

マイクロインターネット技術によるビルトータル協調制御

吉田 稔*

1. はじめに

地球温暖化防止などの環境調和や、LCCコストの観点から、空調制御、照明制御、電力制御などのビル設備の省エネは個々のサブシステム毎だけではなく、トータルにとらえる必要がある。昨今では、BACnet、LonWorks等、ビル設備のネットワーク技術の進歩と規格・デファクト化に伴い、設備の稼動状況の監視・制御にとどまらず、温湿度などの環境データや処理熱量・電力量などのエネルギー消費状況を数分毎にとらえることが可能となってきている。

その中で課題となるのが、マルチベンダ対応とオープン化されたデータの活用である。前者に関しては、各社からLonWorks対応・BACnet対応商品群が開発・供給されている。後者に関しても、BEMS (Building and Energy Management System) の研究・開発に伴い、ビルの省エネルギー・省コスト・快適環境の維持・環境負荷の削減といった要素が注目されるようになり、さまざまな方法が検討されるようになってきている。

弊社では、こうしたマルチベンダ、オープン化対応を目指したネットワーク技術であるマイクロインターネット技術EMIT (Embedded Micro Internetworking Technology) を利用して、ビルの環境データや設備のエネルギー消費量をよりきめ細かくモニタリングし、省エネ効果の高い手段の選択判断や効果確認を適切におこなうシステムの開発に取り組んできた。フロアの各サブシステムの情報を一手に集約・管理することで、各サブシステム内での最適化のみならず、サブシステム間のデータ交換によって、システム協調による最適制御技術の開発も合わせて取り組んできた。^{1) 2) 3)}

本稿では、EMITを応用したエネルギーデータのモニタリングシステムを紹介する。また、具体的な省エネ方法論・事例として、空調制御システムを中心として、その他のサブシステムとの協調による最適制御・最適運用手法、ブラインドの状態や人の存在の情報を共有する照明、空調サブシステム間の協調制御や人感センサによる照明制御などの協調システムについて紹介する。

2. マイクロインターネット技術EMIT

ビル設備のトータルな省エネをはかるには、エネルギーの使用状況や環境の快適性を常に確認し、改善策を立案し、省エネ推進に対する居住者の理解・協力を得て、ユーザの意識向上や啓蒙とともに実施することが重要であると考えられる。そのためのインフラとして、近年、急速に普及をみるインターネット環境・技術を利用したオープンなシステ

*松下電工株式会社 ビルシステムソリューション事業推進部

ムとすることは、異論のないところと思われる。

一方で、ビル設備機器、センサインタフェースは、コストやパフォーマンスの点で、TCP/IPなどのオープンプロトコルを直接あつかうことは難しい。したがって、従来システムでは、簡略な伝送デバイス、プロトコルで構成される各種固有のフィールド通信手段・インタフェース機器により、一部データのみを中央監視装置にあげて、インターネットへ接続するゲートウェイを介した構成が一般的である。

弊社では、オープンプロトコル、マルチプロトコル対応の通信ミドルウェアを特徴とするマイクロインターネット技術EMITを開発してきた。EMITは、次の3つの通信ミドルウェアで構成される技術である。

1) センサ・端末機器用マイクロソフトウェア

8ビットMPU、数Kバイト規模でコンパクトな実装で、オブジェクト、イベントを定義できる。

2) ゲートウェイソフトウェア

1)で扱うオブジェクト、イベントをインターネット上のデータにマッピングおよび通信プロトコル変換をおこなう。

3) クライアントAPIソフトウェア

インターネットから2)のゲートウェイを介して、各センサ、端末機器のデータが、一部データに限られることなく、TCP/IPプロトコルで直接的（シームレス）に扱える。

3. モニタリングシステム

今回、構築したビル消費エネルギーの計測・モニタリングシステムの構成を図1に示す。計測対象としては、屋外環境、室内環境、照明・コンセント電力、空調設備動力、空調機器処理熱量、熱源発生熱量などである。空調自動制御システムを構成するLonWorksおよびEMITを用いたセンサ、I/O端末が混在したマルチプロトコルのシステムを実現している。

