

日本型スマートグリッド

次世代エネルギーシステムの構築を目指して



2002年度から2007年度まで、集中連系型太陽光発電システムの実証試験が群馬県太田市で実施された。553軒の民家などの屋根に設置された太陽光発電の出力2,129kWに及んだ。写真提供：太田市

持続可能な社会を実現するためには、これまで以上に確実に安定したエネルギー供給システムの確立が不可欠である。米国のグリーン・ニューディール政策により、広く知られることになったスマートグリッドは、東日本大震災によって新たな送電網構築の必要性が高まるなか、注目を集めている。今回は、我が国の事情に適した「日本型スマートグリッド」に焦点を当てて次世代エネルギーシステムの姿を探っていく。

スマートグリッド導入によるメリット

スマートグリッドという用語が知られるようになったきっかけは、米国オバマ大統領が、経済政策のひとつとして掲げたグリーン・ニューディール政策であろう。「賢い電力網」「洗練された電力網」などとも訳されるスマートグリッドであるが、その定義は必ずしも明確ではない。日本においては、IT技術の活用によって、これまでの水力・火力・原子力等の発電所と送電系統を生かしながら、太陽光発電所や風力発電所等の分散型電源や需要家の情報をネットワーク化し、効率の良い電力供給システムの実現を目指している*1。

具体的には、企業や家庭に「スマートメーター」と呼ばれる電力計が取り付けられ、消費電力がリアルタイムで把握されたり、スマートグリッドの頭脳となる「エネルギーマネジメントシステム(EMS)」によって、電力消費の状況や供給不足に陥っている個所がないかが監視され、需要に応じて電力が供給される。

