

## 特集◎わが国の建築分野におけるIEA活動

## 2. わが国のIEA建築関連研究開発活動について (5)

# ANNEX25対応研究委員会(ビル最適化及び故障検知・診断)の研究状況について

名古屋大学工学部建築学科 教授 中原 信生

## はじめに

建築と建築設備の最適な保守管理体制が建築物を長もちさせ、ひいては省エネルギー・省資源に寄与し居住性を確保する。この目的のために近来盛んに提唱されているのがFMやBEMSである。これらの目的と関係については本号別稿(ANNEX16対応研究委員会)において、FEMIS新概念の提案と共に述べたほか同研究中間報告<sup>2)</sup>に詳述されている。

しかしながら、環境やシステムの情報をもとにして管理制御を実行するBEMSが、誤った情報を得たり制御法が適切でなかったり、さらには制御対象であるシステムや建築そのものが省エネルギー・保健的環境・省資源・地球環境などの大目的に沿わないよう行動し、悪影響を与えるようでは根源的な意味がない。そこでかかる誤動作・不具合を検知し、さらにはシステムや建築の持つ根源的な欠陥を明らかにしてビルを最適状態に保持するシステムが必要となる。それが以下に論ずるBOFD(ビル最適化とフォルト検知)であり、これをテーマとしたIEAの国際共同研究プロジェクトがANNEX25、その国内委員会がここに紹介するANNEX25対応・BEMS委員会である。

この研究プロジェクトはANNEX16(別稿<sup>1)</sup>参照)、17で行われた「BEMSの研究」の延長線上に設立されたものである。両ANNEXが終りに近づいた1990年秋に両会議がドイツのストットガルト大学で開催され、同時にフィンランドVTTのKohonenの提唱でBOFDシンポジウムを行って次期ANNEXテーマの概念構成を行った。筆者はその時に蓄熱制御における負荷予測法について報告した。日本参加の可否の検討を行う

ためにBEMS委員会内に分科会を設けて予備研究を行って参加の意思を固め、IEA-EXCO(執行委員会)、BEMS評議会を経て正式に参加が決定、国内委員会はANNEX16対応委員会がそのままこれを引き継ぐ形で再組織され、その一部にはBEMS委員会の継続テーマ(ANNEXから独立した国内向けの研究)を含めている。当初はBEMS委員会の中にBOFD分科会を設置して研究が発足した。

### 1. BOFDのためのBEMS機能の強化(ANNEX17)

ANNEX25の前段としてANNEX17について若干の説明をしておきたい。このANNEXには日本は正式参加ではないが、だいたいANNEX16と同時に開催されたためにオブザーバーとして参加した。このグループはANNEX10(空調システムのシミュレーションモデル)の延長上に設立され、各国とも大学・研究機関のメンバーが参加している。議長国ベルギーのリージュ大学(ULG)所属のDr.Lebrun、イギリスはオックスフォード大学所属のDr.Havesら、オランダTNOのMr.Peitsman、アメリカはNISTのDr.Kelly、上述フィンランドのDr.Kohonenらが主役であった。主たる研究内容は以下のとおりである。

#### 1.1 シミュレーション

##### (1) 動的シミュレーションの同定

BEMS/BOFDのためのすべての前段として建物とシステムを精度良く、非定常レベルでシミュレートする必要がある。そのための汎用な道具としてウイスコンシン大学太陽エネルギー研究所開発のTRNSYS、

NIST開発のHVACSIM<sup>+</sup>が基本的に採用された。

これらはいずれもタイプと称するシステム要素モデルをシステムに応じて入出力を整合させて接続することにより、データの受け渡しを行いつつ、数秒ステップのシミュレーションを行う。ただし、いずれも汎用の構造を有するものの、システムを模擬するためには未完成の部分が多く、そのために各国が分担して共通のモデルに対して課題勉強(exercise)を行い、システム内の要素機器に対応したタイプの追加、制御ルーチンの追加、プログラムのデバッグを行い、計算結果が精度良く一致するまで徹底的に問題点を追及していった。このところに国際とは言いながら、わが国の国内の共同作業も及ばぬほどの密な情報交換が行われていたのには驚嘆させられる。

それがどのようなシミュレーション結果を出力するかについては例えば文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

