

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

坂倉 正浩 田原 淳平 諏訪 敬祐

二酸化炭素とは、温室効果ガスの一つで、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。現在の地球にとって、この二酸化炭素排出量を減少させることが重要な課題である。東京都市大学横浜キャンパスは、ISO14001 取得や環境に配慮した様々な施設を有するエコキャンパスが特徴である。しかし、このエコキャンパスが故に、利用者にとって不快な環境を強いているのも事実であり、調和と理解を得るために環境の様々なデータを「見える化（可視化）」することが重要である。そのため、我々は空調という面から教室環境の様々なデータを取得できるネットワークを基盤とした空調環境可視化システムを構築し、Web 上で閲覧できるようにした。また、省エネルギー化の目安となる電力量と CO2 排出量を定量的な数値として可視化し、環境意識の啓発を行った。

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、

1 はじめに

1.1 研究の背景

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、鳩山総理大臣は、温室効果ガス削減の中期目標について、主要国の参加による「意欲的な目標の合意」を前提に「1990 年比で 2020 年までに 25%削減を目指す」と表明した。このニュースからもわかるように、温室効果ガスの削減は世界でも注目されているものの一つである。そもそも温室効果ガスは、私たち人間の活動に伴う化石燃料の消費および森林破壊などによって増加している。二酸化炭素とは、温室効果ガスの一つで、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]によると、温室効果ガスの中で最も排出量を占めているのは二酸化炭素であるということがわかる。つまり、現在の地球上において持続可能な活動を維持するためには、二酸化炭素排出量の削減は重要な課題となっている。

部門別二酸化炭素排出量では、産業や運輸部門では低減傾向にあるが、民生家庭・業務部門では漸増傾向にある。

また、民生業務部門のエネルギー消費量構成においては、空調エネルギーが 40%~50%程度の比率を占めていることから空調エネルギー消費量の削減が重要になってきている。

横浜キャンパスの大教室の空調運転状況は、教室の構造や人の分布状況などによって、同じ教室内でもステージ側の前部とステージ反対側の後部ではかなりの温度差がある。特に、後部は場合により人が密集し、温度や CO2 濃度が高くなり、勉学する環境としては集中できる環境とは言い難い。実際に授業を受けている学生を対象として 2009 年 12 月 2 日(水) 1 時間目に FEIS ホールにて実施したアンケートの集計結果を図 1 に示す。

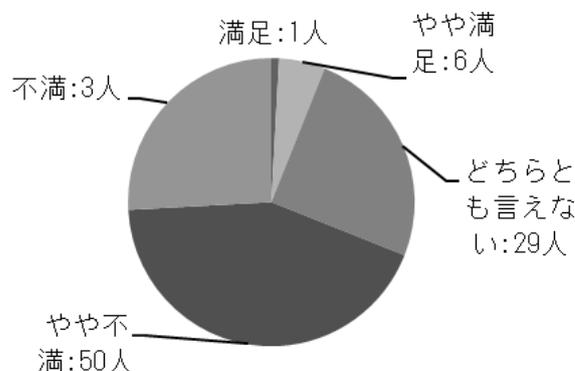


図 1 空調環境についてのアンケート結果

SAKAKURA Masahiro

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科 2009 年度卒業生

TAHARA Junpei

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科 2009 年度卒業生

SUWA Keisuke

東京都市大学環境情報学部教授

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を大学キャンパス内に取り入れて、より細かくデータを計測することにより、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るシステム構築を検討した。図2に簡易的なシステムのイメージを示す。

