

電鉄変電所向け直流高速度遮断器

遠矢将大*
佐々木 央*
仲田知裕*

High Speed Circuit Breaker for Railway Substation

Nobumoto Tooya, Hiroshi Sasaki, Tomohiro Nakata

要 旨

電鉄車両に電力を供給している直流系統(DC1,500V)で、人口が集中する都市圏を中心に、近年運転ダイヤの過密化・車両の構造の変化等によって、電力供給量は増加傾向にある。このような状況から、電鉄変電所に用いられる直流高速度遮断器(High Speed Circuit Breaker : HSCB)には遮断容量の増加要求とともに、HSCBが長年運用されてきた国内規格JEC-7152を踏襲したJIS E 2501-2 種類H₂への適合が求められている。

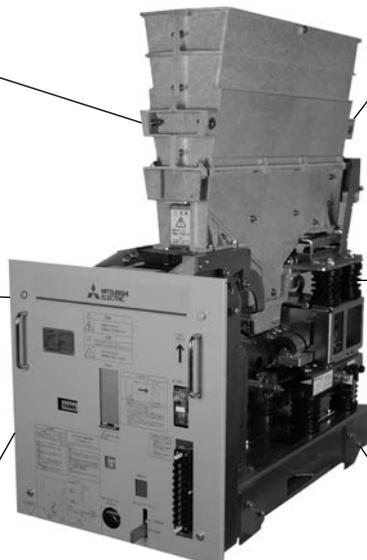
三菱電機は、JIS E 2501-2 種類H₂に準拠し、規格最大の遮断容量である100kAに対応した“JH形”HSCBを開発・製品化した。

開発品の特長は次のとおりである。

- (1) 遮断性能の向上
 - ① 大容量直流遮断(100kA)を達成(従来機種“CH形”HSCBの遮断容量50kAから倍増)
 - ② 高遮断エネルギー領域への適合
 - ③ 小電流遮断性能の向上
- (2) HSCB市場要求への適合
 - ① JIS E 2501-2 種類H₂に適合
 - ② メンテナンス性の向上
 - ③ 従来機種CH形HSCBとの互換性確保

(1) 遮断性能の向上

- ① 大容量直流遮断(100kA)を達成
高速遮断の追求によって気中遮断器(遮断容量100kA)で世界最速^(注1)の遮断時間13msを達成
- ② 高遮断エネルギー領域への適合
規格値よりも大きな高インダクタンス値に対応
- ③ 小電流遮断性能の向上
空気吹き消し装置、磁界の有効利用によって小電流領域でも高速遮断を達成



(2) HSCB市場要求への適合

- ① JIS E 2501-2 種類H₂に適合
国内仕様規格にマッチング
- ② メンテナンス性の向上
消弧室スライド方式の採用で、より安全で容易にメンテナンスを実施可能
- ⑥ 従来機種CH形HSCBとの互換性確保
CH形HSCBと取り合い互換を確保し、短時間で更新が可能

(注1) 2017年1月30日現在、当社調べ

“JH形”HSCBの特長

電鉄変電所向けJH形HSCBは、最新規格への適合、使いやすさ、更新しやすさを追求して市場要求に適合させた。また、高速遮断の追求によって、規格最大の遮断容量(100kA)に対応し、世界最速の遮断時間(13ms)を達成した。

1. ま え が き

直流回路は交流回路に比べ表皮効果がないため送電効率に優れているが、世の中の大部分の電力網は交流で構成されている。その理由の1つとして直流回路では遮断が難しいことが挙げられる。直流回路で短絡等の事故が発生すると、時間とともに電流が増大して遮断に必要な電流ゼロ点が自然には来ないため、遮断が経過時間に比例して困難になる。よって、直流回路を遮断するには高速で遮断することが重要で、限流効果によって電流ゼロ点を強制的に作り出す直流高速度遮断器(HSCB)がその役割を担っている。HSCBの遮断性能が直流回路の遮断容量限界であり、送電効率のよい直流回路の適用範囲を広げるにはHSCBの遮断容量増加が必要となる。現在、高圧(DC1,500V)の直流回路は電鉄の分野で広く用いられ、当社のHSCBも40年以上運用されているが、近年人口が集中する都市圏を中心に、電車本数の増加等によって、HSCBの遮断容量増加が求められている。

このような状況の中、当社は電鉄変電所向けとしてJH形HSCBを開発・製品化した。JH形HSCBは高速遮断を

追求することで、規格JIS E 2501-2 種類H₂の最大遮断容量(100kA)に世界に先駆けて対応し、HSCBとして世界最速の遮断時間(13ms)を達成した。

