電力管理システム導入による居住者の意識行動と消費量削減効果の分析

－広島地域の全電化住宅を対象とした電力消費量に関する研究－

ANALYSIS OF THE CONSCIOUSNESS BEHAVIOR OF INHABITANTS AND
REDUCTION EFFECT OF ENERGY CONSUMPTION BY SETTING-UP
THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

－ Study on the energy consumption of electrified housing in Hiroshima area －

安 藤 元 気*, 西 名 大 作**, 村 川 三 郎***, 石 田 正 樹****

*Motoki ANDO, Daisaku NISHINA, Saburo MURAKAWA
and Masaki ISHIDA*

The electric energy consumption of 100 electrified housing in Hiroshima area was measured by energy management system as one kind of HEMS. In this paper, on the basis of the comparison between the annual energy consumption before and after setting-up of the system, the reduction effect of installation of the system was clarified. As the results, the rate of reduction compared with the consumption before setting-up was approximately 3%.

Furthermore, the factors of the reduction of energy consumption were examined. According to the comparison of three household groups classified by the consciousness and behavior of inhabitants, the reduction rate of the group which has already chosen the energy saving behavior before setting-up was larger than it of the group which tried to save the energy consumption after setting-up.

Keywords : *Electrified housing, Energy Consumption, Land survey, Questionnaire, Energy Reduction Effect, Visualization*

全電化住宅, 電力消費量, 実測調査, アンケート調査, 削減効果, 見える化

1. はじめに

世界規模での地球温暖化対策に向けて、エネルギー消費の抑制と、効率的使用が、エネルギー資源の乏しい日本にとって喫緊の課題であると同時に、先進国として課せられた使命となっており、国が掲げる政策は、企業のみならず、個人レベルにおけるエネルギー消費動向にまで波及している。一方、技術の進歩に伴う生活水準の向上から、個人を取り巻く環境は劇的に変化しており、年々増加傾向にある民生用家庭部門のエネルギー消費削減が重要な課題となっており、住宅の断熱性能の向上、省エネ家電機器や高効率照明の開発などハード面における技術革新がなお一層進められている。また、東日本大震災以降、従来から知られている太陽光発電システムに加えて、エネルギーの貯蔵が可能な蓄電池システムや、住宅設備や家電製品が消費するエネルギーを賢く使うための HEMS (Home Energy Management System) を導入した「スマートハウス」が登場し、今後における普及拡大が予想される。

このなかで、家庭でのエネルギー使用量を計測・表示する機能と機器の使用量などを制限する機能を併せ持つ HEMS は、ソフト面の対策であり、いわゆる「見える化」により居住者の意識向上や注意喚起が期待できる。しかしながら、実際に HEMS の導入によっ

て居住者が省エネ行動に至り、エネルギーが削減されているかどうか明らかにされる必要があるが、この点についてはシステムの開発普及に伴い、近年検討されているところではあるものの、未だデータが十分であるとはいえない。

そこで本研究では、視覚的にエネルギー消費動向を把握することが可能である中国電力株式会社が開発した HEMS の一種といえる「光熱費管理支援システム」が設置された電化住宅を対象として、「見える化」による意識喚起がエネルギー消費量の削減に及ぼす効果について検討することを目的とする。すなわち、システム設置前の1年間と設置後の1年間の電力消費量を比較して、前者に基づく後者の増減率を示すことで、その効果量と省エネ行動（節約行為）との関連分析を行ったうえで、削減に至る背景要因について居住者の本システムに対する意識や環境に配慮した意識との関連から解明する。

これまでの多くの研究により、住宅でのエネルギー消費量は、外気温、建物特性、世帯特性、保有家電機器特性、ライフスタイル、居住者の意識や行動など様々な要因の影響を受けることが知られており、居住者の省エネ意識や節約行為が電力消費量に与える影響についても検討が進められている。森ら¹⁾は戸建住宅を対象にエネル

* 広島大学大学院工学研究科 博士後期課程・修士(工学)

** 広島大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

*** 広島大学サステナブル・ディベロップメント

実践研究センター 特任教授・工博

**** 広島大学大学院工学研究科 博士前期課程

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ., M. Eng.

Prof., Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

Prof. Special Appointment, The Institute for Sustainable Science and Development, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ.

ギー消費量や節約行為に関するアンケート調査により、節約行為による省エネルギー効果の考察を行っており、水谷ら²⁾は用途ごとのエネルギー消費量と住まい方との関係について分析を行った結果、両者に明確な相関がみられることや省エネに努めている世帯のエネルギー消費量が少ないことなどを示している。湯浅ら³⁾は低負荷型ライフスタイルのエネルギー消費量を1週間実測し、平常時との比較検討から、エネルギー削減の可能性を明らかにしている。しかしながら、いずれの研究も、居住者の意識や行動がエネルギー消費量に及ぼす影響について検討しているものの、エネルギー消費を視覚的に把握することにより省エネ・節約行為が喚起されたものとはなっていない。

また、HEMSの導入による省エネルギー効果を検証した研究としては、石田ら⁴⁾による、エアコンと照明を対象とした在・不在制御による検証例があるものの、「自動制御」による効果を主眼としており、居住者意識には着目していない。一方、畑ら⁵⁾は、居住者の節電行動実践度による消費傾向の差異について検討しており、実践度の高低が消費電力と関連し、環境エネルギー情報表示システムが節電行動の促進に効果的であることを示している。しかしながら、システム導入以前の消費傾向については示されておらず、見える化による削減効果については明らかとなっていない。

本研究は、広島市内ならびにその周辺という限定された地域に所在する多数の電化住宅を対象に、HEMSにより視覚的に促された意識喚起の効果について明らかにするとともに、システム導入を契機とした居住者の意識・行動の変化が及ぼす影響に着目して分析を行う。