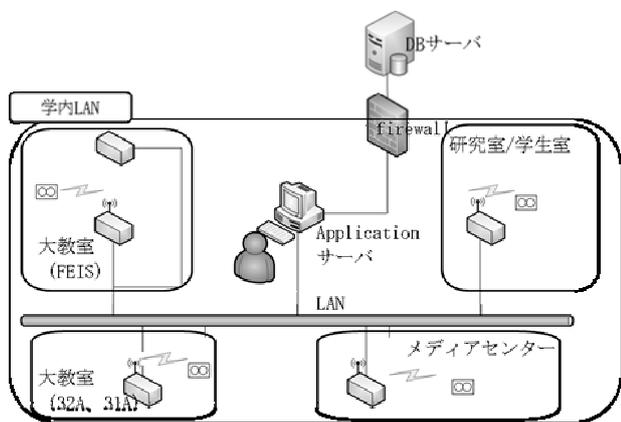


図2 システムのイメージ

1. 2 研究の目的

本研究では、空調環境の可視化システムの土台となるネットワーク基盤の構築、及び教室環境と環境負荷のデータの「見える化（可視化）」、そして空調環境の可視化システムの提案を行う。また、東京都市大学横浜キャンパスでは、ISO14001取得や環境に配慮した様々な施設を有するエコキャンパスが特徴である。しかし、このエコキャンパスが故に、利用者にとって不快な環境を強いているのも事実であり、調和と理解を得るために環境の様々なデータを「見える化」することが重要である。温度、湿度、空調機器の電力量などの環境データとCO2排出量などの環境負荷の「見える化」を行うことにより、学内生を中心とした大学施設利用者の環境に対する意識向上を図る。

2 空調環境可視化システム

2. 1 空調環境可視化システム概略

横浜キャンパスができて13年経ち、空調設備の老朽化や時代の変化により求められるデータの変化へ対応するために空調環境の可視化システムを構築することにした。具体的には教室の温度、湿度、電力量、二酸化炭素濃度を測定し、データベースサーバにデータを貯め、データを加工して教室利用者に教室環境を「見える化」することを目指している。[2]によると「見える化」とは、日本企業の生産現場において、実践されてきた伝統的な手法である。原点は、「何か基本になる情報やデータを現場に提示することで、現場の人が自ら気づき、問題意識を高め、自ら改善する努力を促す仕組みをつくる」ことで

ある。そのために、各自の役割を明確にし、現状を理解できる情報を日ごろから見える状態にし、関係者が協力して、改善する風土をつくることから始まる。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し、改善を行った際には数値的なデータで客観的に判断できるシステムを構築することにした。

2. 2 システム構築の流れ

図3に空調環境の可視化システム構築の流れを示す。まず、LANケーブルの敷設、データロガーやステーション設置などを行うインフラ整備を行う。インフラの整備では、データを収集するアプリケーションサーバと、データを蓄積するデータベースサーバを構築する。そして、Webサイトや学内ディスプレイ等で表示させるためのWebサーバや表示のためのプログラミングなど表示システムを構築する。システムは環境データを取得する環境データ測定部、取得データを収集・蓄積する環境データ蓄積部、データを加工して表示する環境データ表示部で構成される。

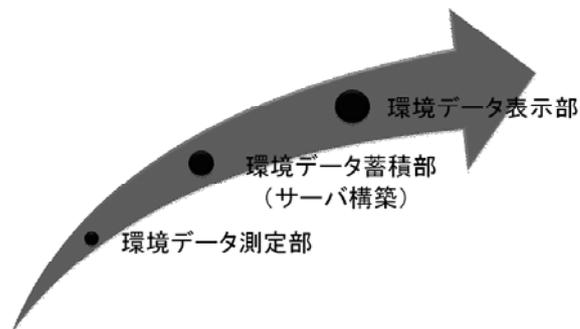


図3 空調環境の可視化システム構築の流れ

3 システム構築

3. 1 環境データ測定部

円滑にデータを収集するため図4に示すネットワークを構築した。

FEISホールでは、昨年設置していた「ネオセンサ」から有線でFEISホール電気室に設置した「M-SYSTEM」に繋ぎ、FEISホール電気室からFEISホール教卓の情報コンセントまでLANケーブルを敷設して学内LANに接続している。温度、湿度計測用の「おんどとりRTR-53L」は、特定小電力無線でFEISホール前廊下に設置した「RTR-5W」に接続し、電気室まで敷設したLANケーブルを通じて学内LANに接続している。次に、FEISホール前倉庫には電気盤があり、そこに電力量計「KM20-B40」を設置して計測している。電力量計からのデータ取得の流れを図5に示す。

