

# 米国アルバカーキ市の事務所ビルにおけるスマートグリッド実証

森野 仁夫 傳田 篤 佐藤 和浩 下田 英介 杉本 貴之 木原 寛之 山本 裕治 山根 俊博 古川 慧  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

## Demonstration Tests of the Smart Grid at the Office Building in City of Albuquerque

by Kimio Morino, Atsushi Denda, Kazuhiro Sato, Eisuke Shimoda, Takayuki Sugimoto, Hiroyuki Kihara, Yuji Yamamoto, Toshihiro Yamane and Kei Furukawa

### Abstract

The Japan-US collaborative Smart Grid Demonstration Project, sponsored by NEDO, had been executed from FY2010 to FY2013 at the office building in Albuquerque, NM, US. The purposes of this project were as follows.

1. Demonstration of the interconnection technologies for connecting renewable intermittent power source.
2. Realization of the efficient energy control system which coordinates the energy needs of the demand side by using information and communication technology.

The demonstration system was built as Micro-Grid of the 400kW grade to enable the islanding operation of the office building. Using this demonstration micro grid, we carried out several demonstration tests as follows.

1. Stabilization of the utility distribution line by power flow control of the building
2. High quality and stable power supply in the islanding operation of the building
3. Demand response operation which coordinated with the existing power system
4. Verification of load tracking control by a chiller with thermal energy storage

We had successfully finished the demonstration project, and got some fruit full results for future development of a smart community.

### 概要

「米国 NM 州アルバカーキ市における商業地域スマートグリッド実証」(NEDO 委託事業)を幹事企業として受託し、2010 年度から 2013 年度まで実施した。本プロジェクトの目的は、1.太陽光発電など自然変動を伴う再生可能エネルギー電源の系統連系技術の実証、2.情報通信技術によって需要家側のエネルギー需要を取り込んだ効率的なエネルギー制御システムの実現、であった。実証システムは、対象とする事務所ビルの自立運転が可能な 400kW 級のマイクログリッドとして構築され、①ビル側システムの買電量調整による配電系統安定化の検証、②事務所ビルの自立運転における高品質で安定した電力の供給、③米国側電力系統と協調したデマンドレスポンス運転、④蓄熱式冷凍機による負荷追従制御の検証、などの実証試験を実施した。2 年間にわたる実証試験より、今後の我が国におけるスマートコミュニティ展開に向けた有用な成果を得た。

### 1.はじめに

近年、地球環境問題やエネルギー供給源の多様化に対応するため、世界各国で再生可能エネルギーの導入が活発に進められている。我が国においても、長期エネルギー需給見通しに基づいた再生可能エネルギーの着実な導入計画が進められていたが、2011 年 3 月の東

日本大震災を契機にエネルギー政策の見直しが行われ、今後、可能な限り加速的に再生可能エネルギーを導入することが必要とされた。

しかし、気象条件によって出力が変動する太陽光発電(PV)などの再生可能エネルギーが、都市のライフラインである電力システムに大量に導入された場合、PV などからの送電によって配電網での電圧上昇や周波数

変動、余剰電力の発生などが予想され、安定的な電力供給を行うためには、これらの現象を防止する対策が必要となる。

このような課題を解決するために、近年、情報通信技術を利用して、送電側のみならず需要側も取り込んで電力や熱エネルギーを効率的に管理するスマートグリッドの開発が進められている。

当社においても1990年代から、技術研究所を舞台に関連技術の開発が進められ、2006年には、現在まで技研インフラとして運用を続けている600kW級のマイクログリッドを構築し、2007年から2009年まで中国・杭州科学技術大学において太陽光発電大量導入型マイクログリッド実証(NEDO事業)を実施した。

今回、NEDOが実施した米国での実証プロジェクトでは、これらの成果を基に、今後のスマートグリッドの展開へ向けた実証を行った。本報告では、NEDO(新エネルギー産業技術総合開発機構)が2010年度から2013年度に実施した「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」のうち、当社が幹事会社として他8社と共同で受託した「アルバカーキ市における商業地域スマートグリッド実証」について報告する。

## 2.実証プロジェクトの概要

本実証プロジェクトでは、アルバカーキ市メサ・デル・ソル地区の既存の事務所ビル(写真-1)を対象に、2010年度から実証システムの基本設計を開始し、米国サイドと打合せを重ねながら、2011年には実施設計、建築申請、環境申請、系統連系申請、機器の製作・調達・輸出、現地での建設工事・機器設置工事、試運転調整などの作業を行い、米国側配電系統と協調した効率的な運用を実現する自立運転が可能な400kW級の実証システム(マイクログリッド)を構築した。

本実証システムは、①再生可能エネルギーの出力変動や需要家側の負荷変動による配電網への影響を最小化するとともに、②系統からの要求に従って需要家側の電源機器、熱源機器や負荷設備を制御可能とするデマンドレスポンス(DR)運転、かつ、③系統側の事故等による停電時には瞬時に系統から独立し、自立運転によって安定的に電力と熱エネルギーを供給できる機能を備えている。

本実証システムは2012年5月に完成し、日米関係者出席のもとで開所式が開催され、以降2014年3月まで、各種の条件下において、①ビル側システムの買電量調整による配電系統安定化の検証、②事務所ビルの自立運転における高品質で安定した電力の供給、③我が国では規制等により実施が困難な配電系統と協調したDR運転、④蓄熱式冷凍機による電力変動補償制御の検証、などの各種のマイクログリッド運用技術の実

証を行ない、今後のスマートコミュニティの展開に向けたデータや知見等を取得した。

### 2.1 実証建物の概要

アルバカーキ市は北緯35度、西経106度、標高1,600mに位置するNM州最大の商都で、周囲を砂漠に囲まれた都市である。東京と同じ緯度に位置するので四季があり、夏の最高気温は40℃になるが、乾燥した高地にあるため日陰では涼しさを感じた。冬の最低気温は-10℃程度であるが、最初の冬に-20℃を経験した。年間を通して雨量は少なく、冬にはしばしば相対湿度が10%を下回った。

実証試験の対象建物は、写真-1に示す3階建の既存の事務所ビル、Mesa del Sol地区のAperture Center(市民センター、1F店舗、2-3F事務所の構成)で、延床面積は約7,000m<sup>2</sup>であった。