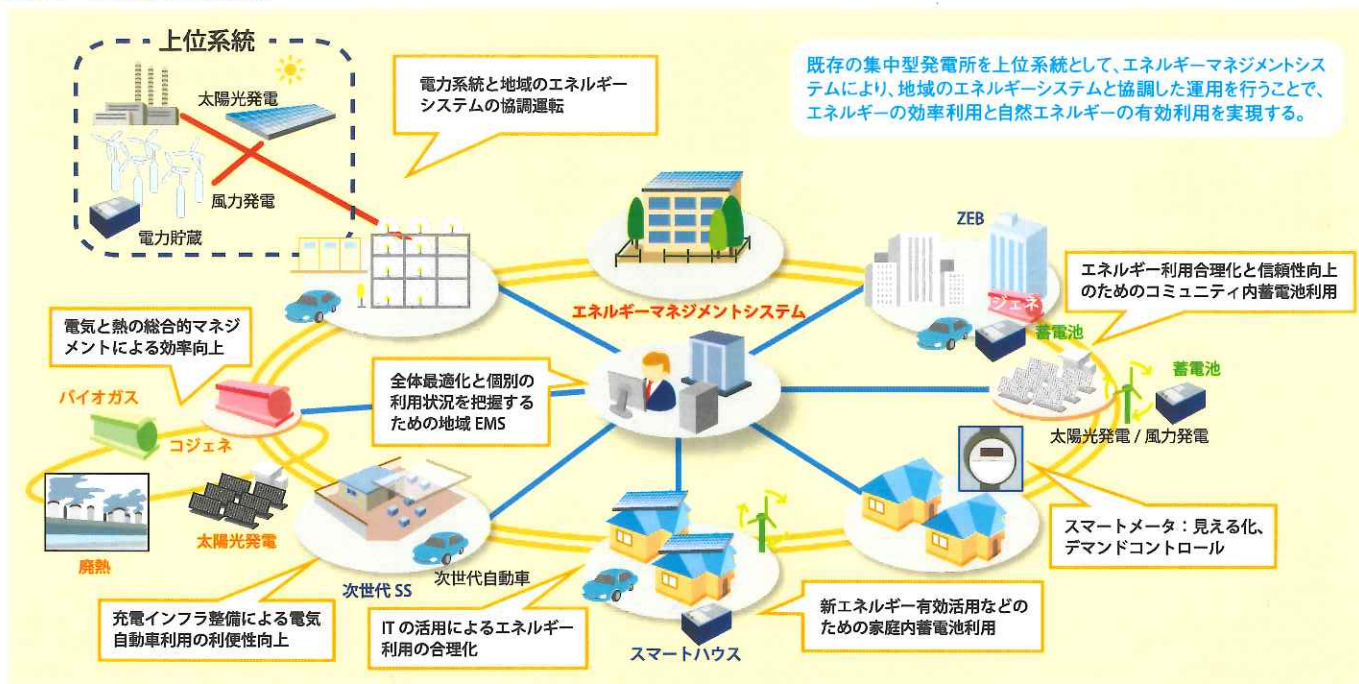
スマートグリッドの実現により、どのようなメリットが生まれるので

あろうか。一つ目は電力需要をリアルタイムで把握・制御することによるピーク電力の抑制である。また、それに伴い発電余力と実際の電力消費量を近づけることが可能になり、発電能力の最適化によりエネルギーロスを抑えられる。またスマートメーターが導入されれば、電力使用量や料金の見える化が可能になることによって、節電意識の向上に繋がる。さらに、スマートメーターを通じて得られた電力料金や電力使用量データと併せて、HEMS(Home Energy Management System)を活用することにより、電力ピーク時に需要側の消費電力を自動的に削減する「デマンドレスポンス」という機能を発揮することができる。

二つ目は、エネルギーマネジメントシステムによって、きめ細かな需給バランスを実現できるようになるため、例えば、自然エネルギー(一般的には非化石燃料を指し、太陽光発電・熱利用、風力発電、雪氷熱利用、バイオマス発電・熱利用、地熱発電、水力発電等)の利用が促進される点が挙げられる。太陽光発電

*1: 経済産業省の「低炭素電力供給システムに関する研究会報告書」ではスマートグリッドを「従来からの集中型電源と送電系統の一体運用に加え、情報通信技術の活用により、太陽光発電等の分散型電源や需要家の情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの」と定義している。

■スマートグリッドの概念図



や風力発電は天候に左右されるため安定した電力の確保が難しく、これまでは既存の電力システムへの連系が困難であった。スマートグリッドでは、蓄電池などを利用して自然エネルギーによる安定した電力の確保が可能になることに加え、リアルタイムに発電所の発電量を制御できるので、自然エネルギーを無駄なく利用できる。

三つ目は、新しい市場・産業分野の創出による経済効果が挙げられる。スマートグリッドが関連する分野は多岐にわたっており、様々なビジネスチャンスを生み出すことが期待される。スマートメーターや家庭用を含めた蓄電池の需要拡大、蓄電池としての役割も期待されている電気自動車などの普及は、新しい雇用の創出にも繋がるだろう。

日本型スマートグリッドの姿

エネルギー事情は国や地域で異なり、これが各国のスマートグリッドへの取り組みの違いとなって現れている。

例えば、風力発電の大量導入が進む欧州では、スマートグリッドによる送電システムの緻密な制御の実現が主に目指されている。大量の自然エネルギーを安定的に利用するためには、需給バランスの高度な制御が不可欠だからである。

米国においては、スマートメーターの導入による全消費電力の制御を目指している。州によって異なるが、電力の自由化により発電・送電が分離されている米国では、変動する電力卸価格

に小売価格を対応させる必要があり、これを実現するのがスマートメーターである。また、送電網のIT化によって停電などのトラブルを迅速に把握し、対策を講じることができるようになるので、大規模な停電などを防止できる。

また、中国などの新興国では、電力そのものが不足しており、自然エネルギーを活用した地域ごとの電力網の構築を急いでいる。さらに、盗電対策や電力料金の公正な回収の必要性からスマートメーターの導入を進めているケースもある。

これに対して我が国のスマートグリッドは、主に自然エネルギーの有効活用を目指している。現状の電力システムでは10～20%の自然エネルギーしか受け入れられないと言われているが、これは我が国の電力システムの特徴に由来するものである。電力システムは大きく欧州のようなループ型と我が国のような放射型に分類できるが、ループ型と比較して放射型は送電網の途中で不安定な自然エネルギーが投入されると、生じた電圧の変動などを吸収しづらい傾向にある。また、欧州と比較すると我が国の系統容量（連系している系統全体の大きさで、需要負荷の総量）は約半分で、2つの周波数帯があることから、実質は4分の1となる。容量が小さいことも、系統が影響を受けやすい要因となる。

しかしながら、最近では消費者が自然エネルギーを求めるなど、我が国の電力ニーズは変化してきている。また、分散電源による災害時のエネルギーの安定供給も強く求められている。このような状況で実現していく「日本型スマートグリッド」では、自然エネルギーの安定的な導入・活用とそのためのシステムの構築が、柱になるといえる。

