

# 複数モデルの利用を考慮したホームシミュレータの設計

牧野 義樹<sup>1,2</sup> グェン ホアイソン<sup>2</sup> 金 準修<sup>2</sup> 楊 鉦国<sup>2</sup> リム アズマン オスマン<sup>2</sup> 丹 康雄<sup>2,1</sup>

**概要:** ホームシミュレータの実現により、実際の住宅を利用することなく新規家電や新規制御方式の効果を確認することが可能となる。実際の宅内の環境は、外部環境や住宅の間取りや設計、存在する家電やそれらを利用する住人といった様々なモデルで構成される。また、電力不足の発生が現実的になり、太陽光発電や蓄電池、燃料電池等の発電・蓄電機器の住宅への導入がすすんでおり、それらのモデルにも対応する必要がある。このように、宅内環境は様々なモデルの集合となるため、シミュレータを構築する際にも様々なモデル、様々な実装方法に対応している必要がある。本稿は、我々が開発を行っている複数のモデルに対応したホームシミュレータの設計について述べる。

## 1. はじめに

宅内環境における電力消費量は、ピーク時で全需要家の消費電力量の30%程度を占めている。宅内の家電の消費電力を削減することで、全需要家の消費電力の低減及び温暖化ガスの排出量を削減することが可能であり、すでに、宅内の家電による消費電力を低減させるために、省エネ家電等の導入などが積極的に行われている。また、省エネ行動を促すため、電力量等を視覚的に分かりやすく住人に知らせるといった、見える化システムが導入されている。さらに、太陽光発電などによる発電、蓄電池による蓄電といった新たな機器の導入などにより、省エネのみではなく創エネや畜エネも積極的に行われるようになってきている。

このような機器を利用する事で消費電力のピークシフトやピークカットが可能となるが、これらの複数の機器をどのように制御すれば、より効率の高い動作を実現可能になるか明確ではない。また、このような制御を行う際には、住人が感じる住環境をあまり損なうことない家電の制御を行う必要がある。家電は住宅の住人により制御されることとなり、住人の家族構成や生活スタイルも有効な制御に大きく影響を与えることとなる。

実際の住宅を用いることで、どのような制御を行うことが適切であるか実験を行うことも可能であるが、住宅毎で、間取りや壁の素材、窓の大きさや種類等、様々に異なる特性を持っていることから、実際の住宅を用いて全ての住宅を対象とした実験を行うことは不可能である。そこで、高い

精度のホームシミュレータを利用することで住宅の環境の変化を確認する方法が提案され [1], HEMS システムの有効性の検証に利用されている。このような、高精度なシミュレータを用いることで、新規家電の導入や制御方法の変更により、宅内環境がどのように変化し、省エネ等の効果がどの程度期待できるかということを確認することが可能である。

以上を踏まえ、我々は様々なモデルを同時に取り扱うことが可能なホームシミュレータの設計を行っている。様々なモデルの取り扱いを可能とすることで、異なる実装及び実行方式のモデルを用いたシミュレーションを同時に実行することが可能となり、精度の高いシミュレータや制御に適したシミュレータなど、用途に応じてモデル選択可能なシミュレータを構築を行う。

## 2. 宅内環境の様々なモデル

宅内環境は様々な要素で構成されており、それぞれ異なる抽象化されたモデルにより表現される。岡田らのホームシミュレータ [1] は、住宅、家電、環境、電力、人間の5つのモデルから成るシミュレータである。しかし、これらのモデルだけでは、燃料電池や蓄電池といった発電や蓄電を行う機器や貯湯槽といった温宅内の消費電力に影響を与える機能を扱うことができない。また、シミュレータ間のインタフェースが明確になっておらず、今後シミュレータの拡張が必要となった場合の対応方法が容易であるとは言えない。我々の構築しているシミュレータは、岡田らのシミュレータのモデルに加えて、発電・蓄電、人体、貯湯槽といったモデルも考慮している。また、モデル間のインタフェースを明確にすることで、新規モデルの追加やインタフェー