##### (2) 要素機器の動的シミュレーションモデル作成

上述のシステムシミュレーションによって動的状態をより精度良く計算するための計算モデルを新しく追加した。表面熱伝達、内部負荷、ソルエア温度の天井裏などへの適用、コイル、アクチュエーターとくにその駆動速度・ヒステリシス・リンケージに基づく非線形性、ポジショナーの不動帯などが導入されている。

#### 1.2 エミュレーション

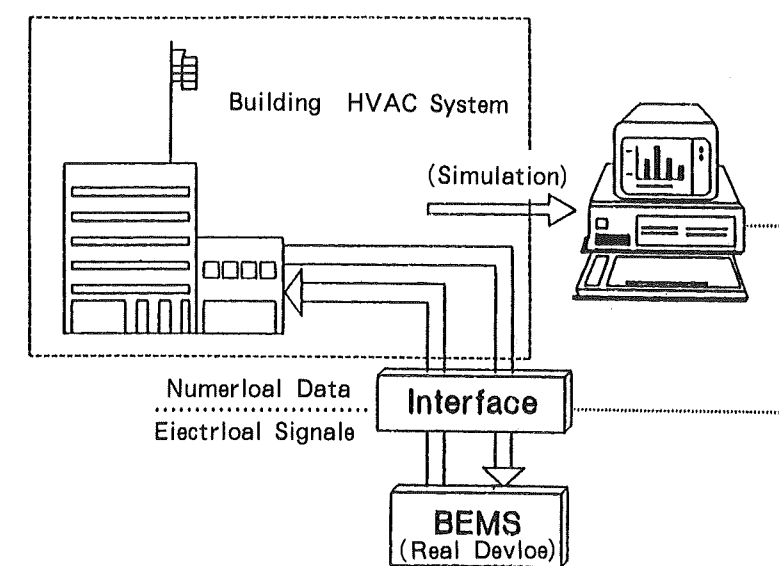
エミュレーターはANNEX17の主要テーマである。前述の各研究も最終的にはこれに集約される。図1にエミュレーターの概念を示す。

BEMSで言うエミュレーションはシミュレーションと下記の点で区別される。

- 1) シミュレーションにはハードウェアは含まれないが、エミュレーションには一部にハードウェアを含みリアルタイムのデータをシミュレーションに入力する。
- 2) エミュレーターは、
  - ① 建物、システムを数値的に模擬するシミュレーションプログラム
  - ② BEMS・コントローラーなどのハードウェア
  - ③ これらの情報伝達をリアルタイムで行うインターフェースから構成される。
- 3) 目的は、
  - ① これらのハードウェアをテストする、
  - ② 最適な制御方式を選定する、
  - ③ ことなどである。

このエミュレーターはULG, VTT, TNO, NISTの各機関が開発し、VTTとNISTで用意したBEMSと接続し、前述のエクササイズに基づくシミュレーショ

図1 エミュレーターの概念



ンと接続してエミュレーションを実行した。なお、これとは別に、このANNEXとは直接の関係はないが、中国清華大学の地域暖房チームが開発したエミュレーターがあり、地域暖房用のコントローラーのテストなどに実用している。

### 1.3 BOFDへの展開

以上のように眺めてみると、

- 1) BEMSに関する計画・設計段階に必要な静的シミュレーションモデル (ANNEX10) とハードウェア選定に関する諸知識 (ANNEX16)
- 2) BEMS工事発注のための企画、仕様書の作成 (ANNEX16)
- 3) 工事完了・引渡し段階の検収・テスト (コミッションング) の道具としてのエミュレーター (ANNEX17)

というふうに研究が進み、次に来るべきものは管理・運転段階にシステムの正常運転を図り、不具合を矯正し、故障があればそれをリアルタイムに検知する技術を確認すべきであろう。そのように順序だつてプロジェクトが計画されたかどうかは別として、まさにANNEXの設立がその順序に進んでいることに深謀遠慮を感じとれることもできる。かくして以上すべてのBEMS-ANNEXに積極的に関与してきたフィンランドVTTのKohonenが提唱して設立されたのがANNEX25である。

## 2. ANNEX25の研究内容

### 2.1 研究組織と研究期間

ANNEX25の参加国は、議長国フィンランドを初めとして、スウェーデン、ドイツ、スイス、イギリス、オランダ、フランス、カナダ、アメリカ、日本、ベルギー (オブザーバー)、イタリア (オブザーバー)、中国 (日本との共同研究という形で参加) という多数国に及んでおり、このテーマに対する関心の強さを示している。

