

論文

空調環境可視化システムを用いた 省エネ評価

遠藤 幸次 森口 英喜 綾部 櫻子 諏訪 敬祐

地球温暖化の大きな原因の一つである温室効果ガスの中でも二酸化炭素の排出が地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きいとされており、その中の最も多いものは約4割を占める電気で、用途別で排出量が多いのは「照明・家電製品など」である。また、2009年4月、省エネ法が改正された。近年の市場では省エネルギーの見える化システムが増加傾向にある。省エネ法におけるエネルギーとは、燃料、熱、電気を対象としている。本論では、環境情報学部として具体的な省エネ活動への貢献を目的とし、空調環境可視化システムを活用して省エネルギー評価を行った。

キーワード：可視化、空調環境、ネットワーク構築、ユビキタス、データベース、省エネ

1 はじめに

1.1 研究の背景

2009年12月7日に行われた第15回気候変動枠組条約締約国会議(COP15)と、2009年9月22日ニューヨークで開かれた国連気候変動首脳級会合にて、日本はCO₂を含む温室効果ガスの排出量について、1990年基準で25%削減の目標を挙げている。また、温室効果ガスの中でも二酸化炭素の排出が地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きいとされている^[1]。日本の家庭からの二酸化炭素排出量を燃料種別からみたグラフを図1に示す。

燃料種別から見たグラフのとおり、最も多いものは約4割を占める電気になる。さらに用途別に分けたグラフを図2に示す。

図2からみてわかるようにもっとも排出量が多いのは「照明・家電製品など」であることがわかった。

この観点から本論では東京都市大学環境情報学部横浜キャンパスにおける消費電力、そして二酸化炭素排出量に注目し、大教室内空調環境の見える化を行った。昨年の研究結果から横浜キャンパスの大教室の空調運転状況は、教室の構造や学生の着席状況などによって、同じ教室内でも前部と後部ではかなりの温度差がある。特に、

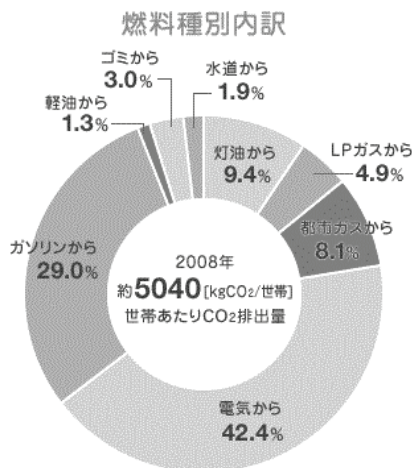


図1 二酸化炭素量の燃料種別内訳

後部は場合により人が密集し、温度やCO₂濃度が高くなり、勉強をする環境としては集中できる環境とは言い難いということが明らかになった。実際に授業を受けている学生を対象として実施したアンケートの集計結果を図3に示す。

このような問題を解決するために、温度、湿度、CO₂濃度を計測するセンサ機器を大学キャンパス内に取り入れて、より細かくデータを測定することにより、現在の大教室の空調運転状況を見直し、かつ省エネルギー化ができないかと考えた。図4に簡易的なネットワーク接続イメージを示す。

本論では、環境可視化システムを使用した具体的な省エネ活動結果を記述する。将来的には学生、職員一人一人の省エネ活動を啓発するようわかりやすいシステムをキャンパス全体で構築し、学内の空調システムやエネ

ENDO Koji
東京都市大学環境情報学部情報メディア学科4年生
MORIGUCHI Hideki
東京都市大学環境情報学部情報メディア学科4年生
AYABE Sakurako
東京都市大学環境情報学部情報メディア学科4年生
SUWA Keisuke
東京都市大学環境情報学部教授

