

スマートハウスにおける経年的な電力利用実態 とその要因 ー豊田実証実験データの解析を通じてー

米原 善秀¹・川本 雅之²・高原 勇³・内田 史彦⁴・谷口 守⁵

¹非会員 筑波大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:yoshihide1016@gmail.com

²非会員 筑波大学教授 国際産学連携本部 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1産学リエゾン共同研究センター104)

E-mail:kawamoto.masayuki.gn@un.tsukuba.ac.jp

³非会員 筑波大学客員教授 システム情報系社会工学域 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:takahara@sk.tsukuba.ac.jp

⁴非会員 筑波大学教授 国際産学連携本部 (〒305-8550 茨城県つくば市春日1-2)

E-mail: uchida.fumihiko.ft@un.tsukuba.ac.jp

⁵正会員 筑波大学教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

我が国では、パリ協定にて定めた約束草案の実現のためには家庭部門のCO₂排出量を2030年度までに2013年度比で39.3%削減する必要がある。そのためにはスマートハウスの普及が有効と考えられ、各所で実証実験が行われている。一方で経年的な視点から実証実験ではデマンドレスポンス(DR)効果が得られることは把握されているが、その結果が客観的・統計的に整理されているとはいえない。本研究では豊田市実証実験での世帯ベースでの30分単位の電力消費量を経年的に解析することを通じ、その要因を統計的に明らかにした。分析の結果として、スマートハウス居住者の電力消費パターンを詳細に把握するとともに、居住者の「慣れ」による節電意識の低下が定量的に示された。この結果を踏まえて、エコキュート発電量の利用時間を昼間に移行させることにより、スマートハウスにおけるより効率的な電力消費のシナリオを提示した。

Key Words : smarthouse, resident energy consumption data, eco-cute power consumption data

1. はじめに

(1) 背景

近年、低炭素社会の実現に向けて、再生可能エネルギーが注目されている¹⁾。我が国の2014年度における家庭部門でのCO₂排出量は、2013年度と比較すると5.9%減少している。これは電力消費量に伴うCO₂排出量が減少したことが理由であると考えられる。しかし、2015年に開催されたCOP21で決定された「パリ協定」における我が国の約束草案では、2030年度の家庭部門のCO₂削減目標は、2013年度比で39.3%となっている²⁾。この数値を実現させるためには、より一層家庭内でのエネルギー管理を行う必要があり、スマートハウスの普及促進が有効であるといわれている³⁾。スマートハウスとは、太陽光発電

パネルの設置等によりエネルギーを地産地消できると同時に、「Home Energy Management System(以下「HEMS」)」という家庭内電力消費量、発電量の見える化によって、エネルギー消費量を抑えることができるなど、家庭内のエネルギー管理を居住者自身が行うことのできる住宅である³⁾。また、家庭内のエネルギー消費量がHEMSにより管理されることによって、余剰電力が発生することが見込まれ、スマートハウス同士がエネルギー利用を連携し合うスマートグリッドが形成されることも期待されている。ここでいう余剰電力は、太陽光発電から充電された電力発電から消費電力を引いた電力のことを指している。つまり、従来の電力会社から供給を受けるだけの一方通行の時代から、余剰電力を融通し合う双方間の電力利用の形態が予想される。未来を想定したスマートハウ

スでのエネルギー利用の傾向を詳細に把握する必要がある。

(2) 目的

以上を踏まえ、スマートハウスに居住している者の30分単位の電力消費量のデータを基に電力消費量の実態を把握した上で、どのような要因がスマートハウスに長期的に滞在している居住者の電力消費量に寄与しているかを明らかにする。その結果を踏まえてスマートハウスにおいて、居住者が電力消費をより効率的に行う施策や条件等の参考情報を提示することを目的とする。

2. 既存研究及び本研究の内容・位置づけ

(1) 既存研究

電力システム改革が我が国よりも進んでいる欧米では、電力需要ピークをコントロールするデマンドレスポンス(以下「DR」)に関する研究や余剰電力を売電する研究に関して多数研究されている⁹⁾。我が国でも、全国にスマートグリッド実証実験地区が定められており、毎年多数の報告書⁹⁾が作成されており、欧米同様に主にDRについて言及されているほか、居住者に情報提供した時のDR効果について検証されている。横浜市では、太陽光発電を備えた家庭を対象に、電力消費量を最大で15.2%のピークカットできることが確認されている。また、北九州市では、HEMSで「見える化」が行われた住宅において、電力消費量を9.2%~11.8%のピークカットができることが確認されている。しかし、どのような要因によってDR時のピークカットが発生しているのかについて客観的・統計的に言及している研究は見られない。

