

スマートグリッド（次世代送電網）の現状と課題 ーエネルギーのインターネット化ー

城 川 俊 一

目次

1. 日米での発電源のエネルギー比率の比較
2. 電気と電力網
 - 2.1 電気の流れ
 - 2.2 電気の貯蔵
 - 2.2.1 太陽電池の審査導入
 - 2.2.2 日本がリードする蓄電池
 - 2.3 電力供給の安定
3. スマートグリッド（次世代送電網）とは
 - 3.1 電力網とそのスマート化
 - 3.2 スマートグリッドの構成
 - 3.2.1 市場（マーケット）
 - 3.2.2 運用（オペレーション）
 - 3.2.3 発電
4. 計画停電とスマートグリッド
5. スマートグリッドの日本の事例
 - 5.1 積水化学工業の事例
 - 5.2 パナソニックの事例
6. スマートグリッドの海外実証プロジェクト
 - 6.1 経済産業省とNEDOの取り組み

[資料]

参考文献

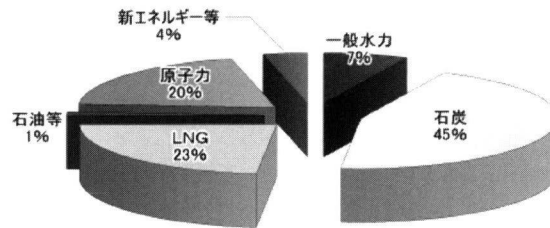
1. 日米での発電源のエネルギー比率の比較

昨今、福島第一原子力発電所の事故に伴い、発電に関する議論が盛んである。発電方式は、再生可能エネルギーをベースにするものと、そうでないものに大きく分けることができる。後者には、主に重油、石炭、原子力、天然ガスがある。図表1-1に2009年の米国の電力生成のエネルギー源

の割合を示す。

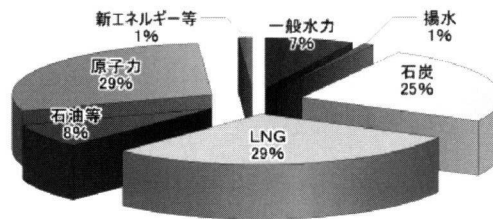
再生可能エネルギーは新エネに含まれるが、2009年時点ではわずか4%でほとんどないに等しい。また、比較のために2009年の日本における発電の電源エネルギー源の割合を図表1-2に、1973年の日本の発電源のエネルギーの比率を図表1-3に示す。

図表1-1 2009年米国の電力生成エネルギー源の割合。年間総発電量は3兆8840億kWh



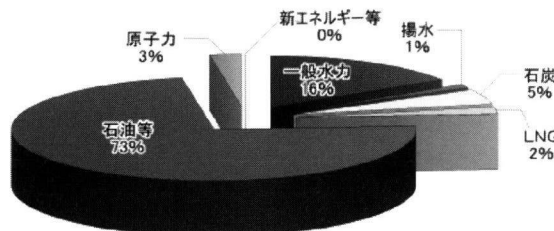
出典：米国エネルギー情報局

図表1-2 2009年の日本の発電のためのエネルギー源の比率。年間総発電量は9551kWh



出典：経済産業省 資源エネルギー庁

図表1-3 日本の1973年の発電源エネルギーの比率。年間総発電量は3770kWh



出典：経済産業省 資源エネルギー庁

三つの図を解析して最初に気づくことは、2009年段階で米国の年間消費電力量は日本の約4倍であることだ。また米国では重油の比率が極端に少ない。米国では重油は発電にはほとんど使用さ

れず、大部分がガソリンなどに加工されて車両の燃料として主に消費される。その代わり、石炭による発電が半分近くを占める。特に北東部には石炭を燃料とする発電所が多い。石炭をそのまま燃やすとCO₂やその他の有害な物質が空気中に放出されるので、それを取り込む方式（二酸化炭素の回収・貯蔵またはCCS）が採用される。

最近、資本枯渇のため、その方式を取りやめた電力会社があった。米国のAmerican Electric Powerだ。当初は米エネルギー省からの補助金を得てCCSを取行する予定であったが、電気代への上乘せの困難さや不景気の影響でこれを断念した。米国は日本や欧州と異なり、環境保護の法律が連邦政府のレベルでまだ整っていない。しかし現在、米環境保護庁は硫黄酸化物と窒素酸化物の空気中への放出を制限する州間空気汚染ルールの制定を米国の東半分で行っている。テキサス州などでは、この規則が法制化されれば老朽化した火力発電所を停止せざる得なくなり、電力不足が起きると心配する人もいる。

日本の場合、1973年から2009年の36年間で、発電量は約2.5倍になっている。1973年のオイルショックから電力生成における重油の割合が73%から2009年には8%に激減している。これを補うのが原子力である。1973年の段階で3%だったものが29%にまで増加した。40年後の2050年前後にはどうなっているだろうか。太陽光や風力がICTの技術を持って、原発に代わる基幹電源のエネルギー源になることができるだろうか。

再生可能エネルギーをベースとする発電はさらに、発電量を一定に保つことができるかどうかで、さらに二つに分けられる。発電能力をコントロールできるものは、「水力」「揚水」「バイオマス」「地熱」である。コントロールできないものは「太陽光」「風力」である。その他にも潮力や数多くの発電方式や発電のエネルギーの源が開発されつつある。

2. 電気と電力網

ITや通信技術（ICT）を電力網に応用することがスマートグリッドだが、最低限電気と電力網（電力系統または系統）の性質を知らなくては応用できない。ここでは、2.1節で電気の流れ、2.2節で電気の貯蔵、2.3節で電気供給の安定、について解説する。

2.1 電気の流れ

まず、電気はどうやって発電所からコンセントまで流れるのかについて考察する。

電力会社の発電所には大きく分けて、火力、原子力、水力、揚水の4つの種類がある。発電所では蒸気タービンやガスタービン、水車の回転によって、発電機を回すことで発電している。そこで生みだされた電気は低電圧かつ大電流である。具体的にいえば電圧は2万ボルト以下で、電流が数万アンペアという特性を持っている。この電気を発電所の中の昇圧変換器で50万ボルトや100万ボ

ルトなどに昇圧して、送電線を経由して各地に運ぶ。一定の電力を送る場合、電圧を高くすると電流が小さくなり送電線での損失（ロス）が小さくなるためである。

需要地に近づくと徐々に電圧を落としながら分岐されていく。東京電力の場合、市街地に入ると配電用変電所で6600ボルトまで電圧を下げる。ここからが配電ネットワークとなる。電気は配電線で私たちの家の前まで運ばれ、電柱の上に載っている柱上変圧器で100ボルトまたは200ボルトに下げられ家庭の中に入っていく。私たちの家の近くになると電気の流れは基本的に川の流れと同じように一方向にしか流れない。途中で隣の配電線ともつながっているが、そこには連系用開閉器と呼ばれるスイッチがあり、常にオフになっており、一方向から流れるようになっている。事故が発生したときにオンになり、バックアップとして隣の配電線から電気を送れるようになっている。

つぎに、再生可能エネルギーで発電された電気だけを買うことはできるのかについて考察する。

いったん送電網に乗った電気は他の電気と混在して区別がつかなくなる。米国の電力会社はグリーンエネルギーと呼ばれる再生可能エネルギーを販売しているが、実際に風力や太陽光によって発電された電気だけを提供しているわけではない。実際にはこれら再生可能エネルギーによって発電された電気は他の方法よりも値段が高いので、電力会社はこれを望む消費者にkW当たり高めの値段で販売しているだけである（横山 [2010], pp.43-46）。

2.2 電気の貯蔵

まず、電気は貯められないというのは本当か、について考察する。

電気エネルギーはそのままの形態では貯蔵に向かない。自然界でも、雷のごくわずかな時間だけ存在するものがあるだけで、安定的に存在し得るものではない。しかし、電気エネルギーを他の形式のエネルギーに変換すれば、貯蔵は可能である。エネルギーは様々な形態を取る。熱エネルギー、運動エネルギー、光エネルギー、位置エネルギーなどである。その1つが電気エネルギーだ。一般にエネルギーは形を変えながら移動するが、元々のエネルギーが消滅することはない。エネルギー保存の法則ともエネルギー不滅の法則とも呼ばれる。電気エネルギーを貯蔵するということは、電気エネルギーから他の形態に変換して、さらにまた後で再変換して電気に戻すということである。

貯蔵の方法としては、バッテリー（化学エネルギー）、弾み車（運動エネルギー）、圧縮空気（圧力エネルギー）、揚水（位置エネルギー）などがある。蓄電器は乾電池や車のバッテリーなどで我々になじみが深い。しかし、蓄電器の容量、持続時間や変換率や充放電の回数などを考慮すると、大量の電力を貯蔵して電力網で使用するにはまだ時間がかかる。変換によって失われるエネルギーや貯蔵期間、貯蔵容量が問題となるからだ。

2.2.1 太陽電池の審査導入

日本は再生可能エネルギーの分野、とりわけソーラーパネルなどで世界をリードしてきたが、最近では中国などによって特に価格面で追いつかれ、追い抜かれている。2011年8月26日、当時の菅直人首相は、再生可能エネルギー特別措置法案を国会通過、可決させた。この特措法は2012年7月1日から施行される。太陽光や風力などで発電した電気を電力会社が全量買い取ることを義務づけるものである。まだ肝心の買い取り価格が決まっていないが、一般家庭のほか、日本では導入が遅れていた企業や工場、発電所など産業向けに太陽光パネルの導入が進むことが期待されている。

一方、中国からの安価な中国製太陽電池に対する国内参入を阻止する制度導入も検討されている。事実2010年の世界の太陽電池生産量では、サンテックパワーやJAソーラーといった中国の強豪がシャープをしのいで上位を占め、日本勢を駆逐しようとしている。

危機感はあるが、だが再エネ法自体、コストの高い太陽光の電気を買収させるために、税金が使われる。来年12月7月に施行されれば標準家庭で月150円以上の値上げになるとも言われている。国民負担による補助金で産業化の下駄をはかせてもらったうえで、お上の審査制度で参入障壁まで作ってもらおうとするのだとしたら虫がよすぎる（日経新聞 [2011]）。

2.2.2 日本がリードする蓄電池

しかし、蓄電器の分野ではまだかなり世界をリードしているようだ。電力網の中で、蓄電器を各所に設置することで電力の安定した供給を助けることができる。

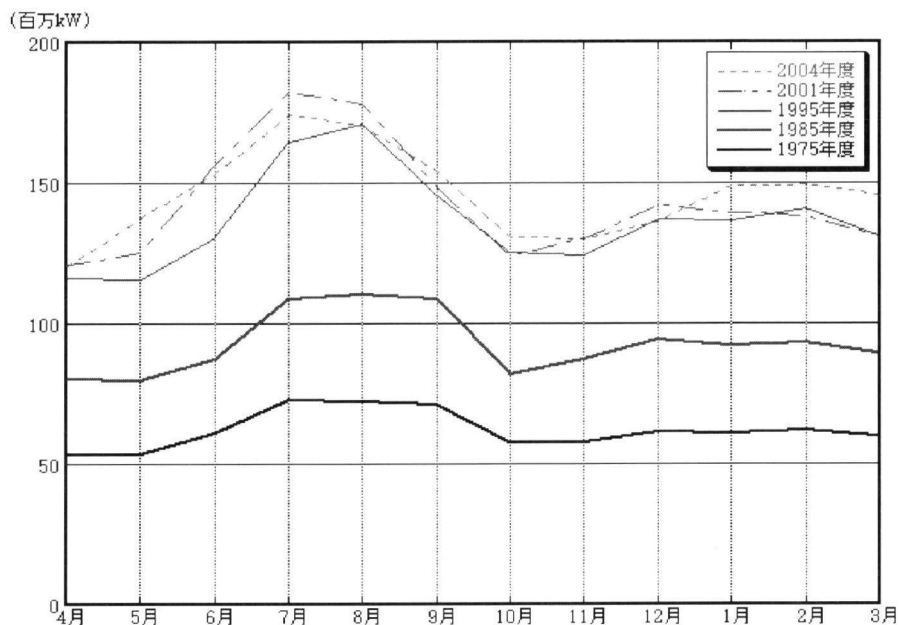
一口に蓄電器といっても、様々な種類がある。例えば、火力発電所の構内にはナトリウム・硫黄電池が向いていると言われる。変電所は変圧電力によって3種類に分類されるが、それぞれ異なった容量の蓄電器が配置されるだろう。家庭にはイオン・リチウムの蓄電器が最適だとされる。電気自動車に搭載されるバッテリーは家庭やオフィスで充電されて車の動力として使用されるだけでなく、家庭や野外で電源として利用される可能性もある。

今後は、太陽光や風力などの発電所に設置する蓄電器が重要になっていこう。これら再生可能エネルギーの発電所は、自然条件によって発電量が激しく上下する。発電所と送電線の間蓄電器を置いて、送電線に流す電力量を安定させる必要がある。再生可能エネルギーでの発電は「原発何基分」という説明がよくなされる。しかし、どのように再生可能エネルギーの技術が進歩しても、蓄電器技術が進展しないと再生可能エネルギーは原発の代わりにはならない。日本がリードしている蓄電器の技術を今後発展させていくことが必要である。

2.3 電力供給の安定

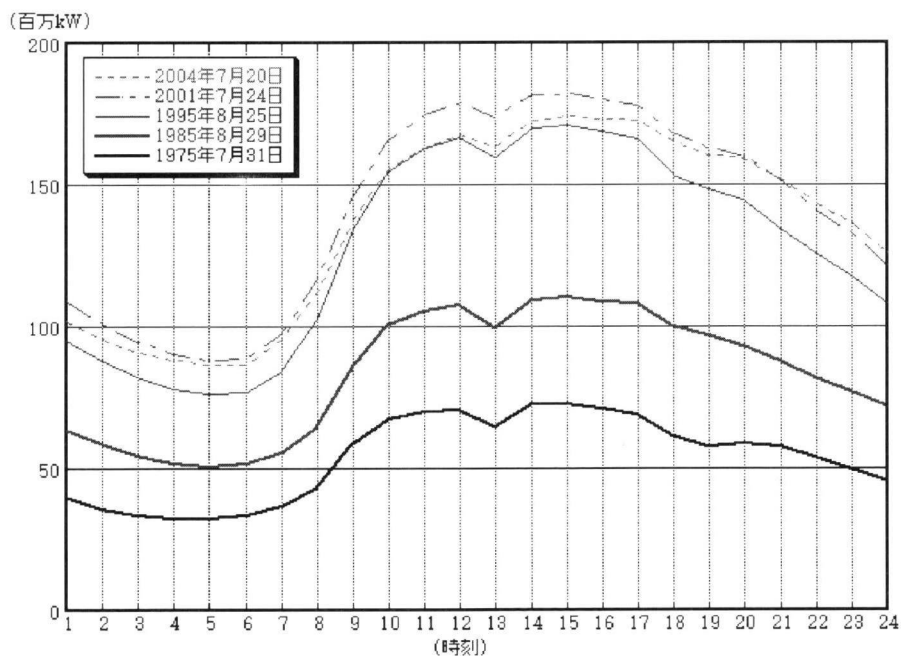
まず、需要と供給はどうやって制御するのかを考察する。

図表 2-1 1年間の電気の使われ方の推移



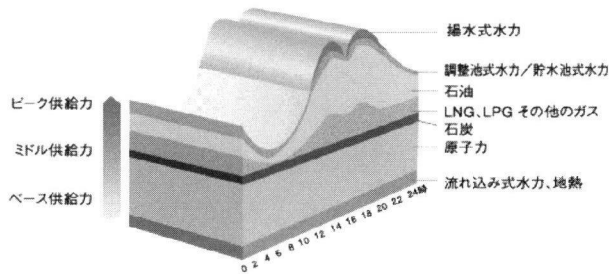
出典：経済産業省、資源エネルギー庁、エネルギー白書 2007年版（2007）

図表 2-2 夏季の1日の電気の使われ方の推移



出典：経済産業省、資源エネルギー庁、エネルギー白書 2007年版（2007）

図表 2-3 1日の電力需要量の変化に対応した電源の組み合わせ



出典：資源エネルギー庁、パンフレット、日本のエネルギー 2008

- 図表 2-3 の揚水式水力：負荷追従性に優れているため、急な需要変動に対応可能
- LNG火力：運用性に優れていることから、ベース・ミドル供給力として活用
- 調整池式、貯水池式水力：出力の調整が可能であるため、ピーク供給力として活用
- 石炭火力：ベース電源としてフル出力が基本
- 原子力：フル出力で運転
- 石油火力：経済性を考慮し、ピーク供給力として活用
- 流込式水力：河川の自然流量をそのまま利用

