

ケーススタディ：ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証 その2 - アルバカーキにおける取組

Case study: Japan-U.S. Collaborative Smart Grid Demonstration Project in New Mexico

Part 2 Efforts in Albuquerque

入江 寛 (三菱総合研究所)

1. イントロダクション

2009年度から2014年度の間、米国のニューメキシコ州では、スマートグリッドに係る米国と日本の共同研究としての実証試験「米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証」が実施されてきた。これは、NEDOの「スマートコミュニティ海外実証プロジェクト」の第1号案件であり、ニューメキシコ州のロスアラモスとアルバカーキという二つのサイトにおいて、NEDOをプロジェクトリーダーとして、19社の日本企業とニューメキシコ州の政府、電気事業者、研究機関等が合同で取り組んだものである。将来における再生可能エネルギーの大量導入に向けて、スマートグリッドの構築を行ってきたこの取組では、実証試験を進めていく経験の中で、今後日米におけるスマートグリッドを展開していく上でいくつかの重要な示唆が得られている。

本資料は、二つのサイトのうち、アルバカーキでの実施内容に焦点を当て、この取組から明らかになった示唆をケーススタディとして取りまとめたものである。

2. アルバカーキにおける取組

アルバカーキにおける取組では、Mesa Del Sol 地区にある「Aperture Center」という商業ビルを対象に、ビルのエネルギー管理システム (BEMS) を構築し、マイクログリッドとして運用することで、施設のエネルギー供給の最適化、及びマイクログリッドとしての電力システム運用への貢献の可能性についての研究を実施してきた。

清水建設が製作したBEMSには、2つの制御アルゴリズム(清水建設、東京ガス)が組み込まれている。ここでは、それぞれの制御アルゴリズムをBEMS1(清水建設)、BEMS2(東京ガス)と呼ぶ。BEMS1とBEMS2は、制御対象とする機器は同一であるが、互いに異なった目的を有する。

本ケーススタディでは、以上のアルバカーキサイトにおける主要な取り組みを、二つのBEMSの視点から記載を行っている。

- BEMS1：マイクログリッド全体としての電力システム運用への貢献
- BEMS2：他サイトとの連携運転

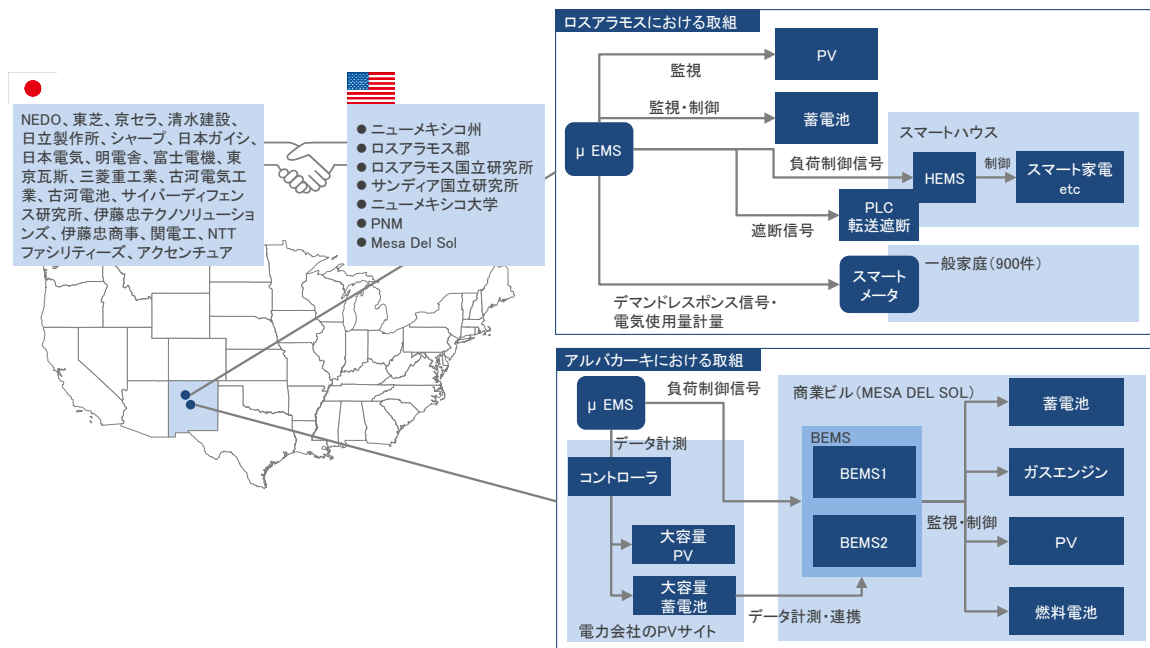


図1 米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証の全体像



Source: 筆者撮影

図2 Aperture Center building at Mesa Del Sol

3. BEMS1:マイクログリッド全体としての電力システム運用への貢献

3.1 System Overview

一つ目の取り組みは清水建設が主体となって Mesa Del Sol 地区の Aperture Center に構築した BEMS1 である。このシステムのコンフィグレーションを図 3 に示す。分散型電源として、ガスエンジン発電機(240kW)、リン酸型燃料電池(80kW)、太陽光発電パネル(50kW)、蓄電池(BESS: 160kWh)が設置され、熱源系として空冷式冷凍機(70USRT)、吸収式冷凍機(20USRT)および冷水蓄熱槽(75m³)、温水蓄熱槽(110m³)などの機器が設置されており、これらを BEMS1 によって制御して、電力と熱エネルギーを商業ビルに供給する構成となっている。