また、スマートグリッドの導入効果に関する研究も多数行われており、主に都市構造に着目した研究と費用効果について着目した研究が行われている。都市構造に着目した研究では、谷口ら⁹⁾による技術革新を想定した未来のスマートグリッド導入可能性について街区特性から分析を行っている研究や、落合ら⁹⁾によるスマートグリッドをよりマクロな視点である現状の都市特性との関係性について分析を行っている研究がある。また、中川ら⁹⁾は都市よりもミクロな街区間での電力コントロールについて言及し、その街区内の不動産価値についても言及を行っている。また、費用効果に着目した研究では、山口ら⁹⁾による事業所の購買電力抑制と電力平準化を目的とした太陽光電池・蓄電池組合せシステムの費用効果算定モデルの構築やこれを基に、森川ら¹⁰⁾による街区市区レベルでの費用効果策定モデルの構築がある。しかし、それらの研究は、仮定が多く実際のデータからの分析は行っていないという課題があり、実証データからの言及

を行わなければならない。

また、スマートハウスの技術革新(HEMS、太陽光発電等)に着目し、電力消費量削減効果を明らかにしている研究は多数存在する。石田ら¹¹⁾は、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を行っている。また、八木ら¹²⁾による家庭用エネルギー診断によるエネルギー消費量の見える化とその効果の検証を行っている研究では、居住者の電力消費量に関わらず電力の「見える化」は節約意識を喚起する効果があることが明らかとし、HEMSの有効性を示した。また、スマートハウスでの生活を支援システムに関する研究¹³⁾や電力価格の変化に伴う外出行動への影響に関する研究¹⁴⁾も行われている。なお、戸建て住宅や集合住宅の時系列的にエネルギー消費量を分析した研究はなされている¹⁵⁾。その一方でスマートハウスを対象に電力消費量を時系列的に分析した研究は見られない。以上のことから、スマートグリッドにおいては、技術革新によるシナリオ分析や都市間、街区間での電力融通の効果やスマートグリッドの費用算定モデルからの導入効果について言及している。また、スマートハウスにおいては、技術革新に関する研究は既に行われてきている。しかし、その多くの研究は電力消費量のシナリオを設定するか、アンケート調査によって把握した1カ月というマクロな単位のデータが使用されており、実際に使用された電力消費量をミクロな単位で分析することが言及していない。また、HEMSによるスマートハウス内の現状把握にとどまっており、将来、低炭素社会実現の為に想定されるスマートグリッド時や電力自由化後の電力価格変動した社会を想像した時の言及はしていない。よって本研究では、電力自由化を見据えた、電力価格変動というインセンティブを与えた時のスマートハウス内の居住者がどのように行動を起こすのかについて言及し、今後の将来を見越した際の準備段階とする。

(2) 本研究の前提条件

そこで、本研究では豊田市のスマートグリッド実証実験地区である東山住宅、高橋住宅のスマートハウスを対象に、4年間の長期的なデータから、各世帯の居住者がどのように電力消費量を変化するのか明らかにする。なおこの実証地区では、前提条件として、従来のHEMSに加え「Energy Data Management System(以下「EDMS」)」が導入されている。EDMSは、情報センターが居住者の生活データを収集し、それを基に居住者へ低炭素行動を促す情報を提示させ、電力需要をマネジメントする仕組みである。情報の内容としては、電力価格が主にあげられる。また、蓄電池内に充電された電力の売電は行われていない。また、各世帯の蓄電池の限界容量は把握できないため、太陽光発電から充電された電力が、蓄電池容量をオーバーフローする可能性がある。オーバーフローと

は、蓄電池内の容量を電力が超過することを指している。このようにEDMSとHEMSが連携し、実データを取得することで、居住者にとって有益な情報となり、従来とは異なる電力自由化後のスマートグリッドの新サービスやビジネス創出のモデル構築の示唆を得ることが可能となるとともに、低炭素化社会の実現に一步近づけることができると考えられる。

(3) 本研究の構成

以上のような前提条件をふまえて、3. では、使用データについて説明を行い、4. では、スマートハウスに長期的に滞在する居住者の電力消費量が、どのような要因に寄与しているのかを明らかにする。そして5. では、本研究の前提条件、4. の分析結果をふまえて本研究対象地区における有効的な電力消費のシナリオを提示する。最後に6. では、本研究の結論を述べる。