研究期間は当初4年間と設定され、第1年目が準備段階、第2、3年目が研究段階、そして最終年度が実証と報告書作成段階である。準備段階ではBOFDの概念構成と基本構造の確定、ならびに研究用モデルと

しての参照システムと重要フォルトの確定を行い、準備段階の報告書を作成した。現在は3年目の終りに近づきつつあるが、研究内容が深くかつ膨大であり収束に時間を要する状況で、実証研究は1年延長して実施することになりそうである。

議長の Dr.KohonenはVTTの副所長でなかなかの人物、大国を相手に事務的にも研究推進の立場からも極めて要領よく議事を進行させ、ノルマも与え、かつ参加各国の寄与状況をかなり厳しく評価してEXCO (執行委員会) に報告している。

### 2.2 各タスクの概要

本プロジェクトは現在進行中であり、その研究進行状況をかいつまんで紹介する。

#### (1) BOFD概念とタスク目的の決定

BOFD概念整理、定義化、BOFDとBEMS構造との関係などを整理し、準備段階の報告書としてまとめられた。

#### (2) BOFDの対象とする参照システム

参照システム (reference system) を確定し、それに基づいて関連フォルト調査、フォルトデータの発生、BOFD手法の開発と適用を行うこととなり、以下のように分担して参照システムをまとめ、準備段階の報告書に含まれた。

##### 1) 暖房システム

フランスCSTBがリーダーとなり暖房システムを提案、またフィンランドは地域暖房に興味が高く、その関連システムを提案した。中国も参加。

##### 2) 空調システム

アメリカNISTがリーダーとなり、オランダ、カナダ、フィンランドを除く全参加国がグループに入っている。NISTではそれに基づいてテストリグを製作してデータを発生させる。また提供されたHVACSIM<sup>+</sup>を用いて日本も参照システムのシミュレーションを行い、フォルトデータを作る手伝いを行う。

##### 3) チャラー/ヒートポンプ

オランダがリーダーとなりスイスが参加、日本とカナダが熱源/蓄熱合同グループとして参加している。スイス・ズルツァー社のテストリグをデータ発生に利用する関係上、これを主体とした参照システ

ムを組んでいる。

#### 4) 蓄熱システム

日本がリーダーとなり、カナダが協力、熱源/蓄熱合同グループとしてはオランダ・スイスが参加している。しかし日本以外はビルの蓄熱の実績は少なく、実績国としてのアメリカも参加者自体の興味が薄く、実質的に日本の独自の作業になっているが、カナダの委員を通してアメリカ・カナダの協力を求めているほか、最近の会議でイギリスが興味を示した。

#### (2) 重要フォルトの調査

空調システム全体にわたるフォルトをスイスの提案に基づくアンケートフォーマットに基づいて参加各国からデータを提供、その分析が行われた。上記の各参照システムに対応する重要フォルトは各グループ毎にまとめ、準備段階の報告書に含まれた。

#### (3) 要素機器のFD理論研究

要素機器のフォルト検知の理論的研究とその実行がテーマであり、参加各国に参照システムと下記のような方法論との組合せで研究寄与をすることが求められている。方法論の整理は準備段階報告書で行われた。

- ① 物理的モデル
- ② ブラックボックスモデル
- ③ 多変数回帰モデル
- ④ シミュレーションモデル
- ⑤ 定性的解析モデル

#### (4) BO的アプローチの研究

BO観点からのアプローチに興味を示しているのは日本とドイツならびにフランスにも見られる。ドイツはその準備として日本と同じくHVACSIM<sup>+</sup>の試行を行い、その適用性を検討している。フランスでは室内で窓が開放されて暖房不十分になったというフォルト状態のブラックボックス的検知を試行している。

日本では以下の方法論を考えている。

##### ① マクロ性能のフォルト検知

例えばGMDH手法 (多変数回帰モデルに類似) を用いてBEMSから得られる環境情報とエネルギー情報に基づきサブシステムレベルのマクロ性能のフォルトを検知する。

##### ② データベースによるトップダウンのマクロ性能

の把握

BEMSから得られる学習的マクロ性能データと知識データベースを比較し、さらに必要に応じてオフラインシミュレーションを併用して環境とエネルギーのマクロ性能のフォルト検知を行う。

