建物データ・リアルタイムモニタリング・システムの開発

DEVELOPMENT OF REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR BUILDING DATA

馬郡文平 — *1 野城智也 — *2
加藤孝志 — *3 藤井逸人 — *4
光山義紀 — *5 塩野禎隆 — *6
桑原康浩 — *7 杉本克明 — *8
辻 真吾 — *9 渡守武 晃 — *10
栗野洋雄 — *11

Bumpei MAGORI — *1 Tomonari YASHIRO — *2
Takashi KATO — *3 Hayato FUJII — *4
Yoshinori KOHYAMA — *5 Yoshitaka SHIONO — *6
Yasuhiro KUWAHARA — *7 Katsuaki SUGIMOTO — *8
Shingo TSUJI — *9 Akira TOMOTAKE — *10
Hiroo AWANO — *11

キーワード:

モニタリング, 建物データ, 評価手法, データ分析, 省エネルギー, 環境負荷低減, モジュール

Keywords:

Monitoring, Building data, The evaluation method, Data analysis, Energy saving, Reduction of environmental load, Module

This report presents new development of real-time monitoring system for building data. The monitoring system will be able to reduce damage of environment and energy use in the construction sector. It presents easy setting to monitor building data, easy data analysis with personal computer, and easy access to the real time data to use the web browser. This developed system and the web services are very reasonable compared with the system in the past.

1. はじめに

建物のエネルギー需要は年々増大し、原油価格の高騰など経済的变化もめまぐるしい。省エネルギー対策や環境負荷低減対策が益々重要になる中で、エネルギーと資源枯渇問題への対応は急務である。省エネルギー対策や環境負荷低減対策として、様々なハード・ソフト技術の開発や商品開発がなされているが、その技術や商品が省エネ対策として本当に効果があるかどうかの判断は難しい。“建物の省エネルギー評価”や“省エネルギー技術に関する評価”は定性的であったり、その都度前提条件が異なったり、評価基準が不明確であるため、明確な評価を可能とする技術開発が必要であると考えた。

絶対評価ができれば、定量的なデータ取得は必須である。この定量的データ取得及び評価を実施するためには概ね以下のプロセスが必要である。事前調査－測定計画－センサー取付－調整－データ収集－評価・分析など、これらの一連の作業は複雑であり、かなりの時間・コスト・労力を必要とする。そのため現状では、よほど測定の必要性のある対象以外は、限られた時間内での評価であったり、定性的評価や簡易評価で代替したりという場合も多い。

著者らは、データ取得から分析結果を得るまでの一連のプロセスに時間がかかり、問題点の共有化が遅れるなどの従来の課題を解決する為に、最新の IT を活用した独自の建物データ・リアルタイムモニタリングシステムを開発し、実際に運用している施設に開発したプロトタイプシステムを導入した。その結果、本開発システムは、機能性、経済性に優れ、従来の測定では実現が難しかった大量のデータをリアルタイムに取得でき、省エネルギーのための正確な分析を可能にしたので、その結果について述べる。

2. 現状分析と開発方針

建物に関わるデータは本来広範囲であるが、データの取得方法という観点からあえて2つに分類した。それは“①センサー等を活用し、データを自動的に計測する方法”と、“②人が直接目視（あるいは写真）、ヒアリング、関連資料等によってデータを把握する方法”である。①の方法に関しては、センシング技術、IT 技術、計測技術、分析技術等は進歩しているため、データ取得の方法等が益々増え、IT デバイスやソフトは性能が向上して、近い将来、より多くの人々がデータを安価で簡便に利用できるようになると考えられる。

本システムの開発を実施する上で注目したのは、①のデータ取得方法である。その理由は、②の方法では、データ取得に人手が必要であり費用的にも高価で時間がかかる。②の方法で、定量的なデータを得ようとすれば、建築物が一品生産であり、構造、規模、立地条件、構工法、用途、利用形態など建物毎に差異があるため、多岐に及ぶ調査項目のデータを得る必要があるがそれは大変困難である。さらにデータ取得を困難にさせる理由は、建築・設備のシステムには建物固有のものが多く、人為的なデータは管理状態が異なっていること、建物管理会社の業務内容や記録内容に違いがあること、管理者の資質等々に違いがあることなどである。

本開発では、②の方法でしか収集できない情報に関しては、データ取得後の分析に利用する最低限のデータを選択し活用することとした。本開発方針を決める前に、定量的評価を実施するにあたっての課題とその原因について調査した。この結果を次頁の表1“建物のエネルギー使用量の定量評価が困難な理由”に示す。

*1 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, ㈱竹中工務店エネルギービジネスプロデュース本部兼任 工修 (〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1)

