

ケーススタディ：東日本大震災直後の仙台マイクログリッドの運用経験

The Sendai Microgrid Operational Experience in the Aftermath of the Tohoku Earthquake: A Case Study

廣瀬 圭一, 島陰 豊成 (NTT ファシリティーズ)
 James T. Reilly (Reilly Associates)
 入江 寛 (三菱総合研究所)

1. イントロダクション

本資料は、東北地方にある仙台市において構築されたマイクログリッド（仙台マイクログリッド）に関するケーススタディである。

仙台マイクログリッドは、NEDO (New Energy and Technology Development Organization) が主体となって、NTT ファシリティーズらが2004年度からの4カ年、仙台市において実施した実証試験「品質別電力供給システム実証研究」のテストベッドとして誕生したものであり、仙台市にある東北福祉大学内の施設にエネルギーを供給している。2008年に実証試験が終了した後も、マイクログリッドシステムとして引き続き運用されているものである。

東北地方においては、2011年3月11日に東日本大震災が起こり、同地方は壊滅的なダメージを受けた。これに伴い、地震発生後数日間、東北地方のエネルギー供給システムは壊滅的な状況に陥った。このような状況下においても、仙台マイクログリッドは需要家に対して電気と熱を供給し続けたという実績がある。

本ケーススタディでは、仙台マイクログリッドの震災時における稼働状況を分析することで、今後マイクログリッドを構築するにあたっての注意点に関して考察を行うものである。

2. 仙台マイクログリッドの構成

仙台マイクログリッドは、NEDOが2004年から2008年までの間に実施した実証試験プロジェクト「品質別電力供給システム実証研究」の中で、NTT ファシリティーズなどが主体となって構築したシステムである。NEDO 実証の後、設備構成に何度か変更が加えられている。現在の仙台マイクログリッドの構成を図1に示す。

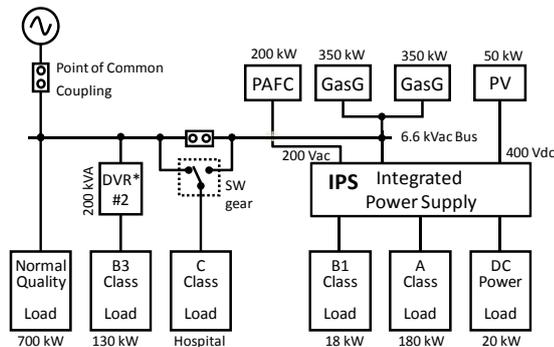


図1 仙台マイクログリッドのシステム構成

仙台マイクログリッドは、内部に2つのガスエンジン、燃料電池(PAFC)¹、太陽光発電を有するシステムである。もともと「品質別供給」の概念のもと構築されたシステムであり、マイクログリッド内で多種の電力品質の電力供給を行うことが可能である。図1中には品質のクラスが記載しており、それぞれの品質クラスは表1の通りとなっている。

表1 電力品質クラスの概要

Requirements	Power Quality Class Category				
	DC Power	AC Power			
		A-Class	B1-Class	B3-Class	C-Class
Interruption	NI	NI	< 15 ms	< 15 ms	< 15 ms
Voltage Dip	Y	Y	Y	Y	-
Outage	Y	Y	Y*	-	Y*
Voltage Fluctuations	Y	Y	-	-	-
Voltage Harmonics	Y	Y	-	-	-
Voltage Unbalance	N/A	Y	-	-	-
Frequency Variation	N/A	Y	-	-	-

Note. NI: No Interruption, Y: With compensation, -: Without compensation.

*: When Gas engine sets generated

B2-Classは実証試験終了後供給停止している。

DC Supply, Aクラス, B1クラスの負荷は、IPS (Integrated Power Supply) を通じて供給が行われる。IPSシステムを図2に示す。IPSは、双方向変換装置、高品質Aインバータ、DC-DCコンバータ、PV連系コンバータの4種類の変換器と、停電バックアップ用としてシール鉛蓄電池を有した装置であり、高品質の電力供給を可能とする。