(4) 本研究の特長

本研究の特長は以下の通りである。

- 1) 本研究の分析において、他の既存研究では得られない、仮定に基づいたデータではなく、居住者が実際に居住して得られた貴重なデータを活用しているという新規性がある。
- 2) スマートグリッド実証実験地区内住宅の4年間にわたる電力消費量データを活用することで、電力消費に関する居住者の行動を初めて長期的に把握した研究である。このことから、スマートハウス入居者の生活の『慣れ』による節電意識の低下等の長期的な行動変容について定量的に把握することが可能となる。
- 3) また、初めて30分というミクロな単位でスマートハウス世帯の電力消費を把握することにより、時間帯に合わせた施策を提案することのできる有用性の高い結果を提示している。
- 4) HEMSによるスマートハウス内の実態把握だけではなく、EDMSによる電力価格変動による居住者の行動の変化について定量的に言及している新規性のある研究である。

3. 使用データ

本研究の対象地区は、前章で述べた通り愛知県豊田市のスマートグリッド実証実験地区の高橋住宅、東山住宅(図-1)である。東山住宅(図-2)は、中央に広場があり、それを囲うように住宅が建てられている(図-3)。分析対象世帯は、EDMS導入世帯で夏に関しては東山住宅から9世帯、高橋住宅から5世帯の合計14世帯である。冬に関

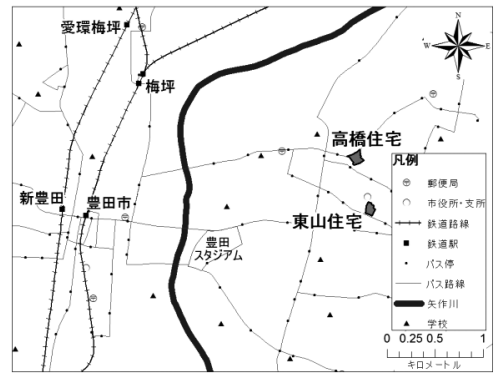


図-1 高橋住宅、東山住宅の位置関係



図-2 東山住宅図面



図-3 東山住宅(2016/01/16撮影)

しても同様にEDMS導入世帯を対象に東山住宅から10世帯、高橋住宅からは10世帯の合計20世帯を対象世帯とした。各世帯の電力消費量、電力価格は30分間隔単位のもの进行分析に用いている。この時の電力消費量については以下のように計算している。

$$E = (P_{in} + Q_{out} + eq) - (P_{out} + Q_{in} + pv + fc) \quad (3.1)$$

E = 合計電力消費量[kwh]

P_{in} = 電気系統積算入電力量[kwh]

P_{out} = 電気系統積算出電力量[kwh]

Q_{in} = 蓄電池積算充電電力量[kwh]

Q_{out} = 蓄電池積算放電電力量[kwh]

pv = 太陽光パネル積算発電電力量[kwh]

eq = エコキュート積算消費電力量[kwh]

f_c =燃料電池積算発電電力量[kwh]

また、電力価格は、中部電力からの統一された20.68[円/kwh]の電力価格を分析の変数に用いるのではなく、EDMSにより、居住者に伝えられるデマンドレスポンスポイント(以下「DRP」)買取EDMS単価を電力価格として分析に用いている。これは、翌日の天気予報や居住者の行動データを予想し、情報センターから居住者に伝えられる電力価格である。なお、DRP買取EDMS単価が中部電力の設定している1[kwh]の20.68円という基本料金より下回っている場合において、その下回った分の価格をedyカードのポイントとして還元するシステムが導入されている。また、対象地区においてそれぞれの世帯で発生した余剰発電の売買は現在行われていない。

各世帯の情報としては、世帯人数、世帯主・配偶者の年齢、世帯主・配偶者の自動車の使い方、居住者全員の職種を説明変数として分析に用いている。また分析対象日は、一般的に電力消費量が多いとされている冬と夏とする。なお、気象庁が発表している豊田市の30年間の気温データ¹⁰より、平均気温が一番低い1月を冬とし、平均気温が二番目に高い7月を夏と設定した。その中から平日10日間を選定し、天気を説明変数として分析を行った。ここで7月を対象とした理由として、平均気温が一番高い8月は、長期休暇により不在の世帯が多く、サンプルを安定して抽出することができなかったためである。なお、実証期間は2011年の10月から2015年の1月であるのに対し、DRP予測方法が2012年7月以前で変更されている。そのため、冬と夏で同一のDRP予想方法を採用している期間のから、冬は2013年と2015年のデータ、夏に関しては2012年と2014年のデータを抽出し、以下の分析を行っている。

4. EDMS導入世帯の電力消費量の現状把握

(1) 電力消費量とDRP買取EDMS単価の関係性

本節では、本研究の目的である現状の電力消費の実態を詳細に把握する。

そこで、まず居住者へのDRP買取EDMS単価の価格変動を与えたことによって、どのような行動を起こすのか各年ごとに把握する。

図-4は、ある一世帯の2012年、2014年の夏の10日間の30分単位の電力消費量とDRP買取EDMS単価についての関係性が把握できる散布図である。図-5は、ある一世帯の2013年、2015年の冬の10日間の30分単位の電力消費量とDRP買取EDMS単価についての関係性が把握できる散布図である。図-4、図-5はある一世帯についての図であるが、おおよその他の世帯も同様な傾向がみられる。考察

