

# エネルギー効率活用のための スマートコミュニティモデルの開発と拡張

所 健一, 福山 良和

世界規模での環境問題などを背景に、再生可能エネルギーを活用することで持続可能かつ低環境負荷な新たな地域社会を実現する、スマートコミュニティの取組みが各国で実施されている。こうしたスマートコミュニティの取組みに対して、電気学会ではスマートコミュニティの定量評価が行えるモデルを開発している。このモデルに最適化をはじめとする各種オペレーションズ・リサーチの手法を適用すれば、理想的なスマートコミュニティの実現に大きく貢献できると考えられる。そこで、モデルの概要を紹介するとともに、オリンピック・パラリンピックへの対応を例に、オペレーションズ・リサーチの手法との組合せによるモデルの活用方法を考察する。

キーワード：スマートコミュニティ、モデル化、最適化、オリンピック・パラリンピック

## 1. はじめに

世界規模での環境問題などを背景に、最新の情報技術などを用いて出力が不安定な再生可能エネルギーを最大限に活用し、持続可能かつ低環境負荷な地域社会を実現しようとする新たな取組みが、わが国をはじめとする世界各国で実施されている [1, 2]。こうした取組みの一つにスマートコミュニティがある。

こうしたスマートコミュニティの取組みに対して、電気学会スマートコミュニティ実現検討特別研究グループでは、スマートコミュニティの定量評価が行えるモデルの開発に取り組んだ [3]。そして、7分野（電力、ガス、水道、鉄道、産業、業務、家庭）の相互作用を考慮したうえで、スマートコミュニティ全体でのエネルギーコスト、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量などの基本的な評価が行えるモデル（以降、基本モデル）を開発した。

開発した基本モデルでは、モデルの利用者が各分野のエネルギー機器の起動・停止や起動時の出力などの決定変数の値を入力すると、それに対応したスマートコミュニティ全体での評価値が計算される。モデル自体には決定変数の最適値を求める最適化機能はない。このため、理想とするスマートコミュニティ実現のためには、このモデルと最適化技術をはじめとするオペレーションズ・リサーチの各種手法（以後「OR手法」

という）を組み合わせることが有効と考えられる。

現状の基本モデルは、7分野の相互作用を考慮した評価を行う機能の確認を第一の目的として開発されたものである。現在、後継の委員会において、より実用的な評価が行えるよう、開発した基本モデルの拡張に取り組んでいる [4]。この拡張モデルが完成すれば、これとOR手法とを組み合わせることで、たとえばオリンピック・パラリンピックへ向けた社会基盤の整備など、さまざまな場面で有用な検討が行えると期待される。

本稿では、次節で開発したスマートコミュニティ基本モデルの概要を紹介する。次に3節において、これまでの基本モデルの最適化に関する研究での活用事例について紹介する。そして4節において、オリンピック・パラリンピックに関する検討への適用を例に、現在取り組んでいる基本モデルの拡張について述べる。

## 2. スマートコミュニティモデル

電気学会スマートコミュニティ実現検討特別研究グループでは、7分野の相互作用を考慮したスマートコミュニティの基本的な評価が行える基本モデルを開発した（図1）。基本モデルは7分野それぞれのモデルと、スマートコミュニティ全体でのエネルギーコスト、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量を計算する全体モデルとから構成される。この基本モデルは表計算ソフト上に実装されており、各分野はそれぞれの1枚のシートとしてモデル化されている。

基本モデルはエネルギー機器の運転計画などを最適化する機能は有していない。単純に基本モデルの利用者が入力したエネルギー機器の運転計画（エネルギー機器の起動・停止タイミング、各時刻の出力、…）な

