

大学施設における省エネ行動誘発システムの実現に向けた基礎検討

内間 理亜奈[†] 丸山 健太[‡] 埴 大[‡] 尹 奎英[‡]

[†]名古屋市立大学 工学部 〒464-0083 愛知県名古屋千種区北千種 2-1-10

[‡]名古屋市立大学 大学院芸術工学研究科 〒464-0083 愛知県名古屋千種区北千種 2-1-10

E-mail: [‡] {hanawa, yoon}@sda.nagoya-cu.ac.jp

あらまし 本研究では、大学施設の建築物を対象にした、ユーザの省エネ行動を促すためのシステムについて検討する。はじめに、著者らが試作した、大学キャンパス内の教室の電力使用量を計測し、その結果を Web アプリケーションで閲覧できる可視化システムについて述べる。アンケート調査の結果より、試作したシステムは消費電力に関する情報をユーザが手軽に得られること、情報提示の端末としてスマートフォンが適していることを示す。次に、LINE を用いて電気の無駄遣いを検出した際に、ユーザのスマートフォンへ通知を行うシステムを提案する。アンケート調査の結果より、提案システムを用いることで、消費エネルギーに関する情報をユーザに素早く閲覧させる効果が見込めることを示す。

キーワード 省エネ、可視化、消費電力、Web アプリケーション、LINE

1. はじめに

近年、建築物の省エネ化に関する取り組みが様々な形で行われている。具体的な取り組みの例としては、省エネ機器の導入や、省エネのための建築設計などが挙げられる。しかしながら、既存の建築物に対して省エネのための改修が必要なこれらの方法は、改修のためのまとまった初期投資が必要なこと、工期中に建物の利用が制限されること、費用対効果がわかりにくいことなどが、実際に導入する際の課題として挙げられている[1]。そこでこうした技術を取り入れることが難しい場合に省エネを進めるためには、例えば、消費電力が大きい機器の使用を極力控えてもらう、照明やエアコンなどの無駄遣いを発見したらすぐにスイッチを切ってもらうなど、建築物を利用するユーザの省エネに対する協力が不可欠となる。ユーザの協力を得るための方法の1つとして、消費エネルギーの可視化が挙げられる。文献[2]によれば、国内では一般家庭にHEMS(Home Energy Management System)を導入すると、HEMS による見える化効果のみで約 3~12%の省エネ効果が見込めることが報告されている。今日、消費エネルギーの可視化は省エネのために有効な手段と考えられており、オフィス[3]、工場[4]などにも積極的に導入されている。この中で、大学施設に着目すると、ユーザに省エネへ協力してもらうことを目的とした消費エネルギーの可視化に関する取組、研究などがこれまでいくつか報告されている。具体的には、キャンパス全体の消費エネルギーの見える化(例えば[5]-[8])、空調環境の可視化システム[9]、Web、デジタルサイネー

ジ、ならびにプッシュ型通知を用いた消費電力の可視化システム[10]、ユーザの心理・感情面に配慮した省エネ行動支援手法[11]などが挙げられる。しかしながら、時間の経過とともにユーザの関心が薄れる、省エネに関する情報の定期的な閲覧や省エネのための行動を長期間にわたって持続できない、などの課題が明らかとなっている。そこで、大学施設において、建築物の省エネ化を長期間継続させるためには、これらの課題を解決する方法の検討が必要と考えられる。

本研究では、大学施設内の建築物を対象とした、ユーザが自主的かつ継続的に省エネ行動をとれるように促すためのシステムについて検討する。本研究で目指すシステムを実現するためには、少なくとも、建築物の消費エネルギーを計測してユーザにわかりやすく可視化できる仕組みに加えて、ユーザに負担をかけずに楽しく省エネ行動をとれる仕組みが必要である。さらに、既存の建築物に容易に導入できることが望ましい。そこで本研究でははじめに、消費エネルギーの計測機能および可視化機能をもつ独自の可視化システムの試作を行う。次に、前述のシステム上に、スマートフォンへのプッシュ型情報提示機能を試作し、消費エネルギーに関するユーザへの情報提示、および、省エネ行動の誘発を試みる。評価実験の結果より、試作したシステムの有効性、明らかとなった課題などについて考察する。

