

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560558

研究課題名(和文) 次世代 BEMS の設置による学校施設の CO₂ 排出量削減に関する研究研究課題名(英文) CO₂ Generation Reduction of School Building by Next Generation BEMS

研究代表者

内海 康雄 (UTSUMI YASUO)

仙台高等専門学校 地域イノベーションセンター・教授

研究者番号：30168728

研究成果の概要(和文)：本研究では、開発システムを仙台高専名取キャンパスに設置・稼働しており、システム性能を向上させ、運用ノウハウを蓄積することを目的とする。実施した成果は、1) システムの稼働とシナリオの作成：設置・運転・計測を実施し、チューニング及びインターフェースの構成の記述等を行った。居住者のアンケート調査を実施した。2) 簡易システムの開発：簡易な通信機能、システムの測定点や機器制御のスケジュール変更頻度の少数化の実現。

研究成果の概要(英文)： This research is aimed to improve the performance and to accumulate the expertise on site of the developing system that is installed and operated at Natori campus of Sendai National College of Technology. The achievements are; 1) System operation and making scenarios: installation, operation and measurement are executed. The model tuning and the description of the elements of user interface and the questionnaire for the occupants are done. 2) Development of the simplified system: simplified communication function between the system elements, less number of measuring points and changes of the schedule of equipment operation are provided.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築環境・設備

キーワード：BEMS、省エネルギー、CO₂ 排出量削減、民生部門、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

CO₂ 排出量削減へ向けて、京都議定書が2005年2月16日に発効し、その第一約束期間(2008-2012年)に温室効果ガスを1990年比で6%削減することが我が国に求められた。実際には2002年度に温室効果ガスは1990年度と比べて7.6%増加しており、今後13.6%減少させることが必要であることが示

された。世界各国では、2007年5月のIPCCの報告によりCO₂ 排出量削減へ向けてより一層の努力を重ねている。

我が国におけるCO₂ 排出量は業務その他部門で36.7%、家庭部門で28.8%伸びている。この二つの部門において医療や宿泊での給湯、飲食における厨房を除けば、空調(冷暖房)と照明のためのエネルギー消費の割合が全

般的に高く、これらに有効な対策があれば効果が大きいと考えられる。しかし、この部門は組織的な対策が進みにくい部門であり、また、生活の質、業務効率、顧客満足度への要求が強く、このような要求と両立する省エネ対策でなければ、なかなか受け入れられない。

建物の省エネルギーについては、BEMS（建物エネルギー管理システム）を含む様々な個別技術が利用されてきており、省エネ効果を設計時にシミュレーションすることも行われている。しかし、現状のBEMSは当初の設計目標値を実現するためにある決まったスケジュールに従って稼働を続けることが多く、設置後の建物・機器の改修、テナントの要求の変化、気候の変動に、例えば1日毎に対応できるものはほとんど見られなく、設置されている省エネ技術が実際には有効に活用されていないことも背景にある。

本システムは、建物・機器の計算モデルを作成し、天気予報などの情報を基にした建物・機器の挙動を予測してシナリオを作成し、建物管理者が目標値（エネルギー消費量、CO₂排出量、快適性、コスト）に応じた選択をして、リアルタイムに機器を制御するシステムであり、研究代表者は「次世代BEMS」と呼んでいる。平成16年度から18年度までの環境省の環境省地球温暖化対策技術開発事業の「建築物における空調・照明等自動コントロールシステムに関する技術開発委託業務」においてプロトタイプが開発されて、国立環境研究所の地球温暖化研究棟において稼働した。

2. 研究の目的

従来は管理者や設計者にのみ付属しているためにBEMSに組み込むことができなかった高度な形式知や暗黙知、及び現場におけるノウハウを、本システムは複数のシナリオの形で1日ごとに取り込んで機器制御を変えることができるので、飛躍的に高度な設備機器の運用・管理ができる。

しかし、実用的なシステムの開発と、より簡易なシステムによる普及などのためには、建物用途毎にエネルギー消費のパターンが異なることから、用途毎にシステムを構築し、その運用ノウハウを蓄積して、システムを成熟・完成させることが必要であることから、本研究では、以下の3点を目的としている。

1) 知識・ノウハウを取り込んだシナリオの作成と検証

設計者・管理者の省エネルギーなどのノウハウは、建物の用途や機器設備の種類に応じて多様であり、躯体材料の構成、各室の設定温度、機器の発停スケジュールなどのパラメータのバリエーションに反映される。これらの膨大な知識や手段を絞り込み、いかにして

