事業体における電力消費データ見える化システムの導入と節電効果の検証

松井　加奈絵 1)4) 落合　秀也 2)3) 山形　与志樹 4) 砂原　秀樹 1)

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 1)

東京大学 大規模集積システム設計教育研究センター 2)

独立行政法人 情報通信研究機構 3)

国立環境研究所 地球環境研究センター 4)

近年の深刻な電力不足により, 節電への意識が高まっている. そのため, 電力の効率的な利用を目的として, ICT 技術を使用した電力消費データの収集, 見える化が行われるようになったが, 見える化効果については明らかになっていない点が多い. 本論文では実環境に見える化システムを導入し, 10ヶ月間のデータ収集, 提示を行うことによってその効果を検証した.

The Study of Effects of Electricity Consumption Data Visualization to a Person in Change of Building Management in a Local Town Office

Kanae MATSUI 1)4), Hideya OCHIAI 2)3), Yoshiki YAMAGATA 4), Hideki SUNAHARA 1)

Graduate School of Media Design, Keio University 1),

The University of Tokyo, VDEC 2),

National Institute of Information and Communications Technology 3)

Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies 4)

Nowadays, serious electricity power shortage has been occurred in Japan. Saving energy is becoming a important issue for both buildings, so BEMS(Building Energy Management System) are installed. However,the effects of visualization electricity consumption data, one of BEMS functions, have not been not clear. In this paper, a visualization system we created installed to a local town office, and then we analyzed the data to test the effects.

1　はじめに

近年の日本国内における深刻な電力供給の不安定化により, 事業体, 世帯双方に対する節電意識が高まっている. 現在, 事業体は日本全体の電力需要の約 8 割を占めており, これら事業体に効率的な電力利用を促すことは, 需要総体の減少, またピークカット, ピークシフトを促すアプローチとして効果的であると考えられる. 効率的な電力利用を行う方法として, スマートメータを利用して即時性の高い電力使用データを計測, 収集し, 管理する BEMS(Building Energy Management System) が事業体に導入されつつある. 収集される電力使用データの活用事例として, 電力消費データの見える化が注目を浴びてい

るが, 見える化が誘引する意識, 行動変容および削減効果の現状は, 明らかになっていない点が多い. 今回, 事業体の実環境として地方役場にスマートメータを導入し, その電力消費データを閲覧する環境として, 専用 Web ページを用意した. これらの電力見える化システムの導入後 10ヶ月分の電力消費データを使用し, 見える化の前後でどのような意識, 行動変容が起こったのか, もしくはまた起こらなかったのか, 電力消費量が減少もしくは増加したのか分析することにより, 見える化効果を検証する.

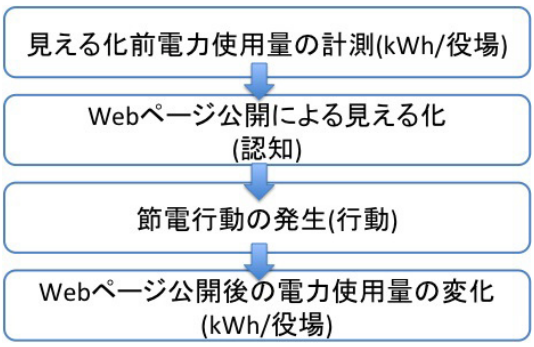

図 1: 見える化効果プロセス

2 先行研究および仮説

これまで電力消費データの見える化に関しては多くの研究結果, 導入事例があり, それらは大別して, 1) データ計測, 収集, 蓄積を行うためにどのようなシステムが必要なのか, 2) どのようなデータの提示方法によって意識, 行動が変わるのか, に焦点を当てられている. 2) の項目では, 収集した電力消費データを解析し結果を被験者に提示することによって, 節電行動を取るという意識変容が生まれ, 実際の電力消費量の変化に結びついたのかにおいての研究が行われている [1][2]. しかし, これはの既存研究ではインターネットを使用しないものが多く, 電力消費データの見える化の被験者への提示は早くとも 1 日, 1ヶ月後など, 時間間隔が長いものが多く行われてきた [3]. それらの結果として, 時間間隔の短い情報提示が節電に効果的であることが分かっている. そこで本研究では, ICT テクノロジーを活用することで, 計測を自動化し (1 分間隔), 被験者への計測情報提示の時間間隔を短いものとし (15 分更新), 時間間隔の早い電力消費データの見える化の提示を可能としている.

