

再生可能エネルギーのエネルギーマネジメントシミュレーションへの影響の考察

Consideration of renewable energy's impact on energy management system simulation

吉田 信明[†]
Nobuaki Yoshida

神原 弘之[†]
Hiroyuki Kanbara

1. はじめに

エネルギーを有効活用し、持続可能な社会を実現する「スマートグリッド」のあり方と実現方法の議論が活発に行われるようになってきている。例えば、電気エネルギー貯蔵システムをシステムの視点で扱う国際電気標準会議(IEC)のTC120では、このようなスマートグリッドを、

- 電力システムに含まれるユーザ等の利害関係者のふるまい(エネルギーの利用)の統合的な管理
 - 効率的に持続可能で、経済的で安全な電力の提供
- を目的とした、「情報連携、制御テクノロジー、分散コンピュータ、関連センサー、アクチュエータで構成される電力システム」と定義している[1]。

スマートグリッドを構成する技術としては、近年、ホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)や、ビルエネルギーマネジメントシステム(BEMS)が普及しつつあり、センサーや情報通信システムなどを活用したエネルギー消費量のリアルタイム監視と制御が行われるようになってきている。

その一方で、このような個別の需要家の省エネルギーへの取り組みだけでなく、より広い地域を対象とし、効率的・安定的なエネルギー利用を実現する、「地域エネルギーマネジメントシステム(CEMS)」(図 1)の必要性も認識されつつある。太陽光や風力に代表される再生可能エネルギーは、気象条件により発電量が時々刻々と変化する。その結果、再生可能エネルギーによる発電設備が設置された施設の消費電力よりも、生み出された電力量が上回ることで発生する逆潮流が、系統側の電圧変動の要因として問題化している[2]。さらなる再生可能エネルギーの導入には、その変動を吸収して有効活用し、電力ネットワークの安定性確保に貢献する CEMS の導入が期待される。

著者らは、一定の地域内で太陽光などの発電設備を持つ公共施設や一般家庭間でエネルギー融通を行う CEMS を想定し、その実現可能性・有効性を検証する「地域エネルギーマネジメントシステムシミュレータ」の開発を進めている[3]。このシミュレータでは、単に個々の施設におけるエネルギーの生成量・消費量のシミュレートを行うだけでなく、より詳細に、各施設の持つ電力系統の設備構成や施設空間の物理特性、施設の機能や稼働状況を踏まえたエネルギー利用のシミュレーションを行えるようにすることを目指している。このような検証を行うことで、実際の CEMS 構築において必要とされるセンシング技術や、制御技術の検証も行うことが可能となる。

このようなシミュレーションにおいてもっとも重要となるのは、利用する複数のエネルギーを、どのように各施設

に最適に配分するかを決定するアルゴリズムである。特に、再生可能エネルギーは時間帯によりエネルギーの生成量が変化するため、これを踏まえたエネルギー配分の算出が必要となる。先に述べた太陽光発電における逆潮流の問題も、発電した電力のうち使い切れなかった不安定な電力が系統に戻されるために起きるのであり、蓄電池などにより別の時間帯に活用したり、あるいは CEMS 内の他の需要家が活用したりできるのであれば、このような問題は起きないと考えられる。

本稿では、このような再生可能エネルギーを最大限活用できるアルゴリズムの実現に向けて、著者らが開発を進めているシミュレータが持つべき機能について検討する。ここで特に検討の対象とするのは、最適化の対象とすべき期間の長さ、その下での最適化の手法である。

著者らのシミュレータは、エネルギー配分を算出する単位時間(1 時間など)を設定し、その時間内での各施設へのエネルギー配分を算出している。しかしながら、再生可能エネルギーを最大限有効活用するためには、気象や生活などにおいて基本となるサイクルである 1 日を通した最適化を考慮する必要がある。例えば、昼間の太陽光発電による電力の余剰分を蓄電しておいて夜間に利用するなどにより、地域が購入するエネルギーを減らし、また、系統への再生可能エネルギーの逆潮流を防ぐこともできる。

本稿では、このような 1 日を通したエネルギー利用の最適化に向けたシミュレーションについて、その方法を検討する。2 節において、エネルギー利用の現状と、最適化の手法の関連研究を述べた上で、3 節では、1 日を対象とした最適化の基本的な考え方を述べる。4 節では、我々のシミュレータの構成を概観し、1 日を対象とした最適化のシミュレーションを行うために必要とする機能を検討する。