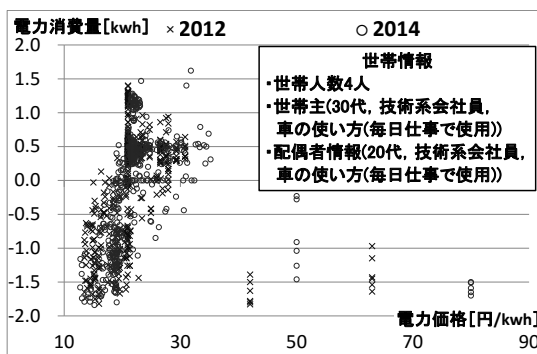


図-4 ある1世帯の夏の電力消費量と電力価格の関係性

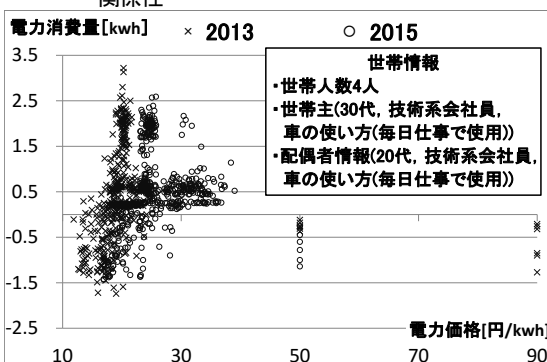


図-5 ある1世帯の冬の電力消費量と電力価格の関係性

を以下にまとめる。

- 1) 図-4、図-5ともにDRP買取EDMS単価が40円以上に設定されている時に着目すると、消費電力として使用されている電力は、太陽光発電から蓄電池へ充電されたものであることが把握できる。これは、居住者がDRP買取EDMS単価の大幅な価格変動を居住者に与えることによって、その時間帯の節電意識が高まることを意味しており、DRの効果が明らかとなった。
- 2) また、図-5の冬に着目すると、居住者に中部電力が設定している20.68[円/kwh]から20円程度高くDRP買取EDMS単価を設定した時の消費電力は、太陽光発電から蓄電池内に充電された電力ではなく、中部電力から買電を行っていることが把握でき、効率の良い電力消費を行われていないことが明らかとなった。

(2) 現状の電力消費量の要因分析

(1)よりDRP買取EDMS単価の変動によって、DR効果について明らかにすることが出来た。そこで本節では、電力価格変動以外の要因を用いて、何が居住者の電力消費量に寄与しているのかを明らかにする。各世帯の10日間の30分単位の電力消費量を目的変数、各世帯情報、天気、

表-1 季節ごとの30分単位の電力消費量

説明変数	夏モデル(2012, 2014)				冬モデル(2013, 2015)			
	偏回帰 係数	標準偏回帰 係数	t 値		偏回帰 係数	標準偏回帰 係数	t 値	
2年利用後の年次ダミー	0.05	0.03	4.95	**	0.05	0.02	4.55	**
出勤時間帯ダミー (6:00-9:00)	0.05	0.02	3.15	**	0.21	0.06	10.63	**
配偶者のみ滞在時間帯ダミー (9:00-14:30)	-1.16	-0.56	-88.78	**	-1.28	-0.49	-76.19	**
世帯全員滞在時間帯ダミー (18:00-0:30)	0.64	0.31	47.40	**	0.42	0.16	25.07	**
睡眠時間帯ダミー (0:30-6:00)	0.64	0.30	46.96	**	1.09	0.41	63.85	**
天気(晴)	-0.21	-0.09	-18.11	**	-0.01	0.00	-0.49	
天気(雨)	-0.04	-0.02	-3.77	**	0.10	0.02	4.12	**
電力価格	0.00	0.03	7.35	**	0.01	0.08	17.06	**
世帯人数	0.06	0.07	11.21	**	0.18	0.14	25.64	**
世帯主年齢	0.00	-0.01	-1.35		0.02	0.12	14.62	**
世帯主(会社員技術系)	0.04	0.02	3.93	**	0.23	0.09	16.18	**
世帯主の車の利用(毎日仕事で使用)	0.11	0.05	8.95	**	0.23	0.07	13.69	**
配偶者年齢	0.00	0.00	0.17		-0.03	-0.16	-21.12	**
配偶者(専業主婦)	0.05	0.03	4.24	**	0.04	0.02	3.27	**
配偶者の車の利用(毎日買物・送迎で利用)	0.00	0.00	0.03		-0.18	-0.07	-10.64	**
定数項	-0.57		-12.60	**	-0.62		-11.33	**
修正済み決定係数	0.74				0.61			