自然エネルギーの賦存量

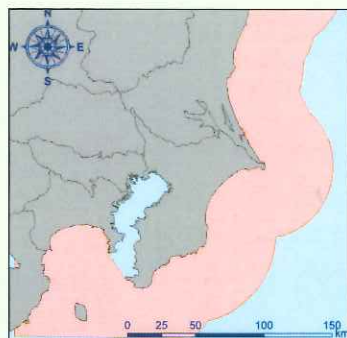
「再生可能エネルギー」とも呼ばれる自然エネルギーは、化石燃料のように枯渇する恐れがなく、永続的に利用できるエネルギーである。では、その賦存量(理論上の総量)はどの程度であろうか。

例えば、太陽光発電では、システム効率が10%の太陽電池をゴビ砂漠へ50%の面積率で設置した場合、1997年の世界の1次エネルギー消費量とほぼ等しい約367EJ(=367×10¹⁸J)の発電量が見込めるという*2。

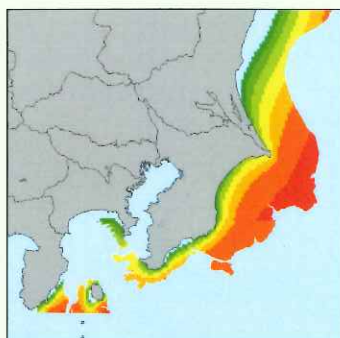
また、風力発電の賦存量はどうであろうか。我が国の場合、風

力発電の適地は限られており、風況の良い場所にすでに風力発電設備が建設されている場合が多い。そのため、現在、期待されているのは洋上風力発電である。関東地方沿岸の距離50kmまでの全海域を対象とした風力エネルギー賦存量は年間287TWh(=287×10¹²Wh=103×10¹⁶J)で、2005年の東京電力管内の年間電力量とほぼ等しいと見積もられている*3。しかし、現実的には、漁業権や建築コストなどを考慮する必要があり、また現在、研究開発が進められている浮体式洋上風力発電設備の実用化が必要である。なお、この試算では、もっ

とも現実的なシナリオとして東京電力の年間供給電力量の約14%に相当する風力発電の導入が可能であると、結論づけられている。



洋上風力の賦存量を評価した海域
評価範囲全体の賦存量は、東電管内の
年間電力量(2005年)に匹敵する。



着床式と浮体式の洋上風力発電設備が設置可能な海域
経済性のみを考慮した場合の賦存量は、東京電力の年間供給電力量(2005年)の46%と評価されている。

設備利用率	
25.0-27.5%	
27.5-30.0%	
30.0-32.5%	
32.5-35.0%	
35.0-37.5%	
37.5-40.0%	
40.0-42.5%	

*2 黒川ら、ゴビ砂漠における大規模太陽光発電システムのライフサイクル評価、平成14年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会、2002年

*3 石原孟、地理情報システムを利用した洋上風力賦存量の評価、電気評論(pp.39-43)、2010年

出典:石原孟、地理情報システムを利用した洋上風力賦存量の評価、電気評論(pp. 39-43)、2010年

商機となるスマートグリッド

世界的なスマートグリッドの関心の高まりはエネルギー問題の解決策としてだけでなく、日本経済、産業界においても重要な役割を担うことになる。先進国、新興国を問わず、送電網の整備は大きな市場であり、スマートグリッドの普及は日本の技術力を生かしたビジネスを世界に展開する好機であるからだ。そこで重要になるのが技術の標準化である。すでに、スマートグリッドの各分野の専門家が集まって、技術の標準化の国際的な議論が始まっている。我が国では、経済産業省が7分野26項目の技術について、世界標準技術を目指すとしている。7つの分野とは、①送電系統広域監視制御、②系統用蓄電池、③配電網の管理、④デマンドレスポンス、⑤需要側蓄電池、⑥電気自動車、⑦AMIシステム(スマートメーターなど従来の電力計に代わる課金システム)である。

このうち供給側では送電系統広域監視制御と系統用蓄電池が挙げられている。送電系統広域監視制御とは、電圧と電流

の位相のずれから送電の問題を検知する位相計測装置とGPSを組み合わせた、広域な電力系統のデータを収集するシステムで、米国が高い関心を持っている技術である。系統用蓄電池はNaS電池やレドックスフロー電池などで我が国の技術が先行しており、NaS電池は負極にナトリウム、正極に硫黄を使用し、レドックスフロー電池ではバナジウムが電極に使用されている。いずれも大容量の電力貯蔵に適した時間耐久性やサイクル耐久性などを備えている。

