

日本経済政策学会中部部会OnLineワーキングペーパー

No 004

掲載決定日：2012年1月30日

家庭用ハイブリッド分散電源の開発と普及に関する政策

The Policy for the Development of Personal Hybrid Distributed Generators

水野雄一郎（南山大学経済学部）

<日本経済政策学会中部部会OnLineワーキングペーパー：推薦理由>

環境・エネルギー政策として、特に3.11以降、分散型電源やスマートグリッドへの関心が急速に高まっており、本論文は経済学的、経済政策的視点がやや薄いものの、たいへん時宜を得た意義深い研究である。

家庭用ハイブリッド分散電源の開発と普及に関する政策

The Policy for the Development of Personal Hybrid Distributed Generators

水野雄一郎（南山大学経済学部）*

要約

さまざまなエネルギー問題の中でスマートグリッドについて論じられることが多くなっているが、技術的にも政策的にも未解決の課題が多い。それらを検討したところ、多くの技術が蓄電技術の発展に依拠していることがわかった。その前提でスマートグリッド技術開発の優先順位および要否を検討する。さらに喫緊の電力事情に鑑み、可能な限り不確定な要素を排除した実現可能な技術を用いて電力問題に貢献する政策提言を行う。

Abstract

Although the Smart Grid is discussed in various energy problems, there are many unsolved political and technological problems. We have found that many technologies are depended on the development of electric storage technologies. This paper examines priority and necessity of the technical development of the Smart Grid. And, we propose a policy which uses a realizable technology and may resolve the electric power problems.

キーワード：スマートグリッド、蓄電技術、分散電源、補助金

Keywords: Smart Grid, electric storage, distributed generators, subsidy

JEL 区分: G18, H23, H25, L94

1. はじめに

エネルギー問題が与える影響は国の内外を問わず年々大きくなっている。ところがその影響範囲が政治や技術などさまざまな分野で相互に関連しているため、問題の本質が見えにくくなることがある。結果として1つ1つの政策や技術が適切なものであっても、全体として積み上げた場合に最適化されない場合も

* e-mail: d10ee001@nanzan-u.ac.jp

ある。そのためエネルギー問題を考える場合には常にそのドメイン(対象範囲)を明確に定義し、範囲外の問題に対しては直接影響を与えるのか、結果として影響を与えるのかを区別する必要がある。この点があいまいになると直接的な影響よりも結果的な影響が重視されるなどの問題が生じる。

本稿の議論に先立って最上位のドメインから対象を明確にしておく。エネルギー問題は次のように分類することができる。

- (1)一次エネルギーの安全保障
- (2)二次エネルギーの安定的・効率的供給
- (3)環境対策

(1)は主に地政学的リスクが与える影響である。資源の乏しい日本にとっては大きな課題であり、近年では資源ナショナリズムという言葉が使われるようになるなど、短期間で予測不能の事態に陥るリスクが高まっている。再生可能エネルギーの利用は代替エネルギー確保という点で一次エネルギーの安全保障における重要な課題であると考えられるが、近年では(3)の視点が強くなりすぎているように感じられる。

(2)は(1)の一次エネルギーが与える影響に対して調達側ではなく利用する側で効率を高め、代替技術を検討すべき部分である。これまでも二度のオイルショックを契機として省エネルギー化が進み、結果として(3)にもよい影響を与えている。

(3)はエネルギー利用の過程で発生する諸問題に関する対策である。以前は資源枯渇という(1)の点での問題が中心であったが、近年は負の外部性である環境破壊の問題が大きくなってきている。環境破壊にはエネルギー資源獲得の際に生じる乱開発やエネルギー利用による直接的な汚染物質排出などがあるが、現在は二酸化炭素排出による地球温暖化対策が中心となっている。二酸化炭素は汚染といった直接的な影響をほとんど与えないが、地球温暖化の一因と考えられており、対策が求められている。ただし地球温暖化はサイクル的な変動などの要因も挙げられており、温暖化ガスの影響範囲が特定されているわけではない。また環境破壊にはさまざまな要因があるにもかかわらず、問題の一部でしかない二酸化炭素の影響が極端に大きく取り上げられることで全体像が見えにくくなっている。

経済産業省[2010a]でも(1)と(3)が大きく取り上げられており、(2)は(1)や(3)と混在した状態で取り上げられている。そのため論点が不明瞭で今後の方向

性を示した具体的な政策として提言されておらず、個別の課題や政策が羅列されているにとどまっている。

本稿は(2)の二次エネルギーの安定的・効率的供給を主題として論点を整理する。それらの政策による結果として再生可能エネルギーや代替エネルギーの導入が進み、(1)や(3)によい影響を与えることも考えられるが、詳細に関して言及はしない。次節ではこの二次エネルギーの供給・利用のほぼ全体に影響を与えるスマートグリッドを検討する。

2. スマートグリッド関連技術の分類

スマートグリッドは特定の技術を表す言葉ではない。電力に関するさまざまな技術を積み上げることで実現できる概念を表しているため、その定義はあいまいである。経済産業省[2010a]は「電力需給両面での変化に対応し、電力利用の効率化を実現するために、情報通信技術を活用して効率的に需給バランスをとり、生活の快適さと電力の安定供給を実現する電力送配電網のこと」と定義している。IEC[2010]¹は「技術的定義の段階を終えて市場段階に入っており、何がスマートグリッドで何がスマートグリッドでないかを一般的に定義することができない」としているが、併せてETP[2010]²による定義として「供給者も消費者も電力ネットワークにつながるすべての人が理知的かつ統合的に行動し、電力の供給において効率的な送電・安定性・経済性・安全性を実現すること」と書いている。

これらの共通点をまとめるならば電力事業者も消費者も情報通信技術でつながっていること、安定して効率よく送電できることである。このように明確に定義できない概念を標準化することの是非はあるが、IECでは一定の範囲の技術に対してまず標準化を完結するというスタンスをとっている。

次に日本におけるスマートグリッドの問題を検討するため、横山他[2010]の7つの事業分野を使用する。これはIECによる標準化の原案であるNIST[2010]から日本の産業に適用する前提で抽出されたものである。

- (1)WASA(Wide-Area Situational Awareness): 送電系統広域監視制御
- (2)系統用蓄電池
- (3)配電網の管理

¹ International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議 <http://www.iec.ch/>

² Smart Grids European Technology Platform <http://www.smartgrids.eu/>

(4) デマンドレスポンス

(5) 需要側蓄電池

(6) 電気自動車

(7) AMI (Advanced Metering Infrastructure) システム

(1) は日本において十分に実現できていると考えられるため本稿では詳しく取り扱わないが、今後は標準化への取組が重要になると考えられる。

(2) は電気事業者側に設置する比較的大規模な蓄電池であり、現時点ではナトリウム硫黄 (NaS) 電池などの導入が始まっている。発電・送電・変電の各点において有効な技術となるが、その必要性を改めて検討する。

(3) の配電網の管理も (1) と同様、日本は世界有数の技術力を有しているため本稿では検討の対象としない。

(4) のデマンドレスポンスは供給に合わせて需要を調整する技術であり、その需給を市場原理に基づいて調整する方法の1つがダイナミックプライシングである。これらの技術を実現するために電力ネットワークを情報通信ネットワークに接続することが検討されているが、問題点も多いため重要な課題として検討する。

(5) の需要側蓄電池は産業用や医療機関などで導入が試されているが、今後も対費用効果の面で十分な検証が必要である。しかしこの需要側蓄電池が充実すれば電力の可用性は飛躍的に高まるため、(2) および (4) と併せて検討する。

(6) の電気自動車は直接的にスマートグリッドとは関係ないが、蓄電池の容量が大きく、普及後には需要の面でも地域の電力網に影響を及ぼすと考えられるため、スマートグリッドの一部として扱われることが多い。しかし本稿ではあくまで蓄電池の一部と考え、詳しい検討の対象としない。

(7) のAMIシステムの中心機能はスマートメータである。スマートメータが本格的に導入されれば遠隔検針や遠隔開閉が可能になる。スマートグリッドの実現のためにはスマートメータは必須の技術であるが、スマートメータはスマートグリッドの導入を待つことなく導入すべきである。その結果として人件費などが削減され、消費者に還元することができるようになる。ただしその通信頻度は十分な検討が必要である。通信は常にセキュリティ上のリスクを生じさせ、さらにリアルタイムに近づくほどプライバシーの問題を生じさせることになる。経済産業省 [2011b] で検討されたように電気使用量という情報が消費者に帰属するものであるという前提で確実に保護し、意思確認の方法を確立すべ

きである。また通信方法として携帯電話モジュールでのやり取りでは電話番号の不足も予測され、Wi-Fi³を使う場合にも今後はIPv6⁴に対応しなければならない。また無線機器の飛躍的な増加によって電波干渉の影響も懸念される。そのため可能な限り有線による閉じられた通信を優先し、設置済みの光ケーブルやPLC⁵などを活用したい。

3. 蓄電技術の重要性と課題

3.1. 蓄電技術の重要性

電力は貯めることができない。これが最大の特徴である。また現代の日常生活に必要な電力は刻々と変化していく。このような電力需要の変動は次の3つに分けられる。

(1) 季節による変動

(2) 時間による変動

(3) 瞬間的な変動

(1)は冷房や冷蔵庫など温度を管理する電気機器の増加により夏や冬の気温の変化に応じて電力需要が変化するようになったことが原因である(図1、図2、図3)。(2)は電灯の増加による需要や、日常生活に様々な電気機器が導入されたことによって帰宅が集中する日没後の夕食時に電力需要が増えることなどが原因である(図3)。さらに(1)の季節による要因も加わって夏の日中は冷房による需要が増大し、年間最大の電力消費を記録する(図2)。(3)はこれらのサイクリカルな変動以外に電子レンジのような消費電力の大きな電気機器が増えたことで瞬間的に大きな電力需要が発生するようになったことが原因である(図4-a、図4-b、図4-c、図4-d)。

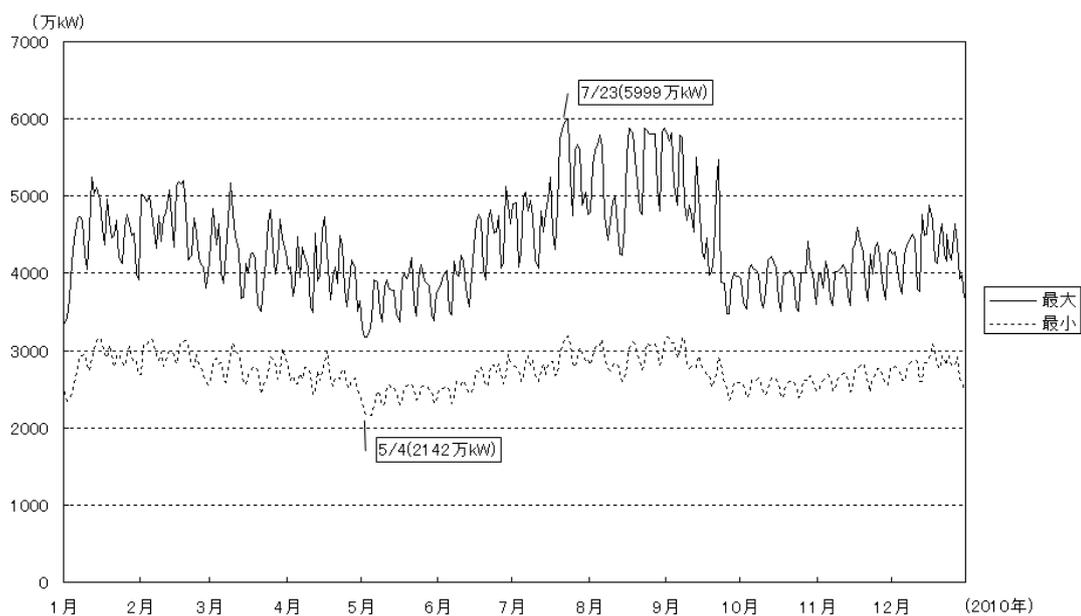
電力需要の変動によって供給を超過した場合、現在の交流電源網では電圧が下がり、周波数が乱れ、最悪の場合には停電してしまう。逆に需要が減った場合には供給を減らす必要がある。そのため電力事業者は高度な技術を駆使して