N=13844

N=19200

**1%有意

慣れ、時間帯を説明変数に設定し重回帰分析を行った。

冬と夏のそれぞれにおいて重回帰分析を実施し、その結果を表-1に示す。これにより、現状の電力消費量に寄与する要因を明らかにした。考察を以下にまとめる。

- 1) 年次ダミーを見ると、夏モデル、冬モデルともに月日が経つとそれに伴って電力消費量が増える傾向にあることが明らかとなった。これは入居当初は節電意識があったものの、スマートハウスで生活していくにつれ、生活の『慣れ』により入居当初の節電意識が薄れ、節電意識なく電力消費を行っているということである。
- 2) 天気ダミー・時間帯ダミーに着目すると、晴れの時間帯・昼間(9:00-14:30)の時間帯は電力を蓄電池内に充電できることが把握できる。これは、太陽光発電による発電が盛んに行われていることからの結果であることがわかる。しかし、2. で述べたように蓄電池内の容量が把握できないため、蓄電池内の電力がオーバーフローしている可能性も考えられる。
- 3) 冬モデルの配偶者年齢に着目すると、配偶者の年齢が高齢になるにつれ電力を節電していることが把握できる。これは、高齢の配偶者は経験から無意識に若い配偶者よりも節電する傾向にあると考えられる。
- 4) 配偶者が専業主婦である場合は、滞在時間が長いこと、共働きの家と比較して、電力消費を行っていることが把握できる。

以上のことから居住者は入居当初の節電意識は月日を追うごとに薄れてしまうことも定量的に示したとともに、表-1より電力消費量は夏、冬の両モデルにおいて、時間帯ダミーが大きく寄与していることが把握できた。

(3) 電力消費量と時間との関係性

(2)では、電力消費量に寄与している要因について把握し、時間帯ダミーへの要因が大きく寄与していることが明らかとなった。よって本節では、時間帯と電力消費量についての関係性について把握する。図-6はそれぞれ2012年の7月、2014年の7月の各世帯の電力消費量を30分単位で積み上げた図である。また、図-7はそれぞれ2013年の1月、2015年1月の各世帯の電力消費量を30分単位で積み上げた図である。これらの図は電力消費量がプラスに作用している箇所は電力放電が行われていることを意味している。一方、マイナスの箇所は、電力が太陽光発電より蓄電池に充電されていることが把握できる。これらの図から考察できることを以下にまとめる。

- 1) 図-6と図-7を比較すると、夏の方が冬よりも日照時間が長いこと、太陽光発電から電力を充電できていることが把握できる。
- 2) また、図-6と図-7のいずれにおいても、昼間時間帯(9:00-14:30)に電力が多く充電されており、売電が行われていない各世帯に備え付けられている蓄電池の容量をオーバーフローしている可能性がある。
- 3) (2)の節で言及したように図-6、図-7どちらも図においても、2014年、2015年の方が電力消費量が多くなっていることが把握できる。これにより居住者のスマートハウスへの長期的滞在による生活の『慣れ』による節電意識の低下が影響していると考えられる。
- 4) 図-6より、夏の電力消費量が最も使用されている時間帯は5:30-7:00の間であることが把握できる。これは、世帯主と子供が出勤通学する為に準備している時間帯であることが理由であると考えられる。

5) 一方図-7より、冬においては、深夜の時間帯である2:00-5:30の間に最も電力消費が行われている傾向にある。これは、深夜の時間帯に利用されているエコキュートによる積算消費電力量が原因であると考えられる。以上のことから、売電が行われていない本研究対象地区では、夏も冬も各世帯の昼間時間帯(9:00-14:30)での電力は、蓄電池の充電容量をオーバーフローしている可能性があることが把握できる。よって、昼間時間帯(9:00-14:30)以外の電力消費を昼間時間帯(9:00-14:30)に消費させる有効な電力消費施策の提示を行えば、より有効な電力消費が行われると考える。

5. スマートハウスにおける効果的な電力消費施策

現状の電力消費量を把握したことから、本研究の売電が行われていないスマートハウスにおける今後の有効的な電力消費のシナリオを提示する。今回は、電力消費量が多かった冬に関してのシナリオ提示とする。

4. の表-1では、冬モデルにおいて深夜時間帯(0:30-6:00)の電力消費量が、他の時間帯と比較して多く消費されていることが把握できた。また図-7より、昼間時間帯

