

# ■特集：風力発電と電力系統との融和

## 風力発電系統連系研究の系譜

### —欧州の10年に亘る努力と成果—

関西大学 システム理工学部 准教授 安田 陽

#### 1. はじめに

風力発電の系統連系問題は、我が国の風力発電導入に立ちはだかる最大の障壁のひとつである。欧州や北米など世界の多くの国々でも系統連系は大きな課題であるが、一口に同じ系統連系問題といっても日本と世界とでは様相は大きく異なっている。

例えば欧州では、2011年の風力発電導入率（発電電力量 [TWh] ベース）は導入率世界一位のデンマークが27.8%、同二位のポルトガルは17.5%、同三位のアイルランド15.8%と、現時点で既に高い実績を達成している国が続出している。欧州では、「風力発電は今日すでに、大規模電力系統では深刻な技術的・実務的問題が発生することなく電力需要の20%までを占めることができると一般に見なされている」<sup>[10]</sup>との指摘もあり、さらなる大量導入（導入率20%以上）に向けてどのような対策を講じるべきか？という議論が欧州（および北米の）系統連系問題である。

一方、日本の2011年の導入率はわずか0.4%であり、欧州の「風力先進国」から比べると、実に40~70倍と大きく引き離されている。それにも関わらず、ほとんどの電力会社が「連系可能量」という導入上限値を定めている。このような日本と世界の大きな差異は、単に日本と海外の電力系統の構成が違うからとか、自然環境が違うからといった日本の独自性や特殊性を強調するだけではもはや説明がつかない状況になっている。

世界と日本の格差の原因のひとつには、国際的議論が我が国になかなか伝わっておらず、日本人の多くがこの分野の世界の最先端の情報をキャッチしきれていない、という情報のギャップがあるのではないかと、筆者は推測している。

本稿では、この情報ギャップを埋めるべく、欧州でこれまで研究されてきた風力発電の系統連系問題に関する諸研究の系譜を網羅的に紹介することとする。

#### 2. 世界と日本の情報ギャップ

欧州の風力発電の高い導入率は、一朝一夕に達成できたものではない。欧州では、既に1990年代後半より、10年以上かけて風力発電の大量導入を見越した電力系統のあり方が議論され、研究者だけでなく欧州の系統運用者（TSO）など実務者も参加する国際ワークショップや国際会議が頻繁に開催されてきている。

また、特に2005年頃より、風力発電の系統連系に関するプロジェクト研究が欧州で数多くに行われ、そのレビューパーパー（解説論文）やプロジェクト報告書が毎年のように夥しく発行されている（図1および表2を参照のこと）。

これらの国際会議論文や報告書は、我が国には殆ど紹介されず、国内論文や政府審議会資料などへの引用も極めて少ない。風力発電の系統連系問題に関しては、国際的議論の場に日本の研究者・実務者はほとんど参加せず、情報収集も情報発信も十分できていないのが実情である。

海外情報としてはこれまで、「海外電力」、「NEDO海外レポート」、「JETRO調査レポート」、その他民間シンクタンクや経済研究所系の秀逸な海外情報も多いが、それらは多くの分野を紹介しなければならないため、風力発電に関する情報は断片的である。特に、風力連系問題に関しては、風力発電と電力系統の両者の知識と経験がないとなかなか理解しづらい側面もあり、そのような情報網からこぼれ落ちる可能性が高かったのではないかと推測される。

また、この分野は、電力市場設計や政策・法規制などとも密接に絡むため、経済学や政策学の知識も必要であり、日本の純粋な技術系研究者・実務者から敬遠されがちであったという側面も否めない。

このように、欧州では、2000年代後半以降、風力発電の系統連系研究が著しい進展を見せている一方、我が国はそれらの国際的議論の蚊帳の外に置かれ、情報収集や情報発信も必ずしも十分ではない状況が続いてきたと言える。

### 3. 国際的議論の場

風力発電系統連系問題に関する議論の場としては、“Wind Integration Workshop (WIW) (<http://www.windintegrationworkshop.org/>)”を第一に挙げることができる。

