ライフログデータを用いた利用者行動情報に基づく電化製品消費電力の可視化と予測

細澤　直人† 　高橋　慶多† 　本藤　祐樹†† 　富井　尚志††

† 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻　〒 240–8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7
†† 横浜国立大学大学院環境情報研究院　〒 240–8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7
E-mail: †{hosozawa-naoto-vm,takahashi-keita-yr}@ynu.jp, ††{hondo,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし　社会的な電力削減要求が高まる中，オフィスなどの業務部門においては，生産性を損なわず，なおかつ効果的な電力削減が求められている．しかし，現在の電力管理システムにおける電力可視化は，部屋単位や建物単位など大きな単位でしか集約できず，利用者個人の細かい状況などを考慮した情報を示すことができない．そこで本研究では，ウェアラブル端末から得られるライフログを用いて人・モノ・環境の状況を取得し，それを電化製品の消費電力ログに紐付けることで，電力使用時の状況をキーとした検索・集約により消費電力を可視化するシステムを構築した．また，消費電力ログとライフログを用いて，節電行動がどれほどの効果を望めるのか予測を行い，実際に検証を行った．

キーワード　ライフログ，消費電力可視化，電力予測，エネルギーマネジメント

1. はじめに

地球温暖化に対する懸念や震災の影響による電力の供給不足をきっかけに，社会的なエネルギー削減要求が増大している．中でも業務部門におけるエネルギー消費はこの 30 年で 2.8 倍に増加しており，日本のエネルギー消費全体のおよそ 20 %を占めている [1]．さらに業務部門におけるエネルギー消費のおよそ 4 分の 1 は事業所・ビル，学校によるものであり，これらの分野における電力削減が重要視されている．こうした分野における電力削減対策として，削減目標の設定や節電マニュアルの作成，電力管理システム (Building Energy Management System: BEMS) の導入などが行われている．BEMS では，電力データの取得，分析によって適切な電力削減方法を提示するサービスを多くの企業が提供しているほか，BEMS との連携を想定した消費電力の可視化に関する研究が行われている．

しかし，こうした分野における電力使用は生産性に直結しており，闇雲な電力削減は好ましくない．生産性を低下させずに効率的な電力削減を行う方法は，人・モノ・環境といったミクロな状況ごとに異なっているのが現実である．例えば，消し忘れの多い機器であれば使用方法を改善し，正しく使用しているにも関わらず消費電力の大きい機器であれば，より省電力な機器への置き換えによって電力削減をはかれば良い．これに対し，既存の電力削減対策や従来研究は消費電力量のみを可視化したものであり，また建物やフロアなどのマクロな範囲を対象としているため，細かな使用状況の違いを知ることが出来ないという問題点がある．

一方で，計算機の高性能化やセンシング技術の発達，ウェアラブル端末の普及などによりユビキタス環境が実現した [2]．これにより，ライフログのような個人単位の細かい状況や，環境の状況などを取得することが容易となった．

そこで本研究では，電力使用時の「人の状態」,「モノの状態」,「環境の状態」を状況として定義し，スマートタップ等で取得した消費電力ログに紐付けすることで，状況をキーとした検索が可能なデータベースを構築する．また，このデータベースを用いて状況別に集約した消費電力を分かりやすく可視化する情報提示システムを実装する．これにより，利用者はどの電化製品がどのような状況でどの程度電力を消費しているか定量的に知ることができ，生産性を損なわず，なおかつ効率的な電力削減を“納得して”行うことができるようになると考えられる．また本システムの応用例として，節電行動がどれほどの効果を望めるのかを予測する機能の実装を行う．先行研究として，我々はユビキタス技術を用いて取得される電力使用時の状況と組み合わせて消費電力を可視化するシステムを設計・実装し，SEE-Con と名付けた [3]．本論文では SEE-Con の全体像及び，ユーザに情報を提示する可視化システムの設計・実装について述べ，いくつかの有効な可視化事例と，実験による有用性の評価を行う．

2. 研究背景

2.1 関連研究

過去 30 年の日本のエネルギー消費を振り返ると，工場などの産業部門におけるエネルギー消費は，生産活動が向上しているにも関わらず大きな増加は見られていない．それに対し，運輸部門，家庭部門，業務部門におけるエネルギー消費は増加を続けており，各分野においてエネルギー消費削減のための対策が取られている．

運輸部門においては電気自動車 (Electric Vehicle: EV) に対する期待が高まっており，普及した際の省エネ効果の検証や [4]，EV の利活用による新たなスマートシティモデルの実証実験も行われている [5]．また，EV に搭載されたバッテリーを利用することで電力網の安定化をはかる V2G(Vehicle to Grid) という技術も注目を浴びている [6] [7]．

家庭部門においては，電気機器をネットワーク経由で制御することで省エネルギー化をはかる HEMS(Home Energy Management System) と，それと連携した消費電力の可視化 [8] が注目されている．例えば，Nakamura ら [9] は「ヒトによる省エネ」を重視し，彼らが提案するホームネットワークシステム CS27-HNS を用いて消費電力の可視化を行い，利用者の自発的な省エネを支援する研究を行っている．また，小松ら [10] は米国 Opower 社の取り組みを紹介し，エネルギーの利用状況を見せることで各家庭の省エネ行動を促進できることを行動科学の観点から述べている．

