

消費エネルギー抑制ホームネットワーク技術のためのライフスタイルの分析

○野間 春生[†], 安部 伸治[†], 多田 昌裕[†], 亀井 剛次[†],
篠沢 一彦[†], 山添 大丈[†], 内海 章[†], 西尾 修一[†],
秋本 高明[†], 萩田 紀博[†]

ネットワークにより家庭の電力消費活動を分析し,そのエコ意識とライフスタイルを可視化する手法を開発した.また,RPG インターフェースによって1日の生活をシミュレーションすることにより,その世帯がどのライフスタイルに属するかを可視化するデモンストレーションシステムを構築した.本システムを「次世代ホームネットワーク実証実験2010」に展示し,技術の新規性とならびに有効性をアピールした.

Lifestyle analysis for energy saving strategy using home network technology

○Haruo Noma[†], Shinji Abe[†], Masahiro Tada[†],
Koji Kamei[†], Kazuhiko Shinozawa[†],
Hirotake Yamazoe[†], Akira Utsumi[†], Shuichi Nishio[†],
Takaaki Akimoto[†] and Norihiro Hagita[†]

In this paper, the power consumption activity at home was analyzed by the network, and the technique for making the lifestyle visualising was developed with the eco-consideration. We constructed the demonstration system that analyses and simulates a user's lifestyle by using RPG Iinterface. In addition, we exhibited this system to "The open experiment of the next generation home network 2010", and appealed our technology and their effectiveness.

1. はじめに

省エネに関連する人の行動は,その人のライフスタイルに大きく影響を受ける.近年では,家電を含む住環境を対象とした省エネ対策として有望視されている研究事例として,住環境の消費電力量をモニタリングし,住人に対する「見える化」を実現して省エネ行動を喚起しようとする HEMS (Home Energy Management System) [1]や,HEMS をさらに進めた研究として,人の行動や位置の情報を活用し,空調,照明,給湯等を先回りして最適にコントロール(プロアクティブ機能)する機能を備えたプロアクティブ HEMS[2]やユビキタスホーム[3]などの提案が行われている.これらの研究は従来あまり目を向けられていなかった「家庭」における省エネを課題として積極的に取り組みが開始された事例である.特にプロアクティブ HEMS については,住人の生活行動に合わせて各種家電を最適かつ積極的に制御してエネルギー消費を抑制しようとする取り組みであり,今後の成果が期待される分野である.

HEMS やプロアクティブ HEMS,ユビキタスホームは,基本的な考え方として各家庭(1世帯/1家屋)を単位とした自律的な制御を目指すテーマである.

これに対し本提案は,各家庭に設置されるホームゲートウェイを通して,ネットワーク経由でトップダウンに各家庭の家電を制御可能とすることを目的とし,特定の地域や特定のライフスタイルパターンに属する複数世帯に対して,サービス事業者側からマクロな省エネサービスや安心・安全に係わる各種サービスを提供しようとする試みである.

プロアクティブ HEMS やユビキタスホームなどが前提とする自律制御を実現するためには,ホームゲートウェイに相当するサーバには高機能が求められるため,広く一般に普及するためにはそれなりの期間が必要となる.一方,本提案では,現在市販されているブロードバンドルータ(2~3万円程度の中・上位機種)にプログラムを追加するかたちでホームゲートウェイの早期の実用化が可能であり[NTT Press Release 2004],特殊なホームサーバを必要としないため普及が早く,かつトップダウン型のサービス提供でマクロなサービス展開が可能であることを考慮すると,比較的早期に効果的な省エネサービスを普及させることが期待できる.

[†]株式会社国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所
ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

2. 本研究の概要

各家庭のライフスタイルを推定する手段として、本提案では、情報家電機器や人感センサーなど加入者世帯に存在する機器情報を、沢山の加入者世帯群についてホームネットワーク管理プラットフォーム（中間サービスプラットフォーム）に集約し、これによって初めて客観的に算出可能な「家電使用パターンカテゴリー」という概念を導入する。これは、各家庭ごとに各種家電機器の使用状況を取得することができれば、それらと電力消費量の関係から大雑把なライフスタイルを推定できることに着目したものである。ホームネットワーク管理プラットフォーム（中間サービスプラットフォーム）には、各家庭を構成する家電機器群に関する情報とそれらの消費電力量が逐一収集されることになるが、これらは各家庭の生活にかかわる個人情報であるため、生のデータベースをサービス事業者に対して開示することは、セキュリティや個人情報保護の観点から好ましくない。そこで、複数家庭をマージして共通パターン化するための概念が必須であり、各家庭の家電情報や電力消費傾向から類型化を行うのが、本提案における省エネという観点からは相応しく、居住者のライフスタイルにきわめて近い類型化の概念として本提案では「家電使用パターンカテゴリー」と呼ぶこととする。