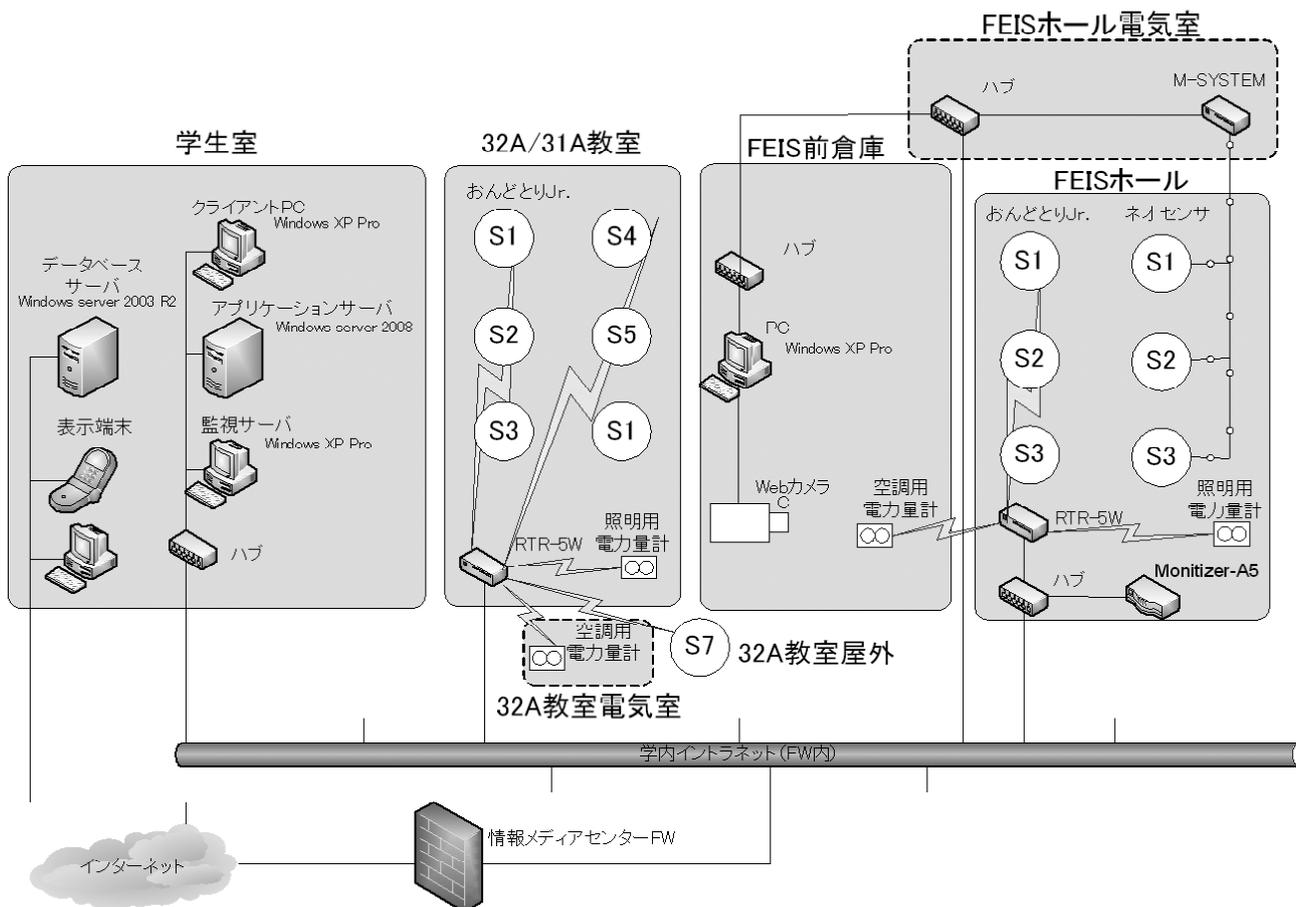


図4 空調環境可視化システム構成図

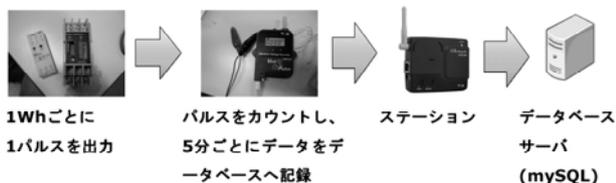


図5 電力量計からのデータ取得の流れ

空調を利用することにより電力量計が1Wh消費したと感知したとき、1パルスを出力する。出力されたパルスをおんどり RVR-52 がパルスを数えて、5分毎に積算する。積算したデータを特定小電力無線でFEISホール廊下に設置したステーションに飛ばし、データベースサーバに保存する。

