

イントラネット型省エネルギーシステム

木村 健治*・永田 武**

(平成17年8月26日受理)

Intranet Based Energy Saving System

Kenji KIMURA and Takeshi NAGATA

(Received Aug. 26, 2005)

Abstract

Electrical power is a base resource that supports social economic activity, and its stable and efficient supply is indispensable for continued economic development. Our engineering-related university has about 4,500 students. The maximum-electric-power-consumption value in July 2004 was 1,895 kW, and the amount of electricity used was 759,000 kWh. By comparison with domestic use, this is equivalent to the amount which about 2,500 houses consume.

In order to check the actual conditions of electrical power consumption in view of the matters discussed above, an "intramural electric power energy monitoring system" was developed. In this paper, we propose a prototype system of intranet-based power saving system.

Key Words: intranet, energy saving system, power monitoring, discomfort index

1. ま え が き

近年エネルギー問題は、わが国だけでなく地球規模の問題となっている。現在の我々の社会はエネルギーの大量消費によって支えられており、日常生活に欠かせない電気、ガス、水道はもちろん、現代社会の基礎となっている運輸、通信なども全てエネルギーを利用している。また、私たちの目に見えないところでも、多くのエネルギーが消費されており、農作物、食品、洋服など、あらゆる製品はその生産過程においてエネルギーを利用している。しかし、わが国はエネルギー資源に乏しく、そのほとんどを海外からの輸入に頼っている。日本国内で算出される「国産エネルギー」は、水力、地熱、風力や若干の天然ガスなどのみで、わが国が必要とするエネルギーの4%にすぎない。また、原子力発電に必要なウランも海外から輸入されているが、原子力エネルギーを含めてもエネルギー自給率は約20%にすぎないという状況にあり、エネルギーの安定供給とい

う点において問題を抱えている。また、エネルギー生成時に排出される二酸化炭素の排出や限りあるエネルギー資源の消費量の増加等によるエネルギー問題も近年の発展途上国の急成長に伴い危惧されている。

それらのエネルギー問題に対して、具体的にとられている対策として次のものが挙げられる。

- ①新エネルギーの開発
- ②省エネシステム開発

①については、現在多くの研究が為されており、一部で実用化されている。また、②については、機器個別に関してはインバータ技術などの推進、工場などに関しては、コジェネレーションシステムの導入により効率的になっている。しかし、ビル・店舗などの各機器の稼働実績を見ると改善の余地はあると考えられる。既に、ビル・店舗用に省エネ装置が開発され商品化されている。しかし、そのほとんどは受電盤付近に設置し、ビル・店舗全体の一括管理制御方式となっている為、各部屋や階に個別に振り分けるこ

* 広島工業大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

** 広島工業大学工学部知的情報システム工学科

とが困難である。

ところで、現在本学では、学生と教職員を合わせると約5,000名が電力エネルギーを消費しており、昨年度の本学の電気料金は1億円を越えている。単純に計算をすれば、1日当たり31万円の電気料金を支払っていることになる。2003年度より「実時間学内電力監視システム」が現在稼働中である^{1),2)}。本システムにより、本学の電気諸量を学内インターネット経由して電気をサーバーに収集し監視する事が可能である。

このシステムにより、本学でのエネルギー消費の実態を確認することが可能となっている。そこで、本研究では、ネットワークで結合された学内の省エネルギーシステムを実現するために、環境データ(温度、湿度など)の収集を行い、得られたデータをもとにエネルギー消費と人間の感ずる快適さの両面から協調のとれた室内環境制御(エアコン装置や照明装置などの制御)を行う「イントラネット型省エネルギーシステム」について検討し、試作機の開発に着手した。本論文はその概要についての報告である。