図表 2-2 の一日の電力需要の動きを見てみると、午前 4 時頃が最も需要が少なくなり、夕方にかけて徐々に増えていく。そして午前 8 時をすぎると需要が一気に上がり、昼に一度ピークを迎える。昼休みに下がったあと、午後 1 時を過ぎると需要が戻り、だいたい午後 2 時から 3 時が需要のピークになる。そのあとは夕方にかけて少しずつ下がっていき、夜になると少しあがったのちに、下がっていく。夜間の需要と昼間のピークの差は 2 倍以上である。東京電力を例にあげてみると、夏季の最大電力は 6000 万キロワットのぼるが、深夜は 3000 万キロワット程度まで下がる。電力設備はこのピークの最大値に合わせて作られている。

図表 2-1～2-3 から分かることは、以下のことである。

- ① 電力の需要量は一定ではなく、季節や時間帯で大きく変化している。
- ② 電力の最大消費量と最小消費量との差は拡大傾向にあったが、最近あまり拡大していない。
- ③ この差が拡大すればするほど、設備利用率が低下し、電力コストが上昇する。
- ④ 需要量の変化に応じて、いろいろな発電方式を組み合わせることで発電を行っている。

図表 2-3 から、一日を通じて定格出力（フル出力）で発電するベース供給力は、燃料費の安い原子力や石炭火力発電、流れ込み式水力発電などである。需要変動に対応するのは、火力発電の中でも液化天然ガス（LNG）などのガス火力や、石炭火力、そしてダムのある水力、夜間に水をあげておき、ピークの昼間に発電に利用する揚水発電である。石油火力は、石炭火力に比べ燃料費が

高いこともあり、ピーク供給力として利用されている。またLNG火力は、火力の中でも石油と石炭の中間のミドル供給力として利用されている。

ある一日を想定してみる。原子力発電所や石炭火力は昼夜を通じて一定の出力で運転し続ける。需要が下がる夜間になるとLNG火力や石油火力を最低出力まで下げて運転したり稼働する設備を少なくしたりする。それでも余った電力は揚水発電所の揚水運転で吸収する。昼にかけて需要が増えてくると火力発電の出力をあげたり、水力発電（ダム式）の出力をあげたりしていく。午前10時～4時頃までのピーク時には揚水発電所も動かし、その後は夕方にかけて少しずつ水力発電や火力発電の発電量を減らしていく。大きな流れはこのような形であるが、実際は3～5分程度の単位で燃料費が最も安くなるように細かく調整している。加えて想定以上の電力消費量が伸びたり、逆に伸びなくなったりした場合には、周波数に微妙な変動が出てくるので、それに合わせて火力発電所や水力発電所の出力を0.5～20秒程度の単位で変動させて調整している（横山明彦 [2010]、pp.46-50）

もし、発電機と電力を使用する機器がそれぞれ1つずつであれば、需要ははっきりと分かるので、それに応じて発電機を稼働させることができる。しかし、多くの発電所が長距離の送配電でつながれ、消費する側も莫大な数の機器が配電網に接続し無作為にオンにされたりオフにされている現状では、ある時点の需要を正確に算定することはほとんど不可能である。ところが実際には、電力会社は毎日、毎分、毎秒この不可能なことを行い、需要と供給のバランスを取り、停電を防いでいる。

電力会社は前日に、次の日の天候予想や過去のデータに基づいて、一日の電力需要を予想する。それに応じて時間ごとにどの発電所のどの発電機をどの程度の出力で運転するかを決定する。需要の予想は実際の需要と数%しか誤差がない程度まで達している。

平時であれば、過去の需要のデータや月日時、天候（日照時間や温度や湿度）、大手工場の機器に装着したセンサーを介する遠隔測定法（テレメトリー）で、かなりの精度で需要を予測できる。

震災後に何カ所かの発電所や変電所、送電網が故障して、供給量を正確に把握できないという事態が起きた。需要側も、工場の閉鎖や作業時間の変更できちんとした量を把握できない状態が続いた。にもかかわらず今のところ大きな停電が生じていないのは、非常事態に対応できる仕組みが出来上がっており、電力供給が保証されているからである。

ただ、再生可能エネルギーによる発電量が増加すると、今の仕組みでは対応できなくなる可能性がある。現在は総発電量が少ないので問題にはなっていないが、変動する電力が大量に系統に流れ込んでくると、供給量の予測に新たな技術が必要になる。

次に、電力消費量が少ないときに余剰電力をどうするかを考察する。

再生可能エネルギーが大量に普及した場合に、もう1つ問題になるのは電気が余ることである。最も問題になるのが、電気をあまり使わない春と秋の休日やゴールデンウィーク、また年末年始な

どの軽負荷期である。軽負荷期の昼に、従来の発電所の発電と太陽光発電や風力発電の合計が重要を上回って発電や風力発電のしてしまうと、余剰電力は周波数を上昇させるので、そのままにしておくと周波数上昇の結果として発電設備が次々と系統から切り離され、大停電が起きる可能性がある。

通常、電力会社は周波数が低くなると電気が足りないとして、発電所の出力を上げる。また周波数が高くなると、電気が余っているとみて、発電所の出力を下げる。調整出来ない太陽光発電や風力発電が重要を上回って発電した場合にも、周波数が高くなってしまいうので、火力発電や水力発電の出力を下げて調整するが、それも限界がある。国が計画している通り2030年までに5300万千瓦ワットという大量の太陽光発電設備の普及が実現すると、ゴールデンウィークなどに実際に電気が余ってしまうという懸念がある。

ベース供給力でありまたCO₂を出さない原子力発電所で出力を調整するわけにはいかないのに、ミドルからピーク供給用の火力発電か水力発電で調整するが、軽負荷期の休日などは、火力発電も水力発電も、もともと出力を下げて運転しているのだから、そこからの下げ代が少ない。こうなると需要をつくるほかない。第1候補となるのは現在夜間の電力需要をつくるために利用されている揚水発電である。しかしその能力にも限界があるし、すぐに多く建設できない。そこで必要になるのが大容量の蓄電池である。

しかし蓄電池はまだ高価で、何日も続く連休で消費されずに余った電気を貯められるだけの蓄電池を揃えようとする、膨大な資金がいる。経産省の資産では、春、秋の土日に余る電気を貯蓄するために必要な蓄電池投資は、2030年までに6兆円にのぼるとしている。蓄電池の量を削減し投資を圧縮するために、需要の低い日が連続するゴールデンウィークや年末年始などには太陽光発電を止めることにするという対策も検討されている。

では、なぜ電力の需要と供給のバランスが崩れると発電機が停止したりして停電が起こるのか。

送配電線を介して電力を供給する場合、その電圧と周波数を一定に保つことが必須である。消費側での電気機器は規定の電圧（100V）や周波数（50Hzまたは60Hz）に基づいて正しい動作をするように設計されているものがある。周波数や電圧の規定値からの狂いは、消費者の電気機器やビジネスに大きな損害を与えることにもなりかねない。周波数は発電機の回転数によって規定される。発電機は水力や蒸気力で回されるタービンの力で回転させられる。

電力網内では、需要と供給がバランスしているのが望ましい。需要が供給を上回ると、電圧と周波数が消費者側で低下する。それを補うためにタービンの回転を速くし、電気エネルギーを増加させる必要がある。逆に供給過多になると電圧も周波数も上昇する。その場合はタービンの回転を遅らせて調整する。電圧は1～5%以内、周波数に関しては上下0.2Hzの変動幅に収まることが望ましいとされる。東京電力によると0.2Hz以上ずれると消費者からの問い合わせが増加するそうだ。

電力系統内には各所に電圧と周波数を測定するセンサーが設置されており、電力会社は常時電圧と周波数をモニターしている。ここにもICTの技術が生かされている。

個々の発電機は系統につながっており、他の発電機と同期して作動している。系統内に存在する電気エネルギーは発電機が生成する電気エネルギーよりも桁はずれに大きいので、各発電機は系統の影響を受ける。急激に需要が増加すると、系統が必要とする電気エネルギーが不足するので各発電機の回転数を上げてそれに対処しようとする。ただし、それには限度があるので、対処できない発電機やその際に同期を外れた発電機はそのまま運転すると機械的な損傷や故障を引き起こしてしまう。それを防ぐために、発電機やそれに付随する機器は自動停止するように設計されている。発電機が停止すると停電へとつながるのだ。

停止する発電機が1つであり、その影響が他の発電機に影響が及ばなければ、停電することがあってもその範囲は限定される。しかし影響が他に伝播していけば、大規模停電を引き起こす可能性がある。電力網内で事故（変圧器への落雷や電線の切断やショートなど）が起きた場合や急激に需要が伸びて供給量を超えた場合、正常な電力の流れに乱れが生じ、それに対応できなくなった発電機が停止する。

さらに停止した発電機の影響で、連鎖的に他の発電機も次々と停止してしまうことがある。対策は問題の起きた箇所を系統から切り離すことだが、その作業が遅れると連鎖的に影響が広がる。これが今、東北電力や東京電力（そして最近では関西電力）管内で恐れられていることだ。2003年に発生した米国北東部の大停電も、これが原因だった。

次に、なぜ送電網で何箇所もの発電所をつなぐのか、分散型発電との関連はどうかを考察する。

トーマス・エジソンが米国で電力の開発を進めていた頃の発電所は、地域ごとに特化していた。現在のように消費者が数百km離れた発電所から電力を入手することはなかった。電力システムはもともと、現在よく議論されている分散型だったのだ。ではなぜ、分散型が現在のように多くの発電所を送電網でつなぐ形式になったのだろうか。これは、複数の発電所をネットワークで接続することにより、個々の発電所の問題を分散できるというメリットを重視したからである。系統の規模が大きければ、それぞれの発電所や発電機に問題があっても、全体としてみれば問題を起こさないようにできるわけだ。

例えば、ある発電所の発電機が故障しても、他の発電所や発電機がそれを補うことができる。もしつながっていなければ、その発電所や発電機が電力を供給している地域が即停電してしまう。系統の規模が大きければ、少々の電力のバランスを崩すものが来ても、その変動を飲み込んで平らにできる。また、前述の周波数の変動問題も、系統の規模が大きければそのずれを飲み込んでしまう。

では、大規模系統と分散型発電はどういう関係になるのだろうか。理想的には、家ごとやコミュニティごとに分散型発電装置があり、自前で賄えるときは自前で発電した電力を使用し、余剰が

あれば電力会社に売却する。夜など電力が足りないときは系統側から電力を調達する。消費者には理想的な情況だが、電力会社から見ると電力を安定に供給するという仕事は困難になる。需要と供給を実時間で把握するために、より高度なICTを駆使することが必要になる。さらに、需要は日照時間や風によって大きく左右される。そのためには、太陽光や風力による発電量を予測するソフトウェアの開発も必須となる。

次に、なぜ電力会社は再生可能エネルギーによる電力を自前の送電網に接続するのをためらうのかを考察する。以下、2つの課題が考えられる。

(1) 再生可能エネルギー導入で課題になる周波数

電力供給には発電量と電気の消費量を瞬時に合わせる必要があり、それには周波数という指標が重要となる。従来の電源では、原子力発電所や流れ込み式発電所は出力一定運転であり、火力発電所やダム式水力発電所が出力をコントロールしている。しかし、再生可能エネルギー、特に太陽光発電や風力発電については、発電電力を思うようにコントロールできない。

発電量が天気によってランダムに変動する。再生可能エネルギーの導入量が少ない時は電力系統につながっていてもなんとか需給バランスを調整できるが、多くなってくると、需給バランスが取れなくなる。つまり周波数が変動してしまう。これまでは需要家の電力消費の変動だけを見ながら調整していればよかったが、これからは太陽光発電や風力発電の発電量の変動も相手にしながら瞬時に発電量と電力消費量を合わせなければならない。風力発電事業者からは、周波数の変動の基準を緩和してほしいという声がある。

しかし、日本の周波数の基準は欧州に比べ3~4倍緩くしてある。例えば、日本の基準ではプラスマイナス0.2ヘルツ以内に維持すると決められているが、欧州の基準はほぼプラスマイナス0.06ヘルツである。逆にいえば欧州はそれだけ厳しいが、それでも風力発電が大量に導入されているのは、電力系統の規模が日本の2倍くらい大きく、さらにライススタイルの違いから、日本と比べて電力需要の変動が小さいという特徴があるためである。日本の電力系統の規模は欧州の1/2である。その上、日本は東西で周波数が異なるため、周波数が同じであるネットワークのは規模それぞれ欧州の1/4になってしまう。

今のところ、太陽光による余剰電力の配電網への流入はたいしたことはないが、風力発電は発電量が多くて送電網に影響することがある。そのため電力会社は、風力発電に関してはすべての風力発電者を送電網に接続させず、抽選にして送電網へ流入する電力の量を制限している。再生可能エネルギー法は、電力会社にすべての風力発電所からの電力を買い上げを強いるため、電力会社にとっては影響が大きい。

(2) 太陽光発電で懸念される逆潮流の問題

風力発電設備はかなり大規模に導入されているところが多く、電力系統の中でも上流側の送電

線に接続されているケースが多いため、風力発電の発電量の変化によって周波数の変動がみられても、電圧には大きな影響がない。しかし、家庭に設置される太陽光発電の場合は、配電線の電圧に支障をきたす可能性がある。私たちの家の近くの配電線では電気が一定方向に流れている。配電ネットワークでは、上流の配電用変電所から下流の需要家に向かって、一方向のみ電気が流れ、電圧は流れる方向に向かって下がっていく性質がある。

太陽光発電設備が大量に家庭の屋根に設置されると、配電線の末端である家庭から配電用変電所のある上流に向かって電気が逆流する。これを逆潮流という。太陽光発電で電気がこれまでの方向と逆に流れると、配電線の末端の方で電圧が上昇する。電圧の維持範囲は電気事業法施工規則で101ボルト±6ボルト以内とされており、これを超えると配電ネットワークにつながる電気機器にさまざまな障害が出る。電圧が高くなり過ぎると電気機器の内部で、電圧のかかっている部分と外箱との間で火花が発生し、故障したり、発熱で火災の原因になる。

このため逆潮流がある場合、配電線の電圧を調整する必要がある。地域の配電ネットワーク内に太陽光発電設備1カ所、2カ所ならばさほど問題にならないが、何カ所も設備がある状態になると調整が難しくなる。その対策としては、①配電線の電圧6600ボルトから家庭用の電圧100ボルト/200ボルトに電圧を下げる柱上変圧器をたくさん設置し、1つの柱上変圧器につながる太陽光発電設備の数を減らす、②電圧を調整する制御機器（SVCなど）を配電線につける、③電線を太くする一などが考えられる。また抜本的な解決策としては、電圧レベルを上げてしまうことも考えられる。現在、配電線は6600ボルト、家庭は100/200ボルトという電圧だが、欧州で使われている世界標準と同じように、配電線を2万2000ボルト、家庭は230ボルト/400ボルトにする。配電線の電圧を高くすると太陽光発電による電圧の変化が小さくなる。ただし、これは配電線や家庭の家電機器をすべて取り替えることになるので、時間とコストがかかる（横山明彦 [2010]、pp.55-61、ITproのHP）

3. スマートグリッド（次世代送電網）とは

スマートグリッド（次世代送電網）とは、電力の流れを供給側・需要側の両方から制御し、最適化できる送電網のことであり、専用の機器やソフトウェアが、送電網の一部に組み込まれている。ただその定義は曖昧で、いわゆる「スマート＝賢い」をどの程度と考えるかは明確ではない。

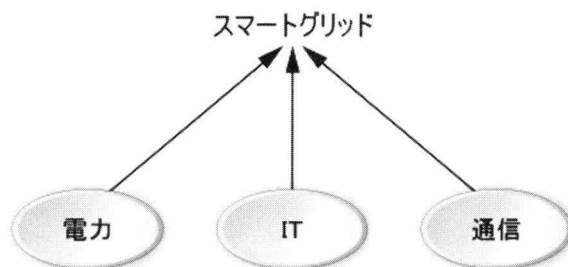
そもそも、オバマ政権が、米国のグリーン・ニューディール政策の柱として打ち出したことから、一躍注目を浴びることとなったのがスマートグリッドである。