この BEMS1 の持つ能力は二つある。即ち、①連系時には連系点(PCC: Point of Common Coupling)の潮流を、外部から自由な値に設定し、その設定値となるように BEMS1 内の分散型電源を制御するという機能(連系運転モード)と、②系統停電時等

にはビルの自立運転が可能であり、連系⇔自立運転を無瞬断で自由に行き来できるという機能(自立運転モード)である。

連系運転モードにおける制御ロジックを図 4 に示す。この制御では、ビル内の各々の分散型電源の特性を踏まえて、PCC の電力を一定に保つために、カスケード状に指令値を与えていくことで、各電源のパフォーマンスを最大限活用しながら運用を行うことが可能となっている。ある日の BEMS1 の運用実績を図 5 に示す。2年間にわたって、実負荷の下で各種の実証試験を行ない、機器の調整や問題点の改善を図った結果、連系点潮流一定制御の精度は、制御目標値に対する受電点電力の標準偏差で 2kW 程度まで改善されている。

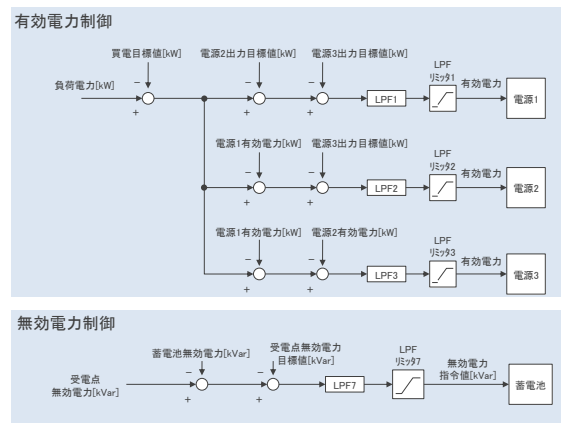


図4 連系運転モードの制御手法

また、自立運転モードは受電点の遮断器を開放して、システムからの電力供給を受けない状態において、実証システムだけで商

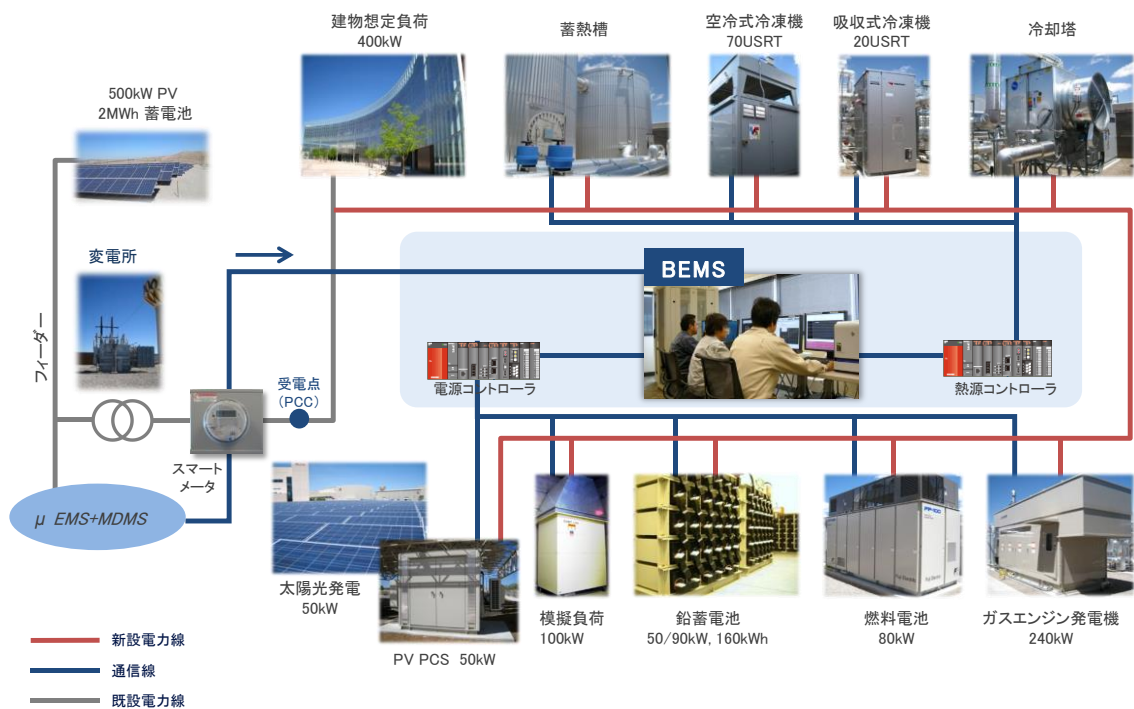


図3 BEMS のコンフィグレーション

業ビル全館の電力および熱需要を賄う運転を行なうものであり、ロジックは図6に示す通りである。

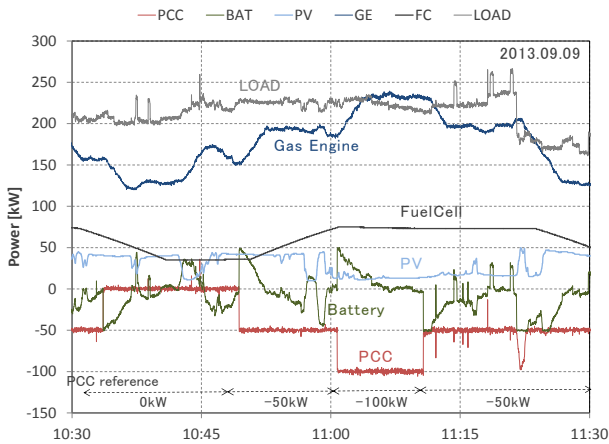


図5 連系運転モードの実績例

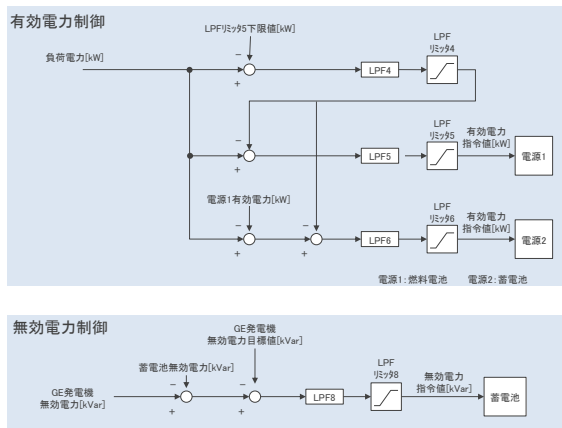


図6 自立運転モードの制御手法

自立運転モードの実証試験結果の例を図7に示す。自立運転時の電圧変動は全ての運転時間帯で $480V \pm 10\%$ 以内の目標に収まり、また、周波数は $60Hz \pm 0.3Hz$ 以内の目標に対して目標範囲内への滞在率が98%以上となり、長時間にわたって目標とする電力品質を維持した安定的な自立運転を実現できている。

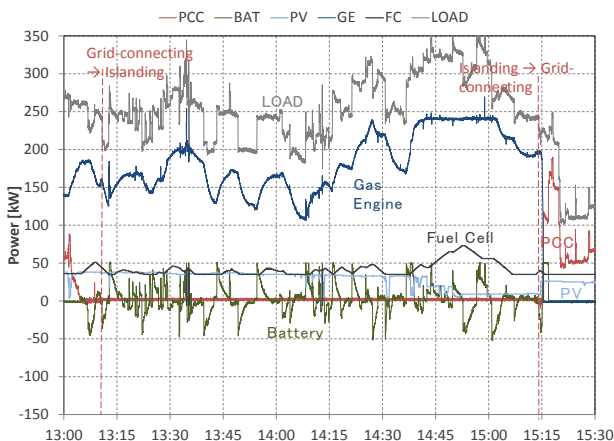


図7 自立運転モードの実績例

3.2 Key Findings - Lessons Learned

清水建設の森野仁夫氏が語るように、BEMS1による実証試験を実施し、マイクログリッドとしての基本的なパフォーマンスが十分に得られたことが確認できている。

森野仁夫氏のコメント

2010年から2年間の実証システム構築、その後2年間の実証試験と、アルバカーキサイトでの実証事業に参加した日本企業9社は、米国側カウンターパートの大きな協力を得て、所期の目的を達成できた。

当社としては、米国においてマイクログリッドを構築し、BEMSを駆使した無瞬断での自立運転と連系復帰、系統側と協調したDR制御、冷凍機による電力変動補償制御など、各種のマイクログリッド制御技術を成功裏に実証できたことで、今後の展開に大きな自信を得た。