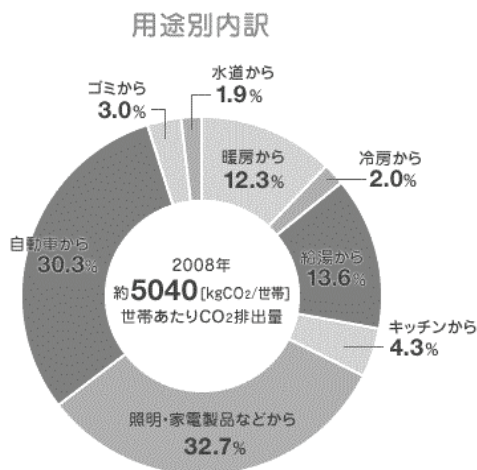


図2 二酸化炭素量の用途別内訳

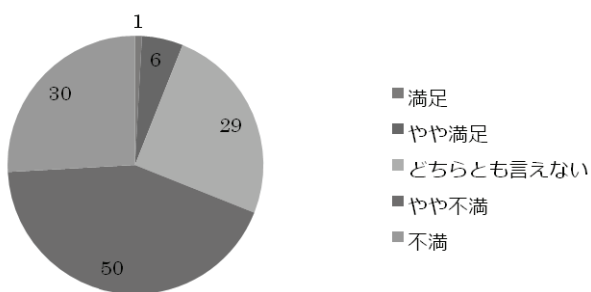


図3 大教室内空調環境のアンケート結果

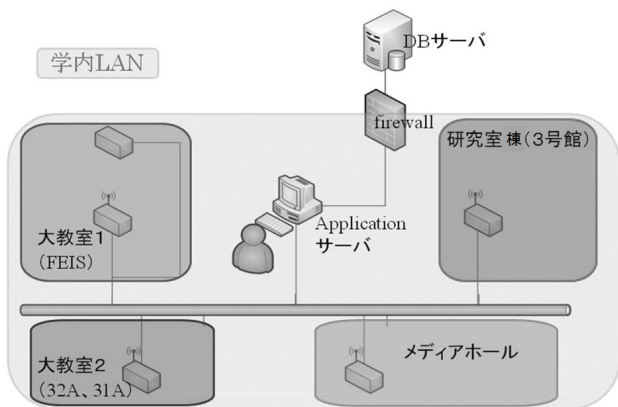


図4 システムのネットワーク接続イメージ

ルギー消費を中心とした CO₂ 排出量の「可視化(見える化)」を行うことで環境情報学部における環境意識啓発の向上を図る。

1. 2 研究の目的

本研究では、各センサ間の環境データ計測プログラムやデータベースサーバを構築することで現在の空調環境を可視化し、学生や教職員が省エネ活動に主体的に取り組めるようにすることが目的である。データベースサーバによって膨大なデータを蓄積し、それを可視化することで今まで空調環境について知らなかった事実を知るこ

とができるようになる。教室内の温湿度センサとともに、電力量センサがあるため、1週間、1か月などの電力(CO₂排出)量を測定することができる。そのデータをもとに環境情報学部生として学生自ら環境問題を意識するシステムを作り上げることが主要な目的である。

そして、過去のデータをもとにシステム運用を行い、無駄な電力の削減を行い、CO₂ 排出量の減少により地球温暖化に貢献できるようにする。

2 空調環境可視化システムの概要

2. 1 空調環境可視化システム概要^{[2][3]}

昨年度の卒業生である坂倉正浩氏、田原淳平氏とともに空調環境可視化システムのインフラストラクチャを構築した。具体的には大教室内の温度、湿度、電力量(二酸化炭素排出量に変換)を測定し、データベースサーバにデータを蓄積し、データを加工して教室利用者に教室環境の「見える化」によりリアルタイムに環境の様子を広報することを目指す。「見える化」とは、「ビジネスにおける問題を常に見えるようにしておくこと」とされており、「問題が発生してもすぐに解決できる環境を実現すると共に、問題が発生しにくい環境を実現するための取り組み」のことで、ローランド・ベルガーの遠藤功氏が出版した「見える化—強い企業をつくる“見える”仕組み」という書籍などを受けて注目されている概念である。この「見える化」を大学キャンパスに取り入れることにより、学生や教職員が自主的に問題解決や改善を促すことができると考えられる。必要な情報を誰でも見えるように掲示することで理解度を高め、数値的なデータで客観的に判断できるシステムを構築した。