図1は、本研究の全体像である、図面上右側に各世帯（加入者）があり、左側のホームネットワーク向けサービス提供者との間に、中間サービスプラットフォームが存在する。

各種情報家電機器や各種センサー群を有する各世帯から随時、どの時間帯にどのような家電機器が使用されたか、に関する情報が中間サービスプラットフォームに集約される。

このような状況で、全世帯の家電の使用パターンを分析・分類し、家電使用パターンから推測されるライフスタイルに分類するエンジンが、図中「ライフスタイルの形式知化」の部分であり、株式会社国際電気通信基礎技術研究所（ATR）が新規開発した技術を搭載したモジュールである。

図2はライフスタイルの形式知化モジュールによる家電使用パターンカテゴリーの分析結果（エコマップ）を示したものであり、全国の加入者世帯のライフスタイルにはどのような種類があり、またそれぞれがどのような電力消費パターンであるかを可視化することが出来る。平成21年度は加入者世帯群から家電オペレーション情報を収集するシステムが事前に完成しておらず、実際の家電利用状況をリアルタイムで取得することが困難であったため、本結果は、全国約800世帯による家電使用状況等に関するアンケート調査と統計情報による各種家電機器の電力使用量調査報告を基にして分析を実施したものである。

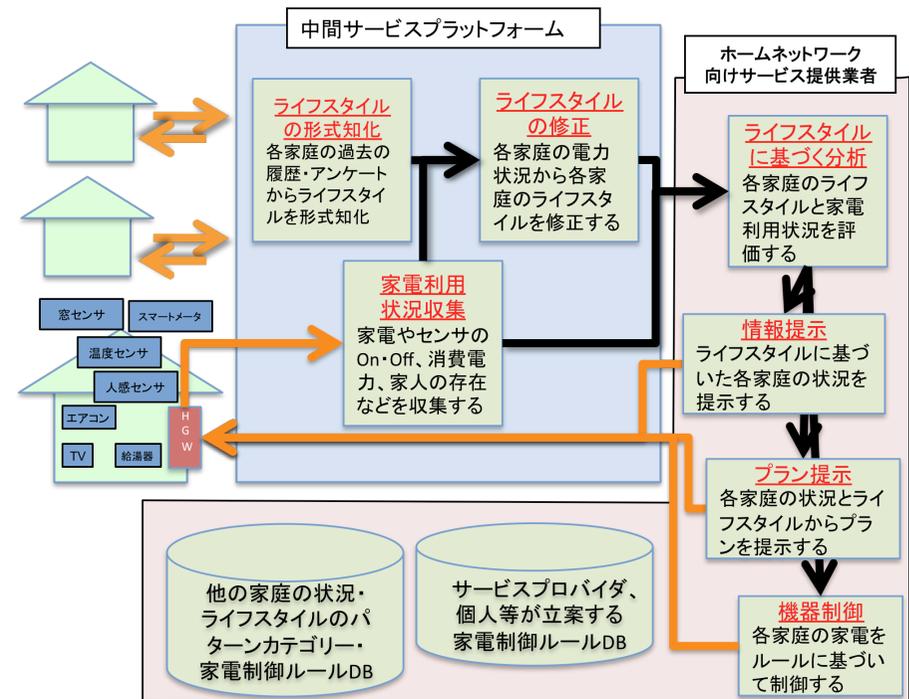


図1 本研究の全体像

図中第1主成分（縦軸）は上部へ行くほど1日あたりの電力使用量が多い、すなわち浪費傾向の強い世帯のグループであることを示しており、逆に下方は1日あたりの電力使用量が少ない節約傾向の強い世帯グループである。

一方、第2主成分（横軸）は、左へ行くほど夜型浪費傾向の強い世帯グループであることを示し、右へ行くほど昼型浪費傾向の強い世帯グループであることを示す。横軸中間あたりはそれ以外のグループで、1日中浪費傾向型、特定の時間帯にのみ電力消費ピークの立つグループなどが混在している。