EMITを応用したことにより、計測用のセンサなどのコンパクト化・ローコスト化が実現される。また、マルチプロトコル対応により、LonWorksシステムとの共存がはかれるなどのメリットが得られる。

きめ細かい省エネを目的とするエネルギーのモニタリングは、これまでの自動制御や照明制御に必要なセンサ情報に比べ、より多くの計測、モニタリングが必要である。また、データ相関や制御との対応関係の把握をおこなうため、センサ情報間や制御情報と時間的に同時にモニタリングされていることが求められる。

今回のモニタリングシステムは、対象とした約1,600㎡の事務所で、約600点、5分毎の24時間連続・2年間を超えるデータ計測・モニタリングを実現した。

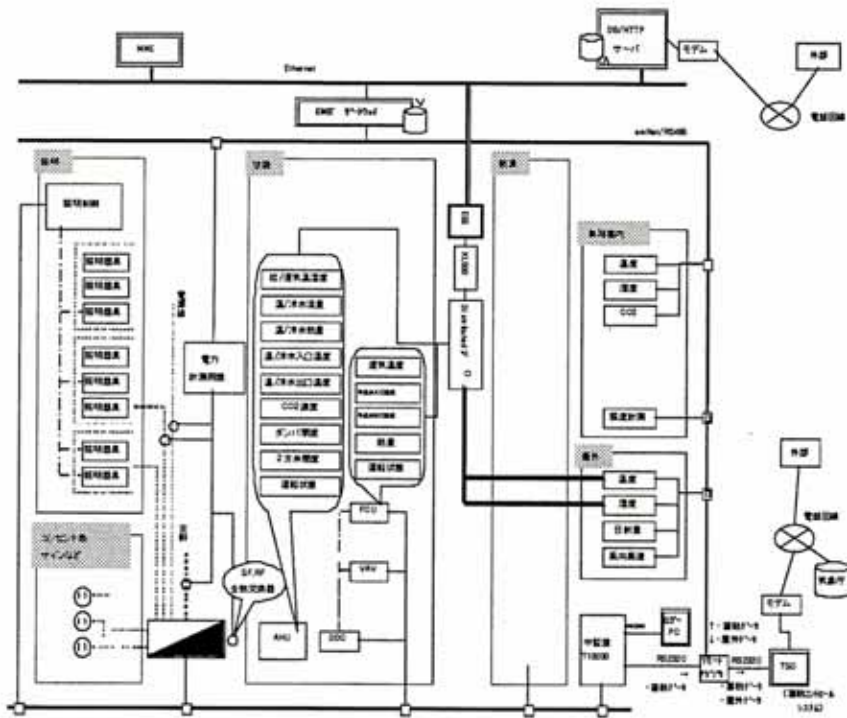


図1 計測・モニタリングシステムの構成

4. 協調システム

ビル設備を効率的に運用・監視し、制御するには、自然環境との協調や各サブシステム間の協調を考慮した運用・制御が必要である。EMITを応用したモニタリングシステムによって、以下のような協調システムが考えられる。

1) 運用フォルト検知をおこなうための協調

たとえば、機器の調整不足、運転異常、性能劣化、操作不良などを環境データ、設備稼働状況データ、制御アルゴリズム・パラメータ等のデータを協調させて判別する。適切な時期でのメンテナンス実施などが期待できる。

2) 温熱環境と視環境での協調

ペリメータ部とインテリア部の混合ロス削減や処理熱負荷の低減など、温熱環境関連システムの協調が考えられる。

さらに、ペリメータ部に代表される昼光利用による照明電力の削減と日射による熱負荷増加のトレードオフを考慮してトータルエネルギーが最小になるようにする。

3) インターネット情報を用いた協調

たとえば、天気予報などの屋外環境の天候予報、予想気温などやビル在席人員数などの情報をもとに、より積極的な省エネ制御、運用などはかる。

4.1 空調制御における協調システム

これまでの空調システムをはじめとしたサブシステムは、縦割りの構造で計画・設計・施工がなされることが多く、他システムの情報を加味した制御方法はあまり実用化されていなかった。しかし、空調が処理する負荷は、窓から流入する熱、照明・OA機

