

人行動に基づくエネルギーシステムシミュレーションと 分散協調エネルギー管理領域への応用

Energy system simulation based on people's behavior and application
to establish cooperative distributed energy management systems

山口容平
Yohei Yamaguchi

大阪大学
Osaka University

下田吉之
Yoshiyuki Shimoda

独立行政法人科学技術振興機構,CREST
JST, CREST

Transformation of our unsustainable energy system is an urgent social issue. Multi-agent simulations modelling our energy system in a comprehensive manner would play an important role to tackle this issue. This paper introduces an example of energy system simulation and discuss requirements for multi-agent simulations to support transformation.

1. はじめに

2011年の大震災は現行のエネルギーシステムが持続可能な状態にはないことを明らかにした。原子力発電所の停止による発電事業の燃料費増加は年間3兆円から4兆円といわれ、産業活動やわれわれの生活に大きな影響を及ぼしている。地球温暖化の原因である二酸化炭素排出量が震災前から大幅に増加した。夏期や冬期に電力需給が逼迫した状況においては、電力需要は需給逼迫を回避するように自律的に動作せず、計画停電などの高い社会費用を伴う対策がとられた。さらには、電力システムは近年急速に連系量を増やしている再生可能エネルギーを大量に受け入れる能力を持たないといわれている。

このようにエネルギーシステムの転換を求められている状況において、例えば経済産業省が主導する次世代エネルギー・社会システム実証事業のように、次世代のエネルギーシステムのあり方を模索する試みが行われている。一方、実証事業では空間や技術など対象が限定されており、電力システムなど、問題の単位であるエネルギーシステム全体を対象とする検討は行われていない。加えて、実証事業が対象とする技術が広く普及するのは将来の時間断面であり、人口構造やライフスタイル、検討対象以外の技術の普及状況など、さまざまな変化が同時並行に生じると考えられ、それらを無視した場合、検討の結果が社会において十分に発揮されるかは不明確である。

このような背景から、問題の単位であるエネルギーシステム全体を計算機上で再現し、技術開発や制度設計をはじめ、持続可能なエネルギーシステムへの転換を支援することが期待されている。本報ではエネルギー分野で行われているシステムシミュレーションの事例を紹介し、今後の開発課題を整理する。

2. エネルギーシステムシミュレーションの要件

次世代のエネルギーシステムの中核として分散協調型エネルギー管理システムが注目されている[JST12]。これは、システム全体の性能向上に資するようにエネルギーシステムの構成要素が自律的・協調的に動作するシステムの構築を目指すものであり、検討されている項目は次の5区分に整理することができる。

- ① エネルギー消費実態の把握
- ② 人の存在・行動センシングに基づく不要なエネルギーサー

ビスの停止とエネルギーサービス水準の適正化

- ③ 制御自由度の拡大
- ④ 制御自由度を活用した設備運用の適正化
- ⑤ エネルギーサービス利用者に対する情報提供による利用者の行動変容

例えば電力のデマンドレスポンスは電力供給側の状況に応じて需要の増加や減少、時間シフトを生じさせ、電力システム全体の性能を高めるように働きかけるものであるが、エネルギー需給逼迫時に電力料金を高くして電力需要家の行動変容を促すマニュアルデマンドレスポンスは⑤に該当し、需要家が保有する機器を電力事業者が直接制御して電力需要の変化をもたらすオートデマンドレスポンスは③と④の組み合わせであると考えられる。

これらの手法の検討を支援するシミュレーションモデルが提供すべき最も重要な機能は、エネルギーシステムを構成する個々の人、機器・設備、自動車、建築、発電所など、エネルギーシステムを構成する要素の挙動を実社会に即して忠実に再現するとともに、構成要素の集合体としてのシステム全体の挙動を再現することである。例えば前述のマニュアルデマンドレスポンスでは、電力料金をどの程度の水準に設定することでどの程度の需要家が行動を変化させるか、需要家の行動の変化に伴ってどのように電力需要が変化するか、電力需要の変化に伴って電力システムの性能がどのように変化するかなど、階層的なシステムの構造を再現する機能が提供されるならば、シミュレーションモデルを用いて電力料金の設計を行うことができる。

