

家庭におけるエネルギーマネジメントと 負荷制御

杉原 英治

近年、家庭における省エネルギーや快適性・利便性の向上を目的として、家庭用エネルギーマネジメントシステムが注目されている。一般にエネルギーマネジメントによる負荷制御は、直接負荷制御と間接負荷制御の二つに大別される。本稿では、居住者に対して自身の世帯のエネルギー消費情報をフィードバックすることにより、省エネルギー意識を喚起し、省エネルギー行動を誘発する間接負荷制御の実証研究について紹介する。

キーワード：省エネルギー、エネルギーマネジメント、負荷制御

1. はじめに

近年、核家族化に伴う世帯数の増加、電気製品の大型化、エアコン保有台数の増加等に伴い家庭におけるエネルギー消費量は堅調に増加しており、効果的な省エネルギー対策を実施することが喫緊の課題となっている。一般に、家庭における省エネルギーの取り組みは、以下の3つの観点から大別される。

- 機器の高効率化 (例：高効率エアコン)
- 住宅の高断熱化 (例：複層ガラス)
- 省エネ型ライフスタイルへの移行 (例：エネルギー環境教育)

この中で、「省エネ型ライフスタイルへの移行」は、居住者のエネルギー消費に関する意識を変えることが求められるため、今のところあまり効果的な対策がなく、最も取り組みが難しいものとなっている。ただ、最近ではIT技術の進歩により、無線LANや電力線通信といったネットワーク技術の進展や、各種センサ技術の高性能化が進んでおり、技術的にも容易に家庭におけるエネルギー管理が実現可能になってきた。このため家庭における省エネルギー手段として、近年、家庭用エネルギーマネジメントシステム (Home Energy Management System: HEMS) が注目されている。

本稿では、家庭におけるエネルギーマネジメント技術の動向について述べた後、一般住宅を対象として、

エネルギーマネジメントシステムを設置したときの省エネルギー効果を定量的に評価する実証研究の成果について紹介する。

2. 家庭におけるエネルギーマネジメント 方策

2.1 ホームネットワークの現状

ホームネットワークの概念図を図1に示す。住宅内におけるネットワークは、動画や音声といった大容量データを高速に転送する必要があるAV系ネットワークと、簡単な制御信号等を伝送する白物家電等の設備系ネットワークに分けられる。本稿の主題である省エネルギーの観点からは、設備系ネットワークが重要であり、国内においては1997年家電メーカーを中心にECHONETコンソーシアムが設立された[1]。ECHONETとは、Energy Conservation and Homecare Networkの頭文字をとったものであり、

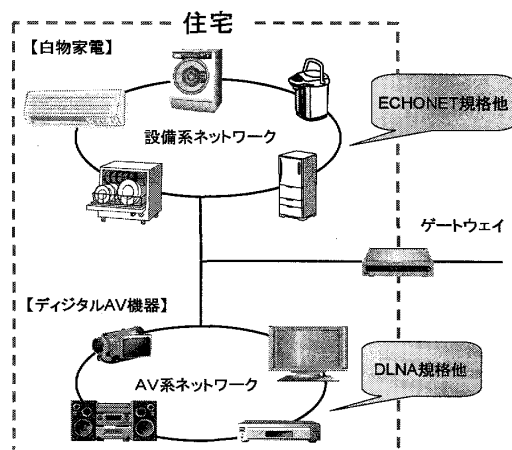


図1 ホームネットワークの概念図

省エネルギーと在宅介護に向けたホームネットワーク規格である。また、AV系ネットワークでは、代表的な規格として、AV機器同士やパソコンを相互接続することを目的としたDLNA (Digital Living Network Alliance) 規格などがある。

2.2 負荷制御の種類

家庭における省エネルギー手段の一つとして、快適性や利便性をできる限り犠牲にせず、また居住者の意識によらずに家庭内エネルギー消費を削減するシステムとして家庭用エネルギーマネジメントシステム (HEMS) が注目されている。一般に HEMS は大きく分けて二つの省エネアプローチからなっている。一つはエアコン、照明といった機器を直接的に制御する「直接制御 (自動制御)」と、もう一つは世帯のエネルギー消費量をほぼリアルタイムに確認することにより居住者の省エネルギー行動を誘発する「間接制御 (情報提供)」である。