器・人体が発生する熱も全て含まれる。つまり、建物内の部分的なエリアとして、例えばフロア単位で各サブシステムは互いの情報を共有し、互いの制御に基づいて自己の制御を決定するような方法論が必要となってくる。そこで、これらのサブシステム及びセンサからの信号を利用して、より高度な制御を行うシステムをフロア統合型システムと称し、その実現について検討を行った。(図2参照)

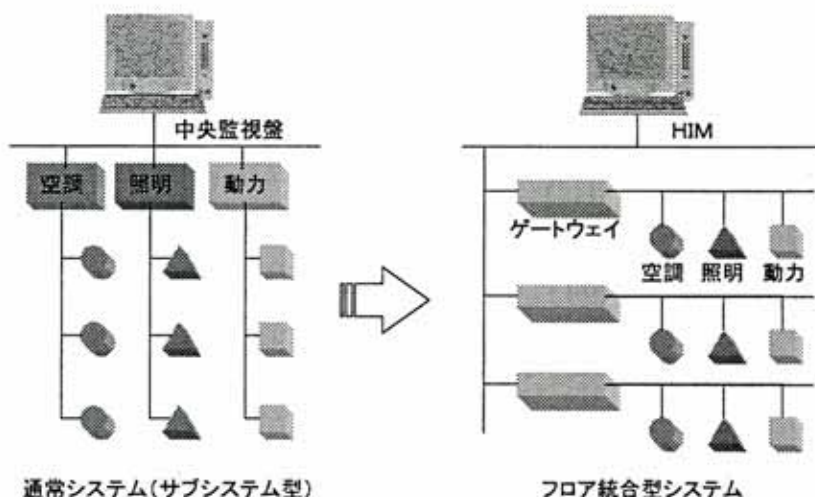


図2 フロア統合型システム

空調に関連する協調システムの分類は、表1のように空調システムとその他サブシステムの協調、空調システム間での協調の2つに大別される。

表1 協調制御

空調システムと その他サブシステム 協調	ブラインド表面温度を利用したベリメータFCU制御
	エリア人数分布を利用したインテリアVAV制御
	エリア人数分布を利用した外気導入量制御
	人存在検出を利用した二段階最適起動制御
空調システム間 協調	インテリア-ベリメータ間設定値協調制御
	冷水供給温度最適化制御 (熱源/空調機・FCU)
	冷水送水圧力最適化制御 (熱源/空調機・FCU)
	複合熱源の最適台数制御 (コジェネ・氷蓄熱・ガス吸収式)

これらの協調システムの中から、今回は空調システム間の協調を対象とした。空調システムの運用・制御が最適に行われていることを確認し、空調2次側における更なる運用改善により、省エネルギーが行えるかどうかを検討した。

4.2 インテリア・ベリメータ協調

今回実験で使用した建物は表2の一般事務所ビルである。

表2 省エネ制御実験ビル概要

所在地	大阪府門真市
竣工年月	1990年4月
規模	地上8階 塔屋2階
延べ面積	20395.1m ²
基準階面積	2550m ²

このビルは、運用者のたゆまぬ努力により維持管理がなされ運用されてきた。しかし実態を改めて調査してみると、ローカル機器の故障や不適切な設定により、竣工当初とは違った運用になっている。建物の使われ方の変化に伴って運用方法が変化するのは当然であり、そういった中で最適な運用や適切な設定値の管理ができる環境が必要である。

今回は、この建物を竣工時のエネルギー消費量より18%省エネをすることを目標とし、建物エネルギーの約半分を占める空調のエネルギー削減策として、インテリアとペリメータの空調機の負荷配分を適切に制御することで、省エネルギー・省コストを図った。