業務部門においても消費電力の可視化は有効な電力削減手段とされている．ただし，業務部門における電力使用は生産活動に直結するため，生産性への影響を考慮した可視化が必要とされている．そのため，BEMS による電力データの取得・分析によって適切な電力削減方法を提示するサービスを多くの企業が提供しているほか [11]，BEMS との連携を想定した消費電力の可視化に関する研究が行われている．例えば松山ら [12] は，電力ネットワークと情報ネットワークの統合による「エネルギーの情報化」を提唱し，家庭やオフィスといった小さな電力網における電力マネジメントの重要性を述べている．江崎ら [13] は「東大グリーン ICT プロジェクト」を立ち上げ，東京大学工学部 2 号棟をフィールドとした電力使用状況の可視化に関する実証実験を行い，30 %以上の削減効果を挙げている．繁田ら [14] も同様に，大阪大学サイバーメディアセンターにおけるフロアごとの消費電力を可視化する研究を行った．Doukas ら [15] は電気機器の置き換えによるコストと利益を考慮した行動決定支援システムの提案・実装を行った．また震災以降，エネルギー消費の積算値を削減するという従来の省エネ以外に，ピーク時の最大値をいかに低減するかという省エネも必要とされるようになった．加藤ら [16] はこの点に着目し，利用者が事前に設定したルールに基づいて，消費電力の積算値と瞬間値の両方を削減するための電力制御システムについて研究を行っている．さらに，生産性に影響を与えずに電力削減を行う一般的な方法について記述した節電マニュアル [17] の作成・利用が多くの事業所で行われている．

また，すべての部門を横断する事業として「Japan Smart City」が横浜市．豊田市，けいはんな，北九州市の 4 都市で行われており，各都市の特徴を活かしたスマートシティプロジェクトが広がっている [18].

2.2 問題設定

生産性を低下させず，なおかつ効率的な電力削減を行う方法は，人・モノ・環境といったミクロな状況ごとに異なっているのが実状である．例えば，ある環境では効果が薄い電力削減方法であっても，違う環境においては大きな効果が得られる可能性がある．また，同じ電化製品であっても，使用状況の違いによって電力削減の方法が異なる場合がある．また，効率的な電力削減を持続していくためには，削減効果があらわれた際に，それが誰のどのような行動によって得られたものであるか示される必要がある．これに対し既存の手法や従来研究は，建物やフロアといった大きな範囲を考慮したものか，一部の電化製品などの細かな部分のみを考慮したものであり，ミクロな状況による効果の違いをマクロに定量化する研究は行われていない．

そこで我々は，ライフログから得られる人・モノ・環境などの状況と電力データを組み合わせることで，使用時の状況別に消費電力を評価・定量化できるシステムの構築を目指す．また，提案手法の応用として次の 2 点が実現されることを目指す．

- 状況に基づく適切な消費電力診断
- 意思決定のための定量的な改善提案

3. SEE-Con

本節では，我々が先行研究として行っている SEE-Con について説明する．

3.1 想定環境

本研究では，OA 機器等を含む多数の電化製品を使用するオフィス環境を想定する．これは，オフィス環境では電力は仕事に使われるという明確な理由があり，下記で述べる状況ごとに仕事に使われた電力かそうでないかを容易に区別できるためである．このような環境では，スマートタップなどの計測機器 [19] を導入することで電化製品ごとの消費電力データを取得することが可能である．また，温度計や照度計などの簡易なセンサ類や RFID・NFC などの技術シーズを用いることで，利用者の行動や電化製品の状態，環境の状態といった状況をデータとして取得することができる．前述したセンサや技術シーズは今後ウェアラブル端末に組み込まれ，将来的にはより容易に実世界の状況を取得可能になると予想される．

3.2 SEE-Con の概要

電力使用時の「人の状態」,「モノの状態」,「環境の状態」といった状況を消費電力ログに紐付けするという方針に対し，以下のような手法で解決を試みる．

（1） 電化製品の消費電力ログを取得する

（2） ユビキタス技術によって電力使用時の状況を取得する

（3） 消費電力ログと状況ログを蓄積し，使用時の状況をキーとした検索が可能なデータベースを構築する

（4） 電力使用時の状況を考慮した消費電力診断を行う

（5） 状況に応じて個々の利用者に適切な改善提案を行う

（6） 利用者の行動によって削減できた電力量を求め、節電効果として提示する

以上を踏まえ，システムの全体像を図 1 に示す．データベースには消費電力ログと状況ログが蓄積される．消費電力ログはスマートタップによって計測される電力を一定間隔でサンプリングし，その結果得られる「いつ・どの電化製品が・どれくらいの電力量を消費したか」というデータである．状況ログは本研究における「人の状態」「モノの状態」「環境の状態」と定義した状態の時系列データである．これは，近年普及し始めているウェアラブル端末や小型センサによって取得されるセンサデータを「いつ・どのセンサ（人・モノ・環境）が・どのような状態を計測したか」として蓄積する．我々はこのシステムを SEE-Con(a visualizing System for Electric Energy CONsumption with CONtext: 電力消費と状況が「見える」システム) と名付けた．また，利用者に提示する可視化システム

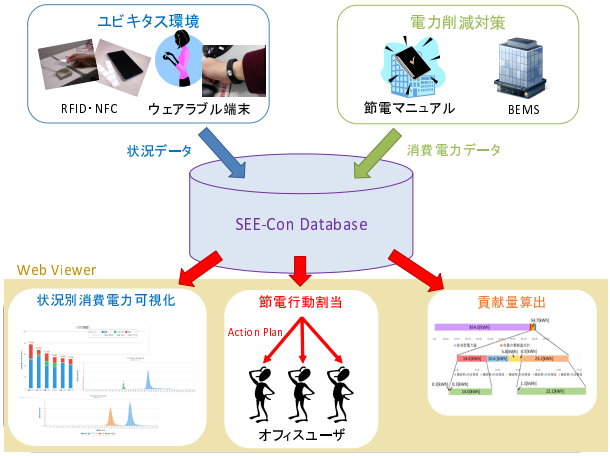

図 1　SEE-Con の全体像

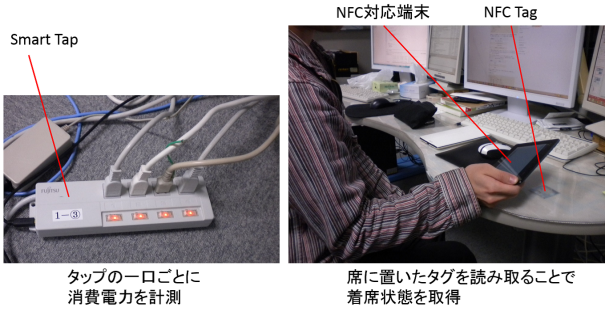

図 2　データ取得の例

を SEE-ConViewer と名付けた．

3.3　データ取得

SEE-Con において主に取得・蓄積するデータは電化製品の「消費電力ログ」と，電力使用時の「状況ログ」の 2 つである．データ取得の例を図 2 に示す．以下，それぞれについて詳述する．