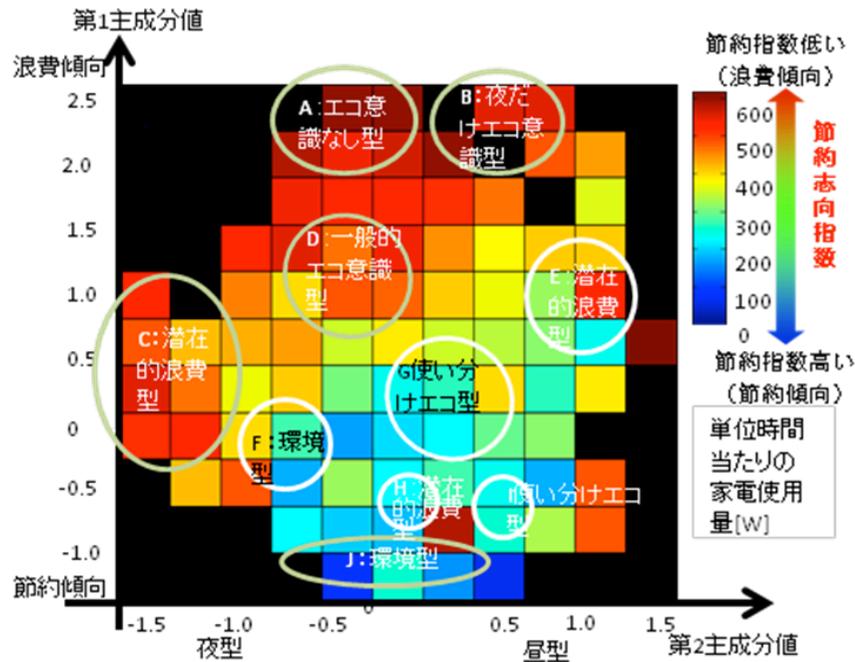


図2 ライフスタイルの形式知化による家電使用パターンカテゴリーの分析結果 (エコマップ)

この分析結果を、ホームネットワーク向けサービス提供者に対して開示し、サービス提供者が、それぞれのライフスタイル (図中の世帯群) に合ったサービスを記述するための材料として使用する。たとえば、C型世帯がA型世帯に遷移したときに昼間のエアコンの温度設定をエコ寄りに自動設定するサービスを提供したり、その世帯に対して意識改革を促すメッセージングを行なうサービスを構築するなどが考えられる。

3. アンケート調査の実施

3.1 調査対象

本節では、全国の加入者世帯の家電使用パターンからライフスタイルを分析する手法について詳細を述べる。

平成 21 年度は加入者世帯群から家電オペレーション情報を収集するシステムが事

前に完成しておらず、実際の家電利用状況をリアルタイムで取得することが困難であったため、本結果は、全国約 800 世帯による家電使用状況等に関するアンケート調査を基にして分析を実施した。具体的には全国から約 20,000 世帯の調査対象世帯から家族構成と居住地による全国分布と等価になるよう 800 世帯を抽出し、Web アンケートに回答して頂いた。

Web アンケートの設問項目は以下の通りである。

- ・ 家族構成：独り暮らしか、配偶者との 2 人暮らしか、子供の数、等
- ・ 居住区構成：お住まいの形態 (3 LDK, 1 K, 等)
- ・ 各居住区に設置されている家電機器：エアコン、テレビ、電気床暖房、等
- ・ 夏冬別の平日の家族構成員ごとの起床&就寝時間帯 (1 時間単位)
- ・ 夏冬別の平日の家族構成員ごとの外出&帰宅時間帯 (1 時間単位)
- ・ 夏冬別の平日の家族構成員ごとの入浴頻度：毎日、1 日おき、週 1 回以上、等)
- ・ 夏冬別の平日において下記の家電機器をよく利用する時間帯 (3 時間単位)
冷房装置としてのエアコン、除湿装置としてのエアコン、冷蔵庫の開け閉め、照明機器、テレビ、暖房装置としてのエアコン、電気床暖房、等。

以上の項目について設問分岐を含め約 160 設問からなる Web アンケートとなった。特に、エアコン、テレビ、照明機器、冷蔵庫、電気床暖房を調査対象にしたのは、これらの機器が家の中で消費する電力のトップ 10 に入り、かつこれらでの家庭の消費電力の約 70% を占めるからである [日本冷凍空調工業会調査]。