本研究において検証したい点は見える化の効果であるため, 効果を測る指標として, 被験者の見える化前後の電力消費量, パターンを比較する. また, 人が節電行動を起こすために必要とされる, 図 1 に示した心理パスが生まれ, 事業体における見える化効果が生まれたか判断する.

そこで上記のプロセスを踏まえ,
仮説：事業体における電力消費データの見える化による節電に対する意識, 行動変容は起こったか
に対して, 収集した 10ヶ月分のデータから検証する.

3 システム概要, 導入方法

ここでは, 電力の見える化を行うためのシステムの概要, また導入方法について述べる. そのため, 1) 電力消費データを計測, 収集し, 蓄積する機能, 2) 蓄積されたデータを電力使用者に提示する機能, の 2 点に分けて説明する.

3.1 電力消費データ収集機能

ここでは, 実環境における電力消費データをどのように計測, 収集, 蓄積するのかについて述べる. 電力消費データを収集するためには, 分電盤 (本研究においては役場内のもの) に計測機器を設置する必要がある. また今回は, スマートメータをネットワーク機能を搭載した計測機器として使用した. 計測した電力消費データを収集するために, BEMS や HEMS, スマートグリッド向けに開発されたオープンな通信プロトコルである IEEE1888 を利用した [4]. 本システムではスマートメータによる計測データを ZigBee によって電話回線モデムに接続した IEEE1888 対応

ゲートウェイに送る．ゲートウェイ内にて計測データを統一プロトコルに変換した後，東京大学に設置されている IEEE1888 対応ストレージにインターネットを通じて格納した．また，ZigBee の設計は，スマートメータ側がルータモード，ゲートウェイ側はコーディネータモードとして動いているものである．これらの概要を図 2 に示す．

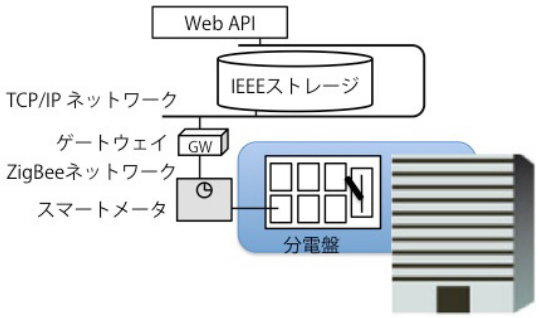

図 2: 電力消費データ収集機能概要図

なお，電力消費データは 1 分間隔で取得している．

3.2　電力消費データ提示機能

ここでは，上述の機能によって蓄積されたデータを，電力使用者に提示するための機能について述べる．まず，プラットフォームとして専用 Web ページを用意した．電力消費データは行動パターンに密接に結びついており，防犯などのセキュリティ面を考慮する必要がある [5]．そのため今回は被験者に対し ID とパスワードを発行し，一定のアクセス制限を設けた．本機能の概要を図 3 に示す．

実際の Web ページの画面を図 4，図 5 に示す．図 4 はスマートメータから計測したデータを数字，グラフにて表示したものであり，図 5 は節電へのヒントとして，節電を行うための具体的な情報を提示したものである．また，表 1 に Web ページに提示される情報をまとめた．1, 2 の項目に関しては 15 分間隔の更新，3 の項目に関しては予め用意された 30 つの節