*2 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*3 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, 朝日機器株式会社システム事業部兼任

*4 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, ㈱竹中工務店東京本店設計部兼任 工修

*5 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, (有)バクサリ兼任

*6 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, (有)バクサリ兼任

*7 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, ソニー映像センター兼任 工修

*8 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, 東洋熱工業産業空調推進部兼任

*9 東京大学先端科学技術研究センター 博士課程

*10 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, ㈱竹中工務店エネルギービジネスプロデュース本部主任兼務

*11 東京大学国際・産学共同研究センター 研究員, 大和証券米国(MBA)兼任

*1 Fellow, Center for Collaborative Research, Univ. of Tokyo, Dept. of Energy Business Produce Section, Takenaka Corporation, M. Eng.

*2 Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

*3 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, System Dept., Asahikiki Corporation

*4 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Dept. of Building Design, Tokyo Main Office, Takenaka Corporation, M. Eng.

*5 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Bucsaly Co., Ltd.

*6 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Bucsaly Co., Ltd.

*7 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Administrative Center, Sony Corporation, M. Eng.

*8 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Dept. of Industrial Aircondition, Tonets Corporation

*9 Research Center for Advanced Science and Technology, Univ. of Tokyo, Doctor Course

*10 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Dept. of Energy Business Produce Section, Takenaka Corporation

*11 Fellow, CCR, Univ. of Tokyo, Investment Bankign Dept., Daiwa Securities America Inc., MBA

表1 建物のエネルギー使用量の定量評価が困難な理由

主な課題	内容
①データ取得が難しい	省エネ量や環境負荷量を測定するには、例えば電力量、エネルギー量、水使用量、各種機器の運転効率等々の情報を把握する必要があり、大量データ、長期間の同時取得が必要。
②評価は専門的	省エネ・環境負荷低減等に関しては、取得したデータに数式を活用し、各種標準・基準と比較し、測定状況に応じた判断を行うなど専門性が必要。
③判断基準が難しい	建物における省エネルギー基準はあるが、次世代省エネルギー基準 ¹⁾ においても運用時のデータによる評価基準は無い。(データ少ないため)
④判断する側の専門知識不足	大量データを活用した省エネ・環境分析は今後期待される技術であり、理解や対策の判断ができる専門家は、建築セクター・エネルギーセクターに少なく、診断分析を専門に行う専門企業もない。
⑤評価にコストや手間をかけられない	既往の企業のほとんどはエネルギーや環境負荷データ等を継続的に測定評価する慣習が無く、評価分析には費用をかけない。
⑥光熱水料金の算定が難しい	電力会社、ガス会社の違い、及び契約体系の違いによって料金算定基準が複雑であり、比較評価が難しい。また度々料金体系の見直しがあり、その都度算定方法も見直す必要がある。特に大口需要家と呼ばれるエネルギーを大量に利用する需要家の契約方法は、相対契約の場合があり、契約内容が適正かどうかの判断が難しい。
⑦組織的課題	評価する組織にエネルギー管理の専門家が不在で評価担当者がいない。データの理解や対策の判断ができる専門家を組織内部に持っていない。また省エネや環境負荷低減の関心が低い。

従来のデータ取得に関する課題を解決するために、これら課題に対応する解決方法の検討を行った。以下の2. 1～2. 5に検討結果を示す。

2. 1 データ取得を簡易に実現

「①データ取得が難しい」、「⑥評価に手間をかけられない」という課題を解決するために、従来は専門企業が専用機器や専用通信方法によって行っていた測定方法を見直し、可能なかぎり、汎用 IT 機器や汎用通信を活用して、今回の計測システムを構築することが重要であると考えた。また単独の建物、設備システム及び設備機器毎にローカルでデータを蓄積するのではなく、どこで測定されたデータでもインターネット通信を経由して一箇所に蓄積され、一元的にデータ管理が実施できることが重要であると考えた。そしてデータを識別することにかかる労力を無くし、人手によるデータ受け渡しや誤入力を無くして、評価分析等に関しても簡易化できる機能の開発が重要であり目標とした。

2. 2 専門家以外のユーザーに対応

「②評価が専門的」、「④判断する側の専門知識不足」、「⑦組織的課題」という課題を解決するために、専門家による分析に対応するだけでなく、最終的な分析結果の表示においては、できる限り専門家以外のユーザーや専門知識の少ない素人であっても、専門性レベルや組織の役割によらず分析結果が理解できることが重要であり、フレキシブルな表示機能、言い換えれば途中の分析プロセスを感じさせないで評価できる機能が重要であり、本開発の目標とした。

