



## 地球環境と住宅・建築行政

建設省住宅局住宅生産課 高度情報・技術対策官

保立 透

この度まとめられた、平成5年度に向けての建設省の重点施策や予算の概算要求では、環境対策が第一の重要な柱に位置づけられており、この問題に取り組む強い姿勢を表しています。もともと建設省は、道路・河川等の公共施設整備、都市計画、住宅建築行政等を通して、環境問題とは深い関わりを持つ官庁であります。昨年「地球温暖化防止行動計画」の閣僚閣僚会議の決定（平成2年10月）や、ブラジルでの地球環境サミット（本年6月）等地球環境問題への意識が高まる中で、住宅や社会資本の整備を進めながら、人間活動による環境への負荷の低減、自然の保全、再生といった問題に改めて積極的に対応していこうというわけです。中でも、人間活動に不可欠であり、日常生活に密接に結びついた住宅・建築部門での対応は、大きな意義と効果を持っています。

住宅・建築分野では、平成3年12月の建築審議会の答申を受け、居住水準の向上を図りながら、一世帯当りのエネルギー消費量を抑えること等を基本方針として、各種施策の展開が図られています。本年2月には住宅の省エネルギー基準の改正が行われ、また、住宅以外の建築物についても順次整備していくこととしてあります。更に、来年度予算の目玉として、省エネルギー、省資源、環境との調和等を図り、地球環境へ配慮した住宅団地や市街地を整備していくため、「環境共生住宅市街地整備事業」の創設を考えているところであり、全国各地での積極的な展開を期待しています。

このような環境と共生した住宅団地や市街地を整備していくには、行政だけでなく企業や住民も含めた官民一体となった取り組みが不可欠であるとともに、特に、地域に密着した対応が求められています。即ち、コーゼネレーションシステムやソーラーシステムのような一般的な技術開発の他に、例えば気温、日照、風といった気候条件、植生、地形といった立地条件、歴史的に培われた自然との営み、生活様式等は計画全体の基礎的要素になるとともに、自然エネルギーや未利用エネルギーの活用の中でも重要な決定要因になるでしょう。また、水や各種エネルギーの供給、廃棄物処理、リサイクルシステム等の社会システムの方向づけも必要です。このように環境との共生ということを考える時、地域の自然的・社会的条件の上に成り立つものであり、地域社会の仕組みに関わっていく面が相当あることから、地方公共団体の果たすべき役割は相当大きなものがあると言えるでしょう。いや、むしろ地方公共団体の側から、地球環境という側面から見た地域社会のあり方や生活形態について積極的に取り組むべき問題ではないでしょうか。

幸い、地方公共団体や民間企業の中には地球環境問題に強い関心をもっているものが多数あるようですが、しかし、まだ体系的な取り組みという点では十分なされていないというのが現状ではないでしょうか。人類が、この地球上で、これまでどおりの繁栄を維持していくためには、いずれ避けて通れない問題であることは明らかです。人間活動の基盤である住宅・建築の側からも、行政課題として、また産業界の課題として本腰を入れて取り組むべき時期ではないかと思われます。

勿論、初めから理想的なことを目指しても無理でしょう。現実を踏まえながら、1つでも2つでも試験的な要素を取り入れ、そのようなモデル的な試みを実績として積み上げることにより、技術開発も進み、社会的コンセンサスも得られ、徐々にレベルアップが図られていくことでしょうか。それが、将来に向けた総合的な環境共生型社会の基盤づくりの布石になればいいのではないのでしょうか。行政側からの取り組みやすさから言えば、公営住宅や住宅供給公社住宅が挙げられますが、その他、再開発ビルや一般の住宅団地にも働きかけ誘導していくことも考えられます。

このような地域毎の試みが、地域性に根ざした特殊解として全国的に蓄積されることが、結果的に地球環境問題解決に大きく寄与し、国際的にも評価を受けることにも繋がるでしょう。地方公共団体、関連業界の皆様の御健闘を期待する次第です。

### 1. 総論

## 省エネルギーとBEMS

名古屋大学工学部建築学科 教授 中原 信生

### 1. はじめに

ビルコン、BA、あるいはビル管システムなどと呼ばれていたのが、海外からBEMSなる用語がもたらされ、ANNEX 16の研究会においてこれをBuilding Energy Management SystemではなくBuilding and Energy Management Systemと読み替えて定義すること、さらにはEの中にはEnvironmentの意味も含めることを提案して受け入れられ、国際共通用語としてBEMSが定義された。