この建物はPNM(Public utility company of New Mexico、地元の電力会社)から電力供給を受けており、電力設備、空調設備ともに完備した状態であった。



建物北側からの遠景



建物外観(北面)



建物外観(南面)

写真-1 実証建物(Aperture Center)

## 2.2 実証システム

実証システムは、電力系統の事故時などの BCP 対策として、Aperture Center を自立運転可能とする 400kW 級のマイクログリッドとして構築された。

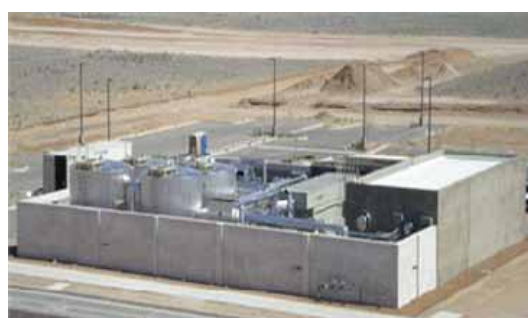
実証システムの全体配置を写真 - 2 に示す。



写真 - 2 実証システムの全体配置



PV パネル



エネルギープラント



BEMS

写真 - 3 実証システム構成機器の外観

また、事務所ビルに隣接して、駐車場の日除けとして設置された PV パネル、マイクログリッドの電源機器と熱源機器などが設置されたエネルギープラント、Aperture Center 3 階の制御室に設置された BEMS (Building Energy Management System) の外観を写真 - 3 に示す。

実証システムは図 - 1 に示すように、PNM の配電系統に変圧器(277V/480V)を介して連系している。

事務所ビル側のマイクログリッドには、電源系として、ガスエンジン発電機(GE : 240kW) ( ( ) 内の数値は定格出力あるいは定格容量)、リン酸型燃料電池(FC : 80kW)、太陽光発電パネル(PV : 50kW)、太陽光発電用 PCS(PV-PCS : 50kW)、蓄電池(BAT : 160kWh)、蓄電池用 PCS(Bat-PCS : 50/90kW) が設置されている。

また、熱源系として、空冷式冷凍機(R-2 : 70USRT)、吸収式冷凍機(R-1 : 20USRT) および冷水蓄熱槽(CW-ST : 75m<sup>3</sup>)、温水蓄熱槽(HW-ST : 110m<sup>3</sup>)、冷却塔、循環ポンプなどの機器が設置されている。

模擬負荷(DL : 100kW) は実証試験を効率的に行うために設置した負荷調整装置で、抵抗負荷を 5kW 刻みで 100kW まで投入できる。

これらを BEMS によって制御して、電力と熱エネルギーを事務所ビルに供給する構成となっている。

BEMS は、配電系統の電力潮流を監視する  $\mu$  EMS からスマートメータを介して、配電系統の電力情報やデマンドレスポンス信号を受け取る。

PNM 側の配電系統には 500kW の太陽光発電設備と蓄電設備(容量 2MWh、出力 750kW) が設置されており、米国側が主導する実証試験が、本実証システムと連携して行われた。

実証システムは、連系運転時には負荷変動と PV の出力変動を燃料電池、ガスエンジン発電機、鉛蓄電池と空冷式冷凍機で制御し、受電点(連系点)の購入電力を一定にするように制御する。

このとき、燃料電池はベース電源的な位置づけとして、ガスエンジン発電機と空冷式冷凍機は中・長周期の変動に対応させ、蓄電池は 1 秒程度の短周期の急峻な負荷変動に対応させるように制御している。

PV の出力は基本的には天候次第で制御不能であるが、BEMS からの発電出力制限指令により出力を任意にカット出来る機能を備えている。

自立運転時には BEMS からの指令によって、受電点遮断器を開放することで、事務所ビルの建物全体を自立運転エリアとして運用することが出来る。また、自立運転試験を効率的に行うために、エネルギープラントだけの範囲で任意に自立運転が出来るシステム構成となっている。



