

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340125

研究課題名(和文) 風力・太陽光発電の大量系統連系にかかる給電情報の開示制度に関する研究

研究課題名(英文) The study of power grid data disclosure concerning large scale grid integration of wind and PV energies

研究代表者

竹濱 朝美 (Takehama, Asami)

立命館大学・産業社会学部・教授

研究者番号：60202157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：1.風力・太陽光の大量連系のための連系規則、給電情報開示、系統運用を分析した。ドイツの送電・配電会社は、風力・太陽光電力を、低圧から高圧、特別高圧系統に、上流送電(逆潮流)させ地域間送電する(双方向潮流対応系統運用)。ドイツの風力・太陽光の出力変動と地域間送電、上流送電(逆潮流)には高い相関がある。2.ドイツ送電会社は、風力・太陽光出力予測、上流送電、地域間送電、調整力投入量、再エネ抑制量を15分MW値で開示する(法的開示)。2次調整力と風力予測誤差は弱く相関し、風力大量連系は調整力準備量を拡大させるが、調整力投入量は調整力の地域間融通により合理化できる。

研究成果の概要(英文)：Grid operations and key rules enabling integration of wind and photovoltaic systems into the power network system in Japan and Germany were analyzed in this study. The research focuses on reverse power flow from low voltage and medium voltage grids to high voltage grids. German grid operators flexibly transmit electricity in a bidirectional way, depending on the power output from renewable electricity. German grid operators prioritize purchase of renewable electricity and transmit it to the upstream grid as necessary. In Japan, grid operation is unidirectional and uses a downward power flow based on electricity from nuclear power and large-scale coal power plants. Renewable electricity has no legal definition with regard to upstream transmission. The Renewable Energy Act in Japan does not oblige utility companies to expand their grid capacity.

研究分野：環境エネルギー政策

キーワード：風力発電 太陽光発電 系統連系 電力システム 給電情報 上流送電 優先給電

### 1. 研究開始当初の背景

出力変動が大きい風力発電・太陽光発電(以下、風力・太陽光)は大量連系を実現するには不利になりやすいため、差別のない電力網アクセス(接続・給電)のためにも、電力網の需給バランスへの影響を知る上でも、系統給電情報の開示が重要である。系統給電情報の開示制度と系統運用の現状について、風力・太陽光の大量連系を実現したドイツと日本の比較が必要であると考えた。

### 2. 研究の目的

第一に、ドイツの送電会社が開示する系統給電データ(15分単位, MW)により、風力・太陽光の出力変動が電力網の需給バランスに与える影響と柔軟な系統運用について、残余需要、逆垂直負荷(上流送電)、地域間送電、輸出入、周波数維持用の調整力の投入、出力抑制を分析した。第二に、風力・太陽光の電力網アクセス(接続と利用)と給電に関して、ドイツの電力給電情報の開示制度を確認した。

給電情報とは、電力網における給電、送電、回線容量などの電力網運用の情報である。欧州電力網では、15分単位MW値でリアルタイム更新され、インターネット開示されている。電力市場の透明性と差別のない電力網アクセスの説明責任として、ドイツ送配電業者は給電情報を開示している。

### 3. 研究の方法

ドイツと日本について、給電情報の開示項目と法的根拠を確認し、さらに、再生可能エネルギーの優先給電、電力系統運用者(送電・配電業者)の系統拡張義務、発電・送電分離(EU電力指令)、広域系統利用(地域間送電)、出力抑制と経済補償の規則、電力網の混雑管理にかかる規則、上流送電の規則など、風力・太陽光の系統連系にとって重要な規則を確認した。

電力網システムは、瞬時瞬時に常に電気品質を維持しなければならない特殊な性格を持つ。かつ、風力・太陽光を大量連系した電力網の系統運用は、在来大型電源を中心に構成されてきた従来の電力網運用とは全く異なるものとなる。このため、給電情報開示の法規制を要約するだけでは、そのデータ項目の開示がなぜ必要であるのか、どのような系統データ項目を開示することが風力・太陽光の大量連系の進展に鍵となるのかが理解できない。このような理由から、本研究では、給電情報の開示制度を単に要約するのではなく、ドイツで公開されている実績給電データを用いて、風力・太陽光の出力変動にかかる電力網運用の分析を行うことに重点を置いた。これを通じて、どの系統給電情報の開示が重要であるかを確認した。