従来の送電線は、大規模な発電所から一方的に電力を送り出す方式だが、需要のピーク時を基準とした容量設定ではムダが多く、送電網自体が自然災害などに弱く、復旧に手間取るケースもあった。そのため、送電の拠点を分散し、需要家と供給側との双方から電力のやりとりができる、「賢い」

送電網が望まれている。

スマートグリッドを支えるのは、電力、通信、ITという三つの技術である（図表3-1）。ここでは通信とITをまとめてICTと総称する。

図表3-1 スマートグリッドは電力、IT、通信から成り立つ



出典：環境ビジネスのHP

スマートグリッドは、情報技術とプロセス自動化技術を既存の電力ネットワークに融合させるものであり、既存の電力システムの改革に関わる全ての要素を包含する概念である。スマートグリッドは低炭素化革命の要であり、集中電源から分散電源、再生可能エネルギーへの転換、消費者も参加する双方向の電力・情報網への転換を実現する。

スマートグリッド化を進めることによるメリットとしては、以下の4点が挙げられる。

- ① ピークシフト（昼間電力消費の一部を夜間電力に移行させる方法）による電力設備の有効活用と需要家の省エネ。
- ② 再生可能エネルギーの導入。
- ③ エコカーのインフラ整備。
- ④ 停電対策。

一方で、スマートグリッドには欠点もあるとの指摘がある。

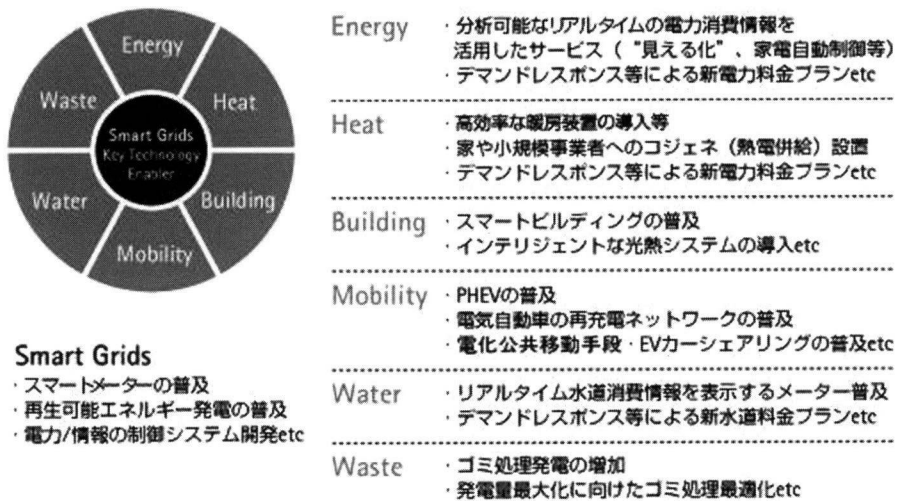
例えばセキュリティ上の問題である。スマートグリッドのインフラには、高度な通信システムや技術が結集することになる。そこに対する不正操作やウイルス感染などの対策はまだ不十分と言われており、今後セキュリティの脆弱性の克服が必要になるだろう(Luigi Coppolino, etal. [2011]、環境ビジネスのHP)

図表3-1は、スマートグリッドを構成する要素（エネルギー、熱、ビルディング、交通機関、水、廃棄物）ごとの技術を示したものである。

図表3-2は、スマートグリッドのインフラとサービスの全体像を示したものである。

米国ではスマートグリッドの市場は既に大きく広がってきており、ICTのベンダー各社は大きなチャンスととらえている。米Microsoft、米Google、米Cisco Systems、米IBM、米Oracle、独SAP、米AT & T、米Verizonといった大手の通信/ITベンダーが続々と参入している。スマートグリッドは

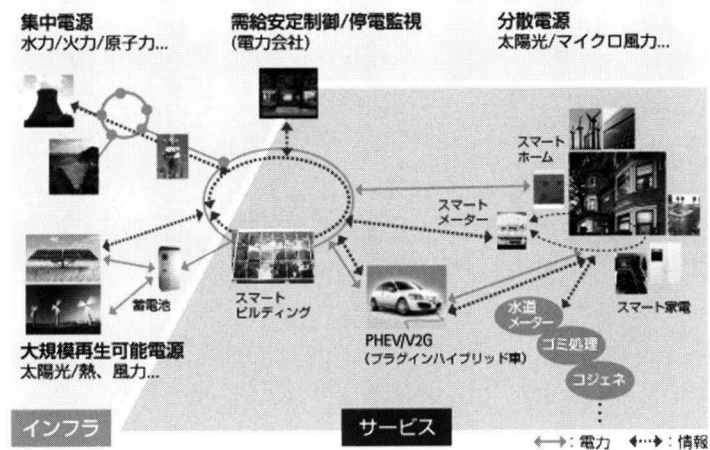
図表3-2 スマートグリッドの基本技術とエコロジー



Copyright © 2009 Accenture All Rights Reserved.

出典) アクセンチュア (1)

スマートグリッドによる“新しい世界”

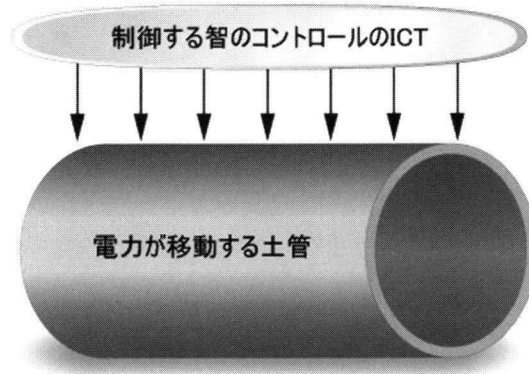


Copyright © 2009 Accenture All Rights Reserved.

出典) アクセンチュア (1)

電力網にICTを被せたものと理解されているからだ（図表3-3）。ここでは、スマートグリッドを掘り下げて分析し、大手、中小、ベンチャーを問わずICT関連企業が参入できる、スマートグリッド関連市場について述べる。

図表3-3 スマートグリッドは智のない土管を流れる電力をICTで制御



出典：日経BP（1）

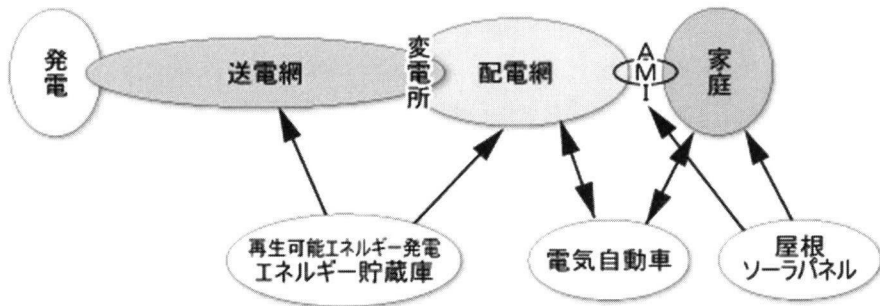
ICT関連企業にとって、技術的な敷居が極端に高いわけではない。実を言えば、既存のICT技術は大きな変更をせずにスマートグリッドに適用できる場合が多い。例えば、スマートメーターのデータ通信技術は、近距離では無線メッシュネットワークなど、長距離ではセルラーなど、既存の技術がそのまま使用されている。スマートグリッドに参入している企業、例えば三菱重工業は、太陽光パネルや再生可能エネルギーに力を入れているが、ICTの技術や製品を展開している別部門も持っている。この二つを連携させることで、再生可能エネルギー技術の開発や運用を更に促進することが可能である。

3.1 電力網とそのスマート化

スマートグリッドにICTを適用するには電力分野の知識が不可欠だ。だが、一口に電力と言っても幅が広い。電力網のどの領域に適用するかによって、ICTの製品や技術は大きく変わる。電気の生成や伝送方法は、エジソンの時代からそれほど変化していない。

国によって電圧や周波数が多少異なるが、システム自体は同じである。電力網は「発電」「送電」「配電」「消費」の四つの部分で成り立っている。これらすべての領域で、ICTが必要とされる（図表3-4）。

図表 3-4 電力網の仕組みとスマートグリッド



出典：日経BP（1）

発電

発電は、石炭や重油、原子力、水力などを利用して電気を生成する段階である。最近では温室効果ガスの発生を抑えるため、再生可能エネルギーである太陽光や風力、地熱なども利用され始めた。再生可能エネルギーの利用はまだ小規模なものに限られており、電力会社規模の発電はまだ今後の課題である。電力会社の使命は、刻々と変化する電力需要を満たすことである。現在、性能や発電コストの異なる発電所や発電機を需要に応じて稼働させ、必要な電力を供給している。

例えば、2.3電力供給の安定で述べた様に、需要が高まると、天然ガスによる発電を追加して対処する。天然ガスは稼働・停止が柔軟に行えるという利点があるが、コストが高いためピーク時のみ使用される。スマート化により需要予測をよりの確に行えるようになれば、こうした発電を効率的に減らせるようになる。さらに、需要過多になった場合に、現在のように供給を増やすだけでなく、消費者側に信号を送り需要を抑えることが可能になる。スマート化により、発電がより効率的に行えるようになると期待されている。

送電網

発電所で作られた電気は、送電網を通じて消費地まで伝送される。電力は、電圧を上げると電流の流れが小さくなり送電中のロスが防げるため、生成された電気は電圧を上げて送電される。その際の電圧は、数十万ボルトに達する。

日本のスマートグリッドは下流（配電網）が主で、上流（送電網）はあまり関係がないと言われる。米国では電力網の老朽化や自動化の遅れが指摘されているが、それでも送電網は配電網に比ベインフラの整備が進んでいる。配電網にはあまりないモニター機能もある。最近では同期フェーザーという技術を使い、送電網の状況を詳細に把握することができるようになりつつある。常時モニターすることで、送電線に重大な異常が発生する前にそれを検知して対処することができ、信頼性の向上につながる。

変電

送電線で伝送されてきた電気は消費地に到達後、変電所で電圧を下げて配電網へと送られる。ここで電圧は数万から数千、さらに100～200ボルト程度まで下げられる。送電網と配電網をつなぐのが変電所である。ここも送電網と同様、変電所内の自動監視を強化することで、問題をリアルタイムで把握して対処できるようになる。米国では、変電所の老朽化に対処することが急務となっている。約40年の耐用年を超える設備が多く、いくら機能を加えてもインフラがぼろぼろでは意味が無い。

配電網

変電所で電圧を下げた電気は、配電網を通じて消費者に届けられる。配電網は我々が普段よく見かける電柱と電線である。

これまで多くの電力会社は、変電所まではモニターするが、それ以降の配電網から消費者に至るルートはほとんどモニターしてこなかった。そのため、配電網に問題が起きて停電しても、消費者から通報を受けるまでそれを把握することができなかった。配電網にも送電網のようにモニター機能を取り付け常時監視できるようになれば、問題が生じる前にそれを検知して対応することができる。米国の配電網は変電所と同様、インフラの老朽化が著しい。ここでもインフラの整備がスマート化の一環として計画されている。

消費/AMI（自動メーターインフラ）

消費は、家庭、工場、商業ビルなど、様々な消費者によって電気を使用される段階である。現在は消費者は需要と供給のバランスを考慮することなく、好きなときに好きなだけ電気を使っている。これがスマート化により変化する可能性がある。需要と供給を勘案した時間帯別料金の導入と消費者への電力消費データの提供により、消費者がより賢く電気を使用する傾向が高まることが期待される。

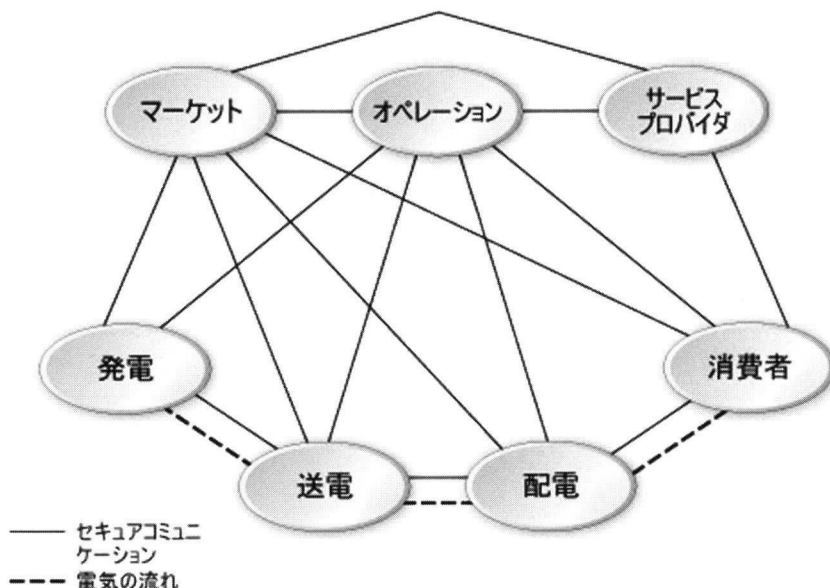
その結果、全体としての発電量を増加することなく、新たな発電所建設や発電機設置を抑えたまま、電力を安定して供給することができるようになる。スマート化を実現するのがAMI（Advanced Metering Infrastructure：自動メーターインフラ）である。AMIは、スマートメーターとそれを電力会社につなぐネットワークで構成される。家庭と電力会社をつなぐゲートウェイと言える。AMIを介して収集されたデータは、消費者に提供されると同時に、電力需要のより正確な予測にも利用される。さらに、AMIは需要過多の際に電気機器に信号を送って停止するなど、電力消費を制御するために使用することもできる。

3.2 スマートグリッドの構成

これら各領域をICTを駆使して機能向上するのが、スマートグリッドである。スマートグリッド

はいろいろな観点から捉えることができるが、ここではNIST（米国商務省の国立標準技術研究所）が発表した電力と情報の流れを見てみよう（図表3-5）。いくつもの領域の間で多くの情報が交換されることが分かる。図表3-5中の「セキュアコミュニケーション」という言葉で表されている情報の収集、解析、変換、通信にICTの製品やサービスが必要である。以下、それぞれの役割を見ていく。

図表3-5 スマートグリッド内の電力と情報の流れ



出典：日経BP（1）

「マーケット」では、需要の見込みと供給可能な電力量の情報を基にした「電力の卸値の決定」「電力会社間の電力トレード」「送電線の使用权の売買」「消費者への販売価格の決定」などが行われる。市場が正しく機能するためには、リアルタイムでほかの領域と情報を交換することが必須である。

「オペレーション」とは、安定した電力供給を目指した、電力網の物理的な運用のことである。電力網やその電力伝送に問題が起らないように「インフラの計画・監視・保守・資産管理を行う」「電気メーターからデータを収集・管理する」「顧客をサポートする」など、その内容は多岐にわたる。運用が正しく行われるには、ほかのすべての領域から情報が提供されていることが必須である。

「サービスプロバイダ」は、電力に関する各種サービスを提供する。スマートグリッドが実現すれば、発電を行う会社、配電を担当する会社など、それぞれ独立した企業が電力網の一部を担うと考えられている。サービスプロバイダは、こうした企業や消費者に対するサービスを提供する。「電力の一括提供」「エネルギー管理」「課金や電気代請求」のほか、例えば消費者に電力消費の効率化

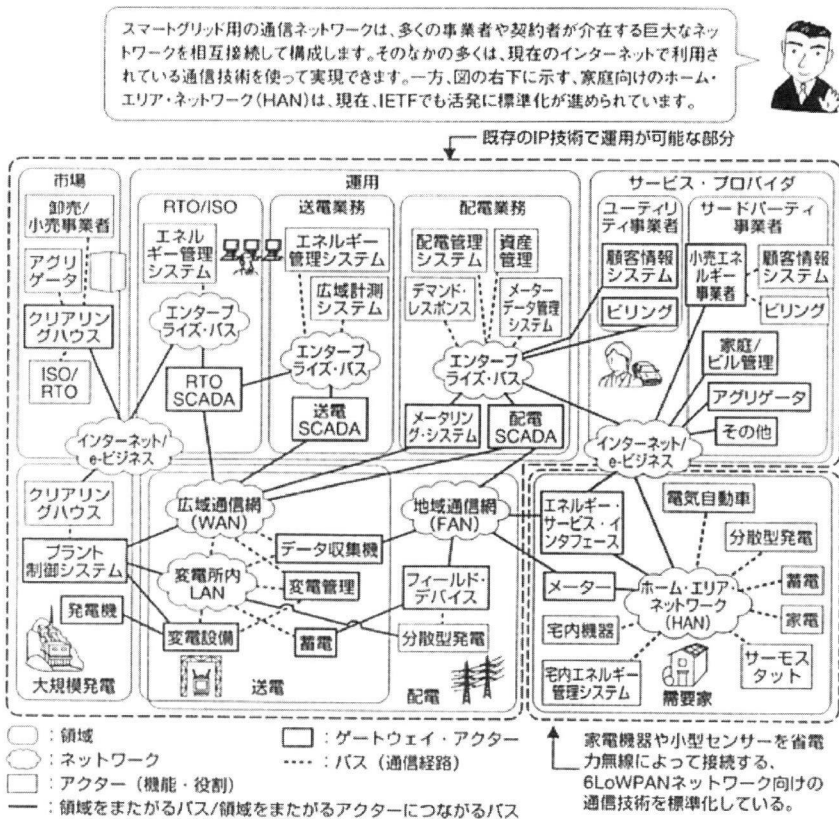
や家庭での発電についての情報や助言を提供する。現在は発電所を持つ電力会社がこのサービスの機能を担っているが、米国ではいずれこうした機能は切り離され、発電所を持たない会社がサービスを提供する方向に進むと予想されている。