- 消費電力ログ

電化製品は時間の経過に応じて電力を消費する．その消費電力はスマートタップやそれに類する機器によって計測可能であり，電化製品と計測機器の対応を自動で取る研究も行われている．SEE-Con では，計測される電力を一定間隔でサンプリングし，その結果得られる「いつ・どの電化製品が・どれくらいの電力量を消費したか」というデータを消費電力ログとして取得・蓄積する．実装環境においては表 1 にある電化製品について消費電力ログを取得した．

- 状況ログ

SEE-Con では「人の状態」「モノの状態」「環境の状態」の時系列データを状況と定義する．例えばオフィスユーザの在室状態や，電化製品の電源状態，室内の温度状態や社会的な電力使用率などである．こうした状態は時間とともに変化し，センサによって計測することが可能である．したがって「いつ・どのセンサ（人・モノ・環境）が・どのような状態を計測したか」というデータを状況ログと定義し，取得・蓄積を行う．しかし，どのような状況が存在し，それぞれの状況がどの程度の重要性を持つかはオフィスごとに異なる．よってどのような状況をど

表 1　実装環境の電化製品一覧

分類	電化製品 (機種，使用時平均消費電力)	個数
換気扇	換気扇 (強・弱設定可能，熱交換換気・普通換気設定可能，400W)	2ヶ所
サーバ	研究室用サーバ (自作，75W～83W)	5 台
	データベースサーバ (Poweredge T410，100W)	1 台
照明	天井蛍光灯 (32W*2 本*3ヶ所，192W)	4 個
	天井蛍光灯 (32W*4 本*3ヶ所，320W)	2 個
個人デスク	PC1 台，モニタ 2 台，卓上蛍光灯 0～1 台 (PC 自作，モニタ iiyama ProLite E2278HD など，合計 104W～221W)	16 個
給湯･調理器具	電子レンジ (三菱電機ホーム機器 RO-S21，678W)	1 台
	オーブントースタ (ドウシシャ DOT-801，840W)	1 台
	冷蔵庫 (東芝 GR-R12T，71W)	1 台
	電気ケトル (t-fal ジャスティン 1.2L，1250W)	1 台
	コーヒーメーカ (メリタ JCM-561，843W)	1 台
ミーティング用機器	プロジェクタ (EPSON EMP-1825，291W)	1 台
	ノート PC(Latitude E6510 など，25W～35W)	6 台
空調	エアコン (ガス式，0W)	2ヶ所

表 2　状態と取得方法

状態	説明
ユーザの在室	RFID・NFC タグとそれを読み取ることのできるリーダを用いる
空調の設定	タッチパネル操作による手動入力
換気扇の設定	タッチパネル操作による手動入力
冷蔵庫の設定	タッチパネル操作による手動入力
PC の設定	● タッチパネル操作による手動入力 ● 消費電力から判断 ● RFID・NFC タグとそれを読み取ることのできるリーダを用いる
室内温度	温度湿度計
室内湿度	温度湿度計
外気温	気象庁 Web ページとのマッシュアップ
電力使用率	東京電力でんき予報とのマッシュアップ

のような手段で取得すべきかを一般的に定めるのは難しく，オフィスごとに選定する必要がある．SEE-Con では，取得すべき状況の選定をオフィスにおける電力使用管理者が行うことを想定する．電力使用管理者とは，オフィスにおける生産性の維持・向上と電力削減の兼ね合いを考える責務がある者のことを指す．電力使用管理者は，節電対策マニュアルの定量的な評価を目的とし，そのために取得すべき状況の選定を行うものとする．実装環境において取得する状態とその取得方法について表 2 に示す．

3.4　SEE-Con データベース

本節では，消費電力ログと状況ログを蓄積し，検索によって状況別に消費電力を定量化することが可能なデータベースについて述べる．

図 3 はある 1 日のオフィスユーザ A の行動変化と PC の状態変化である．ユーザ A は 9 時に仕事場に着き，自分の席のデスク A で PC を ON にして仕事を始めた．その後 12 時に，昼食に行くために席を離れたが，このとき PC を OFF にすることを忘れてしまった．13 時に昼食から帰ってきて自分の席に戻り，再び仕事を始めた．そして，20 時に PC を OFF にして帰

宅した．この中で電力削減行動を行うことを考える．

3.1 節で述べたように，オフィス環境における消費電力は生産性に直結している．したがって，仕事に使用されなかった無駄な電力量を削減する，または生産性を落とさずに電力削減行動をすることが望ましい．例えば，図 3 の 12 時〜13 時の PC の電力量は，離席時に PC を OFF にし忘れたため無駄に使用された電力量であり削減すべきである．一方，9 時〜12 時，13 時〜20 時の PC の電力量は仕事に使用されたものであり，生産性を落とさず削減するべきである．この例から分かるように，最適な電力削減行動は「いつ (When)，誰が (Who)，どの電化製品を (What)，どこで (Where)，どのような理由で (Why)，どれほどの電力量で使用したか (How)」(5W1H) によって異なる．そこで，5W1H が検索可能なデータベースの設計・実装を行った．そのデータベースのインスタンス図を図 4 [21] に示す．