この経験からは以下のような4つの教訓が得られるだろう。

Point (1): 電力システム運用に貢献するマイクログリッド

まず重要なことは、ここで確立されたBEMSシステムは、電力システムの運用に、マイクログリッド単位で貢献することが可能ということである。ビルを一つのマイクログリッドとして捉えた際、連系運転モードはマイクログリッドのPCCにおける潮流を、あらかじめセットされた目標値となるように制御するものである。この実証試験では、PCCの目標値は時々刻々と変化させることができ、それに応じてビル内の分散型電源を制御することで、目標値に対して追従する試験を行っている。

これは、マイクログリッドが、自身の負荷に対応しながらも、外部から見れば、一つの制御可能なオブジェクトとして扱うことができることを意味している。つまり、負荷に対応するマイクログリッドが、VPP（バーチャルパワープラント）として機能することが可能なシステムを今回構築したのである。この点について、地域の電力会社であるPNMのJonathan Hawkins氏は以下のように語っており、今回の実証試験が電力会社にとっても有意義であったことが伺える。

Jonathan Hawkins氏のコメント

マイクログリッドと電力会社の関係性を明らかにしたいという理由で、実証試験に積極的に関与した。今後増加していくであろうこのシステムに対して、まずは理解を深めることが重要であり、マイクログリッドにどのようなことができるのか、またマイクログリッドと電力会社はどのような協力ができるのかということを見極める必要がある。

その点において、今回の実証試験は非常にたくさんの方を我々に教えてくれた。今後も引き続き、この研究を進めていきたいと考えている。

ここで留意すべきは、「マイクログリッドかつ VPP」という特徴である。今回のシステムの特徴は、連系時には電力システムの運用に貢献し、なおかつ電力システム停電時には自立運転に無瞬断で移行するという特徴があるのである。現在、米国、日本では、システムが「レジリエンス」であることが求められている。今回の実証試験において、2つの特徴を同時に兼ね備えるシステムを構築できたということの意味は大きい。

このようなマイクログリッドの確立、実証について、実証のサイトであるビルルのディベロッパーである Mesa Del Sol の Manuel Barrera 氏は以下のように語る。

Manuel Barrera 氏のコメント

今回の実証試験は、我々にとっても非常に良い経験であり、マイクログリッドの価値を再発見できた。マイクログリッド化によって、物件の価値が向上すると考えており、初期投資がかかったとしても、長期的な価値は担保されると確信している。ディベロッパーとしては、今後もサステナビリティに関心のある顧客に魅力的なサービスを提供するために、今回の実証試験の成果を有効活用していきたい。現在ニューメキシコ州では、PV や蓄電池等のコミュニティレベルでの共同利用が規制によって禁止されている。今回の実証試験の成果は、このようなスキームが可能であることを実システムで立証したものであり、規制を変えていくための材料として有効であると確信している。