2. 消費エネルギー可視化システムの試作

試作した消費エネルギー可視化システムについて概説する[12][13]。今回、可視化の対象とする施設は、

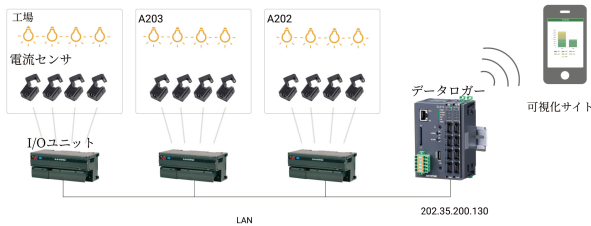


図 1. システム構成

名古屋市立大学北千種キャンパス内の教室 3 部屋 (A202, A203, 工場)とした。各教室は授業で利用される教室である。A202, A203 はそれぞれ約 80, 30 名が利用できる広さの教室である。一方工場は、約 140 名が利用できる PC ルームである。これらの教室に設置した交流電流センサを用いて消費電力を計量し、リアルタイムでデータロガーに集約後、消費エネルギーとして可視化するシステムを試作した。

試作したシステムの構成を図 1 に示す。使用したハードウェアは、消費電力を計量するクランプ式交流電流センサ(MSYSTEM 社製 CLSE-05)、計量データをリアルタイムで送信する I/O ユニット(同社製 R7E-CT4E-R)、全 I/O ユニットから計量データを集約・可視化するための Web サーバ機能付きデータロガー(同社製データマル DL8-D)、ならびに、I/O ユニットとデータロガーを接続する屋内 LAN である。

ここでデータロガー上には、消費エネルギーに関する以下の情報を、PC、スマートフォンなどからインターネット経由で閲覧できる Web アプリケーション(以下 Web アプリケーション)を実装した。

- ①先週と今週の曜日毎の電力料金、および一週間の合計の比較 (図 2)
- ②各部屋の照明の点灯状況(図 3)
- ③約 20 日間の、1 時間ごとの電気料金の推移(図 4)
- ④閲覧した日における電気料金の 1 時間ごとの推移 (図 5)

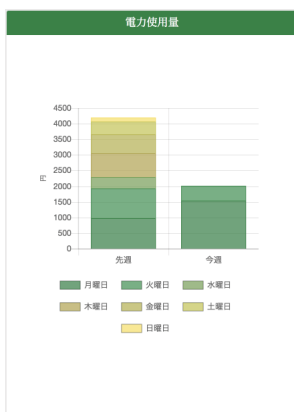


図 2. 一週間の合計

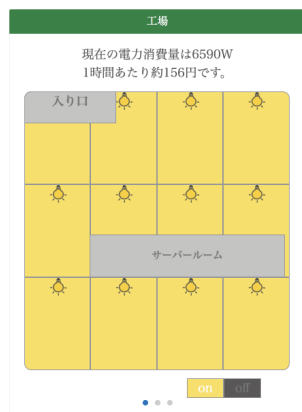


図 3. 照明の点灯状況

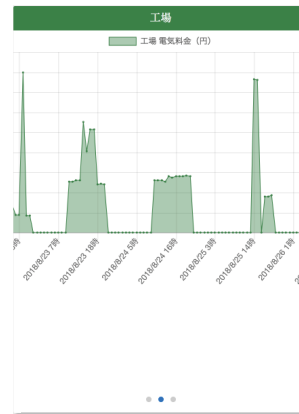


図 4. 電気料金の推移

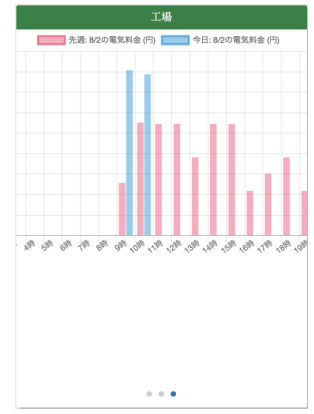


図 5. 1週間前との比較

ユーザがこれらの情報を閲覧することによって、近くの部屋で無駄に点灯している照明を自主的に消灯しに行く、照明の無駄な使用を控える、などの自主的な省エネ行動を引き出すきっかけとなることが期待される。