具体的には、15分単位の風力・太陽光発電の出力変動 ramp, 出力予測誤差, 残余需要の変動 ramp, 垂直ロード(送電網から配電網へ

の正潮流)、逆垂直負荷(逆潮流)、輸出依存度、周波数維持用の調整力の投入を分析した。

### 4. 研究成果

(1) 風力・太陽光電力の上流送電と開示  
ドイツの50HertzとTenneTの送電管区について、風力・PVの出力変動と上位電圧系統への逆潮流について分析した。逆垂直負荷(Negative vertical grid load: NVL)とは、110kV系統から380kV系統への逆潮流で、上流送電である。風力・太陽光の設備容量の拡大に伴い、50HertzとTenneT管内の逆垂直負荷は、規模・回数共に増大した。50Hertz管内の逆垂直負荷は年間時間の3%で発生した(2013年)。ドイツ北部のE.DIS配電網では、年間3,931時間もの逆潮流が発生した(2014年)。風力・太陽光設備の多い地域では、逆潮流は日常的な系統運用である。

ドイツ再生可能エネルギー法(EEG)により、再エネを直接連系する系統運用者のみならず、「上流の送電会社」にも、再エネ電気の優先買取・優先送電の義務がある。ドイツの風力・太陽光設備容量の殆どが110kV以下の電圧系統に連系しているため、再エネ出力が配電網内の需要を超える時、余剰分は380kV系統に逆潮流される。ドイツでは、20kV/低圧の変電所も含めて殆ど全ての変電所が双方向潮流に対応する保護システムを装備する。

風力・PV出力の増加に伴って残余需要が減少すると、上位電圧系統への逆潮流が発生する。逆潮流と残余需要は、ramp変動で見ても明瞭に相関している。風力・PVの出力変動に応じて、110kV系統から380kV系統へ上流送電が行われる。

ドイツの経験から、逆垂直負荷データから、風力・PV電力を優先的に上流送電することは、技術的に対応可能である。日本でも再エネ電気を物理的にも、優先的に上流送電するよう、系統運用者に義務付けることが必要である。再エネ電力の上流送電を実現するには、系統運用者に対して、上流電圧系統も含めて、電力網容量の拡張・増強の規則を整備することが不可欠である。日本でも、上位電圧系統への上流送電を確認できるよう系統給電データ開示が必要である。

(2) 地域間送電と出力抑制にかかる運用と開示

風力・PV出力変動と地域間送電線の送電状況について、50Hertz TenneT間の連系線ごとの系統負荷1時間値[MW]、出力抑制措置を確認した。出力抑制は、エネルギー事業法13条(§13(1), §13(2)-EnWG)に基づく在来電源 Redispatch と風力・太陽光に対する出力抑制である。

風力出力変動に対応して、連系線への送電電力が調整されている。連系線負荷データは、出力変動する風力・PV電力であっても、地域間連系線に大量送電することが技術的に可

能であることを示す。50Hertz-TenneT 間の連系線負荷が送電容量の 50%以上に達した時間は、管区南部の No.413 と No.414 回線では 1663 時間、1620 時間で、総時間の 20%を超えた(2012 年)。連系線の負荷データから、送電会社 50Hertz は地域連系線を十分に活用して、風力・太陽光電力を広域送電していることを確認した。

出力抑制については、2013 年の 50Hertz 管区の § 13(2)EnWG + § 11-EEG 連結による調整は、風力・PV 発電量の 0.56%であった。§ 13(1)EnWG 調整 (Redispatch) に比べて、§ 13(2)EnWG + § 11-EEG 連結調整 (主に再エネの出力抑制) の電力量は少ない。再エネ電力の優先給電が確保されていることを確認した。