2. 学内省エネルギーシステム

(2.1) 実時間学内電力監視システム

図1に「実時間学内電力監視システム^{1),2)}」の構成図を示す。本システムは、本学の受電キューピクルと各建屋の

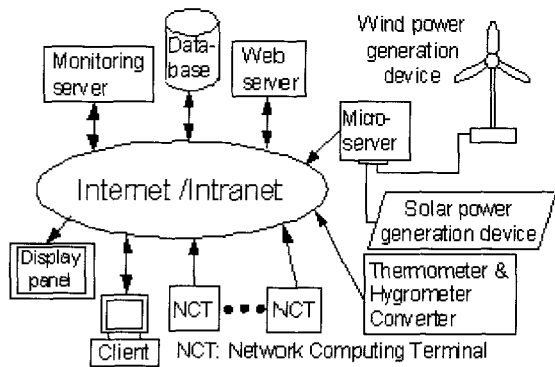


図1 実時間学内電力監視システムのシステム概要

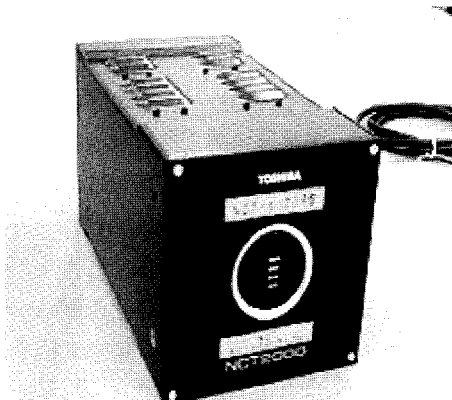


図2 NCTの概観

受電設備に、端末(NCT2000)³⁾を設置し、NCTによって測定した電気諸量を学内インターネット経由して電気をサーバーに収集し監視するシステムである。

次に、図2にNCTの概観と図3に温湿度計の外観を示す。これらは、温度及び湿度の推移と学内の電力諸量の関係を調べる為に「実時間学内電力監視システム」に設置されている。



図3 温湿度計の概観

図4に収集されたデータのトレンドグラフの一例を示す。同図は、学内における各建屋毎の一日の電力消費の推移を表している。

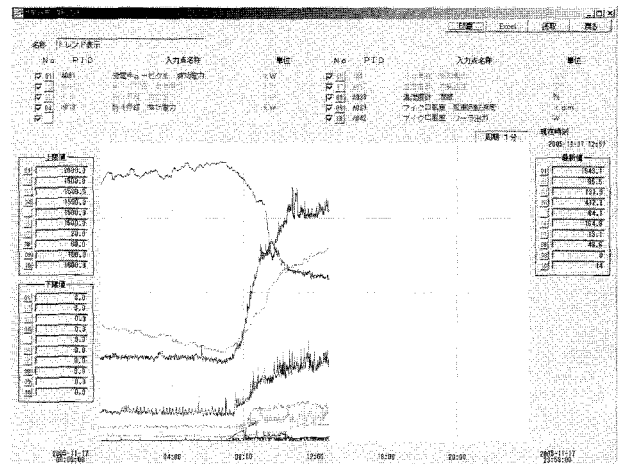


図4 トレンドグラフ表示(日負荷曲線)

(2.2) イントラネット型省エネルギーシステム

(1) システム構成

図5に「イントラネット型省エネルギーシステム」の構成図を示す。このシステムは、実時間学内電力監視制御システムのサブシステムとして構築するものである。本システムは、各教室の温度制御を担当するセンサー部分である「分散コントローラ」、講義棟と研究棟の制御を担当する制御用計算機である「ローカル省エネ制御システム」、さらに、