さように、この種分野における用語は各国の建築設備技術の教育・実務・行政、並びに業界におけるシェアリングの背景によって異なる。最近さらにはFM、すなわちファシリティマネジメント概念の流行、建築情報システムやオフィスオートメーションとの境界がだんだん曖昧になってきている。BEMS委員会はANNEX 16の仕事を終えるにあたってこれらの概念整理を行った。この間に至る事情、さらには新しく発足したANNEX 25との関係などを紹介しつつBEMSの全貌と国際、国内動向を概観したい。

### 2. BEMSの概要

#### 2.1 BEMS略史

日本におけるBEMS発達の過程を概観すると、大きく4期に分割することができる。ハードウ

アで分類すると、第1期はコンピュータ導入以前、第2期をコンピュータ導入初期のデジタル機構の部分的利用あるいは特定回路のDDC利用の時代、第3期を汎用のミニコンピュータが中央管制の主役となって監視と共に制御を行い、特に最適化制御への取り組みがなされた時代、そして第4期が階層化・分散化を可能としたマイクロコンピュータ大量普及の時代であって、ビル内のあらゆる業務にコンピュータが浸透し、それらをネットワーク化して効率的、多機能的な統合化システムを目指す現在に至っている。

#### (1) 中央管制装置の時代

遠隔制御盤あるいは中央管制盤と呼ばれた時代が1970年頃まで続く。遠隔発停・シーケンス制御・ロギングを主体とするもので、典型的なスタイルは大きなグラフィック盤に空調システムや電力系統・給排水系統が描かれ、運転表示ランプを備えたものでその華麗さを競ったものである。その後省力化のために小型のセレクトグラフィックやピンボード式スケジュール盤が一時期流行した。

#### (2) コンピュータ導入初期

デジタル計算機のBEMSへの導入は日本では1967年頃からで、コアメモリ8k程度の計算機を用いて従来の機能に加えて熱源の群管理制御に採用され始めた。その後数年の間わが国では超高層ビルの建築が盛んに始まり、それに伴い計算機設置の費用に対する便益を最大限に活用すべく最適

化制御に対する興味が高まっていった。

(3) 最適化制御導入期

1970年頃からの最適化制御の導入は、

- ① その実現手段として現代制御理論の応用
- ② その評価手法として目的関数の探索

に視点をあてることになる。この頃から技術者もユーザーも、単なる冷暖房から快適性を志向し、一方では高度成長からくる大気汚染を中心とする公害問題とエネルギー効率化の意識に目覚めつつあった。

さて、人体における巧みな制御機構と恒常性を機械あるいはシステムにおける制御機構に類似させて最適性と恒常性を求める制御機構の研究開発に活気を与えたのが N.ウィーナー、その理論を実用化に結び付けた R.E.カルマンなどを先駆とする花咲く現代制御理論を応用して、フィードバック制御をさらに発展させて、学習されたデータを用いたシステム特性解析、特性の変化の検知、将来値の予測、最適制御入力決定などの理論が展開していき、1973年過ぎからBEMSにおける最適化制御に導入された。

これらの事例におけるアプリケーションソフトウェア開発とそのフォローとは莫大な作業を必要としたが、それ以後のBEMSソフトの開発と保守について以下のようないくつかの教訓を残した。

- ① アプリケーションのデザイナー（例えば空調設計者）とプログラマー・ハードウェアメーカーとの密接な共同作業が必要である。
- ② 最適制御は複雑な制御理論を用いているので汎用のものについてはその標準化が必要である。
- ③ 最適制御の有用性を予測するためにもシミュレーション手法の確立が必須である。
- ④ 竣工後に制御内容をフォローする期間と費用の準備があらかじめ必要である。
- ⑤ 維持管理技術者のコンピュータへの対応性はかなり良い。

- ⑥ より高度で便利なシステムを実現するには計算機のコストダウン、プログラム言語の汎用化、階層化・分散化システムの実現が必要である。

この時期の後半に発生した画期的な社会的事象がオイルショックとマイクロコンピュータの出現であった。前者は省エネルギーを最大のテーマの一つとしてクローズアップさせ、BEMSにエネルギーマネージメントの役割を賦課し、その道具としての後者の発展を暗示させた。

(4) 階層化・分散化の時代

最適化制御への指向はSCCの形態に見られるようなローカル制御と中央制御との役割分担を促す。一方、ソフトウェアの構造から言っても基本システムから最適制御システムを経て情報管理システムに至るような階層的体系が構成され、それにつれて計算機の負荷が増大していく。また階層間の情報伝達は最適化のレベルが上がるほど多くなっていく。このような傾向は当然システム構成への課題となって現われ、

- ① ローカル制御を受け持つ端末制御のDDC化
- ② 端末制御同士の関連制御やデータ伝送を司る現地制御盤（Out Station）の設置
- ③ 現地制御盤同士の情報伝達あるいは最適化計算データ解析を受け持つ中央制御盤（Central Station）