3. 可視化システムの評価実験

3.1. 目的および方法

提案システムの実現に向けて、ユーザが消費エネルギーに関する情報を閲覧するのに適したデバイスの選定、および、試作したシステムの有用性と問題点の明確化を目的とした、ユーザの意識調査を行った[12]。具体的には、2018年5月16~23日の期間で、本学の学生約80名(19~23歳)に対して、可視化システムを用いたアンケートを実施した。被験者には初めに、Webアプリケーションの操作方法および閲覧方法を説明した。その後、被験者にはWebアプリケーションを利用期間中(7日間)に自由に利用してもらった。利用期間終了後、被験者にアンケート用紙を配布し、回答を記入してもらった。アンケートでは、(a)回答者の属性、(b)利用期間中のWebアプリケーションの閲覧回数、ならびに(c)閲覧の手軽さと継続性を問う項目を設けた。(a)に関する質問では、性別、スマートフォンとPCの使用歴、1日の使用時間、メール・SNS・ニュース・天気情報・ゲームをそれぞれスマートフォン、PCのどちらかで使用するか、の4項目に関して質問した。また(b)では、スマートフォンおよびPCでそれぞれ利用期間中に何回閲覧したかを回答してもらった。さらに(c)では、「閲覧の手軽さ」および「継続して閲覧したいと思うか」について、5段階の主観評価とその理由について回答してもらった。以上に加えて、全体に関して自由記述で回答してもらった。

3.2. 結果および考察

アンケートを実施した結果、71名(男性30名、女性41名)より回答が得られた。主な結果を図6~8に示す。

図6より、(b)の閲覧回数の項目では、調査期間中における閲覧回数は0回または1回の人が多い結果となった。アンケートに回答した全被験者のうち、スマー

トフォンでの閲覧回数が 1 回以下と回答したのは 81.7%, PC の場合のそれは 88.7% であった. 理由記述欄では, 電力の使用状況をあまり気にしない, 電気代を払っている側ではない, などの理由があった. (c) の「Web アプリケーションの閲覧の手軽さ」を問う項目では, 閲覧の手軽さは, スマートフォンが少し上回る結果となった. 「継続して閲覧したいと思うか」の質問項目では, そう思わないと答える人の割合がやや多い結果となった. 継続して閲覧したいと回答した被験者からは, 照明を切る気になる, 簡明なのが良いなど, 好意的な意見が挙げられた. このようなユーザに対しては, 本システムが省エネ行動を促すきっかけになり