2. 調査概要

2.1 測定概要

光熱費管理支援システム（以降、「システム」と称する）は、電化住宅特約の契約住宅を対象としたダイレクトメールおよび電話によるモニター募集に応募し、選定された100件の住宅に設置されている^{注1)}。所在地は、広島市が99件、廿日市市が1件で、本研究では、住宅形式が戸建て住宅である98件を対象としている。システムは2008年6月から順次取り付けを開始し、2008年10月には全住宅への取り付けが完了している。

システムの機器構成を図1に示す。住宅全体と居住者の要望により選択された10系統の計11系統の電力消費量が、住宅の屋内分電盤に隣接して取り付けられた計測装置によって測定されており、ホームゲートウェイに接続された居住者所有のルータを介して、データサーバーに送信され、そこで蓄積・管理される。居住者は所有のパソコンからインターネットを介してサーバーにアクセスし、現在や過去の電力消費量を専用のホームページで確認することが可能である^{注2)}。

2.2 アンケート調査概要

調査対象住宅の建物特性や世帯特性、居住者の環境問題に対する意識や節約行為の実行状況などを把握するため、居住者を対象としてアンケート調査を実施した（以降、これを「属性調査」と称する）。また、中国電力㈱でも、システムの利用状況や評価に関するアンケートである「モニター調査」を2回にわたり実施している。

各アンケート調査内容を表1に示す。

図1 機器構成図

表1 アンケート調査内容

属性調査	
大分類	小分類
建物特性	面積（建築・延べ床）、階数、竣工年、居住年、24時間換気システム採用の有無、構造、部屋数、電化工事時期、住宅性能など
世帯特性	家族構成、システムによる光熱費確認頻度
各系統情報	各系統内の電化製品設置状況
環境意識と節約行為	自宅の光熱費について、環境問題への関心、環境問題についての家族との会話頻度、環境に対する取り組み状況、日常における節約行為の実行状況など
第1回モニター調査	
大分類	小分類
世帯特性	家族構成、モニター申込み希望者、申込み動機
システムについて	システム利用者、システム利用頻度、システム利用項目、システム関心項目など
第2回モニター調査	
大分類	小分類
利用について	システム利用頻度、頻度変化、変理由
機能について	金額表示について、利用での判明事項
意識の変化	システム設置前後の「環境（省エネ）」や「光熱費」に対する意識変化
光熱費削減額	光熱費期待削減額、光熱費目標削減額
購入について	システムの購入意思、購入意思理由

「属性調査」は2008年12月中旬～下旬、「モニター調査」の第1回はシステム設置直後である2008年10月上旬～11月下旬、第2回は2008年12月中旬～1月中旬にかけて実施しており、配布数100件に対し、回収数はそれぞれ78件、93件、88件である^{注3)}。

2.3 検針値の概要

システム設置による効果を検証するためには、システム設置前の電力消費量が必要であるため、本研究では光熱費管理支援システムによる「測定値」の他に、電力事業者が実施する定期的な検針による「検針値」も分析の対象としている。検針値のデータ提供期間は、システムの設置が開始された2008年6月の1年以上前にあたる「2007年2月」から、設置後1年以上経過した「2009年11月」までである。検針値の提供世帯数は、「属性調査」内でデータ提供について了承が得られた73件であるが、システム設置前後の各1年間の値に欠測等がある世帯を除く66件を、消費量削減効果を検討する際の分析対象世帯としている。なお、検針値の測定精度は1kWh単位で、測定間隔は月単位であるが、住宅によって検針日が異なり、同じ月でも検針値の測定期間は世帯間でずれが存在する。したがって、本研究では世帯間の誤差が小さくなるよう、設置前後の比較には年間ベースの電力消費量を用いる。

図2 月平均気温の変動

図3 年積算電力消費量の比較

図4 設置前検針値と設置後検針値・推定値の比較

図5 増減率の度数分布

2. 4 気象概要

本研究で対象とする住宅の所在地である広島県広島市周辺は、県南西部に位置しており、年間を通して日照時間が長く、比較的温暖な傾向を示し、中国山地と四国山地に挟まれた瀬戸内圏の気候の特徴を有する地域である。設置前後の各1年の電力消費量を比較する場合、システム設置による意識・行動の変化に加え、気象条件が冷暖房に及ぼす影響も大きいことから、ここでは検討対象とする時期の気象概要について整理する。

広島地方気象台で観測されたシステム設置前の2007年からの3年間における月平均気温の変動を図2に示す。これより、システム設置が完了した2008年11月以降を設置前と比較すると、2月に高温、7月に低温が観測されているが、他の月においてはほとんど差のないことがわかる。

3. システム導入による削減効果

本章では、システム設置前後の各1年間における電力消費量を比較するにあたって、検針値の精度の妥当性について、システムによる測定値との対応関係を確認したうえで、「増減率」を算出し、電力消費量の削減効果について検討する。

3. 1 全電化住宅における電力消費量

全電化住宅における電力消費量を把握するため、システムによって計測された「2008年10月～2009年9月」の1年間の測定値に基づく積算値を、同期間における検針値と併せて図3に示す。

これより、測定値による平均年積算電力消費量は10,352[kWh/(世帯・年)]となり、検針値10,453[kWh/(世帯・年)]と比較しても、ほぼ同じ値であることがわかる。検針値はkWh単位と精度は粗いものの、年間ベースでの検討では、精度が高い測定値と対応がとれていることが確認できる。