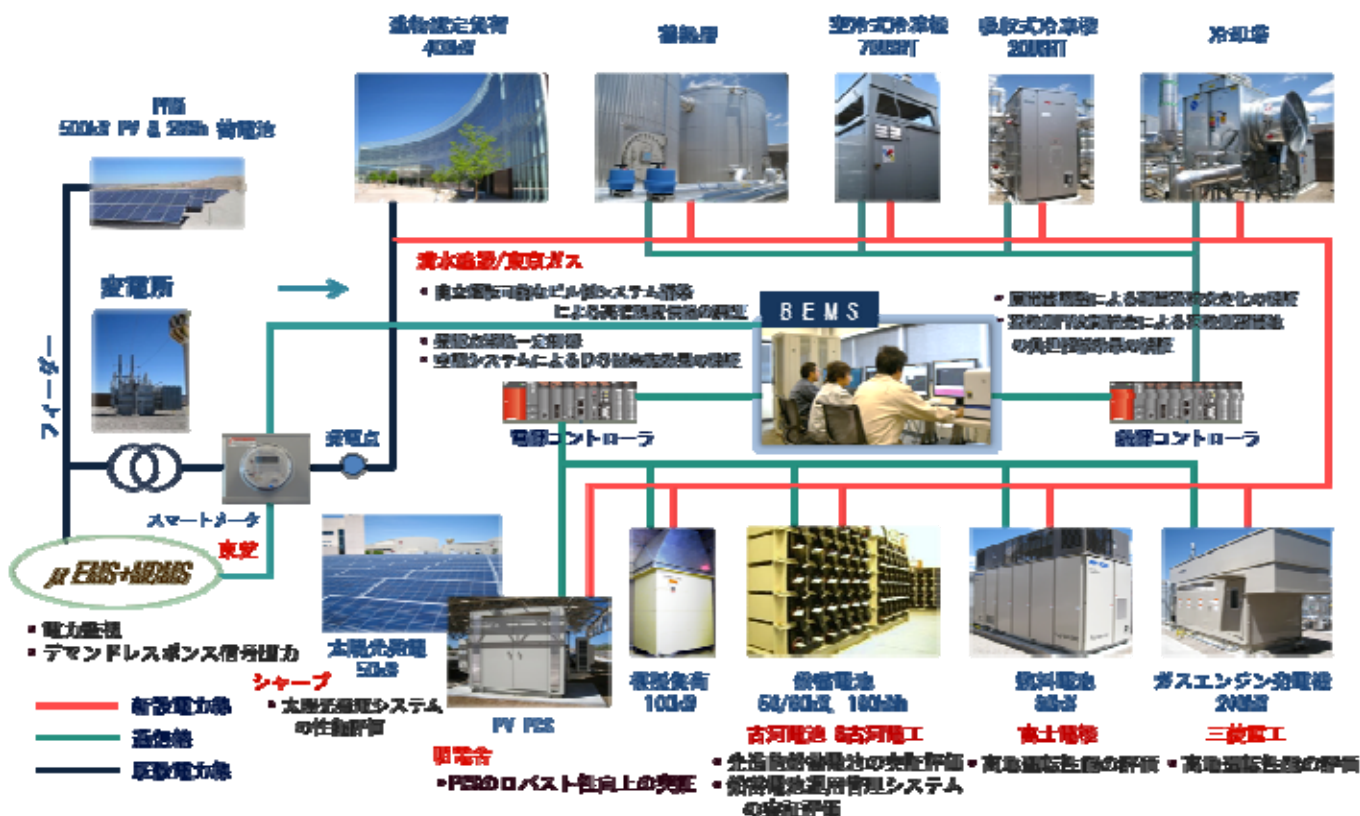


図-1 実証試験システムの構成

### 3. 実証試験の結果

#### 3.1 ビル側システムの買電調整による配電系統安定化の検証

配電系統安定化の検証のため、実証システムから系統への逆潮流を含む各種の条件において連系点潮流一定制御の実証試験を行い、実証データを取得した。

連系点潮流一定制御とは、図-2に示すようにBEMSが受電点電力を監視しながら、時々刻々と変化する負荷電力および太陽光発電の出力変動に応じて、各電源や冷凍機に対して1秒ごとに出力指令値を与え、受電点電力を目標値に一定に維持する制御方法である。

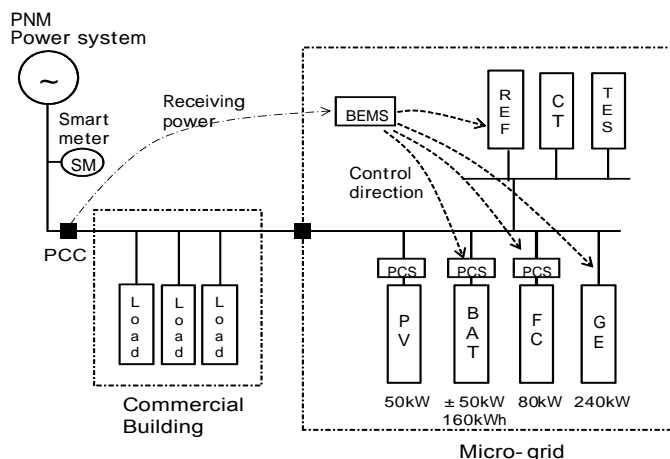


図-2 連系点潮流一定制御の試験方法

例えば、図-3に示すようなステップ状の電力変動があった場合、まず、この変動に1秒程度で追従できる蓄電池の出力を増加させて全電力負荷を賄うように制御する。しかし、蓄電池の蓄電容量が限られているため、蓄電池の次に応答速度が速い順にGE、冷凍機、FCの出力を増加して、蓄電池の出力を徐々に代替させ、最終的には蓄電池のすべての電力負荷を、これらの機器に受け渡すように制御する。

また、これと同時に、蓄電池が満充電や過放電にならないように蓄電容量の管理を行うことによって、限られた蓄電池容量での連続運転を可能にしている。

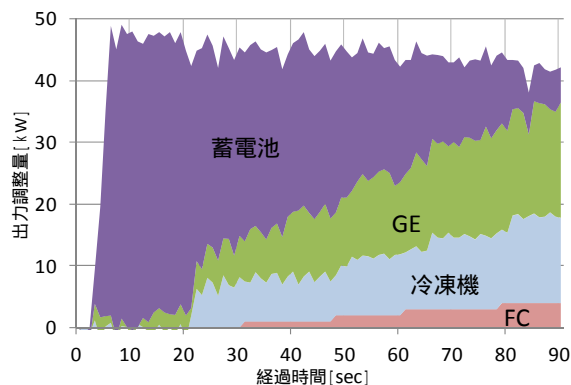


図-3 連系点潮流一定制御の方法

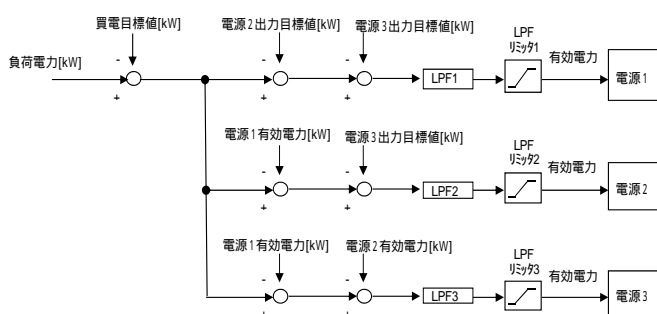
実証試験システムのBEMSに実装した潮流一定制御の制御フローを図-4に示す。

連系点潮流一定制御では、全電源に対して有効電力制御を、蓄電池については無効電力制御も実装した。

有効電力制御では、予め各機器の電力変動に対する応答特性を調査した結果から、各機器が担当する電力変動の周波数領域をLPF(Low pass filter)に割り当てる。本実証試験では、燃料電池は数分程度の周期の変動を担当し、GEと冷凍機は数十秒程度、蓄電池は1秒以下の電力変動に対応するようLPFを設定した。

【連系運転】

有効電力制御



無効電力制御

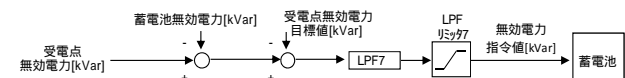


図-4 連系点潮流一定制御の制御フロー

連系点潮流一定制御の代表例を図-5に示す。対象ビルの電力負荷は空調設備、エレベータ、照明、コンセント負荷などである。通常、平日昼間時の建物全体の電力負荷(Load)は150~250kWで推移しており、エレベータ動作時には約10秒間、30kW程度の負荷がスパイク状のヒゲのような形で発生する。

