

## 論文の内容の要旨

論文題目 電力市場におけるマイクログリッドの経済性分析

氏名 馬 天虎

PV 大量導入すると、さまざまな技術課題が存在している。余剰電力や配電系統電圧上昇や調整力の減少や需給バランスの困難や電力市場取引リスクの増大などの技術課題が存在している。一方で、近年に需要側に電気自動車や HPWH やマイクログリッドなどのたくさんの負荷側機器の導入も進んでいる。PV 導入すると伴う技術問題には、負荷側機器から対応することが提案されているが、技術実現性と経済性分析の研究が必要である。

本研究は、PV 大量導入の背景に基づいて、マイクログリッドが系統運用の需給バランスにの経済性貢献に向け検討している。東日本 10 機関東電力系統モデルをベースに、系統運用者とマイクログリッド運用者の双方最適スケジューリングを通して、マイクログリッドの経済性を分析することである。マイクログリッドが電力系統運用に貢献する方式が二つの方式がある。一つ目は直接に系統運用からディスパッチする方式またはマイクログリッドが電気事業者と同じように電力市場に参加する。経済性の観点から、マイクログリッドのオーナーは従来の電気事業者と違う利益関係者であり、市場の方式で電力系統全体の利益均衡を通して、電力系統運用の全体の経済性効率を向上できると考えられる。さらに、マイクログリッドが需要側に置く負荷側機器として、市場に参加する方式が二つがある。一つ目は直接に電気事業者と同時に入札して取引する方式である。もう一つ目は系統運用者が価格を先に決めて、マイクログリッドが各市場閉場してから系統運用者からの価格信号に応じて運用する。一番目の直接に市場に入札するのは普通の電力市場取引方式である。二番目の価格反応方式は近年に注目しているデマンドレスポンスと同じような方式である。本研究では、価格反応方式を採用してマイクログリッドが系統側にの経済性貢献を分析する。

本論文は全8章で構成され、各章の概要及び主な内容は下記の通りである。

第一章は、研究の背景、研究目的と論文の構成を述べる。

第二章では、電力需給運用についての背景を述べて、PV 導入に伴う需給運用についての技術課題を述べて、電力系統柔軟性の研究現状を述べて、電力市場とデマンドレスポンスの背景を紹介して、マイクログリッドの経済性運用の経済性評価についての研究現状を述べる。

第三章では、本研究ではの計算フローとシミュレーションモデルを述べる。本研究では、マイクログリッドが価格に反応した結果が系統側に与える影響を考察するため、一日前市場と一時間前市場の二つの市場を設定した。一日前市場で系統側の系統運用者は予測した系統負荷と予測した太陽光出力に基づいて、最適スケジューリングして、一時間ごとの各発電機の出力、稼働状態と限界エネルギー価格を決める。そして、マイクログリッドが傾倒運用者から決めた限界エネルギー価格に応じて、マイクログリッド中の負荷とPV出力に基づいて、最適スケジューリングする。一時間前市場となると、系統運用者が実給の直前の一時間前にの変わった負荷と変わったPV出力とマイクログリッドの反応分に基づいて、最終調整としての最終スケジューリングして、各発電機面の出力と一時間前市場の限界エネルギー価格と瞬動予備力価格を決める。その後、マイクログリッドが一時間前市場の限界エネルギー市場価格と限界瞬動予備力価格に反応して、最終の運用を決める。

本研究で利用した系統側のモデルは電気学会東日本EAST10機標準系統モデルをベースに修正した。東京電力と東北電力の管内を合わせた負荷の東日本規模電力系統(40GW~70GW)を想定した。最大22GWのPVとほぼ5GWの分散型電源を含むマイクログリッドが導入された系統を想定したモデルである。系統側のPV出力の波形は気象庁で公開している日射量を使用する。一日前市場におけるPV出力の予測値は気象庁で公開している天候データをバックプロパゲーション、ニューラルネットワーク

(BackPropagation, Neural Network; NN) 機械学習の手法で予測する。一時間前市場のPV出力は気象庁で公開している日射量の実測値を利用する。マイクログリッドは65個の導入を想定し、一つのマイクログリッドは20MWのガスタービン2機、12MWのガスエンジン3機、および15MW、60MWhの電力貯蔵装置を保有するものとした。65個のマイクログリッドの分散電源容量が合計4940MWとなる。マイクログリッド負荷(load)は電気負荷と熱負荷を含めている。電気負荷(Eload)は電気学会の商業・住宅・工業負荷モデルの平日及び休日を、それぞれ高負荷と低負荷として使用する。一日前市場

