

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420266

研究課題名(和文) スマートグリッドと既存系統の連系協調と相互運用性のある運用・計画・制御の研究

研究課題名(英文) Planning/operation/control of smart grid which has inter-operability with conventional power systems.

研究代表者

伊庭 健二 (Iba, Kenji)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：40369955

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)：国内の風力発電所(WF)の運用実績データを用いて、ならし効果の定量評価や地域特性、WF内外の出力相関分析と予測問題、蓄電池運用の変動抑制効果と充放電効率の実績評価を行った。またこれまで曖昧であった「ランプ応答」の定義について定量的な定義の検討を行った。風力発電の出力特性は一般への公開は少なく、系統運用に携わる実務者や研究者にとっても大きな関心事であった。本研究は実績データを忠実に統計分析したものが中心だが、その成果を約14編の研究会論文にまとめて発表し、再生可能エネルギーの運用上の問題や蓄電池運用の課題抽出ができた。今後はデマンドレスポンスの有効性を考慮した相互運用性の研究等につなげたい。

研究成果の概要(英文)：In this project, various behaviors of wind farms (WF) were statistically analyzed using practical recorded data. The leveling effects of WFs which are located in various part of Japan, correlative analysis of each wind mills in WFs in various sites were analyzed. The performance of smoothing effects by battery was evaluated along with the efficiency of charge/discharge of battery. The definition of "Ramp Response", which implies sudden changes of output, were tested and examined, because there was no clear quantitative definition, so far. Although our research is based on fundamental statistic analysis, our reports are valuable to the researchers and system operators, since this kind of information are not open to the public.

Our future studies are to expand to the issue of "Demand Response" that will be a key factor of interoperability of power systems.

研究分野：電力系統

キーワード：アグリゲーター デマンドレスポンス 再生可能エネルギー 出力変動抑制 蓄電池 ウェイクロス
ランプ応答

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は特定の地域内のスマートグリッドの実証試験が進み、その内部での系統運用維持に見通しを得ていたものの、既存電力系統網との連系方法、共存方法について検討が進んでいなかった。またスマグリの運用責任者や制御指針も不明確であったため、既存の電力システムと相互協調をして、広域システム内でのインターオペラビリティ(相互運用性)の確立が必要であると思われる、研究を開始した。しかし、その後国内外ではアグリゲータの必要性和、その機能のひとつであるデマンドレスポンス(DR)への期待が高まる一方、再生可能エネルギーの挙動の定量的把握が必要になってきた。

2. 研究の目的

従来の電力システムは、大規模電源から超高圧送電線を介して遠く離れた需要地まで送電することに主眼が置かれていた。しかし東日本大震災以降、再生可能エネルギー(RE)による分散型電源への期待が高まり、この普及拡大と、双方向通信を活用したスマートグリッドへの期待が高まった。ところが多くのプロジェクトでは電力会社は主体的な役割は果たしておらず、推移を見守る立場をとっていたため、このような独立系統と情報をやり取りして、大規模な電力系統網を維持管理するかの検討は進んでいなかった。また、出力が変動する再生可能エネルギーを大量導入するには、これまでにない需給バランス制御が必要であるが、その出力特性は十分把握されていなかった。

そこで本研究ではスマグリと既存電力系統網間の制御責任分担の要件、授受が必要な情報の把握、RE大量導入時に危惧されている大規模系統内の安定度維持するために必要な要件を把握し、インターオペラビリティ(相互運用性)の高いシステムの構築に資することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 再生可能エネルギーの全国的影響研究

研究の開始時には全国6箇所にて点在する風力発電所の出力分析を行った。出力変動は時々刻々に把握する必要があるため、発電所内に建つ全風車毎のデータを秒間隔で2年間記録した実測データを用いた。

研究では年間を通じて同時刻の出力を積算し、全国大での「ならし効果」を定量的に分析することで、出力変動がどの程度平均化されて低減されるかを調べた。また、設備容量に対して常時どの程度の出力をしているかを分析し、自然任せの電源へどの程度依存してよいかを調べた。