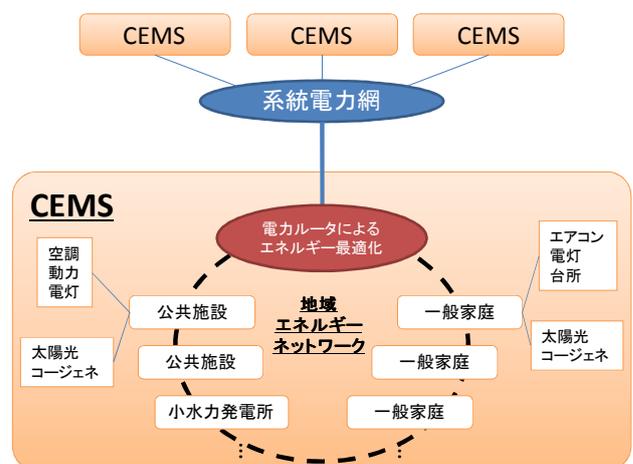


図 1 地域エネルギーマネジメントシステム

[†] 公益財団法人京都高度技術研究所
ASTEM RI / Kyoto

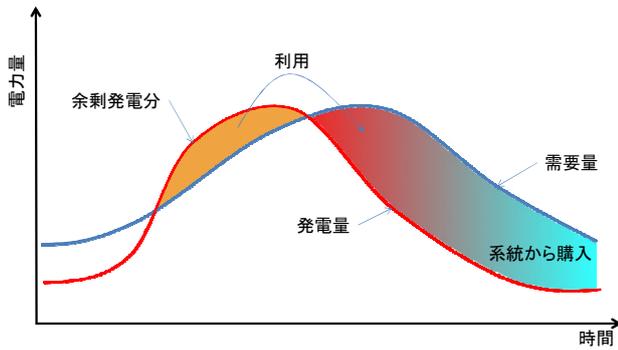


図 2 1日でのエネルギー利用イメージ

2. 関連研究・事例

系統電力網においても、時間帯によるエネルギーの最適化は従来行われてきた。これは、原子力のような出力調整の難しい電力が夜間の電力需要が減る時間帯に余剰になるため、このような電力(いわゆる夜間電力)の有効活用や、電力需要の急激な変動に対応することを目的としたものである。手法としては、例えば、利用者に時間帯別料金により、夜間に電力需要を誘導する方法や(例：関西電力[4])、系統網側で揚水型水力発電所を活用するなどといった手法がとられている。これに対応し、需要家側でも、氷蓄熱式空調設備の導入や、家庭での電気温水器等の活用も広く行われている。

このような電力利用の最適化は、系統電力網や地域内の電力網のような、物理的な電力ネットワーク上でのみ有効という訳ではない。例えば、物理ネットワーク上に仮想的なエネルギーネットワークを構成してサービス提供をするEVNO(Energy Virtual Network Operator)が提案されている[5]。また、2016年には家庭向け電力小売が自由化されるが[6]、単一の電力網上で、各電力小売会社の方針に従い最適なメニューが提供されることになる。

最適化に当たっては、どのような基準により、どのようなアルゴリズムに基づいて最適化を行うかが課題となる。本稿で述べる最適化は、入力として、予測期間内の電力量・需要量の変動予測から、あらかじめ設定した最適化指標に基づいて、配分可能となる電力量を算出する。ここで、利用可能な電力量は、太陽光パネルの発電予測[7]などを行い、また、需要量についても、統計量などを用いて予測する[8]こととなる。その上で、実際の配分を決定するアルゴリズムとしては、数理計画的な手法[9]などにより、指標値の最大化などにより行うこととなる。

3. 1日を通したエネルギーの最適化

この節では、ここで想定する1日を通したエネルギーの最適化について説明する。まず、前提となるCEMSのエネルギー構成について述べ、それに基づいて実現されるべきエネルギー最適化のあり方を説明する。

3.1. エネルギー構成

先に述べたような広域電力網での最適化に対し、ここで検討する最適化は、より狭い一定の地域内で閉じたエネルギー最適化を図るものである。地域内にある太陽光発電などの再生可能エネルギーを、なるべく地域内で活用し、系統電力網とのエネルギーのやりとりをできるだけなくすこ