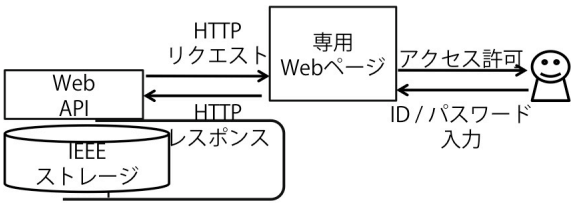

図 3: 電力消費データ提示機能概要図

電へのヒントリストから，日替わりで 1 つの情報を提示する．

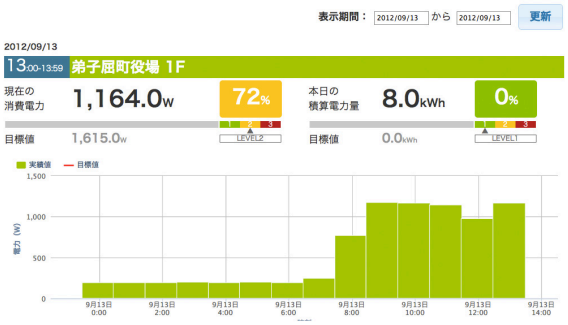

図 4: Web ページ画面 1

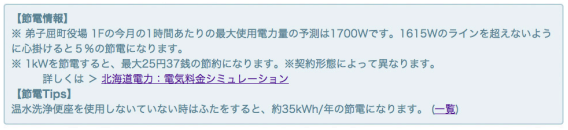

図 5: Web ページ画面 2

4　検証結果

ここでは，本電力消費データ見える化システムを実環境である役場に導入し，蓄積した 10ヶ月分のデータを解析することで，実際に利用者に対して電力消費データの見える化が節電を関する行動変容を生み

	内容	表示方法
1	1 時間ごとの消費電力 (W)	数字
2	本日の積算消費電力 (Wh)	数字, グラフ
3	節電へのヒント	文字列

表 1: Web ページ情報一覧

出したのか, 見える化後の電力消費データの推移から検証する.

4.1 実証実験環境

ここでは, 実証実験における環境について述べる. 表 2 は, 実験期間, 場所, 被験者についてまとめたものである.

本実験における被験者とは, 今回協力頂いた弟子屈町役場の節電担当を請け負っている職員の方々を指す. 彼らは約 60 名が勤務する役場の節電を促進する役割を担っており, 電力消費データ見える化システムの閲覧者である. 従って, 本システムは役場職員全員に閲覧されたものではなく, 節電担当者のみに閲覧されたものである.

実証実験期間	2011/11/01 - 2012/09/10
場所	北海道川上郡弟子屈町役場
実験被験者	第 2 期/2 名, 第 3 期/6 名

表 2: 実証実験詳細

本実験では第 1-3 期と期間を設け, 以下にそれぞれの期に行った事象, 及びその意図をまとめた.

- 第 1 期 (2011/11/01 - 2011/11/31)
  - 電力消費データ取得のみ
  - 見える化効果前の電力消費パターンを測る
- 第 2 期 (2011/12/01 - 2012/08/27)
  電力消費データ見える化 Web ページ公開
  - 見える化効果後の電力消費パターンを測る
- 第 3 期 (2012/08/28 - 2012/09/10)
  - 電力消費データの解析結果の説明, 参加者の増員
  - 見える化の方法を変えることによる電力消費パターンの変化を測る

第 3 期においては, 電力見える化 Web ページ公開のみでなく, 今まで収集したデータから, 各月ごとの 1 日の電力消費パターンをグラフ化したものをフィードバックとして提示した. 尚, 提示は対面式で被験者に口頭によって説明を行い, 同時に実験状況, 主に見える化 Web ページの利用状況, 及びそれに伴う意識, 行動変容に関するヒアリングを行った. 以下がフィードバック時に提示した情報である. ヒアリング結果は以下の検証の項目にて述べる.