この会議は2000年3月にスウェーデンのストックホルムで第1回の会議（但し当時の会議名称は異なる）を開催して以来毎年開催され、今年で実に13回目を迎える実績のある国際会議である。主催はドイツの再生可能エネルギーおよび電力系統のコンサルタント会社であるEnergynutics社が一貫して行っており、そのCEOのThomas Ackermann氏の名前をとって、通称「Ackermann ワークショップ」とも研究者の間では呼ばれている。

また、米国でもWIWに先立って同様の動きがあり、Utility Variable - Generation Integration Group (UVIG) (<http://variablegen.org/>)という協議会が1998年より活動している。WIWとUVIGは拠点も参加者の層も若干異なるが、主要メンバーは共通しており情報交換も密に行っているという点で、この分野の議論を世界でリードする車の両輪と位置づけることができる。

もちろんそれ以外にも、例えば風力関係者であればEWEA (European Wind Energy Association: 欧州風力エネルギー協会)の国際会議、電力関係者であればIEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers: 米国電気学会)の年次大会、CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques: 国際大電力会議)の隔年開催のパリ大会などでも風力連系研究の発表や報告書を見ることができる。前述のWIWやUVIGの参加者もそれらの会議に関連の論文を投稿したり特別セッションや特集号を企画しているが、これらの学会や会議は必ずしも風力発電の系統連系問題のみを取り扱う場所ではないため、関心度や議論の密度は低くなりがちである。

特に日本の研究者は、風力関係の研究者であればEWEA (例えば[2],[13])、電力関係の研究者や実務者であればIEEEかCIGRE (例えば文献[4],[6],[9],[15])を中心にウォッチしているパターンが多く、両分野の共通項(すなわち風力連系研究)を専門に扱うWIWやUVIGなどの会議は日本ではこれまでほとんど知名度がなく、注目されてこなかったと言える。

WIWは実に10年に亘る議論の蓄積があるが、この国際ワークショップで議論された成果を

踏まえ、2005年に“Wind Power in Power Systems”という書籍が発刊されている<sup>[1]</sup>。この書籍はページ数が600ページもある大著であるが、2012年5月には第2版として改訂され、知見の蓄積とともにページ数もさらに増えて1000ページを超える大作となっている<sup>[20]</sup>。本書は日本風力エネルギー学会によって翻訳作業が進んでおり、2013年11月頃には「電力系統における風力発電(仮題)」として、オーム社から発刊予定である。

### 4. 国際機関の取り組み

前節の国際的な議論の場を10年以上に亘り提供してきたのは民間主導のワークショップであるが、IEA (International Energy Agency: 国際エネルギー機関)などの国際機関も議論の場を提供しつつある。

IEAでは、その傘下の風力実施協定において、2006年からTask 25 “Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power”(風力発電が大量に導入された電力系統の設計と運用)が開催されている。Task 25は年に2回のペースで、各国持ち回りで開催され、現在18ヶ国(うちEWEAが1ヶ国扱い)が参加している。会議で議論された内容は主要メンバーがWIWやUVIG, EWEC, IEEEなどに論文を発表しており、Task 25全体でも第1期(2006~2008年)報告書が2009年に公表されている<sup>[8]</sup>。この日本語版は2012年に翻訳され、現在JEMA(日本電機工業会)のHPから無料でダウンロードが可能である。

IEA本体もRenewable Energy Division(再生可能エネルギー部)において“GIVAR (Grid Integration of VARIABLE generation)”プロジェクトが立ち上がり、2005年から2011年にかけて変動電源の系統連系や柔軟性に関する報告書を公表している<sup>[3],[7],[14]</sup>。この「変動電源 variable generation」「柔軟性 flexibility」は風力発電の系統連系を議論する上で避けて通れないホットなキーワードであり、現在、欧州や北米で盛んに議論されている用語である。特に文献[14]では日本の電源の柔軟性も評価されているが、この報告書の存在自体がまだまだ日本では知られていないようで、これを引用する日本語の文献もほとんど見られない。

