



Title	マイクログリッドの技術開発動向
Author(s)	原, 亮一
Citation	ルワンダと北海道 : 国際地域連携研究, 29-40
Issue Date	2018-06
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/71102
Type	report
File Information	04_Hara.pdf



[Instructions for use](#)

マイクログリッドの技術開発動向

情報科学研究科 准教授 原亮一

要旨：本報ではルワンダでのマイクログリッド導入に向けたイメージの醸成ならびに電気工学的な見地から検討すべき項目の洗い出しに資することを目的として、マイクログリッドという比較的新しい電力供給システムの基本概念・構成を整理する。また、参考として国内外における導入事例を概観する。

1. 大規模電力システムとマイクログリッド

電気事業の歴史はトーマス・エジソンが 1882 年に米国ニューヨーク州のパールストリートに火力発電所を建設し、電灯用電力を供給したことに端を発する。以降、世界的に電力システムの構築が進められてきたが、特に蒸気機関である火力発電所の持つ「容量が増加するほど効率が改善する」という特徴（スケールメリット）を背景として、電源の大型化・集中化がなされてきた。また、供給規模・エリアを拡大することで予備力（電源の故障等に備えて用意する供給力の余力）が共有できる等のメリットもあり、電力系統は、ときには国境をもまたぐ巨大なシステムとして構築されてきた。

一方、1990 年代から、従来の水力・火力・原子力発電所などとは異なり比較的スケールメリットの少ない小規模な分散型電源が技術的・価格的に現実味を帯びてきた。「スケールメリットが少ない」と書くと好ましくない特徴のように思われがちであるが、機器の性能や効率が容量に左右されないという意味であり、これは言い換えると、電源の容量をその用途に応じて選択しやすくなると考えることもできる¹。比較的小容量の電源が利用できるようになると、用地獲得が比較的簡単に行えることから、たとえば電力消費地の近傍に電源を設置するオプションが浮上する。この場合、電源と電力消費地の地理的な距離（送電線や配電線の長さ）がレガシーな電力系統（以下、レガシーグリッド）と比較して短くなるため、送電損失（送電線でのエネルギー損失）が小さくなる効果が期待される。また、内燃機関やガスタービンなどにより動作する分散型電源にあたっては、発電に付随して熱の生成・供給も可能なコジェネレーションが可能であり、電力と熱を同時に供給することで総合エネルギー効率を飛躍的に向上できるメリットも期待される²。このような

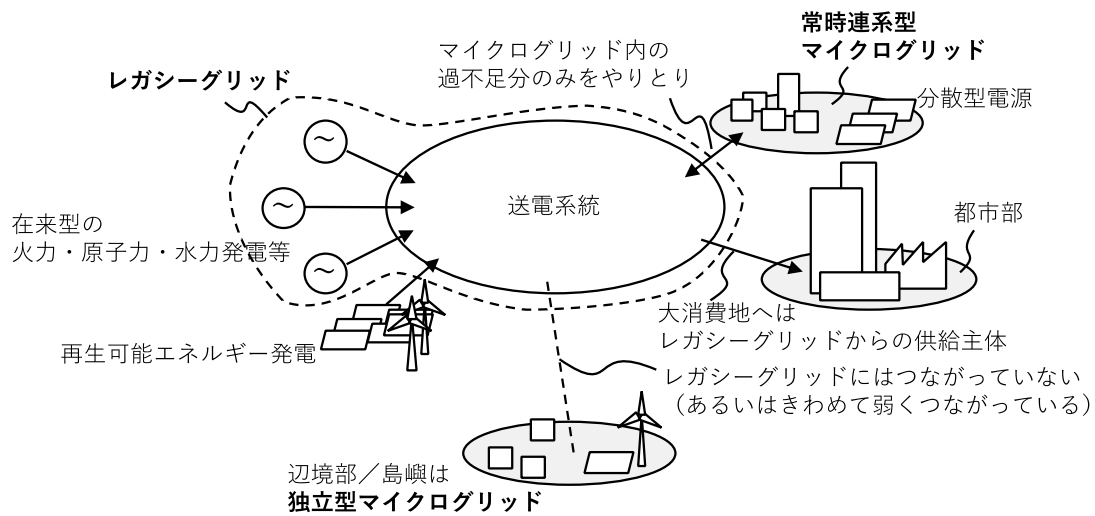
¹ もちろん、電源容量の増加が効率改善につながらない、ということがデメリットとして作用することもある。特に太陽光発電の場合はサイズに寄らず効率が一定であることから、電源容量に比例して利用する用地面積が増加してしまう。