¹ 2005年~2010年まではMCFC、PAFCは2011年の震災以降、MCFCの代替として設置された。

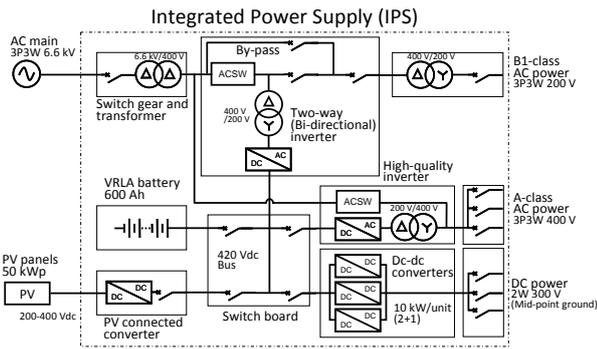
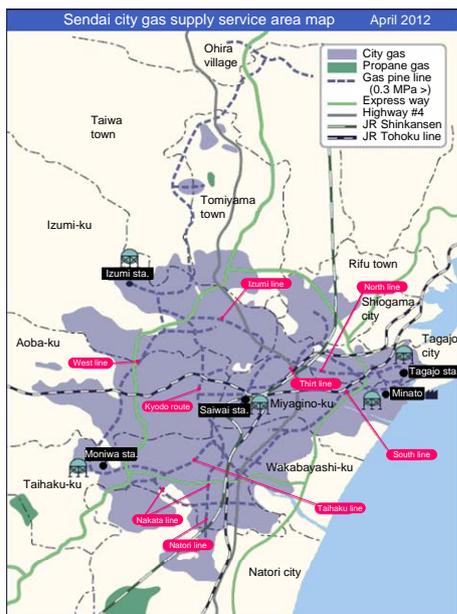


図2 IPS (Integrated Power Supply)

仙台マイクログリッドの主要な供給源であるガスエンジンの燃料は、仙台市ガス局から購入している。仙台市ガス局は、国外から輸入される LNG と、新潟県からの広域パイプラインによって天然ガスを調達している。ガスエンジンに供給される天然ガスは、仙台市ガス局の中圧パイプラインを通じて供給される。仙台市ガス局の供給エリアを図3に示す。



Source: 仙台市ガス局Gas webサイト²

図3 川内市ガス局の供給エリア

仙台マイクログリッドが位置する仙台市は、東北電力によって電力の供給が行われており、仙台マイクログリッドは東北電力と契約を行った上で図4のエリアに電力を供給しており、東北福祉大学のキャンパス内にある介護施設、病院などを供給の対象としている。

表1に示される通り、仙台マイクログリッドは電力供給の品質別に5つのクラスに分かれている。Aクラスで供給される診療所と研究所には、それぞれMRIとサーバが設置されており、B1

クラス、B3クラスの負荷である介護施設は、特に高齢者を対象とした施設である。このうち、B3クラスの介護施設には、呼吸器を必要とする高齢者が4人居住していた。Cクラスの供給対象となる病院は、精神科（及び内科）病院である。

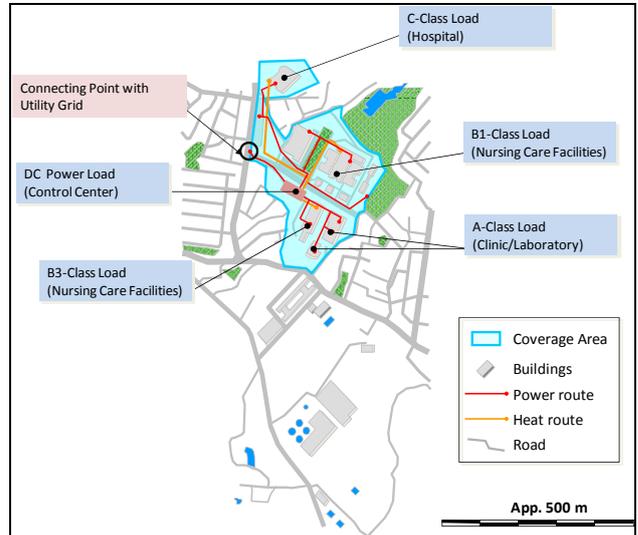


図4 仙台マイクログリッドの供給エリア

NEDO 実証終了後は、ガスエンジン発電装置の運用時に発生する熱も利用する構成に改造しており、コジェネレーションとしても機能することが可能である。廃熱は、暖房、温水、及び吸収式冷凍機を用いた冷水（冷房）として、病院や医療施設にて利用されており、電力のみならず熱も含めた総合エネルギーシステムとして仙台マイクログリッドはその役割を進化させている。