次に、32A教室および31A教室では、教室内に設置したRTR-53Aは特定小電力無線で教室内の教卓内に設置したステーションRTR-5Wを通じて校内LANに接続されている。電力量計は、32A教室外の電気室にオムロンの電力量計KM20-B40を設置して計測している。計測したデータは、FEISホールと同様RVR-52Aでパルスを積算して、特定小電力無線で32A教室のRTR-5Wに接続し、校内LANに接続している。31Aも同様である。

学生室では、データベースサーバとステーションとの間でデータをやりとりするためのアプリケーションサーバとデータが取得できているかどうかを監視する監視サーバは校内LANに、データを保存・配信するデータベースサーバは学外LANに各々接続されている。

3. 2環境データ蓄積部 (サーバ構築)

アプリケーションサーバはWindows Server 2008にてサーバ構築を行い、学生室のファイアウォール内のLANに接続している。おんどりやM-SYSTEM, Monitizer-A5からデータを取得し、データベースサーバに保存している。データの流れを図6に示す。

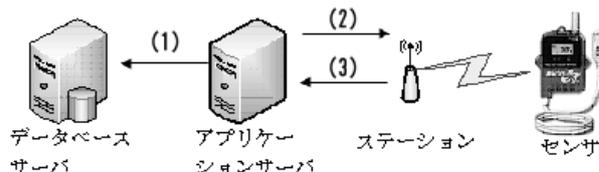


図6 データ取得の流れ

アプリケーションサーバでは、センサからデータを取得するプログラム (Python または C# で作成) を動かして

いる。ステーションはアプリケーションサーバからデータ取得の依頼がくる(図6(1))と、センサに向かって特定小電力無線でデータ送信の指示を順番に出す。センサはデータ送信の指示がくると特定小電力無線でデータを送信する。ステーションはセンサから送られてきたデータをまとめてアプリケーションサーバに返す(図6(2))。アプリケーションサーバは返ってきたデータをデータベースサーバにSQL文でクエリをデータベースサーバのMySQLサーバの指定されたテーブルに追記する(図6(3))。

データベースサーバは、各種センサから収集したデータを蓄積することと蓄積したデータの配信を目的に設置した。FW外に設置することにより外部からのアクセスもできるようにした。データはRAID1を適用したHDDに保存することにより、万が一の場合にもデータが失われないようにした。今回利用したRAID1とは、同容量の2台のHDDに対して同時に各データを書き込むことにより、片方のHDDが故障した場合でもデータが消えることのないようにしたシステムである。

監視サーバは、データが取得できているかを監視するためのサーバである。ディスプレイ上に各種センサの生データを表示させた。5分毎にデータが取得できているかどうか判定し、取得できていない場合や異常なデータが取得されている場合には短いメロディを流すとともに管理者にメールを送る。

3.3 環境データ表示部

図7に示す通りWebページでのデータ表示のために、アプリケーションサーバがデータ取得の指示を出し、データを受け取り、SQL文を使ってデータベースサーバに保存している。Webページでは、PHP[3]を使ってデータベースにアクセスして、必要なデータを表示する。PHPとは、動的にHTMLデータを生成することによって、動的なWebページを実現することのできるプログラミング言語である。このPHPを利用してデータベースサーバよりデータを取得、表示することにした。具体的には可視化

した情報を表1に示す。図8に示す通り、現在の温度、湿度、不快指数、電力量、及び二酸化炭素排出量である。データの表示のため、データベースの最後の行を取得し、最新のデータを表示した。電力量と二酸化炭素排出量^[2]は、図9に示すようにISO14001の環境負荷を低減する取り組みである環境マネジメントシステムに活用させるため、日毎、時間毎、月毎、年毎の積算値の比較を可能にした。