これら莫大な数に上るICTと電力技術をスムーズに連携しその整合性を図るため、2007年に成立した法律でNISTはスマートグリッドで使用される技術を標準化するという責務を負った。この多岐にわたる分野を統括、管理するために、NISTは22のグループからなるスマートグリッド統合化パネルを構築した。このパネルの目的は、広範なスマートグリッドの分野での標準を議論して設定することで、電力製品やサービスのベンダー、研究所や大学、電力会社、自動車メーカー、州政府などの地方行政が参加している。

スマートグリッド内での情報の流れは複雑である。図表3-5を詳細化したのが図表3-6だが、これでもすべてのICT技術を示しているわけではない。例えば情報やデータは通信技術によって配信されるが、下の図ではそれは既に分かったこととして割愛されている。

ICT側から見たスマートグリッドは、複雑なアーキテクチャから成り立っている。裏を返せば、

図表3-6 スマートグリッド内の詳細な情報の流れ



出典：NIST [2010]

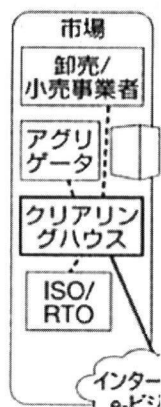
ICTのベンダーにとってビジネスチャンスは大きいと言える（日経BPのHP）。

3.2.1 市場（マーケット）

市場要素を解説する。市場要素は、電力を搬送する要素（送配電）や電力搬送をコントロールする要素（運用）、消費者に対してサービスを提供する要素（サービスプロバイダー）に比べ、あまり目立たない。

だが、発電を行う側とその電力をユーザーに提供する側とをつなぐための非常に重要な機能である（図表3-7）。簡単に言うと、売り手と買い手を結びつける要素となる。マーケットでは、発電された電力が需要と供給の関係に応じた価格で取引されている。

図表3-7 市場要素とそのコンポーネント



出典：NIST [2010]

クリアリングハウス

証券取引市場で株式が取引されるように、市場原理によって電力が取引される場である。電子商取引の利用で、ITと通信の技術が適用されている。

卸売/小売事業者

電力取引市場で活動する電力の小売りや卸売りに携わる事業者を指す。垂直型の電力会社では自社発電所で発電した電力を自社管内に伝送するほか、余剰電力を他の電力会社に売却する場合もあり、取引市場を利用することになる。

発電機能のみを持つ会社もある。発電した電力は、クリアリングハウスで売買される。最近では再生可能エネルギーである太陽光や風力による発電を専門に行う発電会社もあり、その電力は市場で取引されている。卸売の自由化が進んだ州では、一般消費者に提供するための電力を卸売会社が市場で調達する。

アグリゲーター

再生可能エネルギーを含む分散型発電による電力を、統合して提供する事業者を指す。小さな発電所は単独では発電量が市場取引を行うのに満たない場合がある。しかし小さな発電所をいくつか統合すれば一定規模の電力量となり、市場で取引をすることが可能となる。

発電量ばかりでなく、電子コマースでトレードをするための機材や人材をそろえることも、小規模発電所には荷が重いことが多い。アグリゲーターが代行してくれればその問題も解決する。

ISO/RTO

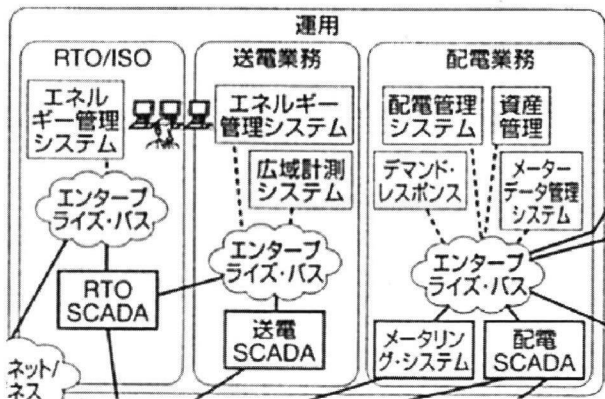
独立システムオペレーター（ISO）と地域送電オペレーター（RTO）は、送電線への平等なアクセスを保障する機能を持つ組織である。エネルギー・マーケット・クリアリングハウスにも関わっており、電力売買が適正に行われるよう監視している（日経BP(2)のHP）。

3.2.2 運用（オペレーション）

電力システムは、発電した電力を実際に伝送するネットワークと、電力伝送に付随するデータの送受信や制御のためのネットワークから成り立つ。これは電話のシステムと比べると分かりやすい。電話のネットワークは、実際の音声を送送するネットワークと、通話の経路を設定したり呼び出し音を鳴らしたりする制御ネットワークであるシグナリングシステムから成り立っている。電力システムの骨組みは、実際に電気を流す土管とその制御ネットワークから成立していると考えてよい。

後者のネットワークに関連する運用要素を取り上げる（図表3-8）。運用要素は、電力伝送ではなく、付随する情報やデータに関する機能だ。変化する電力需要をリアルタイムで把握し、それに応じて必要な電力を最適なルートで伝送する役割を担っている。また、電力供給に支障が生じないように送配電網の健全性を監視する役割も担い、支障が生じた際には自動的に修復するための通知を出し

図表3-8 運用要素とそのコンポーネント



出典：NIST [2010]

たり、それが不可能な場合はオペレーターに連絡したりする機能もある。以下、各コンポーネントについて見ていこう。

配電業務

配電に関する運営に関わる機能である。配電網の健全性の監視と維持（変圧器の電圧、機器の故障と復旧の状況、停電など）、スマートメーターから収集されたデータの解析とそれに基づく各種アプリケーションのサポート、電力需要の予測とそれに対する供給の確保、カスタマ情報の管理などが含まれる。

エンタープライズバス

配電業務内でコンポーネント同士がデータや制御信号を交換するための経路だ。インターネットを介して、その他の要素とも情報、データ、制御信号を交換できるようサポートする。エンタープライズバスは電力システムに限らず広くエンタープライズの分野で使用されている。

資産管理

配電網は、変電所とそこから各消費者に至る配電システムで構成される。資産には変電所内の変圧器やその他の装置の他、配電網内の装置や機器（電柱、変圧器、電線など）が含まれる。こうした資産の情報や状況を把握することが保守や管理には欠かせない。資産を管理するために必要な資産目録情報はデータベースに格納されている。

DMS（配電管理システム）

DMS（Distribution Management System）は配電網を管理するシステムで、配電網の監視や制御を行い、機器の故障や異常値（例えば適正電圧からの逸脱）などの問題を早期に発見してその解決を図る。これには問題発生時の通知や自動復旧なども含まれる。下記のSCADAと共にDMS/SCADAと表記されることもある。

Demand/Response（電力需要対応）

電力需要対応（デマンド・レスポンス）は、電力の一般利用者が電力の市場価格や、ピーク時の電力需要予測をチェックしながら電力消費を調整できるようにするものである。電力事業者は、以下のような電力需要対応プログラムをもつことになる。

- ① クリティカル・ピーク・プライシング（需要が極度に高まった時点の価格設定）、ピークタイム割引、リアルタイム・プライシング（使用時間に応じた料金設定や送電制限にある料金設定）
- ② エンドポイントの電力負荷権利装置
- ③ 家庭向けの電力価格および使用量の表示
- ④ スマート・エアコンおよびその他の空気循環制御
- ⑤ スマート・サーモスタット

（アクセンチュア（2）のHP）

電力需要対応は配電網がカバーする地域や全体の電力網で電力不足が生じそうになった場合、あらかじめ合意された範囲内で電力消費を削減するために信号を発して種々の機器を停止したりその電力消費を抑えたりする機能だ。当然、家庭やビルの電気機器に関する情報の他、各機器について停止または電力節減が可能か否かという情報、その実施に対する許諾の情報を必要とする。何千万とあるデータ源からの情報に基づき、どの需要をどれだけ制限すれば供給可能量を超えずに需要に応えることができるのかを決定するのは手動では不可能で、コンピュータシステムが不可欠だ。

メーターシステム

メーターシステムは、スマートメーターから送信される電力消費情報を受け取りMDMSなどに提供するためのインターフェイスとして機能する。

配電SCADA(監視制御システム)

電力、水道、ガスを始めとする幅広い産業で、コンピュータによるシステム監視とプロセス制御を行なう産業制御システム（ICS）が使われている。SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）はこのICSの一種だ。問題発生の検知やオペレーターへの通知は自動で行われ、オペレーターがリモートで必要な操作を実行することにより問題が解決される。SCADAシステムは特殊なハードウェア、ソフトウェア、プロトコルで実装されており、標準がないためベンダーごとに異なる様式で運用されている。その結果互換性がなく価格も高い。

最近ではWindowsやLinuxによるシステムの開発が進んでおり、標準化の動きも出てきている。システムがオープンになることは歓迎すべきだが、その反面セキュリティの問題が浮上している。例えば最近SCADAを攻撃対象とするStuxnetなどのマルウェアが発見されている。今後、電力網とそれに付随するネットワークがインターネットに接続され拡張されることに伴い、そのセキュリティは新しい課題とビジネスチャンスとなるだろう。

送電業務

送電業務内でコンポーネント同士がデータや制御信号を交換するための経路であり、ネットワーク介してほかの要素との交信にも使用される。

WAMS（広域監視システム）

送電網の監視はもともと配電網に比べ進んでいる。特に最近のWAMS（Wide Area Measurement System）の開発と実装により、送電網の信頼性はさらに向上している。WAMSは高度な計測技術、情報ツール、運営用のインフラから成り立っており、このインフラを通じて大規模で複雑な電力システムの計画、運営、管理を行なうことができる。

2003年の東部大停電後に設置され始めた位相計測装置（PMU - Phasor Measurement Unit）もこのWAMSに含まれている。PMUは電圧と電流の位相のずれから電力伝送の問題を検出し、その結果

に基づいて送電網の健全性を判定する。2009年の景気刺激対策予算のおかげでその設置に弾みがついた。WAMSは後述するSCADAを補完する。

EMS（エネルギー管理システム）

EMS（Energy Management System）は発電や送電網の監視、制御、最適化を行なうためのコンピュータシステムだ。監視と制御はSCADAの役割であり、SCADAと一緒にSCADA/EMSシステムとして論じられることもある。

送電SCADA（監視制御システム）

SCADAは送電網の監視と制御のためのシステムであり、配電網でもSCADAが使用されているが、一般的に送電網に対する監視の方が進んでいる。その使用は管区単位であり、管区が異なると必ずしも互換性があるわけではない。しかし送電網は互いに接続しているので、ある管区の送電網で不都合が生じると他管区の送電網にも影響を与えることがある。この互換性の問題のため、管区間で監視情報を交換して問題解決を図ることができない場合がある。

RTO/ISO業務

RTO（Regional Transmission Organizations）は地域送電組織、ISO（Independent System Operators）は独立システム運用者を指す。どちらもその管轄内の送電網に対し、送電オペレーションで行なう運営と同様、高圧送電の監視や制御を行なうが、RTOの方がより広い地域をカバーしている。RTOとISOは連邦エネルギー規制委員会の指導の下に設立されている。この2つの組織は米国に特有のものであり日本には対応するものがない。

EMS（エネルギー管理システム）

RTO/ISO管轄下で送電網の監視、制御、最適化を行なうためのコンピュータシステム。

RTO SCADA（監視制御システム）

送電業務のSCADAと同様だが、運用するのがRTO/ISOである点で異なる。

（日経BP（3）のHP）

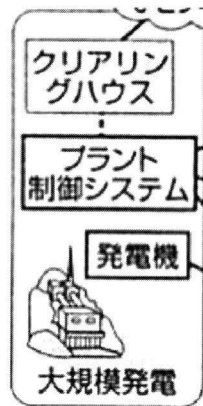
3.2.3 発電

発電要素は文字通り、電気を生成するという役割を担っているが、そう単純なものではない。運用、市場、送電の各要素と密接に情報や電力をやり取りする（図表3-9）

クリアリングハウス（マーケット・サービス・インターフェース）

電力需要は刻々と変化する。変化に応じて供給量を調整する必要があるが、一方で供給は最少のコストで入手する必要がある。このインターフェースは、供給量の調整を行う際にその時点で供給可能な発電所や価格の情報を入手するためのものだ。リアルタイムで変化する需要に対応して、必要に応じて最小のコストで、可変可能な発電量を提供できる発電機の稼働・停止や出力増減を行う。

図表 3-9 発電



出典：NIST [2010]

プラント制御システム

クリアリングハウスが電力のコストや入手可能かなど情報面を司るのに対して、発電機やタービンなど発電所内の各機器の実際の制御や防御を司るのがプラント制御システムだ。このシステムは多分に電力工学に特化しており、かなり特殊なものである。このシステムはWANを経由してオペレーション要素の各コンポーネントや変電所のLANや変電所の各コンポーネントに接続して、情報や制御信号を交換している。このシステムを提供するためには、ICTの技術の他、発電にかかわる機器やその制御の専門知識が不可欠である。日立や東芝などがシステムを提供している。

発電機

太陽光発電を除く大部分の発電機は、磁場内で導体を回転することによって発電する方式を取っている。発電された電力は交流である。回転のための運動エネルギーを提供するのがエネルギー源であり、種々なものが存在する。水力発電であれば、水を落下させることによって位置エネルギーを運動エネルギーに変換してタービンを回して発電する。火力や原子力は熱エネルギーを水蒸気を介して運動エネルギーにするものだ。

タービンの回転数を一定に保ったり出力を増減したりするには、リアルタイムで管理や制御する必要がある。例えば、発電出力を制御するのに、自動発電機制御（AGC）が利用される。これは、オペレーション要素から送られてくる電力の需要・供給バランスを見ながら発電機を制御する装置である。周波数の増減や隣接する送電管区内からの電力流入量などのデータを総合して発電機の運転を自動的に制御するものである。発電された電力は、長距離送電におけるロスを減少させるため、隣接する変電所で高電圧に変換されて送電される（日経BP（4）のHP）。

4. 計画停電とスマートグリッド

計画停電は強制的な節電であり、広範な活動に多大な影響を及ぼす。しかし、計画停電を行わずに需要が供給を超えるような事態が発生すれば、電力網が不安定になり、連鎖的に発電所が停止したり電力網内の装置や機器が破損したりする可能性がある。そのような事態が発生すれば、破損や故障の程度にもよるだろうが、復旧には数日どころか、数週間から数カ月を要する可能性がある。需要と供給のバランスは何としても維持しなければならないのだ。

計画停電を回避するには2つの方向がある。消費量を抑えることと、発電量を増やすことだ。すぐ実行できる方法として現在節電が広く呼びかけられており、また休止中の発電所を早期に再稼働させるなど、発電量を増加させる努力も並行して行なわれている。しかし、本格的な電力供給の回復にはかなりの時間がかかることが予想される。中長期的にはさまざまな手を打つ必要がある。その一つとして、スマートグリッドの導入が今後の電力の安定供給に役立つのではないかと考える。

[年間の停電は数分程度だった]

そもそも米国でスマートグリッドが注目されるようになった背景に、慢性的な電力不足がある。これは様々なことが積み重なった結果だ。例えば、電力網を構成する機器や部品が老朽化により故障して停電を引き起こす、新しい技術を実装しなかったため臨機応変に電力を振り分けられない、発電所や送電網の建設や増設を行ってこなかった、設備間の相互運用性がないなどにより、年間数時間の停電が起きている。専門家の中には、スマートグリッドは電力不足解消のための切り札だという人もいる。