まず直接制御は、空調機器や照明機器を対象として、人感センサーにより人の在不在を判断し機器の ON/OFF 制御を行うことや、居住者がキャンセル行動を行えるようにした上で自動的に省エネルギー運転モードへ切り替えることなどが行われる。一方、間接制御は、居住者に対して世帯の電力消費量や都市ガス消費量をフィードバックすることにより、省エネルギーに関する意識を向上させ省エネルギー行動を誘発するものである。

NEDO 技術開発機構では、平成 13~17 年に全国 5 カ所において HEMS 導入実証試験を実施した。詳細な結果は、文献[2][3]を参照されたいが、人感センサーを用いた機器の直接制御は、消し忘れや夜間に常時点灯する習慣のある世帯では効果があった。ただし、そのような世帯は必ずしも多くないものと考えられるため、すべての世帯に直接制御機能が必須かどうかは検討の余地がある。それに対して間接制御の方は、各機器の消費電力[W]や1カ月間の使用時間数を、ほとんどの世帯で把握していないものと考えられ、電力 (都市ガスを含む場合あり) の消費情報をフィードバックすることにより、高い省エネルギー効果 (世帯全体エネルギー消費量の 5~10%減) が得られる結果となった。

本稿においても、居住者へのエネルギー消費量のフィードバックによる間接負荷制御の実証研究の結果について紹介する。

3. 情報提供による間接負荷制御の実証研究

ここでは、一般住宅を対象として、居住者へ自身の世帯の詳細なエネルギー消費量をフィードバックすることにより省エネルギー行動が誘発されるか否かを検証する。間接負荷制御の実証研究を行った結果について紹介する。

3.1 実証研究の概要

図2にエネルギー消費情報提供システム (Energy Consumption Information System: ECOIS) の全体構成図を示す。データ計測部とデータ配信部に分けられ、データ計測部では、世帯全体の電力消費量および都市ガス消費量を 30 分ごとに計測する他、エアコンや冷蔵庫、テレビといった主要な電気製品には個別に子機を取り付け、別途電力消費量を計測する。それらの計測された情報は、屋内配電線搬送により世帯に設置された計測装置本体に送られ、PHS 通信網を介して大阪大学にあるサーバへデータ送信される構成となっている。次にデータ配信部では、毎朝、前日分 (30 分ごと) の電力・都市ガスのエネルギー消費データを、需要家端末として利用するノート PC へ e-mail により送信する。需要家端末では、送信されたエネルギー消費データを表示するとともに、居住者による操作ログや、後述するアンケートの回答をサーバ側へ送信する仕組みとなっている。

需要家端末の表示画面例を図3に示す。電力・都市ガス消費量は、居住者に理解しやすいよう金額表示しており、中央のグラフ表示部では、世帯全体の電力消費量だけでなく個別電気機器の電力消費量と都市ガス消費量を 1 日 24 時間の変化や過去 10 日間の推移として表すことができる。同図では、過去 10 日間の電力消費量の推移を示しており、その内訳から電力消費量の多い機器が容易に特定することができる。また、グ

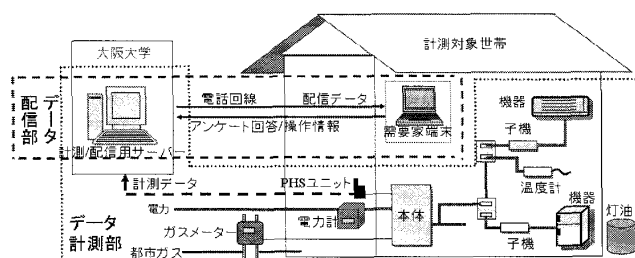


図2 エネルギー消費情報提供システム (ECOIS) の全体構成[6]

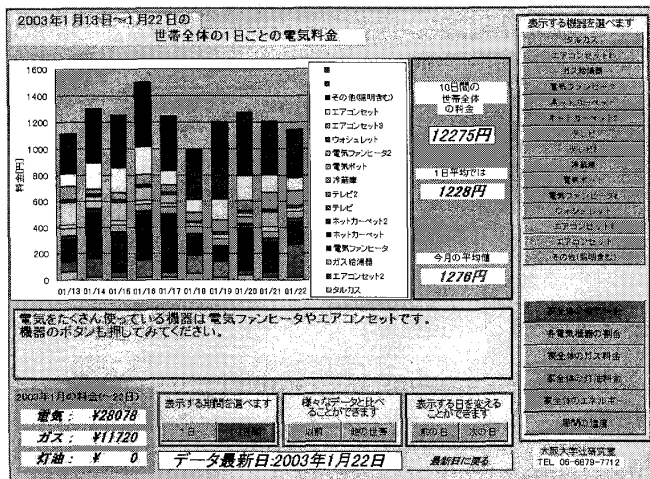


図3 需要家端末の表示画面例(当該日から過去10日間の電気料金の推移)