<sup>1</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構  
National Institute of Information and Communications  
Technology

<sup>2</sup> 北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

スの拡張に対応可能とする。

本シミュレータで考慮しているモデルは以下の通りである。必要に応じてモデルは随時追加予定である。

### 住宅モデル

住宅の構造や家電の存在場所を管理する。

### 環境モデル

宅内の温度、湿度、照度等の計算を取り扱う。住宅の構造の情報については住宅モデルから得られる情報を利用する。このモデルで計算された情報に基づいて家電モデルや住人が感じる室温や湿度、明るさ等が変化する。

### 家電モデル

いわゆる家電のみではなく、扉や調理器具などの人間が操作を行う全てのデバイスのモデルを家電モデルとみなす。センサのような単機能な物から、エアコンのような様々なセンサとアクチュエータ及び制御ソフトウェアからなる複雑な機器まで様々な物が存在する。これらの機器は住人やシステムからの要求に従い内部状態を変更し、電力や環境、人間行動に対して影響を与える。

### 人間行動モデル

人間行動モデルは、住人の移動や家電の操作、また人体モデルへの METS 値の指定などを行う。このモデルは住人の家族構成や生活スタイルなどのパラメータを変更することにより様々な動作を変更する。

### 人体モデル

人体モデルは、人間が空間に放出する発熱や発湿を取り扱う。clo 値などの衣服の保温性能や METS 値などの運動強度により発熱や発湿は異なるものとなる。

### 電力モデル

電力モデルは、電力の要求及び供給といった宅内の電力供給を取り扱う。

### 発電・蓄電モデル

発電・蓄電モデルは、燃料電池や太陽電池といった発電装置、蓄電池といった蓄電装置を取り扱う。電力モデルと連携して動作することで、発電や蓄電などで蓄えた電力を宅内に供給を行う。

### 貯湯槽モデル

貯湯槽モデルは、宅内で利用される温水を取り扱う。燃料電池で生成された温水を利用するか、給湯装置を利用するかなど、給湯の方法により電力使用量に変化がある。

各モデルの内部でも、さらに複数のモデルに分割される場合も考えられる。例えば、家電モデルは様々な種類の物が存在し、それぞれ異なるモデルやシミュレータとして動作することが考えられる。また、人間行動モデルも住人の数だけ存在する可能性がある。

また、一つのモデルが複数の異なる種類のモデルを兼ね

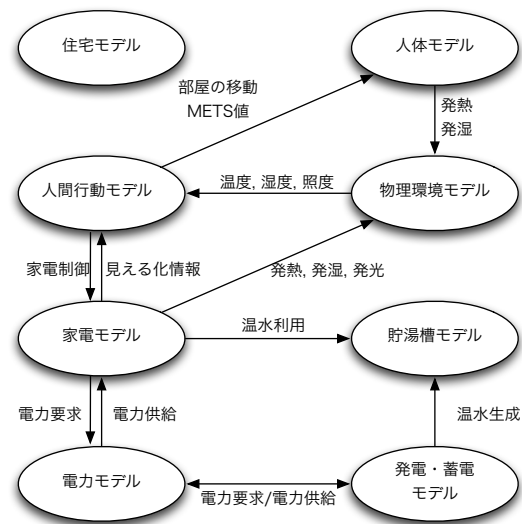


図 1 宅内環境のモデル

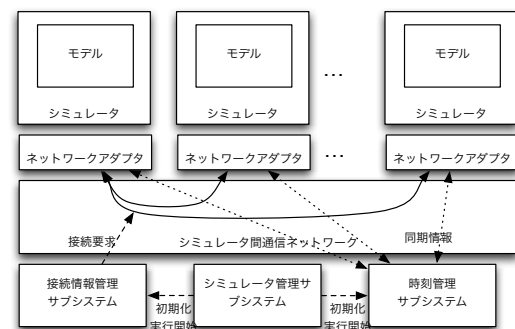


図 2 ホームシミュレータのコンポーネント

備えた物になる可能性もある。例えば、エアコンのような家電モデルが環境モデルの内部に含まれるといったモデルも考えられる。

これらのモデルが相互に情報のやり取りを行うことで、宅内環境全体のモデルとなる。また、全てのモデルがフルメッシュ接続で情報のやり取りを行うことはなく、情報のやり取りに着目したモデル間の関係を図 1 に示す。モデル間でやりとりされるデータについては後述する。