図-5の連系点潮流一定制御の試験例では、受電点電力目標値を-50kW、0kW、-100kW等と、逆潮流を行いながら一定に制御する指令を与えている。このとき電力負荷や太陽光発電(PV)出力の突然の変化に対して、蓄電池(BAT)が瞬時に受電点電力(PCC)を目標値に維持するように反応し、次にガスエンジン発電機(GE)と燃料電池(FC)が徐々に出力を増減させて蓄電池の出力を持ち替え、蓄電池の出力が0kWに漸近するように制御されている。

様々な負荷変動の条件下において数多くの実証試験を行った結果から、受電点電力の変動は制御目標値±10kW以内に96%以上の割合で収まっており、連系点潮流一定制御が、需要家側の負荷やPV出力の変動影響を系統側に及ぼすことなく、十分な制御精度を持って、配電系統の安定化に寄与出来ることを確認した。

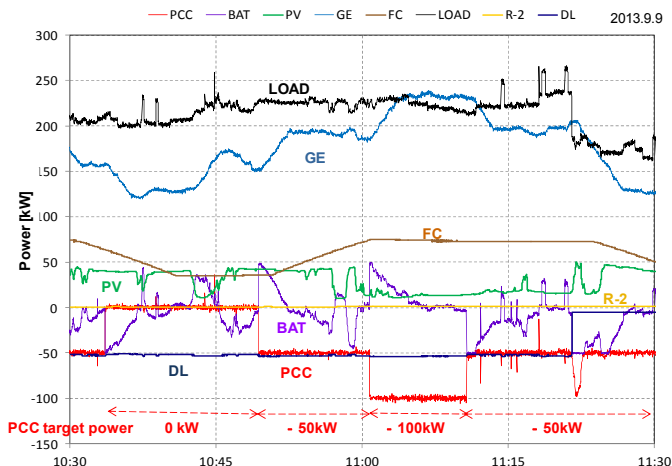


図-5 連系点潮流一定制御の試験例

3.2 自立運転における高品質な電力の供給

事務所ビルの自立運転の実証では、図-6に示すように受電点の遮断器を開放して系統からの電力供給を受けない状態で、実証システムだけで事務所ビル全館の電力および熱需要を賄う実証運転を行った。

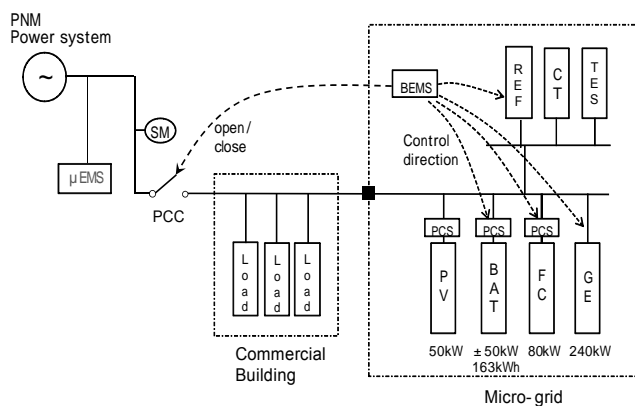


図-6 自立運転の試験方法

事務所ビルの自立運転では、自立範囲内の周波数と電圧を所定の電力品質に維持した長期安定運転を実現すること、ならびに、連系運転から自立運転への無瞬断(停電なし)での移行と、自立運転から無瞬断での連系復帰を実現することを目標としている。

自立運転では、GEが連系運転時の電力系統の役割を果たし、電力負荷のすべてを賄うように運転される。しかし、GEは自身の出力応答特性より速い周期の負荷変動には追従できないため、GEだけでは自立範囲内の電圧と周波数を制御目標範囲内に維持することができない。

このため、1秒程度の速い負荷変動は蓄電池が補償し、冷凍機が数十秒程度の周期の負荷変動を、FCが数分程度の周期の負荷変動を補償するように運転し、これらの機器との協調で、自立範囲内の電圧と周波数の変動を所定の制御範囲に収まるように制御する。

実証試験における自立運転の代表例を図-7に示す。

図-7では、13:10に連系運転から自立運転への移行を、15:14に自立運転からの連系復帰を、いずれも無瞬断で実現しているが、この他に各種の負荷条件で十数回実施したすべての自立運転試験において、無瞬断での移行を実現した。

なお、運転モードの変更においては、受電点遮断器開閉時の電氣的ショックを緩和するため、自立運転へ移行する際には受電点の電力潮流を±10kW以内に調整してから遮断器を開放し、また、連系復帰時には、同期投入装置によって系統側と自立側の電圧、周波数、位相を監視し、これらの差が連系復帰の許容範囲に入ったタイミングで受電点遮断器を自動投入している。

図-7の自立運転試験では、模擬負荷(DL)を50kWの変化幅で頻繁に増減させて、意図的に大きな負荷変動を起こして試験を行った。このときGE、FCと冷凍機(R-2)が長周期の電力変動に対応して、また蓄電池が短周期の電力変動に対応して、それぞれの出力を調整して全体負荷(Load)を賅っている。

自立運転移行後における自立エリアの電圧と周波数の変動の状況を図-8に、また自立運転時間内での周波数の出現率と制御目標範囲60Hz±0.3Hzへの滞在率を図-9に示す。

