

## スマートコミュニティの機能検証に向けた 都市エリアシミュレーション

山下 倫 央<sup>†1</sup>

近年、エネルギーシステム、交通システム、情報通信システムといった生活インフラ全体を統合して、効率的な都市機能を実現するスマートコミュニティが提唱され、各地で実証事業が始まっている。スマートコミュニティにおいては各種システムが複合的に機能するため、省エネルギー、雇用拡大、持続可能性に関する導入効果を算出する都市エリアを対象としたシミュレーションの開発が期待されている。本稿では、スマートコミュニティの機能を検証するためのシミュレーションに求められる機能をまとめる。

### Urban Area Simulation for Verification of Function of Smart Community

TOMOHISA YAMASHITA<sup>†1</sup>

Recently, it has been proposed the concept of smart community realizing efficient urban functions with integration of energy system, traffic system, and information system, etc. Then, the demonstration business of smart community has begun by Ministry of Economy, Trade and Industry. An urban area simulation is required to verifying the function of smart community because subsystems in smart city work interdependently. In this paper, we explain the outline of smart community and discuss the function for an urban area simulation.

<sup>†1</sup> 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)

### 1. はじめに

近年、地球温暖化に対する世界的な関心の高まりを背景に、太陽光や風力等の再生可能エネルギーを安定的に供給し、効率的なシステムを可能とするスマートグリッドに世界的な注目が集まっている。さらに、エネルギーシステム、交通システム、情報通信システムといった生活インフラ全体を統合して、効率的な都市機能を実現するサービスを含めた社会システムとしてスマートコミュニティが提唱され、各地で実証事業が始まっている<sup>4),5)</sup>。

エネルギー自給率の向上やCO<sub>2</sub>の排出大幅削減のためには、エネルギー利用者の意識改革やライフスタイルの転換と再生可能エネルギーの大量導入が不可欠である。また、エネルギーの有効利用という観点からは、電力を地域単位で統合的に管理するとともに、交通システムなども組み合わせ、人々のライフスタイル全体を視野に入れて社会システムを設計することが必要となる。スマートグリッドにおいては、ITを活用することで需要家側の機器と、太陽光発電や風力発電といった出力が不安定な分散型電源を含む供給側の電力設備を制御することで電力の需給のバランスを取り、安定的な電気供給の維持を目指している。また、スマートコミュニティにおいては、電気の有効利用に加え、熱や未利用エネルギーも含めたエネルギーを地域単位で統合的に管理し、交通システムやライフスタイルの転換などを複合的に組み合わせることが試みられている<sup>1)</sup>。そのためには、地域の産業やライフスタイルに対応した地域単位でのエネルギーマネジメントシステムの構築を進めることや、エネルギーの面的利用・未利用エネルギーの有効活用が必要とされる。また、スマートコミュニティの構成要素の一つとなるスマートハウス(ITを利用して消費電力を制御する住宅)の開発も進んでいる。さらに、適切な経済的なメリットに加えて、需要家がエネルギー需給情報を詳細に把握することで、需要家側機器の制御や自発的な需要家の主体的な行動変化を促すことが望ましい。

本稿では、このようなスマートコミュニティの特性を踏まえて、その機能を検証するためのシミュレーションに求められる役割や機能をまとめる。次章では、スマートコミュニティ、スマートグリッド、スマートハウスの実現に不可欠な技術であるエネルギーマネジメントシステム(EMS)について概観する。