2. 2 システム全体構成

空調環境可視化システム全体の構成を図5に示す。

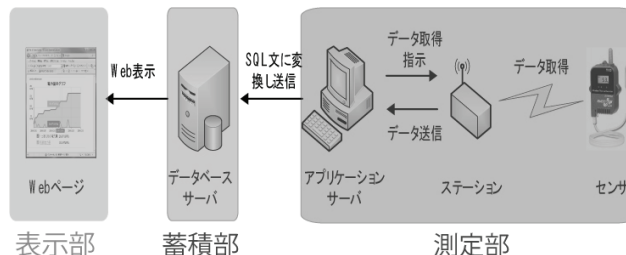


図5 空調環境可視化システムの構成

このシステムを用いて温度、湿度、消費電力量を可視化し、省エネ評価を行った。

3 FEIS ホールにおける消費電力量と温度変化の調査

3.1 実験内容の概要

2010年12月にFEISホールにおける空調機器スイッチ・外気取り入れスイッチのON/OFF時の温度変化の調査と消費電力量の調査を行った。13:15～14:45の間は空調機器スイッチをONにし、温度上昇の推移と消費電力量について調査した。14:45～15:45は空調機器スイッチをOFFにし、温度下降の推移を調査した。15:45～16:30は空調機器スイッチと外気取り入れスイッチの両方をONにし、温度変化の推移と消費電力量を調査した。室内は無人の状態で行った。

3.2 実験の背景と目的

日々取得している温度変化のデータを分析し、空調環境可視化システムを用いた省エネ評価と今後具体的な提案をするために無人でのデータを取得し、分析を行った。安定してデータを取得できるようになったため、1時間ごとの現状の空調機器のスイッチ、外気取り入れスイッチON/OFF時の温度変化と消費電力量の違いを調べることによって省エネ評価を行う指標を見出し、今後、筆者らの一人である綾部櫻子が行っている空調環境改善のための研究結果との整合性を図り、実際の授業時に取り入れていく。

3.3 実験日

平成22年12月3日(金)

3・4限 (13時15分～16時30分)

FEISホール内実験開始時の温度：26.5℃

外気温：22℃

3.4 実験結果

実験結果から空調スイッチをONにしてから20分間で5.4℃上昇し、OFFにしてから20分間で3.7℃低下することがわかった。図6、図7は2010年12月3日のFEISホールの空調をONにしてから30分間、OFFにしてから30分間の温度変化のグラフである。

また、FEISホールには、外気取り入れスイッチも設置されている。これは外気を室内に取り入れる際に使用するスイッチである。この外気取り入れスイッチを併用した際の温度変化グラフを図8に示す。

この日の外気温は22℃であったため、外気取り入れスイッチを押すと室内の温度が下がることになる。図8を見ると15:55～16:30の温度変化を見ると0.3～0.6℃ずつ下がっている。これは外気取り入れスイッチをOFFにしているときよりも温度変化量が多いが、大幅に変化しているわけではない。この結果から外気取り入れスイッチはあまりにも熱がこもり、温度を下げるときに使用する

