

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「分散協調型エネルギー管理システム構築の
ための理論及び基盤技術の創出と融合展開」
研究課題「需要家の行動変容に影響を与える要因に
関する基礎的研究」

研究終了報告書

研究期間 平成25年10月～平成27年3月

研究代表者：日高一義
(東京工業大学大学院イノベーションマ
ネジメント研究科、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

需要家から得られるデータの分析と需要家への情報提供を通じて、需要家の行動変容に影響を与える要因に関する基礎的な知見を蓄積するため、以下の3項目を実施した。

1. 電力使用情報の時系列データの提供による行動変容の効果
2. 電力使用における参照点情報提供による行動変容の効果
3. 電力使用行動の意義メッセージ効果

自己電力消費量の直近データの表示効果を検証したが、電力消費量について差があるとは言えない結果となった。参照点を提示した効果の分析では、電力消費量の変化が統計的にも示され、一定の効果が観察された。これより、各需要家の電力消費について、自己がその情報を評価するための基準となるような情報を与えることで、電力消費行動の変容の制御の可能性を示唆する結果となった。ユーザー毎に与える参照点を変化させることにより期待効果が異なることが判明した。

需要家の電力消費データを元に需要家のクラスタリングを行った。具体的には、データの取得季節や地域などの条件の適切な区分、データの適切な前処理、本研究の目的に合致したクラスタリング手法、クラスタリング結果の適切な表示方法を確立した。このクラスタリング結果は、情報提供実験の対象需要家のグループ分けに利用した。

スマートメータのような既に一般的に用いられているセンサに加えて、照度センサのような屋内センサのデータを用いて需要家の消費行動パターンを推定する技術を開発した。A)標準的な行動パターン統計、B)電力・照度データ、C)本人の過去の入力のいずれかがあれば、毎日の生活行動を予測するアルゴリズムであるため、ここでの学習結果は、今後スマートメータや照度センサを設置しなくても適用できる。また、これらを実現する Web/スマートフォン連携サービスを構築し、実運用した。

実証参加需要家 50 世帯を探索し、電力計測装置およびタブレット端末を配布し、各チームの研究フィールドを構築した。ここから得られるデータを、プライバシーに配慮しながら研究に利活用するための情報基盤に必要な機能およびデータモデルを定義した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

(先導的・独創的であり国際的に高く評価され、今後の科学技術に大きなインパクトを与える成果など)

1. 種々の入力に対応した消費行動予測アルゴリズム

概要: (200 字程度)

A)標準的な行動パターン統計、B)電力・照度データ、C)本人の過去の入力のいずれかがあれば、毎日の生活行動を予測できるアルゴリズムを開発した。既存研究ではこれらのどれかに特化したアルゴリズムであるため、例えばスマートメータがない家庭では適用できない、ユーザーに教師ラベルの入力を強いる必要がある、といった問題があった。提案アルゴリズムは A-C のうち得られたデータのみを用いて事後確率を計算し行動を予測できるため、汎用性が高い。この手法は逆に、ベイジの定理により行動パターンから電力消費を予測するためにも使うことができるため、エネルギー管理研究にも大きく寄与できる。

2. 電力・屋内センサと統合された行動データセット

概要: (200 字程度)

上記のアルゴリズムを援用しながら、電力、屋内照度、行動という 3 つの種類 of データが統合されたデータセットを得ることができた。エネルギー消費と生活行動は、深く関連することは既存研究でも指摘されているが、行動を定量化することでエネルギー消費との関連を見るためには、このようなデータセットが存在せず不可能であった。このようなデータを用いて、どのような行動パターンがエネルギーの観点から理想なのかといった、需要家により密着した分析が可能となるデータの提供ができるようになった。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. 生活行動推定・記録 Web サービスの構築

概要: (200 字程度)

日々の行動を上記行動予測アルゴリズムに基づいて予測、ユーザに提示し、かつ簡単に記録・修正できる Web システムを構築した。日々の行動を記録するという作業は工場や医療業界といった種々の業界では必要とされているが、行動予測アルゴリズムを用いることで、これを家庭でも簡単に使える程度に労力を削減することができた。このシステムは簡単なユーザ登録で利用を開始でき、このシステムの運用を続けることで、ビッグデータを蓄積できるという好循環を生むことができる。またビジネスの分野においても、このシステムを使えば日々の業務記録を付けながら、同時に消費電力との関連も分析できることにつながり、既にヘルスケア業界や不動産業界から興味をもらっているため、今後の連携を検討している。

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「東京工業大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
日高 一義	東京工業大学イノベーションマネジメント研究科	教授	H25.10～H27.3
辻本 将晴	同上	准教授	H25.10～H27.3
錦織 聡一	同上	産学官 連携研究員	H25.11～H27.3
清水 文行	同上	産学官 連携研究員	H25.11～H26.9
丹 俊貴	同上	産学官 連携研究員	H26.5～H27.3
沼田 剛明	同上	産学官 連携研究員	H26.7～H27.2

研究項目

- ・ 需要家の行動変容に影響を与える要因に関する基礎的研究

②「九州大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
村田 純一	九州大学システム情報科学研究院	教授	H25.10～H27.3
高野 浩貴	同上	助教	H25.10～H27.3
張 鵬	同上	学術研究員	H26.4～H26.5

研究項目

- ・ 電力消費データに基づく需要家の分類

③「九工大」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
井上 創造	九州工業大学大学院工学研究院	准教授	H25.4～H27.3
内野 百里	九州工業大学工学部	科学研究支援員	H25.10～H27.3
田中 翔太	同上	支援研究員	H25.10～H27.3
戸田 隆道	九州工業大学工学府	M2	H25.10～H27.3
林田 興祐	同上	M2	H25.10～H27.3
右田 尚人	同上	M2	H25.10～H27.3
磯田 達也	同上	M1	H25.10～H27.3
谷口 敦	同上	M1	H25.10～H27.3
潘 新程	同上	M1	H25.10～H27.3

研究項目

- ・ 「拡張センサデータからの需要家の分類と行動パターン推定」

④「北九州市／北九州スマートコミュニティ推進機構」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
荒牧 敬次	技術研究組合 北九州スマートコミュニティ推進機構	専務理事 兼 上席研究員	H25.10～H27.3
丸山 文隆	同上	上席研究員	H25.10～H27.3
小田 秀実	同上	研究員	H25.11～H27.3
西川 直輝	同上	補助研究員	H25.11～H26.3
岡原 信行	同上	補助研究員	H26.4～H27.3
松岡 俊和	北九州市環境局	局長	H25.10～H27.3

研究項目

- ・実証フィールドの構築・運用
- ・情報基盤構築の調査・研究

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について
(研究チーム外での連携や協働についてご記入ください。ライフ分野では臨床医等を含みます。)

Prof. Dr. Claudia R. Binder (University of Munich, Department of Geography, Chair for Human-Environment Relations) と研究の方向性、今後のテーマに関して意見交換を行った。

§ 3 研究実施内容及び成果

3. 1 需要家の行動変容に影響を与える要因に関する基礎的研究（東京工業大学）

(1)研究実施内容及び成果

3.1.1 実施内容

需要家から得られるデータの分析と需要家への情報提供を通じて、需要家の行動変容に影響を与える要因に関する基礎的な知見を蓄積するため、以下の3項目を実施した。

1. 電力使用情報の時系列データの提供による行動変容の効果(研究1)
2. 電力使用における参照点情報提供による行動変容の効果(研究2)
3. 電力使用行動の意義メッセージ効果(研究3)

3.1.2.1 研究1および研究2

研究1および研究2では、電力使用データの提供内容を変化させた場合の行動変容効果を明らかにすることを目的としている。具体的には、研究1では、直近の電力使用量の提供有無に対する効果、研究2では、参照点として平均値とベストプラクティス値の2種を提供した場合の効果を明らかにする。