それに対し、日本では電力不足の問題はほとんど起きてこなかった。日本の電力会社は十分な発電能力を持ちインフラもしっかりしているので、年間の停電は数分程度に抑えられている。日本におけるスマートグリッドは低炭素化社会の達成を一番の目標に掲げており、具体的には家庭の屋根に設置する太陽光発電と電気自動車に特化している。そうした状況から、米国型のスマートグリッドはそのまま日本に適用されることはないと考えていた。

[電力需要の予測が難しくなった]

しかし状況が変わった。今回の大震災では原発が大きな被害を被った。放射能漏れの問題の他、原発が稼働不能に陥っていることによる電力不足が、被災していない地域をも襲っている。現時点で、東電の管内では絶対電力量が足りていない。今後、冬に需要が増加すればさらに問題が大きくなるだろう。一番簡単な対策が計画停電で、これは既に実施されている。

東電や関西電力の専門家によると、翌日の電力需要は通常、数%の誤差で前日に予測できるそうだ。翌日の天気予報や過去の需要実績を基に複雑なアルゴリズムを駆使して算出されるという。しかし大震災の後、状況は一変した。これまで起こったことのない事象のため過去の情報やデータを総合することができない。節電呼びかけにどれだけの人が応じるのか、その節電の総量や推移も予

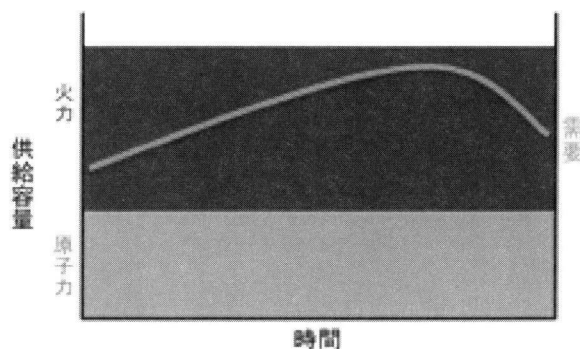
想不可能だ。

現在の電力供給の仕組みは、変化する需要に応じて供給量を実時間で調節している。水力や再生可能エネルギーによる発電は総量が少ないので、将来的には別だが、現時点ではあまりあてにはならない。日本は米国同様、季節や時間帯にかかわらず最低限必要な基本量を原子力発電により賄い、その上に火力発電を利用して需要・供給を調節している。原子力発電は稼働開始に時間がかかり、また停止にも時間が必要なので、常に稼働しておかなければならない。

これに対し火力発電、特に天然ガスを使うものは稼働や停止が比較的容易なので需要と供給を調節するのに使用される。今回の電力不足の問題は、この基本量を支える原発からの発電量が失われたことによる（図表4-1、図表4-2）。

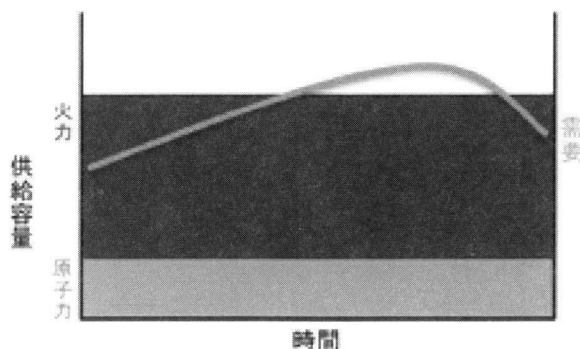
図表4-1は原子力発電所の事故以前で、電力供給容量が十分にあり、変化する需要に対応できた状態を示している。図の中の赤い線は時間ごとに変化する需要を示す。議論を簡単にするため、

図表4-1 震災以前の供給容量と時間による需要



出典：日経BP（5）

図表4-2 震災後の供給容量と時間による需要



出典：日経BP（5）

これには、水力やその他の電力源は含まない。また、場合によってはピーク時に一時的にガスタービンを使用した火力発電も必要になるかもしれないが、それも含んだ供給容量だ。

図表4-1から分かる通り、原子力発電（緑のエリア）と火力発電（青のエリア）による発電能力は常に需要を上回っており、安定な電力の供給を保障していた。図表4-2は、原発の事故で原子力発電による電力量が減少したため、総供給容量が減少している状態を示す。そのため以前の需要を満たすことができなくなっている。

[計画停電の問題]

計画停電は、見込まれる需要が絶対供給量を超えると予想された時間帯に実施される。一日の電力需要は朝から昼間に向かって伸び、午後6時頃がピークとなる。東電の発表では現在、需要が常に供給量を越えるという状態ではない。つまり、ピーク時の電力消費量を抑えるだけでなく、ピーク時の電力消費を需要の少ない時間帯に移動させることができれば、何とか計画停電なしで乗り越えることができるかもしれない。

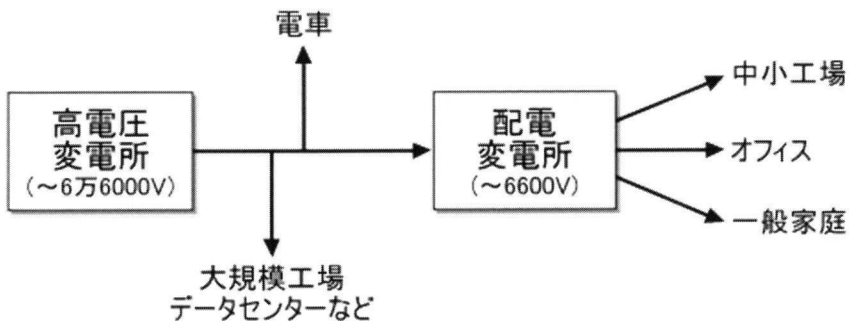
ピークを生じさせないため、工場やビルといった大口消費者には時差操業や時差営業などを真剣に検討してもらう必要がある。機械の稼働に時間がかかったり稼働状態を保持しなければ製造できなかつたりする場合もあるので、工場移転の検討なども必要になるかもしれない。

計画停電の問題は、停電する地域や建物をきめ細かく設定できないことだ。送電網で伝送された電力は配電網に入ると、何段階かの高圧変電所と配電用変電所を通して消費者に届けられる（図表4-3）

現在東電の計画停電は高圧変電所単位で決められている。そのため、その下流にある消費者はプライオリティが考慮されることなく、病院や学校などの公的な機関も一般家庭も区別なく一律に停電となる。

鉄道への電力搬送の停止は、社会的影響が大きいとの判断から、見送られている。鉄道や大工場

図表4-3 配電網の仕組み



出典：日経BP（5）

などの大口消費者は上流の変電所から供給を受けているため、そうした対処が可能なのだ。大工場に関しては既に電力会社と取り決めがあり、臨機応変に対処することになっている。

社会的影響を考えれば、データセンターも鉄道と同等に扱うべきだろう。震災発生から現在に至るまで、FacebookやTwitter、電子メールなどのネットワークが、災害時における情報伝達手段として有効であったことが指摘されているからだ。

もっとも、配電変電所レベルで停電させても、同じ配電網に属する各消費者のプライオリティを考慮しての停電は現時点では技術的に不可能だ。停電させる建物に作業員を派遣して個別に対応することはできない。何らかの自動化が必要だ。電力配送に関してコントロールできる地域の粒度を細かくし、将来的には建物単位でできるようにすることが望ましい。

電力不足を克服しようとする米国のスマートグリッドは、電力不足に陥っている日本でも有効な手段となり得る。電力消費を抑えるために、スマートグリッドではスマートメーターを介して需要対応というアプリケーションが使われる。これは需要が供給を超えそうになると消費者に信号を送り電力消費を抑えるものだ。この需要対応というシステムでは、消費者はあらかじめ削減電力量の上限や実施時間について電力会社と同意を交わす。計画停電のように全面的に電力の伝送を停止するのではなく、各消費者の需要を事前に決められた量でそぐことで総需要を抑えるのだ。

需要をそぐ方法としては、サーモスタットに信号を送り自動的に冷房の設定温度を上昇させる、重要でない照明を消す、重要でない機器を停止するなどが考えられる。当然消費者ごとにプライオリティを考慮し、病院、警察、消防などでは影響が最小限度に抑えられるようにする。強制的に節電されるわけだが、計画停電によって全面的な停電が実施されるよりは、この方がましだろう。

米国では、需要対応は発電所や送電網の建設を中止または延期できる重要なアプリケーションとして評価されている。発電所や送電網を建設して電力供給を増すには長期間かかるが、このシステムが実装されていれば必要な電力を瞬時に確保できる。現在東電管内での電力消費量は非常に大きめに、工場などの大口消費者、商用ビル、一般家庭で大体1/3ずつとなっている。米国同様、大口消費者は電力会社と契約を結び、電力不足の際は節電するシステムを採用している。しかし商用ビルには必ずしもそのシステムが導入されているわけではないし、まして一般家庭ではシステムの導入はまだ行なわれていない。今後の電力需給問題に備えるという意味で検討に値する。

さらにスマートグリッドの展開でダイナミックプライシング（価格変動設定）が可能となる。時間帯によって電気料金を変える（固定型）、または需要の逼迫時に電気料金を上げる（変動型）ことで、消費を抑えることが可能になる。計画停電で不便を被っている消費者から言えばとんでもないことだろう。しかし冷静に考えるとピーク時の電気料金を上げることで需要は確実に低下する。日本の電気メーターには、時間帯別料金体系が組み込まれている。しかし今後の成り行きによっては、その時間帯を変更したり、その変更を頻繁に行なったりする必要性が生じるかもしれない。

電気メーターがネットでつながっていない現在、短時間で時間帯や料金を変更することは不可能だ。例えばピーク時に電気料金が2倍になるとしても、実際にその情報を入手したり、それに応じて電力消費をコントロールするのは困難だ。スマートメーターの導入によりダイナミックプライシングの効果を実現することがはじめて可能となる。

もちろん需要対応やダイナミックプライシングだけで電力の安定供給が可能になるわけではない。このシステムは最大需要量と供給量が大幅に異なることを前提としており、災害時の様に、供給量の不足には対応していない。しかし電力を安定して確保するためには幾つもの手法を組み合わせることが有効であろうし、そのひとつとしてこうしたシステムを取り入れていくことは、ぜひ検討すべきだ。

[電力は貯蔵できない]

それでは、発電量を増やして需要に応えるということに対して、スマートグリッドは解決手段を提供するのか。電力会社への全面依存から分散型発電への移行がそのひとつだろう。既にある屋根のソーラーパネルやその他の再生可能エネルギーによる発電、ガスを使った燃料電池や天然ガスを利用するマイクログリッドは発電量を増やすこと以外にも効率の向上や環境への配慮などの利点がある。政府が分散型発電を奨励する、あるいは民間から政府に働きかけて推進することが今後重要になるだろう。

現在の技術では発電した電力を大量かつ大規模に貯蔵することはできない。電力網では毎時毎分刻々と変化する需要と供給のバランスを保持することが必須だ。発電量が潤沢であったときは過去のデータからバランスをとることが比較的容易であったが、発電量が低下し過去のデータに頼れない現在、需要と供給の間でまさに綱渡りをしているような状況だ。ともかく現在可能な限りのすべての方策を採り、電力供給の安定化を図るべきだろう。電力不足は社会の混乱、景気の停滞など、震災の二次被害を引き起こしてしまう。しかし同時に電力不足解消のための大きなビジョンや方針が必要だ。これには1～2年単位の短期プランと中長期プランの両方が含まれる。スマートグリッドを精査して利用可能な技術や手法を適用することについて考え始めてはどうか。

以上、スマートグリッドで計画停電を回避または軽減する可能性について述べた。現在電力事情が不安定で目の前の危機に対応することで手一杯の状況の中、スマートグリッドの利点について述べたところで実現性が乏しいと感じられるかもしれない。また現在の東電の状況で米国型のスマートグリッドを実装できるのかも疑問だ。しかし東電地域の電力不足は1～2年で回復する見込みはない。自発的節電のみならず強制的節電に頼らざるを得ない。

不幸なことだが電力不足が生じた東電地域は米国の状況に近くなり、米国型のスマートグリッドを適用する意味が出てきたのではないか。特に病院、警察、消防、自衛隊、学校、役所などの特定の機能を持つ場所を停電から守るには、スマートメーターの設置できめ細かく配電をコントロール

する必要がある。節電を促すためのダイナミックプライシングもスマートグリッドで実現可能となる。今後の電力供給安定化に有効な手段と成り得る米国型スマートグリッドの導入は、検討に値する（日経BP（5）のHP）。

5. スマートグリッドの日本の事例

電気事業者は、規制当局の強い姿勢、変動の激しいエネルギーコスト、電力需要の急増、環境に対する世界的な懸念の高まりなどを背景に、電力網の在り方を根本的に見直す必要が高まっている。そこで、世界の電気事業者はネットワークシステムを「スマートグリッド」に転換させ、21世紀の時代の要請に応えることを求められている。以下、いくつかの事例を見ていく。

5.1 積水化学工業の事例

【家庭で15%削減】

積水化学工業住宅カンパニーは2011年度から、住宅業界で初めてホームエネルギーマネジメントシステム（HEMS）を太陽電池パネル付き住宅に標準化した。このHEMSにより家庭の電力消費量を15%削減できる見込みで、年間1万棟の販売を見込む。将来はHEMSと連携した防犯サービスや、HEMS搭載住宅の二酸化炭素（CO₂）削減量を集約した排出権取引への参入も予定する。こうしたスマートハウスを普及させることは、住宅メーカーにとって事業領域を広げる絶好のチャンスになる。

5.2 パナソニックの事例

【多業種が参画】

パナソニックや東京ガスなど9社は神奈川県藤沢市でスマートタウン計画「Fujisawa サステイナブル・スマートタウン」を始動、13年度に街開きする。1000戸の住宅すべてに太陽電池と蓄電池を標準搭載し、省エネ家電をネットワークでつなぎ最適制御する。街全体のCO₂排出量は90年比で70%削減できる見込みだ（図表5-1）。

このプロジェクトには金融や不動産など幅広い業種が参画。国内で実績を積み上げた後、各社が協力してスマートタウンの海外輸出も視野に入れている。こうした要素技術は被災地の復興計画にも必要とされる（日刊工業新聞 [2011] のHP）。

図表 5-1 パナソニックなどが開発する「Fujisawaサステナブル・スマートタウン」のイメージ



出典：日刊工業新聞 [2011] (1)

6. スマートグリッドの海外実証プロジェクト

6.1 経済産業省とNEDOの取り組み

【ノウハウ蓄積“強み”見極め】

経済産業省と新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が関与するスマートグリッド（次世代電力網）の海外実証・開発プロジェクトが動きだした。米国ニューメキシコ州での日米共同実証を皮切りに、欧州、アジア各地でプロジェクトを実施、予定している（図表 6-1）。その種類も先進国から新興国、離島・山間部向けまでさまざま。世界各地で都市開発案件はめじろ押しだが、今後は日本にとって強みを生かせる案件の絞り込みも重要になる。

【地域に合わせ】

「スマートグリッドの良いところは、要素技術やシステムを組み合わせることで顧客の要望に応じて作

図表 6-1 経産省とNEDOが関与する主な海外実証・開発

場所	予算規模	期間	特色
米国・ニューメキシコ州	40億円	09～13年	スマートメーター導入、需要側（ビルや家庭）電力制御
米国・ハワイ州	30億円	11～14年	大規模な電源と独立した離島での活用、沖縄県と連携
フランス・リヨン市	50億円	11～15年	先進国での都市再開発、省エネビル、EVの導入
スペイン・マラガ市	50億円	11～15年	太陽光、風力との協調、EVの導入
中国・江西省共青城市	30億円	11～13年	中国での中小規模都市開発、宣伝効果
トルコ	30億円	11～15年	風力と揚水を組み合わせた電力供給の安定化
インド・デリーとムンバイ間の4ヵ所	協議中	協議中	新興国での都市・工業地域開発

出典：日刊工業新聞[2011] (2)

り替え、付加価値を付けられること」（資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部政策課）。スマートグリッドは電力を中心としたエネルギーのネットワークとITを結びつける。エネルギーと情報を利用するさまざまなプラントや建築物、機器、システムを巻き込み、地域に応じて自在に組み合わせられる。

【国際標準狙う】

こうしたスマートグリッドの特徴を背景に、経産省とNEDOが実施、予定している海外実証・開発プロジェクトの特色や狙いは多様だ。最も早く始めた米国ニューメキシコ州の実証は通信機能を持つスマートメーターを使いリアルタイムで電気料金設定を変えるなど、オフィスや商業ビル、家庭といった需要側の電力使用を制御する技術や使われ方のノウハウを蓄積する。