2. 3 信頼性の高い評価の実現、評価基準を解り易く簡便にする

「③判断基準が難しい」という課題を解決するために、従来は、1つの建物でエネルギー使用量や一次エネルギー利用効率などを算出し省エネルギー効果の評価を行っていたがこれを見直し、建築用途や利用方法が比較的類似している建物同士で相互に比較ができることが重要と考えた、例えば、蓄積されたデータにより、ある期間のエ

ネルギー使用量の平均値や㎡当たりのエネルギー使用量など原単位を算出して相互比較することで定量的な比較が可能になる。つまり建物や設備毎のベンチマーキングを可能にし、時系列データによる比較を容易するデータ蓄積方式が構築できれば、いままで長期での比較や多数の並列的な分析が難しかったデータの比較も可能になる。実データにより評価基準の見直しも図れるよう、わかりやすく評価を実施できるような機能の開発を行った。

2. 4 導入、運用費用が安価で、かつ追加・変更が容易

「⑤評価にコストをかけられない」という課題を解決するために、最新の汎用 IT 技術を活用した。IT 技術の進歩は目まぐるしく性能価格競争により益々高性能で安価になることは容易に想定できた、そこで汎用 IT デバイスを活用して全体システムが構成されることにより、高性能で安価かつ拡張性が高いシステムを実現し、同時に将来にわたっても追加・変更に対応できる開発を目指した。ソフトに関しても、ハード同様に専用ソフトではなく、デファクトスタンダードのプロトコルやプログラム言語の活用により、汎用性や再利用性の高い機能の開発を目指した。

2. 5 算定データなどデータ更新に対応

「⑥光熱水料金の算定が難しい」という課題を解決するために、はじめから、評価分析計算に活用される関連数値データ(換算係数、関数、各種係数、各種料金他)は将来追加変更されるものと考えた。このような算定に必要な関連数値データが入れ変わっても、再計算の場合、簡便に再現できる算定フレームを検討した。初めから予見できない関連数値データが発見され、それを評価分析に場合活用したいとき、後々でも追加変更を可能にしたい。この条件を満たすために、後から発見された関連数値データが、サーバー蓄積されたデータと関連付けできるかが重要である。そこでデータベースに関しても、可能な限り特定のソフトや専用ソフトに依存しない形式で汎用的にデータ蓄積が出来る機能の開発を目指した。

3. システムの概要

3. 1 全体概要

開発段階では、本システムの適用範囲を検討した。建物のエネルギー管理の調査を実施した結果、最近建築された比較的規模が大きな建物(概ね 5000 ㎡以上)においては、なんらかの省エネ技術の導入がされているが、築年数が古くなるほど、また規模が小さくなるほど省エネルギー対策や環境負荷対策は限定的になりあまり実施されていない。特に建築ストックでシェアの大きな小規模建物(5000 ㎡以下)ではエネルギー管理もほとんどされていないことが判明した。つまり、もしうまく開発できれば多くの既存建物に本システムもしくは応用技術の適用が可能だと考えた。そこで著者らは、本開発システムが規模や建築用途の異なる建物・設備にでも導入し易いように、利用面においては専門家及び専門家以外の広範囲なユーザーが利用できるインターフェイスの重要性を認識し、機能面では、拡張性が高く、追加・変更柔軟性が発揮する機能が必要であることを早期に認識した。本開発システムの全体の枠組みを考える上でモジュール化(モジュール設計)を試みた。この考え方を導入することにより、ユーザーニーズによるシステム変更が起きた場合や機能劣化による最新機能への更新の必要があった場合でも、部分的にモジュールもしくはサブモジュールを見直したり交換することによ

り全体システムの機能に悪影響を及ぼさず、全体を再度構築しないで各機能を向上させることも可能であるという機能が実現できると考えた。つまり、ある程度恒久的かつ汎用性の高いインターフェイス（妥当な機能のモジュール化）を決めつつ分類するというモジュールデザインの手法²⁾を応用して全体設計を行った。この趣旨で研究開発されたシステムの概要を以下の図1に示す。本システムは大きく4つの系（計測系、蓄積系、閲覧系、表示系）で構成されている。さらに4つの系統の中を8つの機能モジュールとして分類した。その理由は、4つの系（計測系、蓄積系、閲覧系、表示系）は本来個別であったとしても単独で機能する必要があるものであり、独立した機能としても重要である。つまり本開発の基幹システムと考えられる。さらに8つのモジュールは、計測系、蓄積系、閲覧系、表示系において、将来に技術が個別に発展することが予測される。つまり、計測技術やIT技術等の専門技術分野に関しては、相互に間接的に関係はあるものの、市場や技術としては異分野であり、各々の技術が個々の目的を持って開発され、社会的、経済的、市場原理、商品を開発する企業の方針等々の独自理由により発展することが充分予測できる。将来利用しなくなる技術もあるであろうし、逆に高機能化し発達する技術もあるであろう。著者らは、本開発の目的を考えると個別の技術の発展を本開発システムが将来も取り込むことを念頭においてフレームワークを構築することが最重要であると判断した。