² 熱の輸送には距離的な限界があるため、電力消費地から離れて建設されることの多い在来型の大規模・集中型の火力発電所・原子力発電所は、熱の併給には向かない。

理由から、レガシーグリッドとは異なり、地理的に近接する需要家群に対して、ローカルに設置された分散型電源を主たる電力供給リソースとして活用する電力供給の形態 – マイクログリッドの概念が 1990 年代後半から提唱されてきた。マイクログリッド (Microgrid) の名称は 1999 年に米国のローレンスバークレー国立研究所を中心として構成された CERTS (The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) によって提唱されたものである。その名称の由来は、レガシーグリッドがマス・コンシューマを対象とした「大きな系統 (Grid)」であることと、分散形電源を活用した新しい電力供給形態はローカルな地域の小規模な需要家への電力供給を主たる対象としていることとの対比にある。同種の概念では、著者の知る限りでは 1997 年に奈良・長谷川によって提唱された高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (Flexible, Reliable and Intelligent Energy Delivery System: FRIENDS) が皮切りである (奈良・長谷川 1997)。

かくして、マイクログリッドの概念は世界的に研究開発の対象として注目を集めた。我が国においては先の FRIENDS に関する研究に始まり、2003~2007 年には新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO) によるマイクログリッドに関する実証研究が実施され、また 2006 年には東京ガス株式会社や清水建設株式会社などの民間企業による実証研究がスタートし、机上検討から実証フェーズへ移行した。これらの研究開発で得られた知見をベースに、現在ではすでに商用利用のステージに入っている。同様の動きは国外でも観察され、供給信頼度維持対策・エネルギー効率改善策・未電化地域対策などを目的として実用の段階にある。また、近年では IT との密接な融合を念頭に置いたスマートグリッドへの昇華が注目されており、再生可能エネルギー発電の導入量の急成長もあいまって、レガシーグリッドはそのあり方を含め、大きく変わりつつあるのが世界の趨勢である。

ここで注意すべきは、マイクログリッドが万能な電力供給形態ではないということである。我が国の電力化率 (エネルギー消費量の内、電気の形で利用されるエネルギー消費量の割合) は 40% を超えており、その全てを分散型電源で賄うことは現状では用地面・費用面で得策ではない。特に都市部のような人口密度が高い地域では在来型の大型電源をある比率で利用していくことが経済面・技術面の両面で合理的であり、レガシーグリッドの優位性は依然残る。一方で、たとえば過疎化などによりエネルギー需要が縮小していくような地域に対しては、重厚長大な従来のやり方を継続していくことの合理性は薄くなる。このように地域の特性を考慮しながら、最適な電力・エネルギー供給形態を設計していくことが重要であるといえる (図表 1)。



図表 1 レガシーグリッドとマイクログリッドの共存 (著者作成)

2. マイクログリッドの基本概念

2.1 MG の構成要素

(1) エネルギーマネジメントシステム (EMS)

レガシーグリッドであるかマイクログリッドであるかに関わらず、電気回路的に接続された電力システムにおいては、時々刻々と変化する需要量に合わせて発電量を瞬間瞬間で一致させることが必要であり、このような運用・制御を需給運用・制御と呼ぶ。ここで「電気回路的に接続された」とは、図表 1 のイメージ図でいえば「レガシーグリッド+常時連系型マイクログリッド+都市部」あるいは「独立型マイクログリッド」の単位で需給運用制御が必要となる、ということである。言い換えると、系統に常時接続している常時連系型マイクログリッドでは需給を常に一致させておく必要はない。ただし、2.2 で述べる各種機能を実現するためには、常時連系型マイクログリッドであっても、当該マイクログリッド内で需給を一致させるような運用制御を実現できる必要がある。このような需給運用・制御をより効果的・効率的・経済的に実現するためには、後述する分散型電源・蓄エネルギーシステム、ときには需要までをも、その振る舞いを統合的に管理・制御する必要があり、これを実装するプログラム・ハードウェアをエネルギーマネジメントシステム (Energy Management System: EMS) と呼ぶ。このように EMS はマイクログリッド全体を統括する頭脳に相当する部分であり、その設計の善し悪しがマイクログリッド全体のパフォーマンスに影響を及ぼしうるといって過言ではない。