合理的かつ効率的なパラメータの組合せができるかを明らかにした上で、実際に使用して検証する。

2) 学校施設における制御技術の確立と他用途建物への適用の検討

学校という特徴的な機器の稼働スケジュールに対する最適な制御方法を確立する。また、今回設置対象としている仙台高等専門学校名取キャンパス地域イノベーションセンター（申請時、宮城工業高等専門学校地域共同テクノセンター）は暖冷房にビルマルチシステムを採用しているため、一般的なオフィスビルに対しても適用できる手法が期待される。

3) より簡易なシステムの開発

本システムのプロトタイプは、LANあるいはインターネットが前提となっているため機器構成とデータ処理が複雑である。新築のみならず既存建物に対応するために、機器自体の通信機能を利用するなどのより簡易なシステムを開発する。

3. 研究の方法

開発したプロトタイプを学校に適用し構築した上で、以下の方法を実行する。

1) 知識・ノウハウを取り込んだシナリオの作成と検証

プロトタイプの持つパラメータは、各室の設定温度、機器の発停スケジュールであり、より多くのパラメータを含めたシナリオを作成して、1日毎のエネルギー消費量の出来高との比較、計算モデルの検証などを行う。そしてシナリオの実効性を検証する。

2) 学校施設における制御技術の確立と他用途建物への適用の検討

上記における計算モデルとシナリオが実際の建物の熱的挙動を再現することを確かめた上で、学校の授業日、休み期間中などの年間稼働スケジュールについて最適な制御方法を確立する。またビルマルチシステムを採用している一般のオフィスビルに対しても制御手法を検討する。

3) より簡易なシステムの開発

インターネットを代替する通信機能、測定点の少数化、機器制御のスケジュール変更頻度の少数化などによる簡易なシステム構成を検討し、実際に稼働して性能を検証する。

仙台高専名取キャンパス地域イノベーションセンターに設置する本システムと関係者について概略を図1に示す。

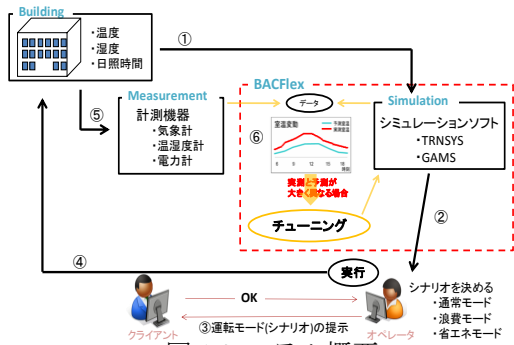


図1 システム概要

制御対象は、仙台高専名取キャンパスの地域イノベーションセンターの1F, 2Fであり、他の室とは熱源が独立している。また、授業等で使用される頻度が少ないので、スケジュール設定が容易である。制御対象機器は、暖冷房を行っているビルマルチシステムであり、本システムと接続できるインターフェースを構築した。

4. 研究成果

4.1 建物モデルのチューニング

実測とシミュレーションの対象となる1F・2Fには、第一共同研究室、第二共同研究室、第三共同研究室、技術相談室、展示・コミュニティホール、多目的会議室の6室がある。

測定機器および測定方法については、測定場所の床上約2.3mの位置に温湿度測定器を取り付け、各室の温湿度を毎時測定した。また、外気は屋外の地面から約4.5mの高さに気象計を設置した。電力量は、空調室外機3台について計測した。

シミュレーションについては、以下の通りである。

a) 計算モデル 自動制御システムは、既設システムで行うデータ計測及び熱源の制御に、シミュレーション機能(建物熱負荷シミュレーションプログラム TRNSYS、数理計画プログラム GAMS)を加えた3機能から構成されている。

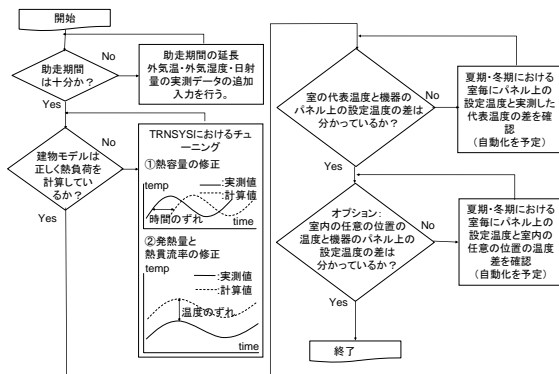


図2 モデルチューニングのフロー

b) 計算モデルのチューニング モデルによる計算値と実測値の乖離が大きい場合、図2に示すフローに従って熱容量や発熱量の観点からモデルの修正を行った。

計算の助走期間による影響については、多目的会議室の温度の予測値、実測値を図3に示す。Case1とCase4の温度差においては最大で3.8℃の差異があった。この結果から、助走期間を与えるほど、予測値がより実測値に近づく結果となった。ただし、助走期間は14日間以上ではあまり効果が見られなかった。

