性能が悪化するという短

図2 転流式直流高速度真空遮断器



図3 開発コンセプトと実現手段



所をもつ)のない条件においても、電流目盛(遮断器本体で検出して遮断動作する動作電流値をいう)12 kA で規定の遮断性能を満足する。また、列車補機などの小電流の遮断方式については独特の工夫をすることにより、結果的に

表 2 保守点検の概要

(a) 点検内容				
区 分	点検内容	巡視点検	普通点検	細密点検
全 体	目視点検	○	○	○
	制御電源測定		○	○
	絶縁抵抗測定			○
目盛試験	簡易試験		○	○
	低実電流試験			○
総合動作特性試験	総合開閉特性測定			○
遮断器本体	真空度確認			○
	機構点検			○
	開閉特性測定			○
	消耗部品交換			○
	絶縁抵抗測定		○	○
検出制御装置	電源装置出力電圧測定		○	○
	消耗部品交換			○
反発駆動ユニット	消耗部品交換			○
消弧装置	端子間絶縁抵抗測定			○

(b) 点検基準		
点検種別	実施基準	点検条件
巡視点検	日常	ユーザー点検
普通点検	3年ごと	ユーザー点検
細密点検	6年ごとまたは3,000回ごとの早い方	メーカー点検
臨時点検	臨時	事故遮断100回 動作回数10,000回 異常を認めた場合

確実な全領域遮断性能を実現している。

構造面では、保守の困難化につながらないように工夫をし、アークスペースをなくし、コンパクトな構成によって小形化を実現した。また、アークレスのため、直流高速度遮断器では必須であった電離ガスの換気が不要なために、装置を密閉化でき、この結果清掃が不要となり、屋外設置も可能とした。

なお、地球温暖化に結びつく六フッ化硫黄 (SF₆) ガスを使用しない不燃形コンデンサを採用することにより、不燃化だけでなく、地球環境へも配慮している。

4 動作原理

新形の直流高速度真空遮断器の基本構成を図 4 に、代表的な用語を表 3 に示す。

直流大電流の遮断原理は、「電源電圧を上回る電圧を発生して電流を消滅させる」というシンプルなものである。

表 3 主な用語

用 語	説 明
電磁反発	主バルブに接続された金属板を電磁誘導作用により反発させ、高速開極させる方式
主振動コンデンサ・リアクトル	直流電流に零点を生成するための主振動電流を発生させるコンデンサおよびリアクトル
主真空バルブ	主回路電流を通電するとともに、主振動電流により電流を遮断する真空バルブ
副振動コンデンサ・リアクトル	小電流遮断性能を向上させるために副振動電流を生成するコンデンサおよびリアクトル
副真空バルブ	主回路電流を通電するとともに、副振動回路により小電流を遮断する真空バルブ。外線との絶縁機能をもつ
消弧装置	酸化亜鉛素子で構成された回路エネルギーを吸収する装置
電流検出器	主回路電流を検出するホールCT