#### ③ 蓄熱槽状態変数からのボトムアップ的フォルト検知

蓄熱槽が存在するときは、そこに蓄熱槽のみならずシステム全体のフォルト・不具合が蓄熱槽の温度変化状態から解析できる。しかもこれは運転フォルトのみでなく設計フォルトも検知できる。この方法はフォルトツリー分析による問診型エキスパートシステムの形を取り、必要に応じてオフラインでのシミュレーションを行って診断結果の模擬修復運転を行って効果を確かめる。

#### ④ 性能・故障診断エキスパートシステム

BEMS委員会エキスパートシステム分科会で行った空調機周りの性能・故障診断システムや地域暖房システムに対するエキスパートシステムは、後述するBOの全体構造から見れば、BOレベルの診断システムと考えられる。

## 2.3 成果品

最終成果品は以下のような内容となる予定である。

- ① 報告書本編 (ガイドブック)
- ② 技術論文集 (Technical Papers)
- ③ ソフトウェア

これらは実証段階の1年延長の有無にかかわらずまとめられる。

## 3. 国内委員会の研究状況

### 3.1 概要

国内のBEMS委員会 (委員長: 中原信生、副委員長: 松縄堅・日建設計) としては、BEMS/BOFDの観点から参加企業への利益還元、さらには日本の省エネルギー政策への寄与の観点から、下記の分科会構成で作業を行っている。

(1) 蓄熱・熱源分科会 (主査: 相良和伸・三重大)  
作業内容は前述のANNEX25タスクを基軸としてより広く国内で活用されるシステム開発を行う。具体的には蓄熱槽フォルトとして断熱・防水の破損、システ

特集◎わが国の建築分野におけるIEA活動

ムフォルトとして自動制御弁の故障等を取り上げ、TOOLとしてはそれぞれ物理モデルとシミュレーションを用いている。さらにボトムアップ法としての蓄熱システム診断システムの開発を行っている。

(2) 空調分科会 (主査: 吉田治典・京大)

作業内容は前述のANNEX25タスクを基軸とするほか診断エキスパートシステムの拡大を図る。具体的には、VAV空調システムの制御パラメータ選定不全、自動弁・ダンパの誤動作や選定不全などをブラックボックスモデルやシミュレーションをTOOLとして研究開発を行っている。さらにフォルトツリーによる診断システムをまとめることとなっている。

(3) 調査分科会 (主査: 渡辺健一郎・大成建設)

BOFDに視点をあてた実BEMS調査を行い、ユーザーのニーズを的確に把握し、さらに実際のBEMSの問題点を解明し、今後の研究・開発・設計に役立たせる。すでに調査結果の一次解析を終り、さらにBOFDに焦点をあてたヒアリング等の詳細調査のための詳細解析を行う。

(4) BEMSシステム分科会

(主査: 桜井仁・清水建設)

BEMS委員会以来の継続作業の中で、仕様書作成のガイドライン、統合化システムの要件、国内のBEMS情報の連絡ネットワークの問題等を検討する。仕様書ガイドラインについては成案を用いて設計事務所やメーカー・ユーザーにアンケート調査を実施することになっている。別に、当分科会が幹事役となってANNEX16対応時委員会活動成果に関するシンポジウムを93年3月に開催した。

(5) 理論ワーキンググループ

(幹事: 伊藤尚寛・名大)

ANNEX25で得られるFD理論や試行実施報告の読み合わせ、HVACSIM<sup>+</sup>試行の情報連絡など、各分科会共通の理論的問題の情報連絡、共同作業を行う場がある。

(6) 特別ワーキンググループ

ANNEX作業を加速させるために、必要に応じてワーキンググループを組織する。すなわち、

- ① HVACSIM<sup>+</sup>特別WG: 同プログラムの新タイプ作り、フォルトシミュレーション、トータルシ

ミュレーションを行う (リーダー: 中原)。

- ② COST-BENEFIT特別WG: 汎用ツール (Generic Tool) の中の上記の日本分担テーマをまとめるグループ (リーダー: 松縄)

3.2 ANNEXへの貢献、研究発表状況

ANNEX25の研究状況に対応したBEMS委員会の研究の現況を示すものとして、93年4月の東京会議と、93年9月のチューリヒ会議における日本からの発表論文リスト (日本語訳題名) を以下に示す。