図1 システムの概要図

さらに説明すると、研究開発の目的機能のみを実現するのなら、今回のように系（4つのシステム）を分解し、8つの機能モジュールで構成しないで統合的なシステムを開発しさえすればいい。しかしモジュールデザインを用いて開発を実施する場合は、インターフェイスを精緻に整理し、機能を丁寧に分類することには余分に時間を要する、しかしこの前作業はとても重要である。

8つの独立機能に関する技術の進歩を取り込むことで、開発システムが拡張性、機能変更対応、応用技術との連携、経済性（安価な汎用パーツの導入）、機能性（最新で高機能なITパーツやソフトの利用）等、将来に渡って最良の技術を採用できることの方が遥かに重要であるという結論に達した。

モジュールの構成上のポイントは、精緻な機能分類と充分配慮されたインターフェイスにある。ITの進歩は早く、明日にでも各々独立した技術が予測を超えて発達する。開発システムが最新であり、全体機能を向上させつつけるためには、この精緻な機能分類によって、汎用的なインターフェイスで相互に連絡が取れることが重要である。汎用的なインターフェイスとは、主に「通信（もしくは通信ソフト）」とそれに従属する「汎用接続デバイス」ということになる。通信（もしくは通信ソフト）の考え方を表2に示す。（表2の中の記号は図1参照。）Ⅰ～Ⅶのインターフェイスには、それぞれ接続する対象が異なるために、インターフェイスの機能を満たす条件が異なる。

る。開発においてこのインターフェイスを整理する作業は、逆にそれぞれのモジュール機能を明確にすることにもなり、専門性の異なるメンバーが開発内容や技術を理解することにも大変役に立った。

表2 通信（もしくは通信ソフト）の考え方

記号	通信対象	内容
I	①測定対象～②センサー	非接触、接触の場合でも通信（通信ソフト）無し。
II	②センサー～③計測器	アナログもしくは専用デジタルの変化を示す電氣的に単純な電流もしくは電圧信号。通信（通信ソフト）無し。
III	③計測器～④送信部	各メーカー専用通信が多いが、汎用通信が望ましい。
IV	④送信部～⑤受信・蓄積部	建物以外への外部通信、各メーカー専用通信が多いが、汎用通信が望ましい。
V	⑤受信・蓄積部～⑥閲覧部	各データベースソフトに依存した通信が多いが、汎用通信が望ましい。
VI	⑥閲覧部～⑦表示部	従来は、各メーカー専用通信が多いが、インターネット等のWebブラウザ等を活用する場合、メーカー依存を無くした汎用通信が望ましい。
VII	⑦表示部～⑧ユーザー	非接触、接触の場合でも通信（通信ソフト）無し。

さらに開発した系ごとの開発要旨を以下の3. 2～3. 5に示す。

3. 2 データ取得の考え方

3. 2. 1 取り扱いデータの範囲に関して

省エネルギーや環境負荷軽減のために、建物データの何を取得すれば良いかを考えるには、データを取得する前に、何の対策に活用できるかを想定することが大変重要である。本来であれば効果の大きい対策に必要な最小限のデータを取得することが望ましいが、開発システムにおいては、取り扱うデータは広範囲に定義した。その理由は、建物の立地条件、用途、規模、設備システム、使い勝手等が異なっても得たい共通データもあれば、ある建物においてのみ測定したいデータもあるためである。「測定対象がどのようなものであっても、センサーによって測定可能であれば、センサー種別や対象を問わずモニタリングは可能」であってほしい、またシステムとしてはほとんどの物理量の取得が可能となるように考えた。例えばエネルギーモニタリングを行う場合には、電力量、ガス量、熱量等の建物に導入される一次エネルギーの使用実態をつかむことは重要である。さらにエネルギーの適正利用に関して分析評価する場合、建物の使い勝手（利用時間）や収容人員などさらに詳細なデータ取得が望ましい。分析評価を進める段階で、後からデータが必要になった場合、いつでもデータを加えて分析評価ができるようなフレキシビリティが求められる。