と、階層化と分散化を同時に要請することになる。その要請に応えるかのようにマイクロプロセッサの製造技術が飛躍的に進展し、その後の展開は周知のとおりである。

この期に入ると共にBEMS参入メーカーが非常に多くなって競争が激しくなり、新製品が矢継ぎ早に市場に出回っている。その結果新しいと思っただけのシリーズがいつの間にか古くなってしまい、部品補充に支障が来すことになるのではないかと危ぶまれるほどである。すでに前期の後半から、従

来からの自動制御機器・計装メーカーに加えて制御盤メーカー、コンピュータのメーカー、ごく一部の建設請負業（ゼネコン）が参入していたが、そのシェアは極めて少なかった。今期に入ってBEMS市場は活況を呈し、さらにほとんどの大手のゼネコン、大手の建築設備業（サブコン）、情報通信に携わるもろもろのサードパーティがそれぞれ独自の観点から構成したシステムを販売している。

このような現象が発生したのは基本的には経営的観点からの展開であるが、これに加わるに省エネルギー技術競争、ハイテク技術の急速な展開と競争原理、コンピュータのパーソナル化、分散インテリジェンス機器の普及、BASIC言語の普及により誰でも自分でプログラムが書けるようになったこと、インテリジェントビルへの指向、快適環境制御への要求と技術的興味の増大、などが相次いだからである。

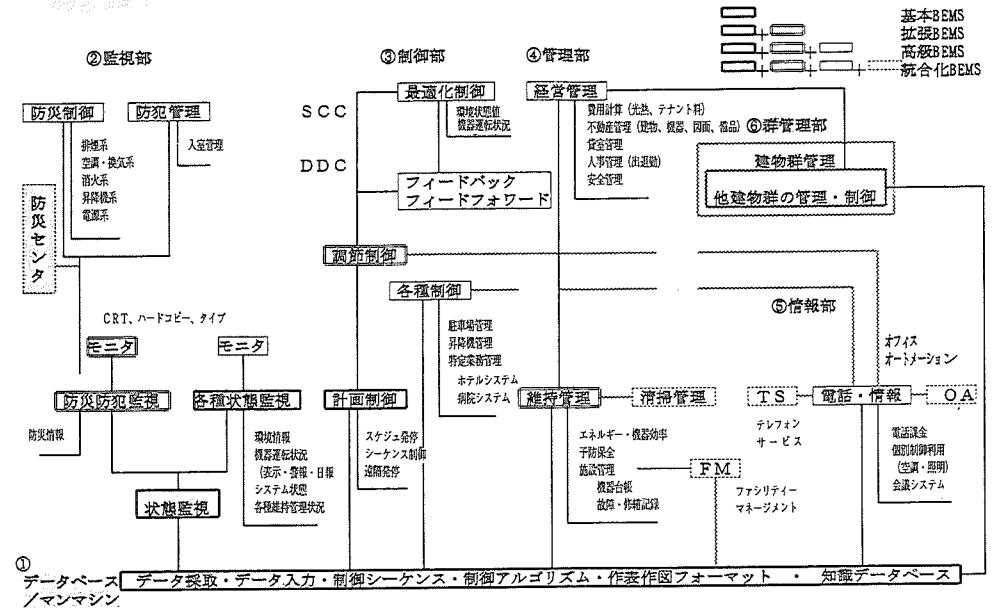
(5) 群管理の展開

今一つのベクトルはビル群の集中管理である。日本を初め多くの文明国では1950年代以降に建設されたビルが物理的・社会的・機能的に更新の時期に達しつつある。この膨大なストックが公共的あるいは私企業的に系列化されて再開発され、新開発の建物群と共にビル管理を遠隔一括管理すること、単に省力的・経済的に有益であるばかりでなく、新たに発生する多量のストックの品質管理による省資源・省エネルギー・社会費用負担から見ても極めて有意義である。別にBEMS業者の経営戦略から設計・施工・保守管理一括請負を行って受注の増大と共にライフサイクルを通して責任をもつという観点から群管理を推進する動きもある。

2.2 BEMSの概念と構成

前述のごとく、環境管理を加えたBEMSとで

図1 BEMSの構成と階層



も称すべきBEMSあるいは(BEEMS)はビル情報システムにあって人間環境軸・エネルギー管理軸・情報処理軸・業務管理軸の諸観点があり、いずれを主、いずれを従とするも問題が残るが、ビルの品質を最も左右するものとしてBA軸をとると、それはトータルな意味での人間軸を採用することであり、その中に上述の各軸を要素として統合化し得るものと考えられる。この場合、BAとは現状のレベルからのイメージでなく、個人環境情報のレベルにブレークダウンしたものを想定する必要がある。