### 5. 欧州委員会の後押し

欧州では、EUが2001年に再生可能エネルギー指令2001/77/EC(通称RES指令)という

法律文書を発効し、加盟国各国に再生可能エネルギーの導入を推奨したため（後の改正 RES 指令 2009/28/EC により義務づけ）、これをきっかけに風力発電の導入が加盟国各国で爆発的に伸長し、それに合わせた系統設計・運用が真剣に議論されるようになった。

このような状況の中で、表 1 に示すような各種の風力連系研究が EU の政府に相当する欧州委員会の出資のもと、活発に行われている。

この表の中で示される「出資プログラム」とは、EU の中でさまざまに強化すべき分野（エネルギー、情報、交通、教育など）に対して重点的に研究資金の配分や投資を促す政策プログラムのことである。

例えば「欧州インテリジェントエネルギー計画 (IEE)」は、EU が提唱する「20-20-20 計画」を実現するために必要なエネルギー政策を実現するための研究を助成している（「20-20-20 計画」とは、2020 年までに温室効果ガスを 1990 年比で 20%削減、最終消費エネルギーにおける再生可能エネルギーの比率を 20%、省エネによるエネルギー消費の 20%削減を目標とする EU の計画のこと）。また、「第 6 次枠組み計画 (FP6)」は 2002～2006 年の、「第 7 次枠組み計画 (FP7)」は 2007～2013 年の EU および地球経済の発展と雇用を促進する研究に対して重点的に投資するため政策プログラムであり、プログラム全体で数十億ユーロ（数千億円）にも上る予算を配分する。

IEE プログラムの出資による風力発電の系統連系関係の研究は、「TradeWind」プロジェクト<sup>[10]</sup>、「WindBarrier」プロジェクト<sup>[12]</sup>、「OffshoreGrid」プロジェクト<sup>[16]</sup>が挙げられる。また、FP6 からは「EWIS」プロジェクト<sup>[11]</sup>、FP7 からは「TWENTIES」プロジェクト<sup>[24]</sup>が発足している。表 1 に欧州委員会が政策プログラムを通じて出資する主な風力連系研究のプロジェクトの一覧を示す。

表 1 からわかる通り、欧州の風力発電の系統連系研究は、欧州のエネルギー政策の中の優先分野として億～数十億円のプロジェクト予算が提供されており、毎年のようにさまざまなテーマが立ち上がっていることがわかる。また、プロジェクトの参加者を見ても、風力発電のステークホルダー（風力発電事業者、風車メーカー）だけでなく、系統運用者や従来型電源をもつ発電事業者や重電メーカーなど幅広い範囲のステークホルダーが意欲的に参加していることが伺える。

## 6. ENTSO-E の積極的関与

ENTSO-E（欧州電力系統事業者ネットワーク）の関与も非常に重要である。ENTSO-E は 2008 年 12 月に発足した欧州のほぼ全土に相当する 34 ヶ国 41 事業者が加盟する系統運用者の協議会であるが、この団体が風力発電の大量導入に対する系統増強対策に積極的な姿勢を見せているところが興味深い。

ENTSO-E は 2 年ごとに系統開発 10 ヶ年計画 (TYNDP) を発表することを義務づけられているが、その中で 2020 年までに再生可能エネルギーが消費電力量の 38%を占めるとの予測の下、系統強化計画を提案している<sup>[21]</sup>。

この TYNDP は報告書のタイトル通り、今後 10 年間の系統増強について言及するものであるが、それ以降の中長期的なスパンに関しては、「オフショアグリッド」というキーワード抜きにしては語れない。オフショアグリッドは単なる海底ケーブル網ではなく、洋上変電所/変換所や洋上風力発電所をメッシュ状に構成した環海型のスーパーグリッドであり、2030 年までのタイムスケールで主に北海・バルト海に計画されている電力網である。このオフショアグリッドは、前述の“OffshoreGrid”プロジェクトや「北海沿岸諸国オフショアグリッド構想 (NSCOGI)」<sup>[17],[22]</sup>などで実現可能性研究 (FS) が行われている。ENTSO-E はこれらのプロジェクトに直接あるいは間接的に関与し、関連する系統運用者を中心に研究を推進させている。