3. 2 設置前後の電力消費量の比較

システム導入による電力消費量の削減効果を検討するため、検針値に基づいた設置前後の年積算電力消費量を比較する^{注4)}。しかし、検針値にはシステム導入による削減効果に加え、気象条件の影響が含まれる。そこで、設置後のシステムによる測定値を用いて、世帯ごとの日積算電力消費量(y)と日平均外気温(x)の関係式^{注5)} $(y=ax^2-bx+c)$ を求め、上式のxに設置前の日平均外気温を代入することで推定日積算電力消費量を求め、それらの総和から外気温の影響を除外した世帯ごとの推定年積算値を算出した^{注6)}。この値は、システム設置後に変化した意識・行動の下で、設置前の気象条件で過ごした場合の電力消費量の「推定値」となる。

設置後の「(a)検針値」と「(b)推定値」のそれぞれを、設置前の「検針値」と比較した結果を図4に示す。

回帰直線の傾きは、(a)が約0.972、(b)が約0.974で、およそ3%減となっている。設置前後の値を用いて、対応のあるサンプルのt-検定を実施した結果、設置後が設置前に比べ、(a)・(b)ともに1%水準で有意に小さいことが確認できた。設置前の1年間と比べ、設置後は暖冬・冷夏であったことから、冷暖房電力消費量の低下が予

分類	低負荷型ライフスタイル	実行度				t- 検定 結果
		1 している	2	3	4 していない	
空調	【暖冷房①】冷(暖)房する時間や期間を減らす					***
	【暖冷房②】冷(暖)房する部屋の数を減らす					***
	【暖冷房③】冷(暖)房の設定温度を高(低)めにする					***
	【暖冷房④】こまめにフィルターを掃除する					***
	【暖冷房⑤】冷房時に扇風機を併用する					***
	【暖冷房⑥】なるべく暖房で調整する					***
厨房	【調理①】下ごしらえは電子レンジを活用する					***
	【調理②】段取りよく調理する					***
	【冷蔵庫①】季節に合わせて設定温度を調整する					***
	【冷蔵庫②】ドアの開閉を少なく手早くする					***
	【冷蔵庫③】物を詰め込みすぎないようにする					***
	【冷蔵庫④】熱いものは常温で冷やしてから入れる					***
	【食洗機①】まとめて洗う					**
	【食洗機②】設定温度を調節する					***
	【食洗機③】標準(節約)コースで洗う					**
	【炊事①】食器洗いの際の湯温を低くする					***
	【炊事②】洗う物はお湯を低くする					***
	【風呂①】家族が入浴時間を合わせて入浴している					***
給湯	【風呂②】風呂のお湯の使用量を減らす					***
	【風呂③】入浴後は浴槽にフタをする					***
	【洗面①】お湯の使用時間を短くする					***
	【洗面②】お湯の設定温度を低くする					***
	【洗面③】温水を使わない					***
	【洗便座①】使用しないときはフタを閉める					***
その他	【洗便座②】季節に合わせて設定温度を調整する					***
	【洗濯機①】使用時にまとめて洗いをする					***
	【洗濯機②】風呂の残り湯を使用する					*
	【洗濯機③】軽い汚れは短時間で洗うコースを使用する					***
	【テレビ①】使わないときは電源を切る					***
	【テレビ②】使用時間を短くする					***
	【パソコン】省エネモードにする					***
	【照明①】使用していない部屋の照明は消す					***
	【照明②】家族が同じ部屋で眠る					***

***:1%水準で有意, **:5%水準で有意, *:10%水準で有意

図6 節約行為の世帯平均実行度

想されるが、「(b)推定値」による外気温の影響を除外した場合でも、システム導入による一定の削減効果が認められることがわかる。

3. 3 世帯ごとの削減効果

設置前検針値に対する(a)設置後検針値または(b)推定値の電力消費量の差の割合を「増減率[%]」として、世帯ごとに求めた度数分布を図5に示す。

システム設置後に電力消費量が削減されている世帯の全世帯に対する割合は、(a)で約65%、(b)で約62%となり、いずれの場合においても削減されている世帯が半数以上を占めている。設置後に増加あるいは減少した世帯の割合が等しいことを帰無仮説として χ^2 検定を実施した結果、(a)・(b)ともに削減した世帯数が5%水準で有意に多いことが確認できた。

これまでの結果から、「検針値」と「推定値」にほぼ同様の傾向がみられ、大きな違いがないこと、「推定値」には予測式の推定による誤差が含まれることを勘案し、以降では、システム導入による効果を検討する際の電力消費量データとして「(a)検針値」を用いることとする。

4. 節約行為と増減率の関連

増減率はシステム導入を契機とした居住者の行動の変化が反映された結果の一端であると考えられる。電力消費量の増減に大きな影響を及ぼす居住者の行動として、日常的に行う「節約行為」が挙げられる。そこで本章では、増減率に影響を及ぼす要因を抽出するために、アンケート調査における節約行為の単純集計結果を示したうえで、増減率との関連を整理する。

4. 1 節約行為の実行状況と節約意欲

属性調査では、居住者の節約行為の実行度について、33項目の行為それぞれの「現在(システム設置前)の実行状況」と「近い将来(システム設置後)における予想実行度」について尋ねている^{注7)}。

図7 節約行為平均実行度と増減率の関連

現在と将来のそれぞれにおける実行度の全世帯平均値を図6に示す。

現在の実行度では、「【食洗機①】まとめて洗う」「【風呂③】入浴後は浴槽にフタをする」「【洗濯機①】使用時にまとめて洗いをする」「【照明①】使用していない部屋の照明は消す」などは比較的容易な行為であるため、実行度が高い一方で、「【冷蔵庫①】季節に合わせて設定温度を調整する」「【食洗機②】設定温度を調節する」などの手間がかかるものや「【洗面③】温水を使わない」「【テレビ②】使用時間を短くする」などの快適性を損なうものについては低くなる傾向にある。

