

電力系統用パワーエレクトロニクス機器の 解析・シミュレータ技術

電力系統用パワーエレクトロニクス機器の解析・シミュレータ技術
調査専門委員会編

目 次

1. まえがき	3	5. 系統解析・シミュレータ・現地試験事例	41
2. 電力系統用パワーエレクトロニクス機器の 解析・シミュレータ技術	4	5.1 HVDC, FC/BTB 事例	41
2.1 解析・シミュレータ技術の必要性と特徴	4	5.1.1 北本 HVDC(函館・上北間)	41
2.2 実効値解析・瞬時値解析概要	5	5.1.2 新信濃 BTB	43
2.3 リアルタイムシミュレータ	6	5.1.3 佐久間 FC	44
3. 系統解析ツール	10	5.1.4 東清水 FC	45
3.1 実効値解析ツール	10	5.1.5 南福光 BTB	47
3.1.1 CPAT	10	5.1.6 紀伊水道 HVDC	50
3.1.2 PSS/E	11	5.1.7 鉄道用 FC	52
3.1.3 PSLF	13	5.1.8 き電側電力融通方式電力補償装置 (鉄道用)	55
3.1.4 PowerFactory	14	5.1.9 INELFE HVDC	57
3.1.5 ASPEN	16	5.1.10 ULTRANET HVDC	59
3.1.6 ETAP	17	5.1.11 BorWin2 HVDC	60
3.2 瞬時値解析ツール	20	5.1.12 Skagerrak HVDC	62
3.2.1 PSCAD/EMTDC	20	5.1.13 Nanao HVDC	63
3.2.2 ATP-EMTP	21	5.1.14 Zhoushan HVDC	64
3.2.3 XTAP	23	5.2 STATCOM 事例	67
3.2.4 EMTP-RV	25	5.2.1 神崎 STATCOM	67
3.2.5 Simscape Power Systems	26	5.2.2 伏木 STATCOM	69
4. リアルタイムシミュレータ	29	5.2.3 東信 STATCOM	70
4.1 アナログシミュレータ	29	5.2.4 犬山 STATCOM	72
4.1.1 電力系統シミュレータ (電力中央研究所)	29	5.3 太陽光発電・風力発電事例	75
4.1.2 模擬送電線設備(中部電力)	31	5.3.1 太陽光発電用パワーコンディショナ	75
4.2 ハイブリッドシミュレータ	33	5.3.2 PCS への HIL シミュレーションの適用	76
4.2.1 PSA(中部電力)	33	5.3.3 風力発電システムの瞬時値解析	77
4.2.2 Hybrisim(電源開発)	35	6. あとがき	80
4.3 デジタルシミュレータ	37		
4.3.1 RTDS	37		
4.3.2 HYPERSIM	38		
4.3.3 RT-LAB	39		

電力系統用パワーエレクトロニクス機器の 解析・シミュレータ技術調査専門委員会委員

委員長	天満耕司(三菱電機)	途中退任	坂本浩樹(北海道電力)
幹事	菅野純弥(東京電力ホールディングス)	委員	松本光裕(東北電力)
	佐野憲一朗(東京工業大学)		細木訓(北陸電力)
幹事補佐	正城健次(三菱電機)		岩根裕典(関西電力)
委員	中島達人(東京都市大学)		松原伸二(四国電力)
	萩原誠(東京工業大学)		松下哲也(九州電力)
	野呂康宏(工学院大学)		真名垣剛(電源開発)
	伊与田功(大阪電気通信大学)		福島和也(理経)
	木村紀之(大阪工業大学)	参加者	加藤修治(東北大学)
	北條昌秀(徳島大学)		白鳥雅史(東海旅客鉄道)
	山口浩(産業技術総合研究所)		盛正憲(北海道電力)
	久野村健(東海旅客鉄道)		千葉純吾(北海道電力)
	菊間俊明(電力中央研究所)		山口哲一(東北電力)
	三浦昭彦(北海道電力)		細越秀男(東北電力)
	阿部公哉(東北電力)		安田斉史(東京電力パワーグリッド)
	高見潤(東京電力パワーグリッド)		野田秀樹(東京電力パワーグリッド)
	山岸良雄(北陸電力)		太田文彦(東京電力ホールディングス)
	松田泰蔵(中部電力)		中信公志(中部電力)
	中居賢男(関西電力)		緒方修二(関西電力)
	三川玄洋(中国電力)		筒井香恵(関西電力)
	斉藤一成(四国電力)		永榮蓉子(関西電力)
	高崎真司(九州電力)		中内誠(四国電力)
	下形竜也(電源開発)		松岡克典(四国電力)
	井上重徳(日立ABB HVDCテクノロジーズ)		藤田将輝(四国電力)
	飯尾尚隆(東芝エネルギーシステムズ)		坂本正栄(九州電力)
	白木一浩(東芝三菱電機産業システム)		山本新平(九州電力)
	篠原博(富士電機)		西村匡史(九州電力)
	渡辺純一(明電舎)		林昌幸(九州電力)
	黒田和宏(日新電機)		岩渕一徳(東芝エネルギーシステムズ)
	齊藤久志(東電設計)		浦部宏之(東芝三菱電機産業システム)
	太田洋佑(理経)		久保敏裕(日新電機)
	加藤直樹(N E A T)		久保田美英(東電設計)
			永田幸一郎(理経)