学内全体の制御を行う計算機である「グローバル省エネ制御システム」の3つから構成される。

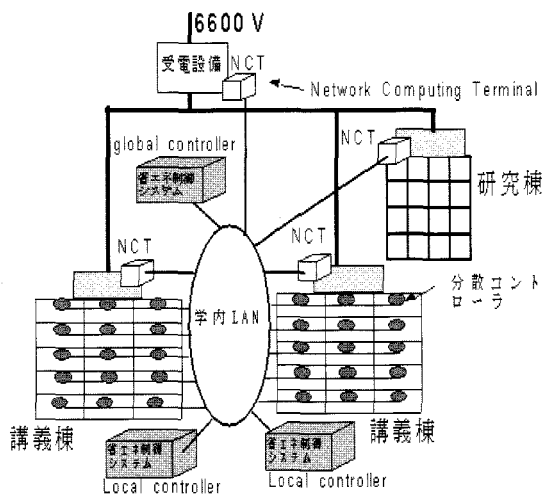


図5 イントラネット型省エネルギーシステムの構成

以下、各構成要素についての説明を行う。

(2) 分散コントローラ

「分散コントローラ」は、教室毎に設置し、室内温度、湿度のデータ取得を行い、そのデータを学内LAN経由で「ローカル省エネ制御システム」に送出する。また、「ローカル省エネ制御システム」からの指令に基づき、空調の温度設定とON/OFF制御、ならびに照明のON/OFF制御を実施する。

「分散コントローラ」には、PICNICを採用した。図6に外観を示す。これは、Webブラウザ上からI/Oの制御や、プログラムで制御を行うことが出来る。また、アナログ入出力を5つ持っており、温度計や湿度計から収集したデータを取り込むことが可能である。また、エアコンなどの機器を制御する為のデジタル入出力を4つ持っている。

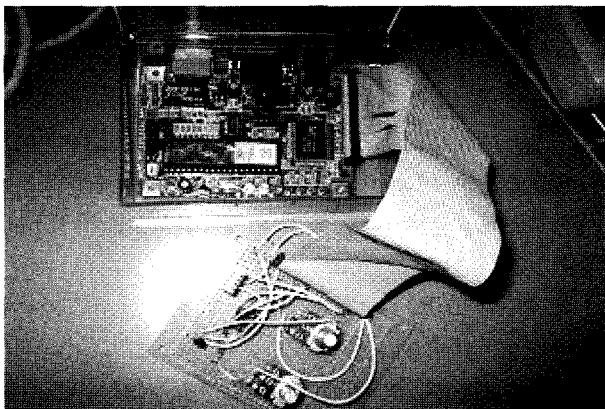


図6 PICNICと温湿度センサー概観

PICNIC 付属の温度計では、10 m V/°Cであり、PICNICのAD変換は5Vを10ビットで表す為に1ビットが約

0.005Vとなっており、0.5度ずつしか計測できない為誤差がかなりあった。今回は、アナログ入力に温度計と湿度計を取り付け、オペアンプで出力を4倍に上げることで、0.1度刻みで計測できるようにした。

図7にPICNICで計測した値をWebで表示したものを示す。同図の上から2番目の値が、温度を3番目の値が、湿度を示している。ただし、これらは、AD変換された値であり、以下の式によってアナログ値に変換される。

$$A = D * \frac{5}{1024} * \frac{100}{4} \quad (1)$$

ここで、A:温度及び湿度のアナログ、D:PICNICによって得られたアナログ値のAD変換後の温度及び湿度を表している。これらの計測値は、プログラムにより、「ローカル省エネ制御システム」のデータベースに収集される。

PIC Network Interface Card Version 1.2.0.0

I/O Ports

Port	Value
RA0 In	213
RA1 In	200
RA2 In	0
RA3 In	0
RA5 In	29 Celsius
RB0 In	H Low L
RB1 In	H Low L
RB2 In	H Low L
RB3 In	H Low L
RB4 Out	H Low L
RB5 Out	H Low L
RB6 Out	H Low L
RB7 Out	H Low L
	Reload

図7 PICNICの収集データ (Web)

(3) ローカル省エネ制御システム

「ローカル省エネ制御システム」は、基本的に1つの建屋毎に設置し、「分散コントローラ」からのデータをもとに、当該建屋の省エネに関わるローカルな制御を担当する。また、建屋全体の状況を上位の「グローバル省エネ制御システム」に通知する。

「ローカル省エネ制御システム」には、OSとしてLinuxのFedoraCore2、収集したデータ保存のDBにPostgreSQLを、収集したデータをリアルタイムで確認または、解析する為に、WebサーバーにTomcatとapacheを採用した。これらのフリーソフトを採用することで、システム構成のコストを下げる事が期待できる。