この建物の空調システムは、図3に示すように、インテリア空調機+VAVとペリメータFCUで構成されている。ここで、FCUの能力の余裕分と搬送効率のよさに着目し、ペリメータFCUに負荷を多く分担させることで、インテリア空調機の空気搬送動力を削減し、フロア全体の省エネを図ることにした。そこで、各機器の持つ室内温度設定値を協調させることで、どの程度の省エネルギーが可能かを検討した。

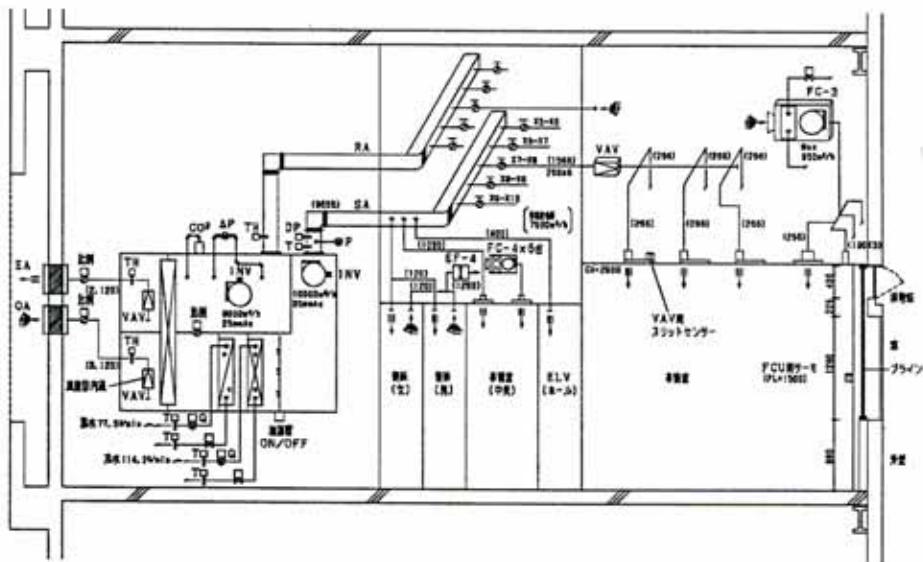


図3 フロア部空調システム構成

表3 設定値協調実験条件

	協調制御なし	協調制御あり
実験期間	2002/8/27, 29, 30, 9/2	2002/8/26, 28, 9/3, 4
空調機運転時間	7:30~19:30 (12時間)	
冷水コイル・バルブ温度設定	給気温度設定 16℃	
送風機風量制御	給気・還気ともにインバータ制御 (末端静圧最小制御)	
外気量制御	中間開度固定 (1500CMH程度)	
全熱交換器制御	中間期制御 (停止・間欠運転)	
室内側風量制御 VAVユニット FCUユニット	VAV 26℃ VAV最小開度 30% FCU 26℃ FCUノッチ AUTO	VAV 27℃ VAV最小開度 30% FCU 24℃ FCUノッチ AUTO

表3に示すような条件でそれぞれ4日間ずつ実験を行い、期間内のエネルギー使用量を分析した。

評価方法は全てのエネルギーを1次エネルギーに換算し、対象フロアを空調する際に使用した熱源エネルギー及び水搬送エネルギーをフロアへ割り戻す方法を式(1)、(2)のように考えた。

$$EV_C = EV_{PC} \times \frac{V_C}{V_{PC}} \times 10.25 (MJ/kW) \dots (1)$$

$$EQ_C = Q_C / COP_{Ct=i} \dots (2)$$

EV_C : 水搬送エネルギー EV_{PC} : 冷水二次ポンプ電力量
 V_C : 空調二次側水流量 V_{PC} : 空調二次ポンプ水流量
 EQ_C : 熱源投入エネルギー Q_C : 空調二次側処理熱量
 $COP_{Ct=i}$: 熱源システムCOP