### 2. エネルギーマネジメントシステム

#### 2.1 EMSの現状

日本のエネルギー需要は、1970年代の石油ショックを契機に産業部門での省エネルギー

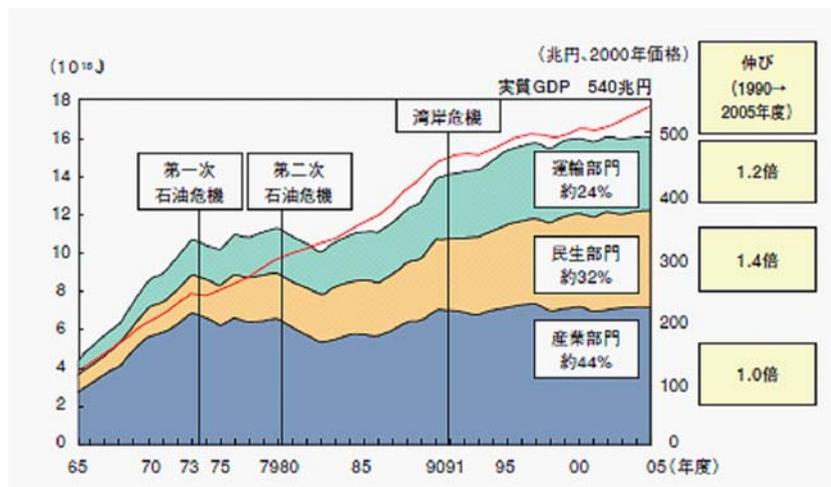


図 1 最終エネルギー消費と実質 GDP の推移

化の進展, 省エネルギー型製品の開発を進めた結果, 経済成長を達成しつつエネルギー消費を抑制してきた。

部門別にエネルギー消費動向をみると, 図 1 に示されるように, 家庭, 業務用途である民生部門の伸びが著しく, エネルギー消費でみると, 民生部門におけるエネルギー消費は, 生活の利便性・快適性を追求する国民のライフスタイルの変化, 世帯数の増加及び高齢者比率上昇等の社会構造変化の影響を受け, 1973 年の第一次石油ショックを 100 とすると, 約 1.4 倍の伸びになっている<sup>2)</sup>。こういった背景から, 民生部門のエネルギー消費に関して, 省エネルギーの実現が強く求められている。その対策技術として, 情報ネットワークを活用したエネルギーマネジメントシステムは, 経済産業省が発表した「総合エネルギー効率の向上」に寄与するエネルギー技術の一つとして位置付けられ<sup>3)</sup>, 今後の普及拡大が期待されている。

そのエネルギーマネジメントシステムの個別技術である HEMS/BEMS (HEMS: Home Energy Management System, BEMS: Building Energy Management System) は, 住宅等にあるエネルギー消費機器の家電機器や給湯機器をネットワーク化し, 自動制御する技術で, エネルギーの消費量を抑えることができる技術である。この HEMS/BEMS 技術は, 今後, 複数の住宅, 地域を含めてネットワーク化を進め, 複数の世帯・地域及び太陽光発電設備などの分散電源設備も含めて制御をおこなう「クラスター型エネルギーマネジメント」

(CEMS: Cluster Energy Management System) へと進展していくことが期待されている。しかし, 現在の HEMS/BEMS の制御は, 個別の住宅・建築物に設置された消費機器を一括して処理する中央集権型制御が想定されている。HEMS/BEMS の発展形で, 将来実現が期待される CEMS は個々に設置された HEMS/BEMS をローカル制御機器として, 情報の集約及び制御を行い, 地域等で協調して稼働させた場合の省エネルギー効果のフィードバックなどを盛り込み, さらにフレキシブルな拡張性が求められる。そこで, 複数の住宅・建築物, 地域の電気機器のネットワーク化技術である CEMS の実現に向け, 近年知られるようになった自律分散的な制御技術を適用することにより, 個々のエネルギーマネジメントシステムの効用を大きく損なうことなく, クラスターシステム全体としての頑健性やエネルギー効率の向上が実現できると期待される。

## 2.2 実証事業

HEMS や BEMS を応用したスマートコミュニティへの移行に向けた取り組みとして, 神奈川県横浜市, 愛知県豊田市, けいはんな学研都市(京都府), 福岡県北九州市において, 次世代エネルギー・社会システムの構築に向けた実証事業が実施されている。実証事業では, i) 電力需要の価格弾力性等を活用することで, 需要家の行動変化を促す取組(デマンドレスポンス)や需要そのものの制御(デマンドコントロール)を含むきめ細かいエネルギーマネジメント, ii) 地域におけるエネルギーマネジメントシステムと電力ネットワークの補完関係の構築, iii) HEMS や VtoG (Vehicle-to-Grid) の実証が行われている。

各実証事業の概要を以下に示す。

神奈川県横浜市: 横浜スマートシティプロジェクト

横浜市の持つ規模そして多様な地勢, みなとみらい 21 や関内・関外等の中心市街地や日本有数の港湾地域, 郊外には港北ニュータウン等の大規模開発地や緑・水豊かな住宅地等も存在), 368 万人の市民が実際に暮らしているインフラ更新が容易でない既成市街地へのシステム適用を目指している。平成 26 年度までに 4000 世帯に HEMS を導入し, EV を約 2,000 台を導入する。太陽光発電では, 実証対象世帯における最終エネルギー消費量に占める太陽光発電量の比率 5.8% を目指す。

愛知県豊田市: 「家庭・コミュニティ型」低炭素都市構築実証プロジェクト

EV・PHV タウン構想や ITS 実証実験モデル都市に基づき, 次世代自動車・交通システムを先行導入しており, 低炭素社会構築に向けた取組に着手済みである。太陽電池や燃料電池, エコキュートを組み合わせたスマートハウスを 300 戸建築する。PHV (Plug-in Hybrid Vehicle) を 4,000 台導入する。生活者の行動動線に沿って, 家庭内・移動(通勤・通学・外

出)・移動先のそれぞれの行動シーン毎にエネルギー利用の個別最適化を図り、生活圏全体でエネルギーの最適利用が達成されている次世代型の地方都市型低炭素社会構築を目指す。