³ 通信規格であるIEEE 802.11シリーズに準拠した無線通信規格の総称。Wi-Fi Allianceの登録商標でもある。

⁴ Internet Protocol Version 6：これまで世界中で使用されてきたIPv4のIPアドレス枯渇などの問題に対応するために拡張された通信規約である。

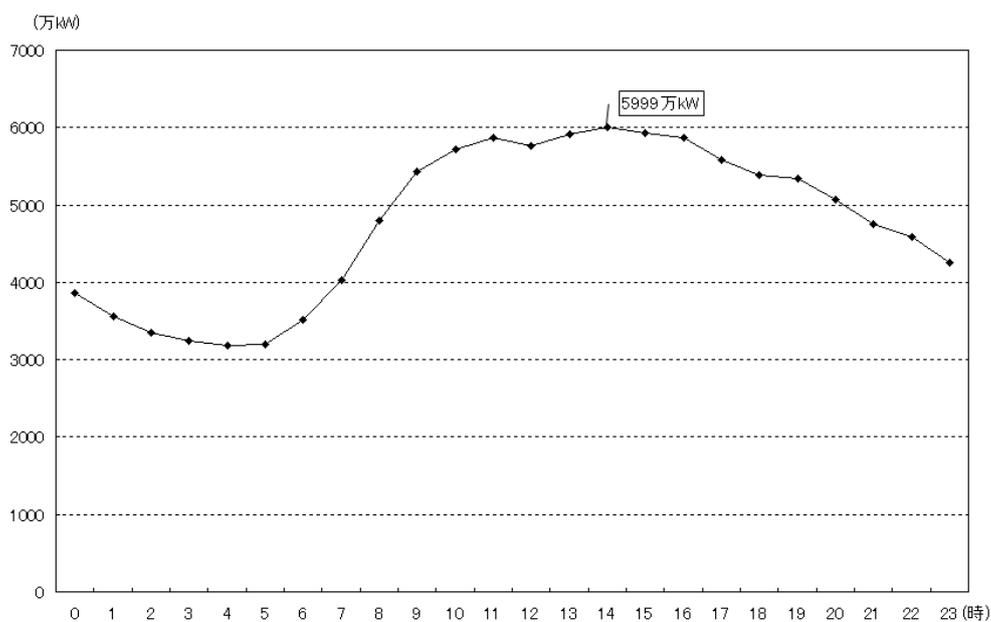
⁵ Power Line Communication：電力用の配線を使って通信を行う技術の総称。電波ノイズが発生することから長らく規制されてきたが、規制緩和により製品化された。ただし想像以上に実際の配電経路が複雑で電気機器の相性などによる干渉があるなど難しい点も多く、普及は進んでいない。

図1. 電力使用実績(東京電力) - 時間毎平均最大電力・最小電力の年間推移



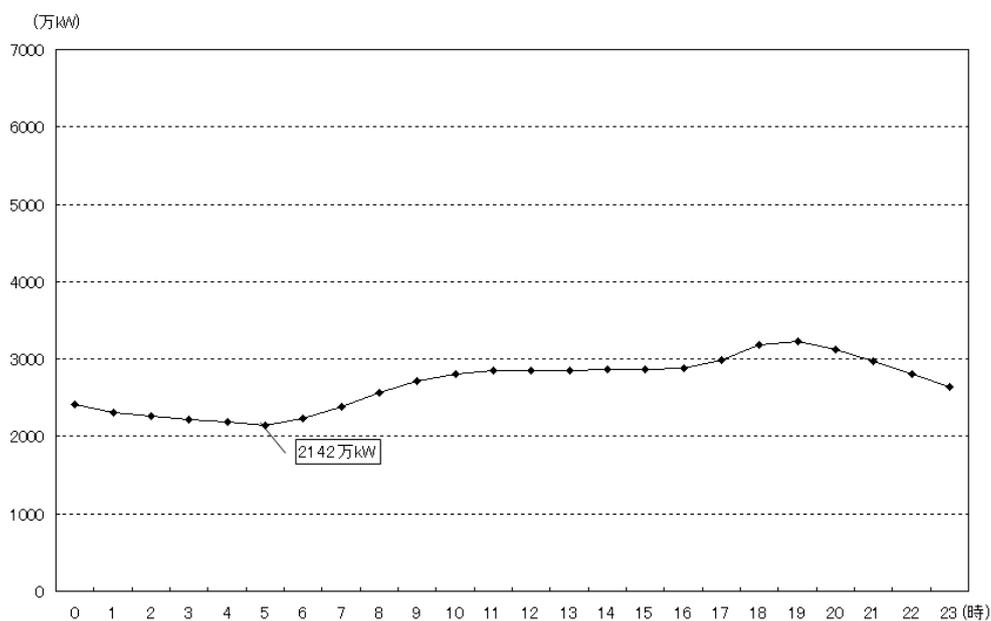
出所：東京電力(過去の電力使用実績データより筆者作成)

図2. 年間最大電力発生日の時間毎平均使用実績(東京電力 - 2010年7月23日)



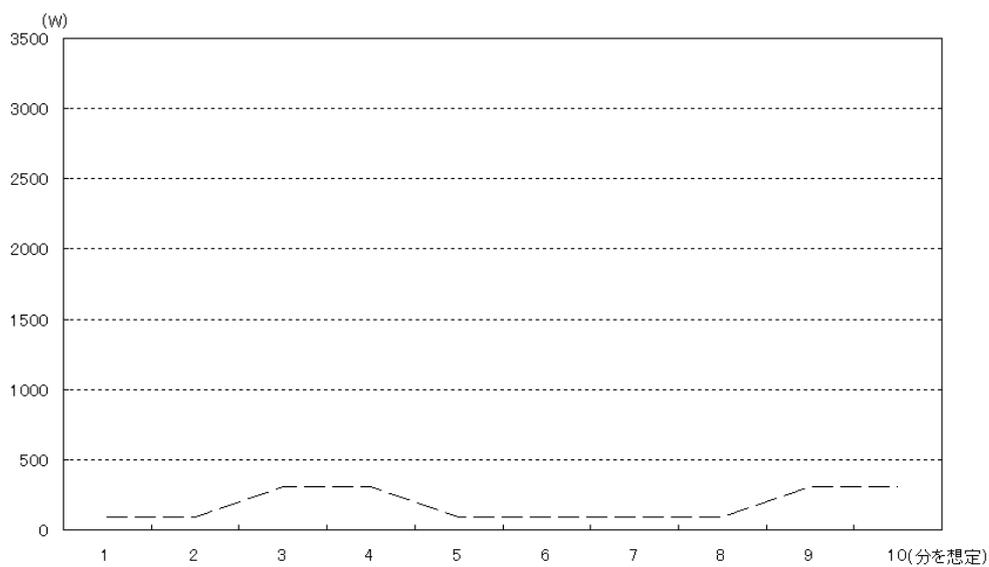
出所：東京電力(過去の電力使用実績データより筆者作成)

図3. 年間最小電力発生日の時間毎平均使用実績(東京電力 - 2010年5月4日)



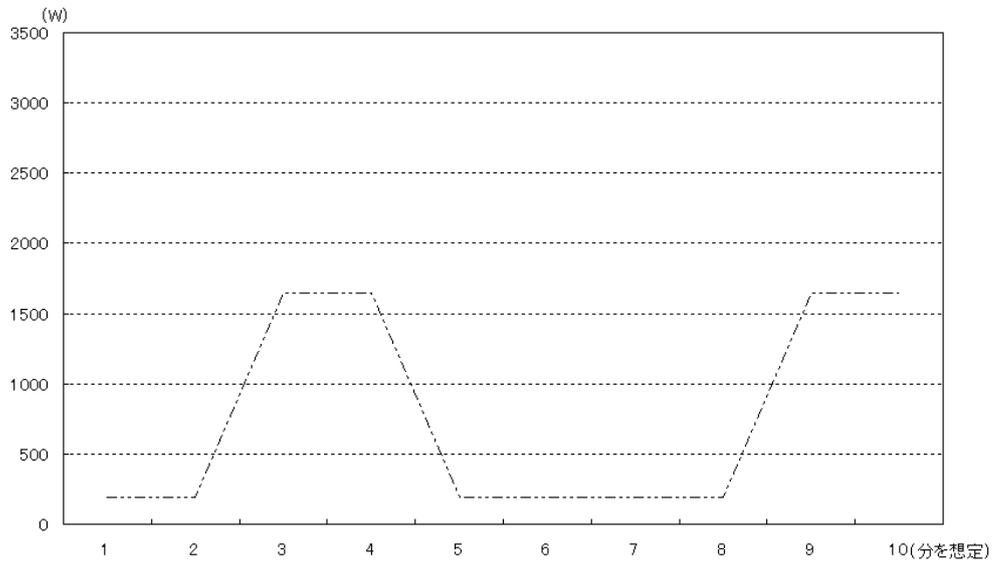
出所：東京電力(過去の電力使用実績データより筆者作成)

図4-a. 冷蔵庫の電力消費パターン(670L型)



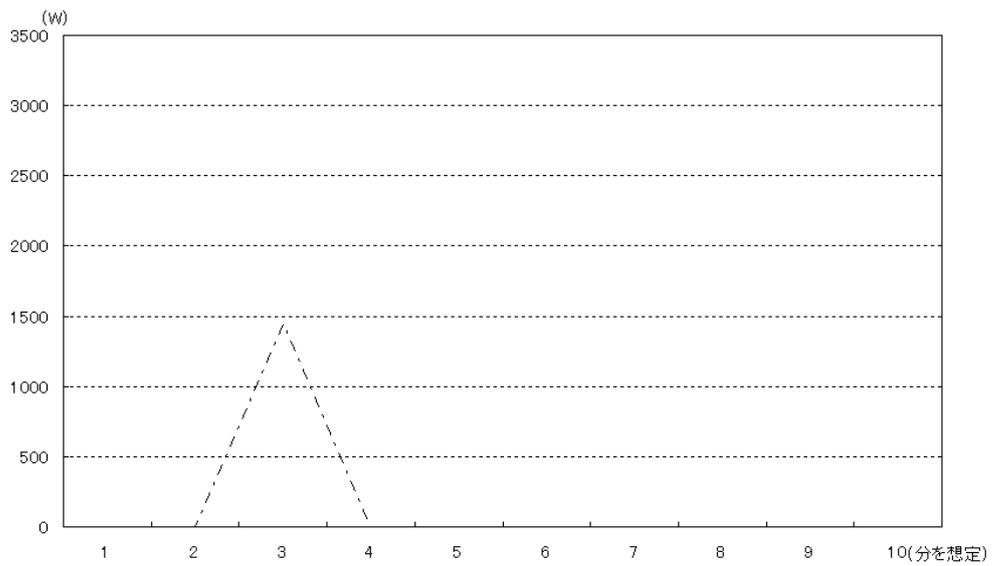
出所：日立(「日立の家電品」Webサイトより筆者作成)