(1) 東京会議発表論文

- ① 蓄熱シミュレーションを用いたシステムFDの試行 (中原・相良)
- ② HVACSIM<sup>+</sup>によるHVAC参照システムのシミュレーション経過 (朱、清華大学・名古屋大学特別研究員)
- ③ 物理モデルによる蓄熱槽のFD (相良)
- ④ GMDHを用いたブラックボックスモデルによる運転異状の検知 (伊藤)
- ⑤ 位相事例ベースモデルによる冷凍機性能劣化のFD (神村・筒井、山武ハネウェル)
- ⑥ 空調機システムのフォルトツリー解析 (山田)
- ⑦ FDベクトル法の適用例について (江・李、清華大学)
- ⑧ 配管網の漏水・閉塞検知の新手法 (同上)

(2) チューリヒ会議発表論文

- ① HVACSIM<sup>+</sup>によるフォルトシミュレーションの研究経過 (朱)
- ② HVACSIM<sup>+</sup>による空調システムのフォルトシミュレーションとカルマンフィルターを用いたVAVユニットのフォルト検知の可能性の検討 (吉田・岩見、新菱冷熱)
- ③ 物理モデルによる実際の蓄熱槽の特性パラメータ同定 (相良・中原)
- ④ フォルト診断技術、データのフォルトへのマッピング (中原)
- ⑤ モデリング技法による検知データを用いたフォルト検知 (筒井)
- ⑥ 費用便益解析に関する検討 (中原・松縄ほか)
- ⑦ 蓄熱槽温度分布のデータ解析によるフォルト検

知 (中村、横河ジョンソン)

- ⑧ 数値フィルターによるセンサーフォルトの検知 (江)
- ⑨ 空調システムのオンラインフォルト検知のトップダウン的方法 (江)

4. BOFDの概念と構造<sup>4)</sup>

4.1 BOFDの全体構造

準備段階にて、ビル最適化 (BO) の観点からの概念整理を日本に依頼された。図2は委員会で筆者の提案で討議し、さらにANNEX会議で提示して合意に至ったものである。しかしこの内容すべてが ANNEX25での作業範囲ではなく、参加研究者の多くは機器・サブシステムのフォルト検知・診断に興味を抱いている。これに対して我々はむしろBOレベルに重点をおいている。これは研究分担の観点からは好ましいと考えられる。

