

マイクロ・スマートグリッドと直流給電技術

Micro/Smart Grid and DC Power Supply Technology

雪田和人*

1. はじめに

2018年7月に公表された「第5次エネルギー基本計画」では、「再生可能エネルギーは経済的に自立し「脱炭素化」した主力電源を目指す」と述べられている⁽¹⁾。この計画では、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に環境への適合（Environment）を図り、安全性（Safety）を担保しながら最大限の取り組みを行う「3E + S」として、この中で太陽光発電については、大規模に開発できるだけでなく、個人も含めた需要家に近接したところでの自家消費や地産地消を行う分散型電源としての利用も可能であることが報告されている。しかし、発電コストが高く出力不安定など、安定供給上の問題があることから、さらなる技術革新が要求されている。

そこで、太陽光発電に関する問題を解消するために、これまでに、電力系統への蓄電装置⁽²⁾の導入、水素利用技術⁽³⁾やスマートグリッドの構築⁽⁴⁾など

が提案されてきている。さらに、スマートグリッドに直流給配電技術を導入することにより、上述した計画の、「エネルギー供給構造の強靱化と推進」「国内外で温室効果ガスの排出削減を実現するための地球温暖化対策への貢献」などの項目への対応ができるものと思われる。

本稿では、国内におけるマイクロ・スマートグリッドと直流給配電に関する動向、直流マイクロ・スマートグリッドの実証事例について述べる。

2. マイクロ・スマートグリッド

マイクログリッドは、1999年に米国・エネルギー省ローレンスバークレ国立研究所が中心となり、CERTS（The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions：電力供給信頼性対策連合）によって提案された⁽⁵⁾。しかしながら、マイクログリッド型のエネルギー供給システムとしては、表1のような分類がなされている。このマイクログリッドの導入意義は、各国で異なる観点で評価されており、特に欧州や日本においては、再生可能エネルギーによる発電システムの導入拡大の観点が強

表1 マイクログリッドの分類と構造⁽⁶⁾

導入主体／	電力会社		産業施設、商業施設		未電化地域
導入先	都市ネットワーク	地方のフィーダー	複数施設	単一施設	非電化・孤立地域
用途	都市部	計画的な自立運転	工場団地	商用ビル	
			大学	マンション	
			ショッピングセンター		
規模	数MWから		100 k Wから数MW		数 k Wから数十kW
主な動機	供給停止対応、再エネの導入		電力品質、信頼性向上、 エネルギー効率向上		遠隔地の電化と燃料消費の削減
運転モード	連系／自立運転		連系／自立運転		完全自立運転
	完全自立運転		完全自立運転		
利益	温室効果ガス削減		プレミアムサービス		供給可能性 再生エネの導入 温室効果ガス削減 需要マネジメント
	エネルギー源の多様化		サービスの差別化		
	混雑管理		CHPの導入		
	設備更新の延期		需要マネジメント		
	アンシラリーサービス				

* 愛知工業大学 エコ電力研究センター

い。さらに、日本においては、省エネルギー、二酸化炭素削減に加えて、地域資源の活用の観点も重要視されている。

一方スマートグリッドは、2009年頃に日米欧で普及に向けた議論が本格化し、各国のエネルギー事業や政策により異なる目的をもって発展してきた。国内において注目すると、スマートグリッドは次世代電力送電網あるいはスマートコミュニティとも定義されている。このスマートグリッドは、2011年以前、地球環境問題、エネルギーコストの削減およびエネルギーセキュリティの確保を目的として、エネルギーネットワークとIT技術の融合による新しい電力供給網の構築として実施されてきた。そして、2011年からは東日本大震災に起因した電力需給バランスの崩壊による高信頼度電力供給システムへの信頼度の喪失のため、国策としてスマートグリッドの構築が実施されてきている。このため、このようなスマートグリッドは、特に需給バランスの乱れを防ぐ系統安定化対策、需要抑制対策、省エネルギー対策としての側面が注目されてきている。そこで、電力の消費から利用への意識改革、スマートメータやエネルギーマネジメントシステム（EMS）による需要抑制、デマンドレスポンス（DR）、バーチャルパワープラント（VPP）などに関する研究が実施されている。