3. 2. 2 サンプルング間隔の考え方

データ取得間隔に関しては、データ取得と同様に、データを何に利用するかによってそのサンプルング間隔が検討されるべきである。開発システムでは、サンプルング時間を自由に変更できるようにシステムを設計した。たとえば年間のエネルギー使用量を比較する場合は、1年データがあれば十分であるが、季節変化を分析する場合は月単位や代表月の1日もしくは24時間データが望ましい。さらに、1日のエネルギー使用量を分析する場合は、1時間データが必要である。仮に特徴のある1日24時間のエネルギーデータが取れた日があったとすると、さらに深い分析評価を実施する場合はその時間の設備機器の稼働状況等が知りたくなり、この場合には1分データが必要である。そこでプロトタイプにおいては、各種文献調査および測定実績より、エネルギーに影響を及ぼす設備機器等の使用実

態が把握でき、詳細分析が可能となるようなサンプリング間隔とした、具体的には1分間隔のデータ⁴⁾でデータを取得する方法を採用した。

3.3 「計測系」の開発要素

現在建物に設置されているセンサーのほとんどは、建物の分析評価に利用することが目的ではなく、一般的に監視や建物維持管理を目的に活用されている。また、防犯、防災等に関しても多くのセンサーが活用されるようになってきている。近年のIT技術の進歩でセンサーが高機能・安価であったり、管理費の削減から無人監視が求められたり、管理の利便性・機能性向上などの理由から測定個所が増えたり計測は益々複雑化している。一方、築年数の古い建物の、センサーや計測による監視制御を行っていない場合が多い。著者らの研究開発に伴う調査結果からも以下のようなことが明らかになった。³⁾多くのセンサーは、建物毎にメーカーや機種が異なり固有の機能で活用されている。また同じメーカーであってもバージョンの違いや異なるシリーズでは機能や通信方法も異なり仕様はまちまちである。歴史的にこれらのセンサーや監視制御装置類は、あくまで監視制御を目的に設置され、分析評価や診断を目的として設置されている訳では無い。調査や測定経験により建物のエネルギー評価を実施する場合には、適切な個所に計測用センサーを追加することが望ましく、既存のセンサーではほとんどの建物において評価には不十分であることが判明した。

近年の建物の中には、BA（ビルディング・オートメーション）やBEMS（ビルディング・環境エネルギーマネジメント・システム）を採用しているものもあるが、データを受け取るには、専門メーカー毎に通信方法が異なり、データの自動受け渡しを要求しても、ほとんどの専門メーカーからは拒否される。たとえデータの受け渡しが可能だとしても相互に通信仕様や通信ソフトが異なるために、専用ソフトの改訂が必要であったり、仕様を合わせたり相当な作業時間や金額を要求される場合もある。汎用通信方式のニーズより、BACネット⁴⁾などの建物用の通信プロトコルが標準化されたが、BACネットで定義されているプロトコルは、部分的な通信プロトコル（図1のVに相当）であり、一般的には、この外部通信仕様を具備していない建物の方が圧倒的に多い。また専用メーカーの監視制御用のソフトがBACネットに対応しようとするインターフェイスが必要で、もう一台余分に中央監視装置を取り付けると同等の作業や費用が必要な場合もある。そこで本開発では、センサーさえあれば（場合によっては既存でセンサーが無い場合であっても、簡易にセンサーを追加することによって）簡易で安価に計測が可能になることを目指した。建物用の通信プロトコル（例えばBACネット）に対応できなくても測定やデータ送信ができる通信方式を採用した。汎用AT互換機の部品で構成されたプロタイプのデータ送信装置を写真1に示す。

写真1 プロトタイプ送信装置（ハード）

この装置に汎用OSを載せて、開発した送信ソフトをインストールし、あらゆるセンサーからのデータをインターネット上の汎用プロ

トコルに変換して送信を行う。プロトタイプの送信機の外形寸法は63.5mm(H) x 273mm(D) x 295mm(W)。尚センサーは、固有の専用通信でもかまわない、送信装置の通信ポートに接続さえすれば、インターネットを利用してデータを蓄積部（受信部）に送信できる。電源はAC100V、DC変換。メモリーにはRAMを用いて、必要に応じて容量の変更や増設を可能とした。代表的なセンサーの事例として、電力量（電流、電圧、無効電力）が測定可能な専用メーカーの電力モニターを開発した送信部に接続して汎用通信上でのデータ送信テストを実施した。この模様を写真2に示す。既往の分電盤にセンサーを設置し、電力モニター経由で、メーカー専用プロトコルを受信し、送信部より汎用通信に変換した送信確認を実施。

写真2 プロトタイプテスト用電力モニター（ハード）

上記のプロトタイプを開発した結果、送信部に関しては、将来ハードを量産すればより安価な生産が可能であることがわかった。またプロトタイプは半分手作りのため、今後は専門メーカーに協力を依頼し量産の検討を行う予定である。また今後の製品設計を行うためのハードの特徴を以下の表3に示す。