例えば,「あるユーザが自分の PC を仕事のために使用した電力量」を検索したい場合は,「ユーザ A が自分の PC で仕事をしていた時点集合」を検索する.「仕事をしている」という状態は時間や場所によって異なるが，ここでは「ユーザが自分の席に座っている」，かつ「そのユーザの PC が ON」の状態のときは仕事をしているとみなす．したがって,「ユーザ A が自分の PC で仕事をしていた時点集合」は,「ユーザ A がデスク A に着席中」という状態と「ユーザ A の PC が ON」という状態の双方とリレーションを持つ時点 (図 4 の赤破線) である．そして，その時点と「ユーザ A の PC」のリレーションである電力ログを検索する (図 4 の青破線)．最後に，この電力ログの電力を積算することで「ユーザ A が自分の PC を仕事のために使用した電力量」を導出することが可能である．

ここで，消費電力ログと状況ログは，それぞれ絶対時間の時点集合を基準として時間的粒度を揃えて蓄積を行う．時間粒度の考え方は様々あるが，消費電力の問題においては，ミクロな瞬時値 [W] とマクロな積算値 [kWh] のギャップが大きい．ゆえにマクロ量の精度を考慮した場合，あまり細かい時間粒度は必要とされない．一方，時間粒度を細かくしすぎると，データ量が爆発的に増加しデータ処理を困難とするおそれがある．そこで SEE-Con では，最も単純な方法として，時間粒度を絶対時間に同期させた固定長とする．具体的には 1 分単位での消費電力量やイベント検出をデータの最小単位とすることにした．

実装したデータベースのスキーマ図を図 5 に示す．これらのテーブル群は電力データに関するテーブル群 (赤枠)，状況データに関するテーブル群 (橙枠)，センサの生データを蓄積するテーブル群 (青枠) に大別される．また，図の赤線で囲まれた PowerLog テーブルおよび SituationLog テーブルが，それぞれ正規化された消費電力ログおよび状況ログを蓄積するテーブルである．情報提示システムによる検索は主にこの 2 つのテーブルに対して行われる．

約 2 年間のデータ取得を行った結果，データ容量は PowerLog テーブルがおよそ 1.9GB，SituationLog テーブルがおよそ 0.3GB であり，データベース全体で 2.5GB 程度であった．

3.5 節電効果の導出

SEE-Con における節電効果を「ある節電行動によって変化した電力量」と定義した．パソコンのディスプレイの輝度を例に説明すると，輝度を変える前の電力量と変えた後の電力量を比較し，その差異が節電効果となる．しかし，電力量は時間に依存しており一概に変化の前と後を比較することができない．

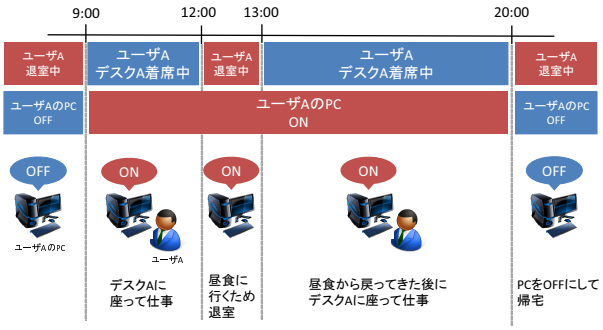

図 3　ある 1 日のオフィスユーザの行動変化と PC の状態変化

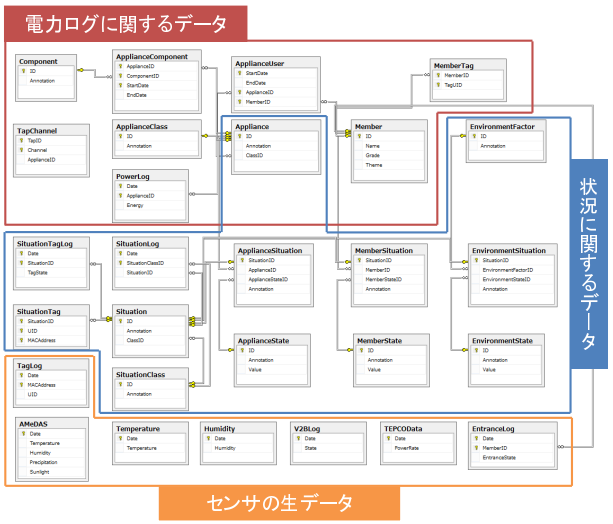

図 5　SEE-Con データベーススキーマ

そこで我々は NEEDAS（Normalized Electric Energy Distribution per Appliance and State：単位時間に正規化された電化製品・状態ごとの電力量分布）を用いて期間に依存しない節電効果を導出する手法を提案した [21]．NEEDAS とは，横軸に瞬間電力 [W]，縦軸にその瞬間電力計測時に消費した電力量の合計 [Wh] をプロットした電力量分布を，単位時間当たりに正規化 [Wh/min] したグラフである．NEEDAS の一例を図 6 に示す．NEEDAS の特徴として以下のものが挙げられる．