1. まえがき

わが国においては、電力広域的運営推進機関の設置に伴い、地域間の電力融通や送電網の増強が議論されつつあり、広域運用の観点から広域連系系統の整備について検討が進められている。広域連系系統計画には直流技術の活用を想定した東京中部間連系設備のさらなる増強(周波数変換設備(FC: Frequency Converter))が挙げられ、また北海道本州間の直流送電(HVDC: High-Voltage Direct Current)による連系増強などの計画案も議論されるなど、自励交直変換器を主とした電力系統用パワーエレクトロニクス機器技術の適用が活発化している。

さらに、わが国の電力系統は供給信頼度の高い安定した電力供給を実現しているが、そのような状況下においても系統安定度や電圧面などの系統課題が局所的に顕在化している。この系統課題の解決策として、電力系統用パワーエレクトロニクス機器技術が実用化されており、STATCOM (STATic synchronous COMpensator)をはじめとした大容量自励交直変換器が適用されている。

一方、欧州においても、北海エリアを中心とした大容量洋上ウィンドファームの計画および建設が活発化しており、洋上ウィンドファームと陸上変電所を接続する手段として(新方式である MMC (Modular Multilevel Converter) 方式を含めた)自励直流送電を適用したプロジェクトが複数実用化されている。また、洋上ウィンドファームと陸上変電所を交流送電により接続する場合においても、陸上変電所側の電圧変動抑制対策として STATCOM を適用した事例が多い。また、電力系統用パワーエレクトロニクス機器技術は前述の送変電設備だけでなく、ウィンドファームやメガソーラといった再生可能エネルギーなどの分散形電源にも広く適用されている。このように、電力系統用パワーエレクトロニクス機器は将来の電力系統に有益な電力用機器としての潜在能力を秘め、電力送電手段として、系統諸問題対策として今後さらに適用が広がる可能性がある。

これらの電力系統用パワーエレクトロニクス機器の導入計画、機器の設計製作等の実務や学術研究にあたっては、机上検討だけではなく、系統解析ツールやリアルタイムシミュレータが強力な検討手段である。このパワーエレクトロニクス機器を含む系統解析は、パワー半導体デバイスのオンオフ動作という高速かつ非線形性が強い現象と、電圧変動や電力動揺ほかの相対的に緩やかな系統現象が混在する点などにおいて、通常の交流系統解析とは著しく異なるため、解析に際しては独特な考慮や注意が必要となる。また解析やシミュレータ技術を支える計算処理技術も、グラフィカルユーザーインターフェース(GUI)の進歩、64bit 対応やマルチコア対応、プログラム上の電力系統と外付けの変換器モデルや制御盤のハードウェアとを組み合わせ動作させる HIL (Hardware in the Loop) への対応強化など、性能向上が進んでいる。

これらの状況を踏まえ、電力系統用パワーエレクトロニクス機器の解析技術、シミュレータ技術を調査し、解析ツール、解析手法、解析事例、また機器の効果検証などに重要な役割を担うシミュレータ技術、試験例などを取りまとめることとした。STATCOM、自励直流送電のような電力系統用パワーエレクトロニクス機器を電力系統へ適用する際の計画、設計、製作、運用等に関わる技術者・研究者に有益な情報を提供することを目的として、「電力系統用パワーエレクトロニクス機器の解析・シミュレータ技術調査専門委員会」が平成 28 年 10 月～平成 30 年 9 月までの 2 年間設置され、計 12 回の委員会が開催された。本技術報告はこの調査専門委員会での調査結果をまとめたものである。

調査を実施した項目は下記のとおりである。

第 2 章 電力系統用パワーエレクトロニクス機器の解析・シミュレータ技術

電力系統用パワーエレクトロニクス機器を扱う視点に立った解析・シミュレータ技術の必要性および特徴を概説している。電力系統用パワーエレクトロニクス機器の技術検討では、電力系統に対する効果、機器主回路を含めた系統現象、高度な制御保護装置の方式検討や検証など対象範囲が広く時間領域も異なり技術検討項目が多岐に渡る。そのため検討対象に応じた手法の概要を述べている。

第 3 章 系統解析ツール

電力系統用パワーエレクトロニクス機器を計画、導入する際の仕様検討や実器の詳細設計検討に系統解析ツールが使用される。系統解析は実効値解析と瞬時値解析に分かれるが、各解析に使われる系統解析ツールの概要、特徴などを調査した結果を述べている。

第 4 章 リアルタイムシミュレータ

電力系統用パワーエレクトロニクス機器は高度な制御保護機能を有するため、系統事故時の振る舞いや、安定度向上など機器導入目的の確認を行うが、実際の電力系統で試験、検証することは困難な場合が多く、電力系統を模擬できるリアルタイムシミュレータを用いて行うことが多い。リアルタイムシミュレータは構成要素によりアナログ、ハイブリッド、(リアルタイム)デジタルのタイプに分類できる。それぞれのシミュレータの調査結果を述べている。

第 5 章 系統解析・シミュレータ・現地試験事例

HVDC・FC/ BTB (Back to Back), STATCOM, ウィンドファーム・メガソーラなどの実際のプロジェクトで実施された解析・シミュレータ技術を調査した。特に国内外の HVDC や STATCOM を中心に各プロジェクトで得られた調査結果として系統解析事例、シミュレータ活用事例、現地試験事例について述べている。

今後、電力系統用パワーエレクトロニクス機器に関連される読者の方々の参考となれば幸いである。