3.1.2.2 実験システム

研究1および2では同じ測定システムを用いた。先に作成し(H25 年次報告書参照)、運用・保守を継続している需要家の分電盤にて総電力使用量を測定して収集するシステムを用い、需要家に各種のデータを確認させるためのシステムを新規に構築した。

需要家の電力消費の特徴によって事前に需要家は5つのグループに分けられている。表示させる対象は次のとおりである。

- ・ 需要家の消費電力
- ・ 需要家の属するグループの消費電力の平均
- ・ グループ内での消費電力の少ない方上位1/3の需要家(以降エコユーザ)の消費電力の平均

表示されるグラフの時間単位は以下の通りである。

- ・ 分毎（表示範囲として直前の30,60,120,180分の表示が選択でき、デフォルトは180分）
- ・ 時間毎（表示する年月日の指定が可能）
- ・ 日毎（表示する年月の指定が可能）
- ・ 月毎（表示する年の指定が可能）

これらの値を、需要家の消費電力を棒グラフで、その他の平均は階段グラフで重ねて表示する。また以下の項目については需要家毎に表示、非常時を制御できるように設計した。

- ・ 需要家の消費電力の分毎
- ・ 需要家の属するグループの消費電力の平均
- ・ エコユーザの消費電力の平均

消費電力は20秒ごとに測定されている。使用しているセンサーは瞬間値しか計測できないため、その値を20秒間の平均消費電力として1分毎、1時間毎、1日毎、1ヶ月毎の平均消費電力(総消費電力量)を算出する。

欠損データの扱いとして、時間単位毎に95%以上の計測データがない場合は無効とし、比例計算

による伸長などをする事なく、単純に表示には用いず、各種の平均の計算にも使わないこととする。例えば 1 分毎の場合は 60 秒×95%=57 秒 以上、すなわち 20 秒毎の測定データであるため全部データがそろっていない場合は無効とし、1 時間毎の場合は 3600 秒×95%=3420 秒以上、すなわち 20 秒ごとの測定データが 180 件のうち 171 件以上そろっていない場合には無効とする。また計測時間とサーバにデータが送信された時間に 30 分を超える差があるデータは異常値として無視した。

これらのデータを算出するための計算量を減らし、かつデータ表示のためのリクエストに対して速やかにレスポンスを返すために、1 時間毎、1 日毎、1 ヶ月毎の電力量は事前に集計して結果を格納している。集計は 4 台のホストで 1 時間に 7 回行うことで冗長性を持たせ、集計結果の遅延を少なくし、遅れて到着するデータの集計も確実に行われるようにした。無効データの定義の変更に対応する必要があるため、データの欠損にかかわらず行い、電力量および対象時間を保管している。

これらのデータをグラフとして表示するために、先の比較調査により選定された無線 LAN またはモバイルデータ通信でインターネットに接続されたタブレット用のアプリケーションをクライアントとし、リアルタイムでの集計およびリクエストに応じたデータの返信を行う Servlet をサーバとしたシステムを開発した。タブレット用のアプリケーションはグラフ表示の他に、起動、表示したグラフの内容、終了など、単純に表示したか否だけではなく詳細な行動の内容をイベント毎にサーバに送信している。

この他直前の 3 日の日毎の各需要家の消費電力量を記載したバルクメールを定期的に全需要家に向けて送信するシステムを作成した。

3.1.2.3 実験内容

上記システムを用いて、電力使用情報の時系列データの提供による行動変容の効果(研究1) 電力使用における参照点情報提供による行動変容の効果(研究2)を検証した。具体的には、研究1では、直近の電力使用量の提供有無に対する効果、研究2では、自己の電力使用量に対して、電力使用量平均値や省エネが実現されているユーザーの消費量といった参照点を提示することにより、需要家の行動変容の効果を明らかにする。

行動変容効果としては、次の点を明らかにする。

- ・電力使用情報の時系列データの提供による行動変容の効果
- ・電力の使用行動でも参照点依存性は見られるか
- ・自己電力使用量と参照点との関係における効果の違い（プラスとマイナス）
- ・自己電力使用量と参照点との距離における効果の違い
- ・効果の時間的变化
- ・効果と属性の関係性

実験対象の家庭は、北九州市に住む 50 世帯である。この 50 世帯の世帯人数毎の世帯数と集合住宅 / 戸建の内訳を表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1. 世帯人数毎の世帯数と集合住宅 / 戸建の内訳

世帯人数	世帯数	集合住宅	戸建
1	9	9	0
2	11	7	4
3	10	4	6
4	12	4	8
5	6	2	4
6	1	0	1

実験対象の家庭を電力消費の傾向によってグループ分けするために、以下の条件を用いた。

- ・ A 9世帯 - 1人世帯
- ・ B 19世帯 - 2人以上世帯、昼間の在宅人数0人

- ・ C 8世帯 - 2人以上世帯、昼間の在宅人数1人以上、住宅タイプ：集合住宅
- ・ D 11世帯 - 2人以上世帯、昼間の在宅人数1人以上、住宅タイプ：戸建
- ・ E 3世帯 - エコキュート使用

本研究においては、下記のスケジュール通りに実験を行った。日付の年は2014年である。

期間1) 8/1 - 8/31(研究1)

グループ X

- 表示時間:時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量

グループ Y

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量

期間2) 9/1 ~ 10/31(研究2)

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量とグループ別平均電力消費量

期間3) 11/1 - 12/31(研究2)

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量とグループ別エコユーザーの平均電力消費量

期間4) 2/1 - 2/28(研究2)

グループ X

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量

グループ Y

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量とグループ別平均電力消費量

グループ Z

- 表示時間:直近、時間、月毎
- グラフ種類:自己電力消費量とグループ別エコユーザーの平均電力消費量

実験期間 P1 のグループ X とグループ Y の区分方法は次の通りである。2014年5月の1ヶ月間の平均電力消費量を家庭毎に算出し、AからEのグループ毎に最も偏りがないように2群に分ける。それらをグループ X、Y とした。

実験期間 P4 のグループ X~Z の区分方法は次の通りである。期間 P2 における家庭毎の平均電力消費量とAからEごとにグループ集計した各家庭から属するグループとの平均電力消費量との差を算出し、グループ毎に最も偏りがないように3群に分ける。それらをグループ X、Y、Z とした。

また、各家庭に定期的にメールを配信して、アプリの閲覧を促した。

毎週水曜日 AM7:00 - 7:15

毎週土曜日 AM9:00 - 9:15

ただし、以下の日付は時間を変更する。

- お盆期間 8/11 - 8/15 は AM9:00 - 9:15

- 正月期間 12/26 - 1/3 は AM9:00 - 9:15

実験期間が変更になる場合、表示するグラフが変更される前日にグラフの見方を説明したメールを配信した。

3.1.2.4 結果

研究1では、自己電力消費量の直近データの表示効果を検証したが、電力消費量について差があるとは言えない結果となった。一方で、参照点を示した効果の分析である研究2では、電力消費量の変化が統計的にも示され、一定の効果が観察されたといえる。また、その電力消費行動への影響も参照点によって変化し、その影響範囲も閲覧直後以外にもなんらかの影響を与えている可能性が示唆された。こうしたことから、自己の電力消費について、自己がその情報を評価するための基準となるような情報を与えることで、電力消費行動の変容の制御の可能性を示唆する結果となった。今回平均電力消費からの参照距離とエコユーザー電力消費からの参照距離を与えたが、表示されている情報にはほぼ同質の情報でありながらも、平均やエコユーザーといった参照点の意味を個人がどう評価するかにより、その距離が持つ意味も変化するであろうことが予想される。本研究の制約事項としては、対象が50世帯という限られた人数であるため、規模を拡大した効果検証が必要であること、また、効果の経年変化については、長期間の効果検証が必要であることがあげられる。