アンケート調査の実施期間は、2010 年 1 月 10 日～1 月 31 日であった。

3.2 アンケート分析結果

図 3 は、アンケート調査により抽出された家電機種ごとの使用パターンのひとつである。

図面上赤枠で示したように、家電機種の使用に関してばらつきの多き部分を抽出して、主成分分析を実施した。

図 2 はライフスタイルの形式知化モジュールによって、アンケートの回答の分析結果を示したものであり、全国の加入者世帯 (800 世帯) のライフスタイルにはどのような種類があり、またそれぞれがどのような電力消費パターンであるかを可視化した。

今回の解析では、季節は「夏」を対象とした。これは、800 名を対象とした Web アンケートにおいて、「冬」の暖房器具使用状況に個人差がほとんど認められなかったのに対し、「夏」のエアコン使用状況には個人差がかなり認められたためである。

対象とする家電機器は、使用状況に個人差が認められた「エアコン」「テレビ」「照明」の 3 機種とする。

Web アンケートでは、24 時間を 3 時間ごとに区切り、各時間帯における家電機器使用の有無を回答させた。すなわち、家電機種ごとに 8 つの時間帯における家電機器使用状況 (使用しているときは「1」、使用していないときには「0」) が 8 次元データとし

て得られる。この8次元データをエアコン,照明,テレビの順に連結した24次元のデータを,家電使用パターンカテゴリー(エコマップ)生成用入力データとした。

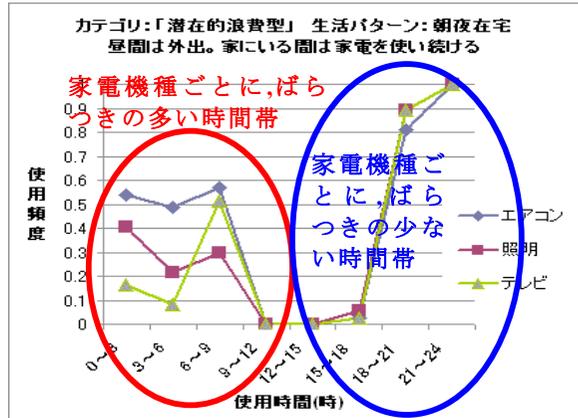


図3 アンケート調査による家電使用パターン(一部)

家電使用パターンカテゴリー(エコマップ)は,800人分の24次元データに対して主成分分析をかけ,その第1主成分(1日の家電機器使用量)を縦軸,第2主成分(家電機器使用ピーク時期(昼に多く使うのか,夜に多く使うのか))を横軸として,2次元平面上に可視化したものである。さらに,この2次元平面を12×12のグリッドに区切り,グリッドごとに,在宅時の平均家電機器使用量を「節約志向指数」として算出し,赤(浪費型)から青(節約型)で色分けして表示した。

節約志向指数の算出は以下の式で行なう,

$$ES = E_{ac} \times T_{ac} + E_{tv} \times T_{tv} + E_{il} \times T_{il}$$

- ES: 節約志向指数(EconomyScore)
- E_{ac} : エアコンの消費電力
- T_{ac} : エアコンの使用時間
- E_{tv} : テレビの消費電力
- T_{tv} : テレビの使用時間
- E_{il} : 証明の消費電力
- T_{il} : 照明の使用時間
- ES: 節約志向指数(EconomyScore)

ここで, E_i の値は,統計より最新エコ家電の消費電力をもとに, $E_{ac}=520W$, $E_{tv}=52W$ (液晶), $E_{il}=72W$ (蛍光灯4本分)とした。また,在宅時間は,Webアンケートのデータに誤入力が目立ったため(午前と午後を間違えるなど),今回はやむを得ず,3種の家電の使用時間帯の論理和で代用した。

節約志向指数を導入した意図は,以下のとおりである。

まず,家電使用パターンカテゴリー(エコマップ)の縦軸(第1主成分)は1日の家電機器使用量を表すものである。そのため,ほとんど家にいない人が,その短い在宅期間にエネルギーを浪費したとしても,1日総量で見ると大きな値にはならない。