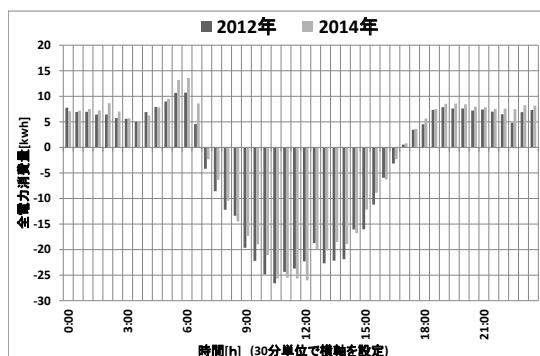


図-6 7月の30分間隔の時間帯別電力消費量
(14世帯分積み上げ図)

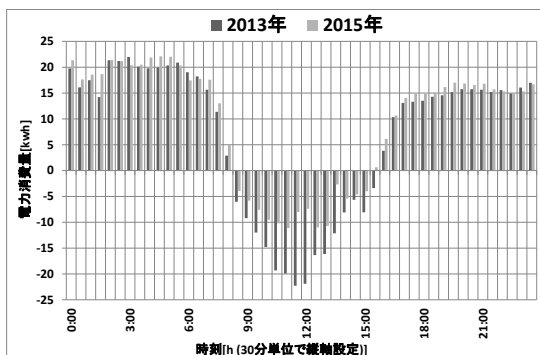
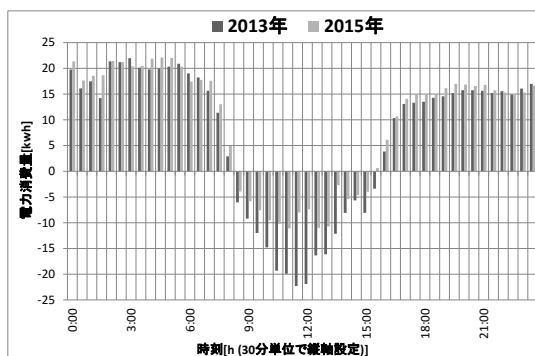


図-7 1月の30分間隔の時間帯別電力消費量
(20世帯分積み上げ図)

(9:00-14:30)における電力は、売電を行わないことから蓄電池内の充電容量をオーバーフローしている可能性があることも把握できた。このことから本節では、スマートハウスで生活するに当たり、昼間時間帯(9:00-14:30)の蓄電池の容量を超えている可能性がある電力を有効的に消費するシナリオを提示する。そこで本研究においては、表-2より深夜時間帯(0:30-6:00)に多く使用されているエコキュート電力消費量に着目する。エコキュート電力消費量を深夜時間帯(0:30-6:00)に使用するのではなく、昼間時間帯(9:00-14:30)に使用させるシナリオを提示する。

エコキュートとは、ヒートポンプユニットと貯蔵タンクで構成されている。また、エコキュートは自然冷媒であるCO₂を使ったヒートポンプシステムによって、大気中の熱を汲み上げ、給湯に必要な熱エネルギーとして利用するものである。温室効果ガスの抑制につながっている。また、エコキュートは昼間よりも割安な夜間電力を消費するでランニングコストを低減できるといわれている。しかし、本研究においては、蓄電池内の容量を超えている可能性がある電力の売電が行われていないことから、エコキュートを夜間に消費するのではなく、昼間時間帯に使用することで、スマートハウスの生活における余剰電力の無駄を省けると同時にCO₂排出量もより削減させることが出来るのではないかと考え、そのシナリオを構築する。

深夜時間帯(0:30-6:00)に使用されている傾向があるエコキュート電力消費量を、蓄電池内の電力がオーバーフローしている可能性がある昼間時間帯(9:00-14:30)に使用した場合について考える。そこで、エコキュート電力消費量の昼間に利用した際の30分単位の時間帯別に各世帯の電力消費量を積み上げたのグラフを図-8に示した。図-8を見ると、エコキュート電力消費量を昼間時間帯(9:00-14:30)に使用したとしても、各世帯の昼間時間帯(9:00-14:30)の電力消費は、太陽光発電から充電された電力を消費していることが把握できる。また、それと同時に、