4.3 インテリア・ペリメータ協調による省エネ効果

実測結果を図4、図5に示す。

図4より、気象条件や室内使用条件は若干異なるが、熱源・空気搬送・水搬送エネルギーが下がっていることがわかる。インテリアとペリメータでの設定値協調により、夏のピーク負荷時で約19%の省エネルギー効果を確認した。このときの室内環境は、温度に関しては、26℃程度でほぼ同等であった。環境指標PMVでは、若干ではあるが差が生じているが、これは湿度制御ができないことが影響していると考えられる。しかし図5に示すように、居住エリアがPMV快適域である-0.5~0.5の範囲にほぼ収まっていることから、快適性を損なうことなく省エネルギーが実現できていることがわかる。

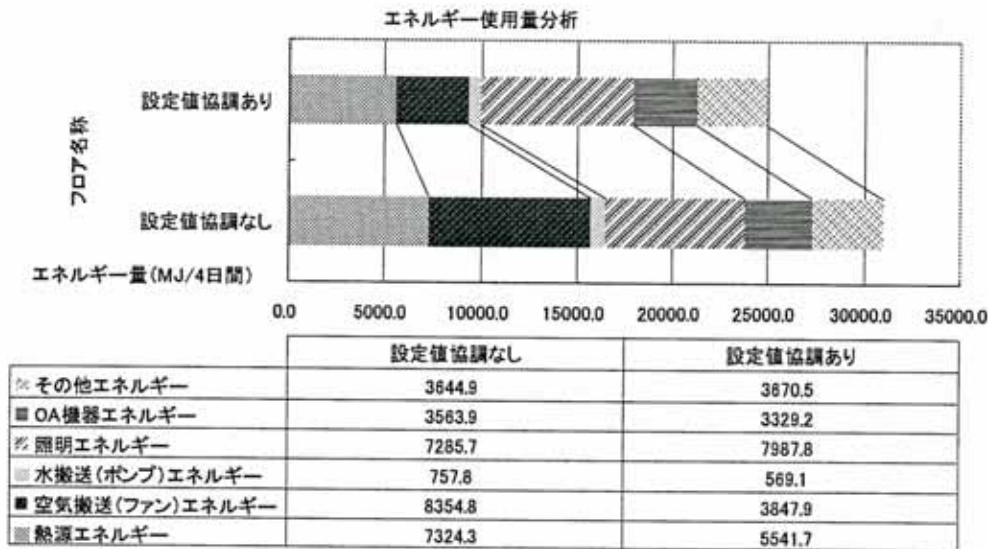


図4 設定値協調実験効果

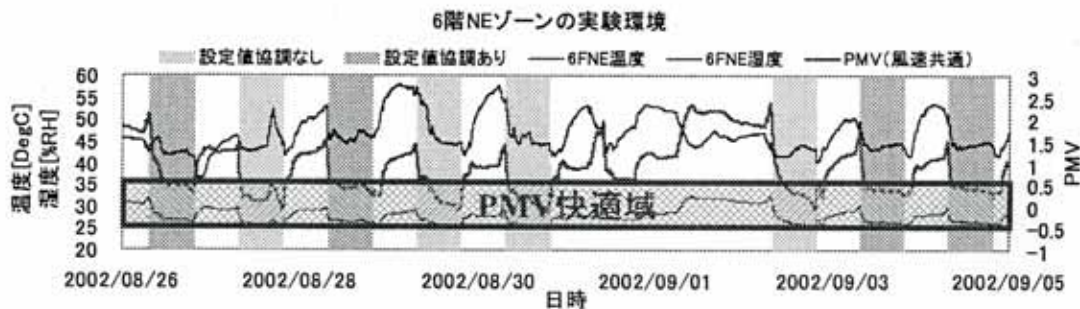


図5 室内の温度・湿度・PMVデータ

5. ブラインド制御による協調システム

ブラインド制御による照明，空調サブシステム間の協調制御について述べる。

ブラインド制御は昼光の有効利用として従来から数多く実践されているが，これまでのシステムは照明電力の削減のみが考慮され，室内への入射熱は考慮されていなかった。同様に，空調制御においても，積極的に昼光を利用することによる照明器具の発熱量の減少は考慮されていなかった。そのため，照明と空調システムの最適解とは限らず，局所解であった可能性がある。そこでより高い省エネルギー効果を実現するため，各サブシステム間の影響も考慮した制御方法について検討した。また，人感センサによる照明制御についても検討した。