(4) グローバル省エネ制御システム

「グローバル省エネ制御システム」は、学内全体の消費電力と「ローカル省エネ制御システム」からの建屋毎の消費電力を常時監視し、全体的な省エネに関するグローバルな制御を行う。「グローバル省エネ制御システム」は、現

在稼動中である「学内電力監視システム」を利用する。

3. シミュレーション実験

今回、行った実験は以下の2つである。

- (1) シミュレーションモデルを用いた「イントラネット型省エネルギーシステム」の性能評価
- (2) 「イントラネット型省エネルギーシステム」のプロトタイプの実験評価

分散コントローラの制御方法の効率性を確認する為、図8のシミュレーションモデルを用いて、温度一定の場合と変化させた場合のコストと不快指数を比較した。

(3.1) シミュレーションモデル

図8は、エアコンの設定温度と外部気温から、室内の温度とコストの変化を計算するシミュレーションのモデル図である。ここで、外部気温は、「実時間学内電力監視システム」の温湿度計から得られたデータを用いている。また、図中のMdotは、空気の流量 (kg/sec), haは空気のエンタルピー (J/kg), costはエアコンの1kwh当りにおける電力料金であり、今回は1kwh当り22円を採用した。

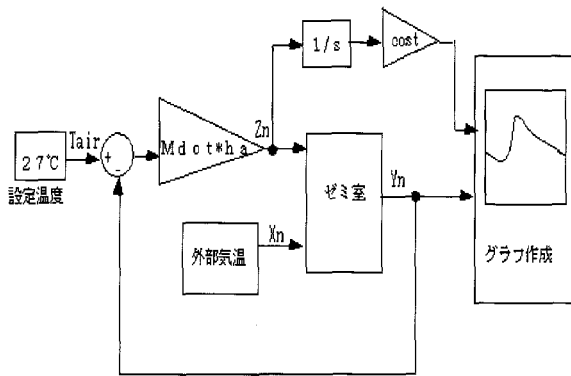


図8 室内温度シミュレーションモデル図

図9は、図8中のゼミ室内のモデルを示している。

ここで、M:室内における空気の総量 (kg), c:空気の

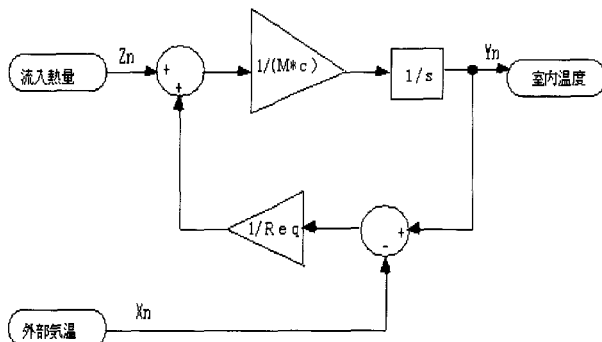


図9 ゼミ室内シミュレーションモデル図

比熱 (J/kg * K), Req:熱抵抗 ((m² * K)/J) を表している。また、ゼミ室は縦6m, 横7m高さ3mである。

以下に本モデルの定式化を示す。

$$Z_n = ((X_n - Y_{n-1}) / \text{Re} q) + (T_{\text{air}} - Y_{n-1}) * \text{Mdot} * \text{ha}) / (M * c) \quad (2)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + Z_n \quad (3)$$

$$\text{Cost}_n = \text{Cost}_{n-1} + |T_{\text{air}} - Y_{n-1}| * (\text{Mdot} * \text{ha}) * \text{cost} \quad (4)$$

ここで、n:時刻、Zn:時刻nの時の室内に流入する温度の変化量、Xn:外部温度、Yn:室内温度、Costn:電力消費の費用を表している。

そして、式(2)は、時刻nの時の室内に流入する温度の変化量であり、式(3)は、時刻nにおける室内の温度、そして、式(4)は、時刻nにおけるエアコンによる電力消費の費用を計算している。