（1） 縦軸の電力量の合計，すなわちグラフの面積が単位時間あたりの総電力量となる

（2） 電化製品状況ごとに色分けが可能であり，どのような状況でどれほどの電力量が消費されたか直観的に把握できる

（3） 利用者の状況ごとに色分けが可能であり，利用者がどのような状況下でどのような使い方をするのかといった傾向を示すことができる

（4） 正規化を行っているので異なる期間の NEEDAS との比較が可能である

節電行動を行う前の NEEDAS と後の NEEDAS を比較することで任意の期間の節電効果を導出できる．

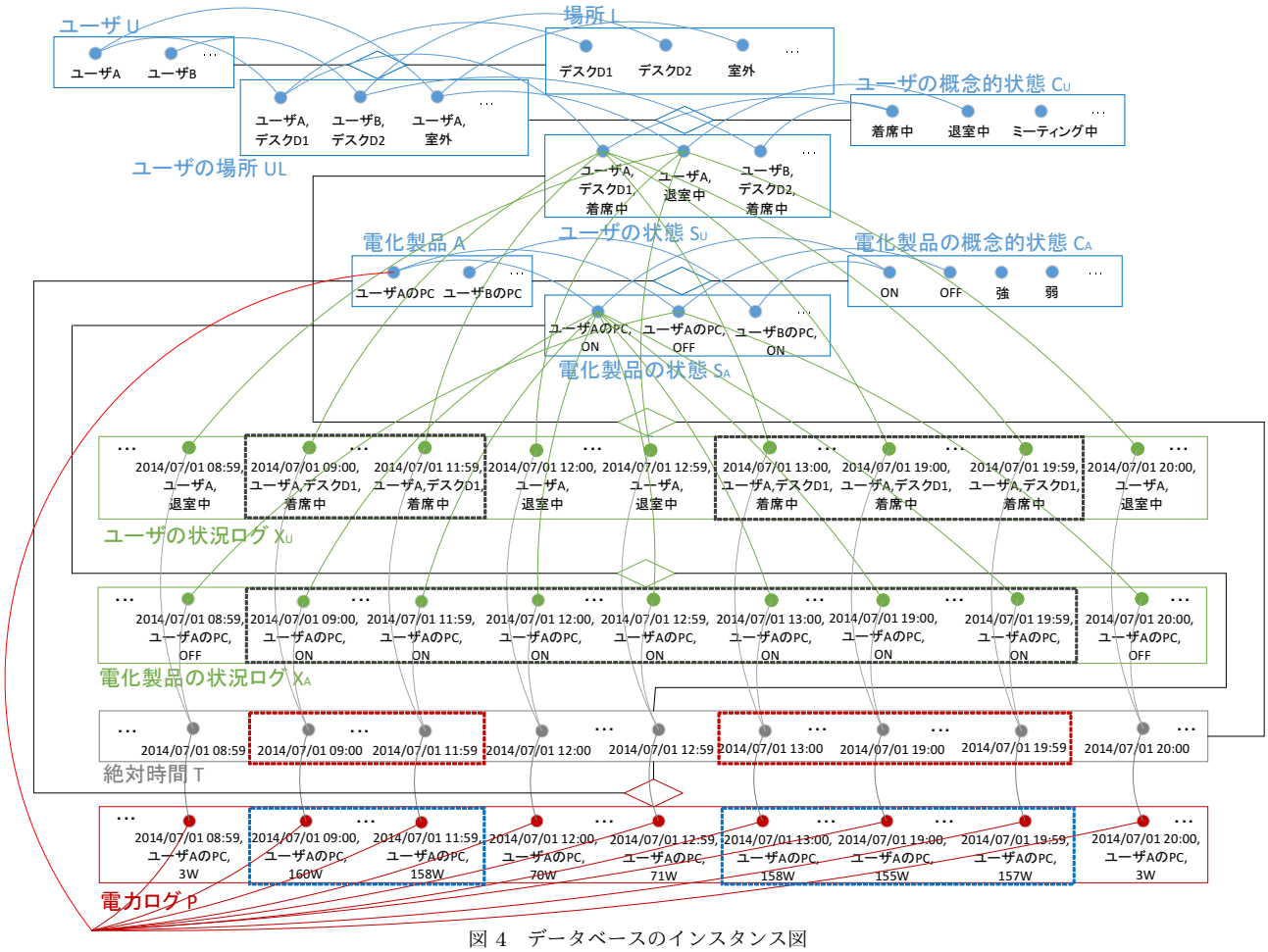

図 4　データベースのインスタンス図

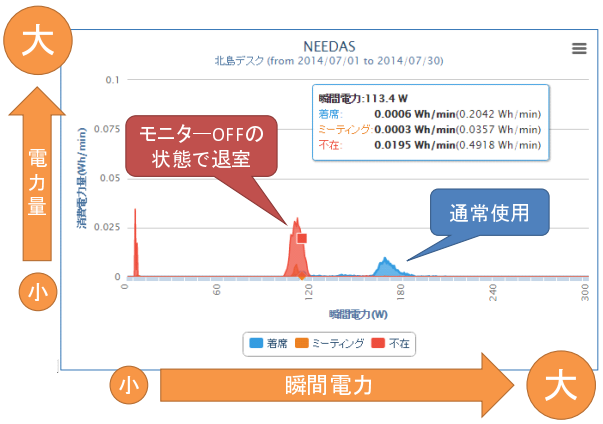

図 6　NEEDAS の検索例

4.　SEE-ConViewer の設計・実装

4.1　SEE-ConViewer の設計方針

SEE-ConViewer の最大の目的は，利用者が納得して節電を行うことである．そのために，以下の 2 つの設計方針に従って設計を行った．

- 行動の動機付け

環境配慮行動に関する理論 [8] によれば，環境に配慮した行動を起こさせる要因は以下の 4 つである．

要因 1 態度: 対象行動に対する自分の好み

要因 2 道徳的規範: 個人が正しいと思っている内的な規則

要因 3 主観的規範: 自分にとって重要な人からの一種の圧力

要因 4 行動制御感: 対象行動が実行できそうか否か

このうち，態度 (要因 1) および道徳的規範 (要因 2) については，利用者個人の嗜好や信念であり，直接的に働きかけるのは難しい．主観的規範 (要因 3) に対しては，同じ環境を利用している他者の節電努力を提示したり，その他者と自身との比較を見せることによって働きかけることが可能である．行動制御感 (要因 4) に対しては，どのような電力削減行動をするとどの程度効果があるのか，またその行動をするのにかかる手間はどれくらいかといった情報を定量的に示すことが重要である．

ゆえに，個人への動機づけと行動評価に寄与する情報を提示することを SEE-ConViewer の目標とする．特に，要因 4 に該当する情報を実データに基づいて定量的に提示を行う．

- 電力の色分け

3.1 節で述べたように，オフィス環境において電力は仕事に使用されるという明確な理由が存在するため，電力が無駄であるか有効であるか区別できる．個人に配られているデスクトップパソコンを例に取ると，利用者がパソコンの前に座って作業をしているかという状況が取得できると，そのパソコンの電力の色分けをすることができる．そこで，ライフログやセンサデータから得られた状況を用いて電力を色分けすることで，過去の電化製品の状態や，利用者の使い方などを定量的に提示