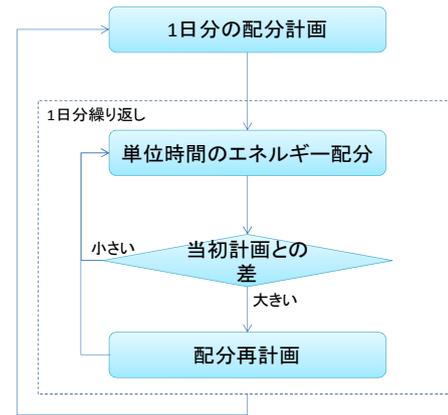


図 3 1日を通したエネルギー最適化の流れ

とを目指している。このため、ここでは、以下のようなエネルギー構成を想定する。

- 再生可能エネルギー
太陽光発電のように、1日の間に時間帯によって発電量が不可抗力により変動する、再生可能エネルギーの地域内での利用を想定する。このような電力は、季節・天候などにより大きく変動するが、一定レベルの事前予測も可能であると考えられる
- 蓄電設備
昼間に十分な量の発電があり、地域内で消費しきれなかった場合の有効活用や、ピーク時の系統からの購入電力を削減するピークシフトなどのために、十分な容量の蓄電設備があるとす。なお、必要とされる蓄電容量の検証も本シミュレータで可能となる
- 系統電力
一般に地域内の再生可能エネルギーのみで、全ての地域内のエネルギー需要を賄うことは不可能であるので、系統電力の購入は可能とする

3.2. 想定するエネルギー利用の姿

このようなエネルギー構成下で想定される、1日でのエネルギー利用状況を図2に示す。この図において、赤線は地域内での発電量、青線は需要量である。

再生可能エネルギーによる発電量は1日の間で変動する。発電量が需要を超えている期間は、余剰分は蓄電される。逆に、需要量が発電量を超過した場合には、その蓄電分を利用するか、系統から電力を購入して地域内の需要を賄う。あるいは、地域内の需要を抑制する方法も考えられる。

このような、エネルギー利用と発電の関係の下で、地域全体におけるエネルギーの需給関係は、発電設備 r からの供給電力量を S_r 、系統からの購入電力量を S_{Grid} 、施設 f の必要電力量を D_f とすると、以下のように表される。なお、CEMS内の全ての発電設備の集合を R 、エネルギーを消費する施設の集合を F とする。

$$S_{Grid} + \sum_{r \in R} S_r = \sum_{f \in F} D_f$$

即ち、1時間や1日といった一定の期間内において、供給されるエネルギーと、利用されるエネルギーが、CEMS内で常に等しくなる。

その上で、地域内での各施設へのエネルギー配分を考えると、各施設が配分されたエネルギー量を共通の評価軸に基づいて評価した時に、その総和が最大化されることを目

指すこととなる。但し、同じ評価軸であっても、その基準は施設ごとに異なる。例えば、来館者が多い施設では、コストが高くて、空調用の電力は購入するが、家庭では節約を重視する、あるいは、太陽光発電を重視するなどといったことである。

そこで、施設 f の必要電力量を D_f は、各発電施設・系統電力からの電力で、以下のように満たされるとする。

$$D_f = S_{\text{Grid}}^f + \sum_{r \in R} S_r^f$$

但し、全ての発電設備(および系統電力) r について、

$$S_r = \sum_{f \in F} S_r^f$$

である。この、全ての S_r^f を決定することが、配電計画となる。このようにすると、施設 f における配電計画に対する評価値 E_f は、各発電施設・系統電力に対する評価関数 $e_f(r, s)$ により、以下のように表現される。

$$E_f = \sum_{r \in R} e_f(r, S_r^f)$$

よって、CEMS 全体を対象とした配電計画において、最大化すべき式は、以下である。

$$\sum_{f \in F} E_f$$

なお、需要量が発電量を上回った時に、蓄積された電力が必ずしも優先的に使われるのではないことに留意が必要である。例えば、系統電力が時間帯別料金を採用している場合には、価格が高い時間帯には蓄電池から、安い時間帯には系統からの電力を利用する、といった考え方がある。また、再生可能エネルギーを愛好する施設や家庭がある場合には、コストに関わらず、再生可能エネルギーを割り当てることも考えられる。また、施設の重要度などに応じたCEMS 内での重み付けも考えられるが、ここでは評価関数に含まれているものとしている(4.3 節で述べる)。