5.1 ブラインド制御での省エネ

事務所ビルにおける全消費エネルギーのうち照明・コンセント分は33%程度である。また，高効率安定器や照度を一定に制御する自動調光システムの採用により，照明の消

費エネルギーを40%程度削減可能である。このことから、昼光利用等による照明制御により、建物全体で10～12%程度のエネルギー削減が可能と考えられる。

しかし、実際には昼光の取得は、照明電力の削減効果はあるものの、同時に熱負荷も増加することが予想され、単純にその全てがビル全体の省エネルギーにつながるとは限らない。このため昼光を利用する際には、照明エネルギーの削減分と熱処理エ

ネルギーの増加分を常に考慮しなければならない。具体的には図6に示すように、次式を成り立たせるシステムの構築が不可欠である。

照明エネルギー + 熱処理エネルギー → 最小

昼光利用に伴う以下の制御システムは各々が単独で成立している。

1. 窓からの採光量を制御するブラインドスラット角制御
2. 採光により照明エネルギーを削減する自動調光制御
3. 光と共に入射する熱を処理するための空調自動制御

そのため、図7に示すような3つのシステムを協調させて、照明エネルギーと熱処理エネルギーの合計値が常に最小となる最適スラット角に制御する必要がある。これを実現するには、エネルギーの計測値をスラット角制御に反映させるフィードバック制御、

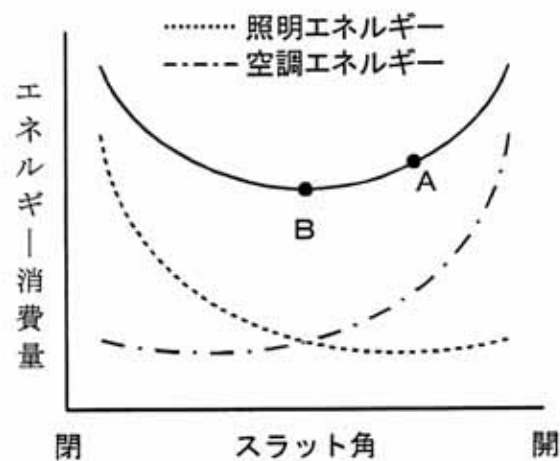


図6 最適スラット角度

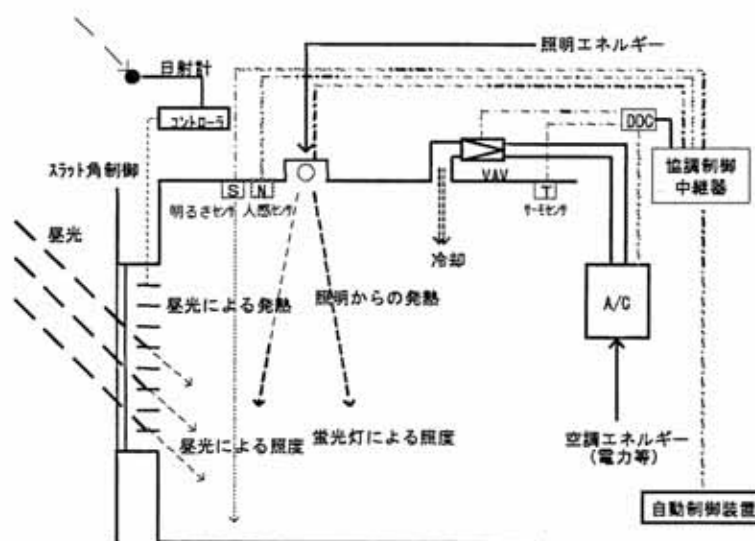


図7 ブラインド協調制御システム構成

各条件における最適スラット角をあらかじめ設定するフィードフォワード制御が考えられる。しかし、フィードバック制御では、最適スラット角を決定するにはスラット角を変化させて、最適な角度を求めることになるが、その間昼光の取り入れ量が頻繁に変化することによる視環境の悪化が問題となる。一方で、フィードフォワード制御は、複雑な計測システムを必要としないため、簡単で安価となる。このことから、今回はフィードフォワード制御での検討を行った。