表 1 可視化した情報

	FEIS ホール	32A/31A 教室
温度(°C)	6箇所	6箇所
湿度(%)	3箇所	6箇所
不快指数	3箇所	6箇所
電力量(kWh)	5分当たり 時間あたり 日あたり 月あたり 年あたり	5分当たり 時間あたり 日あたり 月あたり 年あたり
二酸化炭素発生量(kg)	5分当たり 時間あたり 日あたり 月あたり 年あたり	5分当たり 時間あたり 日あたり 月あたり 年あたり

さらに過去の温度・湿度・不快度のデータを検索できるようにした。ページの作成には、HTMLとPHP、JavaScript、MySQLを利用した。利用者に使いやすいように日時の検索の際には、現在の日時をはじめから選択してある状態にすることや、その前に検索した日時を入力してある状況にすることにより、ユーザビリティを高めた。図8に示す通りWebページでのデータ表示のために、アプリケーションサーバがデータ取得の指示を出し、データを受け取り、SQL文を使ってデータベースサーバに保存している。Webページでは、PHPを使ってデータベースにアクセスして、必要なデータを表示する。

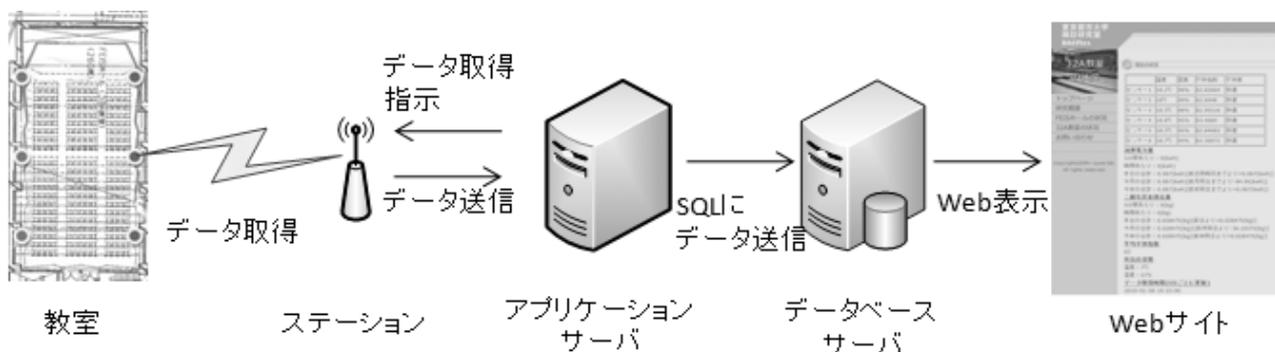


図7 データ表示の流れ

さらに、図10に示す通り携帯電話でも表示を可能にした。ほとんどの学生や教職員が所持している携帯電話でも表示できるようにした。このことにより、いつでもどこでも誰でも簡単に現在の教室内の状況や環境負荷を見ることができる。



図8 Web サイトでの表示

二酸化炭素排出量

5分間あたり：0.222275(kg)
 時間あたり：0.745025(kg)
 本日の合計：0.745025(kg)[前日より+0.745025(kg)]
 今月の合計：7.171025(kg)[前月同日より-28.9612(kg)]
 今年の合計：7.171025(kg)[前年同日より+7.171025(kg)]

図9 二酸化炭素排出量の表示



図10 携帯電話での表示

また、学内の廊下でも、各部屋の状況および環境負荷の増減を簡易的に見られるように図11に示す通りタッチパネルによる表示画面を作成した。このタッチパネルは、Visual Basic で作成したプログラムで、データベースサーバにアクセスし、データを表示している。無線LANを搭載しているので、電源さえあれば学内どこでも設置することが可能である。常時設置に対応するため、朝8時に起動し夜22時に自動終了するようにプログラムしてある。また、リモートデスクトップによる遠隔管理も可能である。表示画面の様子を図12、図13、図14に示す。