今回の実証事業では、マイクログリッドの有効性を技術的に検証したものであるが、Manuel Barrera 氏が指摘するように、我々は今回の成果をもとに、規制サイドへの働きかけなど、今後のマイクログリッドのビジネス拡大に向けた取組を行っていくことが必要である。

Point (2): マイクログリッドの系統連系規格に向けて

新興の技術であるマイクログリッドは、技術の発展段階にあり、現在のところ、IEEE 1547.4 などのガイドが存在するものの、電力システムとマイクログリッドの接続に関する要件は議論の中にあり、規格が整備されていない状況にある。

マイクログリッドの系統連系に関する規格が存在しない中、今回の実証事業では、手探りの中、マイクログリッドの連系点 (PCC) に関するリクワイアメントを検討してきた。PNM Resources の Jonathan Hawkins 氏は当時を振り返り以下のように語る。

Jonathan Hawkins 氏のコメント

通常米国の電力会社は PCC において IEEE 1547 に合致することを要求するが、マイクログリッドは自立運転を行うかもしれないという点で、PCC における要求事項の設定が非常に難しい。PNM はこの点を明らかにしたくて、実証試験の最初の段階から積極

的にプロジェクトに参入した。

マイクログリッドの自立運転時には、連系点において早急に解列し、電力システム側に供給を行わないようにすること、連系点のスイッチの短絡容量を十分に大きくしなければならないことなどが明らかとなり、その実装に向けて、検討を進めてきた。非常に大変な作業であり、NEDO やプロジェクト参入企業が大変苦労したと振り返る。

上記のコメントの通り、実証システム導入段階において非常に高いハードルがあったが、最終的には電力会社側、システム構築側の双方が納得するシステムが構築され、実証試験開始に至り、実りの多い成果を得ることができた。現在、米国の分散型電源の系統連系規格である IEEE 1547 は改定作業中であり、マイクログリッドの議論も含めた検討がなされているところである。今回の経験は、今後のマイクログリッドの系統連系の規格を整備する上で、非常に有効な材料となるであろう。

Point (3): マイクログリッドシステム設計への示唆

今回構築された BEMS1 は、複数の特性の異なるエネルギーリソースのハイブリッドシステムである。ハイブリッドシステムを設計するに当たっては、様々な制約がある。その制約を満足しながら、最適な運用を行うための制御方式について、この実証事業で確立された BEMS 制御システムは一つのソリューションを提供している。

実証事業で導入された分散型電源のステップ応答特性を表 1 に示す。この表を見る限り、最も応答速度の速い BESS を中心に設計を行うことが理に適っているが、一方で BESS は高コストであり、その容量を最小化することが望ましい。

表 1 各分散型電源の応答特性の違い

DER	Response Time (Approximately)	変化率
燃料電池	10min (40kW→80kW)	0.064kW/sec
ガスエンジン	5min 30sec (90kW→240kW)	0.45kW/sec
BESS	30msec (0kW→90kW)	3000kW/sec
冷凍機	4min 30sec (30kW→70kW)	0.15kW/sec

このようなコストとパフォーマンスのトレードオフを考慮した上で、「カスケード制御システム」は構築されている。即ち、高価な BESS は他の発電リソースで対応できない電力分を補償するという方策である。

また忘れてはならないのは、マイクログリッドの制御は、有効電力の制御のみの考慮だけでは不十分であるということである。

る。今回の BEMS1 カスケード制御システムでは、当初有効電力情報から各分散型電源の有効電力を制御していくという指針であった。しかし、課題となったのはビルの特徴である。ビルの負荷にはエレベータが含まれており、そのエレベータの運転により、大きな突入電流が流れており、これに起因して PCC の電力が大きく変動することが判明した。

これに対し、この実証事業では、BESS に有効電力制御機能のみならず、無効電力制御機能を付加することで対策を行ったことで、パフォーマンスが向上している。

これ以外にも、実証試験を行ったことにより、様々な気づきがあった。ニューメキシコ大学の Andrea Alberto Mammoli 教授は、実証試験を行うことの意義について以下のように語ってくれた。

Andrea Alberto Mammoli 教授のコメント

マイクログリッドのような複雑性の多いシステムは、理論だけですべてを説明することは難しく、実際のシステムを構築し、運用することで初めて理解できることが多くある。今回もマイクログリッドの設計面、保守・運用面で、実際にやってみなければわからないことが多々あった。その意味で、まずは実証試験をやるという事は非常に有意義であり、我々は今回得られた知見を土台として、更なる飛躍を行っていかなければならない。

Point (4)：熱負荷の電力系統安定化貢献のケイパビリティ

最後に、熱負荷の電力系統安定化への貢献のケイパビリティが十分に示されている。今回の実証事業では、熱負荷として冷凍機を導入しており、この冷凍機の電力消費量を外部より制御することで、「需要応答する機器」としてマイクログリッドの制御に統合している。

冷凍機の制御への統合によって、全体の制御パフォーマンスは向上する。もしくは、一定の制御パフォーマンスを期待するのであれば、高コストである BESS の容量を最小化できるという特徴がある。図8は冷凍機の制御への統合による必要となる BESS 容量の削減効果を表したデータとなるが、この結果からは 36% の BESS 容量の削減が見られるということがわかる。

ここで重要なのは、冷凍機のサービスクオリティである。冷凍機は電力システムの運用のために導入されているのではなく、「ものを冷やす」という本来の役割がある。この機能が損なわれるのであれば、電力システム運用への貢献と、本来のサービスクオリティを保つことがトレードオフとなってしまう。