図4-b. 冷房の電力消費パターン(14畳型)



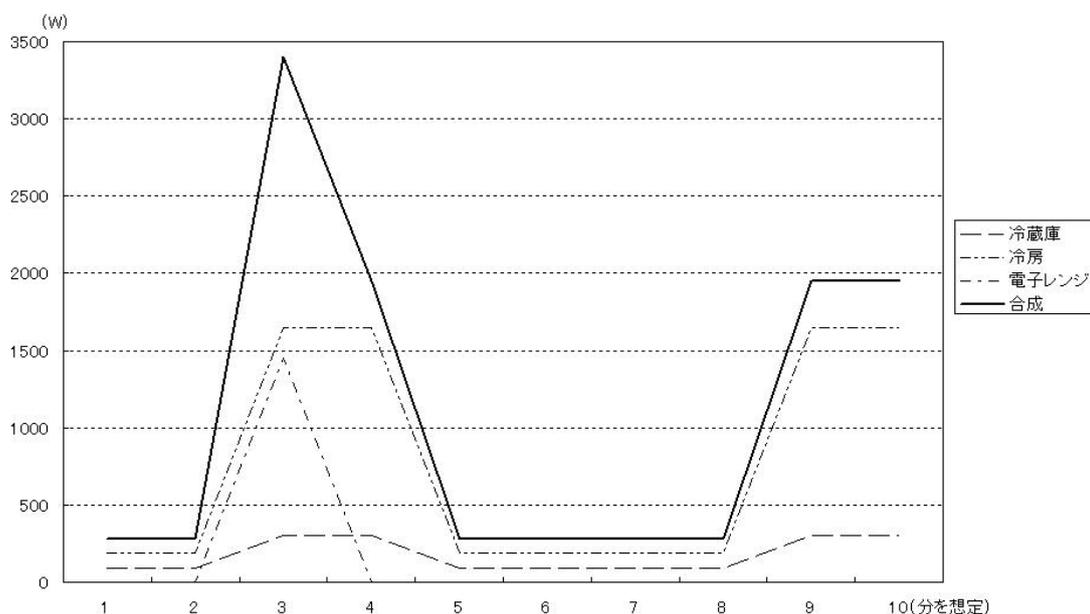
出所：日立(「日立の家電品」Webサイトより筆者作成)

図4-c. 電子レンジの電力消費パターン(33L型)



出所：日立(「日立の家電品」Webサイトより筆者作成)

図4-d. 同時に稼動した場合の電力消費パターン



出所：日立（「日立の家電品」Webサイトより筆者作成）

電力需要に合わせた発電・送電・変電を行っている。これらは技術的に難しいばかりでなく、(1)、(2)、(3)の要因がすべて重なる夏の最大需要に応えるように発電能力が用意されているため、それ以外の時間帯に多くの発電設備が遊休状態に入っていることになり経済的にも効率が高いとはいえない。

このような変動に対して、電気を貯めることができれば需要が供給を下回った場合には蓄電し、需要が上回った場合は放電することで変動を平準化することができる。そのための装置が蓄電池⁶である。その他の蓄電方法として位置エネルギーを蓄積する揚水発電や、電磁場を利用した超伝導SMES、圧力を用いる圧縮空気、熱エネルギーの形で蓄える高温岩体、運動エネルギーとして蓄積するフライホイールなどがある。本稿ではこれらをまとめて蓄電技術として扱う。

3.2. 巨大蓄電池を想定した思考実験

次に蓄電技術の性質を経済学的な観点から確認しておく。そのために仮想的

⁶ 厳密には使いきりの一次電池に対して二次電池と呼ばれる。二次電池は可逆的な化学反応により蓄電と放電を繰り返すことができる。一次電池、二次電池をまとめて化学電池と呼ぶこともある。

に日本全国各地に国内すべての電力需要に対応できる容量の蓄電池が配備されており、既存の系統電力⁷と連携して安定した品質の電力が供給できるものとする。

まずこの蓄電池が電力事業者など供給側に設置されている状況を想定する。この場合、電力事業者は1日の平均的な電力使用スケジュールを想定して夜間のオフピーク時に蓄電し、日中や夕方のピーク時には蓄電池からの供給を最大にして発電と併せて電力を維持する。1日の使用状況は季節によって異なるが、多少の余力を残しながら最大のピークである夏の日中の電力が供給できる水準で蓄電池と発電の効率的な運用を行う。結果としてこれまでのピークを前提に作られた発電所の多くが不要になり、発電コストが削減できる。

同じように需要側に蓄電池が設置されている状況を想定する。この場合、単当たりの電力料金が一定の通常契約であれば行動を変える要因にはならない。しかし深夜電気料金契約であれば夜間の電気料金の安い時間帯に蓄電して日中に使用するようになる。すでに市販されている深夜電気温水器はこの仕組みを利用したものである。同じように蓄電池を導入することで深夜電気料金契約による通常の電気料金との差額で導入費用を回収できるようになれば、結果的に電力需要の平準化が進むことになる。この場合、電力事業者の投資コストは減るが、深夜電気料金へのシフトにより売上も減少すると考えられる。

ただどちらの場合も蓄電池の出力を越える瞬間的な需要には対応することができないため、電力事業者はある程度発電余力を残した運用が必要になる。言い換えれば電力事業者にとって最も懸念される指標は単位時間にどれだけ電力を使用したかというよりも、むしろ瞬間的にどれだけ電力を使用したかなのである。この瞬間的な電力需要を抑制する方法として検討されているのがAMIシステムを利用したデマンドレスポンスである。そこで次にこのデマンドレスポンスを検討する。

3.3. デマンドレスポンスの問題点と対策

デマンドレスポンスとは電力の使用状況によって需要側、すなわち消費者の電力需要を変化させる仕組みである。その実現方法を横山他[2010]は次のようにまとめている。

⁷ 電気事業者が提供する一般の電力。商用電源とも呼ばれる。

- (1) 需要逼迫時の需要ピーク抑制
- (2) 軽負荷時への需要シフトによる負荷平準化
- (3) 再生可能エネルギー大量導入時の短周期変動抑制

(1)と(2)は電力事業者の事情に合わせて、消費者ないしはその所有する電気機器自身が電力消費行動を変化させるという考え方である。(3)は各地に存在する太陽光発電などを可能な限り電力網に接続し、出力変動を相殺する平滑化(ならし)効果を期待するものであり、大久保[2011]では実験例が報告されている。ただこの(3)をデマンドレスポンスと関連付けることには疑問を感じる。というのも短周期変動抑制とは雲の流れや風の偏りによる発電量の偏りを統計的に平滑化するものであり、太陽光発電や風力発電を売電まで含めた場合の供給者と供給者の間での問題であって、基本的に需要側の消費者には直接的には関係がない。そのためあくまで短周期変動は再生可能エネルギー固有の問題として、なるべく限られた範囲で調整すべきである。

(1)、(2)に戻ると、これは典型的なデマンドレスポンスの問題であり、主に次のような方法が考えられている。

- (a) 電力事業者が直接消費者の電気機器を制御する
- (b) 消費者が削減量を提示して料金割引などを受ける
- (c) 電力需要に応じた電気料金を提示し、電気機器を自動制御する

まず(a)の方法には基本的な問題がある。電力需要が逼迫するということは多くの消費者が電力を必要としているということであり、「一番必要なタイミングで外部から供給が強制的にカット・抑止される」という中央統制的なやり方ある種のストレスにもなり、市場原理にも反する。高橋他[2011]では外部からの制御を消費者がキャンセル可能な条件で実験を行っており、環境の差によってキャンセル率が大きく異なるという結果を得ている。このことから、たとえば同じ建物であっても東と西の部屋では室温が異なるなど、外部から一律に制御することは困難であることが予想される。さらに個人の所有物を外部から管理するという方法には法的根拠や十分な同意が必要である。

次に市場原理に基づいた価格による制御を行うことを検討する。(b)の方法は意思決定にかかる情報の往来が比較的多く、リアルタイムに近くなるほど制御が困難になる。そのため自動制御か予測に基づいた事前取引が必要になると考えられるが、いずれにしても予測を超えた急激な変化には対応できない。(c)の場合、制御する時間の単位にもよるが、やはり事前取引では突発的な需要や

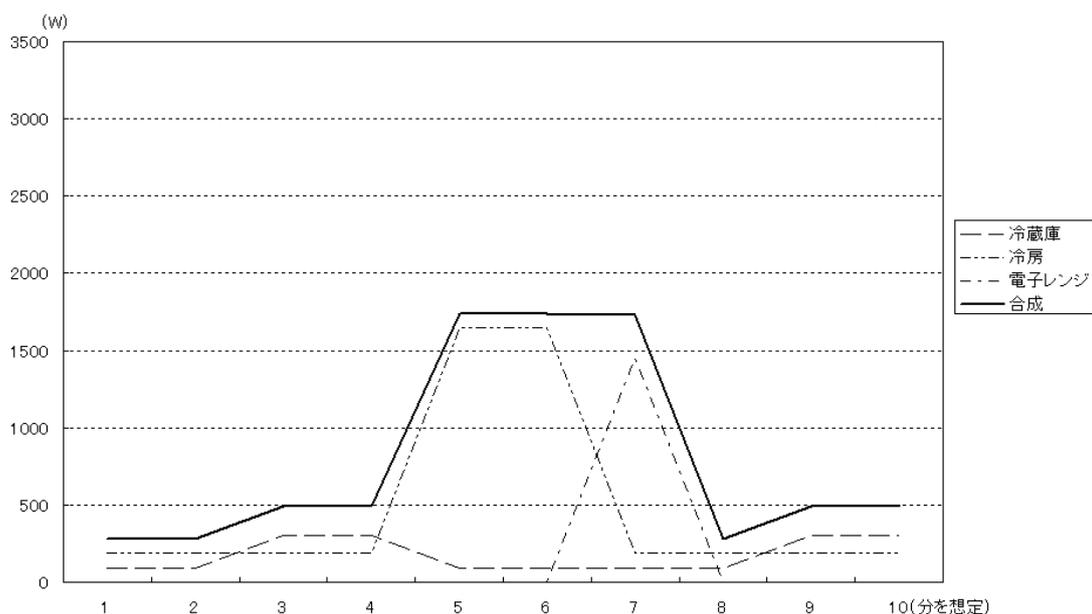
供給変動に対応することができない。また時間ごとの料金を変動させる方法では事前に契約された料金表を使用するか、リアルタイムに需要の度合いによって料金を変動させるかによって仕組みは異なる。前者の場合は突発的な変更に対応する能力は限られ、後者の場合は状況によって料金が急騰する可能性があるという欠点がある。そのため後者では支払能力を超えた場合に自動的に電力を停止する制約が必要になる。ただしこの方法では経済的弱者が一斉に停電することにもなりかねない。この点を考慮すると電力会社での上限価格規制は必須である。しかし経済産業省[2011b]のタスクフォースではアメリカのカリフォルニアにおける電力自由化失敗の原因として上限価格規制を挙げており、この制限下で電力取引を行うことは様々な問題が再現される可能性が高い。これらの問題を踏まえて、本稿では第4の方法を提言する。第4の方法といっても全く異なる考え方ではなく、(a)、(b)、(c)の利点を組み合わせて応用し、可能な限りシンプルな制御を行うため、障害が発生した場合の影響範囲も限定できるものである。