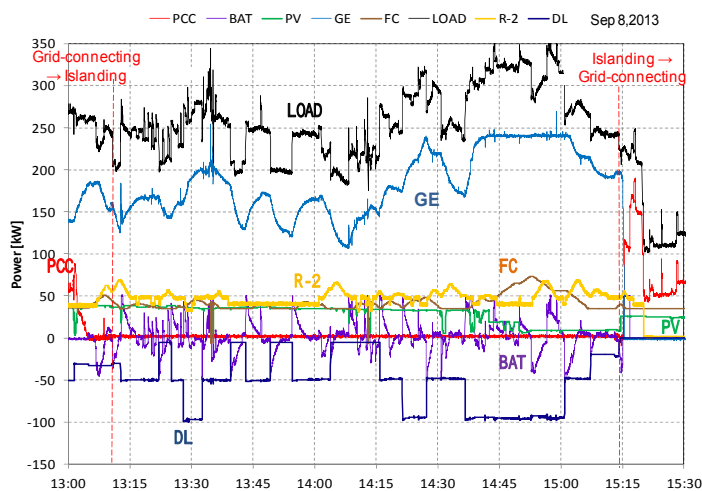


図-7 自立運転の試験例

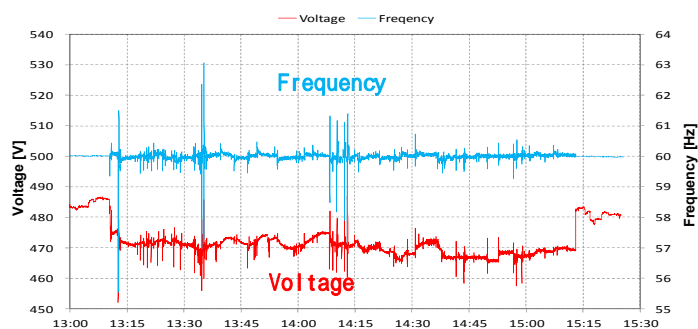


図-8 電圧と周波数の変動状況

本試験も含めた各種の負荷条件や運用電源の組合せで、全館自立運転を実施した結果において、自立運転時の電圧変動は全ての運転時間帯で480V±10%以内の目標範囲に収まり、また、周波数は60Hz±0.3Hz以内の制御目標に対して滞在率が98%以上となり、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た。

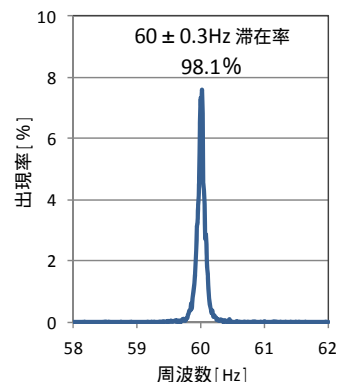


図-9 周波数の滞在率

### 3.3 配電系統と協調したデマンドレスポンス運転

デマンドレスポンス(DR)運転の実証は図-10に示すように、配電系統の電力潮流を監視しているμEMSから、スマートメータ経由で送られるDR信号による運転指令情報をBEMSが受け取る形で行った。

BEMSは受取ったDR信号に基づいて、逆潮流も含めて系統側と協調した電力融通を行うように、ビル側の分散電源機器や電力負荷を、予め設定された方策にしたがって適切に制御する。

今回の実証試験では、DR信号として表-1に示すDR1からDR5までの5種類の信号を用いた。

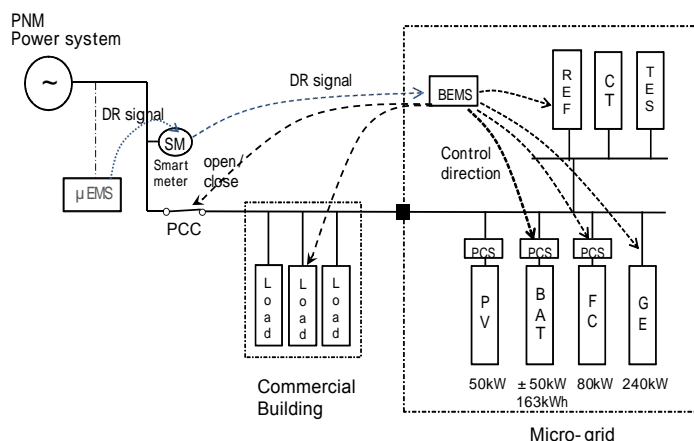


図-10 デマンドレスポンス運転の試験方法

表-1 実証試験で設定したDR信号

DR信号	運転形態
DR1	連系運転(スケジュール運転)
DR2	連系運転(予測計画指令による運転)
DR3	連系運転(受電点潮流一定制御、逆潮流もあり)
DR4	連系運転(受電点潮流0kW制御)
DR5	受電点開放による自立運転



デマンドレスポンス運転の実証試験の代表例として、受電点電力の目標値が、DR信号により、逆潮流を含めて15分毎に変更されたケースにおける各発電機の運転状況を図-11に示す。

この試験ではBEMSが11:00から15分毎に受電点電力目標値を変更するDR信号を受け、これらの信号要求に従いながら、電力負荷(LoadとR-2)を賄うために、PVの出力変動を加味して、FC、GEおよび蓄電池の各電源を制御している。

この時の受電点における電力変動は、ほとんどの時間帯で目標電力±10kW以内に収まっており、受電点潮流一定制御が十分な精度を持って実施されていることが分かる。

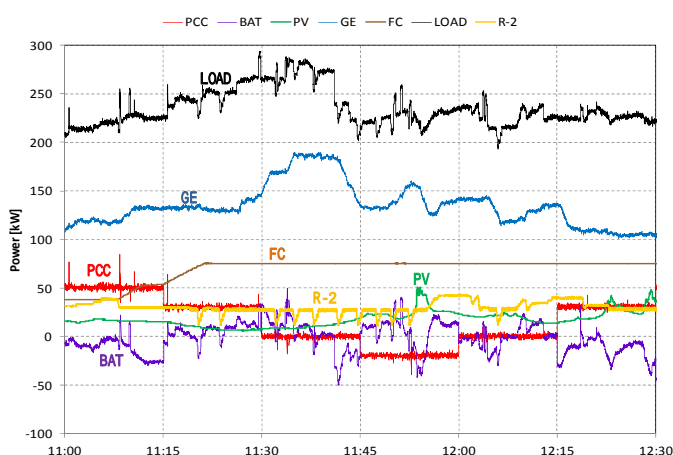


図-11 デマンドレスポンス運転の試験例

デマンドレスポンス運転の実証試験において負荷側の動作を確認した結果を図-12に示す。

図-12において13:30から13:45までは受電点目標値が50kWに設定されており、標準偏差1.99kWの精度で受電電力が目標値に維持されている。

BEMSは13:45に受電点目標値を-190kWに変更するDR3信号を受け、蓄電池、GEとFCにそれぞれの最大出力値まで出力を増加する指令を出している。これに従い、蓄電池は瞬時に50kWの放電を行い、GEとFCはそれぞれの最大出力240kWと80kWへ向けて出力を増加し始めている。しかし、-190kWの受電点目標値の達成は電源設備(FC、GE、蓄電池)の出力増加だけでは賄いきれず、受電点目標値を維持できない時間が5分続いた。

本DR制御では受電電力が5分以上継続して受電点目標値+10kW以上だった場合、負荷の出力制限を行う設定としている。このため、13:50頃にBEMSからダミーロードの出力減設50kWと空冷式冷凍機の停止の運転指令が出された。