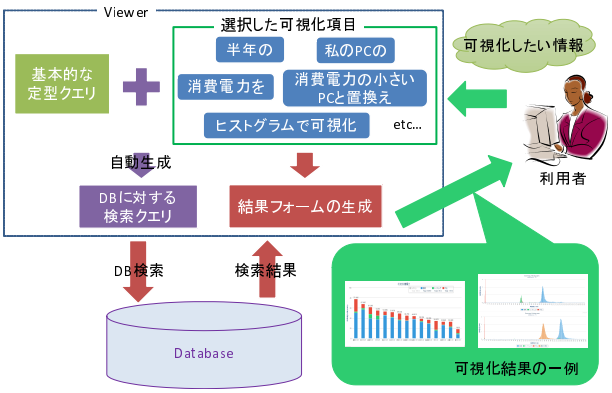

図 7　SEE-ConViewer の概要

する．

4.2　SEE-ConViewer の実装手法

SEE-ConViewer は誰もが簡単にデータベースに対して検索を行うことができ，それが多様な環境下で実現されることが望ましい．そこで，パソコンや携帯端末で閲覧が可能な Web ブラウザ上で動作するシステムを実装した．システムの概要を図 7 に示す．実装の際はデータベースとの連携の容易さから HTML および ASP.NET を用い，グラフの描画に Highcharts [20] を用いた．

4.3　SEE-ConViewer の基本的な機能

図 8 に SEE-ConViewer のメイン画面を示す．画面上部にメニューバーを配置し，メニューバーより検索画面に遷移することができる．メニューバーの下にはダッシュボードを配置した．これにより，様々なグラフを一覧で見ることができ，リアルタイムで変化するようなデータも確認することができる．

メニューバーより遷移できる検索画面は以下のようなものがある．

- **NEEDAS**

3.5 節で述べた NEEDAS を用いて節電効果を検索することができる．図 9 に実装した検索画面を示す．NEEDAS は比較して使うことが多いため，1 画面に 2 つ表示できるように実装した．また，画面右のカラムでは状況を選択し，期間を設定することで節電効果を導出することができる．

- **時系列表示**

時系列表示とは，グラフの横軸に時刻をプロットし，縦軸に電化製品の消費電力量 [Wh] をプロットしたものである．図 10 に時系列表示の一例を示す．電力量分布は期間をまとめて 1 つにしてしまうのに対し，時系列表示ではある時点で起こった事象を細かくみることができる．電力量分布と同様に状況ごとに色分けが可能であり，複数の電化製品をまとめて表示することも可能である．

- **散布図**

散布図とは，横軸にある一定期間における利用者の在室時間をプロットし，縦軸に電化製品の消費電力量 [Wh] をプロットし，複数の電化製品を色分けして表示しているものである．散布図の一例を図 11 に示す．散布図では，電力量分布のように個別の電化製品を細かく検討することはできないが，環境内全

図 8　SEE-ConViewer のメイン画面

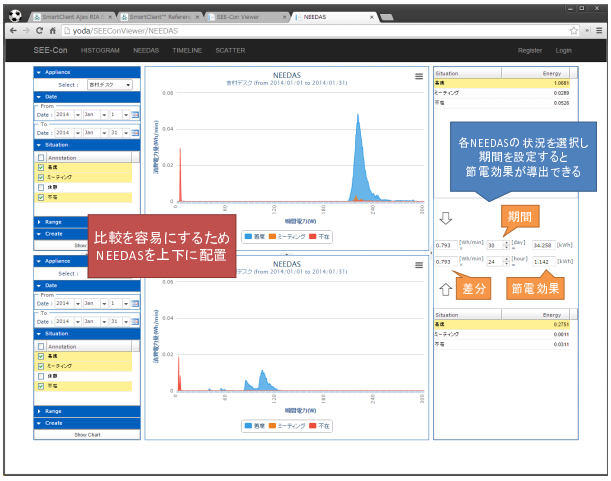

図 9　NEEDAS の検索画面

部の電化製品といった大きな集約単位での検討が可能である．また，全体の傾向を見ることができるので，消し忘れであったり，消費電力が大きいものといった全体の中での特異点を探すことができる．

5.　可視化の実例

本章では SEE-ConViewer を用いて得られた可視化例について診断と改善という 2 つの段階で説明する．1 つ目は無駄な電力が多い電化製品を使い方を改めることで電力削減がなされた例であり，2 つ目は無駄な電力は少ないが消費電力が大きかったため，高効率のものに置き換えることで電力削減がなされた例である．

5.1　消費電力の診断

- **無駄な電力が多い電化製品**

図 12 の上段は，環境内のあるパソコン PC1 の NEEDAS を着席 (青色)，ミーティング (橙色)，不在 (赤色) という状態に色分けしたものである．この NEEDAS の傾向として，不在時の赤い分布が多く現れていることがわかる．実際に不在時の消費電力量はこのパソコンの消費電力量全体のうち 44%を占めていた．利用者にヒアリングしたところ退室時における消し忘れが主な原因であった．よってこの電化製品に対しては利用者