表3 送信部ハードを量産する場合の特徴

- 特徴1：安価である。（従来品と比較して1/10～1/20）
- 特徴2：小型化を実現できる。（従来品の1/5～1/10程度：概ね150mm×100mm×40mm程度）
- 特徴3：汎用ハードにより構成
- 特徴4：インターネットに接続可能
- 特徴5：複数の機器と接続可能（拡張性を有す）
- 特徴6：安定したCPUを活用（信頼性を有す）
- 特徴7：無線機能を有す
- 特徴8：故障が少ない（回転式ハードは利用しない。）
- 特徴9：開発したソフトをインストールして利用
- 特徴10：Webサーバーを搭載可能

製品化が実施されれば、送信ソフトに関しても、量産を意識した機能の追加変更が必要になる。従来の専用監視ソフトや計測ソフトのようにわかりにくいプログラム言語の活用はせず、通信ソフトやプログラミングにはデファクトスタンダードを活用するよう配慮した。送信ソフトとしての主な特徴を表4に示す。

表4 開発した送信ソフトの特徴

- 特徴1：特殊な専用通信プロトコルは不可
- 特徴2：デファクトスタンダードにできるよう簡便なプロトコルを採用
- 特徴3：ソフトの構成には既往の標準等をできる限り活用し、専用ソフトとしない
- 特徴4：最新プロトコル（XML他）に充分適用可能
- 特徴5：インターネットプロトコルと併用して活用可能
- 特徴6：将来にわたって改変・拡張等がしやすいプログラム
- 特徴7：AT互換機等（汎用ハード）を利用できるソフトとする
- 特徴8：汎用データベースソフトと簡便な互換性を有す

3.4 「蓄積系」の開発要素

従来の建物監視計測データと、今回の分析データの違いを以下の表5に示す。分析評価及び改善を目的にデータ蓄積されるデータと、狭い範囲で建物維持管理に利用されるデータでは、一見同じように見えるデータに関しても質や量、それに伴う蓄積方式、データの形式など全く異なることが判明した。表5からわかるように、監視制御のみに利用するデータには、長期のデータは不要である。一方、

エネルギー評価や環境負荷削減効果を分析評価しようとした場合には、長期のデータが必要になる。

表5 分析評価に利用するデータと監視制御データの違い

	今回のデータ	従来のデータ
利用目的	分析評価による改善	監視・制御・報告
必要なデータ	長期間～短時間データ (最大3年程度)	短時間 (最大1週間程度)
データ蓄積量	多い	少ない
利用者	専門家及び専門家以外	施設管理者
データ再利用	必要	不要
分析評価ソフトとの連動	必要	不要

例えば、経営的視点から分析する場合には、前年との比較、四半期での比較、前月との比較が重要である。エネルギー使用量や利用効率等を分析評価する場合には、エネルギー使用に関係の深い、「夏期」、「夏期ピーク」、「中間期」、「冬期」、「冬期ピーク」など特徴のある季節間のデータによる分析評価がもっとも重要である。このような観点から、数年間の平均値や経年変化の分析評価を行いたいと考え、プロトタイプでは、オンラインで利用できるデータの蓄積期間を3年間とした。サーバーに関しても汎用 AT 互換機を活用し、開発した受信ソフトを搭載した。蓄積容量や CPU の能力など市販データベースの専用機能は利用せずにデータベースの基本機能を構築し、送信部から送られるデータ格納状態や機能を確認した。プロトタイプ蓄積サーバーを写真4に示す。

写真4 開発した蓄積サーバー外観

3.5 「閲覧系」、「表示系」の開発要素

「閲覧系」、「表示系」においては、蓄積データベース（サーバー）に自動的に蓄積されたデータをユーザーが見たい「表」や「グラフ」等の形式で簡易に表示にできることが重要である。著者らは、表・開発したソフトがユーザーの代わりに意味を解釈してグラフの作成を自動で生成してほしいと考えた。「表示系」のソフトは、ユーザーが専門家や専門家以外で立場の異なる場合でも、それぞれ満足するデータ表示を実現することが理想である。従来のようにユーザーを特定した専用ソフトを制作するのは可能だが今回はユーザーが多岐に及ぶことを想定して開発を行った。例えば建物用途や設備システムが異なる建物で結果を表示する場合に、当然測定データも異なるため、必要とされる評価分析の結果として表示したい表やグラフ形式も異なる。本開発において、その都度ソフトを書き換えては開発費がかさみ、プログラミングに相当する労力も増大する。そこで閲覧・表示機能に関して、プラットフォームになる仕組みを中心に開発した。ユーザーにとって、ウェブブラウザ画面操作で、直感的で簡単に必要なデータを見つけて（蓄積サーバーから呼び出し）、表示することが重要である。「閲覧プログラム」は、「表示プログラム」から呼び出されたユーザーの意図どおりにデータを選択して表示プログラムにデータを返すことになる。この結果、例えば、ユーザーはある特定のエネルギーデータのグラフだけを見たい時に、簡単な方法でデータを選択し、自動的にグラフ生成させることができる。本開発では、評価分析を実現する「Web 自動グラフ」に、最も汎用的な Java^{注1)}の技術を用いたサーバーサイドアプリケーションを実装した。この結果、表5の特徴を実現できた。