この操作により13:51に受電点電力が-190kWに調

整され、これ以降、受電点目標値が維持されている。

14:00には受電点目標値を再度50kWとするDR3信号を受け、BEMSは蓄電池を充電側の50kWに切換え、GEとFCの出力を低下させることによって受電点目標値を達成しようとしているが、GEとFCの出力応答が遅いため、受電点目標値が50kWに安定するのに10分以上を要する結果となった。これは、一旦自動で切られた負荷の再投入は、安全性の観点から自動で行わない設計方針としているためである。

各種の条件下において実施したDR運転の結果から、DR信号に応じた各電源と冷凍機の運転、および、模擬負荷の増減を、予め設定された制御アルゴリズムに従って実行できることを確認した。

また、DR運転における運転モードの変更では、BEMSがDR信号を受けて受電点遮断器の開閉を自動で行い、無瞬断での自立移行と連系復帰を、すべての実験ケースで実現した。

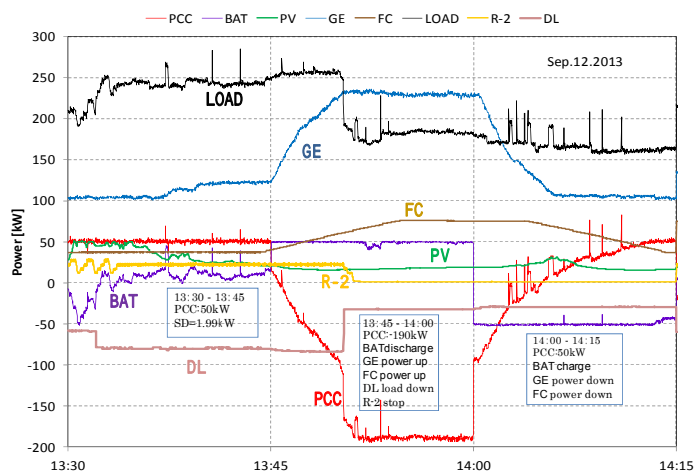


図-12 デマンド側の負荷動作を確認した試験例

### 3.4 冷凍機による電力変動補償制御の検証

従来、スマートグリッドの分野では蓄電池や発電機などの電源機器によって電力変動補償の制御を実施することが一般的である。

しかし、スマートグリッドの構成要素である熱源機器によっても有効な制御が可能であることから、熱源機器と蓄熱槽の機能を、従来から一般的に適用されている電力ピークのシフトなど長周期の電力変動を吸収する手段としてだけでなく、短周期の電力負荷の変動吸収手段としても利用するため、冷凍機による電力変動補償の実証試験を行った。

実証試験では、冷凍機と各電源の様々な組み合わせで連系点潮流一定制御による試験を行った。

図-13から図-16に、「全電源」、「全電源+冷凍機」、「蓄電池+冷凍機」および「GE+冷凍機」の組合せで連系点潮流一定制御を行ったときの結果を示す。

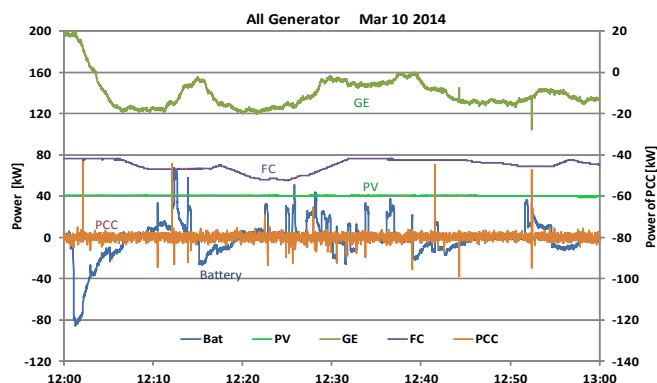


図 - 13 「全電源」による連系点潮流一定制御

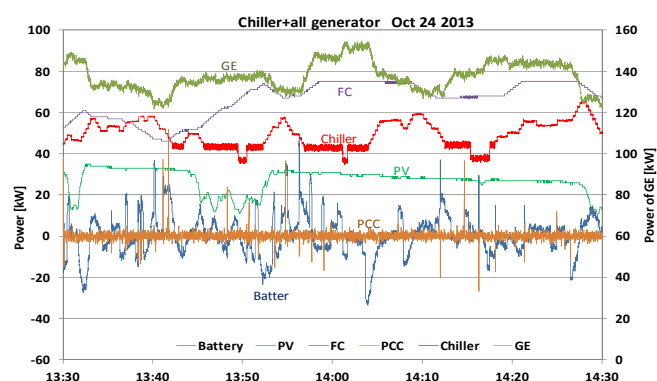


図 - 14 「全電源+冷凍機」による連系点潮流一定制御

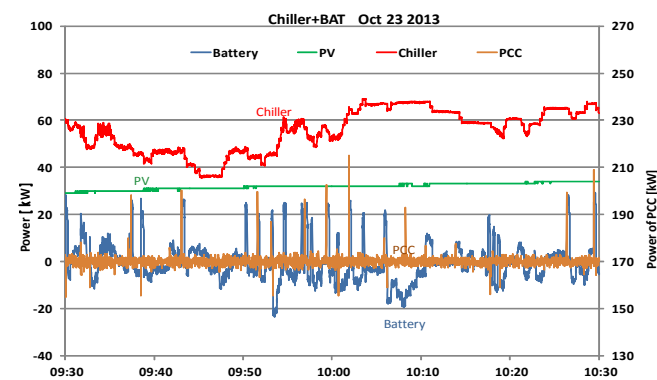


図 - 15 「蓄電池+冷凍機」による連系点潮流一定制御

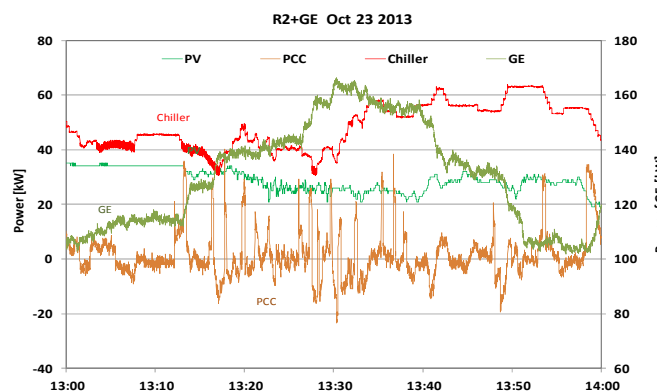


図 - 16 「GE+冷凍機」による連系点潮流一定制御

図 - 13 より、「全電源」による連系点潮流一定制御では、PV の出力は 40kW 一定で変動が見られないが、電力負荷の変動に対して、FC が長周期の変動、蓄電池が 1 秒以下の周期の変動、GE がその中間の周期の変動に、それぞれの応答速度で反応し、受電点電力 (PCC) を 0kW に維持している。