現在の多くの一般家庭にある配電盤では一定以上の電流が流れるとアンペアブレーカが落ちて電力の供給が停止する。この基準となっているのが電力契約にある電流制限であるが、配電盤でこの設定をより細かく設定できるようになれば、瞬間的な電力需要を抑制できると考えられる。

ただしアンペアブレーカは制限を超えると一気に停電状態に入ってしまうという欠点があり、頻繁に停電すると日常生活に支障をきたすため、通常は余裕を持った電流制限が設定されている。しかし全世帯がその上限まで電力を使用できるほどの供給能力があるとは考えられず、需要が集中した場合にアンペアブレーカより先の供給側で停電が発生する可能性が残る。この電流制限を通常時に必要な範囲まで抑えることができれば、瞬間的な電力需要の集中を回避できる。さらに電力需要の予測精度も向上し、全体の発電費用を削減できる。しかし制限によって停電する機会が増えることは望ましくないので、電気機器側でもこの制限に対応し、同時の電力需要を分散させる。

具体的には電気機器と配電盤の間で通信する機能を導入し、配電盤側で電流が制限に近づいた場合に信号を送って電気機器の動作を抑制するような機能が必要となる。機器間や配電盤との接続にはPLCやWi-Fiなどの方法があるが、現

図4-e. 稼動をシフトした場合の電力消費パターン



出所：日立（「日立の家電品」Webサイトより筆者作成）

在の普及状況からはWi-Fi接続が有力である⁸。ただし導入の初期段階では電気機器の対応状況が十分ではないので、配電盤と接続して電気の使用状況を表示するモニタをリビングルームに設置するなどのサポートも必要である。使用状況が見えるようになれば自分の意思で電力の消費行動を変えることも可能になるからである。

実際の導入手順としては、まずスマートメータを交換し、順次対応する配電盤に切り替えて、その上で電力消費の多い電気機器から優先的に買い換えるようにすれば効果を得られやすい。たとえば冷蔵庫と冷房が同時に冷却しないようにするだけでも電力需要全体では大きな効果があると考えられる。また電子レンジなども瞬間的に大きな電力を消費するため、電子レンジの稼動時には冷蔵庫や冷房を弱くすることで、消費電力を一定の範囲に収めることができるようになる(図4-e)。

ここに挙げた技術はいずれもスマートグリッドの標準技術として検討されて

⁸ ゲーム機やモバイルデバイスなどの普及によってWi-Fi接続の無線ルータの導入が進んでいる。これらの機器を少し拡張して対応するプロトコルを追加すれば無線ルータに接続された電気機器を外部から制御するような仕組みも実現できる。

いるが、具体的にはHEMS (Home Energy Management System) やスマートハウスという呼び名で研究されている。一見すると(a)と同じように見えるがあくまでも建物内で完結し、外部とのリアルタイム通信は必要ない。(b)と(c)の内容は技術ではなく電力契約によるものであり、それをサポートする(c)の一部の技術が求められている。ただしこの方法で電力需要を分散させた場合、消費者個々の電力料金は変わらないため、同時の電流量を制限することで基本料金を引き下げのようなインセンティブが必要である。

しかしこの仕組みでは(2)の軽負荷時への需要シフトによる負荷平準化が実現できない。そのためこの問題を詳細に検討したところ、この需要シフトそのものが困難であることが想定された。次節ではその理由をダイナミックプライシングの仕組みを通じて説明する。

3.4. ダイナミックプライシングの問題点

これまで述べてきたデマンドレスポンスをリアルタイムの市場として追求した形態がダイナミックプライシングである。ダイナミックプライシングにおいては消費する電力料金のみならず、売電の価格もリアルタイムに連動することまで含めて検討する。しかしこの市場が有効に機能するとは考えられない。その理由を以下に挙げる。

- (1) 自然エネルギーの供給は完全に非弾力的である
- (2) 弾性値よりサイクルによる変動が大きい
- (3) 1年の大半が供給過剰の状態にある
- (4) 電力は需要も供給も価格に対する弾力性が低い
- (5) 電力需要の予測はその予測を破壊する
- (6) 蓄電した電力には鮮度がある
- (7) 変動性はインフラとしてふさわしくない

最初に電力の財としての性質をまとめる。電力は二次エネルギーにおいてはガスなどの代替財となるが、基本的には電気機器の補完財としての性質が強い。太陽光発電や風力発電、水力発電といった自然エネルギーによる発電は設備に大きな費用がかかるが、追加的な発電に関する可変費用はゼロという情報財に見られる特徴を持つ。さらに蓄電を想定しない場合、リアルタイムの需要に対してリアルタイムに供給し、リアルタイムに消費されるというサービスとしての側面がある。

これらの性質に基づいて考えると、今後増加が予想される自然エネルギーによる発電は余力がある限り追加費用ゼロで電力を供給できるため、常にフル稼働させることが合理的な選択となり、(1)にあるように価格弾力性はゼロになる。需要が不足して発電の出力を落とした場合は単に発電の機会を失っているだけであり、設備としての稼働率が低下することになる。さらに自然エネルギーによる発電は価格とは一切関係なく気象条件によって供給が変化してしまうため、変動はあるが弾力性はないという扱いの難しい財であるといえる。

またこれまで述べてきたように電力の需要には日単位、年単位の周期的な変動が存在する。この変動幅は最小と最大の間で2～3倍にもなるが、一般的に電気料金が安くなったからといって何倍もの電力を消費することは難しい。そのため短期における需要の価格弾力性は小さくなり、(2)にあるように変動幅が弾性値を上回ると考えられる。しかし供給能力は年間のピークに合わせて調達せざるを得ず、結果として(3)のように1年の大半が供給過剰の状態になる。供給過剰であるためピーク以外は供給の弾力性が生じることになるが、自然エネルギーに余力がある限り火力等の可変費用の高い発電は駆逐されてしまう。ところが自然エネルギーは気象条件によって変動するため、自然エネルギー以外の発電所が退出すると天候不順のたびに電力が不足することになる。結果として発電所は維持されるが、自然エネルギーが発電している限りは遊休状態になり、自然エネルギー以外による発電の平均費用が増加していくことになる。さらにすべての発電所が限界まで発電している場合であっても需給が逼迫する時期はごく限られており、設備の増強をためらう傾向になり、長期における供給の弾力性は低くなると考えられる。

次に(4)にあるように現代社会において電力はほぼ必需品であるためそもそも弾力性が低い財である。電力は電気機器の補完財であるため、電気機器が増加した結果として需要が増えることはあっても、電力が安くなることで電気機器が増えることはほとんど考えられない。せいぜいガス機器が電気機器に置き換わる程度で、これは代替財としての性質によるものである。しかし経済産業省[2010a]で述べられているように年々電力化率が高まっており、今後の代替による長期における需要の価格弾力性は小さい。この条件において消費者が選択可能な行動は電力料金急騰時に今すぐ実行する必要がない作業を先送りすることのみである。

ここで完全に動的な料金制を実現し人々が弾力的に行動すると仮定した場合

には、価格の変動に対して多くの人々が反応することでさらなる価格の変化が発生する。しかしこれまで述べたように電力は供給の弾力性が乏しいため、価格の上昇を予想した場合は多くの人々が行動を回避する可能性があるが、それを実行した場合は価格がそれほど上がらない。反対に価格の下落を予想すれば多くの人々が電力を消費し結果として需要が急増し、価格が急騰する可能性がある。つまり(5)にあるように電力需要の予測は実際の電力需要を破壊する性質がある。破壊された結果に応じて再度行動を変えることが可能になるが、取引に専念できる為替や株式市場と異なり、通常の世界生活においてそれほどの自由度があるとは考えられない。このように予測が予測を破壊するため、必要以上に予測に注力することが無駄であることを最終的に学習することになる。この意味でもリアルタイムに近くなるほど電力市場は成り立ちにくくなる。

では自由度を確保するとどうなるか。自由度を確保するには行動を変えるのではなく消費のタイミングに合わせて供給を変える必要がある。そのために必要となるのが蓄電技術である。蓄電池がある場合、可能な限り価格が安い時間に蓄電し、可能な限り価格が高い時間に放電することになる。つまり蓄電池には電力需要のボトムを引き上げてピークを下げる効果がある。しかし(6)にある電力の鮮度への認識が必要である。前述の条件にしたがって蓄電池を利用するには発電コストゼロの自然エネルギーから優先的に蓄電を始め、次にその他の電力を底値から買い始め、基本的に容量の上限まで蓄電し、次のピーク付近で出力するような在庫管理に類似する管理が必要になる。ただし電力の場合はこのタイミングで放電しなければ次の蓄電機会を失うことになるため、基本的に買いだめはできない。まして蓄電池の種類や蓄電の方法によっては自然放電などのロスが発生するため、保存期間が長くなるほど機会費用も含めたコストが増大する。また蓄電容量を増やすための固定費はるかに大きいことから蓄電池の価格弾力性もほぼゼロである。結果として蓄電池は容量がある限り供給と需要の平準化を進めることが合理的な選択となる。つまり蓄電池の導入拡大は(5)の予測の破壊を拡大して常に均衡の状態に近づけるため市場で取引する理由をなくすのである。

このダイナミックプライシングをたとえるならば、かけてみるまで料金のわからない携帯電話のようなもので、(7)にあるようにそもそもインフラとしてふさわしくない。昨今の携帯電話も通信帯域の逼迫が話題になっているが、それでもダイナミックプライシングのような議論にはならない。通信帯域を圧迫し

ているデータ通信に限って速度制限や料金体系を従量制に戻すという動きはあるものの、サービスとして必ずしも同時同量である必要がなく、多少の遅延や保留が許されるため、価格を動的に操作しようとするのではない。

電力の場合は売電が可能であるため消費者も含めた双方向の取引が検討されているが、価格弾力性が限定的であるため市場原理が十分に機能するとは考えられない。ただしピーク時の電力需要の一時的な集中を分散する効果は認められた。その場合にも蓄電技術による調整が必要であるため、ピークの分散はこれまで述べたような契約による方法と蓄電技術の組合せなどにより実現すべきである。