図1はBEMS機能の階層構成とBAの発展過程を示す。統合化という観点からはレベルⅢ以上に限定される。

(1) レベルⅠ (基本BEMS)

BAとしての最低限の機能を備える。

(2) レベルⅡ (拡張BEMS)

DDCを含む制御機能、各種制御・監視機能、維持管理情報が充実する。

(3) レベルⅢ (高級BEMS)

BAとしての最適制御機能、個人対応制御、維持管理システムの充実のほか、各種個人情報の集約によるMIS (Management Information System) ・防犯防災・デジタル電話通信機能の情報とデータベースの共有化がなされる。

(4) レベルⅣ (統合化BEMS)

電話系、OA (Office Automation) 系、MIS系などの情報通信ネットワークとコンピュータとが有機的に結合され、

関連するデータベースの共有、有効的・多角的利用を図る。

外に向かう方向としては、一つは同系統の管理ビル群の閉鎖的集中管理、他はビル経営上あるいはビル設備の最適運営制御上、気象データとか経済市況などの外部からの情報が公共の情報網を通して取り入れられる。前者は特定のBEMSレベルとの対応はないが、後者はシステムの開放、インターオペラビリティを必須の条件として求めるので、上述のレベルⅣに到達することが前提となる。

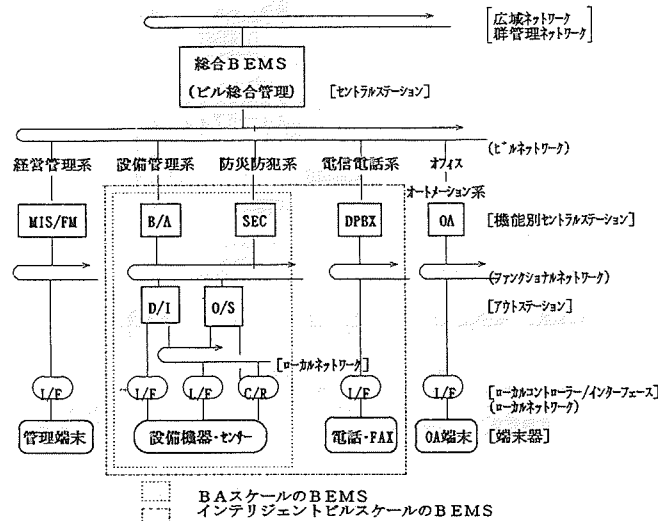
2.3 機能統合化への展望

BAをベースにして他機能系との統合化の意義を探ってみる。その視点に立ち、通信制御の観点から描いたBEMSの階層構成を図2に示す。

(1) 防犯防災系

防犯防犯は個人・機器・地区の属性情報の把握がさらに精細化する方向にあり、これは環境制御の方向性と同一である。従ってソフト的にもハー

図2 統合BEMSにおける機能階層と情報ネットワーク



的にも統合化できる可能性は極めて強い。

(2) 電信電話系

インテリジェントビルの呼び物であった通信情報のシェアードテナントサービスはDPBX (デジタル交換機) の適用によってBA、OA系ネットワークと接続されて付加価値をさらに高める。すなわち個人単位に配設される電話通信端末を用いて環境設定や個人環境情報の入力やなされて照明や空調の最適制御用データを提供する。これもまた機能的には統合化へ向けてプラスの要素である。

(3) OA系

積極的にBA系と情報交換・データ共有すべき要素は見当たらないが、業務・人事管理を扱うMIS系や資産管理を行うFM系とのつながりがある。ネットワークとしてはBA-DPBX系LANの共有という点に統合化の価値を見出す。

(4) MIS/FM系

ビルの最適運営管理、資産管理、業務・人事・福祉管理の観点からBA、OA、DPBX電話系のいずれともデータの共有・情報採取の意義は莫大であるはず、また経営戦略管理の観点から外部情報網との接続が望ましく、ISDN、DDXネットワークに乗入れ可能としておくべきである。

2.3 システム統合へ向けて

図1並びに図2において最高度の統合レベルにおいて組み込まれ、あるいは関連づけられるFM (Facility Management) とMIS (Management Information System) とは、一方ではそのそれぞれの観点からの発達の歴史を有し、技

術的にもスタッフ的にも別の観点からの発想を有する。にもかかわらずビル管理という観点からは一つの共通のイメージを持つ統合システムにたどり着く。すなわち互いに独立した基盤を持ちながら、情報とそのハードシステムには共有可能なものが少なくない。