3.1.2.2 研究3

研究3では、需要家(主に一般家庭)に対して、行動アドバイスに加えて行動の意義のメッセージを提示した場合の効果を検証する。

具体的には、行動アドバイスを全ユーザー同一とし、6種の行動意義メッセージを提示して効果検証を行う。

行動変容効果としては、次の点を明らかにする。

- ・6種別の行動意義メッセージ効果の違い
- ・特に社会的規範メッセージの効果測定
- ・効果の時間的变化
- ・効果と属性の関係性

ただし、研究3は実験途中であるため、実験の設計と分析方針までを記載する。

3.1.2.3 研究概要

本研究では、節電のための行動アドバイスのメッセージに加えて、節電行動の意義のメッセージを提示したときの効果を調べる。

3.1.2.3.1 研究対象

本研究の対象は、株式会社ユビキタスの Navi-Ene Master UC133(非太陽光版)を利用している105世帯である。

3.1.2.3.2 クラスタリング

105の家庭をトリートメント群とコントロール群の2群に分ける方法を説明する。本研究では電力消費の傾向に偏りがないように2群に分ける。そのために、電力消費の傾向が似た家庭をクラスタリングし、各クラスターを2群に分割するという手法を用いる。

使用した電力消費のデータは、2014年2月の1時間毎の平均電力消費量である。このデータを用いて、自己組織化マップと階層的クラスタリングの手法を用いて、クラスタリングを行った。

3.1.2.4 研究設計

本研究ではトリートメント群に行動アドバイスと節電行動の意義のメッセージの両方を提示し、コントロール群に行動アドバイスのみを提示する。実験期間は2014年11月17日から2015年3月29日である。ただし、2014年12月29日から2015年1月4日の正月期間は実験期間から除く。実験期間中は、Navi-Eneの各家庭のWebページ上にメッセージを表示する。

表 3.1.3 節電行動の意義一覧
メッセージ中の x は同時に提示する行動アドバイスに基づく数字を代入する

番号	タイプ	メッセージ
1	社会規範	お客さまとよく似たご家庭では、x%の家庭が行っています。
2a	命令的規範	お客さまとよく似たご家庭では、x%の家庭が行っています。あなたは普段から気をつけているようですね。とても良いことです。
2b	命令的規範	お客さまとよく似たご家庭では、x%の家庭が行っています。あなたはまだ気をつけていないようです。頑張りましょう。
3	金銭的利益	年間で約 x 円の節約ができます。
4	金銭的損失	これを行わない場合、年間で約 x 円の損をすることになります。
5	環境保護	年間で CO2 を約 xkg 減らすことができます。地球温暖化の抑止に貢献できます。
6	社会的責任	年間で電力使用量の x%を減らすことができます。次世代のために社会にとって望ましい行動をしましょう。

また、月曜日、水曜日と土曜日にメッセージ確認を促すメールを配信する。月曜日からの日曜日の1週間毎に意義の種類を更新し、同時に表示する行動アドバイスは毎日更新する。トリートメント群とコントロール群に表示する行動アドバイスは毎日同じである。6つの意義を3週間ずつ表示するため、実験期間は18週間に及ぶ。

表 3.1.3 に節電行動の意義の一覧を示す。節電行動の意義は各行動アドバイスと結びついており、表中の x は各行動アドバイスに基づく数字を代入する。また、番号 2 の命令的規範 (Injunctive Norm) は、その行動を行っている家庭には 2a を、行動を行っていない家庭には 2b を提示する。

3.1.2.5. 分析手法

6つの節電行動の意義による電力消費量への影響をトリートメント群とコントロール群の比較により検証する。節電行動の意義による影響を次の3点について分析する。

- ① 電力消費量の変化率に対して、6つの節電行動の意義のメッセージの与える影響を計量分析する
- ② 時間的変化の傾向を分析する
- ③ 節電行動の意義の効果に差異が出る需要家属性などを分析する

3.2 汎用データからの需要家の分類および電力消費行動予測に関する研究(九州大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

需要家の電力消費データを元に需要家のクラスタリング(類似した電力消費パターンを持つ需要家グループの発見と各需要家のグループへの分類)を行った。このクラスタリングの目的は需要家を電力消費行動の観点からグループ分けすることである。そのため、電力消費の総量の大小ではなく、1日における時刻毎の電力消費量の推移(日間電力消費パターン)に着目してクラスタリングを実施した。

電力消費データを、まず、取得した月、地域、平日/休日に区分した。さらに、10秒から1分毎に取得されているデータを1時間毎の平均値に変換し、各時刻の月間平均値を求め、さらに日間平均値で除することによって、無次元化された日間電力消費パターンの月間平均値を求め、これを対象にクラスタリングを行った。

種々のクラスタリング手法を比較した結果、自己組織化マップが最も適切であることを見出し、これを使用した。クラスタリング結果は、クラスタ間の類似度が一目で把握できる表示方法で表現し、解析者による判断を行った。この結果、日間電力消費パターンは数個のグループに分類できることを見出した。

図 3.2.1 と図 3.2.2 にクラスタリング結果の一例を示す。

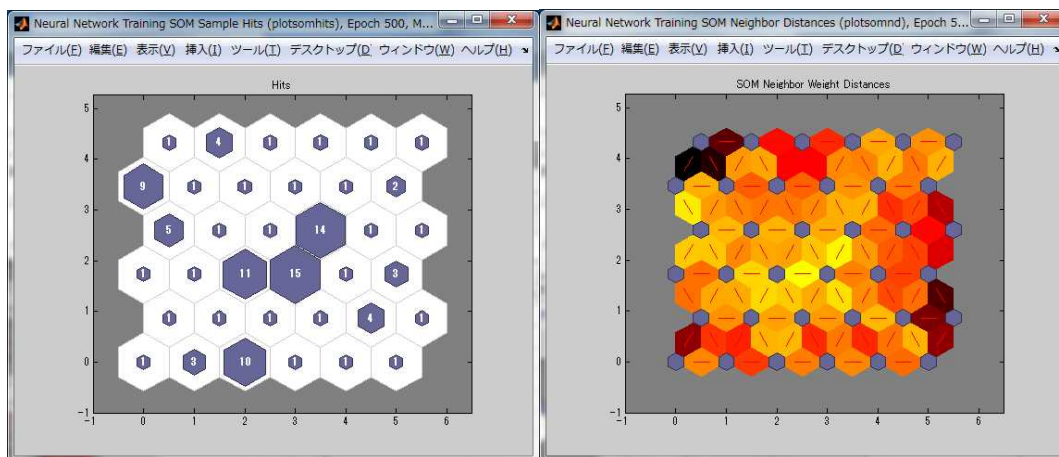


図 3.2.1 自己組織化マップで生成されたクラスター。六角形 1 個が一つのクラスターに相当する。左は各クラスターに分類された需要家数を表す、右は各クラスター間の距離の大（暗い赤）小（明るい黄色）を表す。これから、例えば、需要家数 5 位（9 軒）のクラスターと 6 位（5 軒）のクラスターは近いことがわかる。