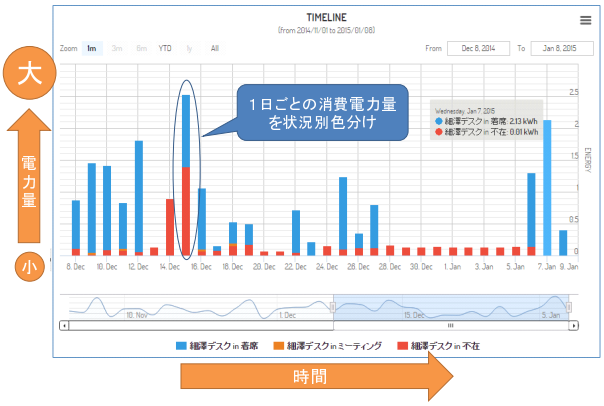

図 10　時系列表示の検索例

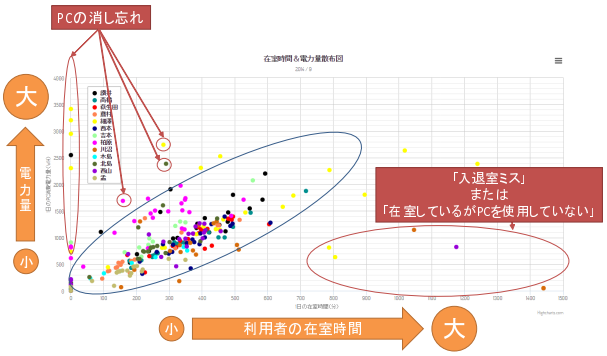

図 11　散布図の検索例

の使い方を改めることで電力削減が可能であると診断される．NEEDAS を用いて計算したところ，使い方を改善することで削減される電力量は，1ヶ月あたり約 13kWh であると推定された．

- 無駄な電力が少ない電化製品

図 12 の下段は，別のパソコン PC2 を同様に NEEDAS で表したものである．PC1 と比較すると，ほとんど不在時の赤い分布が見られず，消し忘れのない正しい使い方をしていることがわかる．しかし，着席時の分布を比べてみると，PC2 は大きく右側にずれていることがわかる．これは PC2 が PC1 に比べ大きな電力を消費していることを表している．したがって，PC2 の電力削減を行う場合には，使用方法の改善を行うのではなく，より高効率な PC に置き換えることが望ましいと診断できる．

実際に NEEDAS を用いて置き換えた場合の削減電力量の推定を行う．実験環境内において最も効率の良い機器に置き換えた場合は，1ヶ月間で約 34kWh と推測された．

5.2　定量的な改善

5.1 節で得られた診断結果を用いて，使い方や置き換えなどの改善を行った．以下にそれぞれの結果を示す．

- 無駄な電力が多い電化製品

図 13 の上段が PC1 の使い方を改善した 1ヶ月間の結果の NEEDAS である．不在時の赤い分布はほとんどなくなり，無駄な電力を削減することができた．消し忘れの多かった月の消費電力量を比べると改善前は全体で 37kWh，不在時が 22kWh に対し，改善後は全体で 26kWh，不在時が 2kWh となり大きな改善が見られた．

- 無駄な電力が少ない電化製品

図 13 の下段が PC2 を高効率のパソコンに置き換えた結果の NEEDAS である．置き換え前と比べ青い分布が左に移動しており，しっかりと電力削減がなされている．置き換え前と置き換え後を 1ヶ月間で比較すると 50kWh から 27kWh となりおよそ半分ほど削減がなされた．

6.　ま　と　め

本論文では，SEE-Con システムにおける可視化システムの設計・実装について述べた．その結果，いくつかの有効な可視化例を得ることができ，システムの有用性の一部を確認した．今後の課題としては以下のことが挙げられる．

- 外部環境における実験

本研究では実装環境上での運用による可視化結果を用いたが，SEE-Con の有用性をより詳細に評価するためには外部環境における実験が必要である．また，導入にかかるコストの検討や初期登録の負担の軽減など，より一般的なシステムにするための課題も存在する．

- **SEE-ConViewer の有用性の検討**

本論文では有用な可視化内容について述べ，定量的に電力削減を示した．しかし，システム全体の有用性をのべることはできたが，SEE-ConViewer を見たことによる結果かどうかを示せていない．そこで，SEE-ConViewer を見せるグループと見せないグループで電力量に差異があるか等の実験を行う必要がある．

- 提示内容の検討

本論文では NEEDAS のみを用いて可視化結果の検討を行ったが，NEEDAS 以外での検討方法も用いる必要がある．NEEDAS は 1 つを細かく検討することは得意だが，環境内全体といった単位の比較を苦手としている．そこで，4.3 節であげた以外の提示方法を検討する必要がある．

- システムの自動化

電化製品の数が多くなればなるほど，1 つ 1 つを手動で確認していくことが大変となる．そこで，最適な電力削減方法を自動的に提示するシステムを実装する必要がある．例えば，環境内で新しい PC を買うのではなく，今あるものを入れ替えるだけで電力削減が可能な組み合わせを提示してくれるシステムなどが考えられる．

- ライフサイクルアセスメントの観点

現状の節電提案においては，実装環境内のエネルギーでのみ判断しており，ライフサイクルアセスメントの観点から評価ができていない．代替製品や新製品の環境負荷に対しても考慮する必要がある．

謝辞　本研究の一部は横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究プロジェクトによる．また，一部については JSPS 科研費 (課題番号 26330358) の支援も受けた．