需給調整機能では、配電網の管理とデマンドレスポンスが挙げられている。配電網の管理については、我が国ではすでに配電自動化を実現しており、今後、各国へ技術を輸出できる優位性を持っている。デマンドレスポンスについては、現在、種々の実証試験が行われており、今後も技術開発が必要な分野となっている。

需要側では、需要側蓄電池、電気自動車関連、AMIシステムが挙げられている。需要側の蓄電池では、すでに電機メーカーなどが家庭用蓄電池の発売を予定している。また、電気自動車は大量に電池を積んでおり、電力網や家庭の蓄電池としての

役割を担うことができることが注目されている。電気自動車の普及には充電インフラの整備が不可欠であるが、急速充電の規格では東京電力が開発・標準化したチャデモ(CHAdeMO)方式が欧州などでも採用されている。スマートメーターは、情報をやり取りするための通信規格の整備が進められているところであり、セキュリティの確保が課題になっている。なお、我が国では2008年から電力各社がスマートメーターの試験的な導入に取り組み始めている。

これら以外にも省エネルギー技術などスマートグリッドに関連する技術分野は多岐にわたり、スマートグリッド普及による大きな経済効果が期待されている。



導入試験で使用されている次世代型電力メーターの例
現在は30分毎の電力使用量の遠隔検針、遠隔開閉操作機能などが搭載されている。

実証試験が進むスマートグリッド

自然エネルギーを既存の電力網を通して利用するためには、系統への影響評価が必要である。我が国では、スマートグリッドにおける自然エネルギーの利用について各種の事業や実証試験が行われてきている。

その一つの、平成15年度から実施されたNEDO事業「集中連系型太陽光発電システム実証研究」では、地域に集中的に太陽光発電システムを導入した場合の影響評価などが行われた。群馬県太田市の実証サイトに553台の太陽光発電システムを導入し、太陽光発電システムの運転特性や系統への影響についての分析・評価、出力抑制回避装置の最適運用などが検討された。

通常、家庭に設置される太陽光発電システムには、系統電圧に影響を与える逆潮流を防止するために、出力抑制機能が備え

送電ロスを極限まで低減する超伝導ケーブル

スマートグリッドに関連する要素技術として、送電ロスを極限まで低減できる超伝導送電の実証実験が各地で進められている。技術開発は現在ビスマス系とイットリウム系の2種類の線材、ケーブルの開発が進んでいる。NEDOでは、「高温超伝導ケーブル実証プロジェクト」と「イットリウム系超伝導電力機器技術開発」が進められており、高温超伝導ケーブル実証プロジェクトでは、開発が先行しているビスマス系超伝導線材を用いた高温超伝導ケーブルを実系統に連系した実証試験を実施し、超伝導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を検証している。一方、イットリウムに代表されるレアアース系酸化物高温超伝導線材を用いた超伝導電力機器の開発を目指した研究も進められている。

また、米国ニューヨーク州オルバーニー市では既存の電力系統に接続した超伝導ケーブルを使用した送電実験が行われ、成功している。

これらは既存の系統に接続して交流電流を送電するものであるが、一方で、最近では交流損失のない直流送電の研究も進められている。従来、送電には電圧変換効率の高い交流が用いられてきたが、パワー半導体技術の進歩により、直流でも交流と同程度の電圧変換効率を実現されている。また、直流送電では、交流損失による発熱がないため、冷却コストも抑えられるなど多くの利点がある。

最も早い時期に超伝導直流送電が適用されると言われている一つにITデータセンターがある。多数のサーバとそれらの冷却設備でデータセンターは膨大な電力を消費する。直流送電は大電力を必要とするデータセンターと変電所を結び、低損失での送電を可能にする。超伝導ケーブルによる直流送電は、IT分野での省エネルギーに役立つものと期待されている。