これら技術の変遷を考えてみると、2009年におけるスマートグリッドの技術分野における国際標準化を推進すべき7分野・26重要アイテムが公表されている⁽⁶⁾。そして、2016年1月にスマートグリッド関連技術で今後国際標準化に注力すべき18項目が報告されている。表2に、スマートグリッド関連技術で今後国際標準化に注力すべき18項目を示す⁽⁷⁾。

このような技術進展がなされているスマートグリッドであるが、再生可能エネルギーを用いた発電

装置と蓄電装置があることから、発電と電力消費に関しての省エネ化を図るため、発電した電力を交流変換することなしに積極的に直流給電で用いる直流マイクログリッドが注目され、多面的な実証試験などが行われてきている。

3. 直流給配電システム

直流給電システムは、現在までに、通信ビルやデータセンターにおいて積極的に導入が進んでいる。さらに、省エネルギーや災害時における事業継続計画（Business Continuity Planning：BCP）などの観点から、工場、住宅においても検討がなされている。図1に宅内における直流給電の構成と現行の交流給電によるイメージの比較を示す。同図に示すように、交流給電の場合、太陽光発電システムから情報通信機器への給電には、4回の直流—交流の電力変換が必要である。一方、直流給電となると、電力の変換回数が削減できることがわかる。このように直流給電システムは、現在注目されているため、国内においても多くの実証試験がなされている。

図2に、直流技術を導入したDCマイクログリッドに関して、これまで実証試験がなされたサイトあるいは、継続して実施している代表的なサイトを示す⁽⁹⁻²²⁾。同図に示すように、約16か所のサイトがあり、多面的な研究がなされていることがわかる。直流給配電のメリットとして、宅内における機器に関しての試算結果を文献⁽²³⁾から引用して表3に示す。同表に示すように、エアコンとLED照明においては、直流技術を導入することにより、負荷側効率改善が5%と7%との結果であることがわかる。

表2 スマートグリッド関連技術で今後国際標準化に注力すべき18項目⁽⁷⁾

区分	大分類	注力すべき標準化の領域	区分	大分類	注力すべき標準化の領域
1. 水準技術	IT/通信	1. 領域のシステム間連携 (TCST連携)	2. システム	1. 領域のシステム間連携	1. 領域のシステム間連携
	セキュリティ	2. セキュリティ		2. セキュリティ	2. セキュリティ
	標準	3. 標準		3. 標準	3. 標準
2. システム	送配電網の管理システム	4. 送配電系統、広域監視制御システム 5. 配電自動化システム、系統向けEMS/SCADA 6. 分散型電源管理システム (出力制御、充放電管理、蓄電電圧の管理システム、PV、BESS等を含む)	3. 電力システム	4. 送配電系統、広域監視制御システム 5. 配電自動化システム、系統向けEMS/SCADA 6. 分散型電源管理システム (出力制御、充放電管理、蓄電電圧の管理システム、PV、BESS等を含む)	4. 送配電系統、広域監視制御システム 5. 配電自動化システム、系統向けEMS/SCADA 6. 分散型電源管理システム (出力制御、充放電管理、蓄電電圧の管理システム、PV、BESS等を含む)
	7. 送配電用パワーエレクトロニクスシステム			7. 送配電用パワーエレクトロニクスシステム	
	スマートエナジーグリッド (水素含む)、マイクログリッド、VPP			8. スマートエナジーグリッド (水素含む)、マイクログリッド、VPP	
	XEMS、デマンドレスポンスシステム			9. XEMS、デマンドレスポンスシステム	
				10. その他 (省エネ、環境負荷)	

(注) スマートグリッド国際化戦略ロードマップの検討結果

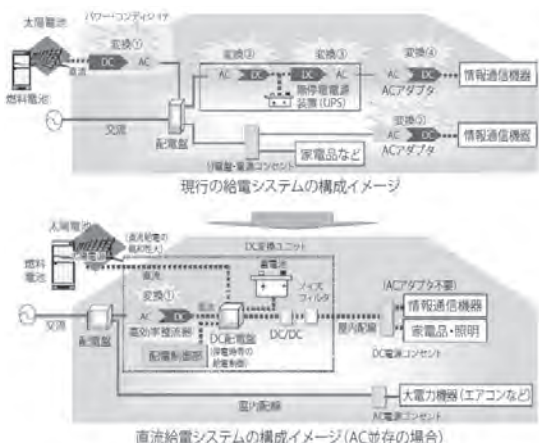
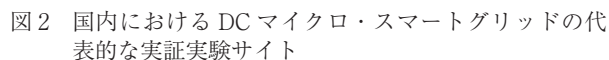