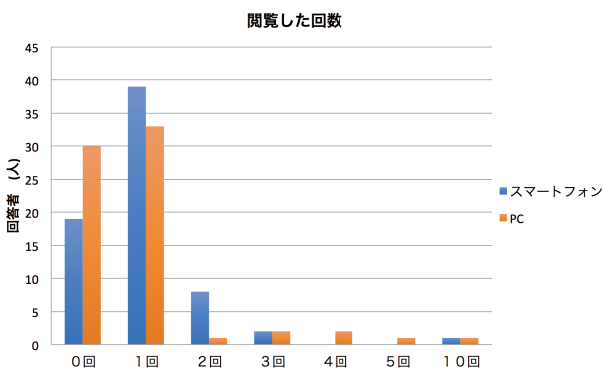


図 6. 閲覧した回数に関する評価

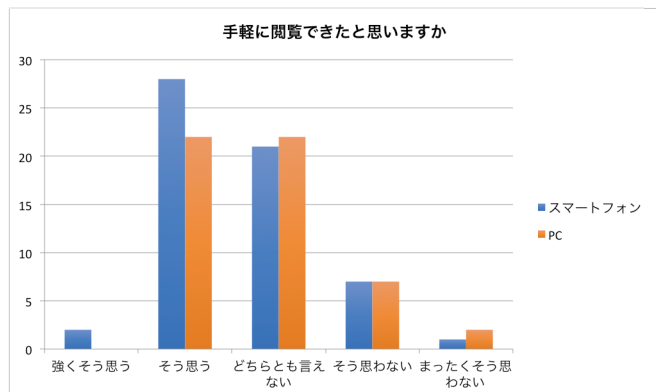


図 7. 閲覧の手軽さに関する評価

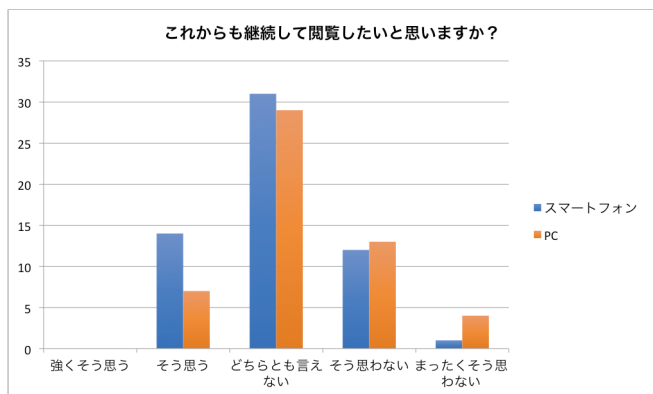


図 8. 閲覧の継続性に関する評価

得ると考えられる. 一方, 継続して閲覧したいと思わないと回答した被験者からは, 電気代を払っている側ではないなどの理由が挙げられた.

以上より, 試作したシステムは, 消費電力について情報を得るための機能をはたせることがわかった. また, PC とスマートフォンの比較では, 閲覧頻度および閲覧の手軽さの面で, スマートフォンが相対的に上回っていることがわかった. しかしながら, 本システムの導入自体が閲覧のきっかけにはなりにくいこと, 閲覧の継続性が見込めないことが明らかとなった. 主な原因として, 被験者の消費電力に対する関心のなさが考えられる.

4. LINE を用いた通知システム

3 章において明らかとなった, 閲覧回数の少なさなどの問題点を解決するために, LINE を用いた通知システムを試作した. 具体的には, 2 章で述べたシステムと連携して, 学内の教室での照明の無駄な点灯 (無駄遣い) が発生した場合に, ユーザのスマートフォンに通知を行うシステムを試作した.

表 1. 通知を送信する時間

時間	月	火	水	木	金	土	日
授業前	0:00-8:59						
1限	9:00-10:30	授業					
休憩	10:31-10:39						
2限	10:40-12:10	授業	授業				
昼休み	12:11-12:59						
3限	13:00-14:30			授業			
休憩	14:31-14:39						
4限	14:40-16:10			授業			
授業後	16:11-21:00						
夜	21:01-23:59						