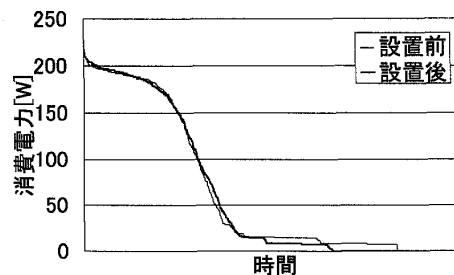
ラフ下のメッセージ部では、どのような機器のエネルギー消費量が多いかを表示し、機器のボタンが押された場合は、その機器に対する省エネルギーのためのアドバイスも定型文章として表示することができる。例えば、テレビに対しては、「就寝時や外出時は主電源を切るようにしましょう」のようなアドバイスが表示され、併せて三択のアンケートとして[実行している]、[してみようと思う]、[どちらでもない]の3つの回答を用意し、その情報を収集することにより省エネアドバイスの効果を評価することができる。なお、需要家端末のノートPCは、24時間稼働させるため、追加の電力消費量が生じるが、この増分も含めた省エネルギー効果の評価を行っている。

3.2 機器ごとの省エネルギー効果

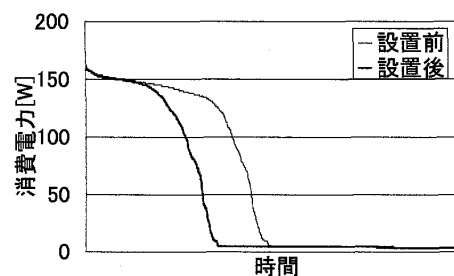
ここでは、まず、エネルギー消費情報をフィードバックすることにより、どのような省エネルギー行動を誘発したかを明らかにするため、各機器の日負荷曲線や負荷持続曲線(30分ごとの電力消費量を降順に並べたもの)を用いて、エネルギー消費行動の変化をみることにする。なお、ここでの結果は、2002年1月から関西文化学術研究都市(京都府精華町他)において電力消費量のみをフィードバックしたときの結果となっている(すなわち、都市ガス消費量の情報フィードバックを行っていない)。

(1) 個別機器の負荷持続曲線からみた省エネルギー効果

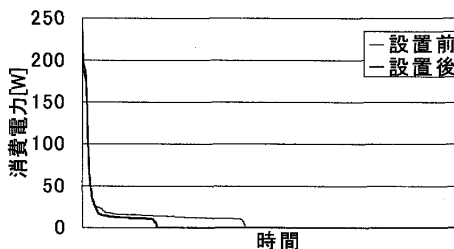
エネルギー消費情報提供システムの設置効果のあった機器の例として、図4は(a)テレビA、(b)テレビB、(c)電気炊飯器、(d)冷蔵庫の電力消費量を負荷持続曲線として表したものである。負荷持続曲線は、30分ご