3.3. エネルギー最適化の考え方

以上から、電力の最適な配分を行うためには、ある一定の期間を設定し、コストや選好度などあらかじめ設定した指標に基づき、時間帯間で、利用する電力の構成と利用量の調整が必要となる。

そのために、以下の3つの機能がCEMS には必要となると考えられる。

1. 1日分のエネルギー配分計画機能
1日分の単位時間ごとの各施設へのエネルギー配分を、環境や施設稼働状況、各施設の発電量・需要量の予測値に基づいて算出する。
2. 単位時間のエネルギー配分機能
各単位時間において、上記の各パラメータの実績値に基づいて、計画に極力近づけるように、エネルギー配分を決定する。
3. エネルギー配分再計画機能
1日の途中であっても、計画と実績が極端に乖離した場合に、残りの期間について配分を再計画する機能。

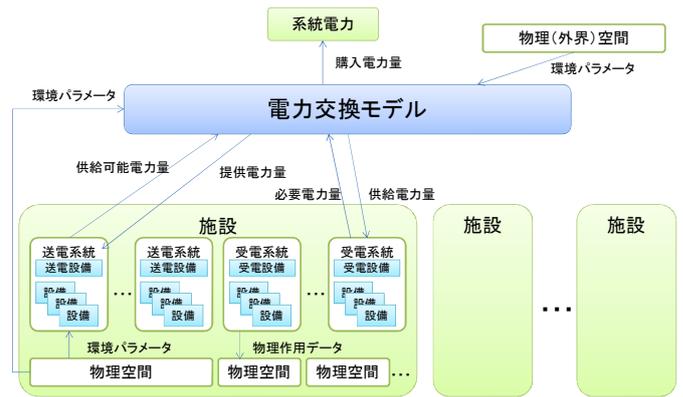


図4 シミュレータの構成

以上のような各機能を、CEMS は図3のようにして利用し、エネルギー配分の最適化を行う。まず、「1日」のはじめに、その日のエネルギー配分計画を立案する。これに従い、単位時間ごとのエネルギー配分を、定期的に繰り返す。この際、当初の計画と大きくずれた場合には、再計画を行う。1日これを繰り返した後、次の1日の計画に移る。

4. シミュレータへの実装

以上のような考え方に基づくエネルギー配分のシミュレーションについて、現在、著者らが作成しているシミュレータ上での実現を進めている。この節では、まず、著者らのシミュレータの構成の概要を説明し、その構成に基づいて、上記の各機能について、その実装の方法について説明する。その上で、先に述べたように、1日での最適化では、蓄電設備が重要な役割を果たすが、蓄電設備が存在することにより、最適配分の算出が難しくなる。このような蓄電設備を含むシミュレーションの方法について、別途検討する。その上で、シミュレーション全体の流れを示し、最後に、試みたシミュレーションの例について述べる。

4.1. シミュレータの概要

著者らのシミュレータの構成を図4に示す。このシミュレータは、CEMS を構成する施設群と、それらの中での電力融通の最適化を行う「電力交換モデル」から構成される。施設群は、実際の公共施設など一定規模の施設における電力システムを踏まえた、以下の構成要素からなる。

- 電力システム(送電システム・受電システム)
一般的に、一定規模の施設は、動力(エレベータ等)、空調、電灯など、用途ごとに複数の電力システムを持っているため、このシミュレータにおいても、そのような電力システムに対応する構成を取っている。また、発電設備を持つ施設においても同様である。このような電力システムには、空調や太陽光パネルなどの設備が属しており、これらが発電した電力や、必要とする電力は、送電設備・受電設備を介して、CEMS 内で交換される。
- 物理空間
施設のエネルギー利用は、その施設の物理的な空間や、その利用状況に影響を受ける。例えば、ホールに多くの人々が来場すると、ホール内の気温は上昇して空調が稼働し、エレベータやエスカレータなどの動力が使用される。このシミュレータでは、単に設備のエネルギー利用量をシミュレートするだけではなく、このような施設の稼働状況も含めてシミュレートし、それに基づいた各電力設備の振る舞いのシ

