

レジリエントな マイクログリッド管理ソリューション

Babak Asghari Feng Guo Ali Hooshmand Rakesh Patil Seyyed Ali Pourmousavi Di Shi Yanzhu Ye Ratnesh Sharma

要旨

分散型発電及びエネルギー貯蔵システム設置の拡大は、信頼できる効率的な電力系統（送電網）を運用するための新たな課題とチャンスの世界にもたらしました。また、スマートグリッドの進化により、分散型発電、エネルギー貯蔵システムと負荷を集約した、「マイクログリッド」と呼ばれる自己完結型のエネルギーエコシステムが誕生しました。マイクログリッドがもたらす極めて重要な価値の1つに、レジリエンス（弾力性）があります。これは、リスクを予測して、その影響を抑制し、迅速な復旧を可能にすることで、常時変化する環境下でも存続・適応・進化を続けながら、期待されるサービスを提供し続ける能力です。NEC Laboratories Americaでは、系統接続モードと系統非接続モードの両方で動作し、運用費用を低減し、かつ災害やシステム故障、その他予測不能な事態に対するレジリエンスを改善するマイクログリッド管理ソリューションを開発しました。本ソリューションはまた、マイクログリッドを系統に接続する際の再生可能エネルギー統合と需要変動にも対応しています。



エネルギー管理／マイクログリッド／再生可能エネルギー電源統合／レジリエンス

1. はじめに

マイクログリッドとは、負荷・分散型発電リソース・エネルギー貯蔵装置を集約したものです（図1）。動作中、マイクログリッドは電力系統内で独立した構成要素となり、他のマイクログリッドやミニグリッドと電力・情報・コントロール信号の交換が行えます。

電力系統にマイクログリッドを導入することにより、多くの動作上の利点を得ることが可能です。具体的には、マイクログリッド内での再生可能エネルギーの統合サポート、

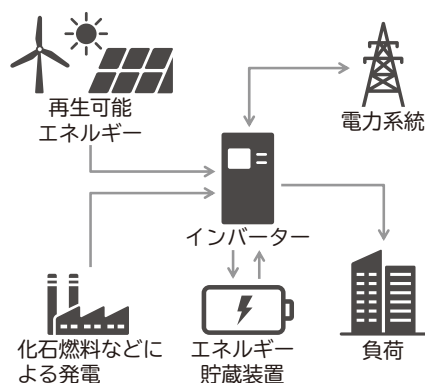


図1 マイクログリッドの構造

電気供給費用の低減、停電時における系統からの隔離とサポートなどがあり、マイクログリッドで各種サービスの提供を可能にすることで、電気市場への参入を実現します。Navigant Researchの最近の報告によれば、全世界のバンダーが得るマイクログリッドからの収入は、基礎シナリオで2013年の43億ドルから2020年には199億ドルに成長するとされています。

マイクログリッドを効率的に動作させるには、管理ソリューションとして以下の2つの課題を達成する必要があります。

- 1) 用途に基づいて長期制御戦略を定義することでマイクログリッド性能を最適化すること
- 2) あらゆる動作上の制約を満たしながらマイクログリッドをリアルタイムに最適化・制御すること

更に、エネルギー貯蔵装置には高い初期コストが掛かるため、その劣化をモデル化して制限することも重要です。

これらの目標を達成するため、NEC Laboratories Americaはマイクログリッドのための管理ソリューションを開発しました。このソリューションは、エネルギーマネジメントシステム（EMS）とレジリエンスコントローラの主要2つのレイヤーで構成されており、両者は常時情報を交換しています（図2）。

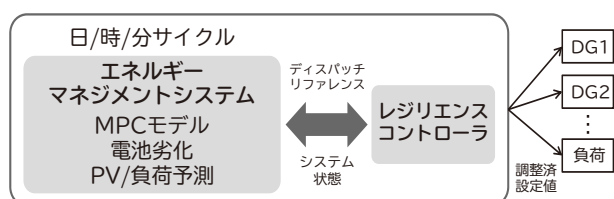


図2 NECのマイクログリッドソリューションのレイアウト

2. エネルギーマネジメントシステム (EMS)