図3は、これらBEMS、FM、MISの三本柱に共通の基盤構造を情報インフラと名づけて示した、業務形態別サブシステムの視点から示した統合システムの図である。ここでは全体像をあえて一つに片寄せせずに、観念的に構成してこれをFEMIS (Facility, Energy/environment and Management Information System) と名づけている。

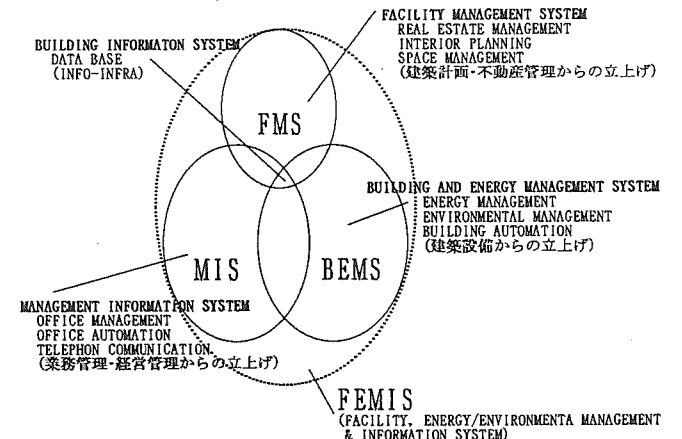
2.4 BEMS統合化システムにおける課題

(1) 統合化のコンセンサス

図1、図2に示したような、インテリジェントエージにおけるシステムと通信の階層化・統合化に対するビルオーナーの認識、設備設計・管理関係者の啓蒙、情報関連産業の協調的姿勢、行政的指導が必要である。

(2) 通信プロトコルの標準化/オープン化

図3 情報インフラとFEMIS概念



対象システムの最適化を目指す、しばしば各種メーカーの機器を組み合わせてマルチベンダースタイルになる。そのために通信規約の標準化ないし公開が必要である。競争原理に基づいてそれに対する抵抗も多いが、それがないための需要者側の非効率・不経済ははなはだしく、情報化時代のための必須の手段である。ビル関係では米国のASHRAE、IBI、英国のBSRIAなどが策定を目指している。

(3) 国際的協調

全米、全欧的標準化の姿勢の高まる中で日本が取り残されたり独自の歩みをする事の損得をわきまえ、国際協調を怠ってはならない。この点でIEA-BEMSへの参加はその一里塚として意義深い。

(4) 総合効率の問題

単独システムはその範囲で最適化され応答性・信頼性・機能拡張性が良い。統合化の結合度が緩く制約が多い場合は全体効率が低下して所期の統合化のメリットが享受できなくなるとは無意味である。

3. BEMS委員会の活動概要

BEMS委員会はIEAのECBCS国際共同研究委員会ANNEX 16 (BEMSユーザーの手引) に参加しその作業を遂行することを契機に設立された。しかしながら建設省の担当官並びに参加企業からの委員の要望により、ANNEX 16の作業消化のみでなく、BEMSの統合化システム、ビル管理におけるエキスパートシステムの開発、BEMS現状調査からの各種データベースの蓄積などBEMSに絡む将来課題に対応した研究を行うこととなり、センサー分科会・エキスパートシステム(ES)分科会・調査分科会・システム分科会の四分科会を設けた。このほか初動時点にANNEX 16の緊急作業に対応するために、BEMS現況記述WG・BEMSコンセプトWGの2ワーキンググルー

プを短期間設けて所定の研究を行った。さらに最終段階において新ANNEX 25のためのBOFD分科会を設置した。

3.1 初動時の活動

(1) BEMS現況記述

現況記述WGにおいてはANNEX 16のキックオフミーティングにおいて参加各国の現況記述(National Review)を行う方針に基づき、下記の調査を行い成果物を得た。

① 日本における活動と補助事業

行政のBEMSへの対応、BEMS関連法規、BEMS関連団体・協会の活動内容、BEMSの教育・訓練などについて現況をまとめた。

② 参考文献

BEMSシステム、省エネルギー・最適制御、エキスパートシステム/AIのソフトウェア、ビル管理・防犯管理の現況などに関する文献リストを作成した。

③ システム・機器の現況(メーカーと種類)

その時点(1988)で典型的と思われる11件のシステム事例の概要とダイアグラムを集めた。

④ 用語の検討

国際研究を円滑に行うために、BEMS関連用語を共有することが提案され、英国の研究担当期間BSRIAで原案を作成、これを参加各国で検討、追加を行った。当初時点では本WGが担当。