3.5. 蓄電技術の課題

これまで述べてきたように蓄電技術は電力需要を平準化させるため、今後はスマートグリッドに限らずあらゆる電力技術の鍵となる。むしろ蓄電池の普及容量が十分確保できれば他の技術はそれほど重要ではない。ただし電気化学会エネルギー会議[2011]にあるように蓄電技術は革新的な発展が難しい。民生用として主に使用されているリチウム(Li)イオン電池はNEDO[2010a]、小久見[2011]にあるようにさらなる性能向上が必要とされている。とはいえここ数年の技術向上により自動車を動かすまでの性能を実現しており、一般家庭程度の電力であれば十分に対応できる水準に達している。

蓄電技術は今後も低廉化、高出力化、小型化、長寿命化、希少資源の代替材料などさまざまな角度から継続的に研究する必要がある。長寿命化とあるように劣化が避けられない技術であるため、一定期間で交換が必要である。つまり蓄電池を導入するにしても現在の自動車のように定期点検等を法制化する必要があると考えられる。

また蓄電技術の相性に関する研究も重要である。風力発電の場合、秒単位での激しい変動が発生するため、リチウムイオン電池に蓄電すると劣化が早くなるという問題があり、直接使用することは好ましくないなど技術の組合せが重要になる。また燃焼機関と違い温度変化による性能変化も大きいなど、これまで扱ってきた技術とは比較できないほど使用者の理解が重要になる。研究の内容にはそのような差異を吸収して使用者や使用環境を選ばない、汎用品としての技術の確立も求められている。

4. 分散電源の重要性

4.1. 分散電源の重要性

本稿では電力需要の抑制や蓄電技術の重要性について述べてきた。しかし費用等の問題から蓄電池で自然エネルギーによる発電の変動をすべて吸収することは難しい。そのため常に系統電力が待機しなければならないことになるが、この系統電力に代わる電力を供給し、可用性向上につながる分散電源の導入を検討する。

日本ではこの分散電源の1つとして太陽光発電の普及が進んでいる。太陽光発電は夏の電力需要ピークに発電量もピークとなる可能性が高く、太陽熱による発電効率低下を差し引いても相性のよい技術である。ただ気象条件による変動が大きく、夜間は一切発電できないため、冬の夜間の暖房需要には対応できないなどの欠点は解消の余地がない。また数日間にわたって日本全土が天候不順に陥る可能性は否定できず、その場合は一気に電力供給が不足することになる。結果として、普段は一切電気を購入せず天気が悪くなると急に電気を購入するような行動は、安価で安定的な電力供給を妨げることになる。同じ問題は風力発電にも存在し、しかもどちらの技術も今後気象変動があった場合に現在と同じ条件で運用できるという保証はない。

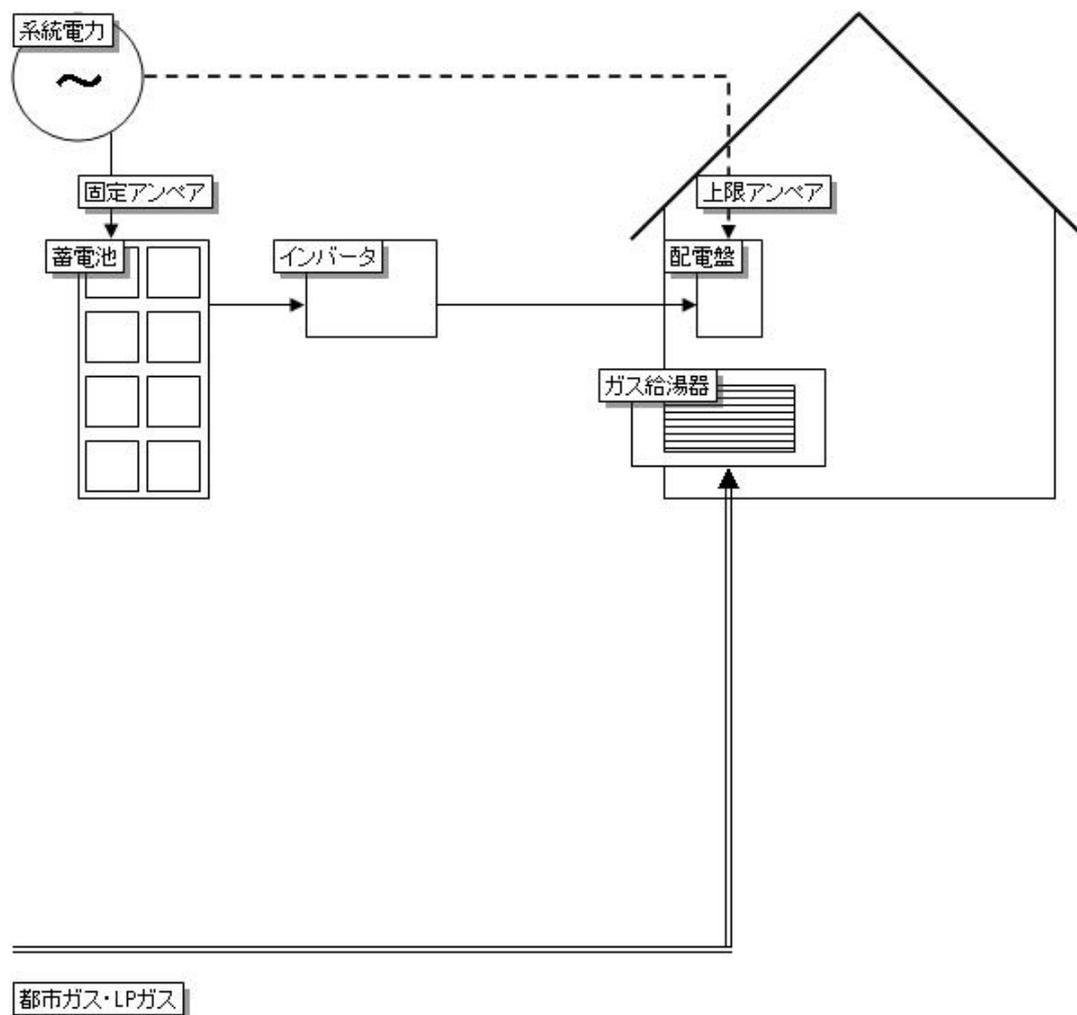
アメリカのスマートグリッド研究ではその国土の大きさを活かし、時差や気象条件の違いからある程度平準化されることが考えられ、そのため大陸内で電力を融通するところまで含めて技術検討がなされている。これは日本では困難であるため、最優先で普及を進めるべき分散電源として燃料電池を検討する。

4.2. 燃料電池技術の重要性

燃料電池とは主に水素と酸素による非燃焼的な電気化学反応によって電流を発生させる技術の総称である。水素はエネルギー密度が低く、可燃性の高さ、液化コストの高さ、金属の侵食という問題はあるが、自然界に大量に存在し、直接燃焼して使うことも可能な資源である。さらに酸素と反応した結果として生成されるものは水であり、加工すれば飲用も可能になる。

水素は既存のインフラで調達可能な都市ガスやガソリン、ガソリンスタンドを改修することで利用可能なメタノールなどのアルコール類からも改質して調達することができる。このアルコール類はバイオマスによる産出も可能であるため、再生可能エネルギーの選択肢の1つとなる。ただし改質して水素を切り離

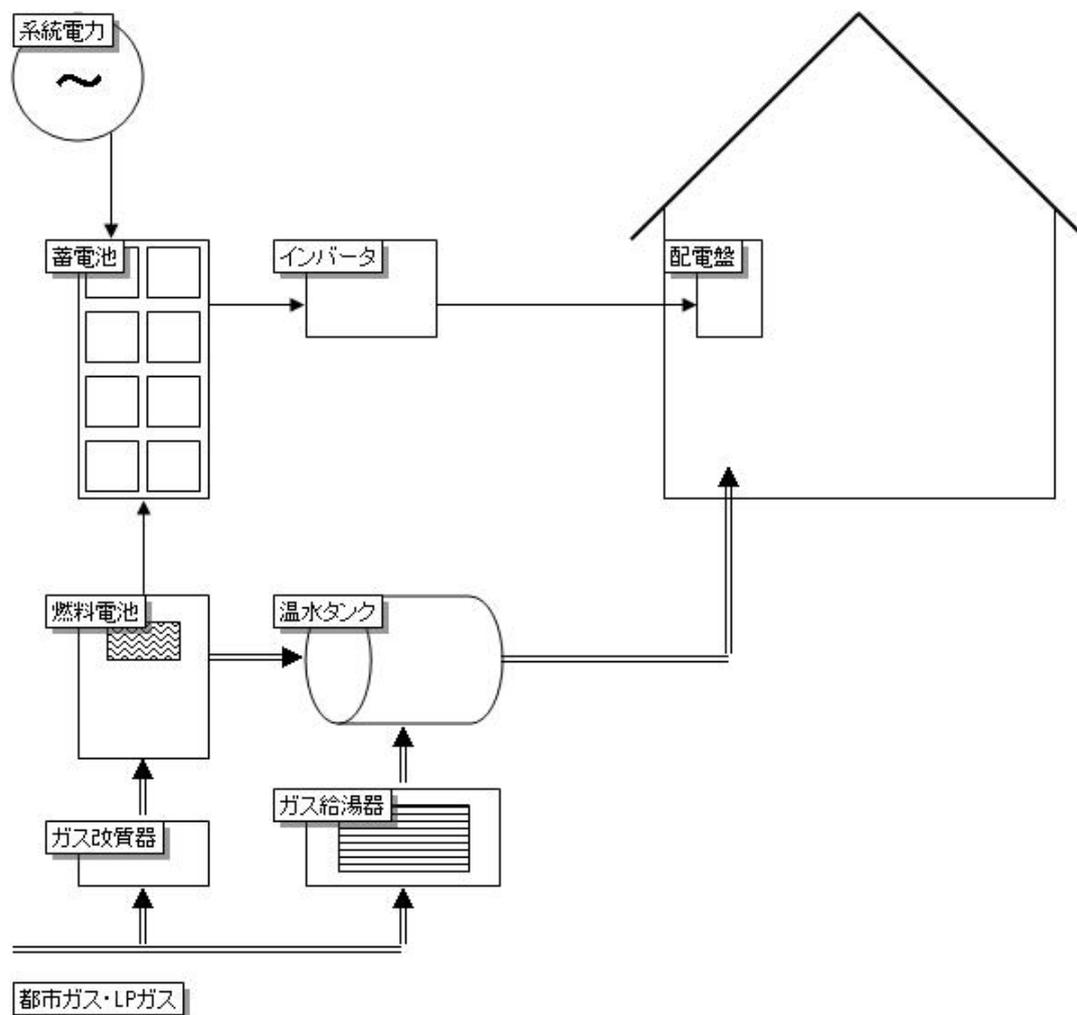
図5-a. 家庭用分散電源構成(給電ユニットのみ)



す際に二酸化炭素が排出されるため必ずしも温暖化対策にはならないが、エネルギー効率が高いため相対的な二酸化炭素排出削減には貢献する。極論すると水の電気分解により生成することもできるが、この場合はエネルギー効率が低くなるため、対費用効果を十分に検討することが必要である。また水素の貯蔵技術も研究が進んでおり、蓄電池の代わりに水素という形態で電力を間接的に蓄えることも可能になる。