本稿では高速遮断技術を中心に、JH形HSCBの特長について述べる。

2. JH形HSCBの定格事項

表1にJH形HSCBの定格事項、図1に外観、図2に構造を示す。

3. 遮断性能の向上⁽¹⁾

3.1 大容量直流遮断(100kA)の達成

JH形HSCBは規格JIS E 2501-2 種類H₂の最大遮断容量(100kA)に適合させるため、高速遮断を追求した。JIS E 2501-2 種類H₂ではカットオフ電流(遮断時の電流ピーク値)を55kA以下に制限する規定がある。時間に換算すると13ms以下で遮断を完了する必要がある。カットオフ電流は直流回路で短絡事故が発生した場合に、接続する機器への影響を抑えるために規定しているもので、直流遮断器としてはカットオフ電流が小さい(遮断時間が短い)ほど、

表1. JH形HSCBの定格事項

項目	仕様	
形名	JH-B-20/30	JH-B-40
準拠規格	JIS E 2501-2 種類H ₂	
方向性	両方向	
定格短絡遮断容量(kA)	100	
定格線路時定数(ms)	10	
定格電圧(V)	DC1,500	
定格電流(A)	2,000/3,000	4,000
定格カットオフ電流(kA)	55	
質量(kg)	285	300

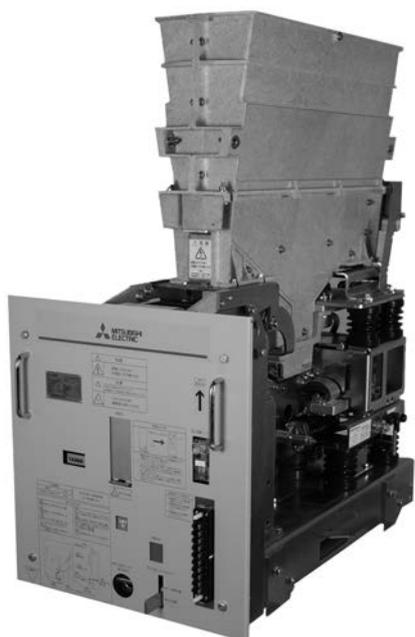


図1. JH形HSCB

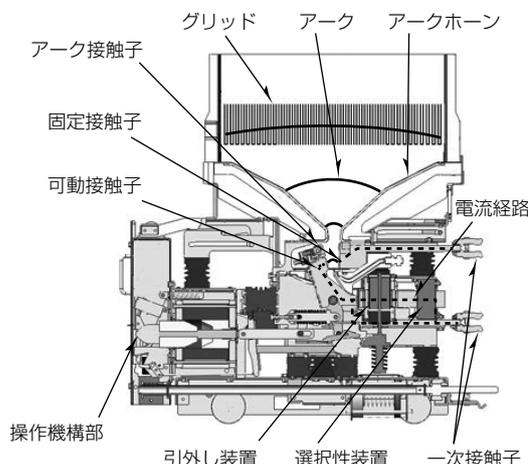
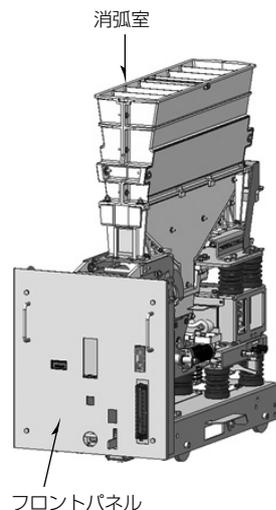