■超伝導直流送電実験設備

中部大学に設置された超伝導直流送電のための世界初の実験施設で、真空断熱した金属のパイプの中に液体窒素で冷却された超伝導ケーブルが入っている。



超伝導ケーブルの内部構造
内管と外管の間に真空を作り、断熱効果を高めた構造になっている。ビスマス系の超伝導ケーブルは液体窒素で満たされた内管に納められている。

超伝導ケーブルの端部
ケーブル端は、冷却による超伝導ケーブルの収縮を吸収する構造になっている。

写真提供: 中部大学 山口作太郎教授

られている。そこで試験では、鉛蓄電池による電力貯蔵装置を併設することで、出力抑制を回避し、効率的な太陽光発電の利用が可能であることを実証し、また設備、コストともに実現可能な設備容量を評価した。さらに、太陽光発電システムを導入する地域の系統情報を入力することで出力抑制回避などの事前検討が可能なシミュレーション手法の開発も行った。

また、スマートグリッドは、より効率的・安定的にエネルギーを利用するための仕組みであるが、次世代のエネルギーシステムの地域を単位とした概念に、スマートコミュニティがある。これは、電力網に加えて、物流やそこに住む住民など社会システム全体を含む包括的なものである。このスマートコミュニティについても、実証試験が各地で進められている。現在、経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム実証事業」(2010～2014年度)では、全国20地域から応募があり横浜市、豊田市、けいはんな学研都市(京都府)、北九州市が選定され、さまざまな実証試験が行われている。

なかでも北九州市八幡東区東田地区は、1901年に日本初の大型溶鉱炉である官営八幡製鉄所第1高炉が稼働した場所であるが、ここでは、主な取り組みとして、電力の需給に応じて電力料金を変更するダイナミックプライシングや低炭素化交通システムとして電気自動車の大量導入と充電設備の整備などが行われる予定である。日本初の高炉稼働地区として特徴的なのが、

製鉄所で発生する副生水素や、廃熱などもエネルギーとして地域で利用する点で、家庭向けや自動車などの燃料電池のエネルギー源として利用する。

このような実証試験は、海外でも行われ、NEDOが中心となって各国の実証試験に参画、あるいは参画を計画している。すでに試験が開始されているものには、米ニューメキシコ州で行われる「日米共同スマートグリッド実証」がある。5か所の実証サイトのうち、ロスアラモスとアルバカーキの2か所に参画し、住宅や業務用ビルのデマンドレスポンスなどの実証(2010～2013年度)を行う予定だ。そのほか、フランスのリヨン市の再開発地区を中心とした実証試験や、スペイン、中国、インドなどとも、共同研究・共同実証が計画・検討されている。このような海外の実証試験への参画は、我が国の技術を世界の市場に大きくアピールする絶好の機会であるといえよう。

スマートコミュニティやスマートグリッドの実現には、発電・送電の電力網に加えて、IT技術はじめ、蓄電池等の装置開発、そしてこれら多様な技術を連携し、最適化することが重要となる。持続可能な社会を次の世代に残すためには、これまで以上に自然エネルギーを活用し、安定的、永続的なエネルギーシステムを実現する必要がある。多くの関心が高まるなか、我が国全体のエネルギー政策を、地域性も踏まえたうえで、国民全体で議論していく必要がある。

■集中連系型太陽光発電システムの実証地区

試験が実施された群馬県太田市の新興住宅団地「バルタウン城西の杜」は分譲区画総数655区画で、平均区画が約210m²と広く、いずれの住宅も建物の南側に広いスペースを確保でき屋根に設置した太陽光発電パネルが日陰になることはほとんど無い。



写真提供：太田市



写真提供：NEDO

■北九州市におけるスマートコミュニティ実証試験

日本初の大型溶鉱炉、官営八幡製鉄所第1高炉が稼働した北九州市八幡東区東田地区で、スマートコミュニティ実現のために2010～2014年度の5年間で、38事業が実施される。製鉄所で発生する水素は住宅、公共施設等に供給され、燃料電池のエネルギー源として利用される。



東田第一高炉(建設中、1900.4)
写真提供：新日本製鐵(株)



八幡東区東田地区の実証実験地域
写真提供：(株)新日鉄都市開発

■青森県六ヶ所村で実施されているスマートグリッド実証実験

民間企業を中心としたスマートコミュニティの実証も行なわれている。日本風力開発(株)、トヨタ自動車(株)、パナソニック電気(株)、(株)日立製作所が共同で、風力発電、エネルギー管理システムを備えた住宅、プラグインハイブリッド車を組み合わせた実証試験を行っている。



記者発表されたスマートセンターの
管理画面
発電、蓄電、使用状況、CO₂発生量
などを一覧できる。
写真提供：六ヶ所村