(3.2) 不快指数

本システムの快適性を求める為に、温度と湿度を用いて不快指数を計算した。不快指数の計算式を次に示す。

$$\text{不快指数} = 0.81T + 0.01H(0.99T - 14.3) + 46.3 \quad (\%) \quad (5)$$

ここで、T:温度 (°C), H:湿度 (%) を示している。この式で得られた結果は図10のように分類される。

55以下	~60	~65	~70	~75	~80	~85	86以上
寒い	肌寒い	涼しい	快適	暖かい	やや暑い	暑い	かなり暑い

図10 不快指数表

(3.3) ファジィ制御

今回、快適になる為の制御値を得る為にファジィ演算を利用した。これにより、現在の室内温度及び、温度の変化率と現在の不快指数から設定温度の変化量を求めている。

今回のシミュレーションで用いた制御方式は以下の通りである。

- (1) 授業時間 (9:00 ~ 18:00) の間のみエアコンのスイッチをオンにする。
- (2) 不快指数が快適な範囲内 (不快指数が60 ~ 75の範囲) に無い場合は、快適値内に収まるよう、温度を変化させる。
- (3) コストの上昇率が高かった場合は、温度を変化させる。
- (4) 不快指数は、一日の授業時間内での平均で比較する。

(5) コストは、一日の電力使用量の総量を比較する。

図 8 にファジー制御器 (fuzzy) を追加したモデルを図 11 に示す。fuzzy へは、現在の設定温度と室内温度そして、不快指数を入力としている。出力は設定温度である。

また、今回使用したルールテーブルの一部を図 12 に示す。

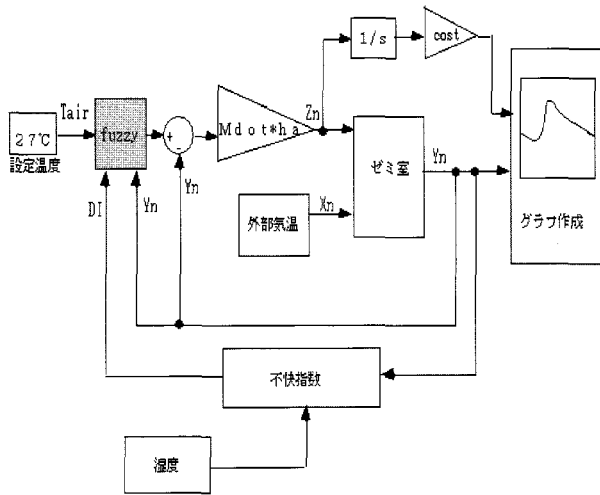


図 11 シミュレーションモデル図

```
//rule 3
rule_table[3][0][0]= 8.0; rule_table[3][1][0]= 6.2; rule_table[3][2][0]= 3.5;
rule_table[3][0][1]= 7.0; rule_table[3][1][1]= 5.5; rule_table[3][2][1]= 3.0;
rule_table[3][0][2]= 6.0; rule_table[3][1][2]= 4.7; rule_table[3][2][2]= 2.5;
rule_table[3][0][3]= 6.0; rule_table[3][1][3]= 4.0; rule_table[3][2][3]= 1.5;
rule_table[3][0][4]= 6.0; rule_table[3][1][4]= 3.7; rule_table[3][2][4]= 0.0;
rule_table[3][0][5]= 5.0; rule_table[3][1][5]= 3.5; rule_table[3][2][5]= -0.5;
rule_table[3][0][6]= 4.0; rule_table[3][1][6]= 3.0; rule_table[3][2][6]= -1.0;

rule_table[3][3][0]= 3.5; rule_table[3][4][0]= 2.0; rule_table[3][6][0]= -3.0;
rule_table[3][3][1]= 2.0; rule_table[3][4][1]= 1.5; rule_table[3][6][1]= -3.5;
rule_table[3][3][2]= 1.0; rule_table[3][4][2]= 0.0; rule_table[3][6][2]= -3.7;
rule_table[3][3][3]= 0.0; rule_table[3][4][3]= -1.5; rule_table[3][6][3]= -4.0;
rule_table[3][3][4]= -1.0; rule_table[3][4][4]= -2.0; rule_table[3][6][4]= -4.7;
rule_table[3][3][5]= -2.0; rule_table[3][4][5]= -2.5; rule_table[3][6][5]= -5.5;
rule_table[3][3][6]= -3.5; rule_table[3][4][6]= -3.5; rule_table[3][6][6]= -6.2;

rule_table[3][6][0]= -4.0; rule_table[3][6][1]= -5.0; rule_table[3][6][2]= -6.0;
rule_table[3][6][3]= -6.0; rule_table[3][6][4]= -6.0; rule_table[3][6][5]= -7.0;
rule_table[3][6][6]= -8.0;
```