## 7. まとめ

以上の議論をまとめると、図 1 および表 2 に整理することができる。図 1 は各種文献やプロジェクトの研究時期を時系列で表しているが、それぞれの文献が他の文献にどのように影響を及ぼしているかも図示されている。このように、欧州の風力発電系統連系研究は、10 年以上に亘るあらゆるステークホルダーの多様な議論の上に成り立っていることがわかる。

我が国も風力発電の大量導入に向けて、これから数年かけて系統連系問題を真剣に議論していく必要があるが、そのためには、欧州の先行例を謙虚に学びながら、かつ日本にどのようにアレンジできるかを考えなければならない。なによりも、全てのステークホルダーが積極的に協力し、前向きで透明性の高い議論を行うことが重要である。必要な議論は、「何故日本に風力が入らないのか？」ではなく「どのようにすれば日本に風力が入るか？」である。

表1 欧州委員会が出資する主な風力連系研究プロジェクト

名称	出資プログラム	期間	予算	プロジェクト構成	主な参加者	ウェブサイト	報告書
TradeWind	欧州インテリジェントエネルギー計画 (IEE)	2006年11月～2009年2月	174万ユーロ (≒2.3億円)	WP(作業パッケージ)2: 風力発電シナリオ WP3: 系統モデリングと電力系統データ WP4: 市場ルールの確認 WP5: 欧州大陸の潮流 WP6: 電力系統シナリオ WP7: 市場ルールの解析 WP8: 電力系統増強、市場組織、および政策策定についての勧告	EWEA (ベルギー)、VTT (フィンランド)、SINTEF (ノルウェー)、Garrard Hassan (英国)、Risø (デンマーク) Dena (ドイツ)、Kema (オランダ) などの国立・民間研究機関	<a href="http://www.trade-wind.eu/">http://www.trade-wind.eu/</a>	[10]
EWIS (European Wind Integration Study)	第6次枠組み計画 (FP6)	2007年7月～2010年5月	404万ユーロ (≒5.3億円)	WG(作業部会)1: 現状と市場動向 WG2: 市場シナリオと取引スケジュール WG3: 電力系統解析 WG4: 運用上の問題 WG5: コスト分析 WG6: ステークホルダー間の対話と法規制面での問題	Elia (ベルギー)、Transpower (ドイツ)、50 Hertz (ドイツ)、Amprion (ドイツ)、EirGrid (アイルランド)、Energinet.dk (デンマーク) など、欧州の15の系統運用者	<a href="http://www.wind-integration.eu/">http://www.wind-integration.eu/</a>	[11]
WindBarriers	欧州インテリジェントエネルギー計画 (IEE)	2008年12月～2010年11月	92万ユーロ (≒1.2億円)	WP(作業パッケージ)2: 文献調査 WP3: アンケート調査 WP4: 情報収集	EWEA (ベルギー) 等欧州各国の風力エネルギー協会、研究機関	<a href="http://www.windbarriers.eu/">http://www.windbarriers.eu/</a>	[12]
OffshoreGrid	欧州インテリジェントエネルギー計画 (IEE)	2009年5月～2011年10月	138万ユーロ (≒1.8億円)	WP(作業パッケージ)2: 欧州の地域市場 WP3: 洋上風力発電シナリオ WP4: 技術的経済的側面から見たシナリオ設定 WP5: オフショアグリッドの最適設計 WP6: オフショアグリッドによる電力取引モデリング WP7: 地中海地域への電力輸送 WP8: 政策的勧告	EWEA (ベルギー)、Dena (ドイツ)、SINTEF (ノルウェー)、Senergy Econnet (英国) などの研究機関および大学等 (その他、発電事業者や重電メーカーからの資金提供あり)	<a href="http://www.offshoregrid.eu/">http://www.offshoregrid.eu/</a>	[16]
TWENTIES (Transmission system operation with a large penetration of Wind and other renewable electricity sources in Electricity Networks using innovative Tools and Integrated Energy Solutions)	第7次枠組み計画 (FP7)	2010年4月～2013年6月	5,680万ユーロ (≒75億円)	DP(実証プロジェクト)1: ウィンドファームが提供する系統サービス (SYSRWIND) DP2: 大規模仮想発電所の連系 (DERINT) DP3: オフショア HVDC 網に向けた技術仕様 (DCGRID) DP4: 極値風における洋上風力発電の運用 (STORM MANAGEMENT) DP5: 系統を強化する柔軟性 (NETFLEX) DP6: 系統の柔軟性の改善 (FLEXGRID) など。	REE (スペイン)、Energinet.dk (デンマーク)、Elia (ベルギー)、TenneT (ドイツ)、50 Hertz (ドイツ) などの系統運用者 Alstom (フランス)、Iberdrola (スペイン)、Dong Energy (デンマーク) などの発電事業者 ABB (スイス)、Siemens (ドイツ)、Gamesa (スペイン) などの風車メーカー、重電メーカー 大学、研究機関など	<a href="http://www.twenties-project.eu/">http://www.twenties-project.eu/</a>	[17]