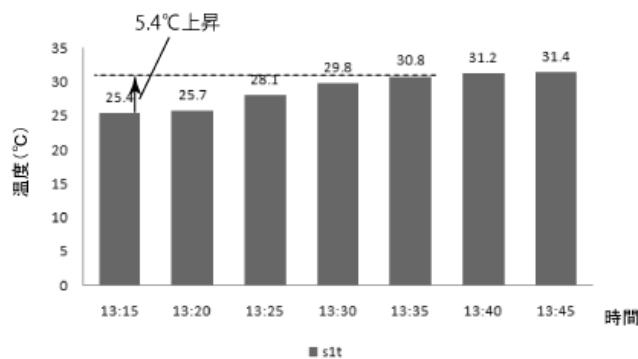


図6 空調ON時の温度変化

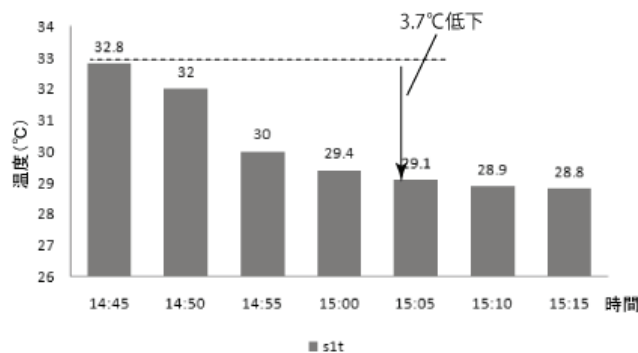


図7 空調OFF時の温度変化

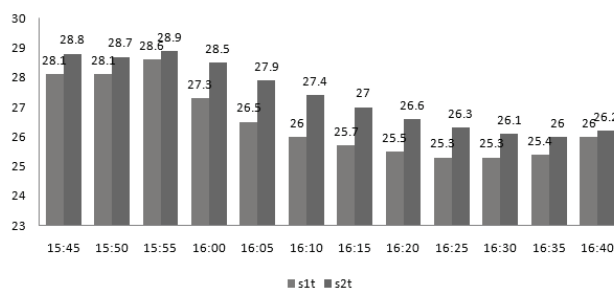


図8 外気取り入れスイッチON時の温度変化

る程度でよいと考えられる。

空調スイッチをONにしているときは0.59kWhの電力を消費しており、外気温スイッチを並行してONにしているときは0.56kWhの電力を消費していることがわかり、外気取り入れスイッチをOFFにしていたときよりも0.03kWhだけ消費電力を抑えることができる。

これらの結果から、空調スイッチを常にONにするのではなく、ONとOFFのタイミングを見計らえば省エネ活動に繋がるということが明らかになった。

3.5 考察

今回は冬季のデータでの実験であったため、その他の季節において外気温と室内温度の関係性から外気取り入れスイッチをONにする条件を定めることができれば、室内の快適環境を保ちながら省エネにつなげることができると考えられる。

実験は無人でおこなったため、今後は授業時にこの条件で実験を行い、快適温度に近づけるために整合性を高めていく必要がある。また、初期の室内気温や外気温が変化すれば、空調機器の効果も変わってくるので季節ごとだけでなく、温度条件を定めて調査をしていく必要がある。

4 FEIS ホールにおける積算電力量分析と省エネ評価

4.1 概要

2010年12月3日の実験結果から、普段のFEISホールの使用に関して、どれほどの消費電力を抑えることができるかを分析した。授業の日程と消費電力が比較的多い日時を調査し、2010年12月7日(火)を評価対象とした。

4.2 分析結果

この日の電力量計測パルスセンサの取得データグラフを図9に、温度変化のグラフを図10に示す。

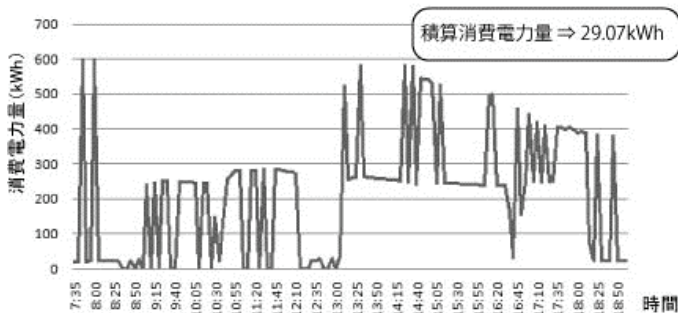


図9 消費電力量の取得結果

12月7日 s1tの温度変化グラフ

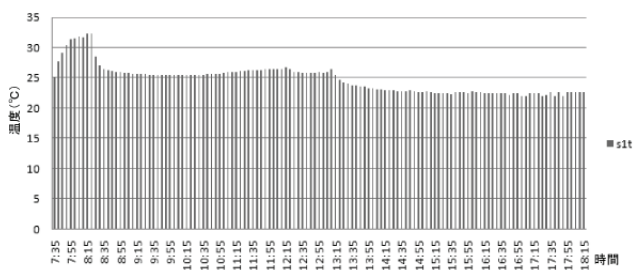


図10 温度変化の結果

4.3 現状の分析

図9、図10より授業の行われていない時間帯である、7:35~8:00にかけての消費電力量、温度が急激に上がることが明らかになった。この原因を総務課に確認した結果、早朝に警備員が授業開始前に鍵を開ける際に、