けいはんなエコシティ「次世代エネルギー・社会システム」実証プロジェクト

国内では数少ない人口増加地域であり、人口増大や都市開発に伴う新たなエネルギーインフラへのニーズが高まるアジア諸国への展開も念頭に置いた新都市建設型の次世代エネルギー・社会システムのモデル構築・実証を目指す。太陽光発電を 900 世帯、スマートハウスを 300 世帯、HEMS を 300 世帯に導入する。住宅やビル単位でエネルギー消費の最適化を図りながら、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーや燃料電池等の分散型電源が地域で有効に活用される地域エネルギーマネジメントシステムを構築する。

福岡県北九州市：北九州スマートコミュニティ創造事業

実証事業を行う北九州市八幡東区東田地区では、既に標準的な街区と比較して 30% の省エネを達成しているが新エネルギー導入強化、建築物・構造物の省エネシステム導入、地域エネルギーマネジメントシステムによるエネルギーの効率的利用、交通システム等社会システムの整備などにより現状より更に 25% の省エネ効果を獲得し、市内の標準的な街区との比較で CO<sub>2</sub> 削減 50% 超を実現する。工場群から隣接する住宅などへ廃熱や水素を供給し、建物間での電力の融通を進める地区内の発電量や需要量に応じて、時間帯別にエネルギー料金単価を変動させるダイナミックプライシングや需給逼迫時のエネルギー活用削減の協力を配信するデマンドレスポンス情報の提供により需要家によるマネジメントを誘導する。

電力の需給両面での変化を踏まえ、エネルギー利用を効率化するには、大容量の需要家側（住宅やオフィスビル等）のエネルギー利用情報を活用したシステム制御が必要であり、IT の活用が不可欠である。このため、スマートグリッドやスマートコミュニティ事業の普及により、エネルギー分野だけでなく、IT 分野でも市場拡大が期待されており、ビジネスチャンスとして関心が寄せられている。しかし、スマートメータやエネルギーマネジメントシステムといったハードウェアの開発が進められているが、省エネルギーやそれによるコストダウン、または環境低負荷といった項目以外に各電力需要家に対してスマートコミュニティ導入の明確なメリットを示すことができるサービスが提示されていないのが現状である。また、海外におけるスマートグリッド導入のメリットには電力供給の安定化が挙げられるが、日本では既に高い安定性を保った電力供給が実現しているため、電力供給側にも直接的な導入のメリットは低い。

### 3. 都市エリアシミュレーションの貢献

スマートコミュニティにおいては、前章の実証事業の例でも挙げられているようにエネルギーシステム、交通システム、情報通信システムといったサブシステムが複合的に機能している。また、そのため、サブシステムの特性のみに着目しただけでは、省エネルギーの実現、利便性や快適性の提供、安全性の確保といった制約条件を満たすサービスの実現は困難である。また、スマートコミュニティにおいては、あるサブシステムにおいて高いパフォーマンスを発揮するサービスであっても、システム全体としてのパフォーマンスに貢献するとは限らない。スマートコミュニティが含むシステムが多岐に渡るため、あるシステムに対して深い知見を持っている専門家でも新たなサービスが他のサブシステムやシステム全体に対してどのような影響を与えるかを予測することは困難である。そのため、新たなサービスを開発したり、導入したりする際に省エネルギー効果、利便性、安全性、持続可能性に関する効果を算出する都市エリアを対象としたシミュレーションの開発が期待されている。

#### 3.1 スマートハウス

個人の世帯におけるサービス、つまりスマートハウスにおけるサービスを考えた場合、ユビキタスコンピューティングの文脈で考えられてきたサービスとの親和性が高い。情報家電の例として、冷蔵庫の中の食材を自動的に記録しておき、その食材を含めたレシピを推薦してくれるといったサービス例があるが、スマートハウスでも類似のサービスが語られている。(ここでは、このサービス例の良否には触れない。) スマートハウスの場合には、日々の家電機器の消費電力をスマートメータに記録しておき、定期的に利用形態に対する評価を算出し、省エネルギーのため行動を推奨するといったサービスがこれに当たる。ユビキタスコンピューティングの場合には、このサービスの実現可能性や利便性が焦点となるため、一軒の家を対象としたシミュレーション環境で十分である。スマートコミュニティの場合には、各世帯における省エネルギーのためのアドバイスが意図しない時間帯に多くの世帯の電力利用量のピークを同期させ、全体としての利用量を上昇させる恐れがある。その影響は非常に大きいため、事前の検証が不可欠である。一つの変電所が電力を供給している世帯数は最大数万世帯あるため、変電所レベルでの電力供給側への影響も考慮しなければならない。そのため、一軒の家を対象としたシミュレーション環境に加えて、数千世帯を対象としたシミュレーション環境も必要とされる。