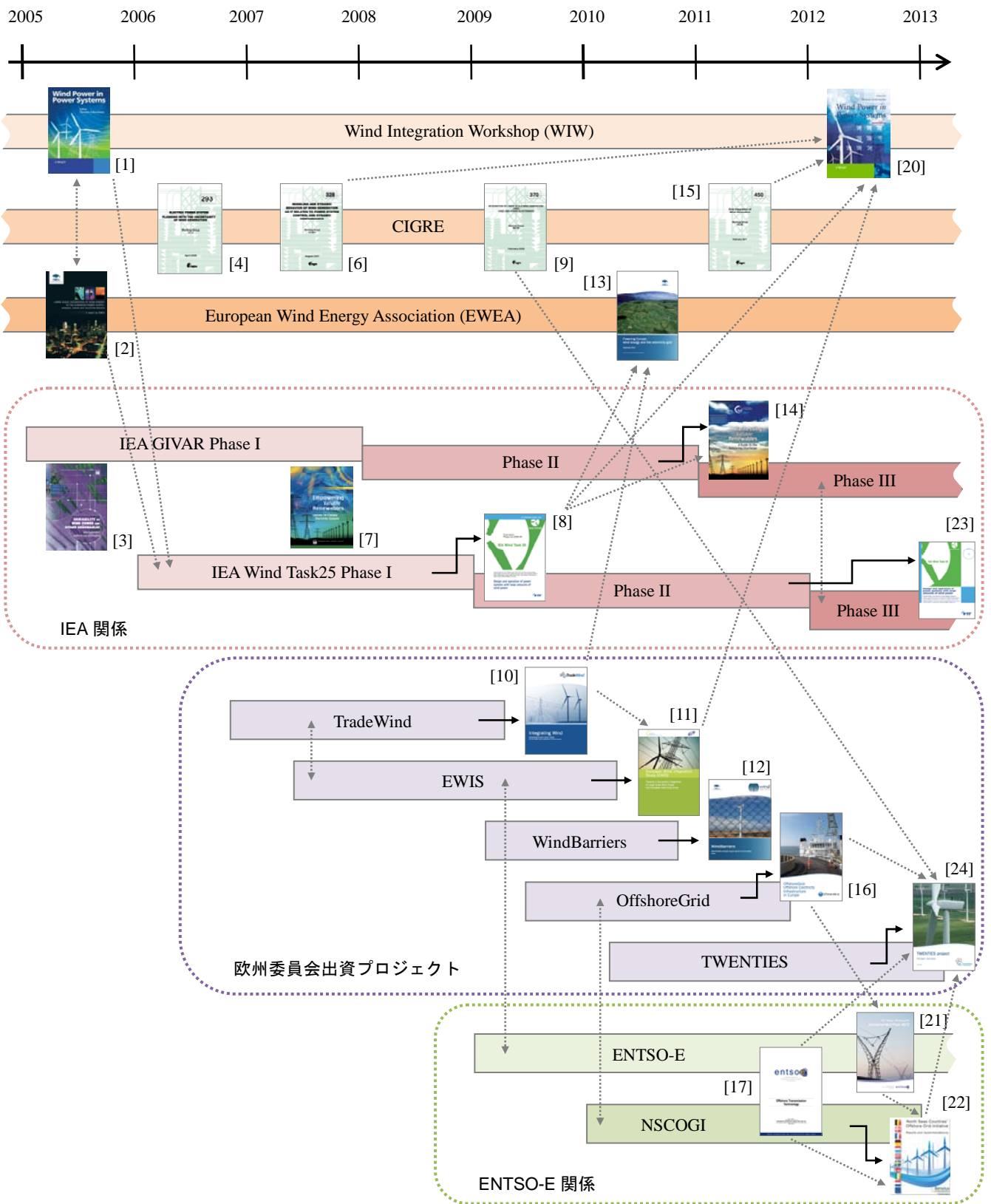


図1 欧州の風力連系研究の時系列相間図

(文献番号は表2に対応。実線矢印はプロジェクト等の成果、点線矢印は引用などの関連性を示す。)

表 2 風力連系研究に関する各種文献リスト

	表紙	著者・タイトル	発行年月	発行元 (研究主体)	ページ数	概要	入手先 (2013年7月末現在)	日本語版 (2013年7月末現在)
1		T. Ackermann ed.: “Wind Power in Power Systems, 1 <sup>st</sup> Edition”	2005	Wiley (WIW)	690p	2000年から毎年開催されるWIWの主要論文の集大成。風力発電の系統連系に関するほぼ全ての問題を網羅。2012年に全面改訂(文献[20])。	有料書籍(入手困難) ISBN 0-470-85508-8	なし
2		F. Van Hulle: “Large Scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply: analysis, issues and recommendation”	2005	EWEA	194p	EWEAが事実上初めて出した本格的な系統連系に関する報告書。内容は文献[1]と共有することが多い。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/grid/051215_Grid_report.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/grid/051215_Grid_report.pdf</a>	なし
3		IEA: “Variability of Wind Power and other Renewables – Management options and strategies”	2005	IEA	57p	IEAが事実上初めて出した本格的な系統連系に関する報告書。「変動電源」「柔軟性」などのキーワードが見られる。	<a href="http://www.uwig.org/iea_report_on_variability.pdf">http://www.uwig.org/iea_report_on_variability.pdf</a>	なし
4		CIGRE WG C1.3: “Electric Power System Planning with the uncertainty of Wind Generation”	2006. 4	CIGRE WG C1.3	147p	CIGRE SC C1(系統計画と経済)部門の報告書。風力発電の不確実性(建設時期・場所、出力変動、技術的特性)を考慮した系統計画に関する調査研究。数分~20年先の不確実性を検討。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE会員は無料)	なし