空調機器スイッチをONにしているためである。なぜつけているのかということ1時限めは教室が冷え切っているため、授業を行う教員のために空調をつけて部屋を暖かくしているからである。しかし、7:35から授業開始に備えて空調機器スイッチをONにするのは時間が空きすぎている。この消費電力を削減できれば省エネ活動に繋がると考えた。2010年12月3日の研究結果より、空調機器スイッチをONにしてから約20分である程度の温度まで上昇することが明らかになっているので、8:30から空調機器スイッチをONにすれば十分であると考えられる。

また、その他の時間についても温度に大きな変化は見られないが、ほとんどの時間に空調機器スイッチがONになっていることがわかった。この日の積算消費電力量は29.07kWhであった。

4.4 省エネ実施予想

現状の分析結果から、余分と考えられる時間帯の空調機器スイッチをOFFにしたらどれだけの消費電力を抑えることができるかという予想を行った。その予想の消費電力量のグラフを図11に示す。

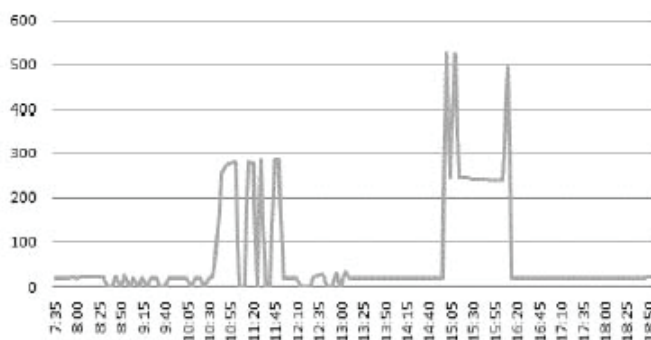


図11 省エネ実施予想結果

今回の予想では空調機器スイッチをOFFにした際の消費電力量を0.02kWhだと仮定した。また温度からの判断として、同時に研究を進めている綾部櫻子の快適温度に関する研究結果から、FEISホールの快適温度は25°C前後であるという結果が出ているため、25°Cに近づけるとい基準で考察を行った。その結果8.98kWhという結果が得られた。ほとんどのすべての授業で空調機器スイッチをONの状態が続いている状態から無駄な時間帯の空調機器スイッチOFFにすることで積算消費電力量を20.09kWh(69%)削減できる見込みである。次に、余分だと判断した時間帯とその理由を記述する。

まず一番余分であると考えられる早朝の空調機器スイッチをOFFにした。初期の室内温度が25.1°Cであり、実

際に空調機器スイッチを入れた際の室内温度は 32.3℃まで上昇している。これは授業を受ける温度として最適ではないため、早朝の時間帯の空調機器スイッチを ON にすることはすべて余分であると考えられる。

9:00～10:30 にかけてはほとんどの時間の空調を OFF にした。これは図 10 の温度変化をみると 9:00 の温度は 25.8℃で空調スイッチを ON にしながらも徐々に温度が下がっているのを、外気取り入れスイッチを ON にしていると考えられる。10:30 の温度は 25.5℃と温度変化は 0.3℃しか変化していないということから空調機器スイッチを OFF にするべきだと考えた。

11:50～12:15 の間の空調機器スイッチも余分であると考えたのは実際の温度が 26.4℃～26.7℃という変化であるということと、空調機器スイッチを OFF にしている 12:15～13:15 の気温が 25.8℃～26.4℃とあまり変化が見られないということと、これまでの実験結果より 20 分間だけ空調機器スイッチを ON にし、その後は空調機器スイッチを OFF にした。

13:15～14:45 にかけての空調機器スイッチはほとんど OFF にするべきだと考えた。13:15 の温度は 25.4℃でその後は 22.8℃まで下降している。そして電力を消費しているということは空調機器スイッチと外気取り入れスイッチを ON にしていると考えられる。22℃は授業を受ける温度にしては低いため、わざわざ外気を取り入れて温度を下げる必要はないと考えられる。よってこの時間帯の空調機器スイッチは OFF でよいと考えた。