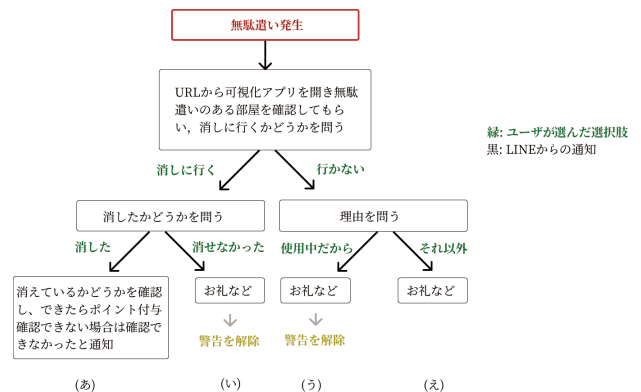


図 9. ユーザの選択による LINE からの通知の分岐

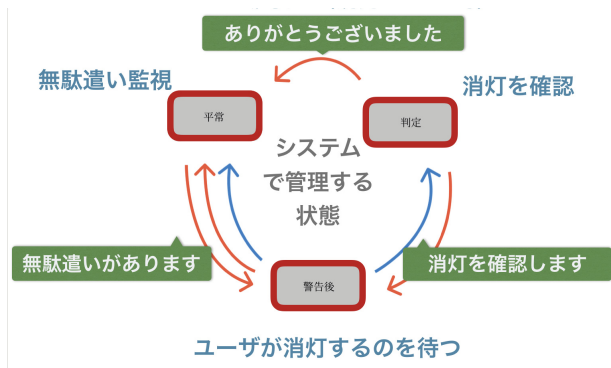
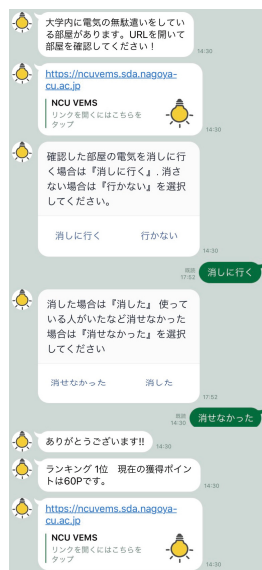


図 10. 通知のフロー

本研究では、以下の方法により無駄遣いの監視および検出を行った。はじめに、本システムで無駄遣いの発生を監視する時間帯を表 1 に示す。ここで監視すべき時間帯は、2018 年度における本学芸術工学部の後期時間帯に基いて定めた。表 1 において、赤色で示した時間帯は、授業時間ではないため消灯されているはずの時間帯である。もしこの時間帯に照明が点灯していた



場合、無駄遣いが発生 図 11. LINE からの通知の例していると判断する。

今回は、1 分間隔で学内の部屋を監視することとした。無駄遣いが発生している場合、電気を消すように促す通知がユーザーに送られる。通知が送信されるユーザーは LINE アカウント『NCUVEMS』を友達登録しているユーザーである。通知の内容は、図 10 に示すフローに基いて決定され、ユーザーの返答によって変わる。主なパターンを図 9 に示す。図 11 は、図 9 中の (あ) のパターンの LINE 画面である。無駄遣いを監視している時間帯に照明が点灯した時、無駄遣いがあるという LINE 通知が送信される。この時、同時に送信される可視化システムの URL から、ユーザーは消灯すべき部屋を確認できる。また、「消しに行く」、「行かない」の選択肢を選び、照明を消しに行くことを宣言できる。その後、実際に消灯できた場合は、「消した」をユーザーが選択する。その後システムは、実際に電気が消灯されているか判定し、消灯の確認が取れた場合、ユーザーにポイントを付与し、お礼のメッセージとポイントのランキングを通知する。