EMS による需給運用・制御はマイクログリッド毎にバリエーションはあるものの、最大公約数的には次のような手順で実装されているといえる。

- a) 運用計画 将来の需要や再生可能エネルギー発電の出力量などを予測し、その予測手法に基づいてマイクログリッド内の各装置をどのように利用することを効率・経済性などを勘案して計画する。例としては、16時の段階で翌日0時～24時の需要量・再エネ発電出力を予測し、それに対して分散型電源・蓄電池をどのタイミングでどのように利用するかを30分単位で決定しておく、といった状況が挙げられる。計画立案のタイミング（先の例では16時）や、計画の対象期間（先の例では翌日0時～24時）、計画の時間解像度（先の例では30分単位）は個々のサイト事情により異なる。
- b) リアルタイム制御 運用計画の段階で利用する予測情報には予測誤差が少なからず含まれるため、実際には実況を見ながら細かい制御を実施する。運用計画の段階で利用した予測情報が更新された場合には、最新の予測情報に基づいて当初計画を見直すようなロジックを組み込む場合もある。

(2)分散型電源

前述の通り、分散型電源は電力消費地近傍に設置することが可能な小規模な電源の総称であり、近年注目を集めている太陽光発電や風力発電はもちろんのこと、小水力発電、天然ガスやディーゼルガソリン・水素などの燃料を利用するエンジン・タービン発電機なども含まれる。その特徴別に分類したものを図表2にまとめる。

図表2 分散型電源の種類と特徴
(著者作成、発電効率は(電気学会1990)、(茅2002)を参考にまとめた)

種類	一次エネルギー		可制御性	発電効率[%]
	種別	再生可能性		
太陽光発電	太陽光	○	×	10～20
風力発電	風力	○	×	20～45
小水力発電	水力	○	△	70～90
蒸気タービン発電	化石燃料/バイオマス燃料(ガス・固形)	△	○	～35
ガスエンジン発電	化石燃料/バイオマス燃料(ガス)	△	○	25～35
ガスタービン発電	化石燃料/水素	△	○	18～30
燃料電池	水素	△	○	40～60

太陽光発電・風力発電は再生可能エネルギーを利用した発電であり環境親和性の高い電源であるが、一方で、利用可能なエネルギー密度が小さく、また太陽光発電は発電効率も低いことから単位容量あたりの敷地面積(フットプリント)が他の電源と比較して大きく、都市部などの設置にはあまり適さない。また、これらの電源の出力は気象条件に左右されることから、その可制御性はきわめて低いため、安定したエネルギー供給源として利用するためには他の電源や蓄電池などの蓄エネルギーシステムとの組み合わせが必要である。

小水力発電は、従来の大規模な水力発電では利用されてこなかった小川や用水路などの

低落差を流れる水を利用した発電であり、安定した出力が期待され、またその出力もある程度制御することができる。一方で、当然ではあるが、上記の水源が確保されていることが前提となり、利用可能な適地はある程度限定される。水利権の調整が必要など、技術的ではない部分での困難さを生じる場合が多い。

蒸気タービン発電は、在来火力電源と同様に、燃料を燃焼して水蒸気を生成し、その運動エネルギーでタービンを回転させ発電する方式である。燃料としては石油・天然ガスなどの化石燃料のほか、木質チップや家畜系糞尿を加熱処理した固形燃料などのバイオマス、またはそれらの混焼などが利用できる。その構造上、比較的大規模な発電容量に適している。

ガスエンジン・ガスタービン発電は燃料を燃焼させたとき生じる膨張過程を直接利用して発電機を回転させる方式であり³、数kW～千kWクラスの小・中容量の利用に適している。また、排気ガスの温度が比較的高いことから、排熱利用による熱の併給（コージェネレーション）にも利用可能である。

燃料電池は、水素と酸素を水の電気分解とは逆の化学的過程により発電を行う方式であり、発電時に温暖化効果ガスの排出を伴わない点が特徴的である。ガスエンジン・ガスタービン発電同様、コージェネレーションにも利用可能である。