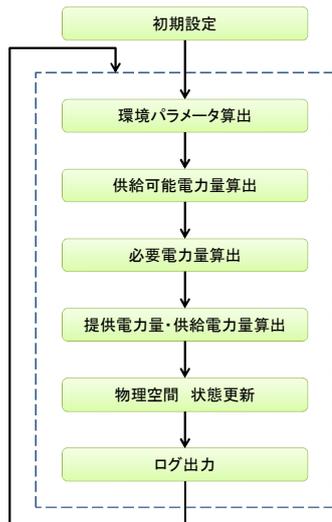


図5 シミュレーションの流れ

シミュレーションが可能な構成となっている。

この構成の下で、シミュレータは、各施設の状態から、次の単位時間(1時間等)の各設備の発電量・需要量を計算し、それに基づいて、電力交換モデルが最適な電力配分を算出する。このシミュレーションの流れを、図5に示す。シミュレーションでは、まず、物理空間などの状態を得る処理として、環境パラメータを算出する。このようなパラメータとしては、施設内や外気の温度・湿度、来場者数などが考えられる。この結果に基づき、発電設備・受電設備それぞれについて、供給可能電力量・必要電力量が算出され、その結果が、電力交換モデルに通知される。電力交換モデルは、このデータに基づいて、実際に配分する最適な電力量を算出し、各施設に通知する。最適と判断する基準としては、コスト、二酸化炭素排出量などが考えられる。また、施設ごとの再生可能エネルギーの選好度なども考えられる。施設は、この結果に従って、物理空間の状態を更新する。例えば、空調に割り当てられたエネルギー量と空調の効率に従って、室内の気温を更新する、などの処理である。最後に、これらの結果をログとして出力する。

4.2. 1日を対象とした最適化シミュレーション

以上のように、シミュレーションにおける電力交換モデルは、各時点における環境の状態と、単位時間におけるエネルギーの供給側・需要側双方の予測発電量・必要量に基づいて、エネルギー配分を決定する。1日を対象とするエネルギー配分を行う場合も、同様に、1日先までの環境の状態の変化や、エネルギーの利用状況の予測に基づいて、エネルギー配分を決定する。このエネルギー配分は、期間中の各単位時間における、各施設へのエネルギー配分量として算出される。

即ち、3.2節における各記号において、時刻 t をパラメータとして受け取るとすると(例えば、時刻 t における施設 f の必要電力量を $D_{f,t}$ とする)、各施設の評価値 $E_{f,t}$ は、以下のよう表現される。

$$E_{f,t} = \sum_{r \in R} e_f(t, r, S_r^{f,t})$$

ここで、評価関数も時間をパラメータとすることに留意

が必要である。先に述べたように、入手可能な電力量や、その料金は、時間帯により異なっている。その上で、最大化すべき式は、期間を $0 \leq t \leq T$ とすると、以下の通りとなる。

$$\sum_{t=0}^T \sum_{f \in F} E_{f,t}$$

なお、配分アルゴリズムへの入力として与えられるデータは、実際のCEMSにおける各時点において入手可能なデータを想定する。例えば、気象予測に基づいた太陽光発電の1日分の発電予測や、施設の利用予定に基づいた電力の利用予測などが考えられる。このような事前の予測と、各時点で得られる情報に基づいた単位時間の予測とは、当然誤差があり、その誤差の存在を前提としたシミュレーションを行うべきである。

また、各時点での実際の電力配分の算出に当たっては、その単位時間内で最適な配分を再度算出することとなる。この際の最適化の指標としては、1日分の計画時と同じ指標を用いる代わりに、計画時との誤差の最小化によることで、各時点での電力配分に、1日を通した最適化を反映することができると考えられる。

4.3. 蓄電設備の最適化への影響

2節で述べたように、CEMSを構成する設備に、蓄電設備の存在を仮定している。このような蓄電設備がないCEMSでは、ある時点で発電した電力は、全て地域内で利用されるか、余った電力は系統に逆潮流として流されるか、捨てられるかのいずれかとなる。よって、ある時点で利用可能な電力に、前の時間帯で生成される電力は含まれず、時間帯間の依存関係はないため、時間帯ごとに独立して電力配分を決定することができる。これは、1日を通した最適化を行う場合であっても同様であり、それぞれの単位時間を独立に考えて、全ての時間におけるエネルギー配分を、指標の総計が最適化されるように、予測に基づいて算出すればよい。

一方、蓄電設備の存在を仮定すると、単純にこのような算出は行えない。ある時間帯で利用可能なエネルギーの量は、その時間帯で生成されるエネルギーに、蓄電設備に蓄えられたエネルギーを加えたものとなるため、前の時間帯のエネルギー配分結果に依存するためである。