これらの技術はガス事業者を中心に展開されることが多く、電力事業者中心のスマートグリッドに大きく取り上げられることは少ない。しかし相互に補完すれば電気と熱の供給源を二重化できるため、エネルギーの可用性が高まるこ

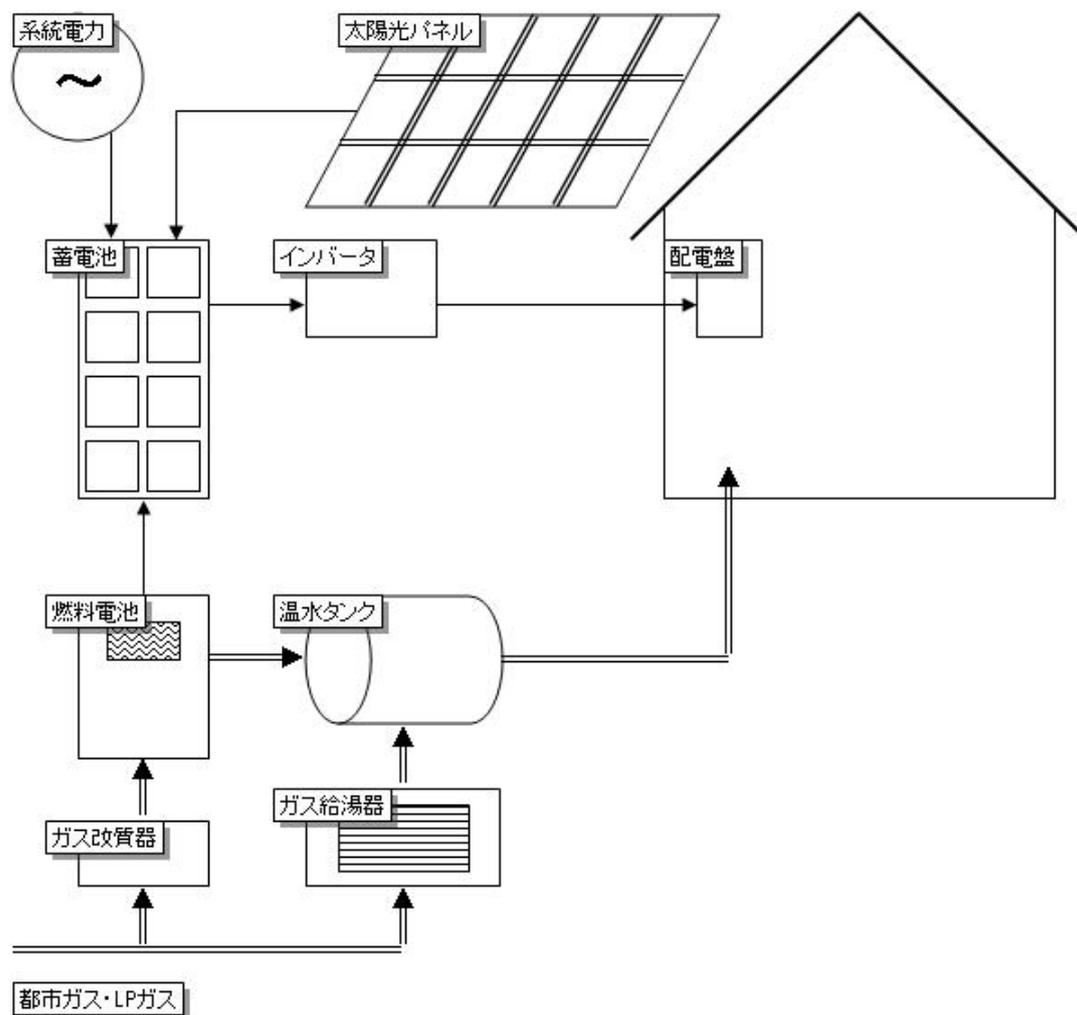
図5-b. 家庭用分散電源構成(燃料電池導入)



とになる。家庭への燃料電池普及は経済産業省[2010a]やNEDO[2010b]のロードマップにも明確に提示されており、一次エネルギーの安全保障、二次エネルギーの安定供給という面でも有力な選択肢となる。

燃料電池は材質や反応方法によっていくつかのタイプが実用化されており、その性質は稼働温度によって大別される。常温付近で発電可能なタイプは稼働や停止の自由度は高いが、触媒を必要とするため費用の問題や資源調達リスクがある。このタイプの1つとしてPEFC(固体高分子形)があり、すでに家庭用機器が販売され、今後はさらなる低価格化と大量生産が課題とされている。高温で発電可能なタイプは触媒を必要とせず比較的小型で発電効率も高いが、耐久

図5-c. 家庭用分散電源構成(太陽光発電導入)

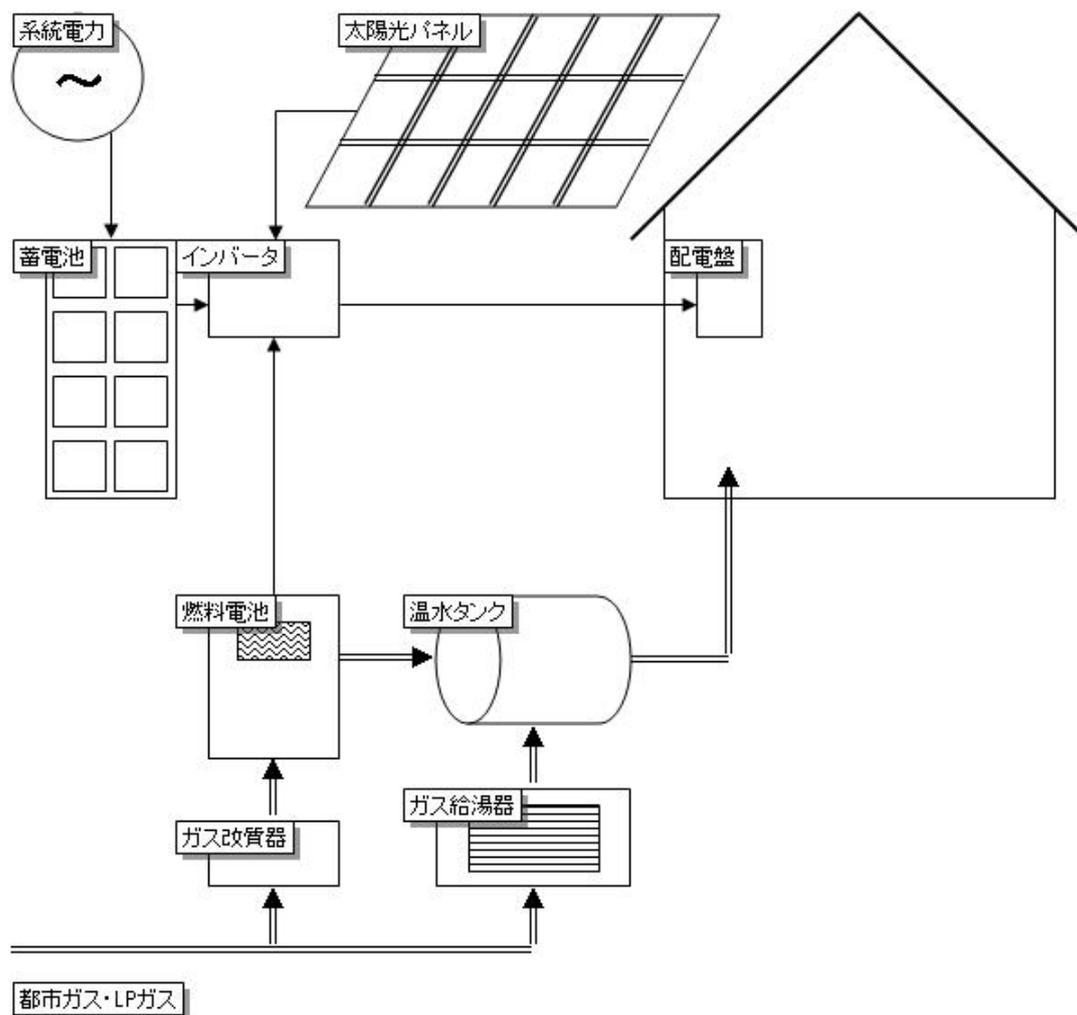


性が必要であり、停止すると再稼動に時間がかかるという欠点がある。このタイプの1つとしてSOFC(固体酸化物形)があり、家庭用機器がJX日鉱日石エネルギー株式会社[2011a]から販売されることになった。これはNEDO[2010b]のロードマップから前倒しで実現されており、今後の販売拡大が期待されている。

4.3. 家庭用ハイブリッド分散電源の定義

これまでの内容を集約して家庭用ハイブリッド分散電源の定義をまとめる。まず中心となる蓄電池であるが、その容量が増えるほど電力需要の平準化に寄与するため、従来の系統電源と組合せの効率は高くなる。ただし蓄電池は直流

図5-d. 家庭用分散電源構成(インバータ中心)



電流となるため、既存の機器と接続する際には交流に変換するためのインバータが必須である⁹。この蓄電池とインバータの組合せを給電ユニットとして家庭用ハイブリッド分散電源の最小構成とする。装置の不具合に備えて系統電源から配電盤に直結する迂回路は必要であると考えられるが、原則としてあくまで蓄電池を基点として常にインバータから配電盤に接続する仕様を想定する(図5-a)。この蓄電池に系統電力や太陽光発電パネル、燃料電池などを接続し、系

⁹ 今後は家庭内にこれまで同様の交流配線に加えて直流配線を並存させることも検討すべきである。コンピュータなど多くの電子機器はほとんど直流で動作するため、インバータとACアダプタによる二重の変換ロスがなくなる。別の配線としていくつか直流専用プラグがあれば電子機器はケーブルで直結することができるようになり電力を効率よく使用できるようになる。

系統連携を行いながら安定した電力供給を行うことを目的とする(図5-b、図5-c)。ほぼ同じ発想に基づいた機器を前述のJX日鉱日石エネルギー株式会社[2011b]では実用化の見通しを立てている。同じ機器の組合せであってもインバータを中心として分散電源や蓄電池を接続する方法も考えられるが(図5-d)、切り替えと安定性を重視して蓄電池に接続する仕様とした。また既存の分散電源は系統連携を行うことができない仕様になっており¹⁰、これらの分散電源と区別する意味で“ハイブリッド”の言葉を付け加えた。

この給電ユニットと分散電源を接続するためのコネクタやプロトコルなどの規格が標準化されていれば、実際の機器の組合せは自由に設定することができる。あとは各家庭の電力使用状況に合わせて給電ユニットからの制御で最も効率のよい運用を行えばよい。給電ユニットには非常時用のプログラムも用意しておく必要がある。これにより停電した場合には燃料電池等の発電量を一時的に増やして対応することもできるようになる。災害時には電気もガスも停止する可能性があるので、その場合は太陽光発電など自然エネルギーで蓄電しておき、蓄電池から必要最低限の電力を維持するようにする。これらの制御プログラムの研究も重要である。