3 章で述べたシステム (図 1) に、データベース機

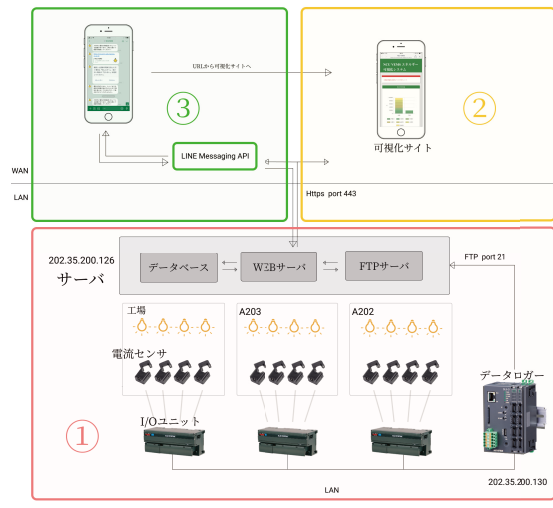


図 12. システム全体図

能、FTP サーバ機能、ならびに Web サーバ機能をもつサーバを追加し、上記の通知システムを実現した (図 12)。

5. 通知システムの評価実験

5.1. 目的および方法

通知システムの導入による閲覧頻度と閲覧回数の変化、閲覧に至るスピード、ならびにユーザーの省エネ行動を誘発できるかどうかを検証するために、アンケート調査を行った。はじめに、本学の学生約 90 名に対し NCUVEMS の LINE アカウントを紹介した。その後 12 月 3～19 日の 17 日間、通知システムを稼働させ、無駄遣いの監視および LINE によるユーザーへの通知を行った。稼働期間を終えたあとに、NCUVEMS の LINE アカウントを通じてアンケートを配布し回答してもらった。アンケートでは、回答者の属性、システムに関する質問 (LINE から通知を受けた回数、今後も LINE 通知を受けたいと思うか[理由も回答], LINE 通知を受けなくても照明を消したいと思うようになったか[理由も回答], 全体を通じての感想や意見) の項目を設けた。また、可視化システムの Web アプリケーションを閲覧した回答者には 閲覧理由や閲覧回数通知を受けてから閲覧するまでにかかった時間、教室の照明を一回でも消しに行った回答者に対しては、消しに行った理由、もしくは消せなかった理由を問う設問を設けた。

5.2. 結果および考察

実験期間中、通知が送信された回数は合計で 49 回であった。また、電気が消された、もしくは授業が始まった理由でアラート状態が解除された回数は 22 回であった。実験期間中のユーザーへの通知、およびユーザーの行動のパターンについて、図 9 の 4 種類の分岐 ((あ)～(え)) に分類した結果を表 2 に示す。今回の実験では、(あ) の「消した」という選択肢を選んだユーザー

がみられたが、実験中の計測結果を検証した結果、3回とも実際に消灯はされていなかった。

アンケートの結果、17名のユーザからの回答が得られた。可視化システムの Web アプリケーションを1回以上閲覧したユーザは、17名中16名であった。この16名について、LINE から通知を受けてから Web アプリケーションを閲覧するまでにかかった平均時間を表3に示す。表3より、16名全員が30分以内に閲覧したことがわかる。さらに、半数以上のユーザは通知を受けてから5分以内に可視化システムを閲覧したことがわかる。一方、無駄遣いの通知を受信して、教室の照明を1回以上消しに行ったユーザは、17名中1名であり、省エネ行動を促すことができているとは言い難い結果になった。消しに行かなかった主な理由として、学校にいなかったなど、無駄遣いが起きていても、すぐに消しに行くことができない状況であったという理由が挙げられた。3章の実験期間と今回の実験期間とで、被験者が Web アプリケーションを閲覧した回数の比較を図13に示す。この結果より、通知機能を追加することで、Web アプリケーションの閲覧回数を増やすことができたと考えられる。したがって、無駄遣い発生時に、ユーザのスマートフォンへすぐに通知を送ることにより、Web アプリケーションの閲覧を促せることが明らかになった。さらに、無駄遣いが発生した場合に、そのことをユーザに素早く知らせることがで

表 2. 選択されたパターン

消しに行く		行かない	
6回		76回	
(あ)	(い)	(う)	(え)
3回	3回	1回	72回

表 3. アンケート結果(閲覧までにかかった時間)

すぐ	5分以内	30分以内
25.00%	31.30%	43.80%

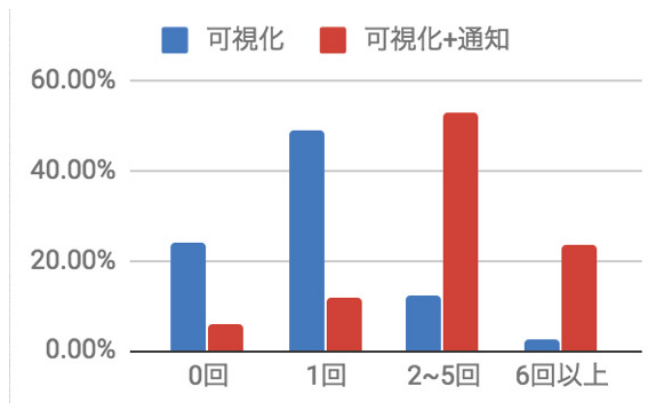


図 13. 実験期間中の可視化システム閲覧回数

きるということがわかった。一方、大学にいるユーザだけに通知を送る仕組みや、通知頻度を適切に制御する仕組みの必要性が明らかとなった。さらに、ユーザが省エネ行動を起こす動機付けの必要性も明らかになった。