16:45～18:15 にかけては空調機器スイッチを OFF にできる。温度変化については 21.9℃～22.5℃である。一度 21.9℃まで下がっているのは外気取り入れスイッチを ON にしているからだと考えられ、その後は外気取り入れスイッチを OFF にしていると考えられる。なぜこの情報で空調機器スイッチを OFF にできると考えたかという 18:15 以降は空調機器スイッチを OFF にしているが温度が 22.5℃を保っており、受講生がいたとしても、そのときの温度が 22℃前後なので、快適温度である 25℃に近づくことは問題がないからである。

4.5 省エネ評価の考察

今回の予想をもとに今後は授業を行っていない時間帯に空調機器スイッチを OFF としたときに、この予想が正しいかを検証する必要がある。

現状の分析で明らかになった早朝の余分な空調機器の作動については総務課に伝え、データを提出して空調機器スイッチを ON にする時間帯を統一してもらうことを検討依頼する。

その他の時間については授業時に実際にどんな条件で空調機器が作動しているかと温度変化、消費電力量を調査し、具体的に明らかにしていけば、実現が可能になる。

現在、消費電力量の数値だけでは空調機器スイッチのみを ON にしている場合と外気取り入れスイッチも ON にしている場合を読み取ることができない。その理由として、外気温の関係で、空調機器の動作状況が変わってくるのが考えられる。これは 12 月 3 日の実験データの最高気温は 33℃を記録しているが、12 月 7 日の最高気温は 26.7℃を記録していることからわかる。われわれの把握している空調機器の解釈と本体の性能の誤差がないかを総務課とすり合わせていく必要がある。

4.6 快適温度の適用による空調制御と省エネ効果の考察

今回の省エネ評価の研究と綾部櫻子の「大教室の教室環境改善と環境データ可視化画面作成」^[4]の研究結果で算出された快適温度の適用による空調制御方法を考察した。そのフローチャートを図 12 に示す。

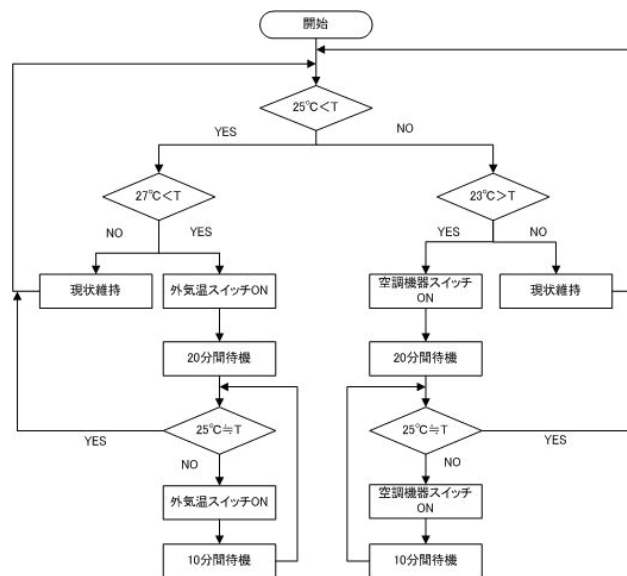


図 12 FEIS ホールにおける 10 月～1 月の空調制御方法のフローチャート

続いてフローチャートの説明を行う。フローチャート内で使用されている「T」は温度(temperature)である。まず、はじめに温度が 25℃かどうかを確認する。今回使用している 25℃とは綾部櫻子の研究で行ったアンケート(7 月, 10 月, 11 月に実施)をもとに算出した快適温度である 25.1℃を基準としている。また、制御方法は本論の第 5 章で考察したもの(12 月)をもとにしているため、この制御方法が適用できる期間は 10 月～1 月の期間とする。