5.2 ブラインド制御による協調制御モデル

図8にブラインド制御による協調制御モデルを示す。図中fでは、ブラインドのスラット角と屋外の日射量から、昼光による室内自然照度と透過日射量などの窓面流入熱量を計算することができる。また窓やブラインドの吸収率、透過率等の窓まわりの特性に関しては宿谷⁴⁾らによる計算式を用いている。図中gでは、室内照度を設定照度に保つように制御を行っている。照明器具は室内自然照度の設定照度に対する不足分を補うように動作する。なお、設定照度は人感センサが出力する人分布情報に基づき変化させている。図中hでは、図中fからの窓面流入熱量と図中gからの照明器具の発生熱量を、空調機および熱源が処理するのに必要な一次エネルギーに変換する。本システムでは上記の手順により照明と空調システムが消費するエネルギーの合計値を導出し、またスラット角を変化させることでエネルギー最小値を求めている。

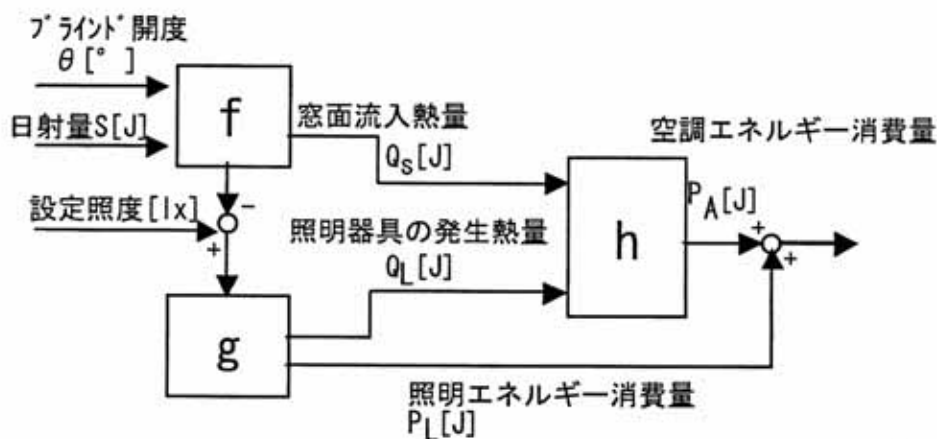


図8 消費エネルギー計算モデル

5.3 ブラインド協調による省エネ効果

人感センサを用いた照明制御、及びブラインド制御による空調・照明の省エネルギー効果を把握するためにシミュレーションによる検討を行った。ブラインド制御に関しては、上記エネルギー量を最小とするように図8の計算方法に基づき東面、南面のブラインドのスラット角を設定している。人感センサによる照明制御に関しては、対象エリアを14の照明エリアに分割し、20分以上人が存在しないエリアは設定照度の25%に減光し

ている。表2に示す対象建物の6階東エリアのみを対象とした。また日射量及び人分布情報に関しては、2002年8月5日の計測値を用いた。その他のパラメータを以下に示す。

空調系の効率（二次側も含む）：0.8，照明電力消費単位：15 [W/m²]

窓ガラスの種類：6mm熱線反射ガラス

ブラインドの種類：内付け横型ブラインド（幅2.5cm，スラット間隔2.1cm）

電力一次エネルギー換算値：10.255 [MJ/kWh]，設定照度：750 [lx]

図9にブラインド制御による照明，空調の一次換算エネルギー消費量を示す。最適な昼光利用により最大で50%の照明一次エネルギー削減が期待できる。

図10にブラインド制御と人感センサによる照明制御を行った場合と，ブラインド制御のみの場合の一次換算エネルギー量を示す。日中の居住者が多く，昼光を利用する時間帯では大きな省エネ効果が期待できないが，夜間の昼光も得られず居住者が少ない時間帯では大きな省エネ効果が期待できると考えられる。