### (3) 調整力にかかる系統運用と開示

風力・PV の大量連系に伴う調整力の応動規模への影響を確認した。第一に、風力・PV の出力予測誤差と調整力応動規模の相関、第二に、1 時間窓による風力・PV の出力変化速度と調整力応動規模の相関を要約した。第三に、ドイツの送電会社による調整力の地域間融通について、送電網運用者 50Hertz 社とドイツの調整力にかかる情報開示ポータル (Regelleistung.net) の給電データ (15 分単位, MW) を用いた。ドイツ送電会社による風力・太陽光の出力予測データの開示は、StromNZV (電力ネットワーク接続規則) Section 17 に基づく法的開示である。

風力予測誤差は、調整力応動を拡大する方向に作用している。50Hertz 管区では、予測誤差と調整力との弱い相関は、風力設備容量に規定される。風力・PV の連系容量の拡大は、調整力の必要準備量を若干拡大させる影響がある。域内バランス (zone balance, 1 次, 2 次, 3 次の全ての調整力応動の合計値) でも、風力設備容量が大きい送電管区では、風力予測誤差が調整力応動規模を拡大させる作用がある。

欧州電力卸市場スポット (EPEX Spot) の当日市場の閉場時間 (実供給時刻の 30 分前) までに修正できなかった風力・PV 出力誤差は、周波数調整用の調整力で調整される。1 時間窓による風力出力変化速度 (ramp) と調整力の域内バランスには一定の相関がある。ここから、当日市場閉場時間以降の予測誤差は調整力の応動に影響を与えていることを確認した。

2012 年 ~ 2015 年に、50Hertz 管区の風力設備容量は、13.5GW から 16GW へ増加したにもかかわらず、上方調整力 (供給不足) および下方調整力 (出力抑制) の年間総応動電力量 [MWh] の増大は抑制されている。ドイツの送電会社が調整力も地域間融通することにより、調整力の counter activation (別々の送電管区が、上方調整力と下方調整力の両方を同時刻に投入すること) を回避する GCC (Grid Control Cooperation) を実施している。こ

の調整力の地域間融通により、調整力応動量の増大を抑制することができている。日本への示唆として、日本でも風力・太陽光の送電管区ごとの出力予測データ、調整力の応動のデータ開示が必要である。

### (4) 本研究で使用した公開給電データ

50Hertz: Actual generation output, Vertical grid load, Actual control area load, Actual wind feed-in, Actual PV feed-in, Maßnahmen nach §13.1 EnWG, Maßnahmen nach §13.2 EnWG, Load flows cross-border, [15 min, MW]. 50Hertz: Netzbelastung in der Regelzone, [hour, MW]. 50Hertz: EEG-Anlagenstammdaten. TenneT: Vertical grid load, Load curve, Cross-border load flows, Actual wind energy feed-in, Actual photovoltaic energy feed-in [15minutes, MW]. TenneT: EEG-Anlagenstammdaten. Regelleistung.net: 50Hertz zone, SRL. Regelzonensaldo.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

竹濱朝美, 斎藤哲夫, 風力・太陽光電力の出力変動と地域間送電, 予備力の地域間融通に関するドイツの経験. 第 38 回・風力エネルギー利用シンポジウム(予稿集), 査読無. 2016, pp.235-238.

Asami Takehama, Wind and PV Energy Integration in Distribution Grids and Bidirectional Grid Operations: A Comparative Analysis in Japan and Germany. 立命館産業社会論集, 査読無. Vol.52, No.2, 2016, pp.13-28.

竹濱朝美, 安田陽, 風力・太陽光電力の出力変動, 予測誤差と予備力の関係, ドイツの経験. 電気学会研究会資料集, 新エネルギー・環境, 高電圧合同研究会, 査読無. 2016, pp.145-150.

竹濱朝美, ドイツにおける風力・太陽光電力の上流送電, 系統連系の制度. 風力エネルギー. 風力エネルギー学会. 査読無. 2015, Vol.39, No.2, pp.164-173.

竹濱朝美, ドイツ高圧・中圧系統における風力電力の上流送電, 無効電力供給にかかる接続規則. 第 37 回風力エネルギー利用シンポジウム, 発表原稿集, 査読無. 2015, pp.443-446.