次に温度が 27℃以上か、23℃以下かで判断している理由は、快適温度は 2℃前後が許容範囲とされているため、2℃以上の差があるかないかで判断したからである。

温度が 27℃以上の場合には外気取り入れスイッチを ON

にし、室内の温度を下げる。27℃未満の場合は外気取り入れスイッチをOFFのままにし、様子を見る。外気取り入れスイッチをONにして20分間様子を見た後、快適温度である25℃に近づいているかどうかで判断し、近づいていれば開始に戻る。近づいていなければ外気取り入れスイッチをONにしたままにして10分間待機し、その後また25℃に近づいているかを検証するという流れを繰り返す。

温度が23℃未満の場合は空調機器スイッチをONにし、室内の温度を上げる。23℃以上の場合は空調機器スイッチをOFFのままにし、様子を見る。23℃未満の場合は空調機器スイッチをONにして20分間様子を見た後、快適温度である25℃に近づいているかで判断し、近づいていれば開始に戻る。近づいていなければ空調機器スイッチをONにしたままにして、10分間待機し、その後また25℃に近づいているかを検証するという流れを繰り返す。

この制御方法は10月～1月の期間に適用するものとしており、実際に行っていない仮説になるため、今後はこの制御方法をもとに効果の検証を行う必要がある。これ以外の期間の制御方法については今後引き続き、快適温度の分析及び空調設備による温度変化の調査を行い、その他の期間に適した快適温度、または制御方法を考案、検証する必要がある。

5 おわりに

5.1 まとめ

本研究では空調環境可視化システムの安定とシステムを実用した省エネ評価を行った。冬季のFEISホールは気温に応じて外気取り入れを使用することで0.03kWhの消費電力を抑えることができた。空調機器スイッチの条件はON/OFF時から約20分間、温度変化が大きいことから必要以上の空調機器の運用を控えていくことと、授業時間以外の時間帯に空調機器スイッチをOFFにすることで、1日あたり最大で消費電力を69%削減できる見通しが得られた。

空調機器スイッチ、外気取り入れスイッチのON/OFF時の条件設定においては室内の温度だけでなく、外気温の存在が大きいこともわかった。室内の温度と外気温の関係性を明らかにし、空調制御の方法を定義すれば省エネ活動を実現できる見通しを得ることができた。

5.2 今後の課題

本研究では冬季の省エネ評価を中心に行ったがその他の季節についてのデータが取得できていないため、今後は春季、夏季、秋季及び冬季と年間を通しての省エネ評価を行う必要がある。また、無人での実験であったため、人が在室していた際の温度変化と省エネ評価は仮説の状

態である。筆者らの一人である綾部櫻子が算出した快適温度に近づけるための空調機器スイッチ、外気取り入れスイッチのON/OFFの条件を明確にし、森口英喜の作成した教卓設置モニターの環境データ表示画面にもこの条件を反映させ、教員が空調をコントロールできるようになれば、省エネが実現できる見込みが立っている。

FEISホールの省エネ活動の見込みが立てば他の教室の省エネも実現が可能になる。環境可視化システムを拡大させることによって横浜キャンパスのISO活動の活性化と啓発に大いに貢献することができる。

謝辞

本研究を進めるに当たり機器設置の相談や設置を行って下さった東京都市大学横浜事務室総務課長の佐々木暢俊氏、事務担当の奥田和也氏、廣澤勇太郎氏、本研究を手伝っていただいた諏訪研究室3年生石渡智子さん、鳥山詩織さん、村松映美さんに心より御礼の言葉を申し上げます。

また、本研究は平成22年度科学研究費補助金基盤研究(C)の助成金に基づいて遂行された。

参考文献

- [1] 高田 秋一・堀川 武廣, 省エネ対策の考え方・進め方, オーム社, 2007. 4
- [2] 東京都市大学環境情報学部諏訪研究室, 坂倉 正浩, 平成21年度卒業論文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, 2010. 3
- [3] 東京都市大学環境情報学部諏訪研究室, 田原 淳平, 平成21年度卒業論文, 空調環境可視化システムにおける環境データ計測プログラムとデータベースサーバの構築, 2010. 3
- [4] 東京都市大学環境情報学部諏訪研究室, 綾部櫻子, 平成22年度卒業論文, 大教室の教室環境改善と環境データ可視化画面作成. 2011. 3