1. 月ごとの 1 日の平均電力消費量 (単位：W) の数値、グラフ
2. 上記の 1 日の平均電力消費量と 1 日の平均気温との相関グラフ
3. 各月ごとの 1 時間あたりの電力消費量の推移
4. 平日, 休日の 1 時間あたりの電力消費量の推移
5. 電力消費量と平均気温の相関

また, 図 6 に実際に節電担当者に提示したフィードバックの内容の一部を示した.

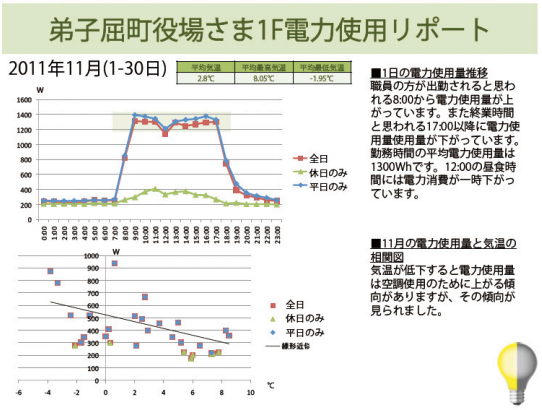

図 6: フィードバック例

第 2, 3 期において, 節電担当者の Web ページ閲覧に関し, こちらから意図的に閲覧をしてもらうような

働きかけはしなかったが, アクセス解析の結果, 閲覧は主に平日の就業時間前, 昼休み, 就業時間後に, 各節電担当者において平均 2, 3 回の閲覧が確認された.

4.2 気象条件、関係性

電力消費データは気温など気象と密接な関係にあることは多くの研究にて言及されており [6], 一例として北海道電力全体の 1 日における電力供給量と北海道との平均気温との 11ヶ月分の相関関係を図 7 に示した. 使用したデータは, 北海道電力が公式ホームページ上で公開, 提供しているものである [7]. 図 7 から, 気温が下降すると電力供給量が上昇し, その後気温が上昇傾向に向かう過程で電力供給量は横ばい傾向となり, 夏期のような最も気温が高い時期には冬期程ではないものの電力供給量は上昇傾向にあることがわかる.

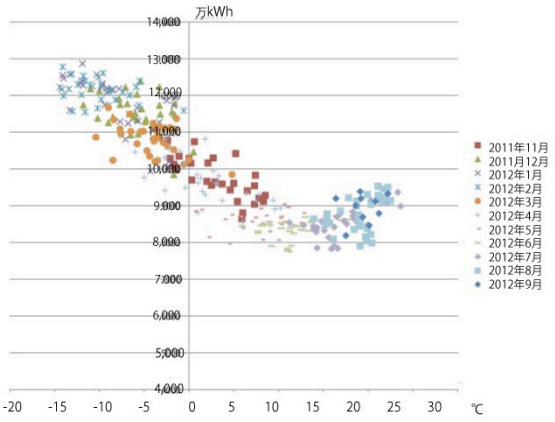

図 7: 北海道の電力供給量と気温の分布図

実験期間の 10ヶ月間内では, 冬期から中間期, 夏期へと変動した為, 表 3 に弟子屈町における平均気温の推移を示す.

11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2.8 ℃	-5.8 ℃	-7.9 ℃	-10.1 ℃	-3.9 ℃
4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
1.8 ℃	8.7 ℃	11.35 ℃	16.5 ℃	19.1 ℃
9 月				
19.6 ℃				

表 3: 実証実験中の月別平均気温

4.3 検証

ここでは, 実データを解析した結果を述べ, 見える化効果の有無について述べる. 上述の通り, 電力消費データと気温は密接な関係にある為, 1) 第 1 期の電力消費データと, 弟子屈町の平均気温から気温感度 (気温感が 1 ℃下がるごとに電力消費が何 W 増加するか) を算出し, 2) 見える化後の気温の参考として, 前年度の同月の気温の下降, もしくは上昇と気温感度から電力消費のベースラインを決定し, そのベースラインから減少が見られたかどうかを当初の判別方法として考えた.