ところ けんいち

(一財) 電力中央研究所

〒 201-8511 東京都柏江市岩戸北 2-11-1

ふくやま よしかず

明治大学

〒 164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

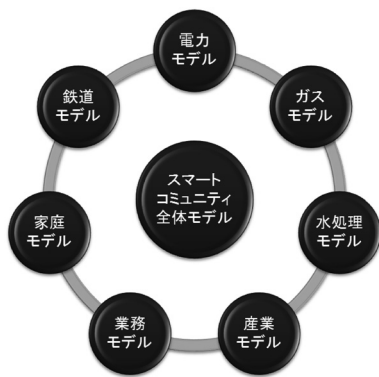


図1 スマートコミュニティ基本モデル

どの決定変数の値に対して、コミュニティ全体でのエネルギー消費量、エネルギーコスト、CO<sub>2</sub> 排出量を計算する。以下に基本モデルを構成する7分野のモデルの概要を示す。

### 2.1 全体モデル

全体モデルは、電力・ガス分野からスマートコミュニティのほかの分野への電力・ガスの供給量、および各分野内での電力・ガス以外のエネルギー消費量を集計し、スマートコミュニティ全体でのエネルギー消費量、およびコストを計算する。CO<sub>2</sub> 排出量は、各エネルギーの消費量にCO<sub>2</sub>の排出原単位を乗じて算出する。

以下で説明する各モデルで決定変数の値を変更することで、その決定変数の変更がスマートコミュニティ全体に与える影響が自動計算され、その結果として全体モデルの表計算シートのコストおよびCO<sub>2</sub> 排出量が更新される。

### 2.2 電力モデル

需要家に電力を供給する電気事業をモデル化している。電気事業は発電、送電、配電などに分けてモデル化することができるが、基本モデルでは送電・配電のネットワーク部分はモデル化していない。発電部分のみをモデル化し、エネルギー源となる原子力、火力、水力、再生可能エネルギーなどの各種発電設備のベストミックスを評価するモデルとしている。

他分野のシートのデータから、コミュニティ全体での電力消費量（各分野での自家発電分を除く）が計算され、このシートに集計される。このモデルで利用者が変更可能な決定変数は、コミュニティ全体の電力消費量を各種の発電機でどのように分担するかの発電比率である。ユーザが各種発電機の発電比率を入力すると、石油火力、石炭火力などの各種発電機の実績データ（発電出力当たりの燃料消費量、CO<sub>2</sub> 排出量）から、コミュニティ全体でのCO<sub>2</sub> 排出量と電気代が計算さ

全発電量	発電比率	発電単価 x円/kWh	CO <sub>2</sub> 排出 原単位 y t-C/kWh	電力コスト	CO <sub>2</sub> 排出量	消費電力量	...
各分野モデル の消費電力 の合計	LNG火力	0.3					
	石炭火力	0.2					
	石油火力	⋮					
	原子力	⋮					
	水力	⋮					
	太陽光	⋮					
	風力	⋮					
供給予備力							

図2 電力モデル

れ、これが全体シートに記録される（図2）。

### 2.3 ガスモデル

ガス事業には導管を利用して需要家にガスを供給する都市ガス事業と、ガスポンプを用いてオンサイトで需要家にガスを供給するLPガス事業がある。ここでは、都市ガス事業のみをモデル化の対象とする。

都市ガスの製造効率は99.5%とも言われている。また、輸送において電力のようなロスが発生せず、輸送効率は100%とみなすことができる。そこで基本モデルでは、ガスモデルを各分野で必要なガス量をそのまま供給する、ガスエネルギーのソースとしてモデル化した。

他分野のシートに入力されたデータから、コミュニティ全体での都市ガスの消費量が計算され、ガスモデルの表計算シートに集計される。これが供給ガスの量となり、特性データからコミュニティ全体のガス消費量に加え、ガス消費に伴うCO<sub>2</sub> 排出量とコストが算出され、全体モデルのシートに記録される。

### 2.4 鉄道モデル

鉄道モデルでは鉄道運行でのエネルギー消費をモデル化した。電気車両とディーゼル車両の性能データが保存されており、ユーザが運行車両数や運行方法の決定変数を変更することで、電力消費のピークシフトや太陽光発電の余剰電力の吸収効果などが評価できる。