(3)蓄エネルギーシステム

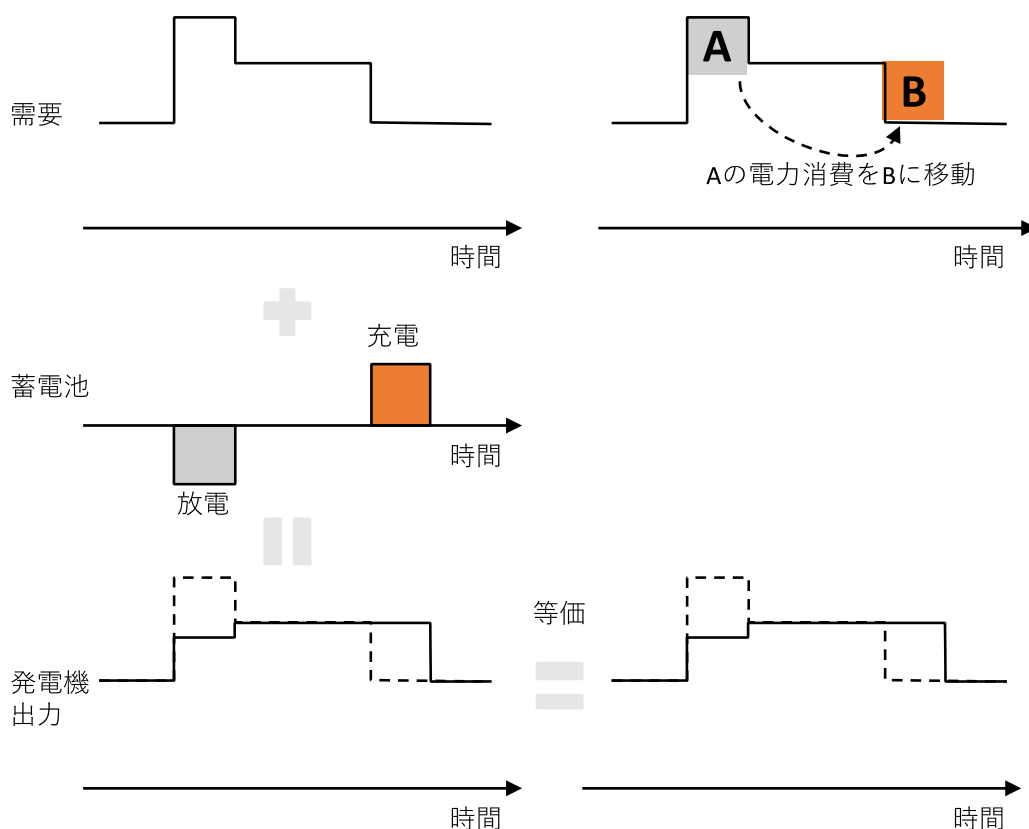
蓄エネルギーシステムとはその名の通りエネルギーを蓄えておくための装置・システムである。現状の技術では、電気エネルギーは電気エネルギーのまま長期に安定して蓄えておくことが難しいエネルギー形態であり、基本的には化学・機械・熱エネルギーといった他の形態に変換して蓄えるのが一般的である。その最たるものが化学エネルギーに変換して蓄える蓄電池であり、鉛蓄電池は効率が悪く、価格・利用実績・メンテナンスの容易さ等の理由から現在も広く利用されている。そのほかにも近年ではリチウム電池、ナトリウム硫黄電池、レドックスフロー電池など多様な蓄電池が開発されており、すでに多方面で実用されている。蓄電池の応答性は極めて高性能であり、非常に短い期間に多くの電力を出し入れすることができる。反面、エネルギー密度が大きくとれないことから設備体積が大きくなる傾向にあること、またなにより、現時点では設置コストが高いため、蓄電池だけを用いるのではなく、他の蓄エネルギーシステムと併用することが検討されている。

近年では、電力を消費して水の電気分解を行い、水素を製造して貯蔵する「水素貯蔵」も広く検討されている。精製された水素は高圧ガスタンク、あるいは水素吸蔵金属などに吸収させて保存することで長期の保存が可能となる。また、先に述べた燃料電池あるいはガスタービン発電などを用いることで、再び電気エネルギーに戻すことも可能である。た

³ 両方で動力を得る機械的構造は異なる。

だし、電気エネルギーから水素を経て再び電気エネルギーに戻す際の総合効率は20～30%程度と極めて低く、生成された水素は発電以外の用途（たとえば燃料電池自動車の燃料として活用）などが現状では現実的である。