ただこれらの分散電源の種類が増えるにつれてそれぞれの機器のメンテナンスが必要になり、蓄電池を含めた給電ユニット自体のメンテナンスも必要となる。しかし分散電源の特性を活かせば、点検の際に停電させることなく電源ごとにメンテナンスを行うことも可能になる。結果として消費者は停電をほとんど意識することなく生活することができるようになる。

また利用する電気機器との連携も重要になる。現在は停電すると完全に電力が遮断されてしまうが、蓄電池から最低限の電力が供給できれば優先順位の高い機器を動作させることも可能になる。身近なところでは携帯電話の充電ができないことが災害時に問題となっており、また近年導入が進んでいる光電話も電力がなければ通信できない仕様である。医療機器を使用していれば当然その電力供給も最優先とすべきである。蓄電容量に余裕があれば冷蔵庫などは最小限に動作させておくことが望ましく、オートロックなどのセキュリティも可能な限り動作させておきたい。このように蓄電容量と停電時間の関係で何をどれ

¹⁰ これは系統連携を行うと逆流が発生するため、災害時などに復旧作業で事故を招く可能性があることによる。そのためこのシステムでは逆流対策を行い自律して稼働させることを前提としている。

だけ動かすかは難しい判断になるが、最終的には利用者が個々に判断してその優先順位を設定できるようにすることが求められる。

4.4. 地域における分散電源導入と熱供給の併用

これまで家庭用ハイブリッド分散電源に関する検討を行ったが、エネルギー機器は集積度が高いほど効率がよく、対費用効果も高くなる。また家庭用では設置場所にも制約があることが多い。そのため分譲区画や集合住宅、巨大施設や一定の地域において分散電源を共有するためマイクログリッドと呼ばれる仕組みが検討されている。この際には発電機などが放出する熱を回収して温水として供給することでエネルギー効率を高め、さらに効率化することができるコージェネレーションと呼ばれる仕組みを導入することが一般的である。コージェネレーションとしてはガスタービンなどで発電して温水の状態エネルギーを蓄積し、蓄電技術に代わって負荷を平準化する施設がすでに稼働している。山口他[2010]では実証実験結果から効率的な戸数や集積度に関するシミュレータを開発しており、河本・山田[2010]では環境条件による効率の違いから寒冷地などの条件を検討している。龍[2011]では分散電源と蓄電技術およびガスコージェネレーションを接続したシステムの検討を行っている。

5. ピークカットへ喫緊の取組

分散電源ではさらなるエネルギー効率の向上や運用面の考慮など今後も様々な研究開発が必要とされる。そのため喫緊のエネルギー問題に一定の効果があり、その先にある分散電源導入などによる安定的なエネルギー供給への下地作りとなる方法を検討する。

これまで述べてきたように電力利用の問題として、一時的な需要の集中に対して同時同量の供給を実現する必要性があった。この需要を分散することで電力の供給を安定させることが可能になる。そのためにスマートグリッドのような仕組みが検討されているが、実現には相当の時間と費用が必要になる。これを前倒して部分的に導入するために本稿では電力使用量の上限契約を詳細化する方法を提言した。次にそれをさらに簡略化し、既存の技術で実現可能なピークカットに貢献する方法を検討する。

必要となるのは経済産業省[2010b]ですでに検討されているような狭義のスマートメータである。その機能により遠隔検針、遠隔開閉、時間単位の電力使

用量収集を行う。今後も様々な検討が必要な双方向性は過度に意識せず将来的に外付で対応する可能性にとどめ、現時点ではメータの情報を電力会社に送信することに注力する。この水準であれば十分に実用可能である。

このスマートメータを導入して使用量さえ収集できれば、それらをインターネットのサービスを通じて照会することは難しくない。個人情報であるため外部に提供する場合には配慮は必要であるが、グループ配下にISP(インターネット・サービス・プロバイダ)を持つ電力会社もあり、その場合は比較的容易に利用できると考えられる。情報の粒度は当面は時間当たり電力使用量を翌日以降に提供、これらの運用状況を見て可能な範囲で当日の速報として直近の情報を照会できるようにする。この経路では直近1時間が最新となり、莫大な情報を送信する必要があるリアルタイムの照会は対象としない。国内の規格や技術にこだわらなければアメリカにおいてGoogle社などが同種のサービスを提供しているため、技術的にも問題はない。標準化に向けて経済産業省[2010b]においてもNIST[2010]を参照しているため、おそらく互換性の問題が生じることもない。計測器としての価格性能比向上のため、機器の製造に規制や指定は不要であるが、標準化は厳守する必要がある。

この時点で省エネルギーに関心の高い消費者であれば一定量の成果が現れることが期待できる。日本電気通信システム[2010]では「見える化」の効果による実証実験を行っている。「意欲的な参加者」というバイアスがかかる可能性を差し引いてもおおむね省エネルギー行動を実践し、モニタ対象外の機器に対しても同様の行動をとっていることが確認されている。

また一定期間このようなサービスを運用すれば電力会社も消費者も詳細な傾向がわかり、どのようなタイミングで電力消費が変動するかをつかむきっかけとなる。この段階で時間帯料金制の採用に踏み切りたい。当初はその弾力値をある程度緩やかにとして、電気料金の急騰を抑える。目安としてこれまで通りの生活をした場合、ほとんど同じ程度となるように調整し、ピークカットに貢献するほど電気料金が削減できるようなバランスが求められる。これにより省エネルギーかつピークカットのインセンティブが働く¹¹。結果として技術に頼らず、意識によって省エネルギーと電気料金削減のメリットを享受できる消費者が増えることになる。

¹¹ このような個別の「見える化」に反して、電力会社レベルで行われた「見える化」は社会心理学的な慣れや責任分散の構造を生じる可能性が懸念される。

メータ交換の対象となる企業を規模や部門別に見ると、大口の産業は24時間365日稼働の製造業などの場合、対費用効果さえあれば全体的な省エネルギーは実践できるが、逆に部分的なピークカットを行う場合のコストは大きくなる。そのため省電力を要請することはあってもピークカット、まして輪番操業の対象として含めることは適切ではない。それ以外の小口産業や大口・小口の業務系は日中にピークを迎えるほぼ同型の需要構造を持っており、そのうちの一部サービス系などは家庭部門と同様に日没後にピークが訪れる業種もある。これらのうち小口の産業は午前中になるべく電力を多く使用する作業を行うことや、昼休みの分散でピークカットできる可能性もある。それ以外の業種は一度に使用する電気機器を減らすことで、ピークカットに努めることを要請すべきである。

これらの取組による効果は現時点では些細なものであっても、今後のピークとオフピークの料金差を拡大した場合や、電気料金そのものが急騰することがあればより大きなメリットが得られる。そのため社会全体で可能な限り早い段階から、これまで事実上ほとんど制限なく利用できた電力に対する意識改革を行うべきである。その上で本稿に挙げたような上限規制やそれをサポートする電気機器のネットワークなど導入を進めることが望ましい。

またこれらの取組は当面はインターネットなどの情報機器を利用できる消費者を優先的に進めることになるが、これは導入後に高い省エネルギー効果が期待できる「意欲的な参加者」として優遇する方針として許容する。しかしその後は情報機器が苦手な消費者であっても利用できるような環境も必要になる。たとえば電力契約の一環としてインターネット接続の環境を導入し、メータ交換と同様に接続設定を電力会社などのサービスとして行う。その上でネットワークに接続して電気使用量を表示するような専用端末を配布するという方法も考えられる。これは見た目や操作感としてはHEMSなどの一要素として検討されているパネルやモニタと変わらず、しかもこの方法であれば直接的な屋内の工事は必要としない。このような専用端末であれば近年高機能携帯電話で使用されているAndroid¹²と呼ばれるプラットフォームを利用することでタブレット型の端末として比較的安価に開発することも可能である。

¹² Google社を中心としたOpen Handset Allianceによって開発され、基本的に無償で公開されており、用途に応じた改修も可能である。現在では携帯電話、タブレット型コンピュータなど様々な携帯端末が販売されている。

さらにこのタブレットを応用すると、スマートメータと無線などで直接通信させることでリアルタイムの表示も十分に可能になる。その通信を汎用的な規格で行えば、市販されているタブレットや高機能携帯電話の1機能としての実現も可能である。こうしてリアルタイムの表示が可能になれば具体的な行動と電力料金が結びつき、電力使用量の更なる削減やピークシフトが期待できるようになる。これは経済産業省[2010a]でも検討されている。ただし一般家庭への無線ネットワークの導入が徐々に進んでいることから、無線同士の干渉には考慮が必要である。むしろこれらの機器との連携を検討し、前述のようなISPサービスとの連携を積極的に進めたい¹³。具体的にはISPサービスに必要な光モデムや無線ルータといった機器とスマートメータを直接通信させて、その機器に対して端末がアクセスして電気使用量を表示できるようにする方法がある。現状Android搭載タブレットの1つであるAmazon社の「Kindle Fire」の販売価格が199ドルであることを考えると、さらに機能を絞り込んだタブレットであれば100～150ドル程度、原価で見れば日本円で1万円を切るようなタブレットを製造できると推測する。すでに手持ちの汎用端末があり、それを使用する場合はキャッシュバックのような形で対応する方法がよい。

これらの施策を実現するために、必要であれば規制緩和などを法整備は必要となるが、技術的には現在実験が進められている範囲で可能である。後はこのスマートメータの導入を推進するための補助金などの政策を実行すればよい。

ここからはそのような補助金の目安となる金額を検討する。基準として経済産業省[2011a]にある、太陽光発電導入の補助金を使う。これらの効果を相互比較し、スマートメータ導入による省電力が太陽光発電導入による電力量を超えると見込めるのであれば、太陽光発電導入の補助金を数年間凍結し、全額をスマートメータ導入に充当することを提言する。

まず使用された予算は2010年度の実績として、「住宅太陽光発電導入支援対策費補助金」の40,146百万円と「住宅用太陽光発電導入支援対策基金造成事業費補助金」の14,529百万円が挙げられる。これが「1kW当たり7万円」の補助金として拠出されたことから、単純計算で78万kW相当の設備が導入されたと考える。しかしこのkWは発電設備の発電能力が「3kWであれば21万円、5kWであれば35万円」という定格が基準であるため、実際の稼働率である10～15%で換算すると全

¹³ あくまで民間サービスであるため、電力以外の事業者が排除されないように規格として策定することが望ましい。その意味での検討は必要である。

表1. スマートメータへの交換費用

	メータ取付数 (万個)	交換費用 (百万円)
北海道電力	366	73,200
東北電力	674	134,800
東京電力	2,744	548,800
中部電力	946	189,200
北陸電力	181	36,200
関西電力	1,277	255,400
四国電力	273	54,600
九州電力	823	164,600
合計	7,284	1,456,800

国に8～12万kW相当の発電設備が増強されたものとみなすべきである。

次に本稿でも取り上げた2010年の東京電力最大電力使用日を分析した経済産業省[2011c]を基礎資料として、スマートメータへの交換にかかる費用とその効果を概算する。