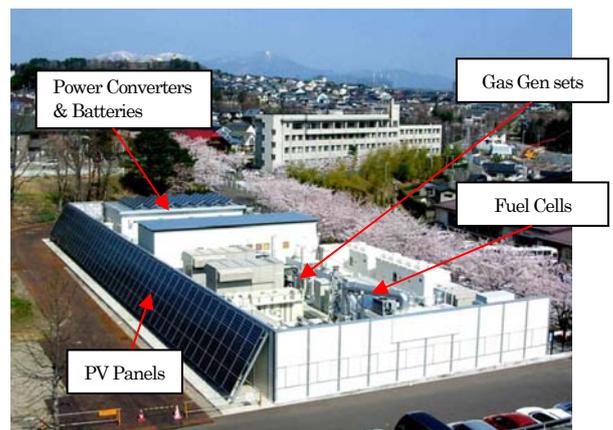


図5 仙台マイクログリッド

² http://www.gas.city.sendai.jp/top/about_us/area/index.php

3. 東日本大震災とエネルギーシステム

2011年3月11日14時46分、宮城県牡鹿半島東南東沖130kmの海底で発生した東北地方太平洋沖地震は、これまでの日本観測史上最大規模のマグニチュード9.0を記録し、東日本を中心に多大な被害をもたらした。太平洋沿岸部では津波により多数の死者、行方不明者がでており、建築物も壊滅的な被害を受けた。

東北地方、関東地方の内陸部においても、被災に起因する各発電所の停止やインフラの損壊によりライフラインが寸断し、住民は復旧までの間に不便な生活を余儀なくされた。



Source: 中央防災会議

図6 東日本大震災の状況 (岩手県釜石市)

震災直後、東北電力の供給エリアの大部分は停電に陥った。仙台マイクログリッドの周辺地域への東北電力からの電力供給についても供給停止となり、およそ3日間にわたり停電状態となった。

表2 地震後の東北エリアの停電の状況

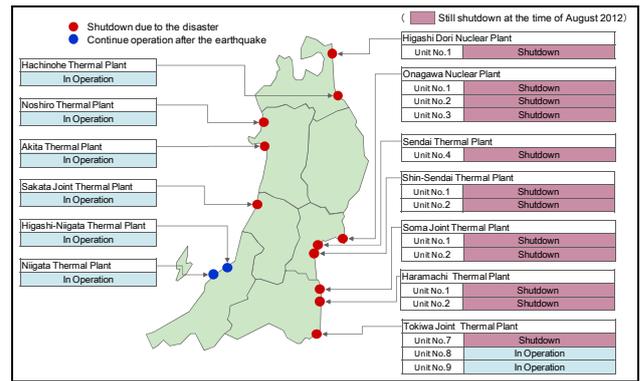
Volume of power supply interruption	Approx. 7,900,000kW (Approx. 60% of loads suffered from the power outage.)
Maximum number of households losing power	Approx. 4,660,000 households
Blackout area	All areas of Aomori, Iwate and Akita prefectures. Almost all areas of Miyagi and Yamagata prefectures. Parts of Fukushima prefecture.
Power restoration*	Approx. 80%* of the power restored within 3 days after the occurrence of the outage. Approx. 94%* of the power restored within 8 days after the occurrence of the outage. At 11:03 on June 18 th , power was fully restored.

* In all areas where recovery work on physical infrastructure was possible.

Source: 中央防災会議

³ <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/9/sub2.pdf>

⁴ 既出文献



Source: 中央防災会議

図7 東北電力の火力発電所・原子力発電所の状況

また、ガス供給システムも多大な被害を受けている。震災の影響で、東北地方では8県において16のユーティリティがガス供給停止に陥った。

仙台市ガス局については、地震発生によって、供給エリアのうち、3つのブロックへの供給が停止していた。その後の津波は仙台市ガス局にとっては想定外のものであった。

津波の影響により、仙台市ガス局の重要なLNG基地である港工場が機能停止した。日本国内で初めてのLNG基地の機能停止である。港工場は、図8のように壊滅的なダメージを受けており、約31万戸に及ぶ復旧作業が発生したとともに、家庭等へのガス供給は困難を極めた。