の負荷予測値と一時間市場の負荷は同一と仮定する。熱負荷(Qload)はホテル、病院と事務所ビルで給湯、冷房と暖房の三つの需要から作っている。マイクログリッドの内部のPV出力は一日前市場におけるPV出力はNEDOから東京、府中、八王子、練馬、青梅の日射量の平均値を予測値として使用し、一時間市場のPV出力波形は東京地域の日射量実測値を使用する。

第四章では一日前市場における系統側とマイクログリッド側のスケジューリング定式をモデリングした。PV 大量導入が揚水発電機の運用に与える影響を分析した。PV 大量導入が火力発電機の運用に与える影響を分析する。PV 大量導入が限界エネルギー市場価格に与える影響を分析した。限界エネルギー市場価格がマイクログリッドの運用に与える影響を分析した。エネルギー貯蔵装置がマイクログリッドに及ぼす影響を分析した。

第五章では一時間前市場における系統側とマイクログリッド側の最終スケジューリング定式をモデリングした。負荷変動が系統側運用の影響を分析した。負荷変動の要因を分析した。市場価格変化がマイクログリッドの運用に与える影響を分析した。PV 出力変化がマイクログリッドの運用に与える影響を分析した。一日前市場約定した分がマイクログリッドの運用に与える影響を分析した。

第六章ではマイクログリッドが自立運転する場合、系統側とマイクログリッド側の最終スケジューリング定式をモデリングした。マイクログリッドが系統と接続する場合と自立運転する場合に、一時間前市場での系統側とマイクログリッド側の運用をそれぞれで比較した。系統側とマイクログリッド側の最終コストを分析した。

第七章では 市場価格構成の分析した。マイクログリッド中の PV 出力の予測誤差がマイクログリッドの最終コストに与える影響を分析した。マイクログリッドの貯蔵装置容量変化によるマイクログリッドの最終コストに与える影響を分析した。

第八章では、本研究の結論を述べた。PV の導入が系統側に与える影響として低負荷時期に揚水発電機の揚水モードの運用時間が従来の深夜低負荷時期だけでなく、昼間の PV 出力ピーク値の時期にも拡大することがあった。高負荷時期に揚水発電機が昼間に太陽光出力を消費して、昼過ぎに PV の出力が下がると揚水発電機が発電モードで出力が多くなる。PV 導入が火力発電機の影響として、限界火力発電機も PV のピーク値が過ぎる時間帯に起動することになり、限界火力発電機の起動と出力時間が変化すると系統側の限界エネルギー市場価格も従来の価格変化異なったものとな

る。

一時間前市場となると、負荷変化による市場価格も変わる。負荷変動要素は四つの原因がある。一つ目は一日前市場での系統トータル負荷から一時間前市場系統トータル負荷に変る。または一日前市場での予測負荷から一時間前市場実測負荷にかわる。二番目は太陽光出力には、一日前市場での予測PVから一時間前での予測PVにかわる。三番目はマイクログリッドが一日前市場の限界エネルギー価格に反応することによる取引分である。四番目は一日前市場の運転予備力は8%の系統側トータル負荷を要求されている。一時間前市場の運転予備力は5%の系統側トータル負荷を要求されている。

限界エネルギー市場価格が変わると、マイクログリッドの分散電源の起動と出力時間も変わり、低負荷時期には、コストが高い分散電源の運転を避けるため、不足電力への対応は貯蔵装置の放電と価格が低い系統電力の買電により、対応する。高負荷時期には、分散電源と貯蔵装置が系統限界エネルギー市場価格変化と連動して、大きな収入を得る。マイクログリッド内部PVの導入と一日前市場での電力取引により需給バランスの調整における市場への依存程度が高くなる。さらに、マイクログリッドが系統と接続する場合、低負荷時期にマイクログリッドは系統側の負荷平準化に貢献し、高負荷時期に系統側のコストが高い石油発電機の起動の低減させることで経済的なメリットも大きい。系統運用者に対して、運用効率の改善効果がある。さらに、経済性指標としての燃料コストに対して、系統と接続する場合はマイクログリッドが自立運転する場合と比べ、低負荷時期も高負荷時期も系統側とマイクログリッドのそれぞれの燃料コストおよび合わせたトータル燃料コストが市場なしの場合より低くなり。双方に便宜があるwin-winの結果が得られた。

今後の課題としては、PV出力の不確実性、予測誤差の市場に応じた精緻化がある。マイクログリッド内部のPV出力不確実性と予測誤差がマイクログリッド燃料コストに影響与えると予想される。