機器設定温度と室中央温度との差の確認を行った。冬期における温度差の修正による効果では、修正前の3月2日では設定温度22℃に対し、室中央センサーにて最大28℃が計測された。一方で修正後の3月6日では室中央センサーで約25℃、机上の温度計では23℃となった。BACflexの制御により、代表室温が設定値に近づいた。

電力量計については、冬期における空調室外機の消費電力量の実測および計算結果を図4に示す。計算で用いたCOPは2.5とする。計算値はほぼ実測値と同様の傾向を示した。

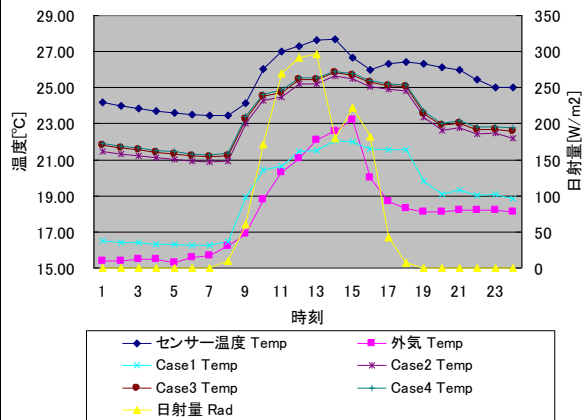


図3 助走期間による効果

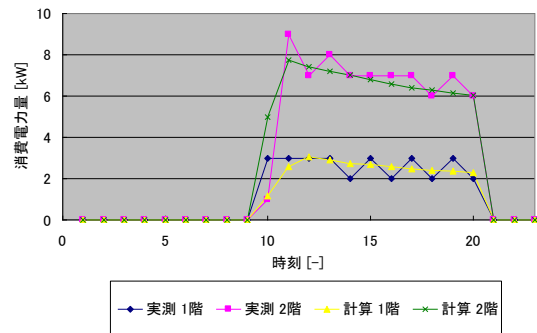


図4 空調室外機の電力消費量の実測値と計算値

4.2 快適性に関するアンケート調査

室内環境の測定期間は、夏季の測定期間として、2009年8月24日、25日、28日、9月14日から18日の8日間を対象日とした。

アンケート方法については、対象日の12:00~13:00の間に、第三共同実験室の居住者8名(50代男性1名、40代男性1名、40代女性2名、30代女性4名)に快適性及び着衣量に関するアンケートを実施した。各居住者の位置を図5に示す。アンケート項目は、

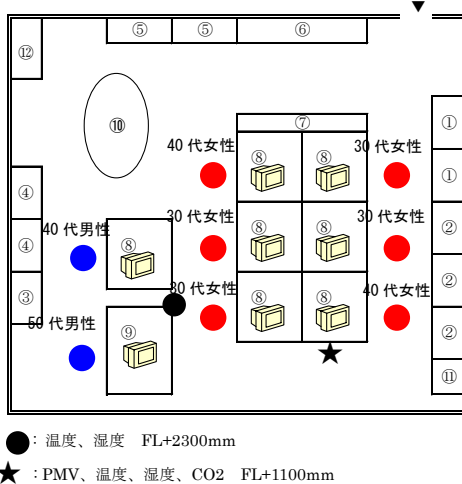


図5 居住者の配置

主に快適性、着衣量および室内環境に対する意見・感想の収集に関するものである。

環境改善への対応の一つとして、2009年8月25日(図6)、9月17日(図7)を対象として、clo値を下げて快適性を保てるようにする。アンケートの結果から得たclo値の平均である0.6cloでPMVを計算していたが、快適性を改善するために、clo値を下げて再計算して検討することとした。

①2009年8月25日 0.5clo

0.5cloに下げた場合PMVが1.0を下回り快適に近づいた。しかし、これ以上clo値を下げる場合、一般的な服装より薄着になりすぎる。

②2009年9月17日 0.5clo

clo値を0.5に下げた場合の服装例および第三共同実験室の温度とPMVの値を図8および9に示す。0.5cloに下げるとPMVが±0.5以外の範囲になることはなくなり、より快適に近づいた。つまり通常より0.1clo下げることによって快適な空間になることが分かる。clo値を下げて快適性を保つためには、0.5cloが最適であった。また、期間中はサンダルの着用率が高かったためclo値を抑えられていた。靴の着用は0.03~0.04clo上昇させ、結果的に快適性が損なう一因となった。足元のクールビズ対策なども考えられる。