図 12 ルールテーブル

〈3.4〉シミュレーション条件

提案した「イントラネット型省エネルギーシステム」の性能を検証するために、以下の 2 種類の実験を実施した。

- (1) ケース 1 (コスト比較): 温度一定制御とファジー制御を実施した場合のコスト比較
- (2) ケース 2 (不快指数比較): 温度一定制御とファジー制御を実施した場合の不快指数比較

今回は、図 11 のシミュレーションモデルに、温度一定の場合 27 度一定と不快指数とコストから温度を変化させた場合のコストと不快指数を比較する。

〈3.5〉シミュレーション結果

(1) ケース 1 (コスト比較)

温度一定の場合と温度変化させた場合のコストの比較結果を図 13 に示す。同図の上の実線が設定温度一定(27℃)

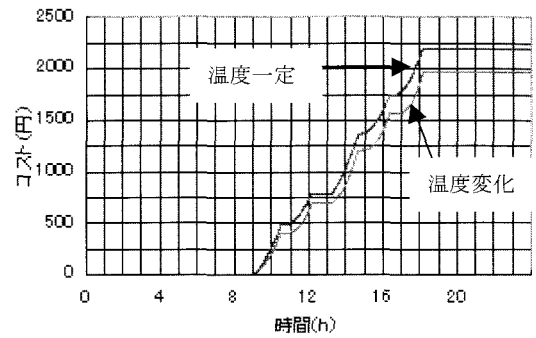


図 13 コスト比較 (温度一定: 温度変化)

の時のコスト曲線であり、総コストは 2203 円である。一方、下の実線がファジー制御により設定温度を変えたときのコストであり、総コストは 1966 円となり、一定制御より約 10% の減少が見られた。

(2) ケース 2 (不快指数比較)

次に、温度一定の場合と温度変化させた場合の不快指数の比較を図 14 に示す。授業時間 (9:00 ~ 18:00) における不快指数の平均を取ると、温度一定の場合は 73.5%、温度を変化させた場合は 73.6% となった。

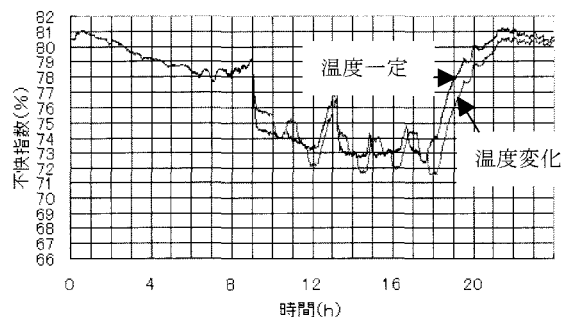


図 14 不快指数比較 (温度一定: 温度変化)

ケース 1 とケース 2 の結果より、不快指数を悪化させることなく、コストを約 10% 減少できた。今回の結果により、設定温度を可変させることにより、快適性を保ちつつ、エアコンの電力消費量を削減することが可能であることが判明した。