図中、受電点電力 PCC に 40kW 弱のヒゲ状の急峻な変動が記録されているが、これはエレベータの発停に伴う突入電流による電力変動を反映したものである。(以下の図 - 14 から図 - 16 においても同様)

図 - 14 より、「全電源+冷凍機」による連系点潮流一定制御では、電力負荷と PV 出力の変動に対して各発電機と冷凍機が、それぞれの応答速度で反応して受電点電力を 0kW に維持している。図 - 13 と比べると、負荷変動と PV の出力変動が大きいため、各電源が頻繁に出力調整をしていること分かる。

また、GE の出力は冷凍機よりやや速い応答速度で変化しているが、双方の出力変動は逆方向の動きを示しており、制御動作が干渉している。

図 - 15 の「蓄電池+冷凍機」による連系点潮流一定制御では、電力負荷の変動と PV 出力の緩やかな変動に対して、蓄電池と冷凍機がそれぞれの応答速度で反応し受電点電力を 170kW に維持している。

蓄電池以外の電源が稼働していないため、冷凍機が FC と GE の担当分もカバーするため冷凍機の消費電力は図 - 14 と比べて短周期で変化しており、変動幅も大きくなっていることが分かる。

図 - 16 の「GE+冷凍機」による連系点潮流一定制御では蓄電池が無いため、電力負荷と PV 出力の変動に対して GE と冷凍機のみでは 1 秒以下の速い周期の電力変動が吸収できていない。また、このときの受電点制御目標値は 0kW であったが、制御結果としての受電点電力は 0kW に対して上下に大きく変動しており一定値を維持できていない。

上記以外の機器の組み合わせで行った試験も含めて、各々の試験の制御精度を受電点電力変動の標準偏差で評価した結果を図 - 17 に示す。

図 - 17 より、受電点電力変動の標準偏差は、「全発電機」、「全発電機+冷凍機」と「蓄電池+冷凍機」による運転の 3 ケースでほとんど同じであり、各ケースの運転が同等の制御精度を有することが確認できた。

図 - 18 には「蓄電池+冷凍機」による試験時の冷凍機の運転状況として、総合成績係数(TCOP)、冷凍機出入口温度と冷水流量の変化を示す。冷凍機の TCOP は冷水入口水温の変化に伴って 3.1~5.7 程度で推移しているが、高い TCOP を維持した運転が可能となっている。また、冷凍機の容量制御にもかかわらず、冷水入口温度と出口温度の温度差は運転期間中において



4.3~6.1°Cの範囲であり、比較的安定した温度差で運転されており、蓄熱槽の温度成層にも悪影響を及ぼさないものと判断される。

これらの結果から、連系点潮流一定制御において冷凍機はGEの代替を果たすことが可能であり、GEが導入されない施設においても、冷凍機によって電力負荷変動の補償を実現できることが実証された。

なお、冷凍機による電力変動補償を行う際には、冷凍機の運転が負荷発生タイミングと一致しなくなり、また、冷凍機出口水温が変動するので、蓄熱槽を備えたシステム構成とすることが望ましい。

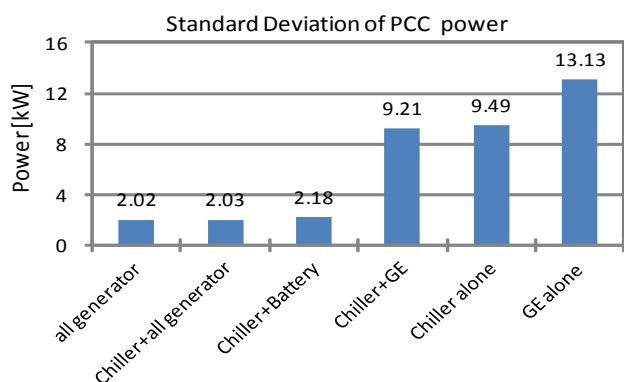


図 - 17 受電点電力変動の標準偏差

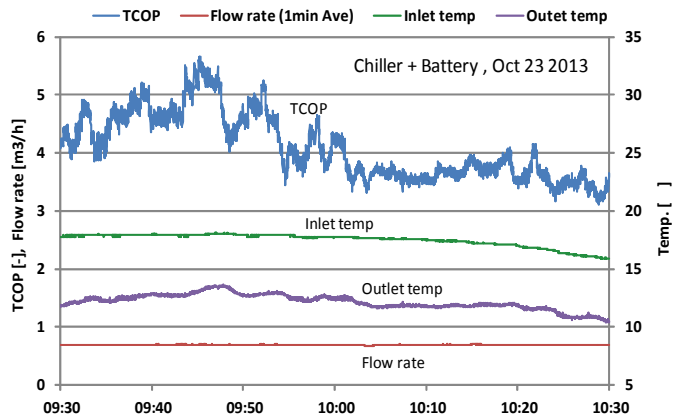


図 - 18 冷凍機の運転状況

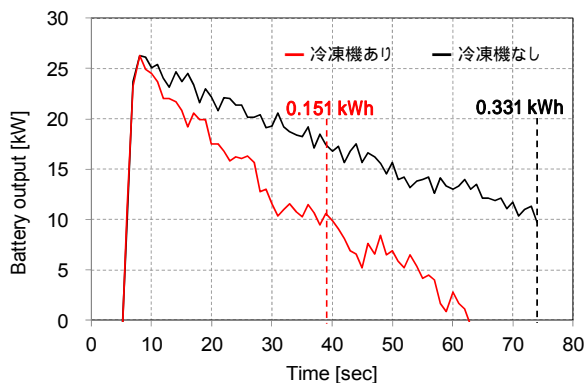


図 - 19 冷凍機による蓄電池容量の削減効果

また、冷凍機を電力変動補償制御に利用する効果として、蓄電池容量の削減効果がある。

図 - 19には「全電源」と「全電源+冷凍機」によって連系点潮流一定制御を行った際の、蓄電池の挙動を比較して示した。

各々の試験において蓄電池の放電出力が25kWから10kWまで変化する間の蓄電池の放電量を求めると、「冷凍機あり」では0.151kWh、「冷凍機なし」では0.331 kWhとなり、「冷凍機あり」の場合で蓄電池の放電量を約54%削減できる結果となった。