6. まとめ

本研究では、大学施設内の建築物を対象とした、ユーザの省エネ行動を誘発するシステムの実現に向けた基礎検討を行った。その結果、本研究で提案する可視化システムを用いることで、消費エネルギーに関する情報をユーザに素早く閲覧させる効果が見込めることが分かった。さらに、ユーザの省エネ行動を起こしたいという気持ちのきっかけになる可能性が示唆された。その一方で、より多くのユーザが省エネ行動を自主的に起こすための方法について検討する必要があることが判明した。今後の課題として、ゲーミフィケーションや、SNS 要素を取り入れていくことにより、より楽しんで継続的にユーザが省エネに参加できる方法について検討する必要がある。

文 献

- [1] 青笹健, 秋元孝之, 清家剛, 金容善, 蔡宜君, 宮澤由紀, 武藤直樹, “補助事業を活用した非住宅建築物の省エネルギー改修に関する実態調査,” 日本建築学会技術報告集, 21 巻, 49 号, 2015.
- [2] 加藤力也, 河村清紀, 坂東茂, 高橋雅仁, “家庭用エネルギー管理システム (HEMS) の普及に関する課題とその動向,” 電力中央研究所研究報告書, 報告書番号 Y12011, 2013.
- [3] オフィスの電力消費量を「見える化」することによる電力消費量削減効果の検証. <https://www.env.go.jp/council/37ghg-mieruka/r372-01/mat01.pdf>, 参照 Feb. 21, 2019.
- [4] 大城尊士, “工場の省エネルギー活動「見える化・わかる化へ」,” 電気設備学会誌, 31 巻, 9 号, pp.708-715, 2011.
- [5] 峰野博史, 松尾廣伸, 黒木秀和, 荻野司, 長谷川孝博, “静岡大学環境負荷モニタリングシステムの開発と導入”, 信学論 (B), Vol.J94-B, No.7, pp.780-792, 2011.
- [6] “東京大学グリーン ICT プロジェクト”, <https://www.gutp.jp/>, 参照 Feb. 21, 2019.
- [7] “大阪大学の省エネルギー対策”, http://www.osaka-u.ac.jp/ja/oumode/OU_vision_2018/open_gov/campus/electricity, 参照 Feb. 21, 2019.
- [8] 林一宏, “東京電機大学 東京千住キャンパスのその後”, 空気調和・衛生工学会近畿支部, 環境工学研究会, No.320, http://www.kinki-shasei.org/upload/pdf/2016100332_0a.pdf, 参照 Feb. 21, 2019.
- [9] 坂倉正浩, 田原淳平, 諏訪敬祐, “空調環境可視化システムにおけるネットワーク構築と Web 表示,” 東京都市大学環境情報学部情報メディアセンタージャーナル, No.11, pp.99-105, 2010.
- [10] 宇佐見潤, 繁田浩功, 間下以大, 竹村治雄, “大学施設における電力消費削減のためのプッシュ型情報提供による手法の評価,” 信学技報, IA2012-2, pp.7-12, 2012.

- [11]伊藤京子, 富田大輔, 今木智隆, 本郷泰司朗, 吉川榮和, “省エネ行動支援アフェクティブインタフェースの設計・開発とその評価,” IEEJ Trans. EIS, Vol.125, No.10, 2005.
- [12]内間理亜奈, 丸山健太, 埜大, 尹奎英 “大学施設における省エネ行動を誘発するための建物エネルギー可視化システムに関する基礎検討,” 平成30年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会 講演論文集, M4-4, 2018.
- [13]R. Uchima, K. Maruyama, D. Hanawa, G. Yoon, “Basic Study on Building Energy Visualization System Encouraging to Energy Saving Activities by Using Gamified Interaction in a University Campus,” Proc. of the 7th Int. Multi-Conf. on Eng. and Technol. Innovation 2018, p.27, 2018.