〈3.6〉プロトタイプシステムの開発

次に、分散コントローラとローカル省エネシステムを製作し、室内環境データを Web 上から見ることの出来る「室内環境データ収集システム」を開発した⁴⁾。図 15 に「室内環境データ収集システム」の構成を示す。

このシステムでは、各部屋に分散コントローラを設置し、学内 LAN を通じて、ローカル省エネ制御システムの中にある汎用 DB の PostgreSQL にデータを収集し、Web サー

バで学内の何処からでも室内の状況を確認できるようにしたものである。

図 16 に室内の温度、湿度、不快指数のトレンドグラフを示す。同図の上側のグラフが不快指数を、真中が湿度、下側が温度を示している。このグラフは、一分毎に更新される。また、過去の履歴データを参照することも可能である。この「室内環境データ収集システム」は、現在順調に稼動中であり、期待通りの性能を発揮している。

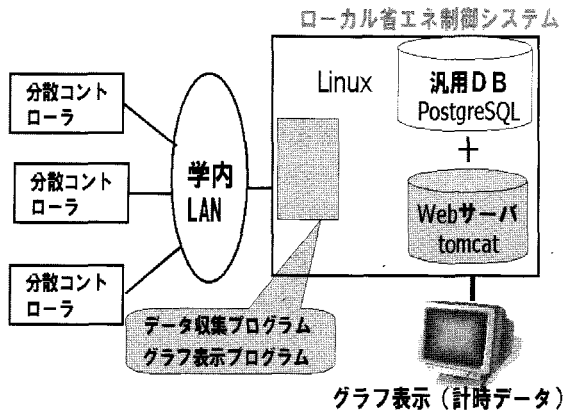


図 15 室内環境データ収集システムの構成

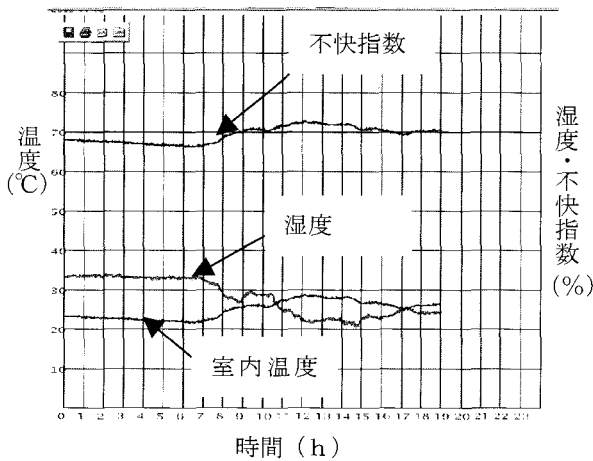


図 16 学内電力監視システム

4. あとがき

本論文では、インターネットで接続された「分散コントローラ」をローカル的かつグローバル的に協調制御する「イントラネット型省エネルギーシステム」について述べた。

「イントラネット型省エネルギーシステム」の一部の機能を実現するプロトタイプシステムを試作した。そして、その性能を確かめる為に、室内環境のシミュレーションモデルを構築し、温度一定とファジー制御を用いた場合のコストと不快指数の比較を行った。実験により、提案システムは、快適性を維持しつつコストを削減できることが確認された。現在、プロトタイプシステムとして、「分散コントローラ」と「ローカル省エネ制御システム」の連続運転の試験中である。

今後の課題としては、「グローバル省エネ制御システム」と「ローカル省エネ制御システム」の接続試験を行っていく。

文 献

- 1) 永田, 他:「学内電力エネルギー監視システムの開発」, 電気学会全国大会, 1-006, 2004.
- 2) 永田, 他:「ネットワーク端末を用いた学内電力監視システム」, 電気学会全国大会, 1-001, 2003.
- 3) 関口, 竹中, 白田:「電力系統保護システムへのイントラネット技術的利用」, 東芝レビュー, Vol.54, No.6, 1999
- 4) 木村, 永田, 他:「Webを用いた学内省エネルギーシステムに関する研究」, 電気学会全国大会, 6-041, 2005.