エコキュート電力消費量を深夜時間帯(0:30-6:00)から昼間時間帯(9:00-14:30)に移行

図-8 エコキュート昼間利用での1月の30分間隔の時間帯別電力消費量

表-2 冬の30分単位のエコキュート電力消費量

説明変数	冬のエコキュート消費モデル		
	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値
2年利用後の年次ダミー	0.00	0.01	1.24
天気(晴)	0.00	0.00	0.73
天気(雨)	-0.04	-0.03	-5.54 **
電力価格	0.00	-0.02	-3.12 **
世帯人数	0.04	0.12	19.23 **
世帯主年齢	0.00	0.10	10.90 **
配偶者年齢	-0.01	-0.18	-20.48 **
出勤時間帯ダミー (6:00-9:00)	0.05	0.06	8.68 **
配偶者のみ滞在時間帯ダミー (9:00-14:30)	0.00	0.00	0.15
世帯全員滞在時間帯ダミー (18:00-0:30)	0.06	0.09	12.31 **
睡眠時間帯ダミー (0:30-6:00)	0.46	0.73	102.28 **
世帯主 (会社員技術系)	0.04	0.07	10.36 **
世帯主の車の利用 (毎日仕事で使用)	0.04	0.06	9.33 **
配偶者 (専業主婦)	-0.02	-0.03	-5.51 **
配偶者の車の利用 (毎日買物・送迎で利用)	-0.03	-0.05	-7.19 **
定数項	-0.02		-1.56
修正済み決定係数	0.51		

N=19200

**1%有意

表-3 2013年エコキュート昼間利用による変化

	夜間利用時	昼間利用時	削減量
全電力消費電力量[kwh/day]	649.15	538.99	110.16
電気代[千円/day]	68.16	31.15	37.01
CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ /day]	333.02	276.50	56.51

補注) 20世帯におけるエコキュート電力消費量を
深夜時間帯(0:30-6:00)から昼間時間帯(9:00-14:30)に移行

表-4 2015年エコキュート昼間利用による変化

	夜間利用時	昼間利用時	削減量
全電力消費量[kwh/day]	686.01	567.05	118.96
電気代[千円/day]	13.21	12.63	0.58
CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ /day]	351.92	290.90	61.03

補注) 20世帯におけるエコキュート電力消費量を
深夜時間帯(0:30-6:00)から昼間時間帯(9:00-14:30)に移行

冬におけるエコキュート電力消費量は、昼間時間帯(9:00-14:30)に使用したことによる電力節電、CO₂削減効果を表-3、表-4に示し考察を行う。この時、CO₂排出量は環境省の電力係数¹⁾を利用して、以下の計算式を使用して算出した。

$$K = \alpha \times E_1 \quad (5.1)$$

$$K = \text{CO}_2\text{排出量}[\text{tCO}_2]$$

$$\alpha = \text{定数}(0.513)$$

$$E_1 = 30\text{分単位での時間帯の電力消費量}[\text{kwh}]$$

この結果から2013年度も2015年度も電気代とCO₂排出量を抑えることが可能となる。特に2013年度の電気代は約半分に抑えることが出来た。このようなことから、深夜時間帯(0:30-6:00)に多く消費されているエコキュート電力消費量を昼間時間帯(9:00-14:30)に移動させるシナリオを構築することで節電、環境面に対して効果があることが明らかとなった。

6. おわりに

本研究では、豊田市の実証実験地区のデータに基づき、スマートハウスの現状の電力消費量を把握し、電力が売電されないスマートハウスにおける基礎的なシナリオ分析を行った。その結果を以下にまとめる。

- 1) DRP買取EDMS単価の変動では、中部電力が設定した基本料金、20.68[円/kwh]よりも20円程度高く設定したところを境に、DR効果が得られることが定量的に把握することができた。
- 2) 長期的なデータを取得することで、月日が経つにつれ、節電意識の低下を定量的に明らかにした。これは、入居当初は節電意識があったにも関わらず、月日が経つにつれ、生活の慣れによる節電意識が薄れていったことが把握できた。
- 3) 本研究対象地区においては、売電が行われていないので、昼間時間帯(9:00-14:30)に充電された各世帯の電力が備え付けられている蓄電池内の容量をオーバーフローしている可能性がある。そのことからより電力を効率よく消費するためには、他の時間帯の電力消費量を昼間の時間帯に移すことが望ましい。
- 4) スマートハウスでは、夏よりも冬の方が電力消費量が多いことが把握できた。それは、深夜時間帯(0:30-6:00)にエコキュート電力消費量を使用していることが原因の一つであることも把握できた。
- 5) 昼間に太陽光発電によって充電された余剰電力は、本研究においては、前提として売電されていない。効率的に消費する方法としてエコキュート電力消費量の利用を深夜時間帯(0:30-6:00)から昼間時間帯(9:00-14:30)へ移行したシナリオの提案を行った。その結果、電力消費量、電気代、CO₂が削減できることが明らかとなった。

本研究では電力の消費者間での売買は想定していないが、規制緩和や制度変更が進む環境が整えば、エネルギーを地産地消し、さらに電力を商品として融通し合う社会が進展する可能性は高い。それらソフト面での改善方策を組み合わせていくとともに、スマートグリッドとして街区や都市ベースでの検討⁸⁾をさらに精緻化していく必要がある。また、低炭素社会にむけて、太陽光発電以外の技術革新による次世代エネルギーとの連携を視野に含めていくことも今後の課題である。