フランスのリヨン市で行う実証は先進国での地域再開発のケース。交通や物流、情報や人の流れに合わなくなった一帯を再開発する場合に、環境負荷の少ないビルや電気自動車（EV）の充電・課金システムの織り込み方の経験を積む。米国ハワイ州のプロジェクトは、火力や原子力などの大規模な電源とつながっていない地域向け。離島や途上国の電化の進んでいない山間部などでマイクログリッドとして展開できる。これら欧米での実証にはスマートグリッド関連技術の国際標準化の動きに乗り遅れないようにする狙いがある。

【新事業創出へ】

さまざまな種類の実証が出そろってきた。ただ「実証地を増やしていくことは重要だが、目的は成果を他地域に展開すること」（同）だ。実証は今後の応用のための手段。世界各地での実証を通じて日本がスマートグリッドのどの分野で国際競争力を高めればよいかを見極めることも課題となる。スマートグリッドの普及はエネルギーを効率的に利用するためだけでなく、実証結果を産業界が活用して新事業を創出し経済成長を実現するためのツールでもある（日刊工業新聞 [2011]（2）のHP）。

【資料】

「NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. Release 1.0, NIST, 2010年1月」の内、「概要」と3章の「概念参照モデル」を以下、訳出する。

概要

背景

エネルギーの独立と2007年のセキュリティ法（EISA）の下で、国立標準技術研究所（NIST）は「スマートグリッド機器とシステムCの相互運用性を達成する情報管理のためのプロトコルとモデル標準を含む枠組の開発を調整する主要な責務を割り当てられています [EISA タイトルX、セクション1305]」。

至急スマートグリッドのためのプロトコルと標準を確立する必要がある。

いろいろなスマートグリッド要素（配電線の上のスマートセンサー、家のスマートメータと再生可能エネルギーの広く拡散したリソースを含む）の開発は、すでに進行中で、エネルギー省(DOE)スマートグリッド投資奨励金、再生可能エネルギー世代のプロジェクトのための借入保証などの他の誘因の結果として加速されるであろう。標準なしで、早まって時代遅れになるか、セキュリティを確保するのに必要な処置なしで実施されるか分からない大きな公共投資や個人投資で開発され実装される技術の潜在的な危険性がある。

全国的な方針のゴールとしてスマートグリッドの開発を明示するEISAは、相互運用性枠組は、「柔軟で、均一で、テクノロジーニュートラル」であるべきだとしている。また法律が、新しい、革新的なスマートグリッド技術（例えば、分散的な再生可能エネルギー資源とエネルギー貯蔵）の再編を容易にする間、フレームワークは、“伝統的な集中化した発電と配電資源”と調和しなければならぬ。

緊急性を認識して、NISTは、標準の最初のセットの識別を早めて、必要とされる多くのさらなる標準の開発をするために、一致テストと認証基盤を作るための強いフレームワークを確立する3フェーズの計画を策定した。

2009年5月、米国の商務長官ゲーリー・ロックと米国エネルギー省長官スティーヴン・チューは、電力、情報技術産業と、その経営陣が彼らの責任を表明した他の産業からほぼ70人の経営陣の会議の議長を務めた。

スマートグリッド相互運用性標準のための文書であるNISTフレームワークとロードマップリリース1.0は、NIST計画の最初のフェーズのアウトプットである。

この文書は、スマートグリッドの高水準な概念参照モデルを記述し、スマートグリッドの進行中の開発に適用できる（または適用できそうな）75の標準を確認して、新規か改定された標準の15の早急な対処が必要なギャップと調和化問題（サイバーセキュリティを含む）のために、積極的なスケジュールで行動計画を文書化したものである。それによって、指定の標準設定委員会（SSO_s）は、それらのギャップを特定し、スマートグリッド・サイバーセキュリティを確実にするのを助けるための要求と標準を確立するための戦略を記述する。この文書は、スマートグリッド利害関係者と一般大衆の広い層を巻き込んだオープンな公的プロセスを通じて作られた。2009年4月、5月と8月にインプットは、3つの公的なワークショップを通じて提供された。そこにおいて、何百もの組織を代表している1,500人以上の個人が参加した。NISTも、スマートグリッド相互運用性のために国家的コーディネータのオフィスによって実行された大きな支援を通じて、利害関係者と協議した。このレポートの草案は、2009年11月9日に終わった30日間のパブリックコメントとレビューを経て作成された。受け取られたすべてのコメントは、このレポートの準備の間に考慮された。

レポートに含まれるキーとなる要素の概要

スマートグリッド概念参照モデル

スマートグリッドは、その主な構成ブロックの共通理解とそれらがどう相互関係するかの共通理解が広く共有されなければならないシステムの複雑システムである。NISTは、この共有された視点を容易にするために、この文書に示された概念参照モデルを開発した。このモデルは、仕様ケースを分析して、相互運用性標準が必要であるインターフェースを特定し、サイバーセキュリティ戦略の開発を容易にする手段を提供する。第3章で述べる様に、NISTスマートグリッド概念参照モデルは、7つの領域を特定する。それらは、大規模発電、伝送、配電、市場、業務、サービスプロバイダーと顧客である。モデルは、領域とアクターの間でインターフェースを特定する。モデルは、情報の交換を必要としているアプリケーションを含み、そのための相互運用性が必要である。この文書で記述されるスマートグリッド概念参照モデルは、利害関係者に対してオープンプロセスを提供し、インプットの提供に参加し、スマートグリッドのための進行中の標準の開発の共同、加速、調和においてNISTと協働し、インプットを与えるために2009年11月16日に設立されたスマートグリッドアーキテクチャー委員会、スマートグリッド相互運用性パネルの代表委員会の後援の下で、さらに開発される予定である。

標準化のための優先順位

スマートグリッドは、最終的には、何百もの標準、仕様と必要条件を決定しなければならない。いくつかのものは、他のものより緊急性がある。その仕事を優先させるために、NISTは、まず最初に、連邦エネルギー規制委員会（FERC）において特定された優先事項の標準とNISTによって特定された追加領域に的を絞った。8つの優先領域は以下の通りです。

- ① 需要応対と消費者エネルギー効率
- ② 広域の状況認識
- ③ エネルギー貯蓄
- ④ 送電
- ⑤ 先端的なメーターインフラ
- ⑥ 送電ネットワーク管理
- ⑦ サイバーセキュリティ
- ⑧ ネットワーク通信

実施のために確認された標準

利害関係者のインプットとNISTの技術的な判断に基づいて、NISTスマートグリッドフレームワークとロードマップのこの最初の発表は、スマートグリッドの進行中の事業にすぐ適用あるいは適用できそうな75の標準、仕様あるいはガイドラインを特定した。このレポートには合計2つの

セットがある。25の標準、仕様、ガイドラインの最初のセットは、3回のレビューとコメントの成果である。追加の50の標準のセットは、3回と4回のレビューとコメントの間に受け取られた利害関係者の提言に基づいて作成された。2つのセットの中に含まれる標準のいくつかは、すでに完成しているが、他は、スマートグリッドアプリケーションと要求を調整するために改正が必要であり、さらにその他に関しては、ドラフト段階であり、まだ一般公開されていない。スマートグリッド相互運用性に対するNISTの計画の第一段階の間に出来た優先アクションプランの一部として、開発においてまだ改定と草案の標準を必要としている標準候補は、さらなるレビューとコンセンサスが必要である。全体的には、これら75の標準は、最終的に、相互運用的であり、エンドツーエンドな安全でセキュアなスマートグリッドを構築するために必要な全体の標準の部分集合である。NISTは、スマートグリッド相互運用性標準の評価を助ける基準を開発した。基準のすべてが、このレポートで確認される個々の標準に適用できるわけではない。従って、決定は、適用できる基準のすべてを考慮した累積的な評価に基づく。しかし、一般のルールとして、NISTはスマートグリッド相互運用性標準は、オープンであるべきと信じている。これは、つぎのことを意味している。すべての適切かつ具体的に影響を与える集団の参加に対してオープンであり、1つの組織あるいは組織集団によって支配あるいはコントロールされない協働的かつコンセンサスドリブンなプロセスを経て開発・維持されなければならない。重要なこととして、このプロセスから生まれた標準は、スマートグリッド適用のためにすべてが、すぐに合理的に利用可能でなければならない。その上、実際的な場合はいつでも、スマートグリッド相互運用性標準は国際的に開発実施されるべきである。この文書の目的として、次のことが注意されなければならない。つまり、NISTは、そのために、標準、仕様、ユーザ要求、ガイドライン、その他類似物を開発する組織や集団の広い宇宙を表すために、標準（あるいは仕様）設定機関（SSO）という語彙を使っている。例えば、公認のプロセスによって標準を開発する開発組織は、SSOの傘下に含まれる。

優先アクションプラン

NISTワークショップを通じて、NISTは、多くの有用な標準がスマートグリッドの必要条件を満たすように実施される前に、それらが改訂や強化なされなければならないと考えている。その上、利害関係者は、開発されるべきまったく新しい標準に要求されるギャップを確認した。全部で、そのようなギャップや関連する課題が70確認された。それらの内、NISTは、スマートグリッド優先領域の1つかそれ以上をサポートすることが緊急に必要な15の課題を選択した。それぞれに対して、行動計画が作成された。これらの優先行動計画は、指定された調達可能なもので定義されたタスクを遂行するのに同意した組織を特定した。それぞれに、積極的なマイルストーンが決められた（あるものは、2009年に完了し、他のものは2010年内に完了が計画された）。1つの行動計画は、すでに完了し、実質的な進歩は、他のマイルストーンに合うようになされた。

優先的アクション

スマートメーター改良標準化（完了）、価格と製品定義のための共通仕様（2010年初頭）、エネルギー取引のための共通計画メカニズム（2010年初頭）、配電グリッド管理のための共通情報モデル（2010年の終わり）、標準需要応対信号（2010年初頭）、エネルギー使用情報のための標準（2010年中頃）、IEC61850オブジェクトへのDNP3マッピング（2010年）、IEC61850とIEEE C37.118との同期と正確な時間的調和化（2010年中頃）、送電・配電の電力システムモデルマッピング（2010年年末）、スマートグリッドのIPプロトコルスーツの利用のためのガイドライン（2010年中頃）、スマートグリッドの無線コミュニケーションの利用のためのガイドライン（2010年中頃）、エネルギー蓄積相互運用性ガイドライン（2010年中頃）、プラグイン電気自動車をサポートする相互運用性標準（2010年末）、標準メーターデータプロファイル（2010年末）、家庭の機器間通信のための調和化された電力線キャリア標準（2010年末）

サイバーセキュリティ

スマートグリッドのサイバーセキュリティを確保することは、最優先事項である。

このゴールを達成するためには、アーキテクチャ上にセキュリティを取り入れることが必要である。民間と公共部門からのほぼ300人の参加者からなるNIST率いるサイバーセキュリティ調整タスクグループは、スマートグリッドに対するサイバーセキュリティ戦略とサイバーセキュリティ要件の開発を導いている。タスクグループは、使用ケースとサイバーセキュリティの考慮を同一視している；危険、脆弱性、脅威と影響の評価；プライバシー影響評価の実行；研究開発トピックの特定；スマートグリッド概念参照モデルにリンクしたセキュリティアーキテクチャの開発；そして十分な保護を提供するセキュリティ要件を文書化し改訂する等である。タスクグループの仕事は、現在までこの文書にまとめられ、スマートグリッド文書と呼ばれる仲間に含まれる。DRAFT

NISTIR7628スマートグリッドサイバーセキュリティ戦略と要件が2009年9月25日に立案された。この草案は一般のチェックの期間を経て、2009年12月1日に終了した。コメントを入れ、新しいタスクグループのインプットを含む草案は、2010年前半に出版される。このサイバーセキュリティ文書は、また一般のチェックとコメントを受ける。

次のステップ

この文書で記述される参照モデル、標準、ギャップと行動計画は、安全で相互運用性をもつスマートグリッドに対する最初の基盤を提供する。これらのアウトプットは、参加型のワークショップ、オンラインセミナー、草案文書や標準の予備リストの形式的な公的チェック、広範なNIST援助活動を通じた、コンセンサスの結果である。これらの努力はスマートグリッドの利害関係者の広範なコミュニティを動員し、開始され、現在20以上の標準設定組織に渡って展開されている標準化運動を促進している。EISAの下で、連邦エネルギー規制委員会（FERC）は、ルール作りの進行

を組織し、一度十分な合意が得られたなら、電力の州間伝送や地域の電力卸売市場におけるスマートグリッドの機能性や相互運用性を確保するのに必要な標準とプロトコルを採用することに責任を負っている。この最初のフレームワークにリストされる標準の全てが、この時の監査機関によって採用されるために必要であるというわけではない。リストされる個々の標準のいくつかは、形式的な標準設定組織内での特定の改訂や開発が必要である。さらに、リストされたいくつかの基礎的標準と仕様は、すでに任意に広く業界でつかわれている。そして、規制的な採用は不必要であるかもしれない。NISTは、規制的目的のために彼らの評価と潜在的利用を支援するために、個々の標準や仕様についての追加的な技術情報を提供する予定である。NIST計画の第2段階は、2009年11月に正式に開始された。それは、新たに設立されたスマートグリッド相互運用性パネル（SGIP）の下で、正式なものにされている進行中の組織と合意プロセスを含む。SGIPは、フレームワークの継続的な進化を支えるためにより永続的な組織構造を与えるパブリック・プライベート・パートナーシップ（PPP）である。SGIPが設立された2009年12月中旬までに、SGIPの会員数は、22の利害関係者カテゴリーに分けられた400の組織を上回った。NISTの計画の目的は、進歩的に、スマートグリッドの革新のサイクルを支え、かつ我々の経済を転換するのを助ける強力な“埋め込まれた”標準化プロセスを作成することである。特に標準—あるいは標準の欠如—が将来の技術開発と普及のコース、産業の成長と競争力とに強く影響を与える初期のフェーズでは、結果のプロセスは、技術ベースの市場での開発・展開される標準にたいしての新しい協働方法と媒体をリードする。連邦法の産物ではあるが、NISTとスマートグリッド利害関係者が構築している共同標準化プロセスは、すべての州、地域や彼らの規制機関と効率的に協力しなければならない。多くの州や彼らの公益事業委員は、スマートグリッド関連のプロジェクトを追求している。例えば、多くの州では、風力、太陽光、他の再生可能エネルギー資源によって供給される電力の比率に関する目標を設定する再生可能ポートフォリオの標準を設けている。最終的には、州や地域プロジェクトは、システムのシステムであるスマートグリッドの完全に機能する要素に収れんしていく。NISTフレームワークとロードマップの下で開発された相互運用性とサイバーセキュリティ標準は、国の電力網の近代化における州の役割を支援するべきである。スマートグリッド装置やシステムの一致試験と認証にたいする頑健なフレームワークは、相互運用性とサイバーセキュリティを担保するNISTの第3フェーズ計画の第3フェーズとして確立される。一致試験と認証の重要性の認識において、SGIPは恒久的な試験と認証委員会を含む。SGIPとその運営委員会で、NISTは利害関係者とのコンサルテーションにおいて、そのようなフレームワークに対する計画策定を開始した。またNISTは2010年に実施ステップを開始する。

第3章 概念参照モデル

3.1 概要

この章に示される概念参照モデルは、スマートグリッドを構成する相互接続された多様な拡大しているネットワークの集合の計画と組織を支える。この目的のために、表3-1で記述され、図3-1で視覚的に示されるように、NISTはスマートグリッドを7つの領域に分割するアプローチを採用した。それぞれの領域—その下位領域—は、スマートグリッド・アクターとアプリケーションを結びつける。アクターはアプリケーションを実行するのに必要な情報交換と意思決定する装置、システムまたはプログラムを含む：スマートメータ、太陽光発電機、制御システムは、装置とシステムの例である。他方、対応するアプリケーションは、ホーム・オートメーション、太陽光発電装置、エネルギー貯蓄、エネルギー管理である。アベンディックスでは7つのスマートグリッド領域を更に詳細に記述する。それは、アクター内と間の相互作用の型と範囲を例示することを目的とする領域特定ダイアグラムを含む。

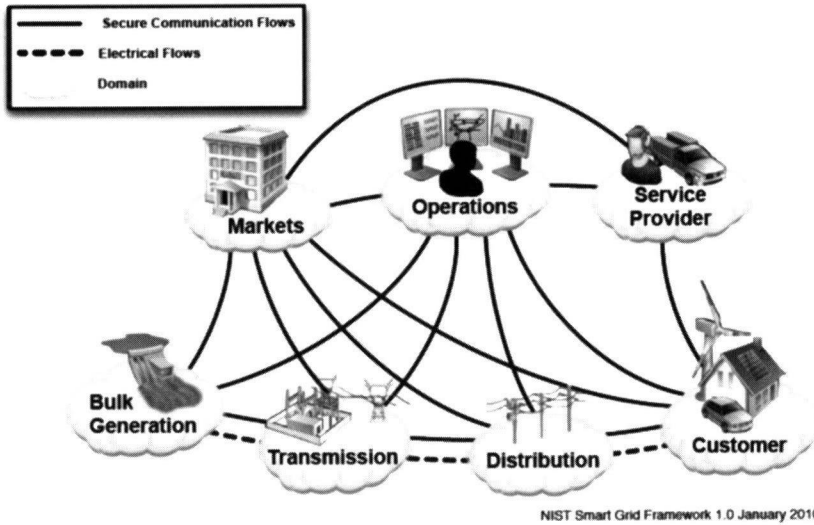
一般的に、同じ領域のアクターには、類似した目的がある。スマートグリッド機能を可能にするために、図3-1に示すように、特定領域のアクターは他の領域のアクターと相互作用する。しかし、同じ領域内での通信は、かならずしも類似した特徴や要件をもっているとはかぎらない。さらに、特定領域は他の領域の要素を含んでいるかもしれない。例えば、北米の10の独立したシステムオペレータと地域伝送組織（ISOs/RTOs）は、市場と運用領域の両方にアクターを持っている。同

表3-1 スマートグリッド概念モデルにおける領域とアクター

Table 3-1. Domains and Actors in the Smart Grid Conceptual Model

Domain	Actors in the Domain
Customers	The end users of electricity. May also generate, store, and manage the use of energy. Traditionally, three customer types are discussed, each with its own domain: residential, commercial, and industrial.
Markets	The operators and participants in electricity markets.
Service Providers	The organizations providing services to electrical customers and utilities.
Operations	The managers of the movement of electricity.
Bulk Generation	The generators of electricity in bulk quantities. May also store energy for later distribution.
Transmission	The carriers of bulk electricity over long distances. May also store and generate electricity.
Distribution	The distributors of electricity to and from customers. May also store and generate electricity.