## 3. ホームシミュレータの設計

現在設計を行っているホームシミュレータは以下のコンポーネントから成る。コンポーネント間の関係は図 2 の通りである。

- モデル
- サブシミュレータ
- ネットワークアダプタ
- サブシミュレータ間通信ネットワーク
- 接続管理サブシステム
- 時刻管理サブシステム
- シミュレータ管理サブシステム

### 3.1 モデルとサブシミュレータ

サブシミュレータはモデルを実装したソフトウェアである。実装するモデルは複数でも構わない。モデルにより利用するシミュレータの実装方法は異なる。例えば、環境モデルの一つである温熱環境は数式モデルを用いることで精度の高いシミュレーションが可能である。一方、人間行動のようにどのようなモデル化が適切であるか自明ではなく、用途により適切なモデルが大きく異なる可能性の高い物も存在する。

### 3.2 ネットワークアダプタ

様々なモデルのシミュレータを一元的に取り扱うことを可能とするために、各シミュレータで共通となる管理方法が必要となる。ネットワークアダプタはデータの変換や時刻同期等の処理を行い、サブシミュレータ間の接続性を確保する。

ネットワークアダプタは、必要に応じて住宅内での位置情報を加えて他のネットワークアダプタにデータを送信する。送受信方法については、単純な通信方式については規定するが、それぞれのネットワークアダプタで効率の良い通信方式を利用することが可能であることとする。これにより、新たなモデルを追加した場合の通信方式の柔軟な追加が可能となる。もちろん、一般的な通信方式が明確な場合には標準インタフェースとして規定をしていく予定である。

送受信の双方で扱うデータの相違があった場合にもサブシミュレータは実行しても構わない。取り扱うデータに相違がある場合には、実行時に問題が発生する可能性をシミュレータの実行者に提示する等の処理を行う。

### 3.3 サブシミュレータ間通信ネットワーク

サブシミュレータ間の通信を実現するネットワークである。どのようなネットワークを利用できるかは、ネットワークアダプタと接続管理サブシステムの実装に依存する。一般的には信頼性のある TCP を用いることが想定されるが、信頼性のない UDP や、IP を用いないネットワークを利用しても構わない。

### 3.4 接続管理サブシステム

ネットワークアダプタ間の接続を行う。ネットワークアダプタは他のネットワークアダプタとの接続するための仕組みを持っているが、接続先に関する情報は持っていない。そのため、実際の接続要求は接続管理サブシステムが行う。

### 3.5 時刻管理サブシステム

ネットワークアダプタの動作の同期情報を管理する。シミュレータの時刻同期には、完全に同期して動作する保守的同期、投機的に実行を行う TIME WARP、あるいは明示的な同期は行わずにリアルタイムで実行を行うといった

方法がある。完全な同期を行うことにより、出力が完全に同一となるシミュレーションの再現が可能である。一方、利用者とのインタラクションが重要になるシミュレーションでは、人間の認識能力ではほぼ同時に発生したように感じられる出来事の発生順番は重要ではなく、リアルタイムで実行されることが重要となる。

実環境や実デバイスを利用したり、シミュレータの利用者とのインタラクションを重視したシミュレータであればリアルタイムで実行されることが重要となる。モデルやシミュレータの実装方法によって可能な同期方式が異なることが想定されるが、最初の実装では全体がリアルタイムで動作可能となることを目標とする。