4.3 評価用シミュレータによる計算および実証実験による検証

計算条件および実証実験における運転条件を表1に示す。

実施日時:8月25日 12:00 着衣量:0.54clo

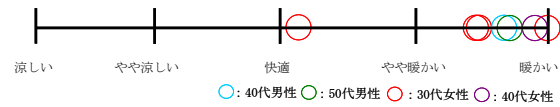


図6 アンケート結果(8月25日)

実施日時:9月17日 12:00 着衣量:0.62clo

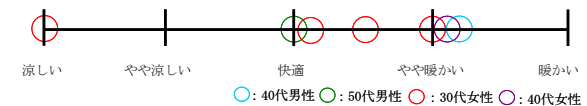


図7 アンケート結果(9月17日)

男性		女性	
服装	clo値	服装	clo値
三分袖シャツ	0.09	パンティ(ハーフ)	0.02
トランクス	0.05	ブラジャー	0.03
ズボン	0.29	キャミソール	0.09
ソックス	0.01	ズボン(七分丈)	0.12
サンダル	0	パンティストッキング	0.03
合計	0.44	Tシャツ(三分袖)	0.2
		サンダル	0
		合計	0.49



図8 cloの服装例

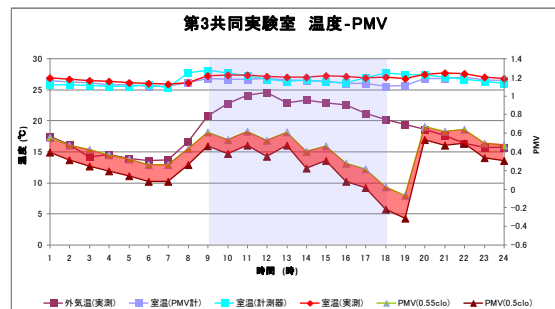


図9 第3共同実験室(9月17日)温度-PMV

表1 計算条件および実証実験における運転条件

運転条件	運転時間	冷房・暖房
	(h)	
多目的会議室 (仙台大専)	9月22日	冷暖房切替
冬期 室温 (°C)	冬湿度 (%RH)	CO ₂ (ppm)
22-26	制御してない	1000以下

計算および実証実験期間は、制御方法別に
応じて、以下の通りである。

- ・従来制御:2011/02/04 と 2011/02/08-09
(3日間)
- ・スマート制御:2011/02/10-11 と
2011/02/15 (3日間)

実測およびシミュレーション結果の検証
を行った。各制御方法(従来制御/スマート
制御)の電力量の実測値・計算値の結果を図
10、11に示す。各制御方法の計算結果は、ほ
ぼ実測の傾向を捉えているが、計算値が実測
値より高く算出される場合があるため、計算
精度の向上を図るためには建物モデルの断
熱性能および発熱負荷の検討を行う必要が
ある。

今後の検討事項は、システムのデータ収集
機能の不安定によるデータ不足により、十分
に有意な結果を得ることができなかった。よ
って、継続的な実証実験による検証が必要で
ある。

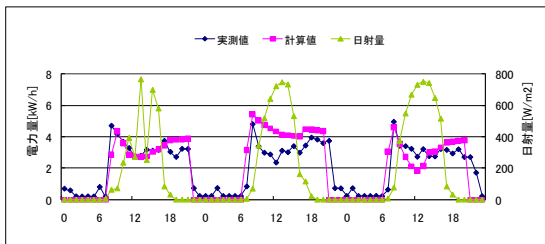


図10 従来制御時の電力量(多目的会議室)

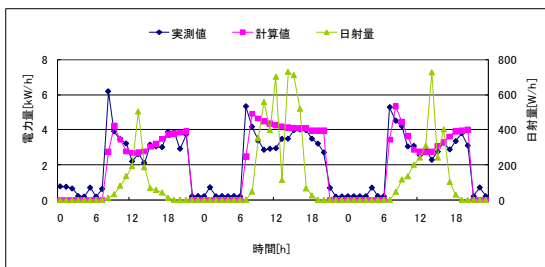


図11 スマート制御時の電力量(多目的会議室)

ビルマルチ空調制御の省エネルギー効果
の検証を行った。従来制御およびスマート制
御時の室温の変動の傾向を図12、各日の結果
および日平均外気温に対する空調熱量を図
13にそれぞれ示す。

従来制御は、設定温度の補正を行わない場
合、設定温度22°Cより4°C以上超過する傾向
が見られた。一方、スマート制御は、設定温
度に対し、ほぼ1°C以内で制御されていた。