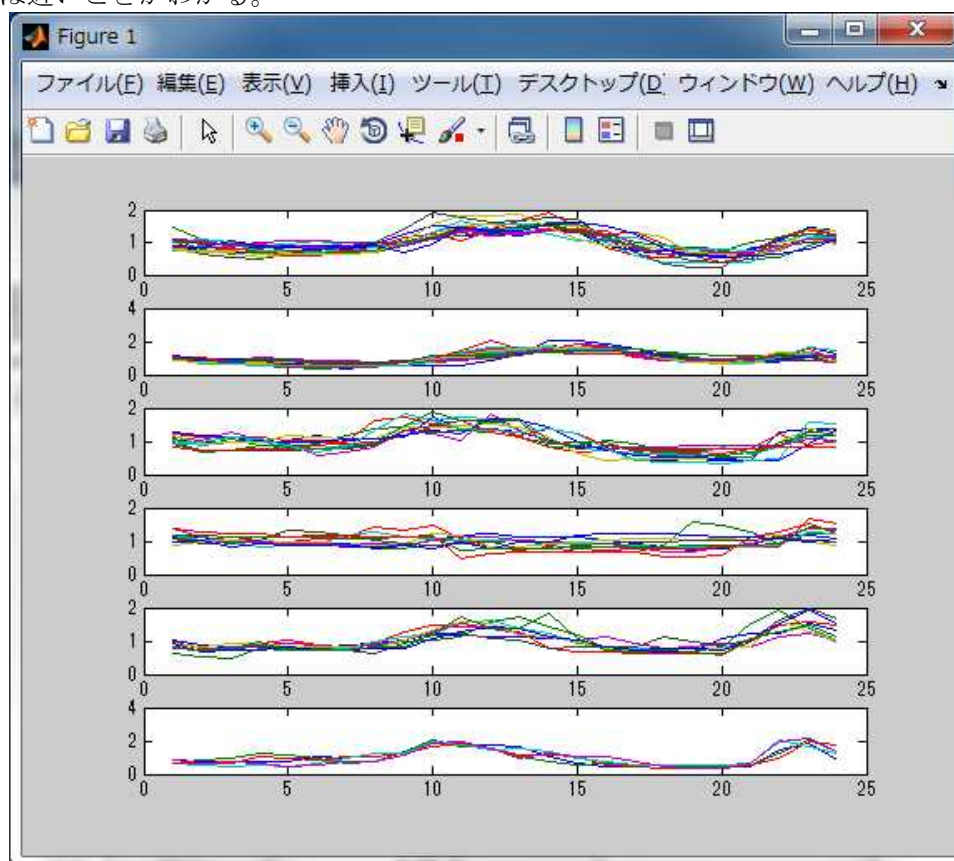


図 3.2.2 需要家数上位 6 位までのクラスター中の日間電力消費パターン。どの時間帯で電力消費が多いか、すなわちどのような生活パターンかに応じたクラスターリングが行えていることがわかる。5 位のクラスターと 6 位のクラスターの日間電力消費パターンは類似していることがわかる。これは図 3.2.1 の結果と整合している。解析者はこのような観察に基づいて適切なクラスターリングを行うことができる。

以上のクラスターリング結果は、情報提供実験の対象需要家のグループ分けに利用した。

同一地域の需要家 31 世帯の 1 か月の平日平均日間電力消費パターンと、休日平均日間電力消費パターンを対象に、自己組織化マップによるクラスターリングを行った。その結果、図 3.2.3 に示すように、休

日の電力消費パターンは需要家ごとの差が小さいことがわかった。そのため、以下の検討は平日のみを対象として実施している。

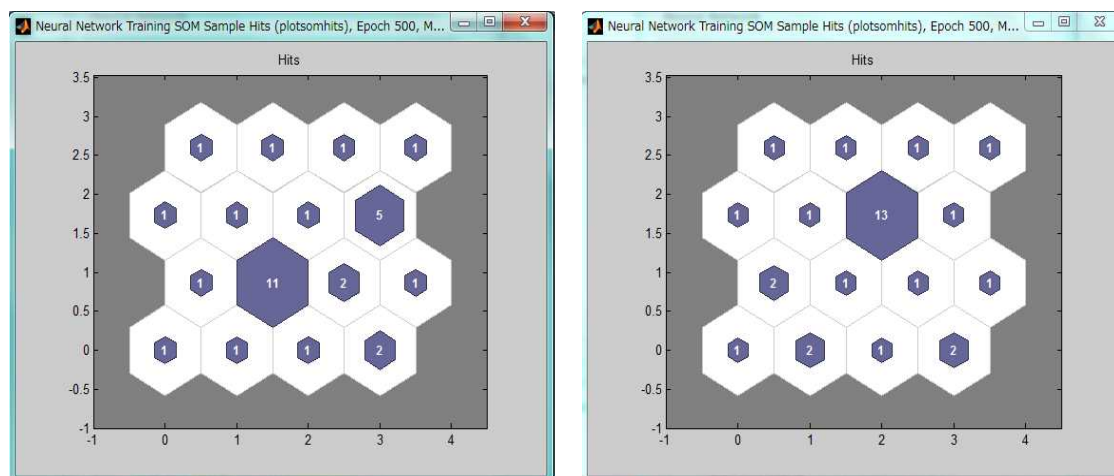


図 3.2.3 平日平均日間電力消費パタンの自己組織化マップによるクラスタリング結果(左)と休日平均日間電力消費パタンのクラスタリング結果(右)。平日では2つの優勢なクラスタが存在するが、休日では1つしか存在しない。

需要家 50 世帯に対して 2014 年 10 月に実施した、自己の過去の電力消費および自己が所属する属性グループ内の電力消費平均値を提示した実験の効果を、いずれの値も提示しておらず気温がほぼ同じであった同年 5 月と比較することによって検証した。

表 3.2.1 に、データ欠損があった 3 世帯を除く 47 世帯について、情報提示を行った 10 月の平日平均消費電力量が 5 月の平日平均消費電力よりも減少した世帯数、およびその割合を示す。ただし、グループ E(エコキュート所有)は他のグループとは観点が異なるグループ定義であるので、同グループに所属する 3 世帯についての内訳は示していない。

表 3.2.1 情報提示を行った 10 月の平日平均消費電力が情報提示を行わなかった 5 月の平日平均消費電力に比べて減少した世帯数

グループ	対象 需要家数	平均消費電力量が 減少した需要家数	減少した 需要家の割合
全需要家	47	25	53.2%
A(1人世帯)	8	3	37.5%
B(2人以上, 昼間0人)	18	7	38.9%
C(昼間1人以上, 集合住宅)	8	5	62.5%
D(昼間1人以上, 戸建)	10	7	70.0%

表から、全世帯の約半数で消費電力が減少していることがわかる。ただし、統計的な有意性は十分ではない。なお、3.1.2.5.2 で見出したグループ内平均値への漸近傾向は、平均値との相対関係についての知見であり、平均値そのものも減少している本知見と矛盾するものではない。

また、昼間在宅者がいる場合に電力消費量減少世帯の割合が高いことがわかる。このことと電力消費パタンの関係を調べるために、10月平日平均電力消費パターンから5月平日平均電力消費パターンを差し引いた波形を自己組織化マップを用いてクラスタリングした。その結果を図 3.2.4 に示す