エネルギーマネジメントの問題は、系統接続及び系統非接続の両動作モードにおいて、マイクログリッドの各種内部装置が必要とする電力を供給するための、経済的なスケジューリングです。この問題は、異なる装置の動作に関連してさまざまな課題が存在するため、更に困難になることがあります。

例えば、再生可能エネルギーを利用する電源の多くが間欠的で制御不能であること、時間による負荷が変動すること、系統電力の料金体系が異なること、計画的または非計画的な停電、分散型エネルギー源 (Distributed Energy Resources: DER) の効率特性、エネルギー貯蔵装置の劣化、電気の需給のバランスを取るための選択肢の多さ、といったものです。

EMSはマイクログリッドの日々の運用コストに直接影響するため、本ソリューションの重要な事業価値の1つになっています。EMSはマイクログリッドの各装置の運用モデルで構成されています。その内容は、費用モデル、再生可能エネルギーの予測発電や予測モジュールに基づいた動的負荷における運用上の制約、動的料金構造、決定論的・確率論的なマイクログリッドの停電、効率に基づいたDERの費用モデル、電池の容量に基づいた費用モデル、劣化モデルなどです。

更に、マイクログリッド網内装置の相互作用も総需給バランスモデルに基づいて考慮され、上記の各モデルも経済的スケジューリング問題のフレームワークに組み込まれます。EMSはモジュラー構成を採用することによって柔軟性と包括性を備えた構造になっており、この構造では、どのような装置をマイクログリッドに追加しても、そのモデルを変更する必要がありません。また、故障した装置は再びセットアップするまでEMSモデルから除外しておくこと

ができます。

最後に重要な点としては、モジュラー構造は、地域の電力系統に、付随的サービス・需要応答・ピーク負荷低減などの追加サービスの提供を可能とするため、より大きな収益を期待できる点です。

EMSでは、再生可能エネルギーと負荷プロファイルの不確実性に対応するために、モデル予測制御 (Model Predictive Control: MPC) 技法を採用しています。MPCとは、モデルを利用してシステムの挙動を推定するタイプの制御方式です。また、MPCは予測データの実際の値を計測し、予測プロファイルを動的に修正します。MPCは、モデルに基づく閉ループ制御が可能のため、EMSの問題解決に最適な機動的アプローチといえます。

2.1 電池劣化モデル

電池は化学的蓄電装置であるため、本来のエネルギー容量と電力供給能力は使用量にしたがって低下します。電池のエネルギー容量と電力供給能力の劣化は、さまざまな環境的・動作上の要因によって影響を受けます。

電池はマイクログリッド内で最も高価な装置の1つであるため、経済的寿命を最大化するように運用することが極めて重要です。NEC Laboratories Americaはその解決策として、リチウムイオン電池という枠組みのなかでサイクル動作と経年変化を統合した、精確な電池劣化モデルを開発しました。この電池劣化モデルは、電力系統における電池動作に関する豊富な知見に基づいたニューラルネットワークと統計技法を駆使して構成されています。サイクル動作と経年変化を統合することで、適切な入力パラメータの選択を実現しています。

この劣化モデルは最終的にマイクログリッドEMSと統合され、電池劣化の監視と抑制を行い、EMSの生成した電池設定値を調整することで電池の寿命を維持します。本機能とそのEMSへの統合は、これまでに例を見ない試みです。

2.2 予測モデル

本ソリューションは、要素技術の1つとして予測技術も採用しています。再生可能エネルギー発電と負荷は、変数として不確実であるため予測が必要となります。

NEC Laboratories Americaの予測技術は時系列法に基づいており、温度をはじめとする外因性の変数も入

力できます。コンピュータ的な側面から見ると、この予測技術はメモリや処理要求が非常に軽くなっており、これは、予測処理の入力が基礎システムの物理特性及び各種システムパラメータ間の関係に関する専門的知識に基づいた独自の方法で利用されている、という理由によるものです。