将来の予想実行度は、全ての項目において現在の実行度を上回っている。両者におけるt-検定結果をみると、すでに現在の実行度が非常に高い「【風呂③】入浴後は浴槽にフタをする」や照明関係では、将来の予想実行度との差異はみられないものの、ほとんどの項目において有意差が認められることから、多くの世帯において、システム設置を契機として節約行為が促進される期待感が高まっているものと予想される。

4. 2 各項目が増減率に及ぼす影響

現在と将来における33項目の節約行為の各世帯平均実行度と増減率の関連を図7に示す。

両者に高い相関関係は認められないが、現在・将来ともに実行度が高い世帯ほど増減率が小となり、削減傾向にあることがわかる。また、現在と将来を比較すると、後者のほうがわずかながら決定係数が高いことから、システム設置を契機とした行動の変化が電力消費量削減の一因と考えられる。

そこで、現在と将来の実行度の変化に着目して、項目ごとに世帯を3つのグループに分類する。具体的には、現在よりも将来の実行度を高く選択した世帯とそうではない世帯に分け、前者を「節約意欲向上世帯」、後者を「現状維持世帯」とし、さらに後者については、将来の予想実行度で「していると思う」を選択した世帯を「現状維持(高実行度)世帯」、「していないと思う」以外を選択した世帯を「現状維持(低実行度)世帯」とする。

節約行為の各項目におけるグループ間の増減率の差異についての分散分析結果と、各グループの平均増減率を表2に示す。なお、こ

重相関係数	アイテム	グループ	度数	カテゴリスコア	-10%	-5%	0%	5%	レンジ	偏相関係数
0.687	【暖冷房①】 冷(暖)房する時間や 期間を減らす	現状維持(高)	21	-1.52%					3.63%	0.355
		節約意欲向上	17	-0.73%						
		現状維持(低)	21	2.11%						
	【冷蔵庫④】 熱いものは常温で 冷やしてから入れる	現状維持(高)	35	-1.22%					3.30%	0.336
		節約意欲向上	13	2.09%						
		現状維持(低)	11	1.40%						
	【洗濯機①】 使用時にまとめ洗い をする	現状維持(高)	41	-1.50%					5.34%	0.474
		節約意欲向上	6	2.52%						
		現状維持(低)	12	3.85%						
	【照明①】 使用していない部屋 の照明は消す	現状維持(高)	49	0.73%					10.42%	0.484
		節約意欲向上	3	-9.68%						
		現状維持(低)	7	-0.99%						

図8 数量化理論第Ⅰ類による分析結果

表2 グループごとの増減率と分散分析検定結果

アイテム	グループ	単純集計結果 (度数)	グループごとの 増減率	グループ 1	グループ 2	増減率
衣 の 類	【暖冷房①】 冷(暖)房する時間や 期間を減らす	① 現状維持(高)	24	-4.81%	①	②
		② 節約意欲向上	22	-3.55%	③	④
		③ 現状維持(低)	24	-0.06%	②	③
	【暖冷房③】 冷(暖)房の設定温度 を高(低)めにする	① 現状維持(高)	27	-4.43%	①	②
		② 節約意欲向上	23	-2.82%	③	④
		③ 現状維持(低)	21	-0.54%	②	③
	【冷蔵庫④】 熱いものは常温で 冷やしてから入れる	① 現状維持(高)	45	-4.02%	①	②
		② 節約意欲向上	14	-1.29%	③	④
		③ 現状維持(低)	13	0.50%	②	③
	【洗濯機①】 使用時にまとめ洗い をする	① 現状維持(高)	52	-4.07%	①	②
		② 節約意欲向上	8	1.46%	③	④
		③ 現状維持(低)	12	0.90%	②	③
	【照明①】 使用していない部屋 の照明は消す	① 現状維持(高)	60	-2.36%	①	②
		② 節約意欲向上	4	-10.97%	③	④
		③ 現状維持(低)	9	-0.29%	②	③

***:1%水準で有意, **:5%水準で有意, *:10%水準で有意

こでは節約行為 33 項目のうち、分散分析において 10%水準で有意な項目のみを掲載している。また、分散分析結果が有意な場合、同表にはグループ間の多重比較検定結果も併せて示す。

分散分析の結果、5%水準で有意差が認められるのは、「【暖冷房①】冷(暖)房する時間や期間を減らす」「【冷蔵庫④】熱いものは常温で冷やしてから入れる」「【洗濯機①】使用時にまとめ洗いをする」「【照明①】使用していない部屋の照明は消す」の4項目にとどまる。多重比較検定結果から【照明①】を除く3項目では「現状維持(高実行度)世帯」と「現状維持(低実行度)世帯」の間で差異が大きくなっており、いずれも前者の削減が大となっている。

5. 増減率に対する影響要因の検討

本章では、前章の結果を踏まえ、電力消費量の増減に影響を及ぼす要因を検討するために、増減率を目的変数、節約行為を説明変数として、数量化理論第Ⅰ類を適用する。説明変数としては項目間の相関係数^{【注釈表1】}から多重共線性の影響を考慮し、表2において5%水準で有意だった4項目を選定した。

結果を図8に示す。

本モデルの重相関係数は0.687であり、4項目によって各世帯の増減率の違いの約47%を説明できることがわかる。偏相関係数に着目すると、4項目全てが0.3以上と比較的高いことから、それぞれ影響力のある項目であるといえる。

【暖冷房①】【冷蔵庫④】【洗濯機①】については「現状維持(高実行度)世帯」がいずれの項目においても削減傾向にあり、逆に「現状維持(低実行度)世帯」は増加している。一方、行動の変化により大きな削減が見込まれる「節約意欲向上世帯」は「現状維持(高実行度)世帯」を超える削減が認められない。これは、システム設置を契機

に節約行為が実行されることが期待されたものの、実際の生活習慣にまでは定着しなかったものと推察され、システムによって感化され、より節約が促進された「現状維持(高実行度)世帯」ほど、削減されなかったものと考えられる。