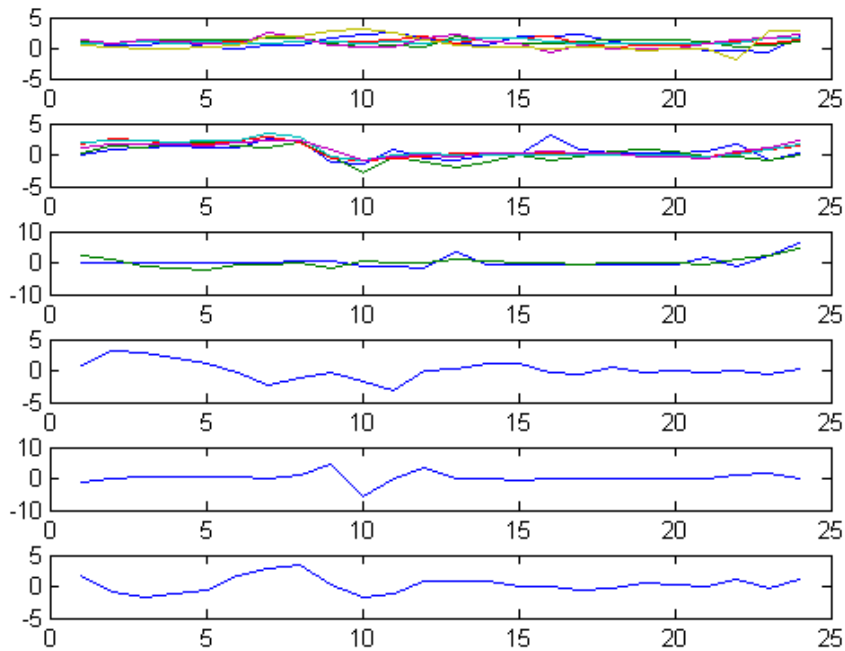


図 3.2.4 10 月と 5 月の平日平均電力消費パタンの差をクラスタリングした結果。所属データ数が上位の各クラスター内の波形を示す。

5 月と 10 月の電力消費パターンに目立った差がない需要家が多いが、朝と夜に電力消費減少の傾向が見られる。昼間在宅者がいる世帯で電力消費は減少する傾向にあるが、それは昼間の電力消費の減少が理由ではないことがわかる。

以上の結果は、50 世帯程度と対象世帯が少なく、また、情報提示有無の比較を気象などの他条件を同一に保ったまま実施することが容易でないデータから得た結果である。このため、現時点では、情報提示がもたらす効果について、仮説を提示することはできるが、その検証を行うまでには至っていない。

3.3 拡張センサデータからの需要家の分類と行動パターン推定（九州工業大学）

(1) 研究実施内容及び成果

本サブテーマでは、スマートメータのような既に一般的に用いられているセンサに加えて、照度センサや騒音センサ、スマートタップといった屋内センサや、スマートフォンのような携帯センサも候補とし、需要家の消費行動パターンを推定する技術を開発し、それをを用いて需要家の特性を分類することを目標とした。

家庭内に多くのセンサを設置すれば、電力消費に影響を与える家庭内の行動を知り、効率よい電力消費行動につなげることができる。しかし、多くのセンサを設置すると、設置の負担が大きくなる、設備の維持が大変、部屋の景観を損なう、といった問題がおこる。そこで、なるべく少ないセンサで電力消費に関係する行動を識別するため、行動種と様々なセンサ間の相互情報量を計算し、行動を識別する方法を提案した。その手法を用いて、数件の家庭で、スマートフォンのセンサを使い、予備実験を行ったところ、相互情報量の大きい順に「照度」「音圧」「音のピーク周波数」「湿度」「温度」という結果になった。また「こたつの電源を入れる」「パソコンを使う」「睡眠」「テレビ」といった行動が電力に大きく影響を与えることが分かった。

これらのことから、主にリビングやダイニングと言った、人が集まる所に照度センサを置くという方針を採用し、本格的な実験を行った。実験は、既にスマートメータを設置している家庭を対象とし、リビングなどに照度センサを持つタブレット端末を数ヶ月に渡って設置し、スマートメータと照度センサの情報

から家庭内の行動を認識する、というものである。どちらのデータもリアルタイムにサーバにアップロードされる。

ここで問題となるのが、パターン認識アルゴリズムを自動的に生成するための教師あり機械学習における、正解ラベルの取得である。これは結局、被験者にいつ、何を行ったかを記録してもらう必要がある。これは非常に労力がかかるし、また人手であるため欠損や誤りが発生する。これら为了避免のために、我々は日々の行動を簡単に入力できる Web システムを構築し、毎日被験者にメールで入力を促すシステムを構築した。このシステムでは、A)総務省統計局で得られる日本人の標準的な時間帯別行動者率、B)電力・照度データ、C)および本人の過去の入力をもとに、毎日の行動を予測し、被験者に提示し、間違っていたら訂正を促すというものであるため、被験者が全てを記録するより手間が削減でき、正確である。また、上記 A-C の全てがそろっていない場合、どれかがそろっていれば予測が行えるという半教師あり学習を採用しているため、ここでの分析結果は、今後スマートメータや照度センサを設置しなくても適用できる。

エネルギー消費と生活行動は、深く関連することは既存研究でも指摘されているが、我々の研究のように、行動を自動的に認識し、定量化することでエネルギー消費との関連を見る研究は他に類を見ない。このような自動化・定量化は、今後この技術を応用するとき自動化が見込めるという意味で競争力が高い。加えて、これまで研究に使うことのできる電力消費のビッグデータはある程度存在したが、それと結合された生活行動のビッグデータは存在しなかったため、このようなデータが得られた事も本研究の意義である。

図 3.3.1 作成した「行動記録・予測 Web システム」の画面イメージ)

4. 4 情報基盤の構築の方法論とスマートコミュニティ実証現場の利活用方法に関する研究(北九州市/KSCoP グループ)

(1)研究実施内容及び成果

<実証フィールドの構築・運用>

■実施内容

需要家サイドの各種実データを使用して研究を進めるための実証現場を構築するため、以下の4項目を実施した。

- 1)実証地域または建物の探索、特定
- 2)実証参加需要家の募集、参加同意取得
- 3)機器設置(調整、導入、運用・保守)と参加需要家フォロー
- 4)アンケート調査

■成果

- 1)実証地域または建物の探索、特定

実証参加世帯にスマートメータを設置する事を目標に、市内に建設予定の50戸以上を有するマンションや、北九州学術研究都市内の住宅群/教員住宅と交渉した。マンションについては、北九州スマートシティ創造事業に関連する不動産会社に建設中のマンションを紹介していただいたが条件に合うマンションが存在せず交渉を断念した。また、一括受電会社にも建設中マンションの事業主を紹介いただいたが条件に合うマンションが存在せず交渉を断念した。一方、北九州学術研究都市内の住宅群/教員住宅については、中核である大学と共同研究参画の同意が得られず交渉を断念した。そこで、北九州市内で特定の地域を限定せず、参加者を募集することにし、実証フィールドの調査・調整業務の委託先である(株)ソルネットに市内在住の従業員および関係者に実証に参画してもらうように依頼した。同意を得たため実証参加世帯を(株)ソルネットの市内在住の従業員および関係者とする事に決定し、既存メーターに計測装置を設置する事とした。

- 2)実証参加需要家の募集、参加同意取得

(株)ソルネットにて研究チームより当研究の実証説明会を開催した。説明会参加者62名の中から50名(世帯)の実証への参加同意を得ることができた。需要家の同意確認のため、参加同意書と実証開始時アンケート(世帯情報・生活習慣・家電情報・電力契約内容等の調査)の配布/回収を行うとともに、謝金の支払を行った。また、過去5年間の電力使用量データの利用に関して参加需要家世帯からの同意を得て九州電力より取得し研究チームに提供した。

- 3)機器設置(調整、導入、運用・保守)と参加需要家フォロー

実証機器(計測装置・無線ルーター・タブレット)を参加需要家に配布し接続確認を行った。また、研究室から参加需要家への連絡用メールアドレスの設定も行った。参加需要家のフォローとして、参加需要家からの問合せ(実証機器の取り付けや不具合の対応、タブレットの接続や操作方法等)に対応している。また、研究チームから参加需要家への連絡(同意撤回書の配布/提出、タブレットに表示される内容の変更のお知らせ、タブレットのSystem Update実施依頼)も実施している。

- 4)アンケート調査

実証期間中に研究チームから参加需要家に対して実施されるアンケートの配布/回収を行った。

- ・H26年3月:実証開始時アンケート
(世帯情報・生活習慣・家電情報・電力契約内容等の調査)
- ・H26年10月:パーソナルデータの利活用や情報開示・サービス利用規定等の扱いに関するアンケート
- ・H27年3月(予定):実証終了時アンケート(仮題)