さらに、シミュレーションの入力データとなる各世帯での家電機器の利用状況の作成も必要となる。しかし、各世帯において電力利用量の総和を計測することは現状でも可能である

が、どの家電機器がどのような頻度やタイミングで利用されるかを詳細に記録したデータはないため、NHK 国民生活時間調査データ等のマクロデータから各個人の行動データを生成しなければならない。また、省エネルギーの観点からは影響の大きい冷暖房機器の利用傾向は地域によって大きく異なるため地域差を作成する個人の行動データに反映する必要がある。

### 3.2 スマートコミュニティ

スマートコミュニティの機能を検証する場合には、住宅やビルといった電力需要家に加えて、発電、変電、送電、配電を統合した電力系統も扱う必要がある。スマートハウスで行われる省エネルギーを目的としたサービスであっても、コミュニティレベルでの省エネルギーを実現していなければその効果は認められない。最終的な省エネルギーの効果を算出するために電力系統全体のシミュレーションが必要である。

さらに、スマートコミュニティの情報通信システムも扱う必要がある。住宅やビルといった電力系統側からモニタリングする対象が増加するとその情報をどのようなシステム構成で収集し、得られた情報に基づいてどのような対応を取るかを考えなければならない。太陽光発電や風力発電といった自然エネルギーを利用した分散電源の増加に伴って、通常は電力を消費する住宅やビルが電力を供給するケースが増加することが考えられる。これらはシステムの不安定要素となりうるため、その挙動を監視する必要があり、その通信経路には専用回線ではなくインターネットが想定されている。しかし、現在のインターネットは社会基盤として利用されており、すでに様々な重要なサービスが運用されている。コミュニティレベルのモニタリングではトラフィックを大幅に増加させる可能性があり、稼働中のサービスに影響をおよぼす恐れがあるため、インターネットを実証環境として利用することは難しい。そのため、事前に情報通信システムを検証可能なシミュレーション環境も必要とされる。

### 3.3 他のシステムとの連携

前章の次世代エネルギー・社会システムの構築に向けた実証事業で見られるようにスマートコミュニティ構築においてEVは欠かせない要素の一部である。EVは充電する際には需要家となるが、実証事業レベルでは電力系統全体に影響を及ぼすことはない。しかし、EVの普及が急速に進み、電力系統の供給量に対してある程度の割合を占める場合には、電力系統は全てのEVの充電に対して一斉に充電を開始せず、バッテリー残量や次回利用開始時間などに基づいて充電のスケジューリングをおこなう必要がある。そのため、住宅の需要家の電力利用傾向を含み、EVの充電に割り当てる電力量や充電スケジューリングアルゴリズムを評価するシミュレーションが必要とされる。

太陽光発電や風力発電といった分散電源と同様にEVも通信機能を備えていることが前提とされているため、EVの位置情報と充電状態を集約して管理することが可能となる。そのため、渋滞回避の経路誘導、待ち時間の少ない充電ステーションへの誘導、効率的な急速充電ステーションでの充電時間の算出といった交通管理とエネルギー管理を統合したサービスを実施することが可能となる。また、EVは通信手段としては携帯電話回線が想定されているため、EVを対象に一斉にデータを配信したり、EVからデータを収集して急激なトラフィックの増加は周辺の通信状況に影響をおよぼす恐れがある。これらのサービスを管理するアルゴリズムを評価するためには、EVの移動や充電過程、通信システムを扱うことのできる交通シミュレーション環境が必要とされる。

## 4. 終わりに

本稿では、生活インフラ全体を統合して、効率的な都市機能を実現する社会システムとして提唱されているスマートコミュニティを取り上げ、その基礎技術となるHEMSやBEMS、各地で始まっている実証事業を概観した。また、スマートコミュニティの機能検証においてシミュレーションの果たすことのできる役割について言及した。

## 謝 辞

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)平成21年度産業技術研究助成事業(若手研究 Grant)の援助により行われました。ここに謝意を示します。

## 参 考 文 献

- 1) エネルギー政策基本法とエネルギー基本計画, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/kihonkeikaku/index.htm>, 経済産業省資源エネルギー庁, 2011年
- 2) 総合エネルギー統計 平成16年度版, 経済産業省資源エネルギー庁長官官房総合政策課(編集), 2006年
- 3) 最新エネルギー基本計画, 経済産業省資源エネルギー庁(編集), 2007年
- 4) 次世代エネルギー・社会システム実証マスタープラン, [http://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/smart\\_community/community.html](http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/community.html), 経済産業省, 2011年
- 5) スマートコミュニティ・アライアンス(JSCA)とは, <http://www.smart-japan.org/>, Japan Smart Community Alliance, 2011年