車両運行を変化させると消費エネルギーが変化することに加えて、車両が混雑する、目的地への到着が遅くなる、乗車時間や待ち時間が長くなるなど、乗客への影響が出る。そこで、鉄道モデルではこうした不便益を評価できるように、消費エネルギーに加えて一般化費用を出力する。一般化費用とは運賃・料金のほか、所用時間に移動の快適性など、移動にかかる諸コストを貨幣価値に統一換算し、鉄道などの移動サービスの価値を定量的に評価する指標である。

なお、実際の鉄道分野では、駅、車両基地、オフィスなどでもエネルギーが消費されるが、基本モデルでは駅やオフィスは業務分野で取り扱うビルとみなし、鉄

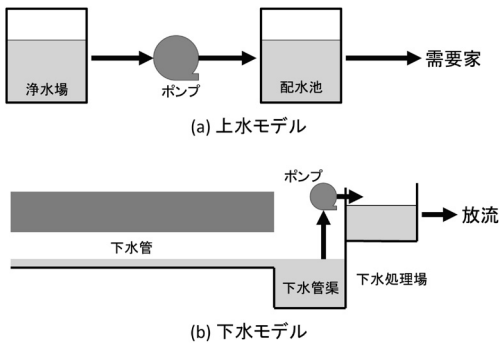


図3 水処理モデル

道モデルでは鉄道運行のみを取り扱う。

## 2.5 水処理モデル

生活用水を供給する上水道と、排水を処理する下水道のそれぞれをモデル化した(図3)。上水モデルは浄水場と、浄水場で作られた水をいったん貯留する配水池から構成される。下水モデルは排水を集める下水管渠と、下水を浄化して放流する下水処理場から構成される。

上水モデルでは浄水場、配水池をバッファとして配水池への送水量を調整できる仕組みとしている。また、下水モデルは下水管渠をバッファとし、下水処理場の処理水量を調整できる仕組みとしている。上水の配水池へ水を汲み上げるポンプの稼働タイミング、下水の下水管渠から下水処理場へ汚水を汲み上げるポンプの稼働タイミングを調整することによる、消費電力のピークシフトや太陽光発電の余剰電力の活用などが評価できる。

## 2.6 産業/業務モデル

産業モデルは工場でのエネルギー消費、業務モデルはショッピングセンターや大型ビルなどの大規模施設でのエネルギー消費をモデル化したものである。

このうち産業モデルについては、産業応用のためのベンチマーク問題として提案されたモデル[5]に、新たなエネルギー機器(太陽光発電と蓄電池)を追加し、デマンドレスポンスによる需要の削減量を評価に反映できるように改良を加えたものである。ここでデマンドレスポンスとは、間接的に人間を制御することで需要を変化させ、効率よく需給平衡を維持する技術である。デマンドレスポンスには大きく金銭的インセンティブにより人間の行動を導く経済的手法と、情報の提供により人間の行動を導く情報的手法の二つがある。