図 3-1 安全な通信フローと電気フローを通る異なるスマートグリッド内のアクターの相互作用

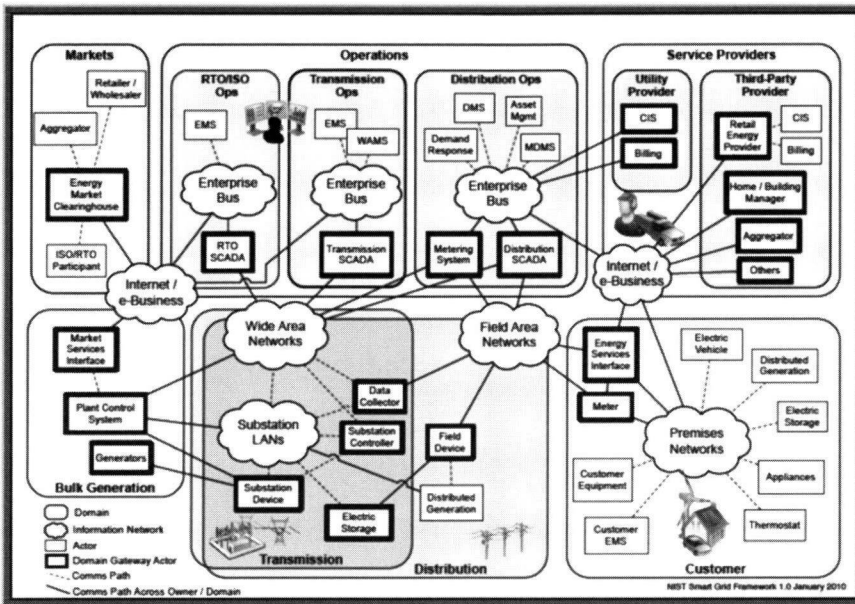


様に、配電公益事業体は配電領域内には完全に含まれない—それは配電管理のように運用領域に、メータのように顧客領域にアクターを含む。概念モデルは、各種のアクターやアプリケーションに、またそれらの相互作用に、適用する政策と要件を含む法律的な規制のフレームワークである。連邦レベルの連邦エネルギー規制委員会、国と地域レベルの公共事業委員会によって採用された諸規制は、スマートグリッドの多くの側面を支配している。そのような諸規制は、電気料金が公平で合理的であり、セキュリティ、信頼性、安全性、プライバシーや他の公共政策要件が満たされていることを保証することを目的としている。スマートグリッドへの移行は、新しい規制概念を導入する。それは司法上の境界を超え、連邦、州、地元の議員や規制当局間のさらなる調整を必要とする。概念モデルは、法律的・規制的フレームワークと一致し、時間とともにその進化を支えなければならない。フレームワークで確認される標準とプロトコルは、既存のまた新しく出てくる規制対象と責任とに整合しなければならない。概念モデルは、規制当局があらゆるレベルで、国の電力基盤を近代化し、経営目的に沿いながら、クリーンエネルギー経済を構築することへの投資を動機づける公共政策のゴールをいかにうまく達成するべきかについての判断をする際に役に立つツールであることを意図している。

3.2 概念モデルの記述

ここで記述される概念モデルは、高水準かつすべてにかかわる展望を与える。それは、スマートグリッドの可能なパスやアクターを確認する道具であるだけでなく、潜在的なイントラかつインター領域の相互作用とこれらの相互作用によって可能になる潜在的なアプリケーションと能力を確認するための有用な方法である。図 3-1、3-2 で示される概念モデルは、分析における支援を

図 3-2 スマートグリッド情報ネットワークに対する概念参照ダイアグラム



目的にしている。しかし、それは解決やその実施を定義するデザインダイアグラムではない。言い換えると、概念モデルは記述的であって規範的ではない。それは、スマートグリッドの操作上の複雑性の理解を促進することを意味しており、いかにスマートグリッドが実施されるかを定めてはいない。

領域：

7つのスマートグリッド領域のそれぞれは（表3-1）、同様な目的を持ち、同様な型のアプリケーションに依存あるいは参加している組織、建物、個人、システム、あるいは他のアクターの高水準な集合である。同じ領域に属するアクター間の通信は同様な性格と要求を持っている。領域はサブ領域を持つ。さらに、領域は、伝送・配電領域のケースにおけるように、多くの重なる機能を持つ。伝送・配電はネットワークを共有し、したがって、重なる領域として示される。

アクター：

アクターは、スマートグリッドの内に参加する装置、コンピュータシステム、ソフトウェアプログラム、あるいは個人や組織である。アクターは意思決定や他のアクターと通信する能力がある。組織は1つ以上の領域のアクターを持つ。ここに記述されているアクターは代表的な例であり、かならずしもスマートグリッドの全てのアクターを意味してはいない。それぞれのアクターはいくつもの異なる種類に存在し、実際それらの中に他のアクターを含んでいる。

ゲートウェーアクター：

他の領域あるいは他のネットワークのアクターとインターフェースをもつある領域のアクターで

ある。

ゲートウェーアクターは、いろいろな通信プロトコルを使う。従って、1つのゲートウェーアクターは同じ領域の他のアクターとは異なるプロトコルを使うかもしれないし、同時に多数のプロトコルを使うことも可能である。

情報ネットワーク：

通信ネットワークは、相互接続されたコンピュータ、通信装置、他の情報通信技術の集合である。ネットワークの技術は、情報を交換し、資源を共有する。スマートグリッドは、多くの異なる型のネットワークから成るが、ダイアグラムに全てがのっているわけではない。ネットワークは以下のものを含む：コントロールセンターアプリケーションを市場、発電に接続するエンタープライズバス、地理的に離れているサイトをつなぐワイドエリアネットワーク、遮断機とトランスを制御するインテリジェント電子装置（IEDs）のような装置をつなぐフィールドエリアネットワーク；そして、顧客領域内の公益事業ネットワークと同様に顧客ネットワークを含む構内ネットワーク。これらのネットワークは、公共（例えばインターネット）と民間のネットワークを組み合わせられて実装される。公共と民間の両ネットワークは、スマートグリッドをサポートするために適切なセキュリティとアクセス制御の実行と実装を要求している。公共のネットワークを通じて通信がどこへ行くかの例を次に示す：第三者のプロバイダーへの顧客、グリッドオペレーターへの発電、グリッドオペレーターへの市場、公共事業への第三者プロバイダー。

情報経路：

アクター間あるいはアクターとネットワーク間のデータの論理的交換を示す。セキュアな通信は、図にはっきりとは示されず、第6章でもっと詳細に述べられる。

3.3 スマートグリッド情報ネットワークモデル

図3-2は領域内と領域間の多くの通信路を示す。現在では、いろいろな機能は独立して、しばしば専用のネットワークでサポートされている。例としては、ネットワークレイヤープロトコルのIPファミリー上で典型的に構築されている企業データとビジネスネットワークから専門プロトコルを利用しているスーパーバイザリーコントロール・データ収集システム（SCADA）に渡っている。しかし、発電・配電、電力消費のコントロールとマネジメントを広範囲に改善するというスマートグリッドの目的を完全に実現するために、情報ネットワーク相互運用性の現在の状況は、情報がスマートグリッド内の種々のアクター間で安全に流れるように改善されなければならない。以下のセクションでは、スマートグリッド間のネットワーク相互運用性のこのビジョンを支援するために対処すべき未解決問題のいくつかを議論する。スマートグリッドは、システムのシステムであるばかりでなく、情報ネットワークのネットワークであるならば、それぞれのサブネットワークに対するネットワークと通信要件の徹底的な解析を必要とする。この解析は、異なるスマートグリッドア

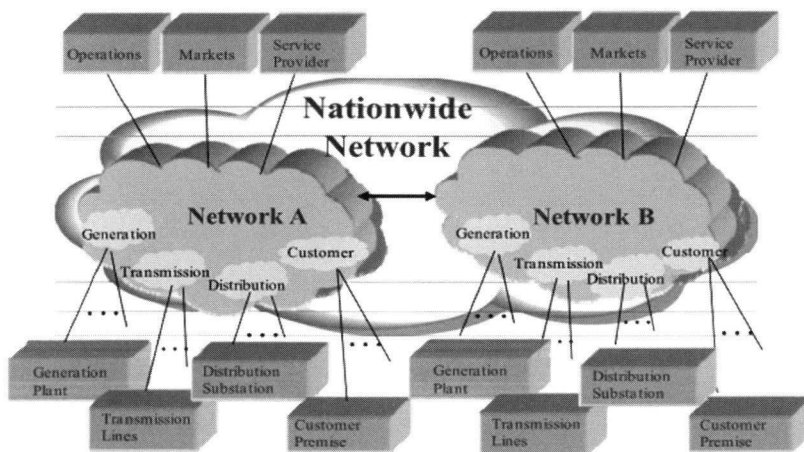
アプリケーション、アクターと領域に関係する要件の間で差異を認めなければならない。この解析の1つの構成要素は、各々のネットワークのインターフェイスと守秘性、完全性、有効性のセキュリティの脆弱性の影響レベル（低いか、中程度か高いか）に関連したセキュリティ制約と課題を特定することである。この情報は、セキュリティ要件の選択と作りこみに関するスマートグリッド・サイバーセキュリティ調整タスクグループ（CSCTG）によって使われている。

（第6章をみよ。）

3.3.1 情報ネットワーク

スマートグリッドはネットワークのネットワークであるとともに、多くのシステムとサブシステムのネットワークである。つまり、いろいろな所有権と管理境界を持つ多くのシステムは、利害関係者間とインテリジェント装置間のエンドツーエンドのサービスを提供するために結合される。図3-3は、スマートグリッドのための情報ネットワークに対する高水準なビジョンである。雲は、図3-3で長方形の箱で示される7つの異なる領域のネットワークの終点間の双方向通信を担うネットワークを示している。図3-3の一番奥の雲で示すように、各々の領域は、ユニークな分散コンピューティング環境で、領域に対する特別な通信要件を満たすために、それ自身のサブネットワークを持っている。各々のネットワーク内で、家庭内ネットワーク、パーソナルエリアネットワーク、無線アクセスネットワーク、構内ネットワーク、広域ネットワークのようなネットワーク技術からなる階層構造が実装されている。スマートグリッドの機能要件に基づいて、ネットワークは、アプリケーションが誰と何処で相互接続されるかに関する適切なマネジメントコントロールとともに、情報ネットワーク上で特定の領域のアプリケーションが任意の他の領域のアプリケーションと通信を可能にする能力を与えなければならない。セキュリティは、スマートグリッド情報、コ

図3-3 情報交換のためのスマートグリッドネットワーク



ントロールシステム、関連する情報システムの守秘性、完全性、有効性が適切に保護されることの保証を要求する。

スマートグリッドは、多様な情報技術、テレコミュニケーション、エネルギーセクターからのネットワークを含むので、1つのネットワークの脆弱性が他の相互接続されたシステムのセキュリティの脆弱性を許すことがないようにしなければならない。セキュリティの脆弱性は、電気網全体の有効性と信頼性に影響する。加えて、それは、情報完全性と関連するすべてのシステム上の有効性に影響する。CSCTGは、現在、守秘性、完全性、有効性の欠如の影響を決定するためにスマートグリッド論理インターフェースを評価している。目的は、セキュリティ侵害の申し出のリスクを減らすために、セキュリティ要件を選択することである。各々の領域の装置とアプリケーションはネットワークの終点である。顧客領域のアプリケーションと装置の例は、スマートメーター、サーモスタット、エネルギー貯蓄、電気自動車、分散発電を含む。伝送・配電領域のアプリケーションと装置は、伝送線サブステーションの位相ベクトル測定装置（PMUs）、分散発電、エネルギー蓄積を含む。オペレーション領域のアプリケーションと装置は、SCADAシステムとオペレーションセンターのコンピュータあるいはディスプレイシステムを含む。運用、市場、サービスプロバイダー領域の運用は、ウェブとビジネス情報処理の運用と類似している。従って、これらのネットワーク機能は、通常の情報処理ネットワークと区別できない。従って、独自のクラウドは例示できない。この情報ネットワークは複数の相互接続されたネットワークからなり、図3-3では2つのバックボーンネットワーク、AとBで示される。これらの各々は、電力事業あるいは電力サービスのサービス領域のネットワークを意味する。これらのネットワーク間・内の物理的・論理的リンクとネットワーク終点へのリンクは、現在利用できるどんな適切な通信技術あるいは将来開発され標準化される通信技術も使える。図3-3がスマートグリッドコントロールと情報交換をサポートしているネットワークに対するビジョンを表していることに注意すべきである。さらなる情報ネットワーク要件は以下のことを含む：ネットワーク管理機能、ネットワーク活動性、ネットワーク装置、さらに、状況監視、誤り発見・隔離・回復を含む；これにつけられている装置やネットワーク内の要素を一意的に確認し番地付ける能力；全てのネットワーク終点への経路を確保する能力；異なる帯域と異なる潜在性をもつ広範囲のアプリケーションと損失要件に対するサービスの質のサポート。

3.3.2 スマートグリッド情報システムとコントロールシステムネットワークに対するセキュリティ

多くの所有者をもつ多くのネットワークを通るスマートグリッドの情報とコントロールフローのために、それぞれのネットワークに沿う情報とコントロールを保護することは重要である。このことは、侵入の危険を減らし、同時に適切な利害関係者へのアクセスを許すことを意味する。

スマートグリッドの情報とコントロールのネットワークに対するセキュリティは次の要件を含

む：装置とシステム内のあるいは移動中のスマートグリッド情報とコマンドを守るためのセキュリティポリシー、手順、プロトコル；インフラストラクチャ要素と相互接続されたネットワークを守るためのセキュリティポリシー、手順、プロトコルとコントロール。