表5 Java 技術を用いて開発したアプリケーションの特徴

特徴1：将来自動グラフの種類やパターンを基幹プログラム変更しないで追加できる。
特徴2：システム・分析グラフの多様性を可能にするソフト構成
特徴3：WWWブラウザによる表示が可能
特徴4：データベースソフトに依存しないデータ表示が可能
特徴5：データベース、アプリケーションサーバー、Webサーバーは任意に接続増設が可能

開発ソフトウェアの特定は特定の OS やマイクロプロセッサに依存せず、AT 互換機などのようなプラットフォームでも動作可能である。この汎用性の高さから Java をプログラミング言語に今回採用した。サーバーサイドアプリケーションがウェブブラウザからユーザーによってグラフ作成を命令された場合の動作フローの仕組みを図2に示す。図2 Java 技術を用いたサーバーサイドアプリケーション概念

JDBC^{注2)}を使って通信し、コネクションプールを用いて高速なレスポンスを実現した。また、プログラミングの設計思想としてポリモーフィズム（多様性）の考え方を導入し、将来ユーザー機能が拡張できるように、たとえば多様なグラフの種類等に対応するソフトを開発した。本開発アプリケーションの考え方の事例を図3に示す。

開発したソフトは、クライアントからのリクエストに応じて、XML ファイルを参照する。次に適切なクラスのインスタンスを作成し、データの加工を実現している。もし将来新しい表を作成したい場合には、新しいクラスを作って、その名前を XML に追加するだけで機能を拡張できる。

図3 Java 技術を用いたサーバーサイドアプリケーション事例

4. 既存建築への適用

4.1 適用プロジェクトの概要

本開発システムのプロトタイプを東京大学駒場リサーチキャンパス：全体延床面積約 95,000 m²（現在も建設中）、生産技術研究所（約 52,000 m²地上 6・7F、地下 2F）や先端科学研究センターなど数百 m²の建物まで合わせると全部で 20 数棟の研究棟や関連施設に導入し、リサーチキャンパス全体の電力モニタリングを実施した。本開発システム導入の目的は「駒場リサーチキャンパスにおいて、電力使用実態を把握し、夏期の電力ピークカット及び電力使用量削減に役立てる」ことである。同時に開発システムのプロトタイプが実際の建物で問題なく活用できるかどうかの確認も行った。導入による測定結果から以下のことが判明した。

- ・年間を通じたエネルギー使用量
- ・2003 年、2004 年の夏期 7,8 月ピーク電力量と契約電力の関係
- ・各棟ごとの電力使用量や運用実態
- ・各研究室の電力使用量（照明、空調、実験用等）と運用実態
- ・契約電力を超過した数値（KW）及び超過時間帯の特徴
- ・電力ピーク日とその時間の外気温度等の関係

4.1.1 測定概要

測定期間：2002 年 1 月 22 日～現在も継続して測定中。分析評価

に関しては1分間隔のデータを蓄積し、1時間毎に集計して利用した。尚、冷暖房設備は電気式のため、電力使用量を見れば、空調エネルギーは概ね把握できる。また冷暖房の切り替えは個別である。

4.2 システム設置の結果

駒場リサーチキャンパス全体でエネルギー使用量や運用状態のデータ取得し、運用改善を実施。図4-1に全体システム概要を示す。

測定項目は電力量であり、空調動力、一般動力、電灯、実験用電力および予備を含む総計約1200ポイント。敷地内には、大小約20棟の建物が点在し、比較的新しい建物では、既設電力計とネットワークを活用した。

図4-1 駒場リサーチキャンパス全体システム概念図

各棟の電力データは、イントラネット（インターネット）を経て、著者らの研究室内に設置されたサーバーに蓄積した。本施設は特高受電を行い各棟に変圧して配電されている。図4-2に各棟の電力使用量ピーク時の24hr毎時電力使用量を示す。

図4-2 電力ピーク日の各棟の毎時電力使用量 (KWh)