本実証事業では、この点について非常に興味深い結果が得られている。図9は冷凍機の BEMS1 統合時における冷凍機の冷凍機能を測定したものであるが、TCOP (運転効率) や冷水出口温度に大きな影響を与えないことが明らかとなっている。一般的に熱エネルギーは時定数が大きい。従って、サービスクオリティを損なうことなく、電力システム制御への統合が可能になる

のである。熱エネルギーの最大限の有効利用が望まれる。

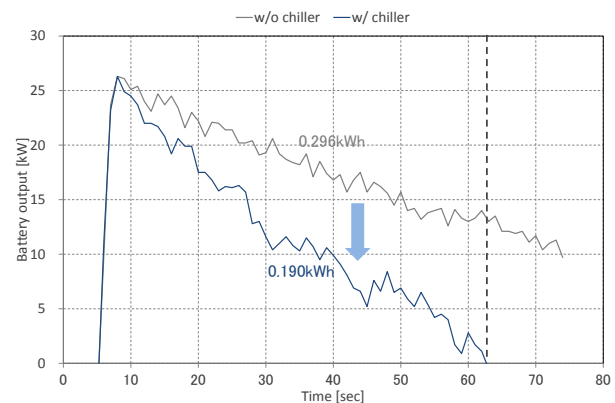


図8 冷凍機の BEMS への統合による BESS 容量削減効果

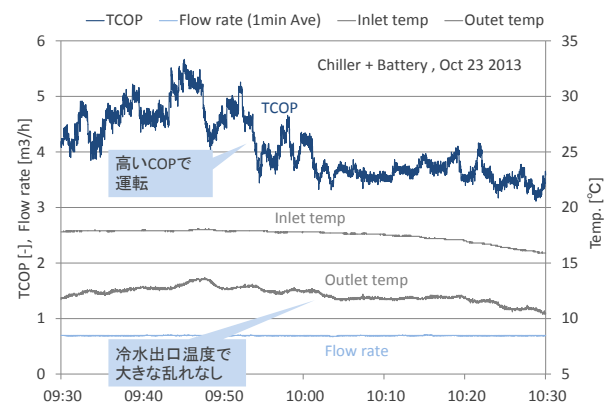


図9 統合制御される冷凍機の TCOP と冷水出口温度

4. BEMS2：他サイトとの連携運転

4.1 System Overview

二つ目の取り組みは東京ガスが主体となって進めた BEMS2 のプロジェクトである。この BEMS2 も Mesa Del Sol 地区の Aperture Center に構築されたものである。なお、先述の清水建設の BEMS1 と東京ガスの BEMS2 は同じハードウェア内に実装された別々のシステムである。

BEMS2 の制御システム全体のコンフィグレーションを図 10、図 11 に示す。電気設備については、清水建設の BEMS1 を取り巻くコンフィグレーションと基本的に構成は同じであり、ガスエンジンや燃料電池、PV、蓄電池、熱源系から構成される。また、BEMS2 の運転モードが、①連系運転モードと②自立運転モードの二つがある点も BEMS1 と同様である。しかし、東京ガスの取り組みでは、電力会社である PNM が保有し、運用している大規模の PV プラント (500kW) と大規模のエネルギー貯蔵 (鉛蓄電池、500kW-500kWh) が重要な意味を持つ。これらの PNM の設備は Mesa Del Sol サイトから 2km ほど離れた「Prosperity Site」に位置しているが、Aperture Center が受電しているのと同じフィーダーに連系されている。

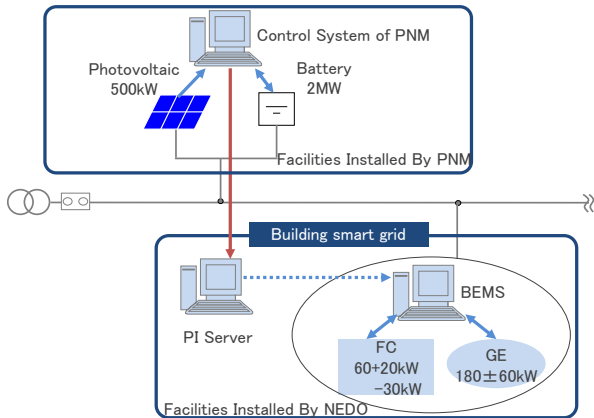


図 10 BEMS2 のシステム全体のコンフィグレーション (連系運転モード)

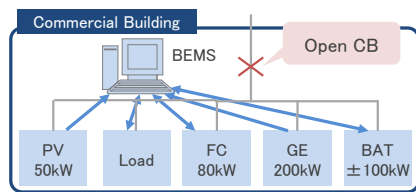


図 11 BEMS2 のシステム全体のコンフィグレーション (自立運転モード)

連系運転モードについては、東京ガスのBEMS2の取り組みは、電力システムサイド、即ちマイクログリッドの外に設置された大規模なPVプラントと大規模なエネルギー貯蔵を制御対象としている。一方、BEMS1では、マイクログリッドに含まれる小規模

のPVと小規模のエネルギー貯蔵を対象としていた。

大規模エネルギー貯蔵(蓄電池)は、PVプラントの変動緩和のために、PNMが系統側に設置しているものであるが、前述の通り、蓄電池は高コストである。

今回の実証試験では、この大規模蓄電池の容量をなるべく少ないものとするために、BEMS2によって制御されるガスエンジンと燃料電池を系統側に設置される大規模蓄電池と協調制御を行うというものであり、東京ガスと米国サンディア国立研究所が、清水建設、東芝、PNMの協力の下、研究を実施したものである。

このBEMS2の制御ロジックを図12に示す。PVプラントの出力の変動をまずガスエンジンによって補償し、系統側に設置されている大容量蓄電池は、PVプラントとガスエンジン、燃料電池の3つの出力の差分を補償するというスキームとなっている。