産業モデルには太陽光発電、蓄電池、ガスタービン、ボイラ、ターボ冷凍機、蒸気吸収式冷凍機のエネルギー機器と、組立加工工場の需要がモデル化されている(図4)。

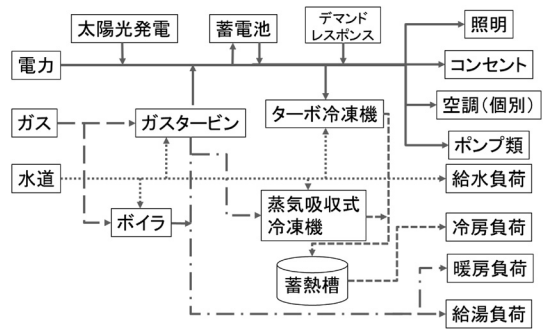


図4 産業/業務モデル

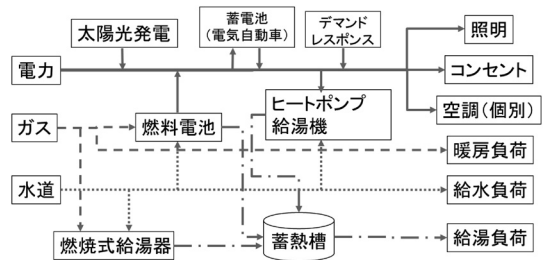


図5 家庭モデル

ガスタービンのガス消費量、ターボ冷凍機の起動停止と熱出力、蒸気吸収式冷凍機の起動停止と熱出力、蓄電池の充放電量、デマンドレスポンスによる需要変化量を決定変数として入力すると、工場での電力消費量、ガス消費量が計算され、その結果が電力モデル、ガスモデルへと引き渡される。

業務モデルについては、産業モデルを流用したものとなっており、エネルギー機器は産業モデルと同一となっている。ただし、需要データについては産業モデルとは異なる、業務ビルの需要がモデル化されている。

## 2.7 家庭モデル

一般家庭のエネルギー消費をモデル化している(図5)。モデル自体は集合住宅と一戸建てで共通のモデルとなっているが、需要については集合住宅の需要、一戸建ての需要がそれぞれ用意されている。

エネルギー機器としては、蓄電池(電気自動車を含む)、ヒートポンプ給湯機(エコキュート)、燃料電池、燃焼式給湯器がモデル化されており、これら機器の起動・停止タイミング、充電・放電タイミングの決定変数の値を入力すると、家庭での電気とガスの使用量が計算され、その結果が電力モデル、ガスモデルへと引き渡される。

## 3. 基本モデルの活用事例

前節で紹介したスマートコミュニティ基本モデルに

については広く一般に公開し、スマートコミュニティに関連する研究で活用していただく方向で検討を進めている。2016年11月現在、関係者に限定開示し、表計算ソフトの参照間違いやデータの入力ミスなどのバグがないことを確認するとともに、モデルの活用について検討していただいている。

こうした検討の中で、これまでに基本モデルのうちの産業モデルを、工場に設置されたエネルギー機器の最適運転計画を求めるベンチマーク問題として活用する研究が行われている [6]。また、7分野からなるスマートコミュニティの全体最適を目的とした研究として、スマートコミュニティ全体でのエネルギーコストが最小となる、各分野のエネルギー機器の最適運転計画などを求める研究が行われている [7]。さらにスマートコミュニティ全体でのエネルギーコストに加え、ピーク時間帯の消費電力の最小化も目的とした、多目的最適化のベンチマーク問題として活用した研究も行われている [8]。本節ではこれらの活用事例のうち、スマートコミュニティ全体でのエネルギーコストの最小化を目的とした研究の概要を紹介する。

### 3.1 定式化

スマートコミュニティの全体最適を目的とした問題を、以下の最適化問題として定式化している。

最小化	エネルギーコスト
制約	エネルギーバランス エネルギー機器の運転制約
決定変数	各モデルのパラメータ

ここで、エネルギーコストとは、スマートコミュニティ全体（7分野）で消費されるエネルギー（電気、ガス、蒸気、湯）のコストの合計を表している。

制約条件のエネルギーバランスは、モデルごとに各エネルギーの消費量と生成／購入したエネルギー量が一致することを保証する制約である。また、エネルギー機器の運転制約は、エネルギー機器の最小出力、最大出力の制約などである。

決定変数としては、表1のパラメータを最適化している。

### 3.2 解法

上述のスマートコミュニティ全体のエネルギーコストの最小化を目的とする問題は、目的関数が非線形の混合整数計画問題として定式化される。出力に対する燃料消費量などのエネルギー機器の特性が非線形となるため、目的関数は非線形関数となる。また、エネルギー機器の起動・停止は0-1変数で表現されるため、問