たとえば1日中家にいる比較的節約型の人と,ほとんど家にいない浪費型の人とで,図2の第1主成分の値(1日の家電使用量)が同じくらいになってしまうことがある。しかしながら,節約傾向を考えると,両者の間には大きな差がある。後者は,生活パターンの変化に伴い(たとえば家にいる時間が長くなるような変化があると)1日の家電使用量が一気に増える可能性のある,潜在的な浪費型とみなすことができる。このような,第1主成分軸だけでは分離できない潜在的な浪費型を,明確に区別するため,節約志向指数を導入した。

なお,図2における第1主成分,第2主成分,節約志向指数,いずれの算出にも,3種の家電それぞれの8つの時間帯における家電使用状況(1か0かいずれかの値をとる)を表す24次元のデータ(エコマップ生成用入力データ)があればよい。

例えば,図6は,C型:潜在的な浪費型に属する世帯群の典型的な家電使用パターンである。昼間は家族構成員は外出しており,家電使用はほぼ無し,とみなしてよいが,夕方から朝にかけてはきわめて浪費傾向の強いことがわかる。

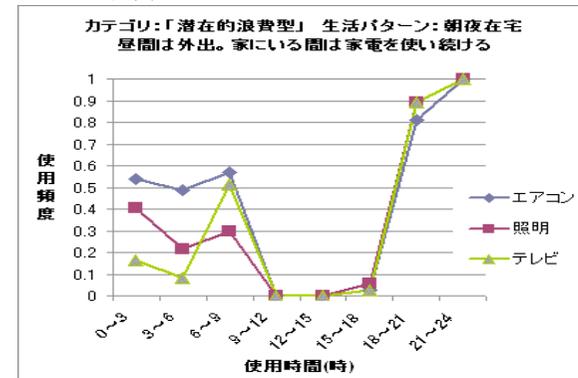


図6 C型:潜在的な浪費型の典型的な家電使用パターン

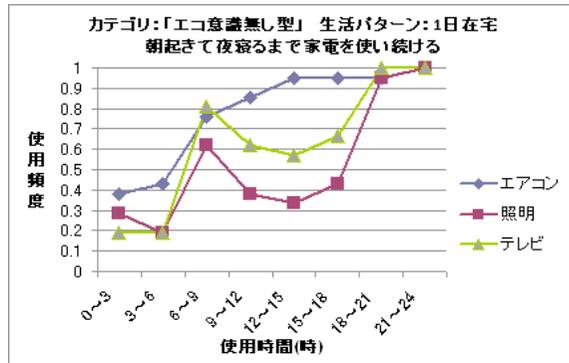


図7 A型:エコ意識無し型の典型的家電使用パターン

図7は、A型:エコ意識無し型に属する世帯群の典型的な家電使用パターンである。このグループは、1日中誰かが家に居り、常に様々な家電を使い続けているような、エコ意識の全くないグループとみなしてよい。

C型:潜在的浪費型は、昼間不在にする時間帯が存在するので、一見潜在的であるが、もしこの世帯で1日中人が家に居れば、A型:エコ意識無し型に遷移することはほぼ間違いないとみなしてよい。

図8は、I型:使い分けエコ型の典型的家電使用パターンに属する世帯群の典型的な家電使用パターンである。このグループは、昼間の最も室温の高い時間帯のみエアコンを使用し、夜はエアコンの使用を避け、テレビなどのエンターテインメント系にのみ電力を使用する典型的な使い分けエコ型の例である。