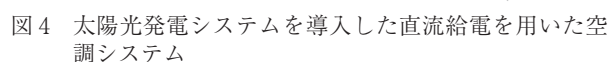
図1 交流給電と直流給電システムの構成イメージ⁽⁸⁾

図3に、愛知工業大学で実施している AC/DC ハイブリッド型マイクログリッドのシステム構成を示す。同図では、再生可能エネルギーが直流-交流変換装置を介して交流系統に連系している場合を交流グリッドシステム、再生可能エネルギーが直流-直



区分	機器名	備考	1台の消費電力 (Wh/年)	台数	消費電力 (Wh/年)	構成比	電源側 DC/AC 削除による 効率改善量	直流化による負荷 側効率改善量	家庭全体に占める 効率化比率
冷暖房	エアコン	2.2kW	700	3	2100	33.2%	3.0%	5.0%	2.66%
冷蔵庫	冷蔵庫	500L	300	1	300	4.7%	3.0%	2.0%	0.24%
給湯	エコキュート		600	1	600	9.5%	3.0%	2.0%	0.47%
厨房	Htクッキングヒータ		600	1	600	9.5%	3.0%	3.0%	0.57%
	電子レンジ		70	1	70	1.1%			
	炊飯器		100	1	100	1.6%			
照明	LED照明	6ヶ8畳用	120	4	480	7.6%	3.0%	7.0%	0.76%
テレビ	液晶TV	40インチ	150	2	300	4.7%			
	レコーダ		80	1	80	1.3%			
その他	その他（従来と変わらないと仮定）					1696	26.8%		
合計					6326	100.0%			4.70%

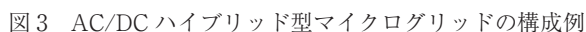
このシステムにおいて、直流負荷に関しては、LED 照明、LED テレビ、空調機器などを導入して直流給電の実証試験を実施した。このときの空調機器における実験構成を図 4 に示す。同図に示すように、太陽光発電システムの出力が直流変換器を介して空調機器の室外機へ電力供給する場合である。この実験に使用した空調機器の仕様を表 4 に示す。図 5 は、直流給電と交流給電を実施した場合の電力特性、と電圧特性を各々示す。同図において、太陽光発電システムを用いた直流電力のみを用いた場合と交流電力のみを用いた場合とを比較すると、直流給電のみを用いた場合が、約 5.5% の消費電力の低減



(a)室内機

(b)室外機

Outdoor unit	
Rated voltage	100V
Rated frequency	50/60Hz
Compressor electrical motor output	600W