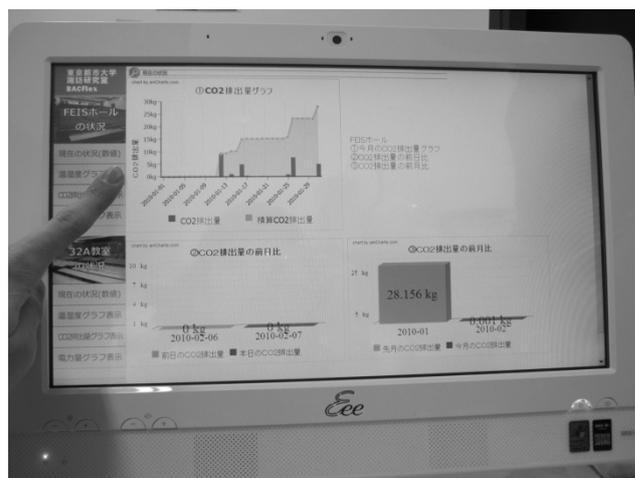


図11 タッチパネルでの表示

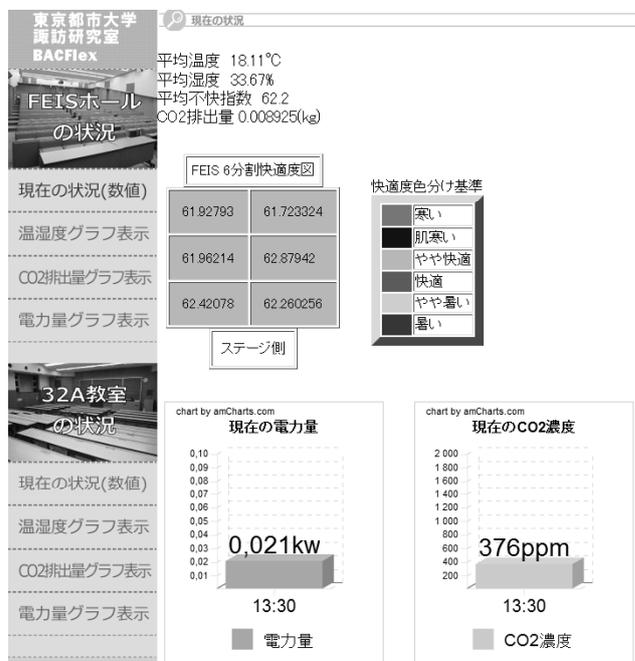


図12 現在の表示画面

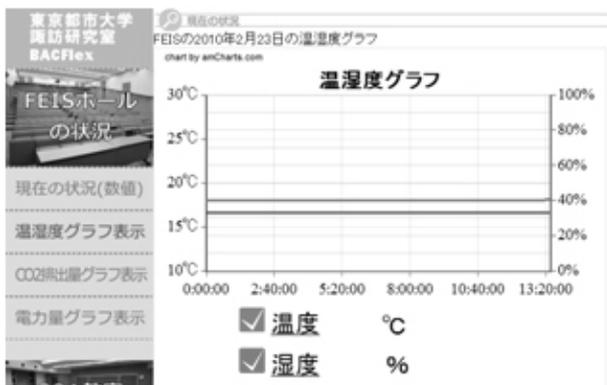


図13 温湿度の状況を示したグラフ

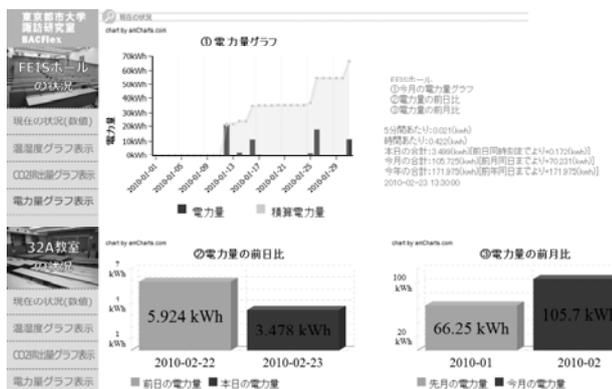


図14 二酸化炭素排出量の状況を示したグラフ

最後に、図15に示すとおり教室内の教卓でもその教室の状況を把握できる教卓モニターを作成した。この画面に教室内の状況を表示することにより、空調や窓をどのようにすればよいのかを判断できるようにした。この教卓モニターは、Visual Basic で作成したプログラムで、データベースサーバにアクセスし、データを表示している。常時設置に対応するため、朝8時に起動し夜18時20分に自動終了するようにプログラムしてある。また、リモートデスクトップによる遠隔管理も可能である。