図8 壊滅的なダメージを受けた港工場

一方で、中高圧のガスパイプラインは強度の高い鋼管と溶接継手により構成され、非常に耐震性が強く、震災による影響を受けなかった。また、復旧に1年程度を要すると見込まれたLNG基地に代わり、広域天然ガスパイプラインを経由して西北日本の新潟県から代替供給を行ったことにより、中高圧の天然ガス供給は可能であった。

⁵ 既出文献

System	Mar 11	Mar 12	Mar 13	Mar 14
Utility Grid	Grid Connection	Voltage Collapse → Grid Outage	Outage	Grid Recover Grid Connection
Gas Engine	Grid Connection	Disconnect	Around 12:00 Islanding operation	Grid Connection
DC supply	Grid Connection	Supply from Battery	Supply from Gas Engine	Grid Connection
A Quality	Grid Connection	Battery	02:05 Stopped Manually Supply from Gas Engine	Grid Connection
B1 Quality	Grid Connection	Battery	Outage Supply from Gas Engine	Grid Connection
B3 Quality	Grid Connection	Outage	Around 14:00 Dispatch Start (because of customer's wish) Supply from Gas Engine	Grid Connection
C Quality	Grid Connection	Outage	Supply from Gas Engine	Grid Connection

図9 系統停電時における仙台マイクログリッドの運用

4. 仙台マイクログリッドの運用

上記に示した通り、仙台マイクログリッドが位置する東北地方では、震災による甚大な被害を受けており、震災直後、仙台マイクログリッドの周辺地域への東北電力からの電力供給は停止し、およそ3日間にわたり停電状態となった。

このような状況の中、仙台マイクログリッドは供給エリアへの電力供給を継続させた。その時の状況を図9に整理している。

●11th/Mar/2012 14:47

3月11日14時46分の地震発生から数十秒後より東北電力の商用系統で大きな電圧変動が繰り返し発生し、次第に系統電圧が低下していき、停電に至っている。これに伴い、仙台マイクログリッドは自立系統に切り替わった。

仙台マイクログリッド内にあるガスエンジンは、マイクログリッドと商用系統との連系点が解列するまでの間に商用系統の異常な電圧により影響を受け続けたため、自己の異常運転を防止する機能のために発電停止してしまい、本システムは6.6kV母線停電状態となった。これにより、B3クラス、Cクラスへの供給がストップした。

その後、3時間後にマイクログリッド運用者が設備に駆け付け、ガスエンジンの手動起動を試みるが、制御用ガスエンジンバッテリーが放電しきってしまっていて、起動できなかった。以降、ガスエンジンの再起動は3月12日の12時頃となる。

DC Supply、Aクラス、B1クラスの需要家はIPSに接続されている。ガスエンジン停止後は、IPS内蔵の蓄電池と太陽電池パネルをエネルギー源として、これらの需要家に給電が継続された。

●12th/Mar/2012 02:06

蓄電池の残容量が減少により、動作電圧を逸脱したために、保護の観点から動作を停止し、AクラスとB1クラスも停電に陥っている。一方で、DC給電はDCコンバータの最低動作電圧がそれらインバータより若干低かったこと、負荷が少なかったことなどから、AやB1の供給が途絶えた後も給電を継続している。

●12th/Mar/2012 approximately 12:00

現地のオペレータが、ガスエンジンの制御用電源回路に別の電源盤から供給を行うために、仮設配線工事を実施した。その後、給電設備を点検し、問題がないことを確認した後、ガスエンジンを手動で再起動した。これに伴い、仙台マイクログリッドはガスエンジンの自立運転により、Aクラス、B1クラス、Cクラスへの電力供給を再開した。

●12th/Mar/2012 approximately 14:00

図1に示す通り、B3クラスは仙台マイクログリッドの自立系統の対象外となっている。しかし、この介護施設には、人工呼吸器が必要な高齢者4人が居住しており、これ以上の供給停止は人命に係るとの判断から、需要家である東北福祉大学は、B3クラスへの供給を要請した。