図 4 直流高速度真空遮断器の基本構成

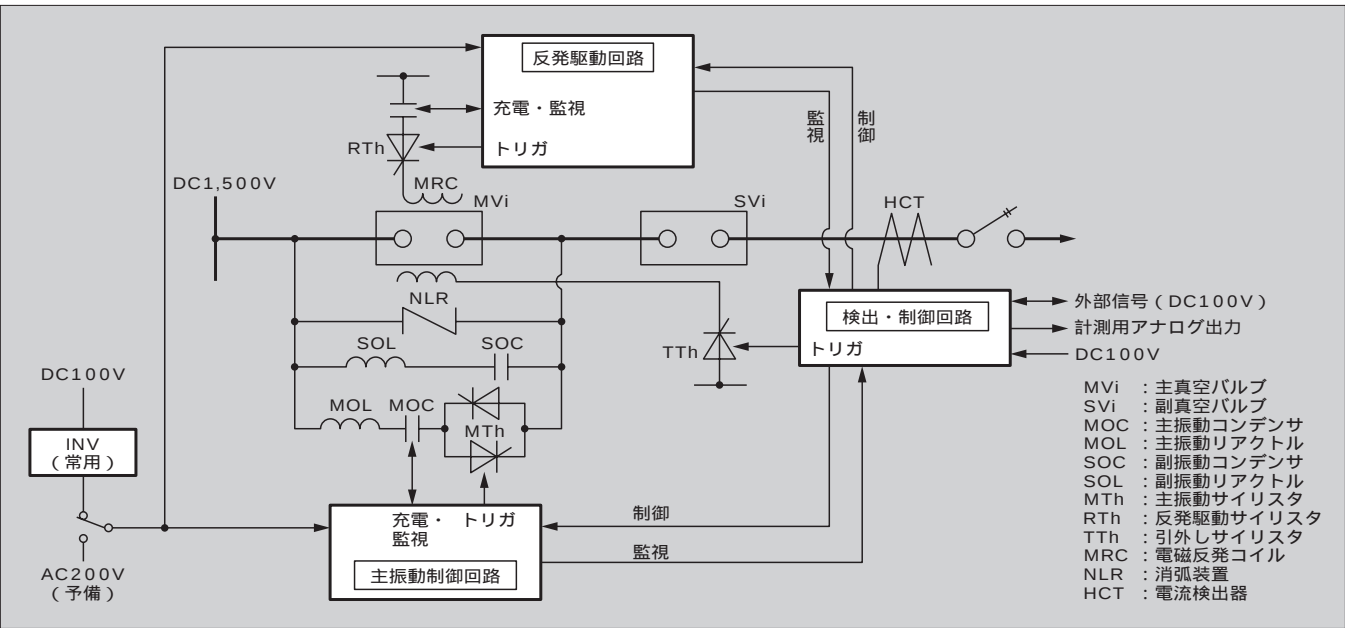
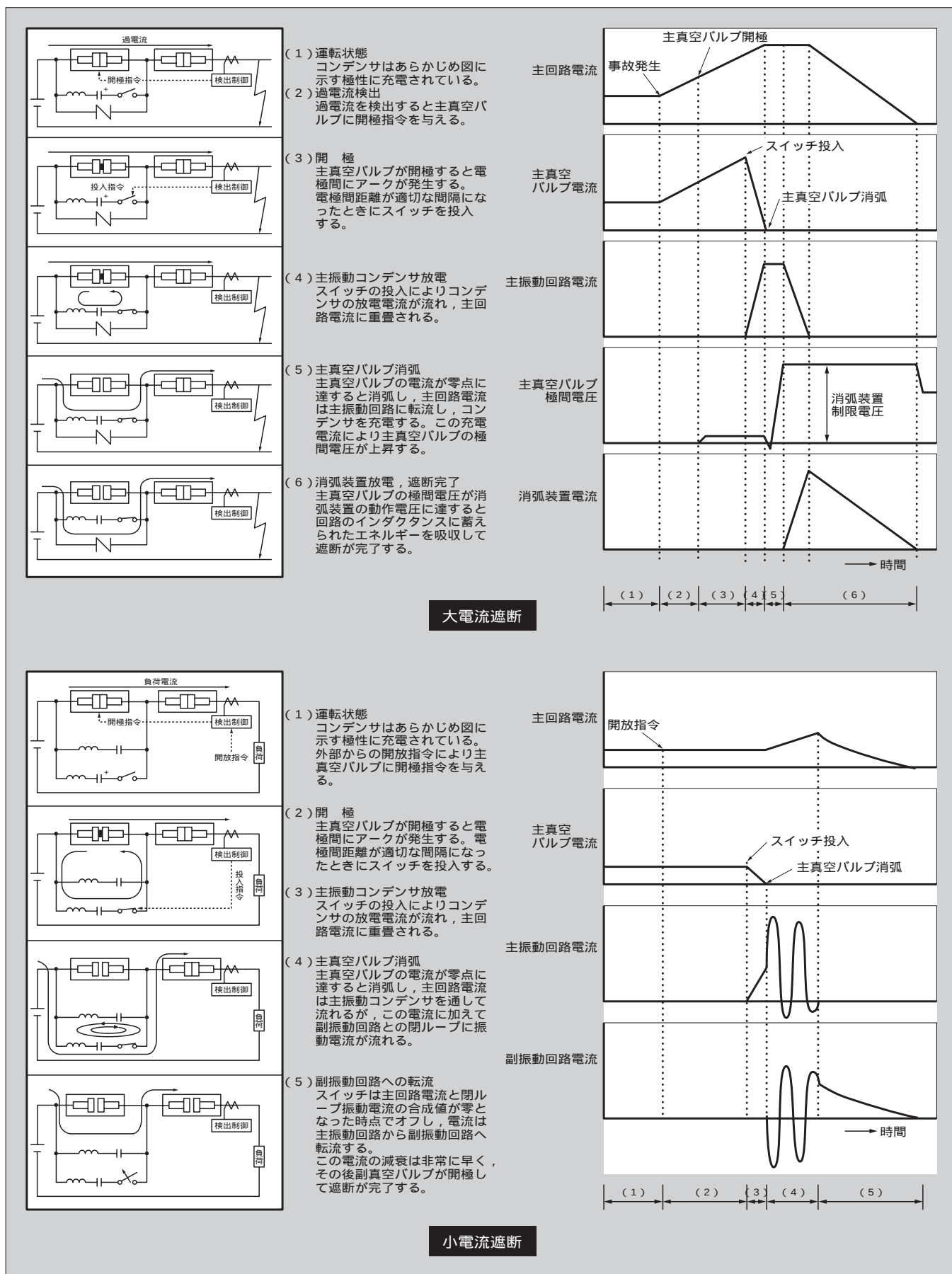
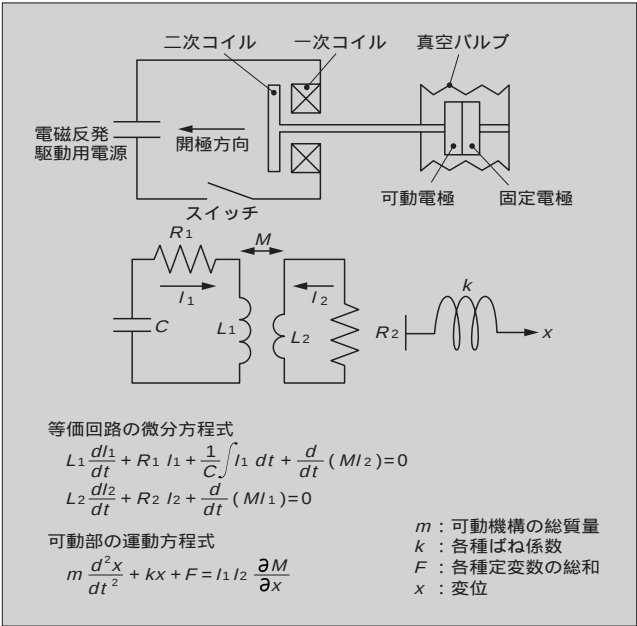