(2) BEMSコンセプトの記述

コンセプトWGにおいてはBEMSとは何か、どこまでを含むかを議論し、その結果をまとめたものが図1である。その作成意図は、参加各国によってBEMSに対するイメージがかなり異なっており、ANNEX作業に意思疎通を欠くことからの支障が生じそうに思われたからである。ここでまとめたものを以後のANNEX会議では事あるごとに提示して合意を求めていった。

3.2 分科会の活動

4つの分科会の活動内容については各論においてそれぞれの主査から報告されるので、ここでは活動の全体を概観するために表1を示す。

分科会の活動は主として評議会参加機関からの委員で構成したが、センサー分科会のみはセンサーに関する専門的かつ広範囲の知識が必要であるために評議会参加外のメーカーにも専門委員としてご参加願ひ、協力を得た。委員各位、研究の国際性と日本では初めてに近いこの種ビル管理システムに関する専門的開発委員会とあって極めて熱心に討議・作業を行い充実した内容の成果物を得た。センサー分科会の成果は直接IEAの成果物となるため、内容の推敲、英文の査読には非常に多くの時間をかけた。

余談ながら、我々の訳も通訳機関による訳も英国のマッカー氏とドイツのブレンデル氏との綿密な英文査読によって田中義章主査と二人で全文見直し、半分近くは書き直しを余儀なくされたのは苦しくも掛け替えのない体験であった。また米語に親しんだ我々にとって英国系の英語の用語法の違いにも具体的な体験を得た。このレポートはANNEX 16の成果物のうちベストであるとの評判を得たのは分科会各委員の努力と、BEMS委員会全員のバックアップによるものである。

ES分科会は各企業が取り組み始めたばかりの最優先課題に近いものであり、企業ノウハウの関係で時に奥歯に物の挟まった表現が出てくるのも止むを得ない事情ながら、可能な範囲で資料を出し合い、新しい方向を見定め、特に主査の役割から実務テーマと絡めて空調機廻りのアドバイザーシステムの開発を推進された松縄堅氏の努力に敬意を表す。このテーマはさらに次のBOFDに継続している。

ANNEX 16発足当時の主要メンバーであられた田中建美氏が主査をされた調査分科会では、この種の本格的調査は日本で初めてであること、A

表1 分科会構成と研究事項並びに成果物

	センサー分科会	ES分科会	調査分科会	システム分科会
Annex分担	センサー通用指針作成、アンケート(リーダー国)	コンセプトWG国際仕様書作成(協力)	ユーザーのアンケート調査(協力)	仕様書ガイドライン・基準(協力)
研究内容	センサー通用指針(和文・英文)の作成	建築設備、管理におけるESの考え方・ES適用の現況調査・空調機廻りESシステム開発・エネルギー消費の詳細調査	アンケート調査・建築概要・システム構築・BEMS構築・エネルギー特性・稼働特性・BEMS機能・導入効果評価・管理体制	統合化の要件・標準化対策・通信プロトコル・国内向け仕様書・ガイドライン・システム実例集・国内他団体との情報交換調査
成果物	センサー通用指針(和文・英文)	報告書	報告書	報告書

NNEXのドイツ分担作業の一貫としての共通調査との関係でスケジュールに苦慮されながらも極めて膨大なBEMS・環境の実態調査がなされ、本委員会最初の成果としてまとめた。その中から一部ヒアリング等の再調査を行ってANNEXに提供しているが、参加各国の中で最も数も多く、アメリカを欠いた今回のANNEXとしてBEMS先進国の日本のデータは貴重で興味深いものと思われる。当分科会は新しく渡辺健一郎主査を迎えてBOFD調査に向けて活動を再開している。

システム分科会は、蜂須舜二主査のもとで、当初ES分科会で行っていたANNEX作業英国分担の仕様書・規格を引き継いで日本側の意見と資料をまとめ、その結果を踏まえて国際共通仕様書・規格の作成は困難であることが認識され、仕様書作成ガイドラインに方針が切り替えられる原動力となった。BEMSハード、通信プロトコル、国内各団体の関連委員会との情報連絡などに力点がおかれた始めたのは時期的にも主査が桜井仁氏に交代してからであり、この方面に造詣の深い氏の主導でBEMSの将来のあり方に関して討議が進められ、報告書がまとめられた。