マイクログリッドの運用者は、この依頼を受けて、バイパスルートへと給電ルートを切り替えることでB3クラスへの給電を開始した。

●14th/Mar/2012 08:16

東北電力の商用系統が復電したために、再連系のために各受配電設備の点検を行い、準備を実施した上で、商用系統に再連系して通常の給電状態に戻した。

5. 教訓

以上に示してきたように、2011年3月11日に日本を襲った東日本大震災によって、東北エリアのエネルギーシステムが壊滅的なダメージを受けた中で、仙台マイクログリッドは電力を供給し続けた。この経験は、今後のマイクログリッドの設計、構築に関して沢山の示唆を我々に与えてくれる。

Point (1): 災害時におけるマイクログリッドの重要性

まず言えることは、マイクログリッドは大災害時におけるエネルギー供給システムとして非常に有効なシステムであるということが立証された。

今回の大震災、津波は日本にとって未曾有の危機であり、「想定外」のものであった。3日間もの長い間、電力が供給されないという経験は近年の日本にはなく、そのためになすべがなかった。このような状況の中、仙台マイクログリッドが電力を供給し続けたことは注目に値すべきことである。

震災発生時の外気温は、3月11日15時で約5°C、翌日の深夜早朝は氷点下を下回る状況であり、電力とともに暖をいかにとるかが課題でもあった。特に、医療機能を果たす東北福祉大学においては、患者、高齢者へ熱の提供は電力と同時に必要とされるものであった。ガスエンジン発電の再復帰後、コジェネレーションとして機能により電力のみならず熱供給も仙台マイクログリッドは可能とした。

特に注目すべきは、「マイクログリッドが人命を救った」という点である。Cクラスの供給対象となる病院は内科のために、人命に係る事件は発生しなかったが、B3クラスは人工呼吸器が必要であった高齢者が4人いた。需要家の判断と運用者の行動がこれらの高齢者の人命を救ったと言っても過言ではない。需要家である東北福祉大学の小林稔晴氏は以下のように語る。

小林氏のコメント

B3クラスへのとっさのバイパス供給が人命を救ったと感じている。人命に係るエネルギー供給は非常に重要であると考えており、大学施設にマイクログリッドを導入して良かったと本当に感じている。今後も、人命にかかわる施設については、供給の信頼性を向上させたい。

今回の経験は、まさに、マイクログリッドの小規模エリアへの供給と言う特徴から、「きめ細かい、フレキシブルな」配慮と対応ができた結果と言える。また、ガスユーティリティである仙台市ガス局の星孝一氏、鈴木正幸氏は、マイクログリッドについて、次のように語る。

星氏、鈴木氏のコメント

今回の経験により、マイクログリッドの災害時における重要性を認識したと同時に、ガス供給によるマイクログリッドが非常に有効であることをうれしく感じる。

マイクログリッド構築の目的は様々存在する。エネルギー損失の最小化、再生可能エネルギーの利用最大化、発電・配電の新規のビジネスモデルの構築などである。しかし、今回の経験は、「災害時に強いこと」こそが非常に重要であり、この観点に第一義的に基づき、マイクログリッドを設計・構築していくべきであるということを我々に教えてくれる。

今回の経験では、特に災害時において患者や高齢者のケアのために電力供給が継続されなければならない時に、マイクログリッドが重要負荷に対しての長時間の電力供給において重要な役割を担っていることが示された。

Point (2): エネルギー供給源の多様化の重要性

仙台マイクログリッドがなぜ震災時に電力供給し続けることができたか、その鍵が「エネルギー供給源の多様化」にあることは明らかである。仙台マイクログリッドは、ガスエンジン、太陽光発電を有しており、系統停電時には自立運転が可能となっている。

ガスエンジンは中圧パイプラインより供給される天然ガスを燃料として動いている。日本の中高圧ガスパイプラインは耐災害性の高い鋼管と溶接継手により構成されており、そのため、東日本大震災時においても、仙台マイクログリッドのガスエンジンに安定的なエネルギー供給を行うことができた。

配電会社からのサービスが停止されたために自立運転に入った仙台マイクログリッドは、停電が長期化した際に電力供給を行ったが、その機能の中核となったのはエネルギー供給を受けられるガスエンジンであった。

震災時において、燃料電池やPVだけでは、十分な電力供給源とはならない。例えば、ソーラーパネルは地震で割れてしまうかもしれないし、雨が続けば利用することはできない。マイクログリッドのエネルギー供給源は、経済性、環境適合性、供給信頼性など、様々な要因で決定される。