(2) 風力発電所内の風車の出力相関研究

風力発電所の出力変動は系統運用者やアグリゲータにとって重大な運用情報であるが、発電所全体として察知すべきか風車ごとに察知すべきかを、風車毎の秒間隔の挙動相

関を分析することで把握を試みた。

解析手法としては風車毎の出力相関を算出して挙動の類似性があるかを分析した。また、風車が他の風車の風下に入ることによって出力が低下するというウェイクロス現象が実測データからも読み取れるか調査した。

(3) 風力発電の急峻な出力変動研究

風力発電所の出力変動は蓄電池で緩和することが有力な手段であり、入手したデータには蓄電池併設型の風力発電所もあったので、実運用データからその特徴を分析し、その効果を定量的に分析した。また、これまで定義が曖昧であったランプ応答(急峻な出力変動)に関しては、簡便な2つのパラメータを用いながら数学的に厳密な定義を模索し、これを用いた検出結果の特徴分析を試みた。

(4) アグリゲータの蓄電池運用研究

本研究の計画段階では、スマグリと電力会社間の相互強力に必要な情報交換をグリッドコード化することを想定したが、その後、地域を特定したスマグリだけを対象とせず、広域的な運用機関がバランシンググループ(BG)を管理し、BGがアグリゲータによるデマンドレスポンス(DE)によって需給バランスを図る構想が主流となった。

その為、本研究においてもこの構想に基づき、蓄電池の多目的運用の評価と需要家蓄電池のDR余力算定等、新たな調整組織・機関を想定した蓄電池運用技術の研究を行った。

4. 研究成果

(1) 再生可能エネルギーの全国的影響研究

本研究では日本全国にバランスよく位置している6つの風力発電所で2年間にわたり1秒間隔で記録されたデータを用いて出力特性の統計的分析を行った。

始めに同時刻の発電所の出力を積算することで、変動分が平均化される「ならし効果」を分析した。変動を短時間区間の標準偏差で評価したところ、変動の標準偏差が概して半分減ることがわかった(図1参照)。

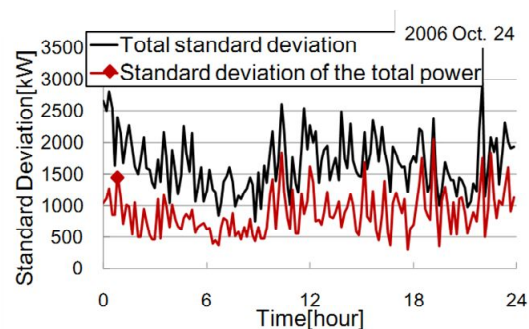


図1 ならし効果による変動抑制効果

一方、我が国で需給逼迫を起こしやすい夏季においては風況が悪くなり、出力が大幅に減ることも統計的に把握できた(表1参照)。この季節的な発電分布には全国的に傾向が一致し、夏季には風力発電に過度に依存できないことが明らかになった。また、年間を通

しての出力分布を求めたところ、全時間帯の約 50%の時間帯で設備総容量の 20%が確保できていることがわかった(図2参照)。また、解析に用いた計測データには欠落や誤計測も少なからず含まれるため、これらをどのように扱うべきか苦慮した。上記結果はこのようなバッドデータを含めた分析結果であり、やや悲観サイドの結果になっている。

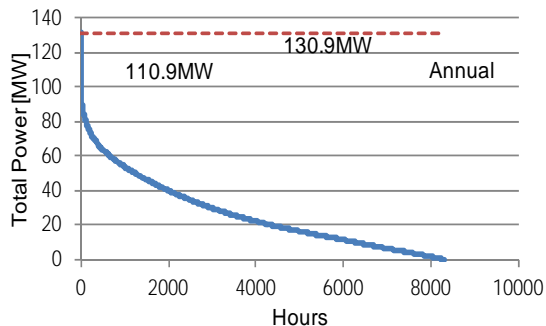


図2 年間を通じての風力発電出力分布

表1 6 発電所合計の月別出力

2006	Max [MW]	Average [MW]	Utilization factor[%]	Energy [%]
Jan	99.7	45.2	34.5	6.9
Feb	103.6	39.9	30.5	12.2
Mar	110.9	45.5	34.8	15.5
Apr	91.0	32.5	24.9	10.7
May	95.9	26.1	19.9	8.8
Jun	69.4	13.0	10.0	4.1
Jul	61.9	15.8	12.1	5.4
Aug	49.3	8.7	6.6	2.9
Sep	76.4	16.9	12.9	5.6
Oct	88.5	24.5	18.8	8.3
Nov	91.3	29.9	22.8	9.8
Dec	91.5	28.7	21.9	9.7
Annual	110.9	26.3	20.1	100