スマートグリッドサイバーセキュリティ戦略の全体は、第6章に含まれる。

3.3.3 IPベースのネットワーク

スマートグリッド利害関係者の間で、次の広くいきわたった期待がある。つまり、インターネットプロトコル（IP）ベースのネットワークは、スマートグリッド情報ネットワークのカギとなる要素である。IPが全てのスマートグリッド通信要件を満たしていないので、それを重要なスマートグリッド技術にするいくつかの面がある。IPベースのネットワークを使う利点は、多くのIP標準の成熟さとスマートグリッドに適用可能な道具とアプリケーションの利便性、公的・民間のネットワークの両方で広く使われているIP技術にある。加えて、IP技術はアプリケーションと通信媒体の間の架け橋として用いられる。それらは、アプリケーションが通信インフラや使われている種々の通信技術から独立に開発されることおよびそれらが無線有線を問わず開発されることが必要である。さらに、IPベースのネットワークは、アプリケーション間の帯域の共有を可能にし、動的ルーティング能力を持ち信頼性を向上させた。独自のサービスの品質要求（例えば、最小アクセス遅れ、最大パケット損失、最小帯域制限）を持つスマートグリッドアプリケーションに対して、多重プロトコルラベルスイッチング（MPLS）のような他の技術が専用の資源の供給に対して使用される。計画によるIPベースのネットワークは容易にスケーラブルである；スマートメーター、スマートホーム機器、近隣のデータ収集器などのようなどんな新しいスマートグリッド装置もネットワークに追加可能である。スマートグリッドに対するIPベースのネットワークが拡大するにつれて、これらの装置を一意に特定するためにIPネットワークに必要なアドレスの数とともに、ネットワークに接続される装置の数が大幅に増える。IP v4アドレスの利用可能プールが間もなく枯渇する事実は、慎重に考慮されるべきである。たとえIPアドレスへの翻訳/マッピングと連携した代替的なアドレス指定スキームがうまくいったとしても、我々は開発され展開されるべき新しいシステムのためにIP v6の使用を奨励する。IP v6は、特にアドレス空間の課題を解決し、IPネットワークに対して強化を与えるために開発された。スマートグリッド要件のそれぞれのセットのために、IPが適切かどうか、サイバーセキュリティと望ましいパフォーマンス特性が担保されているかどうかを決めるために分析が必要である。スマートグリッド環境におけるIPネットワークの正しいオペレーションのために、プロトコルのセットはインターネット技術調査委員会（IETF）（一般にはコメント要求（RFCs）と呼ばれている）によって定義された標準に基づいて確認され開発されるべきである。RFCsの必要なセットの定義は、スマートグリッドアプリケーションのためにまだ完全に決定されていないネットワーク要件によって述べられる。スマートグリッドアプリケーション内で相

互接続される多数の装置やシステムや異質性が所与なら、複数のIPプロトコルセットが広い範囲のネットワーク要件を満たすために必要である。加えて、IP上のスマートグリッドアプリケーション特有のデータトラフィックのパケット化に加えて、スマートグリッドアプリケーションの開始とスマートグリッド接続の確立と管理のためにプロトコルとガイドラインが開発されなければならない。

3.3.4 スマートグリッドと公共インターネットセキュリティ懸念

スマートグリッドの利点の1つは、多くの領域内でのエネルギーの提供と消費のより良い管理を可能にする点である。多くのスマートグリッド使用ケースは、いかに公共事業が家庭のエネルギー消費のコントロールと管理を消費者といっしょにうまくやるかを述べている。この機能を可能にするために、公共事業と消費者の間で情報をいききさせる。消費者側（例えば、家庭内）でのスマートグリッドネットワークと公共インターネット接続の存在は、セキュリティを避けて通れない。公共事業の管理情報あるいは第三者事業者からの情報に潜在的にアクセスをもつ消費者には、電力網を管理する公共事業管理システムへのアクセスを遮断するセーフガードが必要である。これらのセキュリティリスクは第6章で記述されるCSCTGによって評価されている。

3.3.5 スマートグリッド通信インフラのための標準化技術

スマートグリッド情報ネットワークを支える多くの成熟技術がある。スマートグリッドアプリケーション支援のために決められたネットワーク要件は使える通信技術の選択のガイドをする。物理的なネットワークインフラに適した標準はリストアップするには多すぎ、電気通信産業ソリューションのためのアライアンス（ATIS）、GSM協会（GMSA）、電気電子工学標準化協会の機関（IEEE-SA）、電気通信産業協会（TIA）、第3世代パートナーシッププロジェクト（3GPP）、第3世代パートナーシッププロジェクト2（3GPP2）、IETFなどによる標準を含む。

3.4 使用ケース概要

概念参照モデルは、使用ケースを構成するのに有用なツールを提供する。使用ケースはアクターが特定のゴールを完了するためのシステムを使っている時に、スマートグリッドアクターとシステムとの相互作用を記述する。使用ケースは“ブラックボックス”と“ホワイトボックス”とに分かれる。ブラックボックスの種類は、目標を達成するための使用者/システム相互作用と機能要件を記述する、しかし実施者へのシステムの内部作業の詳細は述べていない。一方、ホワイトボックス使用ケースもまた、相互作用と関連する要件に加えて、システムの内部の詳細を記述し、従って、実施者に内部システム計画の変更を許さないのが処方箋的である。この相互運用性標準フレームワークとロードマップのために、スマートグリッド内でいかにシステムが相互作用するのかを記述するブラックボックス使用ケースに焦点がいく。特定の解の詳細を記述するホワイトボックス使用ケースが処方箋的であるゆえ、それらはフレームワークによってカバーされず、製作側の利害関

係者に任される。ブラックボックス使用ケースへの注視点はスマートグリッドアプリケーションにおける最大のイノベーションを許し、展開されているスマートグリッド内でのそれらの準備的展開と相互運用性を保証することである。個々にも集会的にも、これらの使用ケースはグリッド要件に対する企業内エネルギー管理あるいは予防保全のように、機能の特定領域に対する相互運用性要件を洗い出す時に助けになる。利害関係者の視点とアプリケーション領域の多様性から見ると、多様な使用ケースからアクターの結びつきと相互作用は、スマートグリッドが、図3-2で例示されたように、領域内と領域間での取引関係の集合であるとみることを許す。すでに多くのスマートグリッドインター・イントラ領域使用ケースは、開発されており、その数は、益々多くなる。また既存の使用ケースの全体の眺望は、“グリッドワイズ・アーキテクチャ・カウンセル・相互接続性コンテキストセッティング・フレームワークの中で記述されているように、サイバーセキュリティ、ネットワーク管理、データ管理、アプリケーション統合を含む横断的要件をカバーしている。ブラックボックス使用ケースとインターフェース要件の開発は、第2回のNISTスマートグリッド相互接続性標準の公共ワークショップ（2009年5月19-20）での主要な活動であった。それには、6000人以上が参加した。この活動は、6つのスマートグリッド機能に焦点を合わせた：広域的な状況の認識、需要応対、エネルギー貯蓄、伝送、高度メータインフラ、分散網管理。横断的なサイバーセキュリティタスクグループは、優先分野で使用ケースを使用し、それらに加えて、補足的に優先分野使用ケースを開発している。使用ケースの詳細はNISTスマートグリッド共同Webサイト上にある。

3.5 消費者領域へのスマートグリッドインターフェース

スマートグリッドと顧客領域との間のインターフェースは特に重要である。それは、消費者へのスマートグリッドの最も良く見える部分になる。概念参照モデル（図3-2を参照）は、顧客領域へのインターフェースを与える2つの異なる要素を描く：メータとエネルギーサービスインターフェース（ESI）、それは顧客宅内ネットワークへのゲートウェーとして機能する。電力使用を測定し、記録し、通信するのはこれらのインターフェースを通じてである；サービス提供と保全機能がある（サービスの遠隔接続・切断のような）；価格付けや需要応対のシグナリングが起こる。今は想像できないが、新しい革新的なエネルギー関連サービスが開発され、スマートグリッドと顧客領域間のさらなるデータ流を要求する。拡張性と柔軟性は重要な考慮点である。インターフェースは温度計、温水器、機器、消費者家電、エネルギー管理システムのような、多様なエネルギー使用装置と制御器との互換性がないといけない。顧客領域での装置で使われる多様な通信技術と標準は、相互運用性を達成しなければならないという重要な挑戦を受けている。

3.5.1 メータとエネルギーサービスインターフェースとの違い

メータとESIは非常に異なる特徴と機能を持っている。メータとESIの論理的な分離は、参照モデルの非常に重要な前向きな側面である。メータの必須機能は、エネルギー使用の測定、記録、通信である；停電管理のための情報通信、サービスの接続・遮断のような自動化された供給・保全機能。メータはまた、分散電源や顧客の宅内の蓄電装置からグリッドに流れる電気を測定する。メータは歴史的に、数十年の耐用年数を持つように設計されており、レギュレータの原価保証期間は少なくとも数十年である。従って、一度メータが設置されると、公共事業とのインターフェースとして非常に長期間に亘って残る。メータは公共事業者によって所有され、配電と顧客領域間のインターフェースになる。概念参照モデルでは、それが物理的にあるところなので顧客領域内に見られる。EISは、それを通じて顧客領域がエネルギーサービス提供者と相互作用する情報管理ゲートウェイとして機能する。サービス提供者は電気事業者であるかもしれないし、そうでないかもしれない。テキサス州などのいくつかの州では、サービス提供者が電気事業者と完全に別な会社であるように、市場が再構築されている。顧客は競合サービス提供者間で選択権を持っている。また、需要対応収集、エネルギー管理サービス、その他の提供物を提供する第3者サービス提供者がいるかもしれない。電話会社、ケーブル会社、または他の非伝統的な提供者は、エネルギー管理サービスをこれらの顧客に提供することを望むかもしれない。EISに関連する標準は、市場構造とサービスにおける革新を許容する柔軟性と拡張性を持っている必要がある。EISの基本機能は、需要対応信号（例えば、価格情報の通信、重大な電力ピーク期間信号）、宅内エネルギー管理システムあるいは宅内表示装置への消費エネルギー使用情報の提供などを含む。しかし、より高度なサービスの可能性は事実上無限であり、EIS関連の標準は、革新を妨げるより促進しなければならない。上で議論したように、サービス提供者とのEISインターフェースは、電力会社と同じでなくてもよい。EISとメータが論理的に異なる装置と見なせるなら、そしてもし、スマートグリッドビジョンを支持する拡張性と柔軟性が達成されるなら、このことは、メーカーがメータとEISを1つの物理的装置の中に入れることを妨げない。価格の面から、現在、多くのメータは1つの物理装置の中にEISとメータ機能を統合している。予想では、2つの機能の論理的な分離は、たとえ物理的に統合されていても、メータがスマートグリッドによって可能になるエネルギーサービスにおける革新への障害になることを避けることが重要である。

3.5.2 EISと家庭内ネットワーク

住居用の環境と商業/産業用の環境との違いの1つは、スマートグリッド通信内の相互運用性とセキュリティを達成するために建物内ネットワークで仮定される精巧化と顧客参加の度合いである。多くの家庭では、すでにコンピュータまたは家電機器を相互接続する1つ以上のデータネットワークを持っている。しかし、これは一般的な事実ではない。さらに、データネットワークを持つ

ている家でも、専門的知識を欠く消費者は、彼らのホームネットワーク上で通信するために、また衣類乾燥機のような機器を設定するために、お金と時間を使うことを望まない。彼らが、家庭内ネットワークとデータネットワークを設定する際的能力を持っていることを必要とせず、消費者がスマートグリッド対応の機器の省エネの利益を得るのを可能にすべきである。理想的には、消費者は例えば、スマートグリッド対応の衣類乾燥機を購入し、プラグを差し、Webポータルやフリーダイヤルの電話を通してそれを彼らのサービス提供者に届け、それが、電力価格情報やスマートグリッドから受け取れた他の需要対応信号に基づいて、“スマート”な機器が作動することを可能にするのに必要なことすべてであるべきである。消費者の過度の費用と複雑性を避けるために、EISはスマートグリッド対応機器と宅内の分離したデータネットワークのあるなしにかかわらず、通信出来なくてはならない。そして、そのような通信は、技術能力を必要としないで、“プラグアンドプレイ”かつ“自動設定”であるべきである。対処しなければならない他の課題は、家電商品や機器のメーカーが、国内の他の地域のスマートグリッドとの互換性をもつ費用対効果的な量産型製品へ転換することである。EISAはこの課題に対してもガイドラインを提供している。法律のセクション1305は、スマートグリッド相互運用性フレームワークは、次のことを考慮して計画されるべきだと提言している。つまり、“消費者の選択と適用可能な州と連邦の法律に適合した、および送電線網緊急事態と需要対応信号への応答能力を持って生産された、家庭やビジネスのためのあるクラスの大量生産された電気機器や設備に対する自発的な均一な標準が使用されるべきである。”またEISは、“そのような自主基準は適切な製造リードタイムを伴っている”ことを提言している。住居環境において使用される多くの無線・有線の物理的なデータ通信インターフェースがある。そして将来、それらがさらに増えていく。大量生産された機器と家電装置は、その装置上では単にいくつかのインターフェースに対応しているのみである。柔軟性を最大にしてコストを最小化するために、EISは、3.3.5で議論し、第4章の表4-1と4-2でリストしたものから選択された広く使われているデータ通信標準の定義されたサブセットを、少なくとも支持すべきである。機器メーカーは、この最小サブセットから選び、別のアダプターなしで殆どの環境で相互運用性を担保すべきである。あまり広く使われていない付加的なインターフェースは、アダプターでサポートされる。多くの消費者とビジネスは複合施設に置かれている。EISによってサポートされているどのようなデータ通信インターフェースにでも、互いにインターフェースを持たないで宅内で使用される他のデータ通信技術と共存可能であるべきである。EISのネットワーク層プロトコルとしてのIPの使用は、EISと家庭内の機器や他のエネルギー使用装置との相互運用性を達成するための費用対効果が高い解を提供する。さらに、EISによってサポートされるインターフェースの最小セットの定義は、いくつかのメーカーによって計画されたように、2011年の末には機器産業と他の産業がスマートグリッド対応の製品を提供できるように、2010年の初頭に新優先行動プランでスマートグリッ

ト相互運用性パネルによって目標設定される。

参考文献

1. アクセンチュア（１）[2011] 「スマートグリッド」
<http://www.accenture.com/jp-ja/landing-pages/Pages/smartgrid.aspx>
2. アクセンチュア（２）「スマートグリッドの紹介」
https://accenture.t-mark.com/im_contact/download_form/done/ent_id/fb8424d824117f6bddbd2b5f3298809673f641ec229f2c37ed3ce0d629f6f67c/fid/c2ae4c7d09b6fd2f1d873de0d4d58c426bf21ded47fd2b977289d41e073c7e8b
3. 米国エネルギー情報局 [2009].
4. ITpro「電力について知っておくべきこと」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110819/365943/?k2>
5. 環境ビジネス「スマートグリッド（次世代送電網）」
http://www.kankyo-business.jp/topix/smartgrid_01.html
6. 経済産業省 [2007]、資源エネルギー庁、エネルギー白書 2007年版
7. 経済産業省 [2009]、資源エネルギー庁、パンフレット、日本のエネルギー 2008
「電力のの変化とその対応（2009.07.07）」
<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data1013.html>
8. Luigi Coppolino, Salvatore D'Antonio, Ivano Alessandro Elia, and Luigi Romano "Security Analysis of Smart Grid Data Collection Technologies", in Francesco Flammini, Sandro Bologna, and Valeria Vittorini(Eds.) *Computer Safety, Reliability, and Security*, 30th International Conference, SAFECOMP 2011, Naples, Italy, September 2011, Proceeding.
9. 日刊工業新聞 [2011]（１）、「スマートグリッドーインフラ再構築（中）広がる領域ー街と暮らし変える 2011年6月8日付1面」
<http://www.nikkan.co.jp/toku/smartglid/sg20110608-01-02ps.html>
10. 日刊工業新聞 [2011]（２）、「スマートグリッドーインフラ再構築（下）組み合わせ自在ー海外実証プロ着々、2011年6月9日付1面」
<http://www.nikkan.co.jp/toku/smartglid/sg20110609-01-03ps.html>
11. 日経BP（１）、「電力の仕組みはこうなっている」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20101026/353465/?ST=system>
12. 日経BP（２）、「電力を売買するーマーケット要素のコンポーネントー」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110620/361534/?k2>
13. 日経BP（３）、「電力に付随する情報やデータをやり取りするーオペレーション要素のコンポーネントー」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110517/360388/?k2>
14. 日経BP（４）、「日米で大きく違う発電源エネルギーー発電要素のコンポーネントー」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110819/366001/?ST=system&P=2>
15. 日経BP（５）、「計画停電で注目されるスマートグリッド」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110405/359095/?k2>
16. 日経産業新聞 [2011]、「虫がいい「太陽電池の審査導入」」、日経産業新聞、2011年9月1日、24面。
17. NIST [2010] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, NIST.

18. 横山明彦 [2010]、スマートグリッド、日本電気協会新聞部。