予測は、EMSの時間ステップごとに負荷と再生可能エネルギー発電の最新データを用いて繰り返し行います。こうした特長により、予測精度の向上やEMSのコストパフォーマンスの改善が期待できます。また、本予測技術はエネルギー管理や最適化機能以外にも適用でき、信頼性の改善や市場参加の可能な範囲の査定に効果を発揮します。

3. レジリエンスコントローラ

マイクログリッドが電力系統にもたらす極めて重要な価値に、レジリエンス（弾力性）があります。これは、マイクログリッドがリスクを予測し、その影響を抑制し、迅速な復旧を可能にすることで、常時変化する環境下でも存続・適応・進化を続けながら、期待されるサービスを提供し続ける能力を指します。マイクログリッドは、DERを利用した従来系統の小型・ローカル版であるため、マイクログリッドコントローラはこれまでの電力系統のあらゆる課題だけでなく、再生可能エネルギー電源の間欠性、系統接続モードと系統非接続モード間の切り替えといった付加的課題にも対応できなくてはなりません。

上述のように、マイクログリッドのレジリエンスコントローラは、システムのレジリエンス動作に関連したすべての課題を管理できるように設計されています。マイクログリッドのレジリエンスコントローラは、系統接続及び系統非接続両方のマイクログリッドシステムに数多くの機能を提供します。提供されている具体的な機能には以下のものがあります。

- 1) 自動発電制御
- 2) リアクティブ電力管理
- 3) 機器状況/故障識別
- 4) 変動安定化
- 5) 非常時または保守中のマイクログリッド隔離
- 6) マイクログリッドのメイングリッドへの再接続

通常EMSは、予測した再生可能エネルギー発電と負荷のプロファイルに基づき、日/時/分サイクルで分散発電機（Distributed Generators : DG）のための電力出

力をスケジューリングします。レジリエンスコントローラは数秒ごとに動作して、マイクログリッドの動作中に発生した外乱に対処します。すべてが想定どおり完璧に動作している場合、レジリエンスコントローラはすべてのDGに対し、EMSの設定した電力リファレンスに正確に従うように指示します。もし外乱が発生した場合または再生可能エネルギー発電が負荷に変化があった場合に、レジリエンスコントローラはすべてのDGの設定値を調整します。

発電失敗時は、レジリエンスコントローラがこれを識別し、ディスパッチリファレンス更新のために、その情報をEMSにフィードバックします。レジリエンスコントローラが採用する主要な技術は動的ドループ制御といい、リアルタイムのシステム動作条件に基づいてすべてのDGのドループ制御係数を継続的に調整する技術です。

レジリエンスコントローラはマイクログリッドのレジリエンス的側面を管理しているため、統合したマイクログリッド管理ソリューションの不可欠な要素として動作できるようにEMSと連携する必要があります。

4. 技術検証

技術検証のためのハードウェアテストベッドを実際に構築するには、費用と時間が必要です。そこで、開発したマイクログリッド管理ソリューションの検証用として、図3に示すようなリアルタイムシミュレーションプラットフォームを開発しました。

このリアルタイムシミュレーションプラットフォームでは、マイクログリッドをOpal-RT Technologies製のリアルタイムシミュレータ内にモデル化しており、マイクログリッド管理ソリューションは、コントローラ内に実装されています。コントローラとマイクログリッドはTCP/IPで情報交換します。このプラットフォームは、マイクログリッド管理ソリューションの性能を試験できるよう、さまざまな

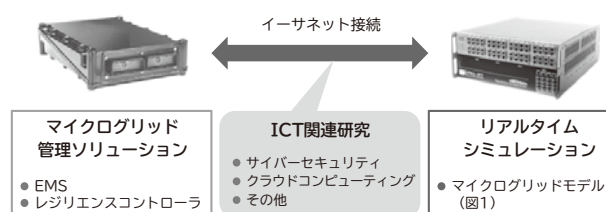


図3 マイクログリッド管理ソリューションの技術検証

レジリエンスに関係する事態をミリ秒単位の精度で再現可能です。

この検証アプローチにより、ハードウェアを準備する前にあらかじめコントローラ試験ができるため、開発サイクルの短縮が可能です。ハードウェアの損傷も避けられるため、開発コストの低減も期待できます。また、このプラットフォームは通信網と電力網の両者を統合する能力を備えているため、電力業界におけるICTの実現の検討にも有効です。