(2) 風力発電所内の風車の出力相関研究

風力発電所の出力変動特性を把握するため、所内に点在する 15-25 基程度の風車個々の出力相関を分析した。もし、風車間の出力に強い相関があれば、出力予測は発電所単位に行うことができ、また、出力の短期予測が可能になるはずである。

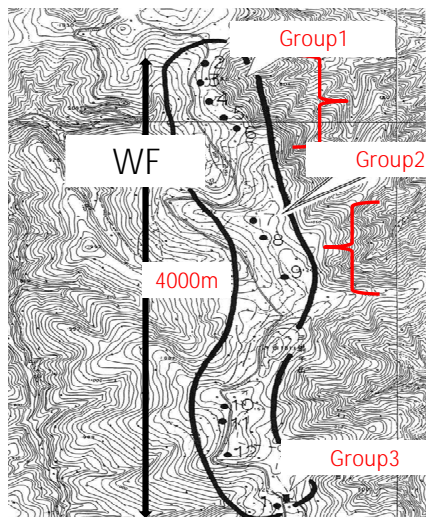


図3 山間部の風力発電所の風車分布

解析の結果山間部の風力発電所では、複雑な地形のせいか顕著な相関は見られなかった。このことは気象条件が同じでも風車毎の出力はばらついていることを意味しており、より正確な出力予測のためには風車毎の予測が必要であることを意味している。ウェイクロス現象についても尾根上に点在する風車に標高差があることなども影響したせいか、顕著な出力低下影響が見られなかった。このような状況では風車間隔を離す必要はないことがわかった。

一方海岸沿いの風力発電所では強い風車間の出力に相関が観測された。特に海に直面する風車間の相関は強く、発電所全体の出力予測が可能であると思われる。またウェイクロス現象については2基の風車の対の出力差を調べることで評価し、2基の出力差が一方に偏っているのが顕著に観測できた(図4参照)。この事実は風下の風車の出力が低下していることを意味するのでウェイクロスが顕著であるといえる。しかし年間を通じて出力低下が顕著になるような風向は僅かな時間しか吹かないことも確認できた。おそらく発電所の風車配置の計画段階でウェイクロスの影響が考慮されていると思われる。

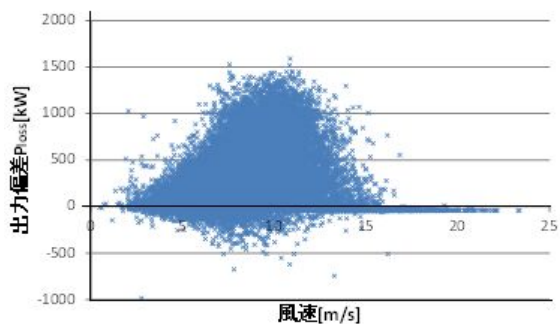


図4 ウェイクロスが顕著に観測された例

(3) 風力発電の急峻な出力変動研究

ランプ応答を事前に検出することはシステムの安定供給寄与する重要な課題であるが、その定義は曖昧で、東北電力の連系要件としてかつて提示された「任意の 20 分間で最大変動幅が定格出力の 10%以上」が良く使われてきた。しかし、この定義を用いると図5に示すように検出件数が多すぎ、実用上使えない。そこで慣例的な定義に倣い、時間間隔と最大変動幅のふたつをパラメータとして、実用的な定義を模索した。