これは、マイクログリッドのシステム設計において、比較的高い蓄電池の容量削減を、蓄熱槽を備えた冷凍機の採用で実現できる可能性を示唆している。

#### 4.おわりに

アルバカーキ市の事務所ビルにおいて、2年間にわたって実施した実証試験の結果から、以下のような成果を得た。

1. 連系点潮流一定制御によって需要家側の電力負荷や自然変動電源の出力変動を十分な管理精度をもって制御することができ、これらの変動が配電系統へ与える影響を十分に緩和できることを実証した。
2. 事務所ビルの自立運転において、無瞬断での連系・自立の相互移行を実現し、長期間安定した高品質の電力供給を実現した。
3. 系統側からの要請に応じて需要家側の電源と電力負荷を自在にコントロールするデマンドレスポンス運転を、設計通りの制御戦略で適切に実現した。
4. 冷凍機と各種の電源の組み合わせによる電力変動補償制御において、冷凍機がガスエンジン発電機の代替として利用できること、また、冷凍機の採用により蓄電池容量を削減できることを実証した。

本実証プロジェクトにおいて実証システムの構築を進めていた最中、2011年3月11日に発生した東日本大震災をきっかけに、本実証事業の社会的な位置づけが大きく変わったことを感じた。

それまでは、本実証事業の成果を日本で展開することに現実性を感じられなかったものが、震災後の電力システムの在り方を巡る議論のなかで、にわかには、現実的な技術として注目されるようになった。

わが国の電力システムが大きく変わろうとしている社会背景において、今後、本事業によって得られた成果の展開が大いに期待されている。

今後は、本実証事業によって実証され確立された技術を、国内外に展開して社会に貢献して行きたい。

## 謝辞

本実証試験の実施に際しては、実証システムの設計・施工の段階で国際支店の掛谷氏、丸山氏、ecoBCP推進室の橋氏に、また、建設工事の段階ではSNA社(Shimizu North America LLC)の吉儀社長、Andrew Potts氏、Robert Mulhair氏、国際支店の鎌田氏に、BEMSの設計・施工段階ではエンジニアリング事業本部の木島氏に、工事監理で建築事業本部の望月氏、ecoBCP推進室の那須原氏に、大きな支援をいただきました。(所属はいずれも当時)

また、実証施設の使用において日常的な支援をいただいたForest City社のManny Barrera氏、Carrie Biesiot嬢、系統側との連携試験を日本側と共同で実施したPNM社のJonathan Hawkins氏、SNL(sandia National Laboratory)のAbraham Ellis氏、Johnson Jay氏、また、実証試験の実施と日常管理に協力いただいたUNM(University of New Mexico)のAndrea Mammoli教授、Hans Barsun氏、John Fitzgerald氏に、ここに記して感謝の意を表します。

### <参考文献>

- 1) K. Morino et. al.: Demonstration of the highly reliable power supply in a commercial building in Albuquerque NM. , U.S.-Japan Collaborative Smart Grid Project Collective Research Workshop 2014, 2014.11
- 2) K. Morino et. al.: Demonstration Tests of the Smart Grid at a Commercial Building in City of Albuquerque, The 6th International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources, IRED 2014, P7-1, 2014.11
- 3) 森野仁夫他: アルバカーキ市の商業ビルにおけるスマートグリッド実証実験 その3 冷凍機による電力変動の制御, 日本建築学会大会梗概集 41555, 2014年9月
- 4) 杉本貴之他: アルバカーキ市の商業ビルにおけるスマートグリッド実証実験 その4 自立運転時の制御結果, 日本建築学会大会梗概集 41556, 2014年9月
- 5) 森野仁夫: スマートグリッド実証における冷凍機による電力変動補償制御(第2報) 冷凍機と電源機器による電力変動補償制御, 空気調和衛生工学会大会講演論文集D-28, 2014年9月
- 6) 森野仁夫他: 米国アルバカーキ市の事務所ビルにおけるスマートグリッド実証 その1 実証試験の概要とシステム構成, 電気学会全国大会梗概集 6-172, 2014年3月
- 7) 山根俊博他: 米国アルバカーキ市の事務所ビルにおけるスマートグリッド実証 その2 連系点潮流一定制御による系統安定化, 電気学会全国大会梗概集 6-173, 2014年3月
- 8) 杉本貴之他: 米国アルバカーキ市の事務所ビルにおけるスマートグリッド実証 その3 自立運転時の制御結果, 電気学会全国大会梗概集 6-173, 2014年3月
- 9) 森野仁夫: スマートグリッド実証における冷凍機による電力変動補償制御(第1報) 実証実験システムの概要と冷凍機の応答特性, 空気調和衛生工学会大会講演論文集A-20, 2013年9月
- 10) 佐藤 和浩他: 米国ニューメキシコ州における事務所ビル・スマートグリッド実証, 電気設備学会全国大会梗概集 A-17, 2013年9月
- 11) K. Morino et.al.: Smart Grid Demonstration at a Commercial Building in Albuquerque, NM, USA, Santiago 2013 Symposium on Micro-grids, 2013.9
- 12) Y. Yamamoto et. al.: Outline of ABQ smart grid project for commercial buildings, U.S.-Japan Collaborative Smart Grid Project Collective Research Workshop 2013, 2013.12
- 13) 森野仁夫他: アルバカーキ市の商業ビルにおけるスマートグリッド実証実験 その1 実証実験の概要とシステム構成, 日本建築学会大会梗概集 41686, 2013年8月
- 14) 山本 裕治他: アルバカーキ市の商業ビルにおけるスマートグリッド実証実験 その2 BEMS による潮流一定制御, 日本建築学会大会梗概集 41687, 2013年8月
- 15) A. Denda et. al. : Outline of ABQ smart grid for commercial buildings and Shimizu & Tokyo Gas BEMS as a main frame, U.S.-Japan Collaborative Smart Grid Project Collective Research Workshop 2012, 2012.11