題は混合整数計画問題となる。

さらに、最適化の対象となる決定変数の数は多く（後述する数値実験では672変数）、問題の厳密解を得ることは困難となる。そこで、文献 [7] では、この大規模・複雑な問題の最適解を、PSO (Particle Swarm Optimization) と勾配法を組み合わせたアルゴリズムにより探索している。まずは PSO を用いて最適解を探索し、次に PSO により得られた解を初期解として、勾配法により最終的な各時刻のエネルギー機器の出力を決定している。なお、PSO による探索においては、エネルギー機器の起動・停止を表す離散変数と、起動時の出力を表す連続変数とを一つの連続変数として表現する切り上げ関数 [9] を採用することで、探索の効率化が図られている。

### 3.3 計算結果

富山市と同規模程度を想定したスマートコミュニティのモデル都市 [10] を対象に、従来の経験に基づく運用方法を用いた場合とのエネルギーコストの比較が行われている。この数値実験では、従来の経験に基づく運用方法と比べ、PSO と勾配法の組合せ手法を適用することでエネルギーコストが34.7%削減している。

このエネルギーコストの削減を分野別に見ると、産業分野でのエネルギーコストの削減額がもっとも大きくなっている。さらに産業分野でのコスト削減の詳細を調べた結果として、複雑な制約条件を満たしつつ、エネルギー機器の使用料金の高いピーク時間帯に稼働していたエネルギー機器を、オフピーク時間帯に稼働するようにピークシフトを図ったことの効果が大きいと報告されている。

## 4. スマートコミュニティモデルの拡張

現状の基本モデルは、7分野の相互作用を考慮したスマートコミュニティの評価を行う基本機能の確認を第一の目的として開発されたものである。より現実的なスマートコミュニティの評価を行うためのモデル拡張の検討が、スマートコミュニティ実現検討特別研究グループの後継委員会において進められている。本節では、検討されているモデルの拡張が実現できたとして、これと OR 手法を組み合わせることで、どのような評価が行えるかを、オリンピック・パラリンピック開催期間中のエネルギーの効率活用を例に考察する。

### 4.1 オリンピック・パラリンピックにおけるエネルギー利用

オリンピック・パラリンピックは莫大なエネルギーを消費するイベントである。2012年のロンドンオリ



表 1 決定変数

関連モデル	決定変数
水処理モデル	取水量 (上水), 送水量 (上水), 揚水量 (下水), コジェネ電気出力, 蓄電池充放電量
産業モデル	ガスタービン電気出力, ターボ冷凍機熱出力, 蒸気吸収式冷凍機熱出力, 蓄電池充放電量
業務モデル	ガスタービン電気出力, ターボ冷凍機熱出力, 蒸気吸収式冷凍機熱出力
家庭モデル	燃料電池電気出力, エコキュート熱出力, 蓄電池充放電量
鉄道モデル	運行本数, 平均運行距離, 時間平均速度, 車両定員, 編成車両数, 乗車人数, 平均乗車距離
電力モデル	発電機種ごとの発電比率
ガスモデル	—

ピック・パラリンピックは持続可能性において大きな成果を残したが、エネルギーに関しては斬新なことを打ち出す機会とはならなかったと報告されている [11].

これに対して東京オリンピック・パラリンピックでは、革新的なエネルギー需給管理システムと水素エネルギーの活用を2本柱とする、新たな社会インフラの整備を目指すことが発表されている [12]. ここで革新的なエネルギー需給管理システムとは、再生可能エネルギー、蓄電池、デマンドレスポンスなどを統合的に制御し、電力や熱エネルギーを最適に運用するものである。また、水素エネルギーの活用方策としては、運行する燃料電池バスや燃料電池自動車に、再生可能エネルギーの電力でつくったCO<sub>2</sub>フリーの水素を供給することなどが検討されている。

東京オリンピック・パラリンピックに関しては、すでに着々と準備が進められており、今から検討を行った結果が実際に役立つことは難しい。しかし、ここではオリンピック・パラリンピックでのエネルギーの最適運用を例に、現在検討を進めている拡張モデルとOR手法の組合せの適用を考察する。