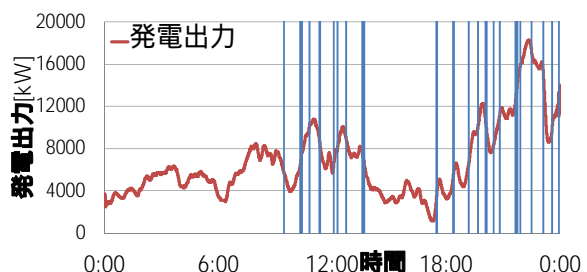


図5 慣例的定義によるランプ応答検出例

さらに目視による検出（これも定義が曖昧である問題是否めないが）との比較も行い、時間区間 200 分、最大変動幅 35%が適しているという結論を得た。この定義を用いて、年間の発電所出力からランプ応答を検出し、時間帯別に分類した例を図 6 に示す。僅かであるが日の出、日の入り、早朝時に出現が多い傾向が把握できた。

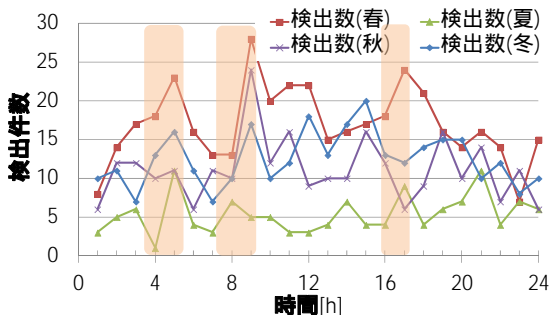


図 6 時間帯別のランプ応答検出数

蓄電池併設風力発電所の 1 月中旬の 1 日間の出力変動の標準偏差例を図 7 に示す。この図より比較的小さな変動に対して蓄電池は良好に変動抑制し、標準偏差を低減していることがわかる。しかし変動の大きな 4 時や 7 時の時間帯には変動は十分抑制できない。

さらに図 7 の点線の四角で示した部分を拡大したものを図 8 に示す。この蓄電池は定格出力の約 13%の設備容量(kW 容量)があり、その 1.5 倍程度の短時間出力をしているが、風車出力の急峻な変動には十分補償できず、設備容量が不足していることがわかる。

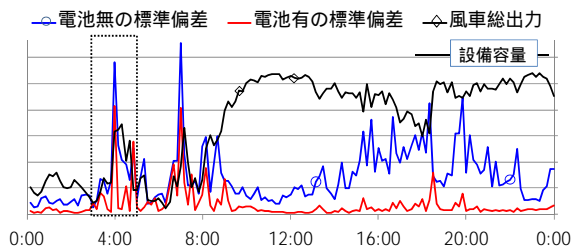


図 7 蓄電池による標準偏差の抑制例

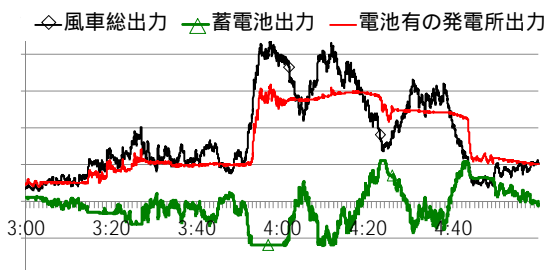


図 8 出力変動抑制の限界例

(4) アグリゲータの蓄電池運用研究

アグリゲータがデマンドレスポンスを用いて需給バランスを図る場合、需要家の負荷抑制だけでは十分な調整力を確保できないことが予想されている。DR に関しては時間別

料金などのプライスベース法から指令時の抑制を確約するインセンティブベース法が有望視されるようになり、蓄電池運用技術が注目されている。

本研究では需要家側での蓄電池の多目的運用の検討では、アグリゲータが複数の需要家のために負荷平準化と PV の出力変動抑制の異なる目的（多目的）で蓄電池運用することを検討した。その結果負荷平準化を目的とする蓄電池の運用時には、PV の出力変動抑制に供出することができる蓄電池容量が残されていることが多いことがわかった。また、個々の目的のためにだけに使用することと比較して、目的達成能力は若干低下するもののコンフリクトも少なく、多目的運用する技術的・経済的価値が十分あることがわかった。（図 9 参照）