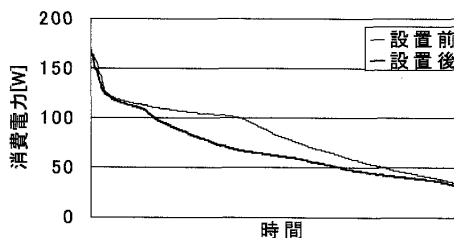
(a) テレビA: 待機時電力削減



(b) テレビB: 視聴時間削減



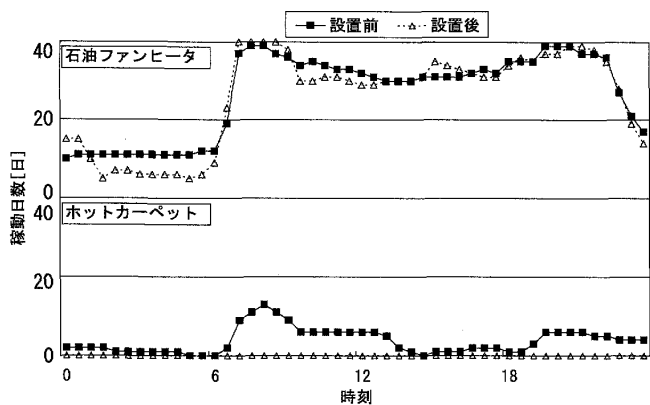
(c) 電気炊飯器: 保温時間削減



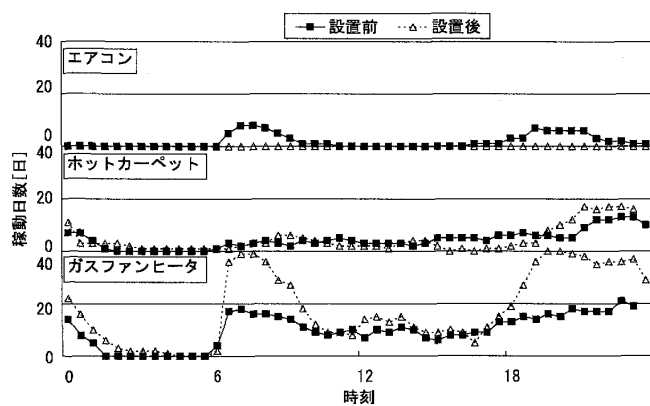
(d) 冷蔵庫: 設定温度変更

図4 各機器の負荷持続曲線の変化[4]

との電力消費量を降順に並べたものであり、電力分野の設備計画等では比較的良く用いられる表現方法である。ここでは、時系列の電力負荷を持続曲線として表現することにより、省エネルギー行動の種類を推定することができる。まず、(a)テレビAに関して、稼働時間は設置前後ではほとんど変化していないが、非稼働時に主電源を切るという省エネルギー行動が行われたことが分かる。また、(b)テレビBに関しては、視聴時間を減らす行動が行われた結果、約28%の電力消費量が削減された。なお、稼働中に消費電力が一定とならないのは、計測間隔の30分間のうち、一部の時



(a) 世帯 A



(b) 世帯 B

図5 ある世帯における暖房消費パターンの変化[5]

間のみが使用されていたためである。また、(c)電気炊飯器に関しては、設置前には就寝後も保温状態となっている日が多かったが、システム設置後にはコンセントから抜かれるようになり、約37%の削減が達成された。さらに、冷蔵庫に関しては運転モードが「強」から「弱」に切り替えられたことにより、約16%の電力消費量が削減される結果となった。

(2) 複数機器間の代替効果を考慮した省エネルギー行動

一般に、家庭には複数の暖房用機器が設置されることが多いため、暖房用途のエネルギー消費量全体からみて省エネルギーにつながるかどうかを評価することが重要である。

ここでは具体的に2つの世帯(世帯A, 世帯B)に着目し、表示システム設置前後における各暖房機器の時刻ごとの稼働日数を図5に示す。世帯Aでは、居間に石油ファンヒーターとホットカーペットを設置しており、電力消費情報(石油ファンヒーターの電力消費量を含む)をフィードバックすることにより、ホットカーペットは全く使用されなくなった。石油ファンヒ

ーターは、深夜に使用日数が若干減少しているが、その他の時間帯においてはほとんど変化がなかった。本世帯では、電力消費情報のみのフィードバックでも暖房用途の省エネルギーが達成されたことになる。

次に、世帯Bに関しては、エアコンとホットカーペットの使用日数が減少した一方で、朝と夜のガスファンヒーターの使用日数が大きく増加している。ガスファンヒーターの制御用に使われる電力消費量もフィードバックしているものの、あまり大きくないため、ガスファンヒーターの使用日数が増えたものと考えられる。

なお、設置前後で外気温の条件が異なるため単純な比較には注意を要するが、これらの結果より、居住者は表示システムから与えられた消費情報を基に、費用対効果の優れた暖房機器の組み合わせを検討しているものと考えられる。