4.2 ビル最適化の定義

図2における最高階層に当たるBOは、このプロジェクトの最終的な目標であると思なしてよい。そこでこ

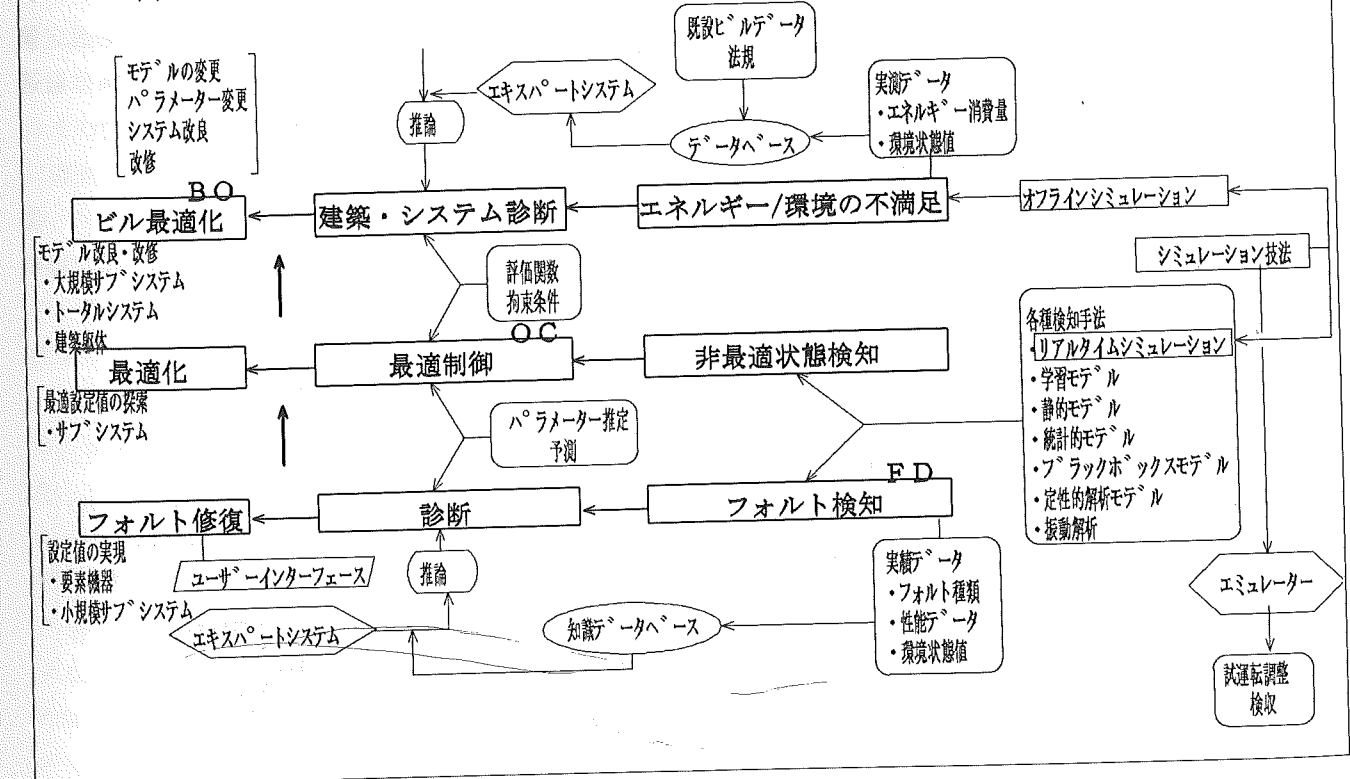
のBOなるものの定義を以下のように提案し、メンバーの同意を得た。

ビル最適化 (BO) とは、各種のオンライン手法やオフライン手法を用い、エネルギー消費量と室内環境の観点から見てビルを最適な状態に保つことを言い、その手法には学習過程を含むフィードバック制御・フィードフォワード制御、オフラインのシミュレーションやエキスパートシステムを援用したオペレーターによる操作、そして建築設備とさらには建物構造の熱的/光学的性能の改良などが含まれる。

4.3 最適化の局面

ビル最適化は設計面と運転制御面とに分けて定義することができよう。最適な設計は負荷計算や静的または動的システムシミュレーションを行った後に達成されるものであるが、最適設計時に行ったと同一の評価関数、拘束条件ならびに機器性能を用いて最適運転制御されることによって初めてビル最適化が完成されるものである。これら2つの局面は厳密には分離することはできない。しかしながら、この意味でのトータルなビル最適化は達成することが極めて困難である

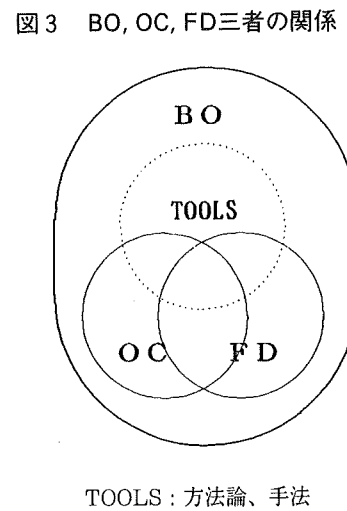
図2 BOFDの全体構造



ので、実際的なビル最適化の実行は、設計と運転の各局面、すなわち建築外皮の設計、暖冷房負荷の計算、建築設備の設計、システムシミュレーションならびに竣工後の運転のそれぞれの局面において別々に行われよう。ANNEX25におけるビル最適化は厳密には運転制御面に限定されている。

