

風力発電の大量導入技術

風力発電の大量導入技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	3	4. 各国動向	41
2. 風力発電大量導入と電力系統への影響	4	4.1 概要	41
2.1 電力系統の概要	4	4.1.1 各国の風力発電の導入状況	41
2.2 風力発電の系統連系	4	4.1.2 柔軟性	42
2.2.1 系統連系方法	4	4.1.3 連系線	43
2.2.2 風力発電所	5	4.1.4 揚水発電	44
2.3 出力変動特性とその影響	6	4.2 デンマーク	44
2.3.1 集合化, 平滑化効果	6	4.2.1 デンマークの系統	44
2.3.2 需給調整への影響	7	4.2.2 分散形電源の柔軟性	45
2.3.3 電圧への影響	10	4.2.3 電力市場	45
2.4 事故時現象	11	4.2.4 系統解析ツール	45
2.4.1 事故時における風車の一斉解列問題	11	4.3 アイルランド島	45
2.4.2 慣性力の低下による周波数変動問題	11	4.3.1 はじめに	45
2.4.3 過渡安定度	12	4.3.2 電力系統の特徴	46
3. 風力発電の大量導入を実現する先進的技術	13	4.3.3 風力発電導入の状況	46
3.1 需給調整	13	4.3.4 系統問題の検討例	47
3.1.1 出力予測	13	4.4 スペイン・ポルトガル	48
3.1.2 電源運用	15	4.4.1 はじめに	48
3.1.3 出力抑制	19	4.4.2 系統安定化へのアプローチ	48
3.1.4 電力貯蔵	21	4.4.3 イベリア半島卸電力市場 (MIBEL)	49
3.1.5 連系線の利用	25	4.4.4 風力大量導入下における系統制御	49
3.1.6 電力市場	26	4.4.5 TWENTIES プロジェクト	49
3.1.7 デマンドレスポンス	28	4.5 ドイツ	49
3.2 電圧管理	30	4.5.1 はじめに	49
3.2.1 風車の系統連系による影響の緩和	30	4.5.2 需給計画・運用	49
3.2.2 風車の無効電力制御による系統貢献	30	4.5.3 系統計画・運用	50
3.2.3 電圧解析の新しい手法	30	4.6 アメリカ合衆国	52
3.3 事故時対応(FRT)	31	4.6.1 米国の風力発電の導入状況	52
3.3.1 Grid Code	31	4.6.2 北米の電力系統	53
3.3.2 瞬時電圧低下に対する FRT 要件	31	4.6.3 テキサスにおける風力発電の系統連系	53
3.3.3 有効電力制御	33	4.6.4 東部系統における風力発電の系統連系	54
3.3.4 周波数調整	33	4.7 日本	55
3.3.5 適用範囲	33	4.7.1 日本の状況	55
3.4 洋上風力発電と送電技術	34	4.7.2 日本の系統の状況	55
3.4.1 洋上風力発電	34	4.7.3 需給運用	56
3.4.2 HVDC 送電	35	4.7.4 太陽光発電との競合	56
		4.7.5 導入促進策	56
		5. おわりに	58

風力発電の大量導入技術調査専門委員会委員

委員長 大山 力(横浜国立大学)
幹事 安田 陽(京都大学)
幹事 近藤 潤次(東京理科大学)
幹事補佐 辻 隆男(横浜国立大学)
委員 石亀 篤司(大阪府立大学)
石原 猛(東京大学)
木村 紀之(大阪大学)
雪田 和人(愛知工業大学)
七原 俊也(東京工業大学)
舟橋 俊久(名古屋大学)
小垣 哲也(産業技術総合研究所)
益田 泰輔(エネルギー総合工学研究所)
徳田 憲昭(エネルギー総合工学研究所)
谷村 新(北海道電力)
阿部 公哉(東北電力)
大野 照男(東京電力)
山崎 理史(中部電力)
本庄 暢之(電源開発)
尾上 令時(ユーラスエナジージャパン)

委員 綾城 剛(三菱重工業)
武藤 厚俊(日本製鋼所)
内山 倫行(日立製作所)
途中退 坂原 淳史(北海道電力)
任委員 橋内 悟(東北電力)
杉森 豊治(中部電力)
但見 収司(電力系統利用協議会)
水谷 淳史(電力系統利用協議会)