仙台マイクログリッドは、災害に強い中圧パイプラインからの天然ガスを主として、複数のエネルギー供給源を利用するように設計されており、これにより災害時におけるエネルギーの安定供給を実現している。

Point (3): バックアップ設備の重要性

仙台マイクログリッドが供給を続けることができたもう一つの要因として、IPS (Integrated Power Supply) 内部に、停電バックアップ用の蓄電池を有していたことが挙げられる。近年その重要性を増す蓄電池であるが、災害時においても安定的な供

給を行う上では非常に重要であることが今回の経験で確認された。

しかし、現在のところ蓄電池は非常に高価であり、コストを考慮すると差し迫った必要がある場合以外は使用すべきではない。従って、最悪な状況下で最優先されるべき負荷を特定しておくことが重要である。この「負荷の優先順位付け」が、仙台マイクログリッドのような複数の電力品質を伴うマイクログリッドのコンセプトである。このコンセプトの価値は、地震や津波により証明された。震災時に仙台マイクログリッドが順調に運用されたことで確認されたのである。

Point (4): 総合的な運用とトレーニングの重要性

最後に、マイクログリッドの効果的な運用には、運用者を含めた総合的な計画が不可欠であることが明らかとなった。災害時には、平時の運用とは異なった対応が要求される。更に、地震や津波といった多くの「想定外」の災害があった。

マイクログリッドの設計者である日比谷総合設備（元 NTT ファシリティーズ）の峯田喜次郎氏は、今回の状況を振り返って以下のように語る。

峯田氏のコメント

今回の震災は想定外のことばかりであった。東北福祉大学には災害時のマニュアルは存在していたが、今回の震災は想定を大きく上回る規模のものであったために、マニュアルには記載されていないことだらけであった。

マイクログリッドの運用者にとっても想定外のことだらけであった。運用者が現場に駆け付けようにも、連絡がとれない、道路交通がマヒしていたなど、困難を極めた。

やっとの思いで現場に到着し、ガスエンジンを手動で起動させようとしたら、制御用ガスエンジンバッテリーが放電しきってしまっていたことも想定外であった。

このような困難を極める状況下、仙台マイクログリッドがエネルギーを供給できたのは、運用者の迅速かつ適切な対応があったからである。ガスエンジンを再起動させるために仮設配線工事を実施したことや、B3 クラスに人工呼吸器が必要である高齢者がいるとの要請を受け、通常とは異なるオペレーションを行うなど、想定外の事象に対して適切な対応をとった。

マイクログリッド技術の高度化に伴い、最も注目されているのはエネルギー源と蓄電の組み合わせ、機器の構成、ハードウェアおよびソフトウェアアプリケーションである。同時に、これらのシステムについて熟知し、上手く使いこなせる運用者が必要であることを忘れてはならない。マイクログリッドを実装し正しく機能させるためには（特に「想定外」の災害が発生時には）、運用手順と運用者のトレーニングが重要な要素である。

結論としては、複数エネルギー源を用いるマイクログリッドである仙台マイクログリッドについて、その設計にうかがわれ

る NEDO の事前の検討、また、NTT-F による継続運用により、全く予想だにできなかった「想定外」の災害時において最も重要で価値のある資源を供給することができたと言える。

6. 謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った中林稔晴氏（東北福祉大学）、星孝一氏（仙台市ガス局）、鈴木正幸氏（仙台市ガス局）、峯田喜次郎氏（日比谷総合設備）に感謝の意を表す。

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

7. 参考文献

- [1] *Sendai Use Case - Microgrid to Supply Power at Multiple Power Quality Levels*, posted on the EPRI Smart Grid Use Case Repository. September 14, 2012.
- [2] *Demonstrative Project on Power Supply Systems by Service Level* <http://www.ntt-f.co.jp/profile/rd/sendaproject/english/index.html>
- [3] *An Overview of SENDAI Experimental Study Project Experimental Study Project - Power feeding test with Multiple quality levels*, K. Hirose, IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC2005). September 20, 2005.
- [4] *A Microgrid That Wouldn't Quit*, IEEE Spectrum Website <http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-microgrid-that-wouldnt-quit>. October 26, 2011.
- [5] Interviews with stakeholders by authors. September 18, 2012.