文　　献

[1]　経済産業省資源エネルギー庁，“「平成 25 年度エネル

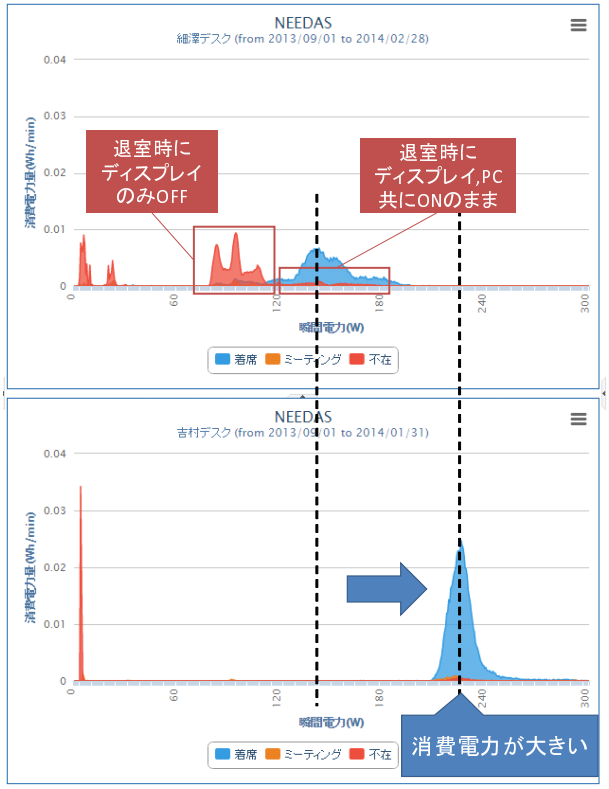

図 12　PC1 と PC2 の NEEDAS

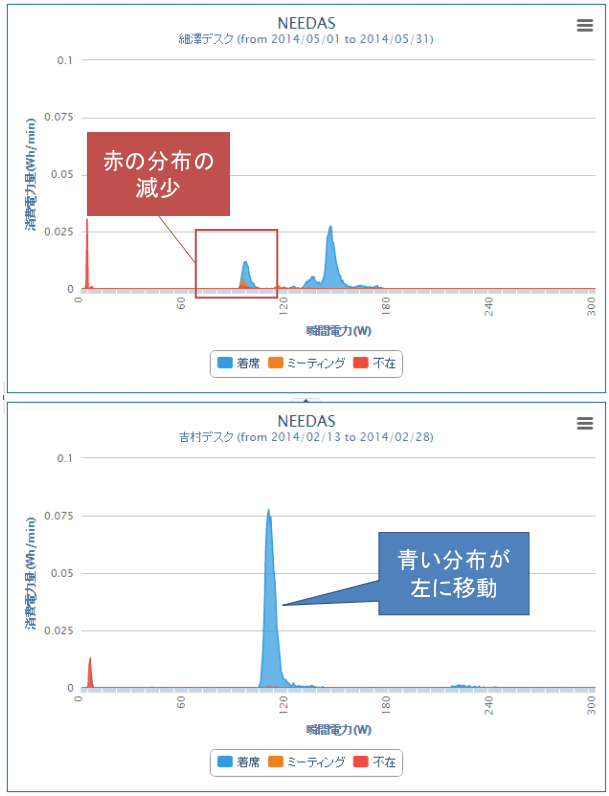

図 13　PC1 と PC2 の改善後の NEEDAS

ギーに関する年次報告」（エネルギー白書 2014） HTML 版”, http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014html/ (2015/01/07 アクセス)

[2] 徳田 英幸, 米澤 拓郎, 伊藤 昌毅, “センサネットワークによるユビキタスサービス—モノのスマート化と環境の見える化—”, 人工知能学会誌, Vol.23, No.4, pp.447–452, 2008.

[3] 藤原国久, 高橋慶多, 細澤直人, 高橋佳久, 西本直樹, 富井尚志, 本藤祐樹, “電力使用時の多様な状況組み合わせが可能な DB の構築と情報提示による評価”, DEIM Forum 2014 E1-1

[4] 堀 雅夫, 金田 武司, “HEV, PHEV 導入によるエネルギー需給変化と CO2 削減の効果”, 自動車技術会論文集, Vol.40, No.4, pp.1101-1106, 2009.

[5] International Energy Agency, “EV CITY CASEBOOK”, 2012.

[6] W. Kempton, J.Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, Jounal of Power Sources, Vol.144, Issue.1, pp.268–279, 2005.

[7] Takashi Tomii, Shintaro Hagimoto, Naoki Fueda, Toru Deguchi, Makoto Idenawa, Takuya Hayashi, “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.

[8] 本藤 祐樹, “見える化がもたらす家庭における省エネの可能性—三つの見える化—”, 日本エネルギー学会誌, Vol.91, No.7, pp.563–569, 2012.

[9] Masahide Nakamura, Akihiro Tanaka, Hiroshi Igaki, Haruaki Tamada, Ken-ichi Matsumoto, “Constructing Home Network Systems and Integrated Services Using Legacy Home Appliances and Web Services”, International Journal of Web Services Research, Vol.5, No.1, pp.81–97, 2008.

[10] 小松 秀徳, 西尾 健一郎, “省エネルギー・節電促進策のための情報提供における「ナッジ」の活用—米国における家庭向けエネルギーレポートの事例—”, 電力中央研究所報告, 調査報告: Y12035, 2013.

[11] 東京都環境局, “オフィスビルの省エネ・節電を考える～節電の先のスマートエネルギーシティへ～”, http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large_scale/cap_and_trade/meeting/cat7846.html (2015/01/07 アクセス)

[12] 松山 隆司, “エネルギーの情報化とは—背景，目的，基本アイディア，実現手法—”, 情報処理, Vol.51, No.8, pp.926–933, 2010.

[13] 江崎 浩, 落合 秀也, “東大グリーン ICT プロジェクト”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-B, No.10, pp.1225–1231, 2011.

[14] 繁田 浩功, 間下 以大, 竹村 治雄, “大学施設における消費電力可視化システムの試作とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ, Vol.111, No.229, pp.27-32, 2011.

[15] Haris Doukas, Christos Nychtis, John Psarras, “Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model”, Building and Environment, Vol.44, Issue.2, pp.290–298, 2009.

[16] 加藤 丈和, 湯浅 健史, 松山 隆司, “オンデマンド型電力制御システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.3, pp.1185-1198, 2013.

[17] 経済産業省, “冬季の節電メニュー（事業者の皆様）”, http://www.meti.go.jp/setsuden/pdf/141031/141031_01f.pdf (2015/01/07 アクセス)

[18] 新エネルギー導入促進協議会, “Japan Smart City Portal”, http://jscp.nepc.or.jp/（2015/01/07 アクセス）

[19] 塚本 昌彦, 加藤 丈和, “スマートタップの共通仕様化に向けて”, 情報処理, Vol.51, No.8, pp.934–99.942, 210.

[20] HIGHSOFT, “HIGHCHARTS”, http://www.highcharts.com/（2015/01/07 アクセス）

[21] 高橋慶多, 細澤直人, 西本直樹, 富井尚志, “電力使用時の多様な状況組み合わせが可能な DB を用いた状況別電力量の置き換え効果の提示”, WebDB Forum 2014 B-6