そのほか、実際にはエネルギーを蓄えるのではなくエネルギーを消費しているものでも、その消費の仕方を制御することで、あたかも蓄電池と同等の状況を実現する技術も開発されている。この技術のイメージは図表3に示す通りで、右図のように時間帯で電力消費（図表中A）を別の時間帯に移す（図表中B）ことができれば、左図のようにAの時間帯で放電をし、Bの時間帯で充電をした場合と、電源からは等価な状況を作り出すことができる、というものである。このような需要のタイムシフトはどんな需要でもできるわけではなく、たとえば室内空調、給湯器などの熱への変換を伴うものや、近年では電気自動車への充電需要などへの展開が検討されている。さらに近年では、太陽光発電や風力発電などの価格が下がってきたことを受け、大きめの電源設備を用意しておき、余った電力は使用せずに捨てた方が、蓄エネルギーシステムの設置コストを上回る経済メリットが出る可能性も予測されている。



図表3 需要のタイムシフトによる蓄エネルギー効果（著者作成）

(4)エネルギー需要

マイクログリッドは、あくまでも電気・熱需要に対して過不足なく供給することを使命としたシステムであり、したがって、需要そのものもシステムを構成する要素として考えることが重要である。特に前述の通り仮想的な蓄エネルギーシステムとして、能動的に需要を調整していくスキームを活用する場合には、これらの需要は単なる電気の消費者としてではなく、マイクログリッドの運用や制御に密接に関係するプレイヤーとして存在することになる。また、これらの「可制御な」需要については、その電気・熱の需要をコントロールするための制御システム・通信システムが併設される必要がある。

2.2 マイクログリッドにより達成される機能

前述の通り、マイクログリッドは分散型電源の活用を前提とした電力供給システムであるが、分散型電源導入のそもそものモチベーションはケースバイケースであり、よってマイクログリッドに期待される機能についても多様性がある。ここでは主な機能を概説する。

(1)エネルギー効率の改善

前述の通り、電力消費地近傍に電源を設置することによる送電損失の低減、ならびにコジェネレーションの活用による総合エネルギー効率の向上が期待される。また、通常時にレガシーグリッドに接続（連系）しているマイクログリッド（図表 1 の常時連系型マイクログリッド）では、地域内の可制御分散型電源や蓄電池等の蓄エネルギーシステムを適切に制御することで、瞬間瞬間での需要と供給のマッチング（バランシング）までが可能になれば、レガシーグリッドとの電力授受（連系点潮流と呼ばれる）は変動の少ない安定したものとなる(図表 3)。

その結果、レガシーグリッド側に求められる需給バランシングのための労力（実際には大規模電源に用意する需給調整のための余力）が少なくて済み、レガシーグリッド側の効率改善にも副次的に資することになる。このような連系点潮流の安定化は「社会（＝レガシーグリッド）に対して悪い影響を与えない善良な市民（Good Citizen）」と呼ばれることもある。