竹濱朝美, ドイツにおける風力発電大量連系と柔軟な系統運用, 110kV 系統から 380kV 系統への逆垂直負荷について. 第 36 巻, 風力

エネルギー利用シンポジウム, 査読無. 2014, pp.257-260.

竹瀆朝美, 安田陽, ドイツにおける風力・太陽光発電の大量連系と系統運用分析. 電気学会研究会資料, 新エネルギー・環境, 高電圧合同研究会, 査読無. 2014, pp.7-12.

斉藤哲夫, 竹瀆朝美, 小西雅子, 欧州における風力発電出力予測の利用. 平成 26 年電気学会全国大会論文集, 査読無. 2014, 分冊 6 巻, pp.S18(17)-S18(20).

〔学会発表〕(計 9 件)

竹瀆朝美, 斎藤哲夫, 風力・太陽光電力の出力変動と地域間送電, 予備力の地域間融通に関するドイツの経験. 2016 年 12 月 1 日. 第 38 回風力エネルギー利用シンポジウム. 日本風力エネルギー学会, 科学技術館サイエンスホール(東京都・千代田区)

竹瀆朝美, 安田陽, 風力・太陽光電力の出力変動, 予測誤差と予備力の関係, ドイツの経験, 2016 年 7 月 13 日, 電気学会・新エネルギー・環境, 高電圧・合同研究会, 京都大学吉田キャンパス(京都府・京都市)

Asami Takehama, Reverse power flow from high voltage grids to extra-high voltage grids and large-scale wind and PV integration in Germany, its policy implications for Japan, International Workshop on Clean Energy Development in Asian Cities (Technological and political perspectives). 2016 年 3 月 29 日. Organized by Institute of Advanced Energy, Kyoto University, 京都大学宇治キャンパス(京都府・宇治市)

Asami Takehama, Reverse power flow from high voltage grids to extra-high voltage grids, bi-directional grid operation in Germany-Policy implications for wind and PV energy integration in Japan, Japanese-German Workshop on Renewable Energies: Part I- Energy Systems Analysis and Energy Policy. 2016 年 3 月 1 日. Organized by DLR German Aerospace Center and University of Stuttgart and International Superconductivity Technology Center.(招待) 東京ビッグサイト(東京都・江東区)

竹瀆朝美, 風力・太陽光発電による配電網における逆潮流をめぐる系統運用-日独比較. 日本環境学会第 41 回研究発表会. 2015 年 6 月 20 日. 龍谷大学深草キャンパス(京都府・京都市)

Asami Takehama, Grid integration of wind and solar energy in Japan and Germany: Uni-directional grid operation and bi-directional grid operation, 2015 年 3 月 5 日. Energy Transitions around the World. Organized by Helmholtz Alliance ENERGY-TRANS, the Environmental Policy Research Centre, Freie Universität Berlin, Berlin(Germany).

竹瀆朝美, ドイツにおける風力発電大量連系と柔軟な系統運用, 110kV 系統から 380kV 系統への逆垂直負荷について. 2014 年 11 月 28 日. 第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム, 日本風力エネルギー学会, 科学技術館サイエンスホール(東京都・千代田区)

Asami Takehama, Grid integration of wind and solar energy in Japan and Germany: 'Top-down' grid operation and 'bottom-up and flexible' grid operation, 19th REFORM Group Meeting Salzburg, 2014 年 9 月 4 日. Schloss Leopoldskron, Salzburg(Austria)

竹瀆朝美, 安田陽, ドイツにおける風力・太陽光発電の大量連系と系統運用分析, 電気学会, 新エネルギー・環境・高電圧, 合同研究会. 2014 年 6 月 14 日. 関西大学千里山キャンパス(大阪府・吹田市)

〔図書〕(計 1 件)

竹瀆朝美, 他. 日本評論社, 地域分散型エネルギーシステム, 2016. 328 (147-166).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹瀆 朝美 (TAKEHAMA, Asami)  
立命館大学・産業社会学部・教授  
研究者番号: 60202157