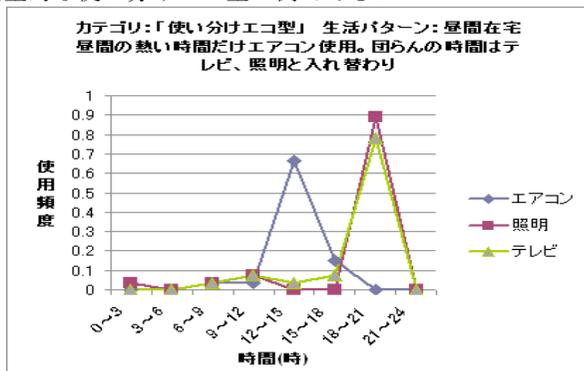


図8 I型:使い分けエコ型の典型的家電使用パターン

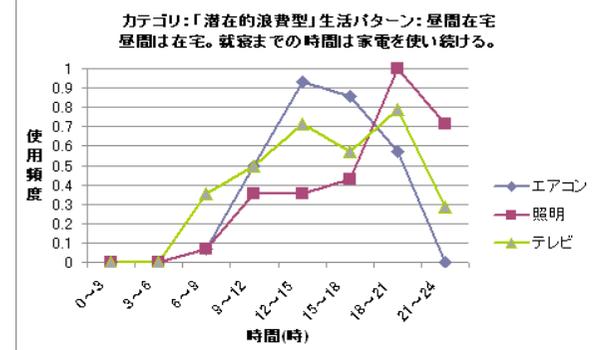


図10 E型:潜在的浪費型の典型的家電使用パターン

一方、図10は、E型:潜在的浪費型の典型的家電使用パターンに属する世帯群の典型的な家電使用パターンである。このグループは、I型とほぼ同じ「昼型」に属するグループであり、昼間起きている時間帯は電力使用量が大きい、就寝以後朝までの夜の電力使用量は比較的小さいグループである。

I型とE型は共に「昼型」生活パターンに属するグループであるが、I型のように昼と夜の電力の使い分けを行なわないと、I型はE型に遷移する可能性を秘めているとみなしてよい。

この分析結果を、ホームネットワーク向けサービス提供者に対して開示し、サービス提供者が、それぞれのライフスタイル(図中の世帯群)に合ったサービスを記述するための材料として使用する。たとえば、C型世帯がA型世帯に遷移したときに昼間のエアコンの温度設定をエコ寄りに自動設定するサービスを提供したり、その世帯に対して意識改革を促すメッセージングを行なうサービスを構築するなどが考えられる。また、各世帯に対してはこの図は「見える化」サービスの一種となり、自分が全国の加入者の中でどのような位置づけのライフスタイルに属するかを理解し、エコ生活に対する意識改革を促す材料になる。

4. 実証実験の実施

4.1 実験用デモンストレーションシステム

本節では、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)が開発したライフスタイル分析エンジンの有効性を示すために構築した、ライフスタイル分析デモンストレーションシステムについて述べる。

各世帯（加入者）において、夏の平日のある1日を想定して、被験者に1日の生活をロールプレイングゲーム（RPG）方式のインターフェースで入力してもらい、その世帯のライフスタイルが、「図2 ライフスタイルの形式知化による情報家電使用パターン」のどのライフスタイルグループに属するかを可視化するデモンストレーションシステムを構築した。また、よりエコ寄りの生活パターンに遷移するようサジェスションが表示されるようにデザインした。

被験者に夏の平日をイメージしてもらい、以下の手順で1日の生活をシミュレーションしてもらおう。

まず、「夏の暑い朝、あなたは6時に起床したとします。まず何をしますか？」という問いに対して、この被験者は、先ず「カーテンを開ける」と答えた。そうすると（図12 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面）のように画面上の室内が明るく表示されカーテンが開いている画面が表示される。

この被験者の場合、その後、エアコンを起動し、エアコンを一旦消してからリビングに移動する、という手順を取った。



図11 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

次に、図13のように、画面はリビングに移動して、リビングにおける行動手順を入力する。この被験者のケースでは、まずテレビをつけ、エアコンを起動し、新聞・雑誌を読んでから、仕事・学校に出かける、という手順を入力した。

図15は、帰宅後のリビングでの行動手順を入力する場面である。この被験者は、まずテレビをつけ、エアコンを起動し、新聞雑誌を読みながら、夜11時以降も起きている、を順次選択した。

画面は、図16のように寝室に移動し、就寝時に何をするかという質問に対して、被験者は「エアコンをつけたまま寝る」を選択した。

以上の生活シミュレーションの結果、この被験者は、図17が示すように「潜在的浪費型」に分類され、将来的に「浪費型」に遷移する危険性をサジェストしている。

次の画面（図14）では、およその帰宅時間を尋ねているが、この被験者の場合、夕方5時～8時までの間、と回答している。



図12 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

また、被験者は C 型：潜在的浪費型であることが、図 1 8 の画面左側のエコマップ上で白い点として表示されている。

右側は、C 型に属するグループ世帯の中での順位を示し、この被験者は 10 位であることが表示されている。この画面は、同じライフスタイルの世帯の中で順位を競わせ、エコ意識の向上を狙ったインターフェースである。