敷地全体、棟別、用途別、昼間・夜間の電力使用量を把握した結果、夜間でもかなりの電力を使用していることが判明した。図4-3は、敷地全体のピーク日の電力使用量で、主要な棟ごとに使用量や各棟の使用比率も判明した。電力使用量が最も多いのは生産研であるが、 m^2 当たりの延面積の使用量は、各棟と同等だが、今後の省エネルギー対策の優先順位は高いことがわかる。

図4-3 ピーク時間の各棟電力使用量(KWh)と使用率(%)

図4-4に各研究室や各実験装置の電力・空調負荷を把握した結果を示す。研究室毎の活動時間や特徴が判明した。生産研において各研究室の夏期運用を見直した結果2003年は、8~9%の電力ピークカットを実施できた。

図4-4 各研究室の電力使用状況

ブラウザ上のグラフ等により、分析結果の閲覧が簡便に実施され、2004年度は運用改善で省エネや省コストが実現できた。データは設備改善計画や省エネルギー対策立案にも活用されている。本事例以外に十数棟で採用され、省エネ・環境負荷低減の効果を上げている。

5. まとめ

省エネルギー対策や環境負荷低減対策立案のために、専門家や素人ユーザーでも利用できるインフラとして「建物データ・リアルタイムモニタリング・システム」のプロトタイプが完成できた。フィ

ールドでの活用実績により以下5-1~5-4の内容が確認できた。

5-1. 設置方法および施工性

設置方法は簡便であり、施工も数時間で完了できることが判明した。またインターネットによるデータ転送の信頼性も実証できた。

5-2. モニタリング結果および評価分析結果

論理上、全国各地に点在する建物のエネルギー使用量や環境負荷量を一元的に管理することを可能とした。また定量データを活用した分析には、単純な計算や複雑な統計手法にも活用でき、データ取得に時間をかけない分析と省エネルギー評価を可能とした。

5-3. 開発システムの効果

本開発プロトタイプにより当初の開発目標を概ね実現できた。その結果、従来のモニタリングシステムに比べて全体で約1/10以下の費用でデータ取得や分析評価が可能になった。特に、従来、大変難しかった簡便で安価に大量のデータを取り扱うことを実用化し、理論上は無制限なデータ蓄積を可能とし、蓄積データに、ウェブブラウザを通じてアクセスでき、データ分析がどこでも実施できる。本開発システムの適用範囲は、大規模建物のみならず、管理者が不在で計測評価も難しかった中小規模建物においてもリアルタイム・モニタリングを可能にし、省エネルギーや環境負荷低減（CO2他）に役立つ定量的評価分析手法を提供できることが実証できた。

5-4. 今後の開発

今後、モジュール化された個々の機能を製品化し、ユーザーへの利便性向上、機能向上および低価格等を実現し、普及を図りたいと考えている。応用技術では、今まで簡便な評価分析が難しかった環境効率評価、環境経済性の評価⁶⁾等に活用したい。さらに実際の市場においては、建築セクターや関係する企業個々のユーザーに対しても間接的に活用できるような技術を充実したい。

5-5. 謝辞

本報告には、実用化研究開発事業の成果³⁾を活用した。最後に本開発に際して、多大なご協力を頂いた研究者、技術者、関係企業のおよびプロトタイプ導入に際してご協力いただいた関係の方々から謝意を表します。

参考文献

- 1) 建築物の省エネルギー基準（国土交通省、経済産業省平成15年告示第1号）の性能基準（PAL、CEC/V、CEC/L、CEC/HW、CEC/EV）計算法
- 2) Carliss Y. Baldwin, Kim B. Clark: Design Rules The Power of Modularity, 2000
- 3) 野城、馬郡他：最新のIT技術を活用したエネルギー・インフォメーション・サービス・プロバイダー（EISP）ビジネスモデルの開発報告書、平成14年度大学発事業創出実業化研究開発事業、2003
- 4) BACnet™ビルディングオートメーションデータ通信プロトコル、2007および、BACnet™, A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, 1995
- 5) 建築設備システムの性能計測方法の標準化—コミッショニングに利用される総合計測マニュアルの確立を目指して、社団法人空気調和・衛生工学会建築設備システム性能評価方法の標準化調査研究委員会、2003
- 6) 楊、野城、渡守武、馬郡、魚住他4名：環境性能の経済評価に関する基礎的研究、日本建築学会第17回建築生産シンポジウム論文集、pp8-12, 2001.07

注

注1) 「Java」Sun Microsystems社が開発したプログラミング言語。

注2) 「JDBC」Java DataBase Connectivity: JavaプログラムからリレーショナルデータベースにアクセスするためのAPI。SQL言語による命令を発行してデータベースの操作が可能。

[2004年10月20日原稿受理 2005年2月23日採用決定]