しかし, 取得した電力消費データと気温の分布図を作成した所, 本来ならば気温が下降にするに従って電気消費量は増加するかと考えられたが, 2011 月には気候が下降した時に電力消費量が増加したものの, 急激に気温が下降した 2011 月 12 月にはその傾向が見られなかった (図 8).

通常, 冬期はエアコンなど暖房器具の使用により電気消費量の増加が確認できるが, 本対象ではそれは起こらなかった. そこで協力者に冬期の暖房のエネルギー源について確認した所, 暖房器具の電力は地熱によって賄われており, 今回計測している系統電力に対して空調器具は影響を与えないことが分かった. 従って, 今回気温感度は考慮せず, 照明に関わる日照時間のみを考慮すべきとした.

そこで, 第 1 期, 2 期, 3 期の 24 時間の電力消費の流れを, 1 分間隔で取得しているデータの 1 時間における中央値から作成した. 図 9 は各期における電力消費量, およびパターンである.

事業体であるため, 勤務時間外である 20:00 から翌日 7:00 頃まではほぼ待機電力のみを使用している

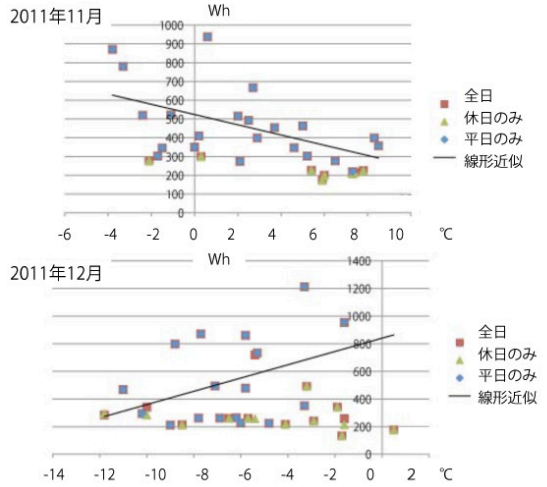

図 8: 実験環境における電力消費量と気温の分布図

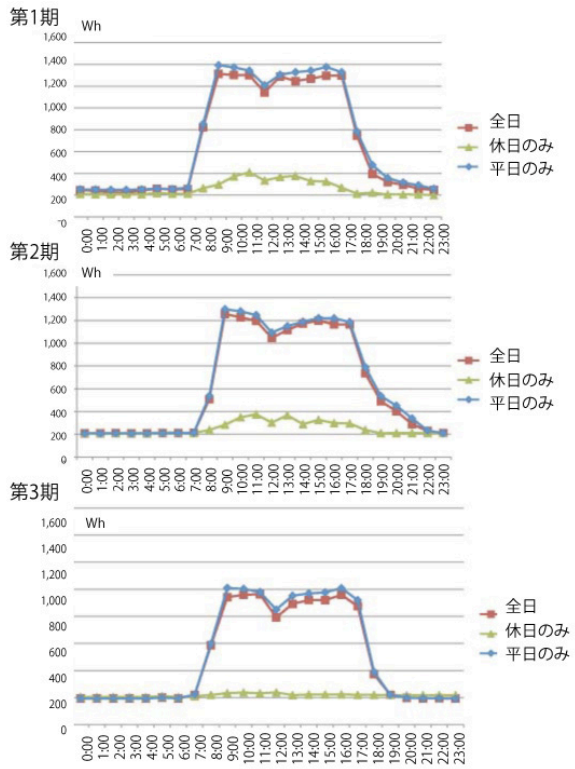

図 9: 第 1-3 期の 1 日の電力消費量およびパターン

状態であり, 昼休みである 12:00-13:00 を除き, 7:00 過ぎから 18:00 頃まで勤務時間として電力消費はほぼ一定で行われる.