5		J. Twidell and G. Gaudiosi: “Offshore Wind Power”	2007	Multi- Science Publishing	357p	洋上風力発電に関する事実上初めてのまとまった書籍。系統連系に関連する章は3章あり、約80頁記載。	有料書籍 ISBN 978-0906522-639	JWEA訳:「洋上風力発電」, 鹿島出版会(2011. 11)
6		CIGRE WG C4.601: “Modeling and Dynamic Behavior of Wind Generation as it Relates to Power System Control and Dynamic Performance”	2007. 8	CIGRE WG C4.601	216p	CIGRE SC C4(系統の技術性能)部門の報告書。風力発電機の動的モデリングとそれを用いた系統解析。各国事例の章で日本についても若干言及あり。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE会員は無料)	なし
7		IEA: “Empowering Variable Renewables – Options for Flexible Electricity Systems”	2008	IEA	35p	2008年北海道洞爺湖のG8サミットのためにまとめられた再生可能エネルギーの系統連系に関する報告書。文献[3]のSPM(政策決定者向け要約)に相当。	<a href="http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Empowering_Variable_Renewables.pdf">http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Empowering_Variable_Renewables.pdf</a>	なし
8		H. Holttinen et al.: “Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power”, IEA Wind Task 25, Final Report, Phase one 2006-08	2009	VTT (IEA Wind Task 25)	232p	IEA風力実施協定Task25第1期報告書。風力発電大量導入時の予備力増加、系統運用コスト、容量クレジットなどの各国比較研究がまとめられている。	<a href="http://www.ieawind.org/annex_XV/PDF/Final%20Report%20Task%2025%202008/T2493.pdf">http://www.ieawind.org/annex_XV/PDF/Final%20Report%20Task%2025%202008/T2493.pdf</a>	近藤・安田訳:「風力発電が大量に導入された電力系統の設計と運用」(2012. 12) <a href="http://jema-net.or.jp/Japanese/res/wind/shiryo.html">http://jema-net.or.jp/Japanese/res/wind/shiryo.html</a>