<情報基盤構築の調査・研究>

■研究実施内容

スマートコミュニティで収集されるデータをJST CRESTの研究で利活用するための情報基盤システム要件を定義した。

- 1) 需要家のプライバシーを守るセキュアな情報管理
- 2) 多面的なデータ分析に利活用できる汎用データモデル
- 3) 需要家の受容性を高めるためのインターフェイス
 - ① 「分かり易さ」のために必要な機能
 - ② オプトアウトに必要な機能
- 4) データ授受に関するシステム機能

■ 成果

1) 需要家のプライバシーを守るセキュアな情報管理

スマートコミュニティで取り扱うデータにおける需要家のプライバシーの保護については、今後のスマートメータや HEMS の普及およびそこから得られる情報の利活用の面で十分な対策が必要である。現行の個人情報保護法ではこれらのデータのほとんどが明確な保護対象とはなっていないが、データを取り扱う上では表 3.4.1 に示したようなプライバシーリスクが抽出された。

表 3.4.1 プライバシーリスクの一例

情報		プライバシーリスク
個人 (世帯)	エネルギー使用量 (電力、ガス、水道)	家族構成、生活水準、ライフスタイル、在不在状況、所有物が推定できる。 各エネルギーを組み合わせることでさらに精度が高くなる。 ロードカーブのパターンや量からエコキュート、エネファーム、蓄電池、PV等の機器所有が推定され、住戸の外見から識別される可能性がある。
	DR応答 アンケートデータ	節電意識やコミュニティへの協力意識、思想などが読み取れる。(思想・信条→機微情報)
	機器別電力使用量 センサーデータ	在不在、在宅人数や行動、行動特性・行動パターンを推定できる。

明細レベルのデータに対する匿名化では完全にk-匿名性を確保することは困難であること、また匿名化による特定性・識別性の低減度合いとデータの有用性はトレードオフの関係にあることから、学術研究での利活用にスコープを定めた場合には最小限の匿名化にとどめる必要がある。現在、国内ではこれらのデータの第三者利用に関して「どの程度プライバシーリスクを低減すれば第三者が利用しても問題がないのか」という視点の検討が進んでおり、その内の 2 つの動きに着目した。1 つは高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部による個人情報保護法見直し、もう1つが経済産業省スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会によるHEMSデータ利用サービス市場におけるデータ取扱いの標準化実証である。

個人情報保護法見直しのポイントは以下 3 点である。

- ・個人の識別性を低減することによりデータの利活用における本人同意を不要とする。
- ・基本的な制度を補完する民間の自主的な取組を活用する。
- ・制度執行を確保するための第三者機関を設置する。

HEMSデータ利用サービス市場におけるデータ取扱いの標準化実証のポイントは以下 2 点である。

- ・データ領域を「領域Ⅰ：個人情報を含まないデータ」「領域Ⅱ：消費者の理解を得つつ、サービスに積極的に活用していきべき個人情報を含むデータ」「領域Ⅲ：取扱いに特に注意すべき個人情報を含むデータ」と定義し、需要家の安心感、納得感を得て利活用を行うために個人情報保護法を越えた対応を求めた。
- ・データの流れ、サービス提供ルート、契約関係から図 3.4.1 に示すビジネススキームを設定した。

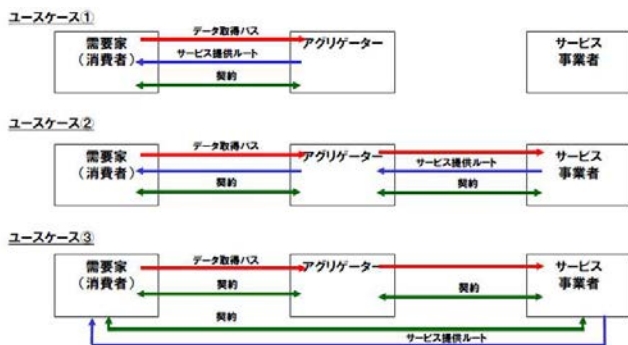


図 3.4.1 サービス提供に係るビジネススキーム [経済産業省 スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会, HEMSデータ利用サービス市場におけるデータ取扱マニュアル α 版, 2014 年]

今後、具体的な法制化、個人識別性低減の手法、需要家との契約方法等が決まっていくことになる。本情報提供基盤システムではHEMSデータ利用サービス市場におけるデータ取扱いの標準化案をベースとし、取り扱うデータを「領域Ⅱ」、ビジネススキームを「ユースケース②」と位置付け、データの有用性を最大化するために、データの匿名化に関しては「識別子の ID 化」を施し、運用面で図 3.4.2 に示す情報セキュリティ機能を備えることで需要家にできるだけ安心感と納得感を持ってもらうことを目指した。

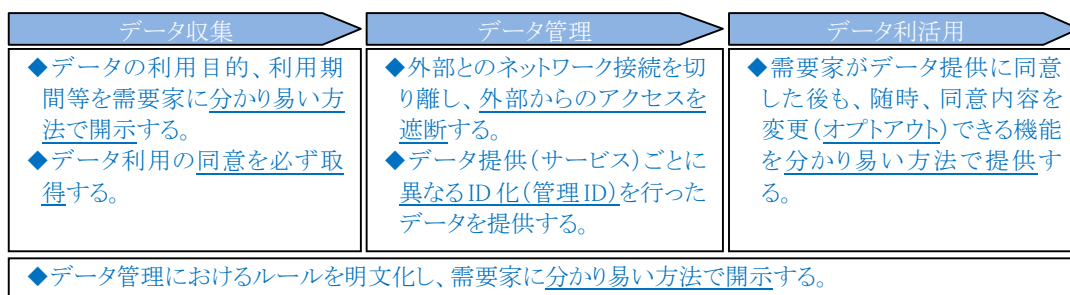


図 3.4.2 運用に係る情報セキュリティ機能

2) 多面的なデータ分析に利活用できる汎用データモデル

学術研究では様々な視点での研究を行うことから汎用的なデータモデルである必要がある。収集される情報すべてをリレーショナルに参照・抽出できるようにし、「ゲートウェイ」という中心となるエンティティを持たせる。各スマートメーターや PCS などの情報源に対してゲートウェイ ID を持たせる。ゲートウェイエンティティには下記のような情報を持たせる。