図2. JH形HSCBの構造

遮断性能が優れているといえる。

JH形HSCBは高速遮断を実現するため、次の(1)~(4)の各過程で高速化を追求した。図3に遮断過程を示す。

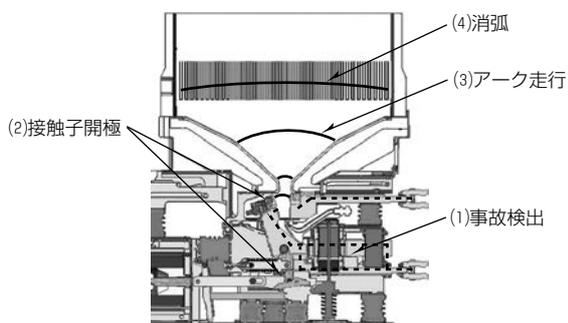


図3. 遮断過程

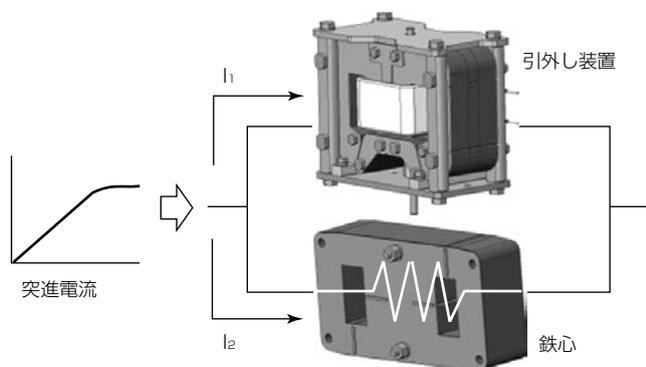
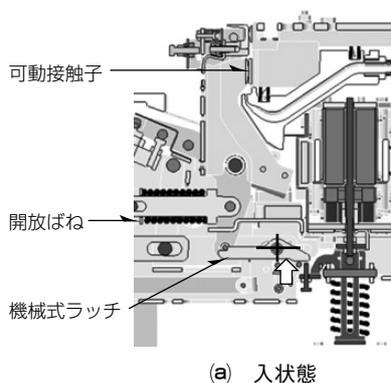
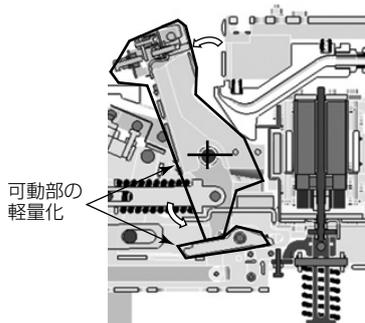


図4. 選択性装置



(a) 入状態



(b) 切状態

図5. 接触子開極

(1) 事故検出⁽²⁾

HSCBには事故電流を検出する引外し装置が内蔵されており、電流が事前に設定した目盛り値を超えると、電磁石として構成された引外し装置が作動して異常な電流が流れたことを検出する。JH形HSCBでは図4に示す選択性装置(引外し装置と並列回路に鉄心を設ける)を採用した。短絡事故時に発生する突進電流(時間変化する電流)によって、引外し装置にはより大きな電流(I_1)が流れ、事故時だけ設定した目盛り値よりも早く事故電流を検出する。

(2) 接触子開極

引外し装置の動作に連動し、機械式ラッチを高速で外し、開放ばねの力で可動接触子が停滞なく開極する。JH形HSCBでは、可動部(可動接触子、機械式ラッチ)の軽量化によって接触子開極の高速化を実現した(図5)。

(3) アーク走行

接触子開極後、接触子間にはアークが発生する。アークは、アーク近傍の電流経路からの電磁力によって、消弧室に運ばれ、消弧室内を広がりながらアークホーンを走行し、グリッドに到達する。

JH形HSCBではアーク周辺に磁極板を配置し、電磁力の有効利用とアーク走行性に優れたアークホーン材の採用によって、アークの高速走行を実現した(図6)。

(4) 消弧

グリッドに到達したアークは、グリッド部にとどめることで、電源電圧と逆方向に発生するアーク電圧が最大となり、限流することで消弧する。

JH形HSCBでは、U字形のグリッドを採用し、安定的にアークをグリッド部にとどめ、再点弧を抑制し、短絡電流の高速限流消弧を実現した(図7)。

(1)~(4)の高速遮断技術によって、JH形HSCBは、世界最速の遮断時間(13ms)を達成した。

3.2 高遮断エネルギー領域への適合

変電所から事故点までの距離に応じて、線路長や高圧リアクトルによってインダクタンス値が上がるため、遮断時の限流効果が減少する。よって、遮断時間が長くなり、遮断エネルギーが大きくなる。JH形HSCBでは、高速遮断を追求したことによって、規格値よりも大きな遮断エネルギー領域に対応できることを確認した(図8)。

3.3 小電流遮断性能の確保

HSCBの遮断原理は、HSCB内に流れる電流が発生する電磁力によって、アークを伸張して遮断するが、小電流(5~500A)では電流が小さいため発生する電磁力も小さくなり、アークが広がらず遮断が困難になる。JH形HSCBでは、空気吹き消し装置の採用(図9)と磁場の有効利用によって小電流遮断性能を向上させ、規格値(15mH)を上回る高インダクタンス(100mH)でも、全ての小電流領域で高速で安定して遮断できることを確認した。