1. はじめに

近年、エネルギーセキュリティの向上や地球環境保護の観点から、風力発電の普及拡大が世界的に大きく進展しつつある。2016 年末時点における世界での累積導入設備容量は 487GW⁽¹⁾ 以上にも及び、既存の電源に代替する新しい再生可能エネルギー電源として、一層存在感を強めている。日本ではエネルギー基本計画を踏まえた長期エネルギー需給見通しにおいて、2030 年時点での風力発電の導入量として 10GW の数値が示されており、2016 年末時点での累積導入設備容量は 3.2GW 程度となっている⁽¹⁾。海外諸国と比較すると非常に低い数字に留まっている現状にあるが、日本風力発電協会からは長期目標として 2050 年度時点で 75GW 以上の数値が示されるなど、風力発電の普及拡大への期待は、日本においても非常に大きいものがある。

一方で、風力発電は気象条件に応じて出力が変化する特徴を有するため、既存の発電所に比較すると不確実性がある電源と捉えることができる。また風況の良い地域に集中して連系することによる電力潮流の偏在化や、在来の電源とは異なる事故時の動特性も、電力系統の運用制御に大きく影響することが危惧される。例えば欧州では瞬時電圧低下に伴う風力発電機の一斉解列が電力需給バランスに悪影響を与えた事例があり、系統擾乱時における周波数変動や電圧変動に対する運転継続要件がグリッドコードとして各国で整備されてきた経緯がある。このように、風力発電が大量に導入された場合でも、風力発電と電力系統がよく調和して電力の安定供給が損なわれることの無いよう、適切に電力系統全体を設計することが重要である。特に日本は国単独としての需要規模は大きいものの、他国との国際連系を有さないため交流連系系統としての系統規模は必ずしも大きくはなく、欧州や米国と比較すると周波数が変動しやすい課題がある。そのため、需給調整技術の重要性は高く、風力発電や太陽光発電など、出力が変動する電源が大量に導入された場合にも、安定的かつ経済合理的に需給運用を実現できるような技術面および制度面の整備が求められている。このような課題は、風力発電所側での対策のみならず、電力系統全体の観点から合理的な設備計画および運用制御体系の構築を進めることが重要であろう。

以上の背景に基づき、風力発電の大量導入を実現するための電力系統技術の現状や将来動向について幅広く調査することで、風力発電の今後の方向性や技術課題を客観的に評価することを目的として、「風力発電の大量導入技術調査専門委員会」が、平成 24 年 7 月から平成 27 年 6 月までの 3 年間にわたり設置された。本報告書はその調査結果をまとめたものであり、以下の 3 つの章を中核として構成される。

第 2 章 風力発電大量導入の電力系統への影響

風力発電が大量に導入された電力系統では、在来の電源とは異なる風力発電の諸特性が、電力系統の運用制御の特

性に大きく影響を及ぼしうることに留意する必要がある。電力の安定供給を実現するために、技術的な観点からは周波数、電圧、同期安定度に代表されるような各種の運用上の制約を適切に維持する必要がある。本章では電力系統および風力発電の基礎的な特性について述べると共に、風力発電の大量導入が電力系統に与える影響について、主に技術的な観点から、事例を交えてまとめた。

第 3 章 風力発電の大量導入を実現する先進的技術

風力発電の大量導入を実現するためには、第 2 章で述べたような各種課題に対して、風力発電と在来の電力系統が共生できるような新しい技術や制度が必要になると考えられる。風力発電の普及拡大が先行する海外の各国においても、様々な先進的技術を取り込むことにより風力発電の大量導入が実現されてきた。そこで本章では、需給調整、電圧管理、事故時対応の各観点から、風力発電の大量導入を支える様々な先進的技術について調査した結果についてまとめた。特に需給調整に関しては、出力予測、電源運用、出力抑制、電力貯蔵、連系線の利用、電力市場、ディマンドレスポンスと、多角的な視点から技術動向について調査を進めた結果を述べた。また、風力発電の大量導入に際して非常に重要となる洋上風力発電技術についても最新動向をまとめた。

第 4 章 各国動向

欧州や米国など、海外に目を向けると風力発電の普及が既に大きく進展している国や地域が多数存在している。日本とは電力系統を取り巻く環境が異なるものの、風力発電の大量導入を実現するための技術として学ぶべき点は多い。そこで本章では、風力発電の普及が大きく進展する海外各国として、デンマーク、アイルランド、ポルトガル、スペイン、ドイツ、米国に着目して、風力発電の導入状況および、具体的に採用されている様々な技術や制度について、調査した結果を報告する。また、上記の各国との比較を通じて、今後の日本における風力発電の普及拡大の見通しや課題を整理した。

参考文献

- (1) Global Wind Energy Council, “GLOBAL WIND REPORT – ANNUAL MARKET UPDATE 2016” (2017)