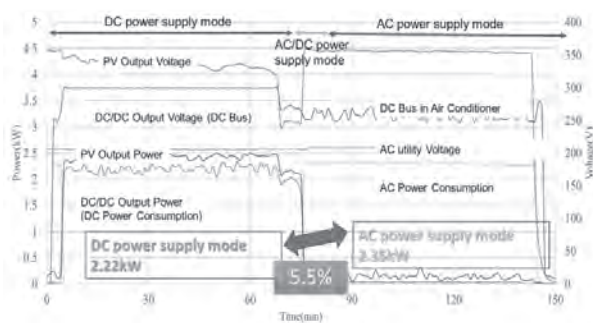


図5 太陽光発電装置を導入した空調機器の電力と電圧特性

が見られた⁽²⁴⁾。

5. まとめ

本稿では、現在のマイクロ・スマートグリッドと直流給配電技術における研究動向について紹介した。特に、マイクロ・スマートグリッドに直流給配電技術を用いた直流マイクロ・スマートグリッドについて、これまでの実証試験や直流給配電技術の有効性について述べた。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：エネルギー基本計画，2018年7月
- 2) 三菱総合研究所：定置用蓄電池の普及拡大及びアグリゲーションサービスの活用に関する調査，2017年2月，https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000479.pdf
- 3) 例えば：入江寛：太陽光を利用した水素製造，新技術説明会 https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/14/1462/ucip_01.pdf
- 4) 九州電力株式会社：スマートグリッド実証成果，平成29年3月31日，<http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0108/2828/9kbwm2o0x67ct4.pdf>
- 5) Japan Smart Community Alliance テクニカルライブラリー「マイクログリッド／マイクログリッドとは？」 https://www.smart-japan.org/reference/13/Vcms3_00000130.html（令和元年8月最終アクセス）
- 6) 田場盛裕：戦略的な国際標準化への取組の重要性とスマートグリッドにおける状況，2011年3月経済産業省産業技術環境局基準認証政策課 <http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/jec/jec100/doc/jec100-13.pdf>（令和元年8月最終アクセス）
- 7) 合田忠弘：スマートコミュニティーサミット2017，日本におけるエネルギーシステムの国際標準化動向 <http://www.nedo.go.jp/content/100866066.pdf>（令和元年8月最終アクセス）
- 8) 雪田和人，武田隆：直流給電システムの技術動向，電気学会誌135（6），366-369，2015
- 9) 株式会社NTTファシリティーズ「自立・分散型エネルギー社会の実現に向けた直流方式による地域間相互エネルギー融通システムの開発」
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/prod2014/p20140202.pdf
- 10) 秋田県資源エネルギー産業課「秋田県大潟村における直流グリッド実証の御紹介」 http://www.jst.go.jp/pr/img/sjsympo2010/presentation_yamakami.pdf
- 11) 小野善幸，呉国紅：「ハイブリッドマイクログリッドにおける直流安定化制御の実験研究」平成25年度電気関係学会東北支部連合大会No.2D05
- 12) 株式会社NTTファシリティーズ「震災時も発電し続けた仙台マイクログリッド」 http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/minkan_torikumi/3_3/0304.pdf
- 13) 株式会社NTTファシリティーズ「自立・分散型エネルギー社会の実現に向けた直流方式による地域間相互エネルギー融通システムの開発」
http://ider-project.jp/stage1/feature/00000059/event_59.pdf
- 14) 筑波大学「分散エネルギー連携システム」
http://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/3ef/7th/pdf/7th3E_session1.pdf
- 15) 株式会社東芝「スマートDCオフィスが第9回エコプロダクツ大賞節電優秀賞を受賞」
http://www.toshiba.co.jp/about/press/2012_11/pr_j2802.htm
- 16) 愛知工業大学「C.C. グリーングリッドの開発」
https://www.ait.ac.jp/facility/assets/docs/new-energy_09.pdf
- 17) 三重大学「三重大学におけるスマートキャンパスの取り組み」
http://fm.campus.provost.nagoya.ac.jp/program/2015/150129/150129_FM_ppt3.pdf
- 18) 山野裕輝，武智滉司，柿ヶ野浩明，大橋誠：「宅内直流システムに適用可能な受動性に基づく安定化手法の実験的検証」電気学会論文誌D Vol.137（2017）No.8 P631-638
- 19) MONOist「大規模スマートコミュニティーを

- 2013年に建設, 東芝が大阪で計画」 <http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1109/30/news082.html>
- 20) 神戸大学「離島・漁村における直流技術による自立分散エネルギーシステム技術の実証研究」
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/prod2014/p20140302.pdf
- 21) FUKUOKA SMART HOUSE「福岡スマートハウスコンソーシアム」 <http://www.smartenergy.co.jp/fukuoka/consortium.html>
- 22) Sony CSL「OES- 沖縄科学技術大学院大学(OIST)でのプラットフォームの構築」 <https://www.sonycs.co.jp/tokyo/289/>
- 23) 川村博史, 「300V以上の電圧を用いた宅内直流給電の技術の現状と課題」, EMC, No.298, pp.37 (2013)
- 24) 細江忠司, 雪田和人, 松村年郎, 後藤泰之, 廣瀬圭一, 蓄電装置と直流給電を用いた空調機器の一検討, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No.11, pp.919-927, 2018

著者略歴



雪田和人 (正員)

1997年3月東海大学大学院博士後期課程修了. 同年愛知工業大学助手. 1998年同講師. 2003年同助教授. 2012年同教授, 現在に至る. 主として電力システムの運用・制御に関する研究に従事. 2013年エネルギー資源学会学会賞, 2010年電気学会学術進歩振興賞受賞.