GW 種別 / GW 名称 / エネルギー種別 / 契約種別 / 契約情報 / 場所 / 需要家 ID
 全体のエンティティ関連図を下記に示す。

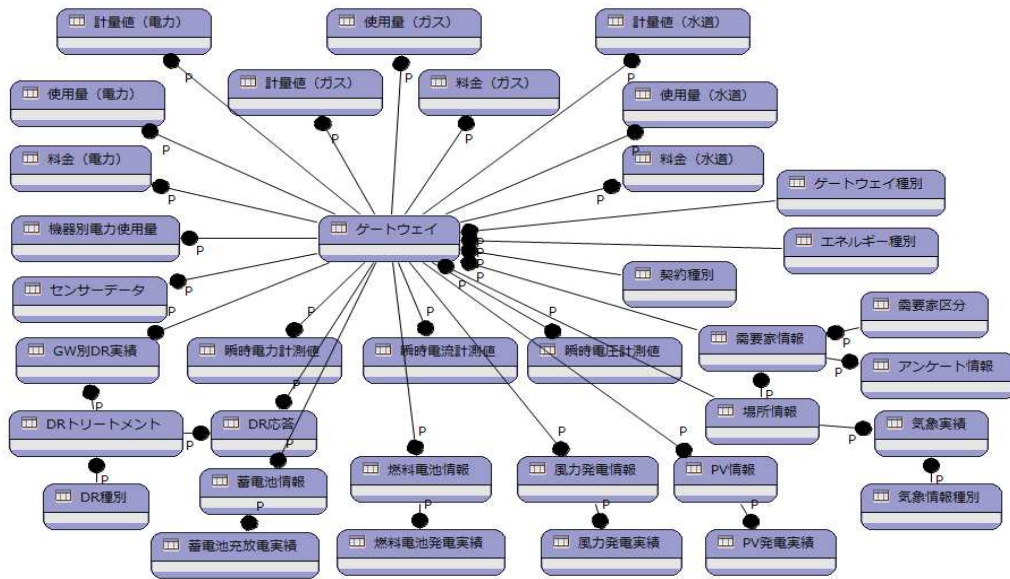


図 3.4.3 データモデル

3) 需要家の受容性を高めるためのインターフェイス

①「分かり易さ」のために必要な機能

パーソナルデータを活用した際に社会的批判につながるのは、取得する情報項目や利用目的に関して需要家と事業者との認識のずれに起因すると考えられる。需要家が十分な理解のもとでパーソナルデータの利活用に関する納得・受容をし、その結果として両者の信頼関係が構築される事が重要である。

パーソナルデータを巡る需要家と事業者間のトラブルの多くは事業者が需要家の期待を裏切る形でパーソナルデータを利用したと評価され社会的な批判を受けるというものである。

こういった問題を解決するには、多くの利用規定等に見られるような冗長で分かりにくい記述ではなく、需要家の理解を助けるような分かり易い形での情報提供が必要である。

本実証では、経済産業省の報告書「パーソナルデータ利活用の基盤となる消費者と事業者の信頼関係の構築に向けて」を参考に「分かり易さ」のための機能を以下のように設計した。

- ・平素でシンプルな表示: 利用方法等が容易に把握できる。
- ・ラベルによる一覧表示: 取得情報や利用目的等全体像を一目で把握できる。
- ・アイコンによる表示: 瞬間的・直感的に理解できる。

表示例)




プロバイダー名	KSCoP(株)	
サービス名	電力使用量見える化	
内容		<ul style="list-style-type: none"> ● パーソナル情報 <ul style="list-style-type: none"> ・世帯主の氏名 ・住所 ・電話番号 ・メールアドレス ● その他情報 <ul style="list-style-type: none"> ・電力使用量 機器を各家庭の分電盤に接続
		<ul style="list-style-type: none"> ● 利用目的 <ul style="list-style-type: none"> ・電力使用量の表示 ・参加世帯の平均電力使用量の表示 ・参加世帯中の電力使用量順位の表示
		<ul style="list-style-type: none"> ● 二次利用 あり
問合せ先	info@ksxxx.com	

図 3.4.4 「分かり易さ」を向上させるための表示例

パーソナルデータを巡るトラブルの原因と対策の方向性を確認するために、需要家にとって事業

者が示す利用規定等についての意識について当実験参加者(50名)にアンケートを実施して確認した。アンケートの結果を以下に示す。

◆サービス利用規定やプライバシーポリシーに関する意識

サービス提供者が示す『利用規定』や『プライバシーポリシー』を読んだうえでサービスを受けているか否か。また、読んでいない場合、その理由を調査した(図 3.4.5)。

- 読んでいる :27%
- 読んでいない :73%

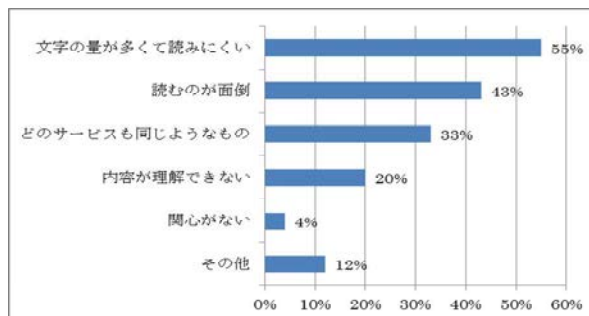


図 3.4.5 『利用規定』や『プライバシーポリシー』を読まない理由

対象者の70%以上が『利用規定』や『プライバシーポリシー』を読んでいない状況が確認できた。また、読まない理由として「文字が多い」「面倒」「どれも同じ」「理解できない」など『分かりにくさ』に起因する内容が多いことも確認できた。

◆『利用規定』や『プライバシーポリシー』の開示について、サービス提供者が取るべき措置に関する意識

サービス提供者に真っ先に取り組んで欲しい項目を調査した。(図 3.4.6)

最優先に取り組む項目は圧倒的に「分かり易い表示」であることが確認できた。

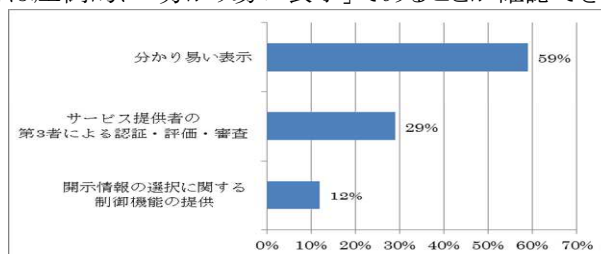


図 3.4.6 サービス提供者に取り組んで欲しい項目

②オプトアウトに必要な機能

需要家は「いつでも簡単にサービスを停止する事が出来るのか」「サービスを停止した後のパーソナルデータがどう取り扱われるのか」との不安を持っている。いつでもサービスを停止することができ、パーソナルデータを削除する要求を出することができるような環境(オプトアウト)を構築することも需要家の安心感、納得感を得るために重要である。本実証では、オプトアウトの機能として次のように設計した。

需要家へサービスを公開する際は、運用者から随時情報提供を行うようにする。また、需要家はサービスへの参加を自由に選択することができ、利用規程や開示項目などの可否を回答しサービスを受けることができる。

運用者は、実証 DB に需要家のサービス内容を登録し、サービス毎に個人を識別できない管理 ID を取得する。この管理 ID は、個人を特定できないようにするための ID である。

需要家は、サービスに登録されている自身の情報をいつでも開示要求でき、運用者は、データベースに登録されている需要家情報を需要家に回答する。

また、需要家は、自身の意思でサービスをいつでも停止することができる。また、需要家は、利用されている二次データに対してデータを削除する要求をだすこともできる。要求を受けた運用者は、データベースに登録されているユーザーの情報を全て削除し、サービス提供者に対し削除要求のあった管理 ID のデータ削除を依頼することとする。

4) データ授受に関するシステム機能

パーソナルデータの取り扱いを考慮した上で、スマートコミュニティで収集される需要家のデータを授受するためのサーバーの仕組みの構築を行った。今回のシステムでは、外部とのネットワーク接続を切り離し外部利用者のアクセスは行わないものとした。

図 3.4.7 にシステムの構成図を示す。

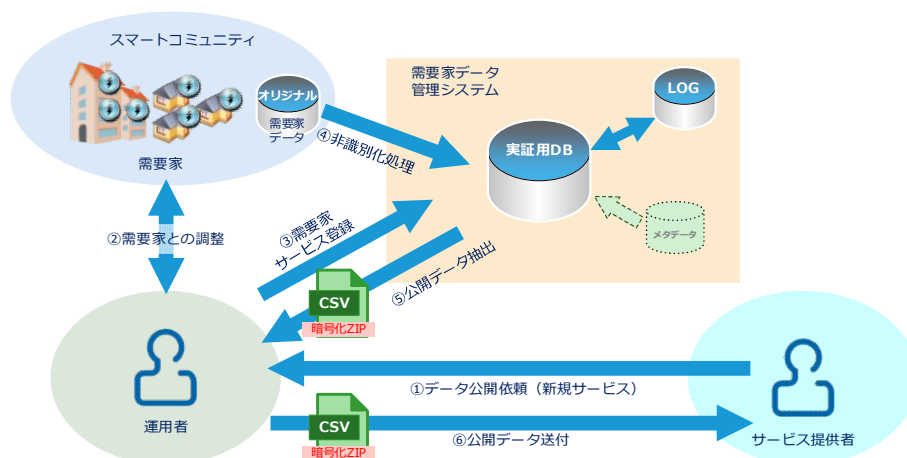


図 3.4.7 データ授受のシステム構成図

[需要家データ管理システム機能概要]