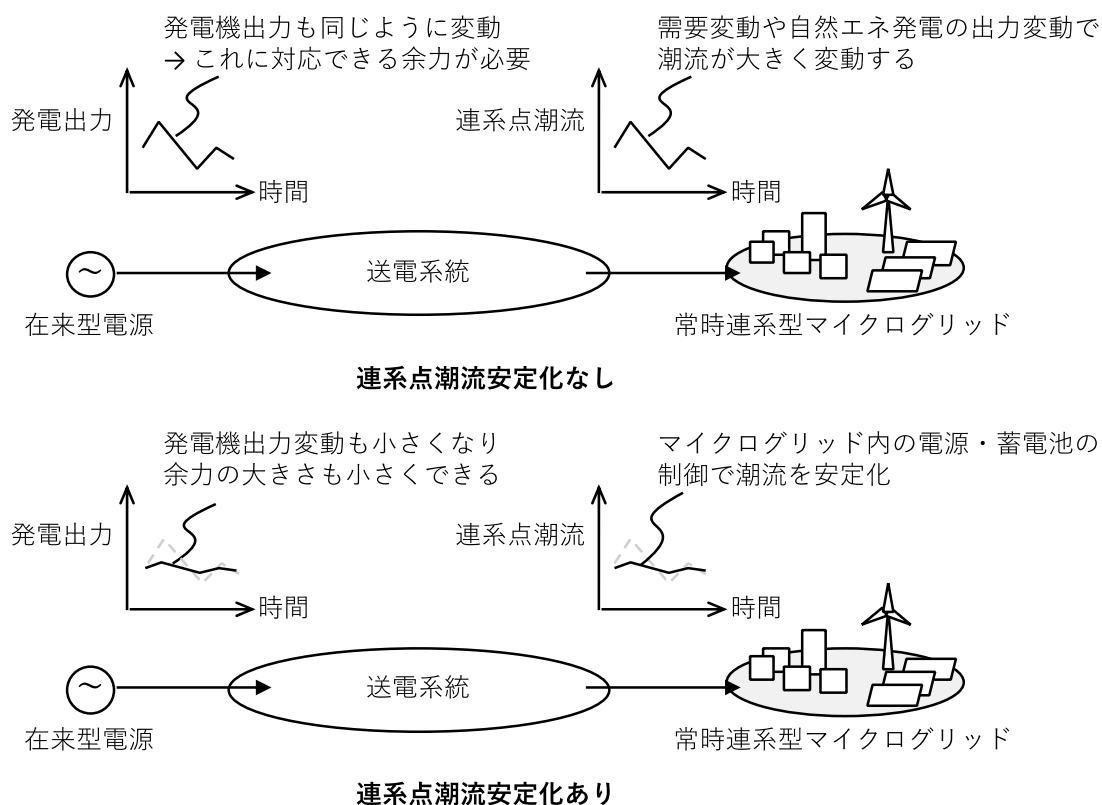
(2)エネルギーの地産地消

エネルギーの地産地消、すなわち需要地域におけるエネルギーの全てを近隣地域に設置された再生可能エネルギー電源などで賄うことは循環型の社会の構築に向けた大きな一歩であるというメッセージ性の他にも、エネルギー効率の改善、耐災害能力の向上、などと

いった技術的なメリットも有する。地産地消といった場合には、「瞬間瞬間では過不足が生じていても、一定期間（1日、1週間、1年など）でみると外部からの正味のエネルギーの授受がゼロである」という kWh ベースの地産地消と、「瞬間瞬間で需要と供給をバランスさせる」という kW ベースでの地産地消との 2 つの考え方があ。当然、後者の実現には高い制御能力と設備容量が必要になる。

(3)未電化地域の電化

世界を眺めると、人口が少なく、また都市部からの地理的な距離があるため、これまでのレガシーグリッドによる供給体制を構築することが経済的に見合わない地域は依然として多い。このような地域に対しても図表 1 の独立型マイクログリッドであればレガシーグリッドとの接続は必ずしも必要ではなくなるため、経済性の問題は解消される。また、当該マイクログリッドでの電源として太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー発電を利用すれば、エリア外からの燃料の調達も必要がなくなり、真の意味で独立した電力システムを構築することが可能となる。



図表 4 連系点潮流安定化の効果（著者作成）

(4)災害対策

多くのマイクログリッドではその内部に電源を有している。そのため、大きな災害が発生してレガシーグリッドの一部が機能不全に陥り当該マイクログリッドが外部から電力を受電できない状況になっても、内部電源を非常用電源として活用することで、電気・熱の供給を継続できる可能性が高くなる。このような観点から、エネルギー効率の改善に加えて事業継続性（BCP）対策としてのマイクログリッドの価値が高まっており、我が国においても東日本大震災を契機としてそのような付加価値が再認識されている。

3. 事例紹介

3.1 日本におけるマイクログリッドの事例

すでに国内においても常時接続型マイクログリッドを中心として多数導入事例があり、その全てをここで紹介することは難しい。そこで本報では、国内において先駆的に実施されたマイクログリッドの実証試験を数例取り上げて紹介する。

(1)愛・地球博／常滑マイクログリッド

2005年に愛知県で開催された国際博覧会「愛・地球博」において、太陽光発電・燃料電池（約600kW）・蓄電池（NAS電池、500kW）を主たる電源とするマイクログリッドが構築され、各種実証試験が実施された。本実証研究はNEDOによる事業であり、実証研究では万博内のNEDOのパビリオンへ電力・熱を効率的に供給するための技術開発がなされた。燃料電池用の水素の生成には、万博サイト内で発生した食料廃棄物などをメタン発酵させて生成するなど、循環型の閉じたエネルギーシステムの実現に向けた先進的な取り組みがなされた⁴。万博終了後、本設備の一部は中部国際空港近くの愛知県常滑市に移設され、現在も発電に活用されている。