即ち、時刻 t における地域内の蓄電池の蓄電量を B_t とすると、時刻 t において余剰となった電力は、 $t+1$ に蓄電池に蓄電されていると考えられるので、時刻3.2節に示した必要な電力量と供給される電力量の関係は、以下のように表される。

$$S_{\text{Grid},t} + \sum_{r \in R} S_{r,t} + B_t = \sum_{f \in F} D_{f,t} + B_{t+1}$$

ここで、 B_t は、時間により増減することに留意する。このように、最適化の対象となるパラメータが、時系列の依存関係を持つこととなり、その上で、前節に示したように、期間中の評価値の総和の最大化を行うこととなる。

このような、時系列での最適化については、より詳細な検討を今後行うこととしているが、ここでは、太陽光発電の特性を仮定し、1日を蓄電のみを行う時間帯と放電のみを行う時間帯に分けて、それぞれでの最適な電力利用を行う、という考え方に基づいて検討を進める。

図 2 に示すように、晴天時を仮定し、理想的なパネル設置がなされているとすると、太陽光発電の発電量の日変動は正午をピークとする山型となり、夜間は発電しなくなる。この場合、昼間(おそらくピーク前後の)時間帯で、需要が発電量を下回っている時に蓄電が行われることとなる。一方、夜間は放電されるのみである。

そこで、時刻 $0 \sim t'$ を蓄電、 $t' + 1 \sim T$ を放電の時間帯とした時、まず、蓄電の時間帯で、各時刻 t に余剰となる電力量を SU_t とすると、時刻 t における需要・供給の関係は以下により表される。

$$S_{Grid,t} + \sum_{r \in R} S_{r,t} = \sum_{f \in F} D_{f,t} + SU_t$$

但し、系統から電力を購入してまで蓄電をしないのであれば、下記の制約条件が追加される。

$$SU_t \leq \sum_{r \in R} S_{r,t}$$

即ち、蓄電池からは電力を供給しないのであれば、蓄電池の蓄電量は式に現れない。その上で、放電の時間帯が始まる $t' + 1$ の時点においては、蓄電池には、以下の電力量が蓄積されているはずである(時刻 0 においては蓄電されていないものとする)。

$$B_{t'+1} = \sum_{t=0}^{t'} SU_t$$

放電の時間帯では、蓄電池から供給される電力を BS_t とすると、最適化は、制約条件として、蓄電池にある電力以上は使えない、という制約条件

$$\sum_{t=t'+1}^T BS_t \leq B_{t'+1}$$

が追加された状態で、

$$S_{Grid,t} + \sum_{r \in R} S_{r,t} + BS_t = \sum_{f \in F} D_{f,t}$$

によって表現される配電計画を、放電期間全体を対象として考えればよいこととなる。

その上で、蓄電期間・放電期間の間の依存関係が課題となる。一般的には、下記の、蓄電期間・放電期間の評価値の総計を最大化すべきである。

$$\sum_{t=0}^{t'} \sum_{f \in F} E_{f,t} + \sum_{t=t'+1}^T \sum_{f \in F} E'_{f,t}$$

ここで、蓄電期間と放電期間では、その評価関数が異なっている。しかし、これでは蓄電期間の各時間で余剰となるエネルギー SU_t の最適化が、放電期間の蓄電池利用と依存関係を持つことになり、期間全体としての最適化は単純化されない。なぜなら、一般には、蓄電期間に電力を蓄積することが、放電期間の評価値を上げるとは限らないからである。

よって、1 日の期間を通じた戦略として、放電期間に向けて、蓄電期間にどのように再生可能エネルギーをためて

おくか、CEMS 全体としての再生可能エネルギー利用の戦略が必要である、と考えられる。なるべく生成された時に使い切ってしまうべきと考えるのか、蓄積して使うべきと考えるのかなどの戦略に基づくことで、蓄電期間における評価値の向上が、同時に、放電期間の評価値の向上につながることを期待できるので、各期間個別に最適化してもよくなる。また、各期間中においても、再生可能エネルギーの蓄電を優先するか、あるいは、蓄電されたエネルギーを優先的に利用するかにより、最適化を容易にすることもできると考えられる。