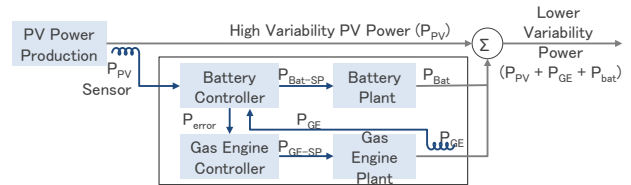


図 12 ガスエンジンと系統側蓄電池の協調制御

この協調制御を施した際の実証試験の結果を図13に示す。協調制御を行うことで、協調制御を施さない時に比べて、系統側の蓄電池の容量が少なくて済む(14%程度削減)、即ち蓄電池容量の削減効果があることが見て取れる。これは実証試験による

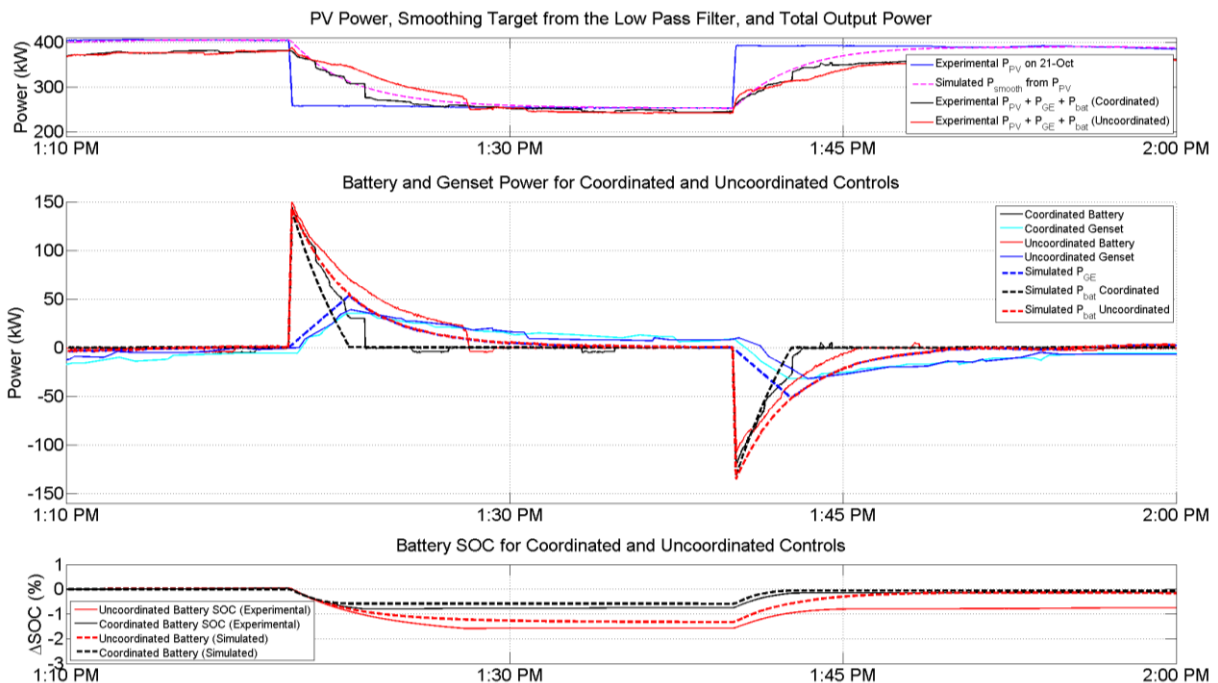


図 13 協調制御のパフォーマンス

結果であるが、通信遅れ等の影響があることに留意しなければならない。図14に示す、実データに基づく検証では、この協調制御について、通信遅れ等がない場合には、最大で17.7%の蓄電池容量の削減効果を生むポテンシャルを有するということが示されている。

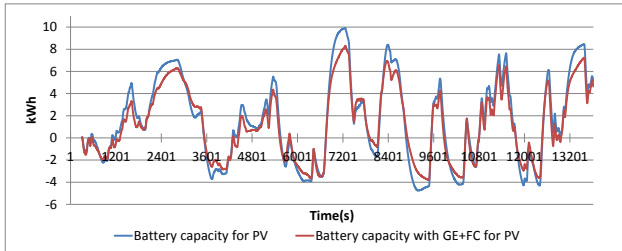


図14 実測データに基づく蓄電池容量削減効果の検証

また、自立運転モードについては、制御対象は清水建設のBEMS1と同様であるが、制御の考え方が異なる。東京ガスのBEMS2では、図15の制御ロジックに示される通り、ガスエンジンを自立運転の主力として捉えており、自立運転時の負荷変動などを、なるべくガスエンジンが取りに行くという制御の方針である。

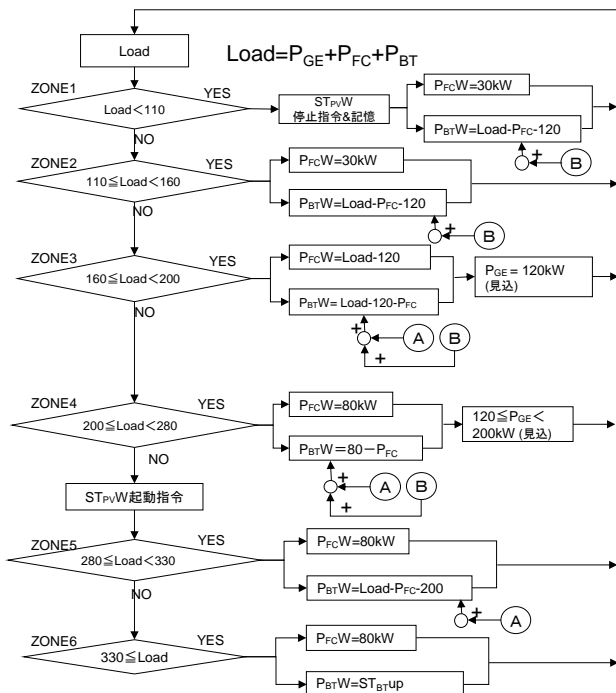


図15 東京ガスのBEMS2の自立運転ロジック

このBEMS2の自立運転方式による実証試験結果を図16に示す。負荷が急激に変動した場面においても、ガスエンジン等の分散型電源で安定的な供給が行えていることが見て取れる。