9		CIGRE WG B4.39: “Integration of Large Scale Wind Generation using HVDC and Power Electronics”	2009.2	CIGRE WG B4.39	157p	CIGRE SC B4(直流送電とパワーエレクトロニクス)部門の報告書。自励式 HVDC による洋上風力発電の事例と解析。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE 会員は無料)	なし
10		F. Von Hulle: “Integrating Wind: Developing Europe’s power market for the large-scale integration of wind power”	2009. 5	EWEA (Trade Wind)	106p	欧州委員会出資の「欧州インテリジェントエネルギープログラム」による “TradeWind” プロジェクトの最終報告書。送電混雑を緩和するための系統設計と電力市場設計に関するシミュレーション。	<a href="http://www.uwig.org/TradeWind.pdf">http://www.uwig.org/TradeWind.pdf</a>	安田訳:「風力発電の市場統合と系統連系(仮題)」,近日中に JEMA より公開予定
11		W. Winter: “European Wind Integration Study – Towards A Successful Integration of Large Scale Wind Power into European Electricity Grids”	2010. 2	EWIS	182p	欧州委員会出資の「第6次枠組みプログラム」による “EWIS” プロジェクトの最終報告書。風力発電に夜欧州陸上系統のボトルネックを特定し、系統増強計画を提言。	<a href="http://www.wind-integration.eu/downloads/library/EWIS_Final_Report.pdf">http://www.wind-integration.eu/downloads/library/EWIS_Final_Report.pdf</a>	なし
12		“WindBarriers: Administrative and grid access barriers to wind power”	2010. 7	EWEA (Wind Barriers)	152p	欧州委員会出資の “WindBarriers” プロジェクトの最終報告書。系統アクセスの障壁についての分析。	<a href="http://www.windbarriers.eu/fileadmin/WB_docs/documents/WindBarriers_report.pdf">http://www.windbarriers.eu/fileadmin/WB_docs/documents/WindBarriers_report.pdf</a>	なし
13		F. Van Hulle: “Powering Europe: wind energy and the electricity grid”	2010. 11	EWEA	179p	EWEA の系統連系に関する報告書。技術的な内容は文献[2],[8]からの引用が多い。メリットオーダー分析もあり。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Grids_Report_2010.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Grids_Report_2010.pdf</a>	JWPA 訳:「風力発電の系統連系～欧州の最前線」(2012. 2) <a href="http://www.jwea.or.jp/publication/PoweringEuropeJP.pdf">http://www.jwea.or.jp/publication/PoweringEuropeJP.pdf</a>
14		IEA: “Harnessing Variable Renewables – A Guide to the Balancing Challenge”	2011	IEA	234p	文献[3],[7]に続く、IEA の変動電源系統連系問題に関する公式報告書。日本を含む各国の柔軟性分析あり。	<a href="http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Harnessing_Variable_Renewables2011.pdf">http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Harnessing_Variable_Renewables2011.pdf</a>	なし
15		CIGRE WG C6.08: “Grid Integration of Wind Generation”	2011. 2	CIGRE WG C6.08	140p	CIGRE SC C6(配電系統と分散電源)部門の報告書。周波数制御、無効電力制御、電圧安定度、LVRT などについて各国の事例を比較調査。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE 会員は無料)	なし
16		J. De Decker and P. Kreutzkamp: “Offshore Electricity Grid Infrastructure in Europe”	2011. 10	EWEA (Offshore Grid)	152p	欧州委員会出資の “OffshoreGrid” プロジェクトの最終報告書。海底ケーブル、洋上変電所/変換所、洋上風力発電所などから構成されるオフショアグリッドの実現可能性研究。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/OffshoreGrid_report.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/OffshoreGrid_report.pdf</a>	なし
17		ENTSO-E: “Offshore Transmission Technology”	2011. 11 (2012. 10 改訂)	ENTSO-E (NSCOGI)	46p	NSCOGI(北海沿岸諸国オフショアグリッド構想)のための ENTSO-E 地域グループの報告書。自励式 HVDC や XLPE (CV) ケーブルなど、オフショアグリッドの技術的課題についての分析。	<a href="http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_OffshoreTechnologyReport_ENTSOE.pdf">http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_OffshoreTechnologyReport_ENTSOE.pdf</a>	なし