需要家データ管理システムは以下の機能を持つシステムとして構築した。

- 需要家 ID 及び管理 ID の管理
- サービス内容 (利用データ、サービス提供者名、利用期間など) の登録改廃
- 需要家マスターデータからのデータベースへの非識別化処理
- 需要家登録情報出力処理 (帳票形式)
- 公開データの抽出 (CSV 形式化) 及び暗号処理 (パスワード付き ZIP 生成)
- オプトアウトのためのデータ削除及びトレース処理

§ 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0件、国際(欧文)誌 3件)

- 磯田 達也, 井上 創造, 忽那 秀治, 河野 正人, "Room Exit Recognition Using Mobile Accelerometers and Illuminometers", Ubicomp Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA), pp. 731-735, September 13, 2014, Seattle, USA.
- 戸田 隆道, 井上 創造, 田中 翔太, 上田 修功, "Training Human Activity Recognition for Labels with Inaccurate Time Stamps", Ubicomp Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA), pp. 863-872, September 13, 2014, Seattle, USA.
- 右田 尚人, 弓山 卓哉, 井上 創造, 西田 健, "A Method for Tracking On-body Sensor Positions Utilizing Prior Knowledge", Ubicomp Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA), pp. 758-766, September 13, 2014, Seattle, USA.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

- 井上 創造, "スマートフォンを活用した生体・行動情報の収集と予防医療への応用", 次世代ヘルスケア機器の新製品開発, 情報技術協会, pp. 9 pages, May 30, 2014.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 0件、国際会議 1件)

(主要な国際会議への招待講演の前に*を付記してください)

- 井上 創造, "(Invited) Mobile Activity Recognition and Large-scale Healthcare Sensing", International Symposium on Advanced Intelligent Systems, November 13, 2013, Daejeon, Korea.

② 口頭発表 (国内会議 12件、国際会議 1件)

- Kazuyoshi Hidaka, Fumiyuki Shimizu, Soichi Nishikiori, "Consumer Behavior in Complex Service System", 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Jagiellonian University Kraków, Poland, 19-23 July, 2014
- 磯田 達也, 井上 創造, "簡易設置センサを用いた部屋タイプの判定に向けて", 日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会予稿集, pp. 97-98, March 9, 2015, 北九州.
- 潘 新程, 峯崎 智裕, 磯田 達也, 田中 翔太, 内野 百里, 井上 創造, "生活行動と消費電力の関係を調べるためのタブレット端末センシングおよび行動入力システム", 日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会予稿集, pp. 99-100, March 9, 2015, 北九州
- 戸田 隆道, 井上 創造, 上田 修功, "ラベルの時刻ずれに対応した携帯センサ行動認識におけるクラスタリングによる特徴量境界の明確化", 情報処理学会 第 160 回ヒューマンコンピュータインタラクション・第 44 回ユビキタスコンピューティング合同研究発表会, to appear, 沖縄科学技術大学院大学 シーサイドハウス セミナールーム.
- 磯田 達也, 井上 創造, 忽那 秀治, 河野 正人, "携帯型加速度・照度センサによる部屋からの退出推定手法", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 1877-1883, July 9, 2014, Niigata.
- 戸田 隆道, 田中 翔太, 林田 興祐, 井上 創造, 上田 修功, "ラベルの時刻ずれに対応した携帯センサ行動認識手法", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 394-400, July 9, 2014, Niigata.
- 亀津達也, 潘 新程, 井上 創造, "各種センサを用いた家庭内行動と電力消費量の関係の分析", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 1898-1903, July 9, 2014, Niigata.
- 右田 尚人, 弓山 卓哉, 井上 創造, 西田 健, "経験ベイズによる携帯センサの保持姿勢追跡手法の提案", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シ

ンポジウム, pp. 409-414, July 9, 2014, Niigata.

- 宮寄 青吾, 戸田 隆道, 井上 創造, “差分実行可能なデータ解析基盤システム Dake の分散メモリキャッシュによる高速化の予備評価(Preliminary Evaluation of the Performance Improvement of Differential Data Processing Infrastructure “Dake” with Distributed Memory Cache)”, 第 15 回 SOFT 九州支部学術講演会, pp. 69-72, December 21, 2013, Shimonoseki.
 - 弓山 卓哉, 右田 尚人, 井上 創造, “ベイズ推定を用いた加速度センサからの人物姿勢の推定に向けて(Toward Estimation of Human Postures from an Acceleration Sensor Using Bayesian Estimation)”, 第 15 回 SOFT 九州支部学術講演会, pp. 129-130, December 21, 2013, Shimonoseki.
 - 磯田 達也, 潘 新程, 林田 興祐, 井上 創造, “携帯活動量センサにおける複数日に渡る周期的特徴の利用に向けて(Toward Utilizing Periodical Features through Multiple Days in Mobile Activity Level Sensors Tatsuya Isoda, Pan Xincheng, Kosuke Hayashida and Sozo Inoue Kyushu Institute of Technology)”, 第 15 回 SOFT 九州支部学術講演会, pp. 11-12, December 21, 2013, Shimonoseki.
 - 亀津達也, 林田 興祐, 井上 創造, “家庭における電力消費に影響を与える行動の検出に向けて(Toward Detecting Activities Which Affect Power Consumption in a Home)”, 第 15 回 SOFT 九州支部学術講演会, pp. 121-122, December 21, 2013, Shimonoseki.
 - 荒牧敬次, “(仮)北九州スマートコミュニティ創造事業“, 情報処理学会全国大会, May 19, 2014, Kyoto
- ③ ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)
なし

(4)知財出願

- ①国内出願 (0 件)
なし
- ②海外出願 (0 件)
なし
- ③その他の知的財産権
なし

(5)受賞・報道等

- “優秀論文賞(ラベルの時刻ずれに対応した携帯センサ行動認識におけるクラスタリングによる特徴量境界の明確化)”, 情報処理学会 第 160 回ヒューマンコンピュータインタラクション・第 44 回ユビキタスコンピューティング合同研究発表会, pp. 1-7, 沖縄科学技術大学院大学 シーサイドハウス セミナールーム.
- “最優秀賞(HASC シーケンスデータの品質の検証)”, HASC Challenge 報告会, February 28, 2015, 東京.
- “優秀論文賞(ラベルの時刻ずれに対応した携帯センサ行動認識手法)”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 394-400, July 9, 2014, Niigata.
- “ヤングリサーチャ賞(経験ベイズによる携帯センサの保持姿勢追跡手法の提案)”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 409-414, July 9, 2014, Niigata.
- “ヤングリサーチャ賞(ラベルの時刻ずれに対応した携帯センサ行動認識手法)”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 394-400, July 9, 2014, Niigata.

- “ヤングリサーチ賞(携帯型加速度・照度センサによる部屋からの退出推定手法)”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, pp. 1877-1883, July 9, 2014, Niigata.

②マスコミ(新聞・TV等)報道

なし

③その他

なし

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

なし

②社会還元的な展開活動

なし

§ 5 研究期間中の活動

主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

特になし

§ 6 最後に



東京工業大学日高研究室 CREST チーム



家庭内配電盤からの電力の測定



電力測定装置



情報表示端末