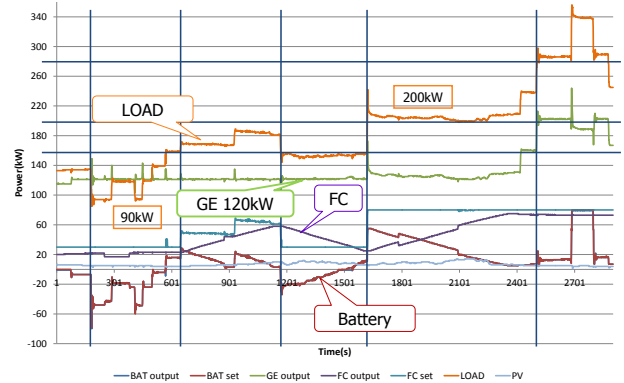


図16 東京ガスのBEMS2の自立運転結果

4.2 Key Findings - Lessons Learned

BEMS2による実証試験からは、以下のような3つの教訓が得られるだろう。

Point (1): 共同研究による経験からの知見

今回東京ガスがサンディア国立研究所や PNM と協力して構築したBEMS2による取組は、Mesa Del Solのビルマイクログリッドと、PNMの大容量PVサイトの連携を可能とするものであり、マイクログリッド分野において、日米それぞれのシステムを融合して運用した初めての経験となる。この意義について、サンディア国立研究所のAbraham Ellis氏は以下のように語る。プロジェクトにおける協働により、技術課題に対する相互理解が深まり、コンセプトや今後の展開に対するビジョンの共有が図られた。今回のように、需要家、メーカ、研究者、電力会社が協力して、実際のハードウェアをもとに実証試験を実施したことは、今後のスマートグリッドの発展に大きく資する材料となる。

Abraham Ellis氏のコメント

日本側やニューメキシコのステークホルダとの共同研究はサンディア国立研究所にとっても非常に重要な位置づけにあり、成功したプロジェクトである。今回の経験は、日本側、米国側の様々なステークホルダが共同研究を行うことで、ビジョンの共有を図り、共通の協働領域をみいだしたことは、当該分野における今後の両国の協力に大きく貢献するものである。マイクログリッドは効率の向上、再生可能エネルギーの最大限の利用、レジリエンスなシステムの構築を可能にする、電力供給の近代化に資する技術である。今回の実りの多い成果を基盤として、更なる研究を進めていきたいと考えている。

この共同研究からは、異なるサイトにある複数の分散型電源が、一つの目的のために制御できるということが立証されている。この点において実証試験は成功裏に終了しているが、同時

に実証試験をやってみて初めてわかることもあった。サンディア国立研究所の Abraham Ellis 氏は、特に今後通信に関する要件を検討していく上で重要なフィードバックがあったと振り返っている。

Abraham Ellis 氏のコメント

実証試験の舞台となったプロスペリティーサイト (PNM の大規模 PV と蓄電池のサイト) と Mesa Del Sol の Aperture Center は距離的に離れており、遠隔通信のためのリクワイアメントがキーイシューとなった。また、電力会社が需要側の分散型電源を制御できるのかという点にも興味があった。二つのシステムは相互運用に設計されておらず、制御のために通信を確立することは非常に難しい課題であった。得られた成果をもとに、今後インタフェースの在り方を検討していかなければならないと感じている。

先述の通り、シミュレーションによる蓄電池の削減効果は 17.7%程度であったのに対し、実際に構築されたシステムのパフォーマンスは、通信の遅れなどの影響により、シミュレーションの結果よりも少なくなっている。Andrea Alberto Mammoli 教授の先のコメントの通り、実証試験をやってみて初めてわかることは多い。所期の成果が得られたと同時に、実証試験の経験から得られた示唆は、今後の我々の財産となっていく。

Point (2) : 系統貢献に対するガスエンジンの性能の立証

今回東京ガスがサンディア国立研究所や PNM と協力して構築した BEMS2 による取組は、PV などの間欠性電源の変動緩和のために、ガスエンジンや燃料電池などのコージェネレーションシステムが大いに有効であることが立証された。これらの分散型電源を部分負荷運転として、調整マージンを取り、適切な制御を加えることで、系統側で必要となる対策が削減されるということが言えるのである。このプロジェクトをリードしてきた東京ガスの進士誉夫氏は、この点について以下のように語っている。

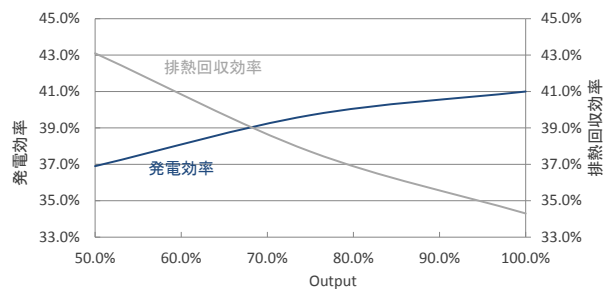
進士誉夫氏のコメント

今回の実証試験において、意図していた結果が立証されたことに満足している。ガスエンジンや燃料電池等、本来発電設備として需要家の皆様に導入される機器が、発電設備としての機能を損なうことなく、電力システムの安定化にも貢献できていることが、ニューメキシコという場において、サンディア国立研究所や PNM の協力を得て立証されたことは、このソリューションの普遍性の立証という点において重要な意味を持つ。