#### 4.2 デマンドレスポンスのモデル化

現状の基本モデルでは、デマンドレスポンスについては需要の削減量の確定値が入力データとして与えられるものとしている。しかし、実際にはデマンドレスポンスの効果を事前に把握することは不可能である。デマンドレスポンスの活用が検討されている、東京オリンピック・パラリンピックのエネルギー需給管理システムなどを評価するには、デマンドレスポンスによる需要の削減量が推定できるモデルが必要となる。

前述のようにデマンドレスポンスには、大きく金銭的インセンティブにより人間の行動を導く経済的手法と、情報の提供により人間の行動を導く情報的手法の二つがある。このうち経済的なデマンドレスポンスの代表には、需給逼迫が予想されるピーク時間帯の価格を高くすることでピーク需要の削減を促す緊急ピーク時課金や、緊急ピーク時に消費量を削減した需要家に、

その削減量に応じてリベートを払い戻す緊急ピーク時リベートなどがある [13].

一方、情報的なデマンドレスポンスの代表は、お買い得情報の提供やクーポンの発行などにより、人間の行動を変化させるものである。たとえば電力需要が高まる時間帯に近隣店舗で利用できるクーポンを発行し、外出を促すことでピーク電力を削減する実証が行われている。

いずれの手法においても、デマンドレスポンスのモデル化では、いかに不確実な人間行動をモデル化するかが課題となる。たとえば同じ人に同じ条件下で、同じリベートを提示したとしても、日によってデマンドレスポンスへの協力・非協力の態度が変化することは十分に起こりうる。実用的なデマンドレスポンスのモデル化を行うには、こうした人間の不確実性をモデルに組み込む必要がある。

また、デマンドレスポンスに関しては人の慣れや飽きにより効果が低減することが報告されている [14]. 実用的な分析のためには、こうした人間の慣れや飽きについてもモデル化する必要がある。

こうした人間行動の不確実性を反映したデマンドレスポンスのモデルが完成すれば、これとOR手法を組み合わせることで、たとえばオリンピック・パラリンピックの大会期間中の需要増に対して、設備を増強して対応するのが経済的なのか、デマンドレスポンスにより需要を削減するのが経済的なのかの判断が可能になると考えられる。さらには設備増強かデマンドレスポンスかの択一の選択だけでなく、設備増強とデマンドレスポンスにどう組み合わせるのがもっとも効果的なのかを求めることも可能と考える。

なお、デマンドレスポンスに関してはエネルギーに限らず、大会期間中の鉄道分野などでの需要増への対応策の一つの選択肢になると考えられる。2012年のロンドンオリンピック・パラリンピックでは、海外からの観光客が殺到したロンドンの地下鉄は過去最多の乗客数を記録し、通勤もままならない状況となった。

こうした交通機関の混雑緩和の方策の一つとして、たとえば通勤時間のシフトなどにインセンティブを与える、広義のデマンドレスポンスの活用も有効と考えられる。

#### 4.3 機器投資コストのモデル化

現状の基本モデルではエネルギーコストとして、消費エネルギー量に比例する変動コスト（従量コスト）のみを計算している。各エネルギー機器のコストは反映していない。このため現状の基本モデルでは、エネルギー機器の運用の評価は行えるが、新たなエネルギー機器の投資の評価は行えない。そこで、新たなエネルギー機器への投資コストを考慮した経済性評価が行えるようにするモデル拡張を検討している。この拡張が完成すれば、OR手法との組み合わせにより、大会期間中の需要増に対応する設備投資の最適化が行えるようになると思われる。

大会期間中の需要の増加への対応策としては、大きく以下の三つの方策が考えられる。

- ・大会期間中は仮設の（レンタルした）エネルギー機器で需要増に対応
- ・大会期間中の需要増に合わせて設備を恒久的に増強
- ・蓄電池に代表される移設可能なエネルギー機器の導入により需要増に対応し、大会終了後はエネルギー機器をもっとも効果の高い地点へ移設して使用