まず菊池[2011]による相場観を参考にして、スマートメータ1台当たり日本では3万円、中国では5千円ほどであるが、世界平均である1万円を採用した。また、メータ交換の工事費用実費は不明であるが、ガス機器および空調機器の修理にかかる工賃が実勢価格で数千円単位であることから、ここでは便宜的に1万円としておき、あわせて1台当たり2万円の費用がかかると仮定した。

次にスマートメータの交換規模を概観する。電気事業連合会統計委員会[2010]による既存のメータ取付数が表1.である。これをすべて1台当たり2万円で交換する場合の費用を併記した。

ここで先ほどの太陽光発電にかかる補助金の合計54,675百万円と比較すると、1年でちょうど四国電力管内すべてのメータを交換できる規模であったことがわかる。実際には集積度や効率の面、そして電力供給の状況を考え東京電力管内に集中、ないしは関西電力管内と按分して交換を開始すべきであろう。

次にスマートメータ導入による効果を推定する。経済産業省[2011d]では2011年夏の緊急時における産業に対する省電力の影響を分析している。その結果からエネルギー利用状況が集約的な産業・業務部門は効果が高いが、反面として費用がかかり、特に24時間操業など稼働率の高い産業では影響が大きかったことが述べられている。この結果を考慮すると省電力への過度の期待はできない

表2. スマートメータ交換による省電力効果推定
(東京電力管内の産業・業務部門)

進捗割合	省電力達成度					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
10%	21.1	42.2	63.3	84.4	105.5	126.6
20%	42.2	84.4	126.6	168.8	211.0	253.2
30%	63.3	126.6	189.9	253.2	316.5	379.8
40%	84.4	168.8	253.2	337.6	422.0	506.4
50%	105.5	211.0	316.5	422.0	527.5	633.0
60%	126.6	253.2	379.8	506.4	633.0	759.6
70%	147.7	295.4	443.1	590.8	738.5	886.2
80%	168.8	337.6	506.4	675.2	844.0	1,012.8
90%	189.9	379.8	569.7	759.6	949.5	1,139.4
100%	211.0	422.0	633.0	844.0	1,055.0	1,266.0

(単位: 万kW)

が、一定量の水準までは対応可能であり、さらに今回は緊急性が高いという判断から東京電力における産業・業務部門のメータを優先的に交換することを検討する。ここで経済産業省[2011c]で当日14時時点の平均ピーク電力約6,000万kW中、家庭部門が1,800万kW、残りが4200万kWとして按分していることから、全体の7割を産業・業務部門が占めていることがわかる。一方家庭部門の世帯数を1,900万世帯としていることから、東京電力管内の取付数のうちおよそ7割が家庭部門であり、それ以外の3割のメータが7割の電力を担っているという構造が見えてくる。この比例関係から家庭部門以外の844万個のメータが4,200万kWの電力使用を使用しており、メータ1個当たり5kWの電力を制御するとみなして計算を行った。

計算の内容として東京電力管内のスマートメータへの交換進捗割合が高くなるほど対象となる電力が多くなり、またそのスマートメータ1個当たりの平均的な省電力達成度が高くなるほど省電力効果が高くなるとして表2.を作成した。

結果を見ると、左上10%のメータ交換と5%の省電力という最小限の組合せで、すでに前述の太陽光発電の効果を上回っていることがわかる。もちろん太陽光発電にはほとんどランニングコストがなく、省電力の場合は方法によって多大なコストがかかるため単純には比較できない。しかし5%程度であれば費用がゼロに近い工夫のみで対応できることも多く、また費用の一部は電気料金の削減で相殺できるため十分に実現できる目標である。仮に予算の上限である546万台を交換すると全体の6割強を達成し、それらが平均5%の省電力を実現すれば約

130万kW分のピークカットが実現できると推定できる。これは2011年夏の東西間周波数変換による融通量を超える規模である。同じ予算感でこの補助金政策を継続すれば産業・業務部門の交換は2年とかからず、東京電力全体でも5年で交換を終えられることになる。また交換の際に一律ではなく希望者を優先的に進めたとすると、当初の消費者ほど省電力効果が高く、交換の進捗率が高くなるほど徐々に逡減していくことが予想される。そのため一定量に到達してからは全国に徐々に対象地域を拡大し、希望に基づいて節電意欲の高い消費者から入れ替えていくことが望ましい。

このような電力の「見える化」が多くの世帯に浸透すれば、さらなる平準化や省エネルギーへの意欲は強まる。そのために時間帯料金の弾力値を大きくすることも考えられる。これらの変化は個人や企業における蓄電池導入へのインセンティブともなり、社会全体での電力に関するコストも明確になりやすい。結果として大規模な分散電源やコージェネレーションの導入における対費用効果もより明確になる。

現在は政府の予算として太陽光発電の導入補助が行われ、また買取制度として全世帯に負担を求めている。しかしながら太陽光発電は導入可能な世帯が限られており、また地域によって発電量に差があるため事実上は売電可能な世帯への所得移転として機能しており、公平性の観点から望ましい政策とはいえない。また地域差を考えた場合、本稿でも触れたコージェネレーションでは地域によって備えるべき特性が異なる。そのため全国一律の政策ではなく、比較的寒冷な高緯度地域では熱供給、日照量が期待できる低緯度地域では太陽光発電を中心とした導入を推進するといったような合理的でより柔軟性のある政策が必要である。

太陽光発電を始めとする再生可能エネルギー利用はまだ対費用効果が十分ではなく、朝野[2011]が述べるように今後も国民負担だけが増えるリスクもある。特に太陽光発電への過度の成長期待は禁物である。というのも太陽光発電パネルの本体は半導体であるが、電子計算機で使用する半導体とは性質が異なるものである。計算機では集積度を上げることで歩留まりが向上し、さらには消費電力などの性能も向上する。結果として数年で2倍、3倍といった性能向上が達成できる。一方の太陽光発電パネルはあくまでも理論上の限界を目指す研究であって、どれだけ研究を進めてもその理論値を超えることはなく、徐々に対費用効果も逡減していく。しかもようやく達成した技術も10～15%といわれる稼働

率で割引かねばならない¹⁴。それ以外は単純な組立工程と、現場への設置工程およびパワーコンディショナーなどの周辺機器の改善である。これらの改善で削減できる費用も限られてくる。この点を慎重に考慮するのであれば、朝野[2011]と同じく、現時点では政府の政策としては研究開発への補助を中心とし、国民全般には具体的な効果が見込めるスマートメータ導入の推進に注力すべきであると考ええる。

6. おわりに

経済産業省[2011c]では本稿で取り上げた2010年の最大電力使用日における需要構造が提示されている。本稿の作成にあたりこのようなデータが入手できるものとして調査を始めたが見つめることができなかった。実際はこのような推計に頼らざるを得ないところから見ると、集計する機会もなく総量のみ把握に終始していたと考えられる。そのため緊急時に効率のよい対策を練ることができず、費用の高い輪番操業や漠然とした省電力の依頼に頼ることとなった。

エネルギーを効率的に運用するためにはまずは現状の正確な把握が重要である。そのような前提もなく立案されたエネルギー政策では国民の一部が過剰な費用を負担することになりかねない。これを避けるにはまず現状を把握し、それを解決するための手段を導入すべきである。そのため本稿ではスマートメータの導入を最優先の課題として提言した。そのうえでピークに対して適度な料金負担を設定することでピークカットのインセンティブを発生させ、合理的選択の機会を設けることが有効である。このような習慣が身につけば、電力価格の趨勢によっては分散電源導入のインセンティブともなり得るからである。

¹⁴ 太陽光発電に関する資料はこの稼働率に関する区別が明示されておらず、常にデータの出所を確認する必要がある。

参照文献

- ETP[2010], *Strategic Deployment Document for Europe's electricity networks of the future (2010)*,
http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf
- IEC[2010], *IEC Smart Grid Standardization Roadmap*,
http://www.iec.ch/smartgrid/downloads/sg3_roadmap.pdf
- JX日鉱日石エネルギー株式会社[2011b], 『いよいよ10月よりSOFC型エネファームを販売開始』,
http://www.noe.jx-group.co.jp/newsrelease/2011/20110915_01_0950261.html
- JX日鉱日石エネルギー株式会社[2011a], 『ENEOS創エネ事業の概要』,
http://www.noe.jx-group.co.jp/newsrelease/upload_pdf/20110915_01_01_0950261.pdf
- NEDO[2010a], 『二次電池技術開発ロードマップ』,
http://www.nedo.go.jp/library/battery_rm2010_index.html
- NEDO[2010b], 『燃料電池・水素技術開発ロードマップ』,
http://www.nedo.go.jp/activities/FF_00518.html
- NIST[2010], *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*,
http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf
- 朝野賢司[2011], 『再生可能エネルギー政策論』, エネルギーフォーラム
- 小久見善八[2011], 「二次電池とグリーンエネルギーシステム」, 『エネルギー・資源』, 第32巻第5号, pp. 11-15
- 大久保昌利[2011], 「再生可能エネルギー大量導入に対する関西電力の取組み」,
『エネルギーと動力』, 第61巻第3号, pp. 32-43
- 河本映・山田真弘[2010], 「マイクロガスタービンを用いたコージェネレーションシステムの住宅地への導入効果」, 『電気学会論文誌(B)』, 第130巻第12号, pp. 1111-1118
- 菊池珠夫[2011], 『スマートメーター、2020年に年2億台の大市場へ』,
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110711/193238/>

経済産業省[2010], 『エネルギー白書 2010年版』,
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010/index.htm>

経済産業省[2010b], 『スマートメーター制度検討会 報告書について』,
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/report_001_01_00.pdf

経済産業省[2011a], 『エネルギー白書 2011年版』,
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011/index.htm>

経済産業省[2011b], 『電力システム改革に関するタスクフォース論点整理』,
<http://www.meti.go.jp/press/2011/12/20111227011/20111227011-2.pdf>

経済産業省[2011c], 『夏期最大電力使用日の需要構造推計(東京電力管内)』,
<http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/16.pdf>

経済産業省[2011d], 『今夏の電力需給対策のフォローアップについて』,
<http://www.meti.go.jp/press/2011/10/20111014009/20111014009-3.pdf>

日本電気通信システム[2010], 『家庭内における家電機器の消費電力削減のための電力使用量収集と可視化に関する技術開発』, 日本電気通信システム
高橋雅仁他[2011], 『オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験Ⅱ:居室内
快適性とワーカーの制御キャンセル率の分析』,
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y10040.html>

電気化学会エネルギー会議 電力貯蔵技術研究会[2011], 『大規模電力貯蔵用蓄
電池』, 日刊工業新聞社

電気事業連合会統計委員会[2010], 『電気事業便覧(平成22年版)』, 経済産業
省資源エネルギー庁電力ガス事業部

山口秀樹他[2010], 「分散蓄熱を利用した集合住宅用コージェネレーションシ
ステムの熱供給特性および環境負荷低減効果」, 『日本機会学会論文集(B
編)』, 第76巻第772号, pp. 209-215

横山明彦他[2010], 『スマートグリッドの構成技術と標準化』, 日本規格協会
龍建儒他[2011] 「直流接続された電力貯蔵装置を有する太陽電池・家庭用ガス
エンジンコージェネレーションハイブリッド発電システム」, 『電気学会
論文誌(B)』, 第131巻第10号, pp. 805-818