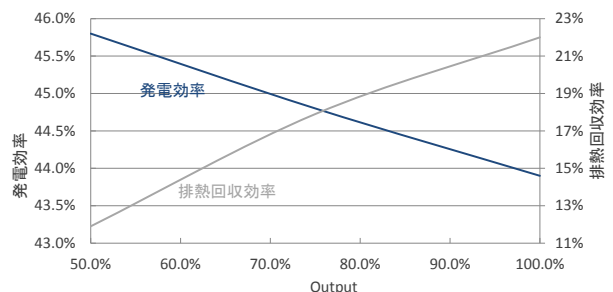
一般的に、PV のハイペネトレーションに向けてのソリューションであるエネルギー貯蔵などは、電力システム安定化を目的

として、その目的を達成するために新規に導入されるものである。一方で、ここでは、需要家が既に導入しているガスエンジンや燃料電池などを電力システムの安定化に用いるということを考えている。これらの既設置のコージェネレーションシステムが、本来の発電設備としての有効な働きを行うと同時に、電力システムの制御の安定化に貢献することで、分散型電源の有効性は今後更に高まるであろう。

ここで注目すべきは、ガスエンジンや燃料電池の電力システム運用への貢献に伴う発電効率低下の議論である。もし部分負荷運転による影響で、発電効率の低下が著しい場合は、電力システムへの運用貢献は難しいであろう。この実証事業では、この点について興味深い結果が得られている。図 17 はガスエンジンと燃料電池の部分負荷運転特性である。ガスエンジンは部分負荷運転を行うことで、発電効率自体は下がるが、排熱回収効率が上がるという特性を持っている。燃料電池については、部分負荷運転に伴い、排熱回収効率は下がるが、逆に発電効率は向上する。即ち、双方の分散型電源とも、部分負荷運転を行うことで全体の総合効率が低下してしまう影響は少ないのではないかと考えることができる。このような特性からも、ガスエンジンや燃料電池の電力システム運用への貢献が、電力システム運用の全体最適の観点からも十分に検討余地のあるものであると言える。



(a) Gas Engine



(b) Fuel Cell

図 17 ガスエンジンと燃料電池の部分負荷特性

Point (3): ガスエンジンを主力とした自立運転の可能性

マイクログリッドの自立運転の議論を行う際、蓄電池などのエネルギー貯蔵がその議論の中心にあることが多い。蓄電池は応答が早いいため、清水建設の BEMS1 はこれを十分に活用した自立運転の方式を確立している。

東京ガスの BEMS2 の自立運転では、あえてエネルギー貯蔵の高い能力を用いることなく、ガスエンジンを主軸とした自立運転方式を確立していることに注目すべきである。ガスエンジンは蓄電池などに比べると、応答速度は遅いのが難点であるが、今回の実証試験では、ガスエンジンが、自立運転しているマイクログリッドの電力マネジメントを十分に行えるという可能性を示しているのである。

マイクログリッドの設計の際、エネルギー貯蔵を含めた統合的なシステムにするか、もしくはガスエンジンなどの CHP のみで構成されるシステムにするか、それは設備導入者の意思決定に多分によるが、アルバカーキで行われた2つの実証試験では、上記の二つのソリューションが提供されているのである。

5. 謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った傳田篤氏、森野仁夫氏（清水建設）、進士誉夫氏、田所真之氏（東京ガス）、Abraham Ellis 氏、Jay Johnson 氏（Sandia National Laboratories）、Jonathan Hawkins 氏（PNM Resources）、Andrea Alberto Mammoli 教授、Hans Barsun 氏（University of New Mexico）、Manuel Barrera 氏（Mesa Del Sol）に感謝の意を表す。

なお、本ケーススタディは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により作成されている。

6. 参考文献

- [1] NEDO, 「米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証 アルバカーキ市における商業地域マイクログリッド実証 成果報告書」, 平成 22 年~25 年度成果報告書, 2014
- [2] Use Case- "BEMS Control of DERs and HVAC Equipment in a Commercial Building Which Enables Islanding Operation and Demand Response", posted on the EPRI Smart Grid Use Case Repository. June, 17, 2011.
- [3] Atsushi Denda; Outline of the Albuquerque smart grid project for commercial buildings -Japan-US collaborative smart grid project in New Mexico-, IRED2014, Nov. 18. 2014.
- [4] Kimio Morino; Demonstration of the Smart Grid at a Commercial Building in City of Albuquerque, IRED2014, Nov. 18. 2014.
- [5] J. Johnson, K. Morino, A. Denda, J. Hawkins, B. Arellano, T. Ogata, T. Shinji, M. Tadokoro, A. Ellis, "Experimental Comparison of PV-Smoothing Controllers using Distributed Generators", Sandia Report SAND2014-1546, 2014
- [6] A. Ellis and D. Schoenwald, "PV Output Smoothing with Energy Storage," Proceedings of the 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, TX, 3-8 June 8, 2012.
- [7] J. Johnson, A. Ellis, A. Denda, K. Morino, T. Shinji, T. Ogata, M. Tadokoro, "PV Output Smoothing using a Battery and Natural Gas Engine-Generator," 39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Tampa Bay, Florida, 16-21 Jun, 2013.
- [8] 著者によるステークホルダへのヒアリング