3.3 世帯全体の省エネルギー効果

ここでは、2002年12月から大阪府和泉市の一戸建て住宅19軒を対象に、電力消費量だけでなく世帯全体の都市ガス消費量についても居住者に対してフィードバックすることを目的として、エネルギー消費情報提供システムを設置した実証実験の結果について紹介する。19軒のうち、10軒を設置世帯、9軒を非設置世帯とした。設置前の期間としては設置直前までの平日28日間を対象とし、設置後の期間として設置直後からの平日28日間を対象とした。設置による電力消費量および都市ガス消費量の削減効果をそれぞれ図6および図7に示す。一般的に冬期は、外気温が低下すると電力・都市ガスともに消費量が増えるため、これらの図は1日平均外気温と1日あたりの電力消費量および都市ガス消費量の関係を表している。設置世帯においては、同程度の外気温に対して電力消費量が17.8%削減されているのに対して、非設置世帯においても4.7%削減されていたことから、その差の約13%がエネルギー消費情報提供システムによる省エネルギー効果と見なすことができる。また、図7の都市ガス消費量に関して同様に、設置世帯で8.8%削減され、非設置世帯では0.4%増加していたことから、その差の約9%が情報フィードバックにより削減されたものと評価することができる。ただし、図6, 7の(a)(b)を比較すると、設置世帯の方が非設置世帯に比べ元々エネルギー消費量が多かったことに注意を要する。

また、実際の需要家端末に対する1日あたりの操作回数とアンケートの回答数の変化(10世帯平均値)を図8に示す。ここで操作回数とは画面に表示された

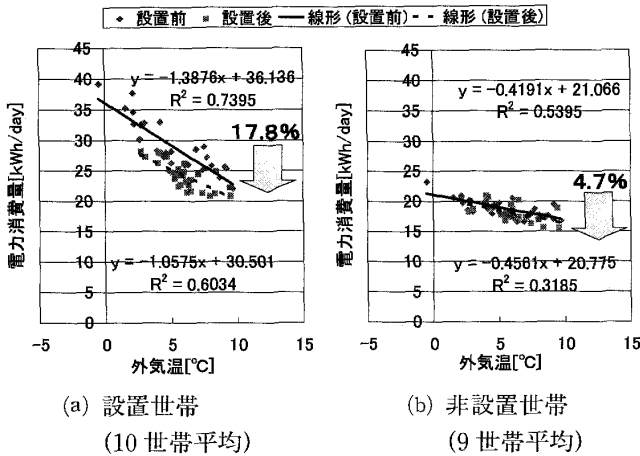


図6 世帯全体の電力消費量削減効果[6]

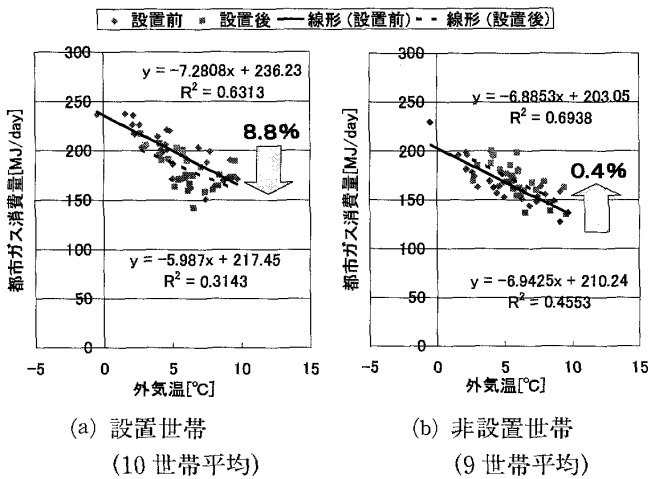


図7 世帯全体の都市ガス消費量の削減効果[6]

ボタンの押下回数を指す。操作回数は設置直後が多く、急激に減少するが、日数が経ってもゼロにはならず操作が行われていることが分かる。アンケートの回答数においても、設置直後から減少していくものの、ゼロになることはなく、少ないながらも継続していることが分かる。

4. 家庭用エネルギーマネジメントシステムの現状と展望

現在のところ、住宅におけるエネルギー消費量の把握を行うためには、図2に示すような計測システムを計測対象世帯に導入し、センターサーバまでデータを転送し、配信されたデータを表示するための端末を設置する必要がある。わが国においても、一部の家電メーカーにより前述のECHONET規格に基づくホームネットワークが商品化され、マンション一括で導入するケースも現れている。ただし、現状のサービスでは