図15 教卓上の表示

4 考察

本研究では、データベースサーバによって図16に示すようにデータを集中管理した。これにより、各種センサがメーカーや仕様の異なる既存のものを使用したことにより、利用するプログラミング言語が異なることにより発生する問題点を解消することができる。また、後から異なるメーカーのCO2濃度センサが導入されても柔軟に対応できた。そして、データベース利用は、環境データ測定部だけではなく、環境データ表示部にも良い影響を与えた。例えば、専用ソフトを利用しなくてもインターネットにアクセスできるパソコンや携帯電話など各種情報端末により確認できるようになった。これは、Web表示にPHPを使うことで、データを動的に様々な角度から検証できるようになったうえに、変更が必要になったとき表示部分の加工がしやすくなった。例えば、今回作成した書このデータとの比較も、必要に応じて時期や時間を限定して比較することができる。また、プログラミングなど意識せずに利用者が比較できるWebページの作成など改善が容易である。そして、データの検索もデータベースサーバ導入により高速でかつ容易に検索が行え、環境監査に重要な過去のデータの参照が容易になった。

今後は、このデータベースのデータを活用し、ニーズに合わせた必要な情報に絞り、適切な端末でデータを掲示する必要がある。また、ただ計測するだけではなく具体的な環境負荷の低減と、空調制御による快適度の向上の方法を検討する必要がある。

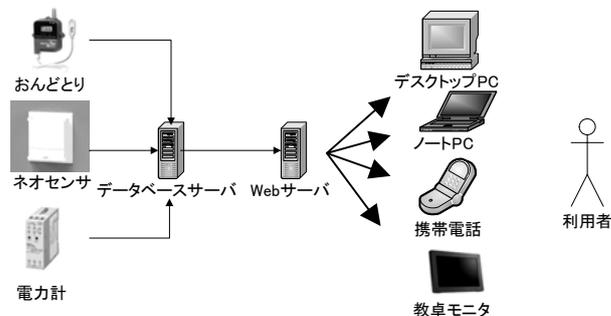


図16 データの集中管理

5 おわりに

5.1 まとめ

本研究は大学施設利用者の環境に対する意識向上を目的とし、主要教室の教室環境と環境負荷を利用者が容易に見ることのできるシステムを構築した。特に、今までリアルタイムかつ常時計測できていなかった教室環境や電力量をデータベースにデータを蓄積することにより、大学内の省エネルギー化への貢献及び、他の研究にも役立つことができる。今後は本研究での成果を活かし、

そして更に設置を拡大することによって、環境負荷低減に努めつつ空調環境を改善していく必要がある。

本システムを利用することにより、本学の環境教育において、環境負荷の推移をリアルタイムに監視できるので、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期待できる。

5.2 今後の課題

本研究では、各種データは一定期間しか取得できなかった。正確なデータを集計するためには、長い期間をかけてデータを取得しなければならない。また、今回のシステム基盤を活用した応用研究も望まれる。

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、奥田和也氏、廣澤勇太郎氏、情報メディアセンターの風間陽平氏、国立環境研究所の杵嶋修三先生、知識工学部熊谷敏教授、大学の LAN 利用のために協力して下さった情報メディアセンターのコアセンターの大野昭彦氏、石井身和子氏、さらに本研究を手伝っていただいた諏訪研究室 3 年綾部櫻子さん、遠藤幸次君、森口英喜君に心より御礼の言葉を申し上げます。

参考文献

- [1] 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス. 日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2008 年度速報値) : <http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>.
- [2] 国際メンタリング&コーチングセンター : <http://www.smartvision.co.jp/>
- [3] Mehdi Achour, Friedhelm Betz, Antony Dovgal, Nuno Lopes, Hannes Magnusson, Georg Richter, Damien Seguy, Jakub Vrana, PHP マニュアル翻訳プロジェクト, PHP マニュアル(日本語), 2009 年 12 月 4 日