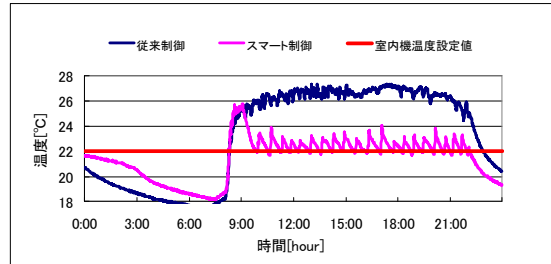


図12 従来制御およびスマート制御時の室
温の変動の傾向

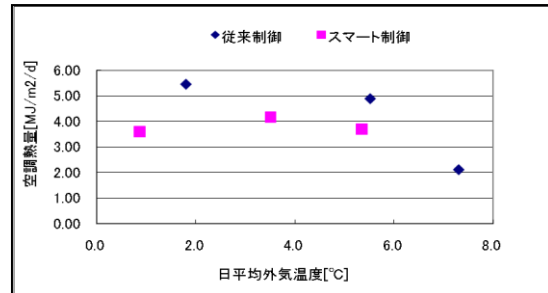


図13 日平均外気温に対する空調熱量
また、従来制御と比較して、スマート制御は
26~34%のエネルギー削減効果があった。さら
に、日平均外気温に対する空調熱量では、
スマート制御が従来制御を下回る傾向が見
られた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

① Y.Utsumi, K.Kamimura, S.Kishima,
U.Taira,R.Kimura,T.Fujita,EXPERIMENT
AL VERIFICATION OF PREDICTIVE
AND OPTIMUM HVAC CONTROL
SYSTEM APPLYING THE OPEN
PLATFORM TO THE SCHOOL
BUILDING, 8th International Conference
on System Simulation in Buildings,
Refereed Paper, 2010,P129,pp1-19

② Y.Utsumi, K.Kamimura, S.Kishima,
H.Nakane, R.Kimura, T.Fujita, Study on
Optimum Air-Conditioning Control System
for Energy Conservation Field Assessment
of the Thermal Comfort of Occupants in
Office, AIVC International Conference

2010 Low Energy and Sustainable Ventilation Technology for Green Buildings, Refereed Paper, 2010,8B-2,pp.1-11

〔学会発表〕(計7件)

①木村竜士、内海康雄、他、CO₂排出量削減のための空調機器の自動制御システム開発に関する研究(第14報)オフィスを対象とした快適性に関するアンケート調査、空気調和・衛生工学会大会論文集、2010年9月3日、山口

②内海康雄 他、宮城高専共同テクノセンターにおける最適制御システムの導入効果に関する研究、空気調和・衛生工学会、2009年9月17日、熊本

③内海康雄 他、公共建物における空調自動制御システムの適応に関する研究、日本建築学会、2009年8月29日、仙台

④Yasuo UTSUMI et al EXPERIMENTAL VERIFICATION OF PREDICTIVE AND OPTIMUM HVAC CONTROL SYSTEM APPLYING THE OPEN PLATFORM TO THE SCHOOL BUILDING, Building Simulation 2009, July 2009, Glasgow

⑤内海康雄、予測制御を取り入れた空調の自動制御システムについて 宮城高専テクノセンターにおける運用事例、日本建築学会、2008年12月13日、京都

⑥Yasuo UTSUMI、Experimental study on the optimum energy consumption of HVAC system of welfare section, 15th Asian Symposium on Eco technology, 2008年10月18日、石川

⑦Yasuo UTSUMI, Kazuyuki Kamimura, Shozo Kishima, and Utarou Taira, BEMS and HVAC Control System Utilizing Simulation and the Data Platform on the Internet, The 29th AIVC Conference in 2008, 2008年10月15日、京都

〔図書〕(計1件)

内海康雄、他、工業調査会、再生可能エネルギーのすべて、2010年7月、pp.56-64

〔産業財産権〕

○取得状況(計2件)

名称：環境総合制御システム

発明者：内海康雄、中根英昭、藤田壮、神村一幸、杵嶋修三

権利者：同上

種類：特許

番号：PCT/JP2010/066222

出願年月日：2010年9月17日

国内外の別：国際特許

名称：環境・熱エネルギー制御システム

発明者：内海康雄、他

権利者：国立高等専門学校機構

種類：特許

番号：特願 2010-2402

取得年月日：2010年1月7日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内海 康雄 (UTSUMI YASUO)

仙台高等専門学校・地域イノベーションセンター・教授

研究者番号：30168728