

最近の直流及び交流系統に要求される 遮断器の技術動向

最近の直流及び交流系統に要求される遮断器の技術動向 調査専門委員会編

(発行日 2023年10月30日)

目次	
1. 緒言	03
2. 最近の直流及び交流系統に要求される遮断器の技術動向	04
2.1 最近の電力系統を取り巻く環境と要求	04
2.1.1 環境負荷低減と SF ₆ ガスフリー技術開発	04
2.1.2 地域間電力融通の活性化や送電長距離化と直流送電	05
2.2 最近の電力系統に要求される遮断器技術	06
2.2.1 直流遮断器の開発動向概要	06
2.2.2 交流遮断器 (SF ₆ ガスフリー遮断器) の開発動向概要	06
3. 直流遮断器の技術動向	08
3.1 高電圧直流系統への適用に向けた遮断器技術	08
3.1.1 直流系統の構成と直流遮断器の必要性	08
3.1.2 各種系統・用途に適用される直流遮断器技術と高電圧への適用	25
3.2 高電圧直流遮断器技術	28
3.2.1 直流遮断器の遮断現象	28
3.2.2 高電圧直流遮断器の開発動向	32
3.2.3 技術課題と最新技術	37
3.2.4 試験	39
3.3 まとめと今後の展望	43
4. 交流遮断器技術動向	47
4.1 高電圧交流系統への適用に向けた遮断器技術 (真空遮断器, SF ₆ 代替ガス遮断器)	47
4.1.1 まえがき	47
4.1.2 真空遮断器の高電圧化研究の歴史と現状	47
4.1.3 SF ₆ 代替ガスの探索研究の歴史と発展	47
4.2 高電圧真空遮断技術	49
4.2.1 高電圧真空遮断器の遮断現象	49
4.2.2 開発動向	55
4.2.3 技術課題	66
4.2.4 試験	71
4.3 SF ₆ 代替ガス遮断器技術	74
4.3.1 SF ₆ 代替ガス	74
4.3.2 遮断器開発動向	77
4.3.3 遮断性能	82
4.3.4 技術課題	88
4.3.5 試験	94
4.4 まとめ	95
5. 今後の課題・動向	97
6. 結言	101

最近の直流及び交流系統に要求される遮断器の技術動向

調査専門委員会委員

委員長	皆川 忠郎(三菱電機)	途中退任	萩原 翔太(関西電力送配電)
幹事	常世田 翔(三菱電機)		中小路 元(東京電力パワーグリッド)
幹事補佐	木村 涼(三菱電機)		牧 芳郎(中部電力パワーグリッド)
委員	神足 将司(電力中央研究所)		坂入 利保(東光高岳)
	木村 結花子(東光高岳)		濱邊 真輝(関西電力送配電)
	新海 健(東京工科大学)		石川 渉(東京電力パワーグリッド)
	須貝 元樹(日新電機)	主な	田村 周一(東京電力パワーグリッド)
	田中 康規(金沢大学)	参加者	中島 昌俊(富士電機)
	横畠 系典(東京電力パワーグリッド)		赤星 卓男(三菱電機)
	長竹 和浩(明電舎)		
	中野 雅祥(富士電機)		
	藤山 はるか(関西電力送配電)		
	長谷川 朋寛(東芝エネルギーシステムズ)		
	有 蘭 拓真(中部電力パワーグリッド)		
	森 俊太(日立製作所)		
	横水 康伸(名古屋大学)		

1. 緒言

近年、洋上風力発電を始めとした再生可能エネルギー電源の電力系統への導入が世界的に急速に進められている。特に洋上風力発電では、長距離海底ケーブル送電を必要とするため、高電圧交流送電に比べて長距離送電時の電力損失を抑制できる高電圧直流送電（High Voltage Direct Current: HVDC）システムの適用が欧州を中心に検討されている。また日本国内でも、洋上風力発電への HVDC システムの導入が、NEDO（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の研究プロジェクトなどにより検討されている。現在、世界で運用されている HVDC システムは二か所の交直変換所を結ぶ二端子系統がほとんどであり、直流側系統で事故が発生した場合には、交流側の遮断器により直流事故を除去する。しかしながら、HVDC システムが多端子構成となり大規模グリッド化した場合には、直流側系統で発生した事故の直流系統全体への波及を防ぐため、事故区間を高速遮断し、切離すことが可能な高電圧直流遮断器が必要となる。現状、高電圧直流遮断器は世界的にいくつかの方式が提案されているが未だ製品化はされておらず、研究・開発の段階にある。また、高電圧直流遮断器について準拠すべき規格も存在しないため、規格化へ向けた責務調査や直流遮断器の性能検証試験法の開発なども行われている。