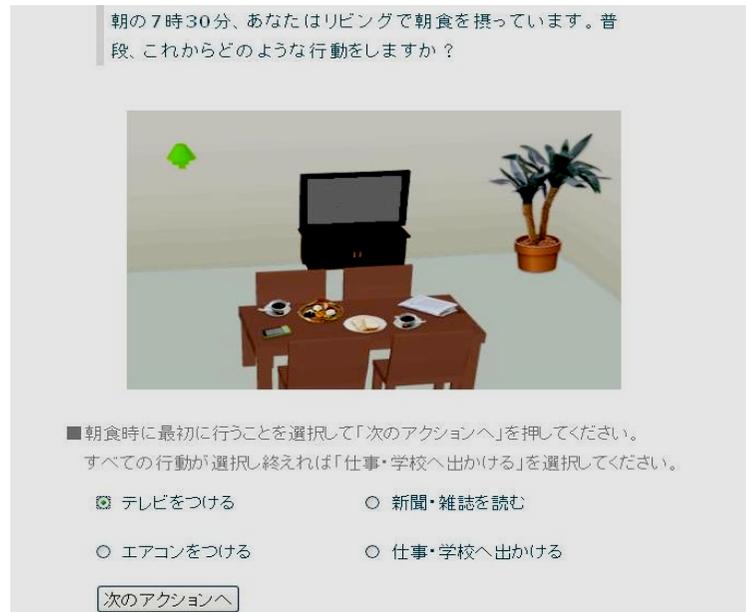


図 1 3 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

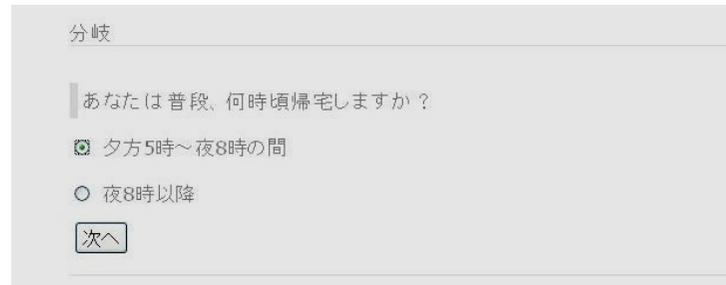


図 1 4 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

一番右側の数値は C 型グループの中でのこの被験者の偏差値を示しており、33 というこの被験者の偏差値は極めて浪費型に近いことを示している。

本節で述べたシミュレーションは 1 日の生活を RPG インターフェースで入力させたが、本来は自動的に加入者世帯群から収集されるデータによって自動分類するものである。

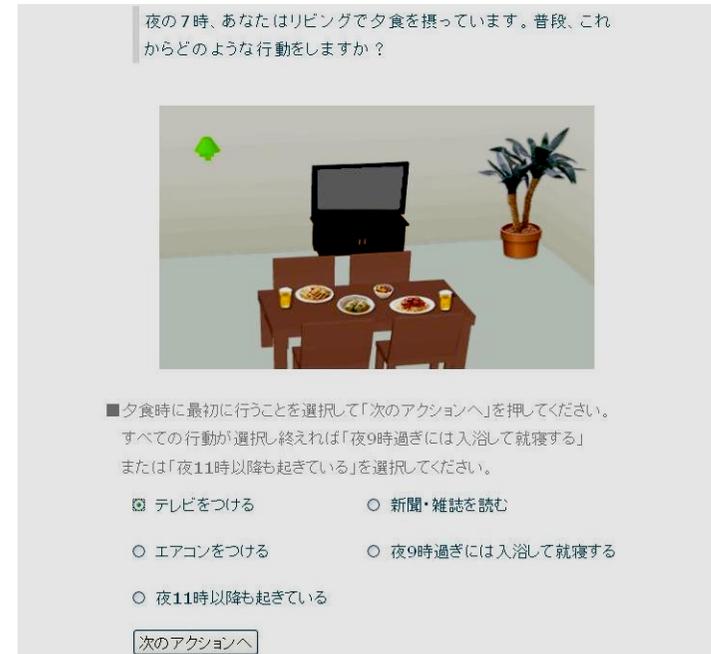


図 1 5 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

4.2 「次世代ホームネットワーク実証実験 2010」の実施状況と見学者の意見

2010年3月4日、石川ハイテク交流センターにおいて開催された「次世代ホームネットワーク実証実験 2010」に参加した。見学者の意見としては、

- ・技術的に極めて新しい
 - ・可視化手法がとても面白く、今までに無い「見える化」サービスが実現出来そう
 - ・分析結果は、サービス提供者にとっても、とても有用なデータでありこれまでになかった新しいサービスが出現する可能性を感じる
- などの好意的な意見が多かった。