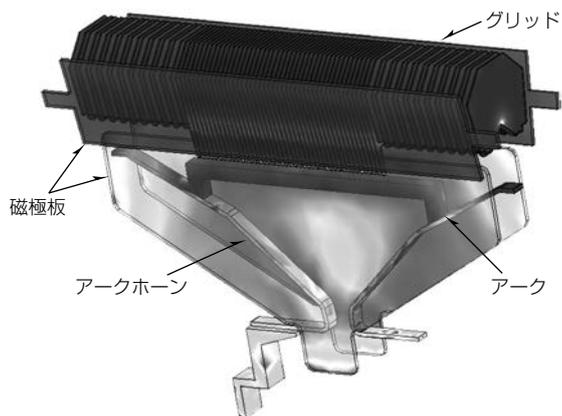


図6. 消弧室内アークの電磁界解析

4. HSCB市場要求への適合

4.1 JIS E 2501-2 種類H₂に適合

国内の電鉄変電所向けHSCBは国内規格JEC-152/7152に準拠し、長年にわたり運用され、規格も国内の使用状況に応じて改定されてきた。一方で国際標準化の観点から、国際規格IEC61992とJEC-7152を統合したJIS E 2501が2010年に発行された。JIS E 2501内では国内規格と国際規格の両方が存在し、国際規格は種類H₁、国内規格は種類H₂と種別されている。JH形HSCBは国内使用環境に適合させるため新規格のJIS E 2501のうち、国内規格を踏襲した種類H₂に準拠した。表2にHSCB規格の比較を示す。

表2に示す比較項目は、国内規格の方がより厳しい規定内容であり、種類H₂に準拠した製品開発で困難なポイントであった。特に遮断時間は国際規格の半分程度に短縮する必要があり、製品開発で最も注力した項目である。

4.2 メンテナンス性の向上

大電流を遮断する気中遮断器では、遮断時に接点が荒れるため、接点部のメンテナンスは欠かせない。一方、遮断

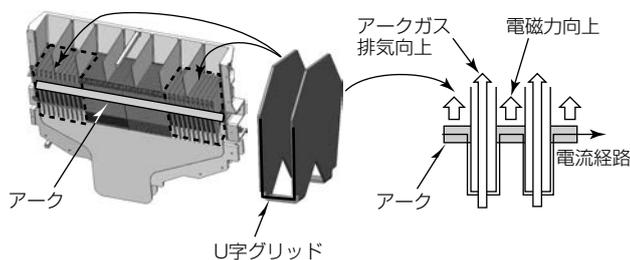


図7. U字グリッド

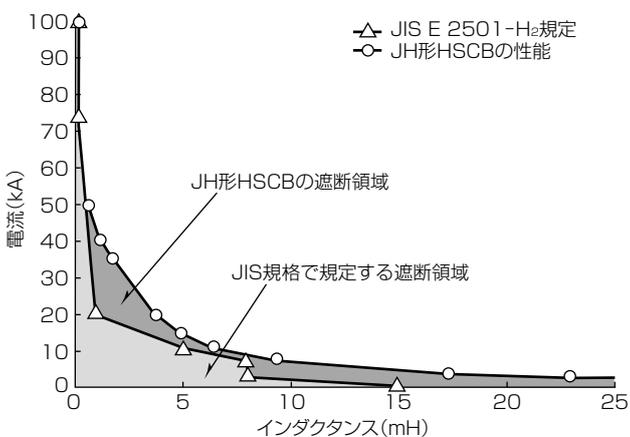


図8. JH形HSCBの遮断領域

表2. HSCB規格の比較

比較項目	IEC61992(国際規格)	JEC-152/7152(国内規格)
遮断時間 (ms)	20	13(相当)
温度上昇値 (K)	100	75
小電流遮断領域 (A)	25~100	5~500

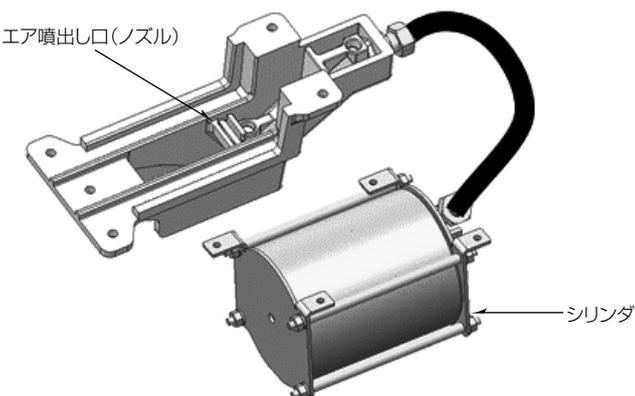
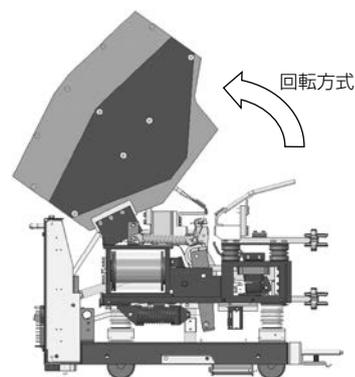
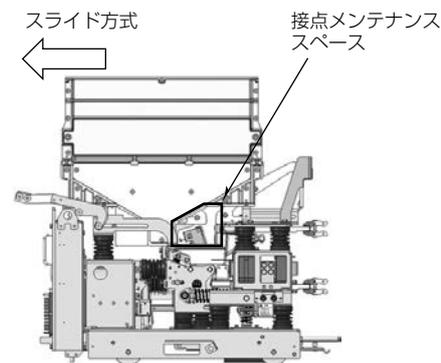