5. おわりに

本稿では、NEC Laboratories Americaで開発されたレジリエントなマイクログリッド管理ソリューションを紹介しました。本ソリューションは、マイクログリッド市場における顧客の主要な要求事項に対応しています。要求事項のうち、電気コストと再生可能エネルギーコストの低減は、管理ソリューションのEMSレイヤで提供します。マイクログリッドの領域のもう1つの重要な要素であるレジリエンスは、本ソリューションのコントローラレイヤで対応します。

NECのマイクログリッド管理ソリューションに組み込まれた実践的な独自技術の組み合わせは、世界のさまざまな地域において、マイクログリッド市場で積極的役割を担う機会を提供します。

執筆者プロフィール

Babak Asghari

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Feng Guo

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Ali Hooshmand

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Rakesh Patil

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Seyyed Ali Pourmousavi

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Di Shi

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Yanzhu Ye

NEC Laboratories America
Energy Management
Department

Ratnesh Sharma

NEC Laboratories America
Energy Management
Department
Department Head

* イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標です。

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.68 No.2 ICTが拓くスマートエネルギーソリューション特集

～ICTとエネルギーの融合を目指して～

ICTが拓くスマートエネルギーソリューション特集によせて
NECの目指すスマートエネルギービジョン

◇ 特集論文

一般需要家様向けソリューション

データ活用で進化するNECのクラウド型HEMSソリューション
自律適応制御を用いたHEMSデータ活用ソリューション
クラウド型EV・PHV充電インフラサービス
“電気をためて、賢く使う”を実現する小型蓄電システム
軽量で長寿命を誇る通信機器用リチウムイオン二次電池パックの開発

企業様向けソリューション

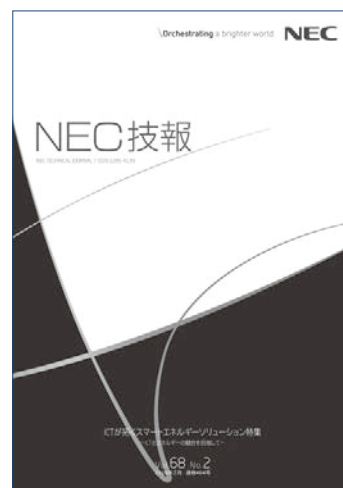
大林組技術研究所に導入したスマート化システムとNEC玉川事業場9号館への展開
データセンターの空調電力を削減する冷却技術
玉川スマートエネルギー実証
携帯電話基地局のエネルギー使用を最適化するEMSソリューション

エネルギー事業者様向けソリューション

電力サプライヤーソリューションの中核を担う電力需給管理システムの開発
インバリエント解析技術(SIAT)を用いた発電所向け故障予兆監視ソリューション
Situational Intelligenceによるリソース最適化
分散蓄電池による電力需給調整ソリューション
クリーン・高信頼性・再生可能な将来を目指した電力グリッド向けエネルギー貯蔵装置の活用
電力の安定供給を支える系統安定化ソリューション～イタリア ENEL 様向け系統用蓄電システム～
スマートメーター通信システム(AMI)における実績

技術開発・標準化

国連 CEFAC 標準のメソドロジー
OpenADR(自動デマンドレスポンス)とNECの取り組み
標準手順を用いた蓄電池遠隔制御の実証
1つのセンサーで複数機器の消費電力や利用状況を見える化する電力指紋分析技術
デジタルグリッドが実現するインバランス削減ソリューション
レジリエントなマイクログリッド管理ソリューション
高エネルギー密度リチウムイオン電池の安全性技術
NEC エナジーデバイスのLIB電極の特長と生産実績



Vol.68 No.2
(2016年2月)

特集TOP