これを実現するためには、A)構成要素の多様性、階層的な構造と空間的な広がりを再現すること、B)時間空間についても、ミリ秒などのオーダーで物理現象を再現するとともに、社会経済活動の結果として形成・蓄積される建築、機器・設備などのストックや人々のライフスタイル・選好などは年単位、数十年単位で模擬・予測すること、C)要素間の関係性を再現することが求められる。

3. エネルギーシステムシミュレーションの事例

3.1 住宅のエネルギー需要シミュレーション

著者らの研究グループでは、住宅や業務施設のエネルギー需要を、機器一台一台のエネルギー消費を積み上げて模擬するシミュレーションモデルを開発してきた[Yamaguchi 14a]。例として住宅のエネルギー需要を推計する手順を図1に示す。また、図2にモデルによる推計結果を例示する。モデルではまず、世

帯構成、構成員の属性、住宅の仕様、設備・機器の所有と仕様をそれぞれのデータベースに基づいて付与する。次に、社会生活基本調査の結果より生成した統計情報に基づいて世帯構成員の時間の使い方を1年間5分間隔で確率モデルにより生成する[Yamaguchi 14b]。ここでは食事時間の共有や入浴の順番など、世帯構成員間の相互作用を考慮する[Baptista 14]。次に、生活に伴って操作される設備・機器を確率的に決定し、設備・機器稼働状況が決定される。照明やエアコンのように稼働状況が室内環境に依存する機器については、住宅の仕様と気象条件に基づいて室内環境を物理モデルにより模擬し、機器の稼働状態を決定する。それぞれの機器・設備は固有の仕様が与えられており、仕様に応じて個々の機器・設備のエネルギー消費量が決定される。最後にその合計値として住宅のエネルギー需要が定量化される。業務施設についても同様の構造のモデルを開発しているが、個々の住宅・業務施設に関して適切な条件を与えることができれば、ある程度現実を反映したエネルギー需要が再現可能であることを確認している[Yamaguchi 14a]。

3.2 電力システムシミュレーション

著者らは電気工学の専門家との協働により、配電線電圧の制御、電力システム周波数の制御、電力需給運用を模擬する電力システムモデルと、前述のエネルギー需要モデルを統合したモデルを開発してきた [例えば藤本 13]。統合モデルを用いることによって、対象とする電力システム内で調整可能なシステム構成要素を包括的に用いた検討が可能となり、これまで十分に検討されてこなかった電力需要家の調整能力を用いたシステム制御の効果を評価できるようになった。

4. 今後の課題

3節に例示した電力システムシミュレーションは有用であるものの、考慮可能なのはシステムの工学的側面のみである。例えば前述のマニュアルデマンドレスポンスでは、電力価格に対応する電力需要家の行動変容を模擬する必要があるが、3節までのモデルではそれを実装することができない。電力需要家の行動変容を模擬するためには、行動経済学に基づく実験や次世代エネルギー・社会システム実証事業などの結果に基づいて、電力価格に対する需要家の応答性を模擬する機能をモデルに追加する必要がある。

分散協調型エネルギー管理システムの確立に向けて上記の①～⑤の方法を包括的に活用するためには、ここに述べた需要家のエネルギー価格への応答性と同様に、社会、経済、文化などの側面を含めて、広義のエネルギーシステムを理解することが不可欠である。具体的に考慮すべき要因には住宅生産システム、不動産システム、ライフステージ、ライフスタイル、世帯における資源・可処分所得の配分、世帯内規範、生活に伴う室・機器使用要求、世帯構成員の関係性などがある。これらはすべて直接エネルギー需要を決定している要因に影響を及ぼしていると考えられるものである。これらを含めてエネルギーシステムの構造そのものをモデル上で再現し、システム全体の挙動を模擬することが求められる。