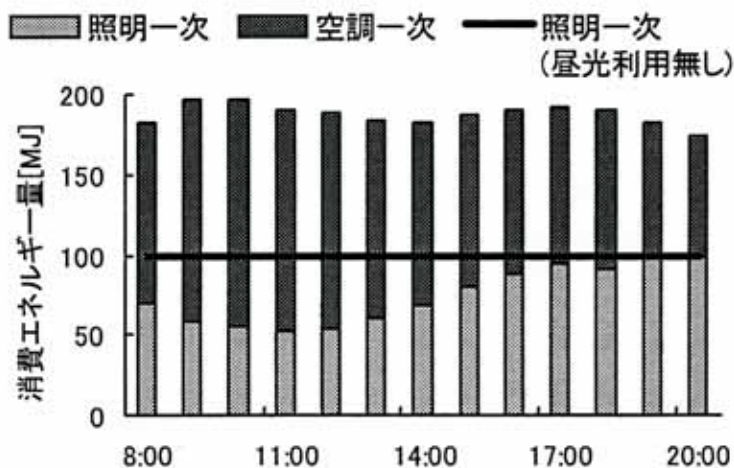


図9 最適スラット角における消費エネルギー

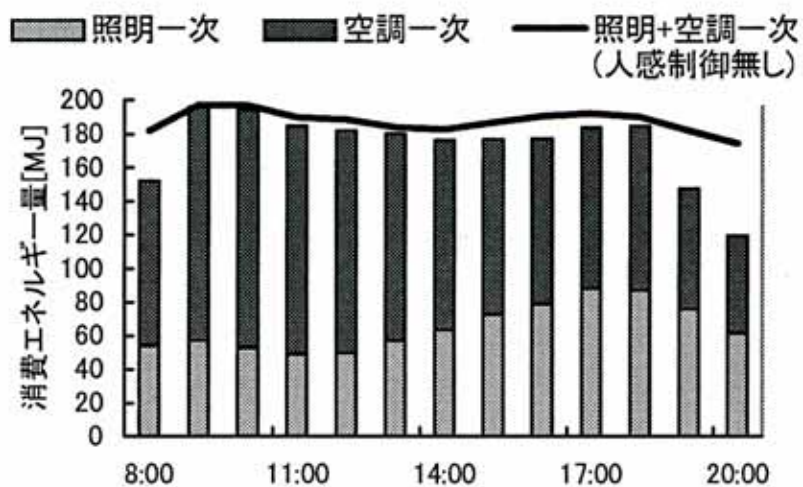


図10 最適スラット角・人感センサ協調における消費エネルギー

一方、実際にブラインド制御による協調を具現化する上では、省エネルギー効果に加えて、作業環境の維持、執務者への影響を評価することが不可欠である。シミュレーションによってグレアなどの室内環境評価や、居住者の快適性を考慮するためアンケートや環境計測による環境評価も行い、制御に反映することが必要である。

6. おわりに

ビル設備の運用におけるトータルな省エネをはかるために、ビルの屋内外環境計測や設備データをきめ細かく、収集、判断を可能とするマイクロインターネット技術EMITとそれを応用したモニタリングシステムを弊社事務所ビルの構築例で述べた。また、それらのデータをもとにして、空調サブシステム、ブラインド制御、人感センサ情報による協調システムについての検討・実験事例を紹介した。

マイクロインターネット技術とそれをベースとする協調制御の実証評価をさらに継続し、省エネ効果、省コスト、快適環境維持・向上など、実用性の多面的検討、評価をすすめる予定である。

参考文献

- 1) 吉田:マイクロインターネット技術によるビルトータル制御, 電気関連学会関西支部大会2002
- 2) 吉田・十河ほか:ビル空調の省エネルギー制御と評価, SI2002
- 3) 川瀬・本間ほか:省エネルギーと環境, 快適性を考慮した協調制御, SI2002
- 4) 宿谷昌則:光と熱の建築環境学, 丸善