一方、【照明①】は、各グループのサンプル数に偏りがあるため、

参考的な考察となるものの、4項目の中で最も高い偏相関係数を示しており、特に「節約意欲向上世帯」に属する3世帯は10%程度削減されている。4.1節で示したように【照明①】は比較的容易であるため、すでに多くの世帯で実行されており、未実施であった「節約意欲向上世帯」が実践した結果が反映されたものであると考えられる。照明のように消費電力が小さくても電源を入れると一定の消費が継続されるような機器については、不要な箇所の電力を断つだけでも大きな節電効果が期待できることが示唆される。

6. 行動背景要因としての意識的側面

前章では、増減率に大きな影響を及ぼすと考えられる要因について、行動的側面である節約行為実行状況の居住者自身による行動変化予想から検討した結果、節約意欲が高い世帯よりも、システム設置前から節約行為を実行している世帯でより削減される傾向がみられた。居住者が自身の評価どおりに行動しているのであれば、節約行為の実行度に変化がない現状維持世帯の増減率は小さく、節約意欲向上世帯の削減が大となることが予想されるが、そのような結果にはなっていない。これは、システム設置直後のアンケート調査時点では意欲の高さがうかがえた世帯が、実際の生活においては節約行為をとる、もしくは行為の継続までには至らなかったことを意味しているものと考えられる。

そこで本章では、節約行為の項目ごとに異なっていたグループを再整理し、節約行為の実行度に応じた世帯分類から行動に至る背景となる意識的側面を検討する。具体的には、表2で示した分散分析において10%水準で有意だった5項目の回答状況に応じて^{【注釈表2】}、現状維持(高実行度)傾向にある世帯を「Gr.1(n=26)」、節約意欲向上傾向にある世帯を「Gr.2(n=20)」、現状維持(低実行度)傾向にある世帯を「Gr.3(n=24)」として分類し、増減率・節約行為平均実行度・検針値から各グループの特徴を把握したうえで、意識項目との関連分析から行動に至った背景について考察する。

6. 1 各グループの特徴

グループ平均増減率と節約行為平均実行度を図9に、各グループにおけるシステム設置前後の年積算検針値を図10に示す。併せて、それぞれの検定結果を表3、表4に示す。

まず、節約行為平均実行度についてみると、Gr.1およびGr.3は現在と将来の差が小さいが、前者は実行度が高く、後者は低い。また、Gr.2は現在と将来の差が大となっている。前述のとおり、世帯の分類には節約行為の5項目のみを用いて行っているが、節約行為全33項目の平均実行度においても、その特徴と対応していることが確認できる。

図9 各グループの平均増減率・平均実行度

表3 分散分析検定結果

アイテム	カテゴリ1	カテゴリ2	検定結果
増減率	分散分析結果		***
	Gr. 1	Gr. 2	
	Gr. 2	Gr. 3	***
	Gr. 1	Gr. 3	
平均実行度 (現在)	分散分析結果		***
	Gr. 1	Gr. 2	***
	Gr. 2	Gr. 3	***
	Gr. 1	Gr. 3	
平均実行度 (将来)	分散分析結果		***
	Gr. 1	Gr. 2	
	Gr. 2	Gr. 3	***
	Gr. 1	Gr. 3	***

***:1%水準で有意, **:5%水準で有意, *:10%水準で有意

図10 年積算検針値の比較

表4 t-検定, 分散分析検定結果

アイテム	カテゴリ1	カテゴリ2	検定結果
t検定	Gr. 1	設置前	***
	Gr. 2	設置前	***
	Gr. 3	設置前	***
	設置前	設置後	
分散分析	分散分析結果		***
	Gr. 1	Gr. 2	
	Gr. 2	Gr. 3	
	Gr. 1	Gr. 3	
分散分析	分散分析結果		*
	Gr. 1	Gr. 2	
	Gr. 2	Gr. 3	*
	Gr. 1	Gr. 3	

***:1%水準で有意, **:5%水準で有意, *:10%水準で有意

Gr.2はシステム設置によって、節約意欲が向上し、将来の実行度はGr.1とほぼ同程度となっているものの、増減率をみるとGr.1ほど削減されていないことがわかる。これは、前章の図8で示したカテゴリースコアの結果と概ね対応している。