このようなシミュレーションは工学分野の専門家のみでは実施しえない。効率的に複数の学術分野のモデルを接続可能とするシミュレーション技法や方法論が不可欠である。また、上記の要因の中には、既存の学術分野においても十分に知見が蓄積されていないもの、また、包括的な実態把握が困難なものが含まれる。したがって、限定された情報の補完や利用可能なデータからの知識発見を行い、システムシミュレーションに組み込んでいく方法論も必要になると考えられる。

参考文献

[JST 12] JST: CREST 分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開, 2011.
http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah24-1.html

[Shimoda 10] Yoshiyuki Shimoda, Yukio Yamaguchi, Tomo Okamura, Ayako Taniguchi, Yohei Yamaguchi: Prediction of greenhouse gas reduction potential in Japanese residential sector by residential energy end-use model. Applied Energy, vol. 87 (6), pp. 1944-1952, 2010.

[Yamaguchi 14a] Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Validation of an Energy Demand Model of Residential Buildings. Proceedings of the ASim2014, Nagoya, Japan, pp. 625-632, 2014.

[Yamaguchi 14b] Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Behavior Model of Occupants in Home based on Japanese National Time Use Survey. Proceedings of the ASim2014, Nagoya, Japan, pp. 617-624, 2014.

[Baptista 14] Márcia L. Baptista, Anjie Fang, Helmut Prendinger, Rui Prada, Yohei Yamaguchi: Accurate Household Occupant Behavior Modeling Based on Data Mining Techniques. Proceedings of the Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 1164-1170, 2014.

[藤本 13] 藤本卓也, 山口容平, 草清和明, 杉原英治, 下田吉之: 住宅地域の電力需要調整によるPV大量導入に起因する配電線電圧上昇緩和効果の評価. 電気学会論文誌 C, vol. 133, pp. 1873-1883, 2013年.

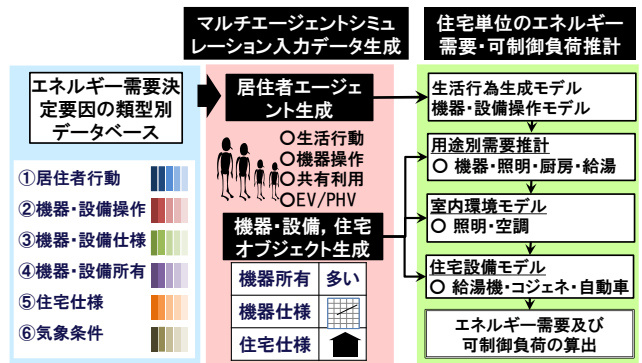


図1 住宅エネルギー需要の推計手順

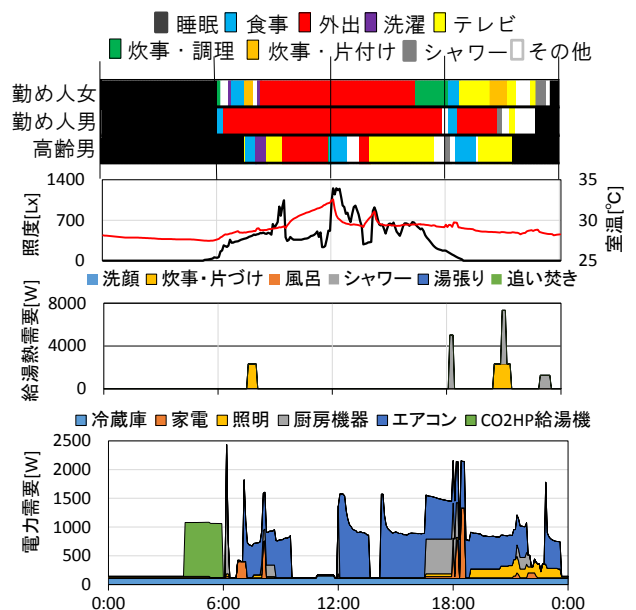


図2 夏期代表日における3人世帯の電力需要推計結果