図5 遮断原理



直流高速度遮断器では高いアーク電圧を発生させることにより電流を遮断しているが、本装置では消弧装置の制限電圧によりこれを実現している。

図6 電磁反発駆動方式のモデルと等価回路



一方、小電流を遮断する場合は回路エネルギーが小さいために消弧装置が動作しない領域があり、工夫が必要となる。本装置では副振動回路の機能によって主回路電流を素早く減衰させ、副真空バルブで開放する方式を採用している。また、本バルブは外線との断路機能ももっている。

遮断原理を図5に示す。最大 $3 \times 10^6 \text{ A/s}$ という高い突進率の事故電流を遮断するには、検出後 1 ms 程度での高速な開極が必要であり、一般の交流遮断器の引外しコイルによる開極方式では到底間に合わない。このために図6に示す電磁反発方式を採用している。

なお、電磁反発方式は高速化できる反面、主接点が即時に戻る特性があるため、機械的な保持機構により、安定した開極特性を実現している。

5 仕様

仕様を表4に、検出制御回路の機能を表5に示す。適用規格である JEC-7153 は半導体遮断器について規定されたものであるが、動作原理やエネルギー処理方式が類似しているため、本装置への準用が認められている。

なお、直流高速度遮断器の規格である JEC-7152、さらに実用性能面から旧日本国有鉄道規格 (JRS) も十分配慮

表4 仕様一覧

項目		内容		
装置名称		自動転流式直流高速度真空遮断器		
適用規格		JEC-7153-1991「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」		
構造		屋内（外）用キュービクル形スイッチギヤ（CW）（引出形、主回路シャッタ付き）		
保護等級		IP2X		
装置形式		VDC015-P（BC1,500 V）またはVDC008-P（DC750 V）		
遮断器本体形式		HX5001Y-20Mf-D	HX5001Y-30Mf-D	HX5001Y-40Mf-D
動作方式	投入操作方式	電動ばね方式		
	開極方式	電磁反発駆動による高速開極方式		
	転流方式	振動電流の注入によるコンデンサ転流方式		
	消弧方式	酸化亜鉛素子によるエネルギー吸収方式		
電流検出方式		正方向過電流検出（逆流リレー機能内蔵）または両方向過電流検出		
定格電圧		DC1,500 V または DC750 V		
定格電流		2,000 A	3,000 A	4,000 A
定格遮断容量・動作責務		50 kA（電流突進率： $3 \times 10^6 \text{ A/s}$ ） O - 10秒 - CO		
定格遮断電流		25 kA以下		
定格制限電圧		4,000 V 以下（DC1,500 V）または 2,500 V 以下（DC750 V）		
定格短時間耐電流		75 kA 1秒		
電流目盛		4 ~ 12 kA, 2 ~ 6 kA, 1 ~ 3 kA		
最終選択率		50%（使用/除外設定可能）		
保証動作回数	機械的の開閉	10,000回		
	短絡電流遮断	100回		
耐電圧	主回路	AC5,500 V 1分間 インパルス20 kV		
	制御回路	AC1,500 V 1分間 インパルス4.5 kV		
定格制御電圧		DC100 V		
定格補助電源電圧		AC200 V/100 V		