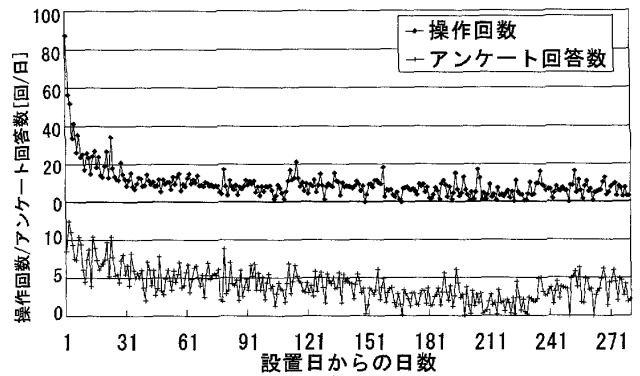


図8 端末操作回数の推移 (10世帯平均)[6]

10万円程度のネットワークコントローラ等を追加で購入する必要がある。

最近、欧米ではスマートメータと呼ばれる電子式電力量計の導入が検討され始めている。スマートメータは、従来の機械式メータより機器コスト自体は高価であるが、ほぼリアルタイム (例えば15分単位) に電子データとして電力量を計測し無線通信を介して電力会社へ送信することができる。そのため、これまでにない柔軟な電気料金 (例えばリアルタイムで変化する電気料金) や、猛暑日のようなピーク負荷時に電力会社の要請により削減した電力量を計測することなどが可能である。

わが国においても、将来的にスマートメータが導入されることになれば、比較的容易に電力消費量をリアルタイムで監視することができるようになるであろう。ただし、居住者にとって真に効果的な省エネルギー行動が行えるようにするためには、特に暖房用途において機器間の代替行動が起きやすいため、都市ガスや灯油も含めた世帯全体のエネルギー消費量を管理することが重要である。

5. おわりに

本稿では、エネルギー消費の削減に向けた家庭におけるエネルギーマネジメント方策として、特に居住者へのエネルギー消費情報のフィードバックによる間接負荷制御に着目し、実証研究事例に基づき世帯全体および機器別の省エネルギー効果や複数の暖房用機器間での代替行動について述べてきた。

具体的な省エネルギー行動として、電力消費量のみフィードバックした場合には、暖房に電力を使用する機器は使用日数が減少したものの、逆に都市ガスを消費する機器は使用日数が増加した世帯もあり、必ずしも省エネルギーにつながらないケースもあった。ただ

し、電力消費量と都市ガス消費量の両方をフィードバックしたケースでは、電力・都市ガスともに削減できることを示し、今回の事例ではそれぞれ約10%ずつの削減効果が得られた。

将来的に、家庭におけるエネルギーインフラの一つとして、エネルギーマネジメントシステムが普及するようになれば、日々膨大なエネルギー消費データが蓄積されることになり、そのようなデータを詳細に分析することにより、省エネルギーだけでなく様々なサービスが実現されていくであろう。

謝辞 3節で紹介した実証研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「環境負荷低減を目的とした新しい自律分散型都市エネルギーシステム」ならびに阪大フロンティア研究機構の研究プロジェクト「環境低負荷型ユーティリティシステムの創生」（いずれもプロジェクトリーダー 大阪大学 辻 毅一郎教授（現、同大学理事・副学長））の一環として行われたものである。計測調査にご協力いただいた世帯、ならびに関係各位に謝意を表す。また、本稿を執筆するにあたり貴重なご意見をいただいた大阪大学大学院工学研究科 佐伯 修助教に深謝申し上げる。

参考文献

- [1] ECHONET コンソーシアム Web サイト (<http://www.echonet.gr.jp/index.htm>).
- [2] NEDO: 「平成16年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書 (その2)」（2004年2月）.
- [3] NEDO: 「平成17年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書」（2005年2月）.
- [4] 上野剛, 佐野史典, 佐伯修, 辻毅一郎: 「実測に基づく住宅用エネルギー消費情報提供システムによる省エネルギー効果」エネルギー資源学会論文誌, Vol. 25, No. 5, pp. 347-353 (2004).
- [5] 上野剛, 佐野史典, 佐伯修, 辻毅一郎: 「実測に基づく住宅用エネルギー消費情報提供システムによる省エネルギー効果 (その2)」エネルギー資源学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 421-427 (2004).
- [6] 上野剛, 稲田亮, 佐伯修, 辻毅一郎: 「住宅用エネルギー消費情報提供システムによる省エネルギー—世帯全体のエネルギー消費に対する効果—」エネルギー資源学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 139-145 (2005).