見える化効果として, 判断すべき点は,

1. 期ごとの勤務時間内の電力消費量の違い
2. 期ごとの昼休みの電力消費量の違い

である. 見える化効果の影響を受けていない第 1 期は, 約 1,400Wh で推移しているが, 第 2 期では約 1,200Wh で推移している. 第 1 期の平均日照時間は約 5.05 時間, 第 2 期の平均日照時間は約 5.1 時間であることから, 電力消費に影響を与える要因は, あまり差がないと考えられる. その為, 電力消費データ見える化 Web ページを公開を開始した第 2 期は, 協力者は見える化効果を受け, 約-200Wh の電力消費行動削減における行動変容が起きたと判断した. また第 3 期であるが, 更に約-200Wh の電力消費削減が確認されたが, Web ページのコンテンツにはないより詳細なフィードバックを行ったこと, また Web ページの閲覧者が増加したことにより, 社内に節電を呼び掛ける伝達者が増えたことが原因として考えられる. この点においては効果的な見える化方法の確立のため, 更に分析を続ける必要があると判断した.

また, 昼休みの電力消費量の違いであるが, 第 1 期は約 1,200Wh, 第 2 期が約 1,000Wh, 第 3 期が約 800Wh と順調に減少している. 昼休みには勤務時に使用するオフィス機器を使用しないことから, 通常の流れにおいて電力消費量は下がると考えられるが, 更なる下げ幅が見られたことから, 電力消費行動削減に対する行動変容が起きたと判断した. この点についてはヒアリングの項目にて詳細をまとめた.

しかし, 第 2 期内の 2012 年 5 月 18 日から北海道電力から, 夏の節電協力の呼びかけが随時管轄内対して行われた. 節電担当者はその成果を忠実には求められないものの, 役場全体として節電意識は高まったとしている. 今回役場内で節電への意識変容及び効果が見られたものの, 通常見える化における節電効果は 5%といわれており [8], 役場内の高い節電効果に影響を与えたことは考慮しなければならない.

5　ヒアリング結果

ここでは, 第 3 期の開始時に行った実証実験のデータ解析のフィードバックと共に行った, ヒアリングの内容について述べる. 今回, 協力を頂いた役場の方々は役場における節電担当者であり, 電力見える化 Web ページを利用して頂いたことで,

1. 節電担当者として実際に行っている節電行動が電力消費量の削減に効果的であることがわかった
2. 反対に行ったもののあまり効果的とは言えない節電行動がわかった
3. 今までは月の電気使用量しかわからなかったが, 時間帯別の電力消費量の変化が分かったので電気設備が無駄に使われているのか推測できた

ことが第 1 期の見える化実験で行った変化として挙げられた. また, そこで行われた節電行動について, 実際どのようなものが行われたのかを聞き, 以下にまとめた. また, これらは節電担当者が見える化 Web ページにて発信した節電へのヒント情報の閲覧, もしくは分析結果のフィードバックによる, より役場に適した具体的な節電アクションに関する情報によって起きた行動である.

1. 昼休みは照明を暗くするもしくは消す, 使用していないパソコンは消すなど具体的な節電行動が呼び掛ける, また自分で行う
2. その他, 使用していない照明に関して消すように心掛け, 自身で仕事は役場内を回る時には不要と思われる照明を消すよう呼び掛けた, また自分で行う

このように見える化効果を起こすには, 節電行動を担う人々の行動を如何に変化させ, その人々が中心となり, 周囲に波及効果をもたらすか否かが重要な事項となる. また, これらの行動変容は各事業体において異なる具体的な節電行動の表示, その行動評価を提示する機能の充実すること大変重要な事項となることがわかった. このヒアリングから図 1 で示した心理パスが, 節電担当者である見える化 Web ページ閲覧者に対して発生し, また図 10 に示すような行動変容が起きたことがわかった.