ロンドンオリンピック・パラリンピックでは、大会期間中の電力需要増に対応するため、600台（総出力270MW）のディーゼル発電機（総導入量：270MW）が仮設導入されたが、大会期間中はCO<sub>2</sub>排出量が大きく増加した。今後のオリンピック・パラリンピックでは、経済的かつクリーンに大会期間中のエネルギーをはじめとする需要増に対応することが望まれる。

拡張したモデルとOR手法を組み合わせれば、電力に限らず、鉄道などを含めた大会期間中の短期的な需要増に経済的かつクリーンに対応する方策が探索できると期待される。コストだけでなく排出されるCO<sub>2</sub>の量も最適化の際に考慮することで、環境面にも配慮した最適化が可能と考えられる。また、大会期間中だけでなく、大会終了後の設備活用も考えたエネルギー機器への設備投資の最適化を行うことで、投資コストを効率的に活用する選択肢が見つかると思われる。

## 5. おわりに

本稿では、スマートコミュニティを構成する7分野の相互影響を考慮したうえで、コミュニティ全体のエネルギーコスト、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の評価が行えるモデルの概要を説明した。また、このモデルの活用事例として最適化のベンチマークとして活用した研究について紹介した。そして、最後にオリンピック・パラリンピックへの適用を例に、現在検討しているモデルの改良・拡張の取組みについて説明した。

### 参考文献

- [1] 経済産業省, スマートグリッド・スマートコミュニティ, [http://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/smart\\_community/](http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/) (2016年10月5日閲覧)
- [2] スマートコミュニティ・アライアンス (JSCA: Japan Smart Community Alliance), スマートコミュニティ・アライアンス (JSCA) について, <https://www.smart-japan.org/> (2016年10月5日閲覧)
- [3] 安田恵一郎, “スマートコミュニティの定義とモデル構築,” 平成27年電気学会全国大会論文集, H1-2, 2015.
- [4] 所健一, “スマートコミュニティモデルの課題と発展,” 平成27年電気学会全国大会論文集, H1-6, 2015.
- [5] 鈴木亮平, 岡本卓, “エネルギープラント運用計画のための最適化ベンチマーク問題,” 平成24年度電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 318-321, 2012.
- [6] R. Suzuki, “An optimization benchmark problem based on the energy plant model in the smart-community,” *SAMCON 2016*, p. 6, 2016.
- [7] 佐藤満子, 福山良和, “PSOを用いたスマートコミュニティの全体最適化,” 電気学会研究会資料 ST, pp. 17-22, 2016.
- [8] 佐藤満子, 福山良和, “探索領域の削減を考慮した Differential Evolution によるスマートコミュニティ全体最適化,” 平成28年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS4-2, 2016.
- [9] 岡本卓, 足立直紀, 鈴木亮平, 小塚成一, 平田廣則, “エネルギープラント運用計画と最適化手法の適用例,” 平成27年電気学会全国大会, 4-S21-6, 2015.
- [10] 菅野智司, 松井哲郎, 福山良和, “スマートコミュニティモデルの活用,” 平成27年電気学会全国大会, H1-5, 2015.
- [11] S. McCarthy, <http://www.cs.london.org/publications/?category=1&did=109> (2016年10月5日閲覧)
- [12] 経済産業省, “東京五輪向けインフラ整備で革新エネ技術を展開,” 電気新聞, 2015年11月2日号.
- [13] 服部徹, 戸田直樹, “米国における家庭用デマンドレスポンス・プログラムの現状と展望—パイロットプログラムの評価と本格導入における課題—,” 電力中央研究所調査報告書, Y10005, 2011.
- [14] A. Laskey and O. Kavazovic, “OPOWER,” *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 17, pp. 47-51, 2011.