18		IPCC “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”	2012	Cambridge University Press (IPCC WG III)	1,088 p	IPCC(気候変動に関する政府間パネル) 第三作業部会による再生可能エネルギーの報告書(通称 SRREN)。系統連系関係の記述は第8章「風力発電」および第9章「エネルギーシステムへの統合」の計 30 頁程度。	<a href="http://srren.ipcc-wg3.de/report">http://srren.ipcc-wg3.de/report</a>	近日公開予定
19		NEA: “Nuclear Energy and Renewables – System Effects in Low-carbon Electricity Systems”	2012	NEA	225p	OECD/NEA(経済協力開発機構原子力機関)が公表した報告書。再生可能エネルギーの系統連系コストは高いとの評価。	<a href="http://www.oecdbookshop.org/oecd/">http://www.oecdbookshop.org/oecd/</a> 有料資料	なし
20		T. Ackermann ed.: “Wind Power in Power Systems, 2 <sup>nd</sup> Edition”	2012. 5	Wiley (WIW)	1,049 p	文献[1]の大幅改訂版。第1版出版後の7年間の集大成で、第1版の内容が殆ど更新されている。風力発電の系統連系に関するほぼ全ての問題を網羅。第2版には中国の系統も登場。日本に関する言及は皆無。	有料書籍 ISBN 978-0-470-97416-2	日本風力エネルギー学会訳:「電力系統における風力発電(仮題)」, オーム社(2013 年秋出版予定)
21		ENTSO-E: “10-Year Network Development Plan 2012”	2012. 7	ENTSO-E	219p	全欧州の系統運用者の協議会である ENTSO-E が発行する系統 10 年計画。風力連系研究に特化したものではないが、2020 年までに再生可能エネルギーが消費電力量の 38%を占めるとの予測の下、系統強化を計画。	<a href="https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/SDC/TYNDP/2012/TYNDP_2012_report.pdf">https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/SDC/TYNDP/2012/TYNDP_2012_report.pdf</a>	なし
22		“The North Seas Countries’ Offshore Grid Initiative –Initial Findings–”, Final Report	2012. 11	Benelux (NSCOGI)	142p	NSCOGIプロジェクトWG1(系統構成)の最終報告書。環北海のオフショアグリッドのコスト試算により、メッシュ型構成が有利と結論。	<a href="http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_WG1_OffshoreGridReport.pdf">http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_WG1_OffshoreGridReport.pdf</a>	なし
23		H. Holttinen et al.: “Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power”, IEA Wind Task 25, Final Summary Report, Phase two 2009-2011	2013. 4	VTT (IEA Wind Task 25)	100p	文献[8]にその後の各国の実績や知見が追補された内容。日本の知見はほとんど盛り込まれていない(国際比較ができるほどのデータの入手が困難なため)。	<a href="http://www.ieawind.org/task_25/PDF/T75.pdf">http://www.ieawind.org/task_25/PDF/T75.pdf</a>	なし
24		“TWENTIES project”, Final report – short version	2013. 6 (要約版)	EWEA (TWENTIES)	24p	欧州委員会が出資する「第7次枠組みプログラム」による“TWENTIES”プロジェクトの最終報告書。HVDC実証研究など6つの実証研究を含む17の作業部会があり、欧州の主要な系統運用者、発電事業者、重電メーカーが参加している。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Twenties_report_short.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Twenties_report_short.pdf</a>	なし