続いて、年積算検針値に着目すると、設置前と設置後の比較において、削減大であったGr.1で1%水準、Gr.2で5%水準の有意差が

表5 クロス集計結果

アイテム/カテゴリー		Gr. 1		Gr. 2		Gr. 3		
モニター調査(意識項目)	a) モニター申込みの動機	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	光熱費を削減したかった	9	34.6%	14	73.7%	6	25.0%	29
	電気料金を詳細に把握・管理	16	61.5%	5	26.3%	17	70.8%	38
	その他(CO2削減等)	1	3.8%	0	0.0%	1	4.2%	2
	計	26	100.0%	19	100.0%	24	100.0%	69
	b) 最も多く利用した人の年齢	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	39歳以下	15	57.7%	11	57.9%	9	37.5%	35
	40歳代	7	26.9%	3	15.8%	13	54.2%	23
	50歳以上	4	15.4%	5	26.3%	2	8.3%	11
	計	26	100.0%	19	100.0%	24	100.0%	69
	c) システムの利用頻度	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
属性調査(世帯特性)	5日に1回以上	11	42.3%	6	31.6%	7	29.2%	24
	1~2週間に1回程度	12	46.2%	9	47.4%	9	37.5%	30
	1ヶ月に1回程度、利用していない	3	11.5%	4	21.1%	8	33.3%	15
	計	26	100.0%	19	100.0%	24	100.0%	69
	d) システム設置による環境意識変化	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	強く意識し、生活が変化	9	37.5%	7	38.9%	6	28.6%	22
	意識のみ	11	45.8%	9	50.0%	11	52.4%	31
	以前と変わらない	4	16.7%	2	11.1%	4	19.0%	10
	計	24	100.0%	18	100.0%	21	100.0%	63
	e) システム設置による光熱費意識変化	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	強く意識し、生活が変化	8	33.3%	8	44.4%	5	23.8%	21
	意識のみ	14	58.3%	9	50.0%	13	61.9%	36
	以前と変わらない	2	8.3%	1	5.6%	3	14.3%	6
	計	24	100.0%	18	100.0%	21	100.0%	63
	f) 期待する削減光熱費	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	500円/月未満	11	45.8%	6	33.3%	7	33.3%	24
	500円/月~999円/月	9	37.5%	5	27.8%	5	23.8%	19
	1,000円/月以上	4	16.7%	7	38.9%	7	33.3%	18
	わからない	0	0.0%	0	0.0%	2	9.5%	2
	計	24	100.0%	18	100.0%	21	100.0%	63
	g) 目標とする削減光熱費	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	1,000円/月未満	11	45.8%	7	38.9%	5	23.8%	23
	1,000円/月~1,999円/月	12	50.0%	6	33.3%	7	33.3%	25
	2,000円/月以上	1	4.2%	5	27.8%	8	38.1%	14
	わからない	0	0.0%	0	0.0%	1	4.8%	1
	計	24	100.0%	18	100.0%	21	100.0%	63
	h) システムの購入意思	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	購入する	19	79.2%	12	66.7%	12	57.1%	43
	購入しない	5	20.8%	6	33.3%	9	42.9%	20
	計	24	100.0%	18	100.0%	21	100.0%	63
属性調査(意識項目)	i) 普段の光熱費について	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	多い	2	7.7%	1	5.0%	7	30.4%	10
	やや多い	6	23.1%	6	30.0%	8	34.8%	20
	普通・変わらない	11	42.3%	10	50.0%	6	26.1%	27
	やや少ない	6	23.1%	3	15.0%	2	8.7%	11
	少ない	1	3.8%	0	0.0%	0	0.0%	1
	計	26	100.0%	20	100.0%	23	100.0%	69
	j) 地球温暖化などの環境問題に対する関心について	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	非常に関心がある	6	23.1%	4	20.0%	1	4.2%	11
	関心がある	11	42.3%	12	60.0%	11	45.8%	34
	やや関心がある	9	34.6%	4	20.0%	12	50.0%	25
	あまり関心はない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
	関心はない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
	計	26	100.0%	20	100.0%	24	100.0%	70
	k) 地球温暖化などの環境問題についての家族間の会話	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	よく話をする	2	7.7%	2	10.0%	0	0.0%	4
	話をする	4	15.4%	4	20.0%	5	20.8%	13
	時々話をする	20	76.9%	14	70.0%	17	70.8%	51
	あまり話はしない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
	全く話はしない	0	0.0%	0	0.0%	2	8.3%	2
	計	26	100.0%	20	100.0%	24	100.0%	70
属性調査(世帯特性)	l) 世帯人数	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	2人以下	6	23.1%	3	15.0%	3	12.5%	12
	3人	6	23.1%	4	20.0%	5	20.8%	15
	4人	9	34.6%	11	55.0%	6	25.0%	26
	5人以上	5	19.2%	2	10.0%	10	41.7%	17
	計	26	100.0%	20	100.0%	24	100.0%	70
	m) 妻の職業	度数	割合	度数	割合	度数	割合	度数計
	給与取得者	7	29.2%	2	10.5%	4	16.7%	13
	主婦(職あり)	8	33.3%	4	21.1%	10	41.7%	22
	主婦(職なし)・無職	9	37.5%	13	68.4%	10	41.7%	32
	計	24	100.0%	19	100.0%	24	100.0%	67

認められるものの、Gr.3は差がない。また、グループ間の電力消費量を比較すると、設置前後ともにGr.3の消費量が大きくなっている。特に設置後のGr.1とGr.3の間に10%水準ながらも有意差がみられ、Gr.3の節約行為の実行度の低さに対応している。ただし、後述する表5の世帯人数において「5人以上」が4割以上含まれていることも一因として考えられる。

6. 2 意識項目との関連

電力消費量の削減につながる行動を起こす背景となる要因について検討するため、各グループにおける意識項目・世帯特性との関連のクロス集計結果を表5に示す。

【Gr.1】は電気料金を詳細に把握・管理するためにシステムを導入し、支払ってもよいと思う価格で発売した場合、多くが購入する意思を示している。また、システムの利用頻度は高いものの、期待・目標削減光熱費は低い。節約行為全体の実行度がシステム導入前から高く、普段の光熱費も「やや少ない」「少ない」と回答する割合が他のグループより高い傾向にあることから、日常生活から節約に対して努力しており、システムの利用が光熱費削減に直結しないと考えているものと思われ、過大な期待を寄せていないと考えられる。

【Gr.2】は光熱費削減を目的としてシステムを導入している世帯の割合が高く、設置によって光熱費に対して意識・生活が変化した割合が若干多い。同様に、環境に対する意識や生活の変化した世帯がわずかながらも多くみられる。また、環境問題に対する関心が高く、家族間の会話も多い。妻の職業をみると「主婦（職なし）・無職」の割合が高いことから、家事の従事時間が長いことが想定され、光熱費削減・環境配慮型志向が強いといえる。

【Gr.3】はGr.1と同様に電気料金を詳細に把握・管理するためにシステムを導入しているものの、購入には消極的な世帯の割合が若干多い。また、普段の光熱費が「多い」「やや多い」と感じている世帯が多いため、システムによる期待・目標削減光熱費が高い。しかしながら、生活が変化するまで喚起された世帯の割合が少ないことから、実際の利用頻度は低くなっている。世帯人数が他のグループと比較して多いことも、削減に至らなかった一因と考えられる。