更に、蓄電池の利用を重視するか、しないかの戦略も考慮されるべきである。即ち、評価値の総和を算出する際に、下記のように、各施設の評価値を、重み付け $w_{f,t}$ によって、重み付けをする。この重み付けは、CEMS(シミュレータにおいては電力交換モデル)によってなされる。

$$\sum_{f \in F} w_{f,t} E_{f,t}$$

このような考え方によれば、蓄電期間・放電期間相互の依存関係を出来るだけ排除(あるいは無視できる状態に)しつつ、一定レベルの最適な配電計画の立案が可能となると考えられる。

ただし、期間を分けるという考え方をとらない場合、例えば昼間でも太陽光発電を優先的に使用する場合などは、以上の考え方は適用できないので、より高度な最適化が必要である。また、ここで検討した最適化は、CEMS でのエネルギー利用の戦略に対して一定の仮定を置いた下での最適化であり、厳密な最適化ではないことは留意が必要である。

5. まとめ

再生可能エネルギーは、時間帯や天候によってその発電量が上下するため、需要量と発電量は一致しないことが一般的である。そのため、再生可能エネルギーの最適な利用を実現するためには、蓄電設備などを活用し、1 日を通じたエネルギー利用の最適化を図る必要がある。

著者らは、現在開発を進めている地域エネルギーマネジメントシステムシミュレータにおいて、このような 1 日を通じたエネルギーの最適利用のシミュレーションの実現手法について検討を進めている。この手法では、環境や再生可能エネルギーの 1 日分の予測データに基づいて最適な配分計画を立案できるような仕組みを導入し、それに極力沿った配分を各単位時間において行えるようにすることとした。この事前計画の立案は、事前の気象状況や施設稼働状況などの予測データに基づいて行うことが想定されている。

このような 1 日を通じた最適化において、蓄電設備などによるピークシフト効果を織り込むことが重要となるが、各単位時間で利用可能なエネルギーが、その直前のエネルギー利用状況に依存するため、事前計画の立案は容易ではない。現在の著者らのシステムでは、再生可能エネルギーとして最も一般的な太陽光発電の発電量の日内変動を踏まえ、蓄電期間と放電期間を分離することで、このような依存関係をできるだけ排除し、一定レベルの最適化が可能な考え方を採用している。

著者らは、現在、試験用に生成したデータによるシミュレータの検証を進めている段階であるが、今後、実測データなどによる、より本格的な検証を進めることとしている。

謝辞 本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 スーパークラスタープログラム 京都地域「クリーン・低環境負荷社会を実現する高効率エネルギー利用システムの構築」によりなされたものである。

シミュレータの実装に当たっては、株式会社 CIJ ソリューションズ岡本浩至氏、山中秀哉氏、宮岸直哉氏に多大なるご協力をいただいた。

参考文献

- 1) 林秀樹, 豊田充, 和知功: 電気エネルギー貯蔵システムに関わる国際標準化への取組, 電気評論 (2014) .
- 2) 林 泰弘: 分散型電源の導入拡大に対応した配電系統電圧制御の動向と展望, 電気学会論文誌. B, 電力・エネルギー部門誌, 129(4), 491-494 (2009) .
- 3) 吉田信明, 神原弘之: 地域エネルギーマネジメントの有効性評価のためのシミュレーションソフトウェア, 情報処理学会研究報告. EMB, 組込みシステム 2015-EMB-36(42), 1-6 (2015) .
- 4) 関西電力: 主な電気料金メニュー, <http://www.kepco.co.jp/home/ryoukin/menu/index.html> (2015-07-23 閲覧) .
- 5) 山中直明: ICT を用いたスマートグリッドの最新課題, 電子情報通信学会誌 98(2), 105-111 (2015) .
- 6) 資源エネルギー庁: エネルギーシステムの一体改革について, http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/energy_system_reform/ (2015-07-23 閲覧) .
- 7) 大関崇: 太陽光発電システムの発電把握・予測の技術動向, 太陽エネルギー, 39(6), 5-21(2013).
- 8) 井上 洋思, 石山 文彦, 渡辺 敏雄, 大山 孝: 家庭の電力時系列から得た統計的特徴に基づく家電機器の動作状態推定方法, 情報科学技術フォーラム講演論文集 13(4), 379-380 (2014) .
- 9) Morimoto, N., Fujita, Y., Yoshida, M., et al.: A Power Allocation Management System Using an Algorithm for the Knapsack Problem, 2014 IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW) 2014, pp. 590-595 (2014).