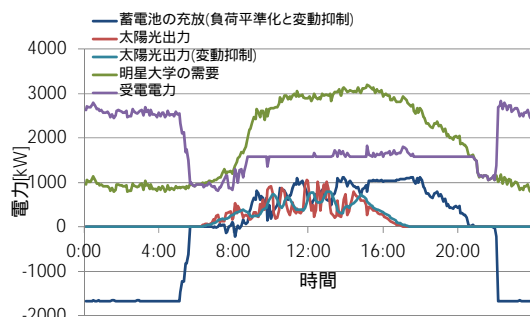


図 9 蓄電池を同時運用し多目的利用した例

研究の成果は間接的な論文も含めて国内外の 14 編の学会論文（電気学会全国大会、研究会、ICEE）にまとめ発表した。本研究は実績データを忠実に統計分析した内容が中心になるため新規性は乏しいものの、得られた分析結果は系統運用に携わる実務者には有益なものであると自負している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 14 件)

「需要家における蓄電池の多目的運用の検討」原口嵩康, 山口洋樹, 伊庭健二 電気学会全国大会 東北大, 6-249, 2016.3.18

「風力発電所内の風車毎の出力相関の調査」山口洋樹, 原口嵩康, 伊庭健二 電気学会全国大会 東北大学, 7-069, 2016.3.16

H.Yamaguchi, T.Haraguchi, K.Iba, "Correlation of Power Outputs of Windmills in some Wind Power Plant" IEEJ PES-IEEE PES Thailand Joint Symposium on Advanced technology in Power Systems 2016, Thailand, 2016.3.11

「風力発電のランプ応答箇所の自動検出に関する検討」高橋大樹, 山口洋樹, 伊庭健二, 電気学会 電力技術合同研究会, 宮古島市, PE-16-028, 2016.3.9

K.Iba, "Battery Energy Storage System as Essential Facility for Stable Power System Operation" World Engineering

Conference and Convention (WECC2015)
2015.12.1, Track 2.3, Kyoto Japan

「風力発電の出力変動と大気圧変動の定性的調査」 山口洋樹,原口嵩康,竹本泰敏,伊庭健二 電気設備学会全国大会,北海道大学,2015.9.2

「国内のウインドファームの出力変動と気象条件の影響分析」山口洋樹,竹本泰敏,伊庭健二 電気学会 B 部門大会,2015.8.27, 127 名城大学

H.Yamaguchi,Y.Hida,K.Iba, "Evaluation of Windmills' Wake Loss and Performance of Battery Energy Storage System in Wind Farms" ICEE2015, 2015.7.7, HongKong

「ウインドファーム内におけるウェイクロスの分析調査」山本隆史,山口洋樹,伊庭健二 電気学会全国大会 東京都市大学,6-249, 2015.3.25

「電池併設風力発電所の運用実績に基づく平滑化効果の分析」 田中利樹,山口洋樹,伊庭健二 電気学会全国大会 東京都市大学, 6-210, 2015.3.26

「ウインドファーム内の風車毎の出力特性とウェイクロスの影響分析」 山口洋樹,田中利樹,山本隆史,伊庭健二,電気学会電力技術合同研究会,宮古島市,PSE-15-048, 2015.2.20

「地域的風況特性を考慮したウインドファーム出力の統計分析」 山口洋樹,山本隆史,田中利樹,伊庭健二,電気学会電力系統技術合同研究会,大阪府立大,PSE-14-159, 2014.9.25

H.Yamaguchi,Y.Hida,K.Iba, "Statistical analysis of the fluctuation and intermittency of individual windmill in existing wind farms",ICEE2014 2014.6.17, Jeju Korea

「風力発電所のならし効果と風車毎の出力相関分析」 山口洋樹,山本隆史,田中利樹,伊庭健二 電気学会全国大会 愛媛大学, 6-156, 2014.3.18

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

www.hino.meisei-u.ac.jp/ee/iba/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊庭 健二 (IBA, Kenji)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号: 4 0 3 6 9 9 5 5

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし