

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月27日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760848

研究課題名（和文） マルチエージェントによる家庭内エネルギー消費の再現と太陽エネルギー利用影響の分析

研究課題名（英文） Investigations of household energy requirements and energy conservation effect of solar energy basing on multi-agent simulation

研究代表者

大藏 将史（OHKURA MASASHI）

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90453810

研究成果の概要（和文）：

居住者同士の相互作用、および居住住宅の建材や他の室の影響を考慮可能とする家庭用エネルギー需要モデルを構築し、同一世帯間でのエネルギー消費の分布を比較可能とした。また、太陽光発電や蓄電池が需要の分布に与える影響を検討した。小容量の蓄電池において、太陽光発電の導入効果は居住者の行動に影響されず、一定の削減効果を得ることができることを明らかにした。また、太陽熱温水器を備えたヒートポンプ給湯システムについて導入効果の比較を行い、夏期や中間期ではヒートポンプ給湯システムの大幅な省エネルギー化を実現できる一方で、冬期においては削減効果がほとんど得られないことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We built the calculation model of energy requirements considering inhabitant's behavior in a daily life and thermal conductivity in a house. We also investigated the energy conservation effectiveness of photovoltaics with electrical storage. This study showed that electrical storage with small capacity could reduce the amount of electricity supplied from utility regardless of inhabitants' behaviors. This study also investigated the conservation effectiveness of solar water heater on electricity consumption for hot water supply. Solar water heater could replace heat pump water heater in summer and mid-season. On the other hand, energy conservation effectiveness of solar water heater could not achieve even in sunny day in winter.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,200,000	360,000	1,560,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：自然エネルギーの利用

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電の余剰電力の買い取り制度が開始されるなど、太陽光発電の導入が促進されている。しかしながら、太陽光発電の導入による余剰電力の発生量は、特に家庭においては各世帯で住まい方に大きく依存する。また、系統安定化のためのインフラ整備なども同時に必要とされるが、これらを適切に実施するためには、家庭から発生する余剰電力量の正確な予測に基づくことが不可欠である。

一方で、ヒートポンプ給湯システムに代表されるオール電化においては、その有効活用のためには適切な制御を要する。さらに、古くから自然エネルギーを利用した給湯方式である太陽熱集熱器についても、設置面積の観点からみれば太陽光発電と競合するため、適切な併設により、省エネルギーを図る必要がある。

これら太陽エネルギー利用の不確実性に対し、申請者らは家庭の需要の不確実性に基

づいて、ある幅を持った範囲で導入効果を検討する必要があると考えてきた。本研究では、これを定量的に評価し、さらに蓄電池などの蓄エネルギー機器の導入による不確実性の低減効果を検討するため、マルチエージェントシミュレーションを利用した家庭用エネルギー需要の再現モデルを構築し、太陽エネルギー導入の効果について検討する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マルチエージェントシミュレーションに基づく家庭のエネルギー需要時系列モデルの構築、ならびにこのモデルにおいて太陽エネルギー利用システムを導入した場合の導入効果の分析である。太陽エネルギーの導入効果については確定的な値として論ずるのではなく、ある幅を持った値に対し、統計的手法によりその頻度、幅を持って検討可能とする。また、世帯構成を変更した場合においても同様の検討が可能となるよう、汎用的なエネルギーの需給モデルを構築する。

3. 研究の方法

本研究は計算機を用いたエージェントシミュレーションにより、家庭におけるエネルギー需要を再現するモデルを構築する。さらに、数値シミュレーションにより蓄電池を備えた太陽光発電の発電電力や、貯湯槽を備えた太陽熱温水器のシミュレーションを行い、家庭におけるエネルギー需要の不確実性に対する導入効果を検討する。また、家庭のエネルギー需要においては、エージェントの行動に伴い使用される機器のエネルギー消費の他、家庭において多くのエネルギー消費を占める空調需要に対しては、建物の熱収支モデルを構築することで正確に予測を行う。

これら家庭における電力、熱収支に基づき、家庭の居住者の行動がエネルギー消費と太陽エネルギーの導入効果に与える影響を統計的に分析する。

4. 研究成果

(1) エージェントシミュレーションによる家庭用エネルギー消費再現モデルの構築

本モデルでは、家庭内の居住者をエージェントとして想定し、他の居住者およびこれまでの行動履歴に応じて、確率的に生活活動を行い、さらにそれに応じた機器を消費することで、家庭のエネルギー需要を再現するモデルを構築した。居住者の行動については、資料に基づいて時間ごとの行動を確率としてまとめ、さらに行動場所を設定した。また空調負荷を算出するため、活動に応じた空調負荷を発生するものとした。

さらに、他の居住者の行動の影響を反映させるために、居住者を主と従に区分し、食事

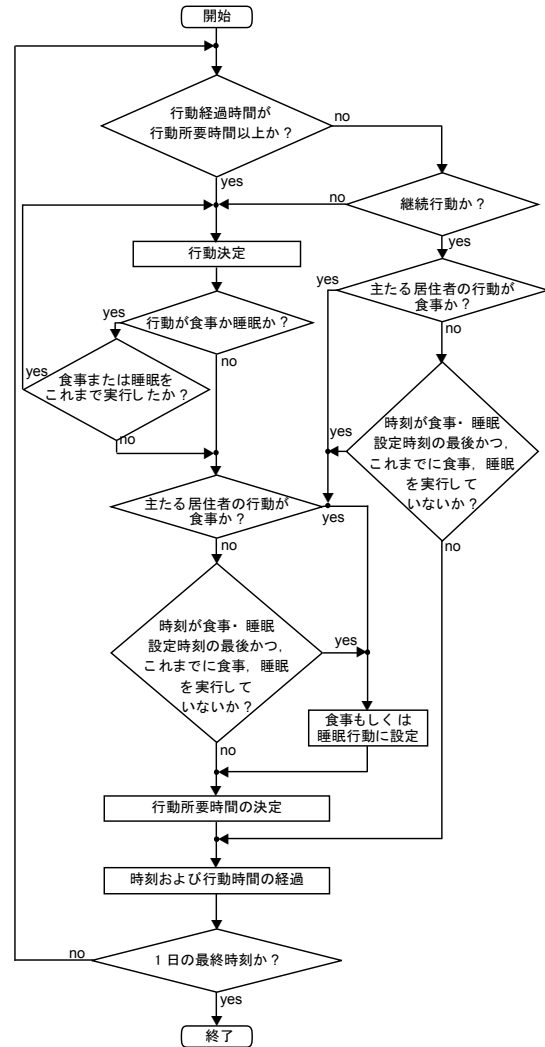


図1. 居住者の行動決定モデルのフローチャート

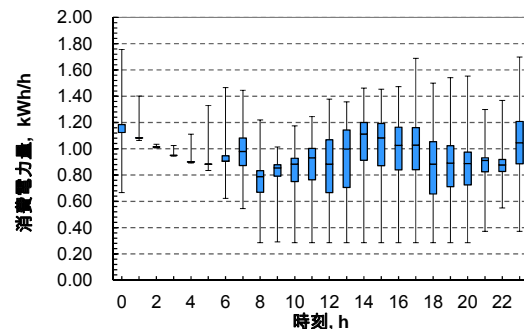


図2. 3人家族における消費電力量の日中変化

など家庭内で同時に開始すると考えられる行動については、主たる居住者の行動に応じて実施するものとした。その他、食事や睡眠など、確率的にのみ行動を決定した場合に不自然と考えられる行動については、一日の間での実施回数に制限を設け、所定の回数すでに実施されている場合はほかの行動を確率的に選択するものとした。本エージェントモ

デルにおける行動決定のフローチャートを図1に示す。

上記の行動に伴い、居住者は設定された機器を使用してエネルギーを消費する。また、居住者が在宅している時刻においては、建物に発生する空調負荷に応じて空調機器による電力消費が発生する。建物にかかる空調負荷として、窓ガラスからの日射の取得による透過日射熱負荷、室内間、および外気との温度差によって生じる貫流熱負荷、人体の発熱負荷を想定した。特に日射による熱負荷は建物の建設状況を反映するため、壁の方位や建材、傾斜面日射量に基づき算出した。貫流熱負荷については、居住者が在室する部屋の他、空調が実施されていない他の部屋の空気温度、壁の温度に基づき算出した。これにより、建屋の構造や建築状況に応じた時刻ごとの空調負荷を算出可能とした。

上記のモデルによって算出された結果の一例として、軽量鉄骨 5LDK の間取りにおける、男性勤め人、主婦、中学生の3人家族における夏期晴天日の消費電力量の日中変化を図2に示す。本結果は同一の世帯構成、住宅建築状況において1000回の計算を行った結果である。図2中のひげの範囲は消費電力量の最大値、最小値を示す。0時から6時にかけての深夜の時間帯は、居住者のほとんどが睡眠の行動をとるために消費電力量の分布は小さくなる。一方、日中の時間帯にかけて消費電力量の分布は増加する傾向にあるが、図2の箱の中の横線で示した中央値を見ると、13時から16時にかけて上昇することが分かった。これは、居住者が在宅している可能性が高く、さらに夏期においては冷房需要が日射などにより増加するためであると考えられる。特に主婦の行動においては、日中を通して不在となることが少ないことも増加傾向を示した原因であると考えられる。また、8時から20時の最低値はいずれの時刻も同じ値を示しているが、これは冷蔵庫のように常に一定の消費電力量で稼働する機器による消費電力である。

(2) 蓄電池を備えた太陽光発電設備によるエネルギー消費削減効果の分析

分布のある消費電力量に対して太陽光発電を導入した場合には、発生する余剰電力量も分布を持つことになる。本研究では、家庭において普及が期待される、比較的小さい容量の蓄電池について、太陽光発電設備と併設した場合に、家庭における消費電力量および太陽光発電の発電余剰量の分布について検討した。

図3および図4はそれぞれ、図2と同一の条件において、発電容量3kWの太陽光発電設備ならびに容量0.5kWh、最大入出力電力0.3kWの蓄電池を導入した場合における、事

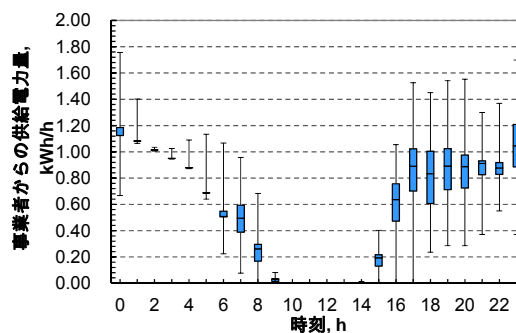


図3. 蓄電池を備えた太陽光発電導入時の事業者からの供給電力量 (3人家族)

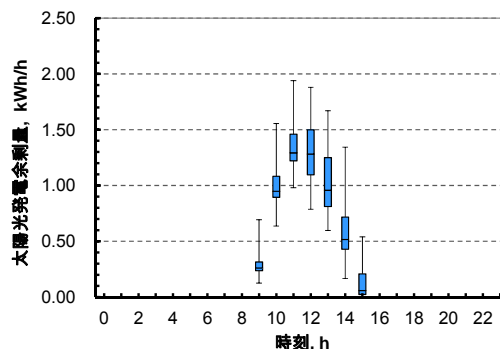


図4. 蓄電池を備えた太陽光発電の発電余剰量 (3人家族)

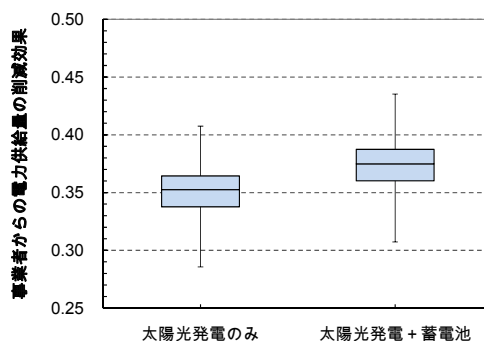


図5. 電力消費量の削減効果 (3人家族)

業者からの電力供給量および太陽光発電の発電余剰量の日中変化である。9時から14時にかけて、事業者からの電力供給はない。これは家庭における電力消費のすべてが、太陽光発電ならびに蓄電池から供給されたためである。一方で、図4に示す発電余剰量も同時刻において発生し、その最低値は常に0kWh/h以上である。すなわち、3人家族においては居住者の行動によらず、3kWの設備容量の太陽光発電に加え0.5kWhの蓄電池を導入しても発電余剰量が発生する。また、日射量が増加する11時から13時にかけて余剰量の中央値は増加した。これは蓄電池の容量が小さく、午前中の早い時間で満充電に達するためであると考えられる。また、蓄電池の容

量が小さいため、夕刻における放電は1時間から2時間で終了し、18時以降の事業者からの供給電力の削減効果は得られないことが分かった。

事業者からの供給電力の削減効果について、太陽光発電のみを導入した場合および太陽光発電と蓄電池を併設した場合の1日比較を図5に示す。削減効果は太陽光発電および蓄電池を導入しない場合の1日の合計の消費電力量から、導入した場合の消費電力量の割合として算出した。蓄電池を併設した場合において、電力消費削減効果は約2%上昇した。しかしながら、削減効果の分布の形状は太陽光発電のみを導入した場合と変化しておらず、蓄電池の導入によって居住者の行動のばらつきの影響は緩和されないことが分かった。これは、蓄電池の容量が小さく、図5に示したように午前中の早い時間帯で満充電に達し、さらに夕刻においては1時間から2時間で放電するためである。従って、居住者の行動が発電余剰量に与える影響を緩和するためには、大容量の蓄電池が必要となるが、大容量の蓄電池のコストや設備利用率などを考慮する必要がある。特に蓄電池をインフラ側に対する利点とした場合、高コストであることは居住者側には欠点となる。従ってインフラ側の利点と居住者の利点を考慮して、適切な蓄電池の容量を決定する必要がある。

(3) 給湯における電力消費削減効果に与える太陽熱温水器導入効果の検討

家庭においては動力機器の仕様に伴うエネルギー消費の他、給湯も大きなエネルギー消費を占める。近年では高い成績係数を有するヒートポンプ給湯システムが普及しつつあるが、主に深夜に貯湯槽に温水を供給する給湯システムにおいては、貯湯槽からの放熱に加え、温水需要の変動を考慮する必要がある。すなわち、湯切れを考慮して需要に対して過剰の温水を供給することは、省エネルギー性を損なうことになる。一方で、給湯において太陽エネルギーは古くから利用されてきた。太陽熱温水器は日中に給湯を行うことで需要時間と供給時間が近く、また省エネルギー性にも寄与するものである。本研究では、ヒートポンプ給湯機と太陽熱温水器を併設したシステムについて、省エネルギー効果と温水需要の不確実性へのロバスト性能向上の評価を行った。

図6は本研究で提案する給湯システムである。夜間においてヒートポンプ給湯機から貯湯槽に、所定の温度で温水が供給される。一方で日中においては貯湯槽中間付近から温水を抜き、太陽熱温水器へと供給する。給湯需要が発生する時間帯においては、貯湯槽上部の高温水と水道水を混合し、所定の給湯温度として居住者へ供給する。居住者の給湯需

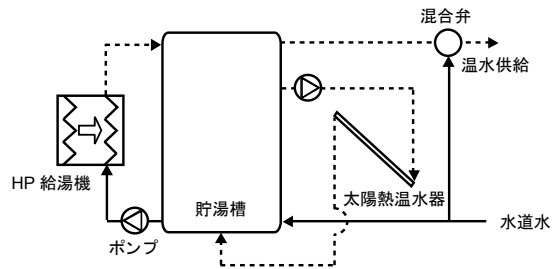
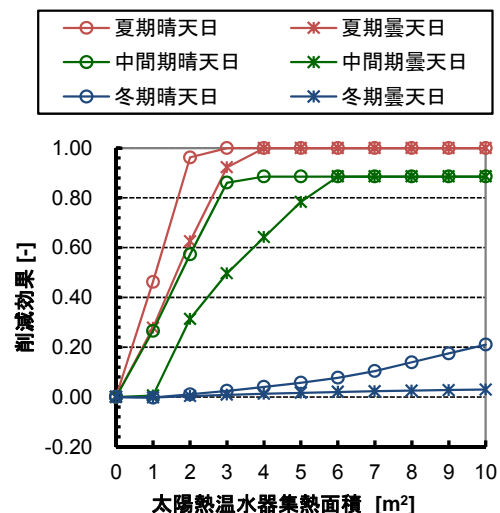
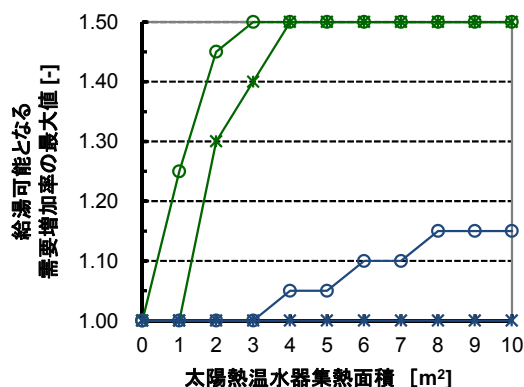


図6. 太陽熱温水器を補助熱源とするヒートポンプ給湯システムの概略図



(A) ヒートポンプ給湯機運転時間の削減効果



(B) 需要増加率への対応可能性

図7. ヒートポンプ給湯器のエネルギー消費削減効果および温水需要増加へのロバスト性に与える太陽熱温水器集熱面積の影響

要量はある範囲内に収まるものとして、太陽熱温水器集光面積が、ヒートポンプの稼働時間の削減に与える影響ならびに、ヒートポンプ稼働時間を固定した場合の需要増加に対するロバスト性能を検討した。

本研究においては、太陽熱温水器の集熱効

率は、太陽熱温水器の入口温水温度と日射量、外気温度によって変化するものとした。さらに、貯湯槽の中間付近から温水を供給するが、本システムにおいては貯湯槽から太陽熱温水器へ温水を供給する位置によって集熱効率が変化する。本研究ではこの設計要件も検討し、貯湯等中間部以下において導入効果が上昇することを明らかにした。

本システムのモデル化については、貯湯槽内部の温水の温度分布を熱収支、エネルギー収支、温水流量より算出し、温水の温度ベースによるモデル化を行った。

図7はヒートポンプ給湯器の運転時間の削減効果および温水需要増加へのロバスト性に与える太陽熱温水器集熱面積の影響である。ヒートポンプ給湯器消費運転時間の削減効果は、太陽熱温水器を導入しない場合において、給湯需要を賄うことができるヒートポンプ給湯器の運転時間に対する割合として検討した。また、太陽熱温水器の集熱効率は日射量及び外気温度に大きく依存するため、夏期、中間期、冬期の晴天日と曇天日について検討した。図7(A)にヒートポンプ運転時間の削減効果を示す。夏期晴天日においては 2m^2 程度の太陽熱温水器集熱面積で運転時間の削減効果がほぼ1となり、完全に太陽熱温水器のみで給湯需要を賄えることが明らかとなった。中間期においても晴天日は 3m^2 、曇天日は 6m^2 程度で運転時間の削減効果は最大に達する。なお、中間期において最大の削減効果が1とならないのは、早朝の時間帯に給湯需要が発生したためである。しかしながら、冬期においては晴天日において 10m^2 の太陽熱温水器を導入しても削減効果は0.2程度にとどまり、曇天日ではほとんど削減効果が得られない。また、冬期曇天日では運転条件によっては貯湯槽内部の温水の混合により、負の影響が得られた。従って太陽熱温水器を導入する場合、特に外気温度の低い冬期において性能を向上させ、夏期と中間期の差を解消することが必要である。本研究では貯湯等の中間部の温水を供給する中間水取り出しによって、一定の改善が見られた。

図7(B)は、ヒートポンプ給湯器の運転時間を固定した場合において、太陽熱温水器を導入した場合に賄うことができる給湯需要の増加率を示す。本検討は給湯需要の変動が大きいと考えられる中間期と冬期について行った。中間期においては曇天日においても 4m^2 以上の集熱面積で、需要の50%増加に対して給湯可能である。また、 2m^2 でも30%の増加に対応可能であり、太陽熱温水器を導入することによる給湯需要変化へのロバスト性能の向上が期待できる。一方で冬期においては 10m^2 でも15%の増加への対応にとどまった。冬期においては集熱面積の増加以外に、温水器の集熱効率低下の対策が必要である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計4件)

- (1) 木下裕美子, 大藏将史, 横山良平, 涌井徹也, 躯体蓄熱を考慮した空調負荷計算にもとづく空調機の最適運転計画 (省エネルギー効果および負荷変動抑制効果の分析), 第32回エネルギー・資源学会研究発表会, 2013年6月7日, 東京 (発表決定)
- (2) 中井陽介, 大藏将史, 横山良平, 涌井徹也, 太陽熱温水器を併用したヒートポンプ給湯システムの省エネルギー性の評価 (中温水取出しによるエネルギー消費削減効果の検討), 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日, 東京
- (3) 大藏将史, 横山良平, 涌井徹也, 居住者の行動に基づく家庭におけるエネルギー消費量の推定と太陽エネルギー利用システム導入効果の分析, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日, 東京
- (4) 大藏将史, 中井陽介, 横山良平, 涌井徹也, 太陽熱温水器を補助熱源とするヒートポンプ給湯システムの省エネルギー性能分析 (設計・運転条件の影響), 第31回エネルギー・資源学会研究発表会, 2012年6月5日, 大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大藏 将史 (OHKURA MASASHI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 90453810