(2)八戸マイクログリッド

本マイクログリッドもNEDOによる実証研究のために建設されたものであり、太陽光発電（約310kW）、風力発電（4kW）、ガスエンジン発電機（510kW）、蓄電池（100kW）を用いて、市内の小中学校、市庁舎等への電力の地産地消を実現するための技術開発がなされた。本研究の特徴的な点は、ガスエンジン用の燃料に木屑を発酵させて生成したメタンガスを利用している点や、ならびに各種分散電源・蓄電池・需要施設が独自の「自営線」

⁴ 実際にはエネルギーの総量が不足し、一部の電気・ガスを外部から購入していた。

で接続されており、ネットワークの形の上でもマイクログリッドの構成となっている点などが挙げられる。

(3) 仙台マイクログリッド

本マイクログリッドも NEDO による実証研究のために東北福祉大学のキャンパス内に建設されたものである。ガスエンジン発電機 (700kW)、燃料電池 (250kW)、太陽光発電 (50kW)、蓄電池を主電源としている。本マイクログリッドの最も特徴的な点は、電力の「品質」を差別化して供給する「品質別電力供給」を目指した点にある。ここでいう「品質」とは、電圧の大きさや周波数といった「波形の品質」と、レガシーグリッドが利用できない事態に陥ったときにどの程度電力供給を継続できるか (信頼度) で示されるものである。分かりやすい例としては、「万が一の時には停電してしまう電気」と、「万が一の時にも停電しにくい電気」といったように複数の種類の電気を生成していることが挙げられる。

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災では東北電力の供給エリアで約 2 日にわたる大規模な停電が生じたものの、当マイクログリッドではガスエンジン発電機と太陽光発電を主電源とした電力供給を行うことができ、マイクログリッドの効果を実証できた事例として世界的に注目されている。

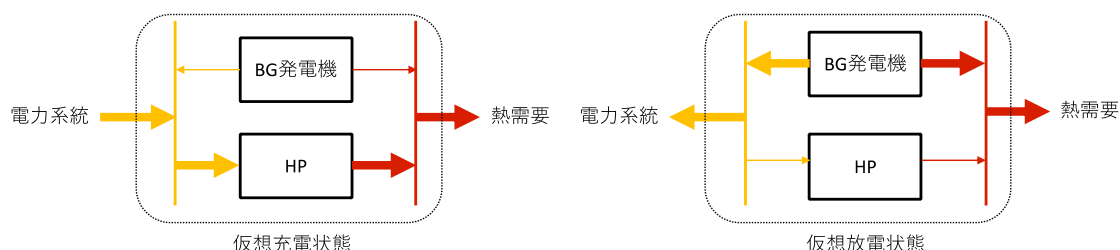
(4) オフィスビル用直流マイクログリッド (下町ほか 2016)

環境省からの委託事業として著者らが 2012~2014 年度に北海道帯広市で実施したプロジェクトである。本プロジェクトでは帯広市の清掃局の庁舎に対して、太陽光発電 (20kW)、蓄電池 (10kW) を用意した。他の実証研究と比較すると容量は小規模であるものの、可制御な需要として電気自動車の充電スケジューリングを積極的に活用していること、ならびに従来の電力システムで採用されている交流ではなく、直流の電力供給を行った点が特徴的である。

(5) HP/BG 併用熱供給システム

NEDO からの委託事業として著者らが 2014~2018 年度に実施しているプロジェクトであり、蓄電池に変わる仮想的な蓄エネルギーシステムとしてヒートポンプ (Heat Pump: HP、電力を使用して熱を移動させる装置) とバイオガスエンジン発電機 (Biogas Engine Generator: BG) とを併用した熱供給システムの開発ならびにその制御技術の開発を主目的としている。HP と BG を用いた仮装蓄電池機能実現の原理は図表 5 に示す通り、ある熱需要に対して BG の出力を下げ、HP による電気から熱への変換を増やすことで見かけ上