一方、交流遮断器においては、近年温室効果ガスの抑制やゼロエミッションを追及するための循環型社会形成の一環として、電力変電分野の開発、製造、運用においても環境負荷低減が求められている。特に、高電圧開閉機器等の消弧・絶縁媒体として用いられる SF₆ ガスについて、日本国内においては、これまで SF₆ ガス使用量および漏えい量を減らす取り組みが行われ、漏えい量を最小限に低減してきた。一方で、海外では SF₆ ガスフリーに向けた、SF₆ 代替ガス遮断器技術の研究・開発が近年急速に進められている。ここ数年の CIGRE においても SF₆ 代替ガス関連技術が繰り返し優先議題として取り上げられ、例えば、SF₆ に代わる消弧・絶縁媒体として、F-ketone、F-nitrile が提案され、現在フィールド実証試験も実施されている。同様に SF₆ ガスフリー化への対応として、国内外において真空遮断器の高電圧化開発も急速に進められており、実系統への適用の報告がなされている。

なお電気学会においては、過去にも直流遮断器技術、SF₆ 代替ガス遮断器技術、高電圧真空遮断器技術に関わる調査のため、電気学会調査専門委員会が設置され、技術報告が発行されている⁽¹⁻³⁾。

しかしながら、直流及び交流系統に要求される遮断器の技術トレンドの変化が著しく、過去の調査専門委員会の調査活動以降、多くの新しい研究・開発成果が報告されている。このような状況下で、今後の機器開発に対する指針を与えるために、現在の遮断器技術として特に注目度の高い、直流遮断器技術、SF₆ ガスフリーに向けた SF₆ 代替ガス遮断器技術と高電圧真空遮断器技術について、最新の動向および、それら

の遮断責務や適用事例などにつき調査し、体系的に纏めた。主な調査内容を以下に記す。

(1) 再生可能エネルギー電源の電力系統への導入拡大や、欧州における多国間連系、国内における電力融通ニーズの高まりなど、最近の電力系統を取り巻く環境と要求事項について調査を行うとともに、直流及び交流系統で新たな遮断器技術が要求される理由について調査した。

(2) 高電圧直流系統に適用される直流遮断器に要求される特徴的な遮断責務として、高速遮断、電流零点形成、TIV と回復電圧、エネルギー処理などについて整理を行った。また直流遮断器技術として、機械式（限流、自励、他励）、半導体式、ハイブリッド式など各種方式の特徴について調査を行うとともに、DCCB の遮断試験法についても調査した。

(3) 交流遮断器において、地球温暖化係数の大きい SF₆ ガスを使用しない SF₆ 代替ガス遮断器技術の動向を把握するため、代替ガスの候補に挙げられているドライエア、CO₂、F-ketone、F-nitrile 等のガスの物性や、絶縁・遮断特性に加えて、これらのガスを適用した遮断器の開発の状況およびその課題についても調査した。

(4) 交流遮断器に関して、SF₆ ガス遮断器の代替としての適用を目的とする真空遮断器の高電圧・大容量化の開発動向について調査を行った。特に真空遮断器高電圧化のための絶縁性能の向上にかかわる技術課題について調査を実施してまとめた。

引用・参考文献

- (1) 電気学会：「最近の電力系統における開閉責務」，電気学会技術報告，第 774 号 (2000)
- (2) 電気学会：「遮断器の設置環境適応技術と環境負荷低減技術」，電気学会技術報告，第 1430 号 (2018)
- (3) 電気学会：「真空遮断器・開閉器の技術動向」，電気学会技術報告，第 1278 号 (2013)