以上の研究報告書は当面の間、評議会参加機関の間でクローズされた状態であり、また助住宅・

建築省エネルギー機構に保存されているが、貴重な情報・データが満載されているので、今回の特集記事を含め、何らかの方法で公開されるべきものと考えている。

#### 4. IEAにおけるBEMS研究

このIEA・ECBCSのANNEXシリーズにおいて、BEMSに関係する研究は表2に示すとおり、一貫してシミュレーションモデリングの研究グループがリーダーシップをとっている。その中に在ってANNEX 16はハードウェアに関するものであってどちらかと言えば異色である。研究者は設計や工事の現場事情には疎く、ANNEX 16で英国のオスカーフェイバー設計事務所のマッカー博士が議長を務められたのもさもありなんと思われるが、ドイツの実務担当に事務所を営んでいるブレンデル博士、そして業界の混成チームからなる日本とが実際のリーダーシップをとったと言える。これらの中での日本の協力状況は前述のとおりであるが、ほかにケーススタディ（オランダ）とコスト便益解析法に関してもそれぞれ日本から資料を提供している。

#### 5. BEMSと省エネルギー

##### 5.1 省エネルギー対策の現状の問題

わが国の民生部門の省エネルギー技術ならびに政策体系は設計対応のみに限定されてきたが、それは妥当に施工され管理される限りにおいて所定の省エネルギー効果が生まれるという前提である。現実はそのようなことは周知の事実である。

いかにして真の省エネルギー設計を完成させ得るか、それが施工時点で確実に実現できるか、そして運転管理に至って設計時の基本的な思想が生かされた状態で制御管理が可能なのか、その結果としてのエネルギー消費量が誤差の範囲で予測値に納まっているのか、もし予測外の現象が起きた場合に運転管理者がこれを現実と合わせた適切な

表2 IEAにおけるBEMS関連研究

Annex (議長国)	テーマ名	研究内容
10 (ベルギー)	ビルHVACのシステムシミュレーション	・動的シミュレーションのアルゴリズム 備考
16 (イギリス)	BEMS I (ユーザーの手引)	・国民共通仕様ガイドラインと規格 ・コスト便益解析法 ・BEMS実装 ・センサー適用指針 ・BEMS実装調査 (サブリーダー) イギリス フィンランド オランダ 日本 ドイツ
17 (ベルギー)	BEMS II (評価とエミュレーション)	・動的シミュレーションの比較研究 ・動的モデル精度向上 ・エミュレーター開発 プログラムはHVACSIM+ TRNSYS 使用
25 (フィンランド)	BOFD (ビル最適化と故障検知におけるリアルタイムシミュレーション)	・参照システム同定 ・異型フォルト同定 ・FD手法の開発 ・BOFD手法の研究 ・実証 (システム担当) フランス(建屋) アメリカ(空調機) オランダ(制御) 日本(蓄熱槽)

パラメーターの変更、制御アルゴリズムの改良、さらには設備の改修などの対応を可能にさせるにはいかなる方策が必要なのか、ビルにおけるこれからの省エネルギーの鍵となる。

さて、設備が最適な動きをして環境が保全され、省エネルギー化が実現するためには制御が大きな主役を買っている。ところが制御が高級化し、制御への投資が高まるにつれ、一方ではコンピュータ化によるあなた任せの運転、最適制御と言われるものの鼻持ちならぬ非最適性、そして設計時のシミュレーション技術そのものの未成熟などのために、設計そのものが非省エネルギー的になってしまっているということが決して少なくない。そこで設計の非最適性を発見し、最適制御の設定値の不適やアルゴリズムの未熟、機器やセンサーそのものの故障・不具合を自動または人為的に検知することが求められてBOFDなるものが重要視されてきたのである。

##### 5.2 BEMSによる省エネルギー管理

運転管理による省エネルギーは今後はBEMS

上に展開して行くことになる。それは既存の技術の上に立ち、それをよりいっそう有効に活用し、それを自ら進化させるものでなければならない。

##### (1) データ構造の効率化

制御ならびに経営のためのデータのほか、BOFDのための学習、参照性能算出のための直接または間接計測による評価指数計算などのために必要最小限のデータを確定する。

##### (2) 知識データベースの構築

最適運転制御、故障診断、ビル最適化、システム改良などを実行するためにはシステムの一般特性として設計者のもつ知識、システム変数間の因果関係、運転管理者が把握した当該システムの独特な性格・行動、ビル居住者の分布・特質、クレームとその因果関係の履歴などの知識を有効に蓄積し、これを駆使せねばならない。そのための知識データの構築と応用の方法を確立する必要がある。

##### (3) 省エネルギーソフトの充実

言うまでもなく建築設備の各分野、特に空調システムの省エネルギーソフトの適確な適用が重要である。その妥当性の判断に静的・動的シミュレーションが有用であり、そこに適用される評価関数と拘束条件が設計時点と運転制御時点で共通のものであることが最も重要である。

##### (4) 制御結果の評価

制御目的に応じ、動的特性(安定性、振動特性)、静的特性(エネルギー消費量、設定値の変動)、評価関数や環境特性値の分布などを確率統計的に分析し、発生の因果関係、特性値による回帰分析、参照性能の算出あるいは比較などを行い、オンラインまたはオフラインにて制御アルゴリズムにフィードバックする。