表 5 検出制御回路の機能

機 能	概 要	
遮断制御機能	電磁反発・主振動・引外しの各タイミングを制御する機能	
	過電流自動遮断	主回路電流を電流目盛および選択特性と照合して遮断する機能
	逆流遮断	主回路電流が一定値以上の逆流の場合に遮断する機能
	指令遮断	外部から開放指令が入力された場合に遮断する機能
充電制御機能	複数回線同時遮断時にコンデンサを順序充電する機能	
異常検出機能	制御電源異常検出機能	
	電流検出器異常検出機能	
	コンデンサ充電異常検出機能	
保安確認機能	コンデンサ放電確認機能	
計 測 機 能	電流計測値出力機能	
インタフェース機能	変電所制御システムとのインタフェース機能	

図 7 装置内部



図 8 遮断器本体機構

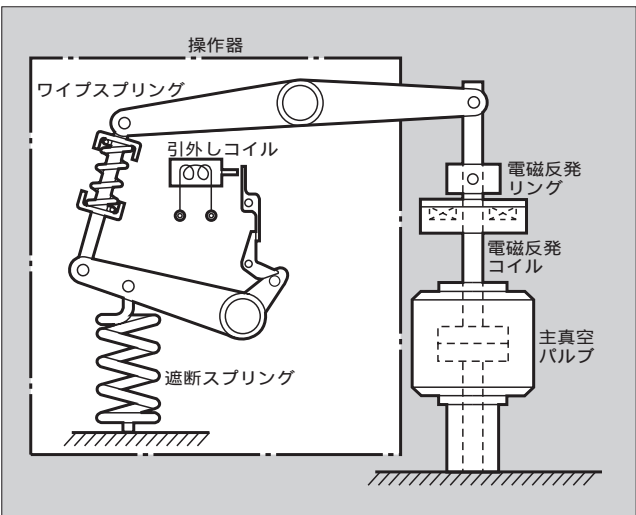
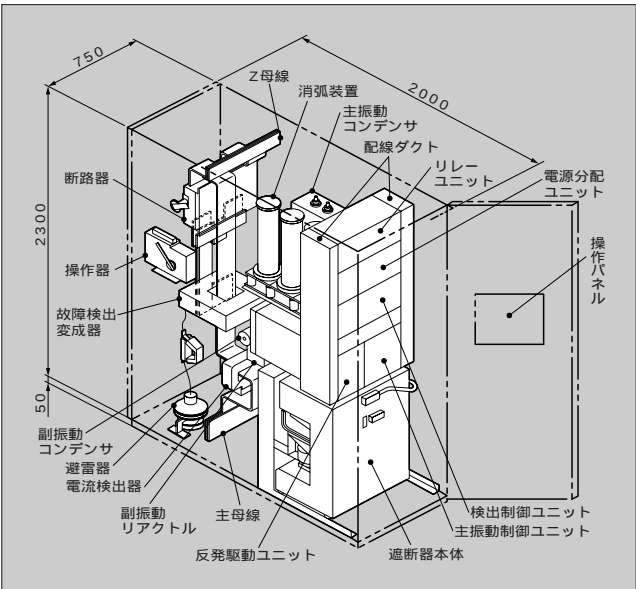


図 9 内部構造



⑥ 構 造

して設計・検証している。

性能上のポイントは以下のとおりである。

- (1) 限流値が非常に低い。規格上の限流値（25 kA）に対して実力値は非常に低く、事故電流による他機器へのダメージが軽減される。
- (2) 確実な全領域遮断性能をもっている。
- (3) 逆流リレー機能を内蔵している。
- (4) 電流目盛範囲が広い。750 V から 1,500 V への昇圧時や将来の負荷増における電流目盛の変更に柔軟に対応できる。
- (5) 短絡電流遮断は 100 回を保証している。これは、高速低限流遮断のために真空バルブ中のアークエネルギーが非常に小さく、短絡遮断を 100 回行っても接点がほとんど消耗しないことによる。