謝辞：本研究の遂行に当たり、トヨタすまいるライフ株式会社の木内賢太郎氏の協力を得たことに深く感謝する。

参考文献

- 1) 経済産業省、資源エネルギー庁、エネルギー基本計画, http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/100618

- honbun.pdf, 2010.6, 最終閲覧2016.2
- 2) 環境省, 地球環境・国際環境協力, 日本の約束草案, <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>, 2015.7, 最終閲覧2016.2
 - 3) 経済産業省, 住宅産業案業建材課, 情報経済課, スマートハウス関連施策について, http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/jyutaku/downloadfiles/2012_01_smarthouse_01.pdf, 2012.1, 最終閲覧2016.2
 - 4) 例えばFrank A. Wolak(2011), Do Residential Customers Respond to Hourly Price? Evidence from a Dynamic Pricing Experiment, *American Economic Review, Paper&Proceedings*, Vol.101.3, pp83-87
 - 5) 一般社団法人新エネルギー導入促進協会, 平成26年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金の成果報告書について, http://www.nepc.or.jp/topics/2015/0330_1.html#kitakyushu, 最終閲覧2016.2
 - 6) 谷口守・落合淳太(2012), 住宅街区のスマートグリッド導入適性に技術革新が及ぼす影響, 不動産学会学術講演会論文集, No.28, pp29-38
 - 7) 落合淳太・中川喜夫・松橋啓介・谷口守(2013), 全国の市区町村における太陽光発電による電力自給自足の潜在的可能性, 一居住地でのスマートグリッド導入を踏まえ, 環境システム研究論文集, Vol.41, pp217-225
 - 8) 中川喜夫・谷口守(2014), 電力価格政策が街区間における余剰電力融通に与える影響 - 都市構造から見る住宅地へのスマートグリッド導入効果 -, 不動産学会学術講演会論文集, No.30, pp21-28
 - 9) 山口徹也・森川雄貴・盛岡通・尾崎平(2012), 事業所の購買電力抑制と電力負荷平準化を目的とした太陽電池・蓄電池組合せシステムの費用効果算定モデルの構築, 環境システム研究論文集, Vol.68, pp229-236
 - 10) 森川雄貴・野田圭祐・盛岡通・尾崎平(2013), 街区地区レベルでの太陽電池・蓄電池を用いた電力負荷平準化による費用効果策定モデルの構築, 環境システム研究論文集, Vol.69, pp239-246
 - 11) 石田健一・佐藤誠(2005), 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, 日本建築学会環境計論文集, 第595号, pp57-64
 - 12) 八木田克英・岩船由美子(2011), 家庭用エネルギー診断によるエネルギー消費の見える化とその効果, *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, Vol.32, No.4, pp25-33
 - 13) 中村笙子・志垣沙衣子・廣森聡仁・山口弘純・東野輝夫(2015), 大衆の生活ノウハウの定量化とモデル化によるスマートライフ支援システム, 情報処理学会, vol.56, No.8, pp1621-1633
 - 14) 紀伊雅教・曾根慎太郎・小野仁意・半谷陽一・土井健司(2013), ピーク電力価格の外出行動への影響に関する基礎分析, 土木学会論文集D3, Vol.69.No.5, pp247-252
 - 15) 長谷川善明・井上隆(2004), 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究-世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1-, 日本建築学会環境計論文集, 第583号, pp23-28
 - 16) 気象庁, 豊田市1981年～2010年の気温・降水量データ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 最終閲覧2016.1
 - 17) Keisan生活や業務に約立つ計算サイト, <http://keisan.casio.jp/exec/system/1192427170>, 最終閲覧2016.2

(2016. 8. 26 受付)

OBSERVATION OF LONG-TERM ELECTRIC POWER BASED ON TOYOTA CITY SMARTHOUSES

Yoshihide YONEHARA, Masayuki KAWAMOTO, Isamu TAKAHARA, Fumihiko UCHIDA and Mamoru TANIGUCHI

As defined by the Paris Agreement, the carbon footprint of residential housing in Japan in 2030 should be reduced by 39.3% compared to that of 2013. Promotion of smart houses is regarded as an effective measure to realize that goal. Therefore, demonstration experiments are being conducted throughout Japan. However, results of demonstration experiments have not been organized objectively or examined statistically from a long-term perspective. This study examined statistical factors using a long-term analysis of electrical power consumption data for 30 min intervals in a demonstration experiment district. Results quantitatively clarified the electric power consumption patterns of smart house residents. They also showed that electric power-saving consciousness declines over time through “familiarity.” Based on these results, an electric power consumption scenario was assessed, clarifying that more efficient electric power consumption can be achieved over time through the increased use of Ecocute-type heat-pump water heating.