の「充電」を実現し、また一方で、HP による熱供給を抑制し、BG によるコジェネレーションを主体とすることで見かけ上の「放電」を実現することにある（濱本ほか 2017）。本プロジェクトでは実機を酪農学園大学（北海道江別市）のキャンパス内に設置して実証試験が実施されている。



図表 5 HP/BG 併用熱供給システムの仮想充放電機能（著者作成）

3.2 海外におけるリモートアプリケーション

(1) Kythnos 島マイクログリッド

欧州委員会の第 5 期研究技術開発プログラム（European FP5）の一環として、エーゲ海に浮かぶ Kythnos 島において実証試験のためのマイクログリッドが 2001 年に建設された。本マイクログリッドは Kythnos 島の中でも特に夏季シーズンにのみ利用される非常に小さなリゾートエリアを対象としたシステムであり、太陽光発電（10kW）、ディーゼルエンジン発電機（5kW）、蓄電池（53kWh）を主たる電源として活用している。FP5 でもパイロット的に実施されたサイトであり、その後の他地域へのマイクログリッドの導入展開に向けた基礎技術の検証を目的とされたプロジェクトである。著者が訪問した 2008 年段階では独立型のマイクログリッドとして運転されていたが、現時点では島内の本システムに接続した常時連系型マイクログリッドとして運用されている。

(2) Huatacondo マイクログリッド

チリのアンデス地域にある住宅 150 戸程度からなる Huantacondo 集落ではディーゼル発電機（150kW）を用いて一日 10 時間程度の電力供給を行っていたが、これを補間する目的で追尾型太陽光発電（22kW）、風力発電（3kW）、蓄電池（170kWh）を設置し、再生可能エネルギー発電を主とするマイクログリッドが建設された。システム設計はチリ大学（University of Chile）の研究者が中心的に実施した。本プロジェクトの主たる目的は、当該地域のエネルギー効率の最大化とエネルギー供給コストの削減であるが、これを達成するために、コミュニティに対してマイクログリッドの状態を常時開示し「見える化」を図ることで、住民が直接的・間接的にマイクログリッドの運転や設備更新に関与できるよう

にしている点が特徴的である。

おわりに

マイクログリッドは分散型電源を主たる供給源とする新しい電力供給のあり方であり、従来のレガシーグリッドと適材適所的に共存可能な概念である。前述の海外事例で挙げた「需要密度の低い地域に対する電力供給」や、仙台マイクログリッドの「特に品質の高い電力の供給」といったように、ローカルな事情・住民ニーズに合わせてテイラメイドの電力供給システムを構築できる点に優位性を見いだせる。経済性の観点からは、現状ではレガシーグリッドよりは不利であるが、マイクログリッドの主要構成要素である太陽光発電・風力発電・蓄電池などの価格は日々下がっており、近い将来にはレガシーグリッドと比較して遜色のない水準まで引き下げられるものと予想される。

一方で、住民側の電力消費パターンがマイクログリッドの経済性に与える影響は大きい。特に電源側の出力が気象条件に大きく左右されるような環境では、状況に応じて可能な範囲で消費者側の行動を調整することが重要になってくる。そのためには、消費者側の需要を制御するための技術的な仕組みの整備（制御方法の確立、通信インフラの整備、家電機器の通信対応化など）はもちろんのこと、状況に応じて行動を制限されることへの抵抗感を払拭することも含めた両面のケアが必要不可欠である。その意味で、ルワンダプロジェクトのように住民が直接的に費用を負担するビジネスモデルは、住民の経済性への意識を向けられることから結果的に協力・協調をとりやすい雰囲気醸成に資するものと期待される。

参考文献

- 茅陽一. 2002. 『新エネルギー大事典』工業調査会.
- 下町健太郎・岩見俊幸・原亮一・北裕幸・則竹政俊・星秀和・廣瀬圭一. 2016. 「オフィス用マイクログリッドにおける EMS 開発」『電気学会論文誌 B』136-4 : 373-381.
- 電気学会. 1990. 『電気工学ポケットブック』
- 奈良宏一・長谷川淳. 1997. 「新しい柔軟な電気エネルギー流通システム」『電気学会電力・エネルギー部門誌』117-B(1) : 47-53.
- 濱本篤志・原亮一・北裕幸. 2017. 「HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力変動抑制の検討」『電気学会論文誌 B』137-6 : 446-452