以上のことから、システム設置前から節約行為の実行度が高い世帯は、システムを活用することにより、より光熱費が削減されたものと考えられる。節約意欲が高い世帯は、システム導入を契機として、行動を起こそうとする意欲は高いが、実際の行動には直結しづらく、以前から実行していた世帯ほど削減には至らなかったものと考えられる。意欲が低い世帯においても、システムの導入が動機付けになることで、エネルギー削減効果が期待されたが、その効果は顕著に現れなかった。これまで省エネに努めてこなかった世帯は節電に関する具体的なノウハウがないことも、削減されなかった要因の一つと推察される。よって、動機付けとなる本システムのような“仕掛け”の投入のみでは直接的な削減効果を得るには不十分であり、システム導入前から日常生活において意識を向上させ、節約行為を習慣化させることによって、システムによる効果がより強く得られるといえる。

7. まとめ

本研究では、広島県広島市に所在する全電化住宅を対象として、光熱費管理支援システムによって得られた測定データと検針値に基づき、居住者が自宅のエネルギー消費量を把握することによる電力消費量削減効果について検討を行った。得られた知見について以下にまとめる。

1) システム設置によるエネルギー削減効果について、設置前後1年間の検針値および気温の影響を除外した推定値による年積算電力

消費量を用いて検証したところ、約3%のエネルギー削減効果がみられた。本研究で対象としたモニター住宅居住者は、省エネに対する意識がシステム導入前から高いことが予想されるため、システム導入によっても大幅な削減はみられなかったものの、全体の2/3の世帯における削減が確認できたことを考えると、本システムが喚起ツールとしての役割を果たしているものと考えられる。

- 2) 全世帯における現在の節約行為の実行度をシステム設置後の予想実行度と比較すると、全ての項目において後者が上回っていることから、システム設置を契機として節約行為が促される可能性が示唆された。また、節約行為の世帯平均実行度が高い世帯ほど電力消費量が削減される傾向がみられたことから、現在と将来の実行度の変化に基づいて、項目ごとに世帯を3分類し、増減率の差異について分散分析を実施した。その結果、暖房する時間や期間を減らす、熱いものは常温で冷やしてから冷蔵庫に入れる、洗濯機の使用時にまとめ洗いをするとといった行為において、システム設置前から実行していた世帯がそうではない世帯よりも有意に削減されていることがわかった。
- 3) 電力消費量の増減に及ぼす影響要因を検討するため、分散分析で有意であった節約行為4項目を用いて数量化理論第Ⅰ類による解析を行った結果、0.687の重相関係数が得られ、全ての項目において0.3以上の高い偏相関係数を示した。サンプル数に偏りがみられた「使用していない部屋の照明は消す」を除いて「現状維持(低実行度)世帯」「節約意欲向上世帯」「現状維持(高実行度)世帯」の順に削減率が高くなり、システム導入を契機として節約行為の促進が期待された「節約意欲向上世帯」は、これまでも節約行為を実施してきた「現状維持(高実行度)世帯」ほど削減されなかった。
- 4) 普段から節約行為を実行している世帯(Gr.1)は、システムに対して過大に期待していないものの、活用することにより電力消費量が抑えられる傾向が認められ、逆に、節約実行度・節約意欲が低い世帯(Gr.3)は、期待は高いものの利用頻度が低いことから、電力消費に変化がみられなかった。一方、節約意欲が高い世帯(Gr.2)は、光熱費削減・環境配慮型志向が強いものの、節約実行度はGr.1と比較して低く、大きな削減効果は現れなかった。よって、システムを活用する前から節電に効果的な行動などの知識を習得させることによって、より強い効果が得られるものと推察された。

HEMSのようなシステムは、省エネなどの節約行為を強いるものではなく、居住者に自発的な行動を促すものであるため、ライフスタイルに無理のない節電方法として有効であると考えられる。

本研究の成果より、削減効果の多寡には、日常的な省エネ行動の実践状況が大きく関わっていることから、システムを通して具体的な省エネ行動を提示するなど、情報提供に関するネット網の構築などのツールを充実させることで、意識喚起が継続的に促され、よりよい効果が得られるものと考えられる。

また、実際の国民レベルにおける節電対策として、本システムのような機能を持つ設備を普及させるには、コスト面に課題を残していることから、国や自治体による制度的な側面からの促進（法的整備、導入や普及に関するガイドラインの制定、経済的支援など）が有効であると考えられ、今後は官民の連携に向けた方策の構築が求められる。

謝辞

本研究は、広島大学と中国電力株式会社との共同研究として行われたものである。本研究の遂行にご協力いただいた松永裕介氏(当時、広島大学大学院生)、山成沙弥氏(当時、広島大学学生)、並びに、調査対象住宅の皆様に感謝の意を表します。