図 1 6 デモンストレーションにおける生活シミュレーション画面

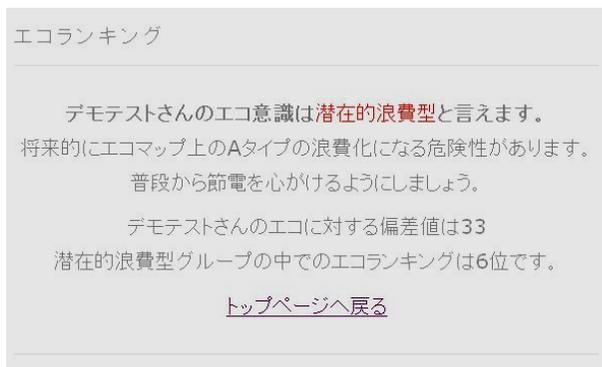


図 1 7 デモンストレーションにおける分析結果表示

5. おわりに

本研究では、ネットワークを介して収集する膨大な加入者世帯の家電使用状況から、

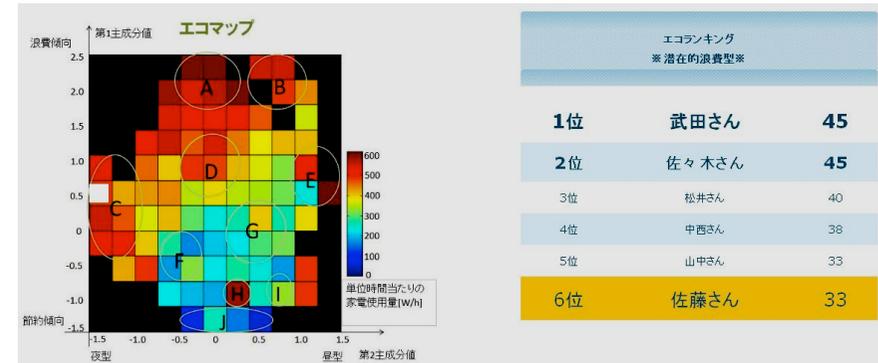


図 1 8 デモンストレーションにおける分析結果表示

日本全国のライフスタイルとそれらの分布を分析・可視化するライフスタイル分析エンジンを開発し、RPG インターフェースによって 1 日の生活をシミュレーションすることにより、その世帯がどのライフスタイルに属するかを可視化するデモンストレーションシステムを構築した。本研究によって開発された技術ならびにシステムは、ライフスタイルの分析により省エネにとどまらず、健康管理やユビキタス安心・安全、マルチメディア安心・安全、ユビキタス教養・娯楽、健康・長寿なヘルスケア、快適・ふれあいコミュニケーション、高度な介護サービス利用と負担の軽減、等への応用も考えられ、中間サービスプラットフォームの位置づけは今後きわめて重要となるであろう。
謝辞 本研究は、平成 2 1 年度総務省委託研究「消費エネルギー抑制ホームネットワーク技術の研究開発」の一環として実施されたものである。本研究開発の機会を頂いた総務省殿に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 石田建一,伊藤善朗,“IT 時代の計測・制御技術の動向 (4) HEMS による家電連動制御”, 空気調和・衛生工学,第 8 0 巻第 5 号,pp.53-61, 2006.
- 2) 山崎達也 (NICT), Jaewook Jung (NICT/Information and Comm. Univ.), Youngjae Kim・Minsoo Hahn (Information and Comm. Univ.), 豊村鉄男, Rui Teng (NICT), 丹康雄 (NICT/北陸先端大), 松山隆司 (NICT/京大), “家庭における電力センシングネットワークによるエネルギーマネジメント”, 信学技報, vol. 107, no. 430, EE2007-56, pp. 71-76, 2008
- 3) 山崎達也, “ゆかりプロジェクト—家庭ユビキタス環境でのネットワーク基盤—ユビキタスホームでの実証”, ITRC meet19 (<http://www.itrc.net/report/meet19/shiryo/yamazaki.pdf>), 2006.
- 4) “NTT, 家電へのリモートアクセスを動的に制御するホームゲートウェイ技術”, 日本電信電話株式会社報道資料, Internet Watch (<http://internet.watch.impress.co.jp/cda/news/2004/09/29/4782.html>),