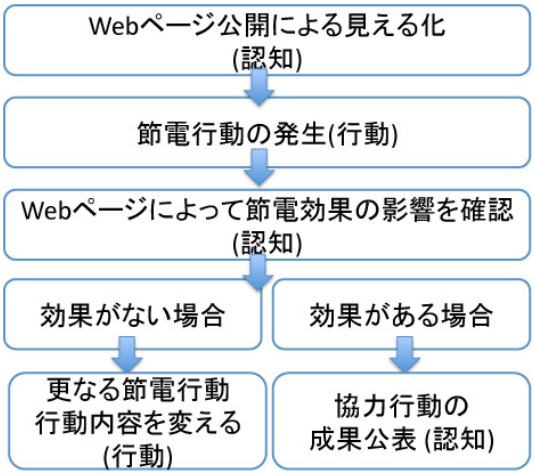

図 10: 見える化後の見える化効果プロセス

6　おわりに

本研究における検証結果から, 電力消費データの見える化は, 仮説で述べたような心理プロセスを引き起こし, 節電行動に対する行動変容を生み出す効果があり, 節電につながったことがわかった. 今回の実証実験である事業体, 役場のエネルギー環境が気温変化の影響を余り受けない特殊な環境ではあったものの, それゆえに電気消費量の減少が見える化効果, またその波及によるものであることがわかりやすい環境であったとも言えた.

今後は第 3 期で行われた Web ページの閲覧者つまりは節電担当者の増加が, 役場全体において更なる節電効果を効果をもたらすのかを観察を続けると共に, それらの行動変容プロセスをシステムに組み込むことを目的に分析を進める. また, フィードバックに関しては今回ヒアリング時に紙媒体にて行ったが, 今後は Web ページから自動的に報告できるようにし, 節電担当者が即時且つ手軽に情報を入手できる環境が必要であると考えた.

本実証実験は今後も継続予定のため, 見える化効果の弱点と言われる節電行動に対する飽き, つまりはモチベーション低下がどのタイミングが発生し, それを改善するにはどのような方法がシステムとして必要となるのか, 継続性についても取り組む.

また, 北海道電力が管轄内に呼び掛けた節電の呼び掛けに対する効果の定量的な評価に関しては, 今後重要になると考える.

7 謝辞

本研究の実証実験に全面的なご協力を頂いた, 北海道川上郡弟子屈町役場企画財政課の皆さまにご心より感謝を述べる. また, 本研究は平成 24 年度慶應義塾大学博士課程学生研究支援プログラムの一部を受けて実施されたものである.

参考文献

[1] W. Abrahamse, L. Steg, C. Vlek, and T. Rothengatter. The effect of tailored information, goal setting, and tailored feedback on household energy use, energy-related behaviors, and behavioral antecedents. *Journal of Environmental Psychology*, 27(4):265–276, 2007.

[2] 八木田克英 and 岩船由美子. 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*, 32(4), 2011.

[3] W. Abrahamse, L. Steg, C. Vlek, and T. Rothengatter. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 25(3):273–291, 2005.

[4] 落合秀也. **スマートグリッド対応 *IEEE1888* プロトコル教科書**. 株式会社インプレスジャパン, 2012.

[5] 佐野夏樹 and 篠原靖志. プライバシーを保護した需要データの収集・公開に関する調査. **電力中央研究所報告, 研究報告**. *R*, pages 1–15, 2007.

[6] 平野勇二郎, 外岡豊, 伊香賀俊治, 亀卦川幸浩, 藤沼康実, and 下田吉之. 民生業務部門エネルギー消費原単位に関する各種資料の比較評価. **日本建築学会環境系論文集**, 73(633):1331–1339, 2008.

[7] 北海道電力 過去の電力使用状況データ. `http://denkiyoho.hepco.co.jp/download.html`.

[8] 平成 22 年度温室効果ガス排出量「見える化」調査委託業務成果報告書. `http://www.env.go.jp/council/37ghg-mieruka/r0370-03.html`.