### 3.6 シミュレータ管理サブシステム

シミュレータ全体の管理を行う。接続管理サブシステム等のシミュレータの初期化や実行開始の命令を実行する。

### 3.7 モデル間データ

モデル間でやり取りされるデータの種類は以下の 13 種類である。モデルの対応状況によりさらにデータの種類の追加予定である。

#### 温度情報

温度の情報を表す。エアコンなどの家電モデルや人間行動モデルに影響を与える。

#### 湿度情報

相対湿度の情報を表す。不快指数の計算に利用することで、人間行動モデルに影響を与える。

#### 発熱発湿情報

熱量や湿度の変化の情報を表す。エアコンなどの冷暖房器具はもちろん、その他の電力を利用する家電はすべて熱を発生していると考えられる。また、人体からも発熱や発湿があるため、環境に影響を与える。

#### 発光情報

蛍光灯などの発光を表す。

#### 照度情報

照度の情報を表す。

#### 電力要求情報

電力の要求情報を表す。

#### 電力供給情報

電力の要求に合わせた供給の情報を表す。

#### 温水

生成した温水の流れを表す。

#### 温水利用

調理や入浴などの温水の利用の情報を表す。

#### 家電制御

家電の制御を表す。現在のところ、家電の制御方法として、家電制御の標準プロトコルの一つである ECHONET Lite を利用することを想定している。

ECHONET Lite の電文を簡易化したデータを利用することで家電の制御を行う。また、ECHONET Lite 規格に存在しない機器については、新たにオブジェクトを追加することで対応する。

#### 見える化情報

見える化による電力消費量などの提示情報を表す。

#### 部屋の移動

見える化による電力消費量などの提示情報を表す。

#### METS 値

見える化による電力消費量などの提示情報を表す。

## 4. 実装

現在まで温熱環境モデル [2] や人間行動モデル [1], 人体モデル, 蓄電発電モデル, 貯湯槽モデル [4] について研究が進んでいる。温熱環境に関しては MATLAB を用いたシミュレータ [2] に対して, MATLAB の C 言語インタフェースである S-Function を用いたネットワークアダプタの仮実装を行っている。現在の実装では接続先は固定であり, 完全に同期した動作のみを行う。

今後は, 接続情報管理サブシステムや時刻同期サブシステムを導入することで, 柔軟な接続や時刻同期を可能とする機構の実装を行う予定である。

## 5. まとめ

電気使用量の削減が叫ばれ, ますます一般家庭での電力消費の制御が重要になることが想定される。しかしながら, 電力消費の制御を行う機器を導入しただけでは, 効率的で快適な住環境を構築することは難しい。そこで, 精度の高いホームシミュレータを用いることで, このような問題を解決したいと考えている。本稿で述べたシミュレータを構築し, 住宅のシミュレーションを行うことで, 既存の家電でどの程度の電力削減が可能であるかを予測できるようになる。またシミュレータを用いることで, 生活スタイルや存在する家電が異なる住宅において, どのような制御を行えば効果的であるかということも調べるのが可能となる。このような制御方法を明確にしていくことで, 宅内の複雑な家電の制御を気にする事なく目的の省エネ効果を得られる, といったサービスの開発も可能となることが期待される。

## 参考文献

- [1] 岡田 崇, 牧野 義樹, キム ジュンスー, 中田 潤也, 丹 康雄, “住宅におけるエネルギーマネジメントの効果を検証する実証的ホームシミュレータの提案と実装”, 情報処理学会論文誌 53(1), January 2012, pp. 365-378.
- [2] グェン ホアイソン, 牧野 義樹, リム アズマン オスマン, 丹 康雄, 篠田陽一, “住宅における温熱環境シミュレータの開発と評価実験”, 信学技報, vol. 112, no. 4, IN2012-7, pp. 31-36, 2012 年 4 月.
- [3] Jefferson, D. 1985. Virtual Time. ACM Transactions on Programming Languages and Systems 7:404-425.

- [4] Phuc Duy Bui, Yasuo Tan, Azman Osman Lim, “A home environment simulator that supports thermal energy and power energy simulations in a co-generation energy system”, 電子情報通信学会 2012 年ソサイエティ大会, B-7-45.