注

- 注 1) モニター住宅は、「ガス」「灯油」をエネルギー源とする機器を使用していないことを条件として選定している。
- 注 2) 電力消費量は 30 分間隔、1Wh 単位の精度で測定されている。居住者は専用の Web サイトを通して、住宅全体と各自で選択した 10 系統それぞれの電力消費量、電気料金、CO₂排出量について、年・月・日・時間単位で把握することが可能である。また、1 ヶ月の予測月額電気料金表示、システム導入前の電力消費量のデータ登録、目標金額登録、超過アラームメールなどの機能も利用できる。
- 注 3) 「属性調査」は実施期間内に 1 回のみの実施であるが、「モニター調査」はシステムの設置後、なるべく日を置かず回答を得る必要から、設置済みの世帯から順に 50 件、25 件、25 件の計 3 回に分けて行っている。配布・回収方法は、「属性調査」では返信用封筒を同封した調査票を調査対象住宅に郵送し、回収も郵送により行い、「モニター調査」ではインターネットの専用ページで質問を提示し、回答入力を求める形式で実施している。なお、いずれも主婦の方、もしくは最も家事に慣れている方に記入を依頼している。
- 注 4) システム設置月が世帯によって異なっているため、設置前後の 1 年間の期間にばらつきがある。例えば、設置最速世帯における設置前の 1 年間は「2007 年 7 月～2008 年 6 月」、設置後は「2008 年 7 月～2009 年 6 月」となり、最遅世帯は「2007 年 12 月～2008 年 11 月」と「2008 年 12 月～2009 年 11 月」となっている。
- 注 5) 本研究におけるこれまでの成果⁹⁾により、日積算電力消費量と日平均外気温の間には二次曲線の関係があることが明らかとなっているため、二次関数を採用した。
- 注 6) システム設置前後で年間日数が異なることから、システム設置前の 2 月 29 日の値は除外している。
- 注 7) 節約行為として提示した 33 項目は、「空調」「厨房」「給湯」「その他」の 4 用途に属する機器名称(用途)ごとに低負荷ライフスタイルを示す行為として設定している。現在の実行状況(システム取り付け以前の状況を記入)について「1)している」「2)ややしている」「3)あまりしていない」「4)していない」、将来の予想実行状況については「1)していると思う」「2)ややしていると思う」「3)あまりしていないと思う」「4)していないと思う」の 4 段階尺度で尋ねており、集計・分析にあたっては、それぞれ順に 1 から 4 の得点を付与している。
- 注 8) 再分類された各グループは、持っている意味(ここでは、表 2 で示した 5 項目のうち、例えば、「1」の「現状維持(高実行度)世帯」に多く属した世帯は「現状維持(高実行度)傾向にある世帯」であるという意味)について妥当性を保持しつつ、後に続く関連分析のため、サンプル数に偏りがないよう考慮し、注釈表 2 のように決定した。

注釈表 1 相関係数行列

アイテム		暖冷房①	暖冷房③	冷蔵庫④	洗濯機①	照明①
【暖冷房①】	冷(暖)房する時間や期間を減らす	1.000	0.592	0.135	0.224	0.126
【暖冷房③】	冷(暖)房の設定温度を高(低)めにする	0.592	1.000	0.230	0.196	0.172
【冷蔵庫④】	熱いものは常温で冷やしてから入れる	0.135	0.230	1.000	0.169	0.246
【洗濯機①】	使用時にまとめて洗いをする	0.224	0.196	0.169	1.000	0.396
【照明①】	使用していない部屋の照明は消す	0.126	0.172	0.246	0.396	1.000

注釈表 2 世帯分類方法^{注 8)}

		2 の数					
		0	1	2	3	4	5
3 の数	0	5-0-0 (15)	4-1-0 (4)	3-2-0 (6)	2-3-0 (6)	1-4-0 (2)	0-5-0 (0)
	1	4-0-1 (2)	3-1-1 (5)	2-2-1 (3)	1-3-1 (1)	0-4-1 (0)	
	2	3-0-2 (8)	2-1-2 (5)	1-2-2 (2)	0-3-2 (0)		
	3	2-0-3 (5)	1-1-3 (1)	0-2-3 (2)			
	4	1-0-4 (2)	0-1-4 (0)	表中の「○-○-○」は「1 の数-2 の数-3 の数」を示す。また、() 内の数字は世帯数を示す。			
5	0-0-5 (1)						
		Gr. 1 (n=26)		Gr. 2 (n=20)		Gr. 3 (n=24)	

参考文献

- 1) 森 敦子, 森山正和, 漆原 慎: エネルギー供給形態の異なる戸建住宅のエネルギー消費量と節約行為による省エネルギー効果に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.565, pp.99-106, 2003.3
- 2) 水谷 傑, 井上 隆, 小熊孝典: 住宅内における用途別エネルギー消費と住まい方の実態に関する研究 ―アンケート調査に基づく分析―, 日本建築学会環境系論文集, No.609, pp.117-124, 2006.11
- 3) 湯浅和博, 劉 正 賢, 吉野 博, 長谷川兼一: 低負荷型ライフスタイルによる住宅のエネルギー消費量削減の可能性, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74 No.642, pp.1019-1024, 2009.8
- 4) 石田建一, 佐藤 誠: HEMS による家庭用冷暖房・照明エネルギーの削減効果の検証, 日本建築学会環境系論文集, No.595, pp.57-64, 2005.9
- 5) 畑泰彦, 久和原裕輝, 太田真人, 須永修通: 環境エネルギー情報表示システムを備えた太陽光発電住宅における住まい手の意識と行動に関する研究, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.331-334, 2010
- 6) 松永裕介, 村川三郎, 西名大作: 広島市の全電化住宅におけるエネルギー消費実態に関する研究 その 1 対象住宅の属性と電力消費量の測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.143-144, 2009.8
- 7) 山成沙弥, 村川三郎, 西名大作, 田中貴宏 他 2 名: 広島市の全電化住宅におけるエネルギー消費実態に関する研究 その 5 光熱費管理支援システムの導入による電力消費量削減効果, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 34 巻, pp.345-348, 2010.3
- 8) 安藤元気, 村川三郎, 西名大作, 田中貴宏 他 2 名: 広島市の全電化住宅におけるエネルギー消費実態に関する研究 その 4 光熱費管理支援システムの導入による電力消費量削減効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.1199-1200, 2011.8
- 9) 安藤元気, 村川三郎, 西名大作, 折本和彦, 松永裕介: 広島市の全電化住宅におけるエネルギー消費実態に関する研究 (第 4 報) 居住者意識と電力消費の関連分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.537-540, 2011.9

(2012年10月10日原稿受理, 2012年11月30日採用決定)