装置内部写真を図 7 に、遮断器本体機構の概念を図 8 に、装置全体の構造を図 9 に示す。投入操作機構は省略しているが、交流遮断器と同様に電動ばね操作方式を採用している。装置の構造上の特長は以下のとおりである。

- (1) 従来の直流高速度遮断器盤に比較して体積比は 50 %（当社比）である。
- (2) 構成機器の機能別ユニット化、および固定部とシステムごとの可変部との構造的区分により、保守点検を容易化するとともに製品の均質化や短納期化を実現している。
- (3) 主回路保護用シャッタ、容易で確実なコンデンサ接地・放電方式などにより保安度を向上させている。
- (4) クリーン回路（DC24V 以下の弱電制御回路）とダーティ回路（DC100V などの強電制御回路）との配線交差を避け、かつそれぞれを独立配線ダクトに収納すること

により、クリーン回路へのノイズ侵入を防止している。

- (5) 消弧装置の容量は最大電流目盛に依存するため、本数調整できるようにしている。

7 あとがき

パワーエレクトロニクス技術の進歩による電動機駆動のインバータ化などにより、鉄道車両はもちろんのこと、世の中の技術は急速に交流化に向かいつつある一方、都市圏の電気鉄道のき電方式は将来とも直流が主流であろう。

本稿で紹介した新形の直流高速度真空遮断器は直流変電所の次世代化の要となる機器であるとともに、技術的には真空遮断器の高速駆動技術、パワーエレクトロニクス技術および電子制御技術を融合した特徴のある製品である。今後とも技術革新はあらゆる分野で急速に進むことが予想され、信頼性はもちろん、保守性、安全性および小形化に優

れ、さらに地球環境に優しい製品を提供していく所存である。

最後に、性能の検証・評価および改良への提言を賜った(財)鉄道総合技術研究所および保守点検の実態調査にご協力いただいたユーザー各位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，No.SP-98-44（1998）

技術論文社外公表一覧

標 題	所 属	氏 名	発 表 機 関
最新パワー半導体デバイスの動向 最新 IGBT の特長とその使い方	松 本 工 場	桜井 建弥	パワーエレクトロニクス研究会（1998-11）
高圧回転機の絶縁診断技術	富士電機総合研究所	中山 昭伸	第128回電気材料技術懇談会（1998-11）
環境調和型水素製造技術	富士電機総合研究所 "	中田 栄寿 西方 聡	平成10年度資源・素材関係学協会合同秋季大会（1998-11）
半導体素子冷却用平板フィンの沸騰伝熱特性	富士電機総合研究所 "	安達 昭夫 糸山 武秀	1998年機械学会 熱工学講演会（1998-11）
燃料電池の産業への普及展望	技 術 開 発 室	中島 憲之	省エネルギーセミナー（1998-12）
最近のマイクロアクチュエータの動向と磁気応用	富士電機総合研究所	中澤 治雄	第58回スピニクス研究会（1998-12）
電力系統運用におけるインテリジェント化技術	富士電機総合研究所	植木 芳照	計測自動制御学会（1998-12）
半導体素子を用いた無誘導解消型電力用限流器の分散電源への適用	富士電機総合研究所 "	磯崎 優 森田 公	電気学会静止器研究会（1998-12）
変圧器巻線の診断方法の検討	変電システム製作所 " 富士電機総合研究所	松山 亮 和田 元生 江上 悌治 川西 敬造	
油入変圧器セクション間モデルにおける誘電率整合効果	富士電機総合研究所 " 変電システム製作所	彦坂 知行 浅田 規 宮本 昌広 高坂 正明	
当社における電磁波解析システムの適用事例	生産・システム企画 室	外園 洋昭	第5回電磁波解析システムセミナー（1998-12）
直列形コモンモード電位変動抑制回路の低損失化の検討	富士電機総合研究所	五十嵐征輝	電気学会半導体電力変換研究会（1998-12）
原子力発電所の個人線量測定動向	東京システム製作所	山村 精仁	第23回アイソトープ放射線総合会議（1998-12）
半導体素子の熱挙動	富士テクノサーバイ	橋本 理	MES 98 第8回マイクロエレクトロニクスシンポジウム（1998-12）



＊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。