##### (5) 各種パラメータの同定、フォルトの検知

最適制御あるいはフォルト検知のためのシステムパラメータの同定が絶えず行われねばならない。その結果が予測過程を含むアルゴリズムに適用さ

れ、またその統計的性質から各種レベルのシステムフォルトが検出されよう。

##### (6) 最適チューニング

動的性能の判定過程から自動制御のパラメータの不適合が検出される。あるいは外乱と負荷を主変数としシステム特性をパラメータとして構成された方程式から近似的にPIDパラメータを求めるとともに、その方程式の精度を自己組織的に向上させる。

##### (7) シミュレーション

BEMSにシミュレーション機能を持たせ、リアルタイムで実行させる。制御用コンピュータへの負荷を過大としないためにはリアルタイムで行うのはサブシステムに限定されよう。シミュレーションによる推測値と予測モデルによる推定値、さらに実績値を突き合わせればシステム上のフォルトを認識同定させることが可能となろう。トータルシステムシミュレーションは適宜オフラインで行われ、マクロ性能の判定を行う。

##### (8) フォルト・故障の診断、設備性能の診断

以上のような機能がBEMSに備われば診断機能を付加するのは容易である。もちろんすべてがBEMS上でのみ行われるわけではなく、機器に関しては音響・振動・発熱などの物理的現象を直に五感により確認することも重要である。

##### (9) システムの改良、改修

偶発的フォルトであれば上記までで終わるのであるが、断熱・遮蔽・すき間などの建築性能の欠陥、システム設計の欠陥・不備などのアプライオリな欠点前提として存在することがわかれば速やかに改修の提案をなすべきであろう。このような結論に至るためには知識データベースをフルに活用したアドバイザー的なエキスパートシステムが推奨される。

## 6. おわりに

最後に各国の取組みなどについて若干のコメントをしておきたい。

アメリカは日本と共にBEMS先進国であり、ハードウェアとソフトウェアの実際的な開発面は、需要と生産に直結するメーカーが中心に行ってきたが、各メーカー間、並びにメーカーと需要家との狭間にあって手後れとなってきた規格・プロトコル等の標準化、BEMS検収 (commissioning) のためのエミュレーター/テスターの開発などのテーマにNIST (National Institute of Standards and Technology)、ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) などが対応している。BEMSによる最適運転制御ないし最適設計のための必須の道具である動的シミュレーションプログラムは Wisconsin 大学太陽エネルギー研究所 (Solar Energy Laboratory, Wisconsin University) の TRNSYS (Transient System Simulation Program) や、NIST で開発された HVACSIM<sup>+</sup> がある。

ヨーロッパの中ではとくにイギリス、中でも建築設備研究情報協会 BSRIA (The Building Services Research and Information Association) 内に設けられたBEMSセンターやオックスフォード大学、フィンランド、中でも国立研究所 VTT (Technical Research Center of Finland) が活発であることが表2からも明らかである。

考察するに、これらは今後のビルのインテリジェント化に向けて冷房負荷、電力負荷が増大し、省

エネルギー上由々しき事態になるために、エネルギー管理に重点をおいた国家プロジェクトを設けたものであろう。実務ベースのBEMSハードウェアの開発については、L&G社、Sulzer社、Honeywell社、Jonson Control社などが中心となって行っている。

ドイツにおいては情報通信プロトコルの標準化に関しては他に一步抜きん出ているようで、最近のBEMSにおいてその主ネットワークに対してFNDの標準通信規格を採用し始めている。主役となる研究機関はパツハ教授率いるストットガルト大学 (University of Stuttgart) の暖房空調研究所である。その他 IEA-ANNEX 参加国はオランダ、イタリア、フランス、スウェーデン、ベルギー、スイスがあるが、いずれもシミュレーションベースの研究グループの参加でありその多くはいずれも研究機関か大学が主体である。

わが国はアメリカと並んでBEMS先進国であるから、そのシステムの高度性、多様性についてはハードウェア、ソフトウェアとも世界屈指である。しかし上記外国の標準化の動きに匹敵するものは未だ胎動しか見いだせない。その意味でIEA-ANNEX 16、17、さらにはANNEX 25への参加により得た情報は貴重である。

これらのすべての機会に参加して痛感するのは、日本の業界における層の厚さと、反対に研究サイドにおける層の薄さである。前者は結果として最高の出来と称賛されたセンサー適用指針を産み出した環境そのものであるが、大学や国立機関の研究者がこれに携わっているものは皆無に近い。このことを警告して稿を終えたい。