図9. 空気吹き消し装置

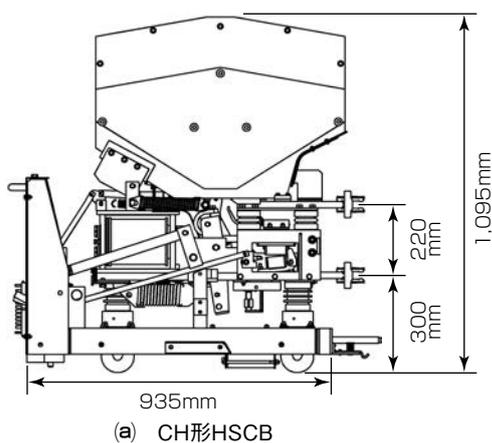


(a) CH形HSCB

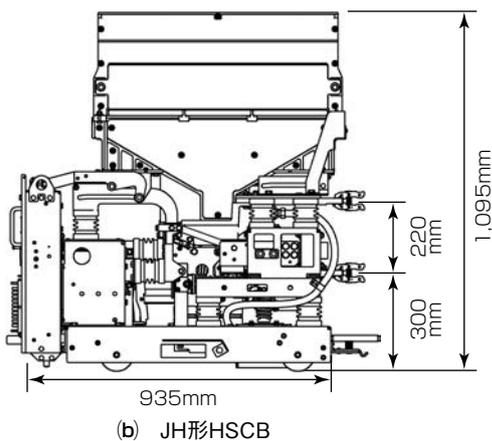


(b) JH形HSCB

図10. 消弧室開閉方式の比較



(a) CH形HSCB



(b) JH形HSCB

図11. 外形・取合部の比較

時に接点近傍で導電性のガスが発生するため、遮断容量の増加に応じて接点近傍の密閉性を向上させる必要がある。しかし、メンテナンスの容易性と接点近傍の密閉性向上は相反する構造となるため、従来機種CH形HSCBでは、メンテナンスの容易性を重視して消弧室を回転移動させる方式を採用していた(図10)。

JH形HSCBでは消弧室の開閉にスライド方式を採用することで、接点のメンテナンスをより安全で容易にしながら、遮断容量の増加(接点近傍の密閉性の向上)を実現した。

4.3 従来機種との互換性

当社従来機種CH形HSCBは約40年の納入実績があり、主に電鉄会社で使用されてきた。HSCBを更新する時間は電車の運行のない夜間の数時間しか取れない場合が多い。よって、JH形HSCBはCH形HSCBと互換性(外形、主回路接続部、制御回路接続部)をとり、短時間でHSCBを更新できる構造とした。JH形HSCBはCH形HSCBと外形互換をとりながら、遮断容量は倍(CH形：50kA⇒JH形：100kA)とし、遮断器としての機能集約を実現した。図11にCH形HSCBとJH形HSCBの外形、取合部の比較を示す。

5. むすび

直流高速度真空遮断器(HSVCB)や半導体遮断器などの直流遮断器のうち、使用実績が最も多く、遮断過程がシンプルな気中遮断器として、高速遮断を追求したJH形HSCBを開発・製品化した。これによって、都市圏を中心とした電車本数の増加要求に伴う、電鉄変電所の容量増加に対応可能となった。また、近年、直流配電は良好な送電効率によって、直流配電ビルなどへの適用拡大が図られており、JH形HSCBで再構築した直流遮断技術を活用し、今後も広がりを見せる直流配電網へマッチした遮断器を供給していくことで、広く社会に貢献していく。

参考文献

- (1) 遠矢将大, ほか：電鉄変電所用直流高速度遮断器の開発, 平成29年度電気学会全国大会 (2017)
- (2) 相良雄大, ほか：電鉄変電所用直流高速度遮断器の高速遮断技術, 平成29年度電気学会全国大会 (2017)