4.4 ビル最適化の前提

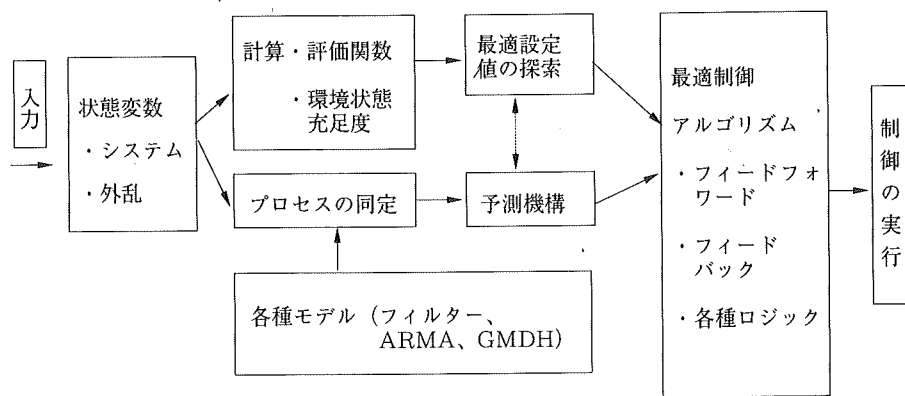
空調システムの各機器は正常な状態になければならないし、各サブシステムもそれぞれのサブルーチンで定義された最適状態になければならないから、フォルト検知 (FD) と最適制御 (OC) が実行された暁に初めてビル最適化が達成される (図3)。しかしながら各サブシステムの最適状態の集合が全体としての最適状態には必ずしもならない。それはトータルシステムとしてみれば次善の最適というべきものである。ということは、最適化されるべきシステムが、幾つかのサブシステムを統合していったほとんどトータルシステムに近似できるほどの規模になったときには、この最適制御 (OC) がビル最適化 (BO) とほぼ一致する。



TOOLS: 方法論、手法

機器になんらかのフォルトがあったりサブシステムが最適な状態にないときに得られる最適制御の結果は、評価関数や拘束条件の計算結果が誤った最適点を与えることがあるから、それをもって最適状態ということではできないであろう。(例えば炭酸ガスの濃度の計測に誤差があると、最適制御ルーチンで誤った室内状態を予測し、その結果空調機の吹出し温度や冷凍機の出口冷水温度に誤った

図4 最適制御の構造



設定温度を与え、結果として必要以上のエネルギー消費を来す、などが考えられる。)

図2はビル最適化の概念と方法を示したもので、上述の最適化の諸局面を説明するとともに本ANNEX25の文脈において、ビル最適化と最適制御・フォルト検知との関係を示している。そこで共通に用いられるTOOLが2.2(3)、(4)に述べた理論的・経験的手法である。

4.5 最適制御

このように最適制御とフォルト検知とはビル最適化と非常に近い関係にある。それ故、最適制御は上述に定義したビル最適化の文脈に沿って構築されねばならない。

HVACに適用される最適制御とは、人体の快適性と外部環境、時には生産性を拘束条件とし評価基準としてのミニマムエネルギーを達成するように、各制御ループの最適設定点を決定することである。真の最適化を達成するためには、前述したように最適化ルーチンによって制御されるシステムは、幾つかのHVACサブシステムを結合した十分に大きなスケールのものである必要がある。負荷や状態の予測、システムの同定のために各種の学習過程やフィードフォワードのルーチンが適用され、それが希望性能や目的変数の設定値を充足するようにフィードバックされる。図4は最適制御の理解を深めるために描いたものである。

4.6 ビル最適化の方法<sup>1) 5) 8)</sup>

ビル最適化は、学習による自動修正機構を持たない

制御パラメーターの変更、最適制御やフォルト検知のアルゴリズムの再構築、さらにはオフラインのシステムシミュレーションを行って設計内容の改良を行うなどによって達成されるが、さらにその結果ビルの外皮や一部のサブシステムなどの改修が行われることもある。

最適化のための評価関数と拘束条件とは、それぞれ、エネルギー消費量を極小にすることと室内環境状態を許容水準に保つことである。エネルギー消費量の参照データは設計値、法律その他の基準によるエネルギー予算並びに他のビルのエネルギー消費量のデータベースなどの参照性能 (reference performance) であるが、これには合理的な比較を行うために統計的解析に耐え得るに十分なビルと空調システムに関する情報を含む必要がある。

オフラインシミュレーションも設計時点のみでなく、運転時点でのビル最適化に有用な道具である。この場合、ビルの熱的特性や制御のゲインなど各種のパラメーターは最適制御ルーチンの中でリアルタイムシミュレーションや学習法によって予め同定されておかなければならない。そうすればオフラインシミュレーションは空調負荷やエネルギー消費量、室内環境の質を十分な精度をもって予測し、実績との比較によって最適状態になることを発見することを可能にするであろう。

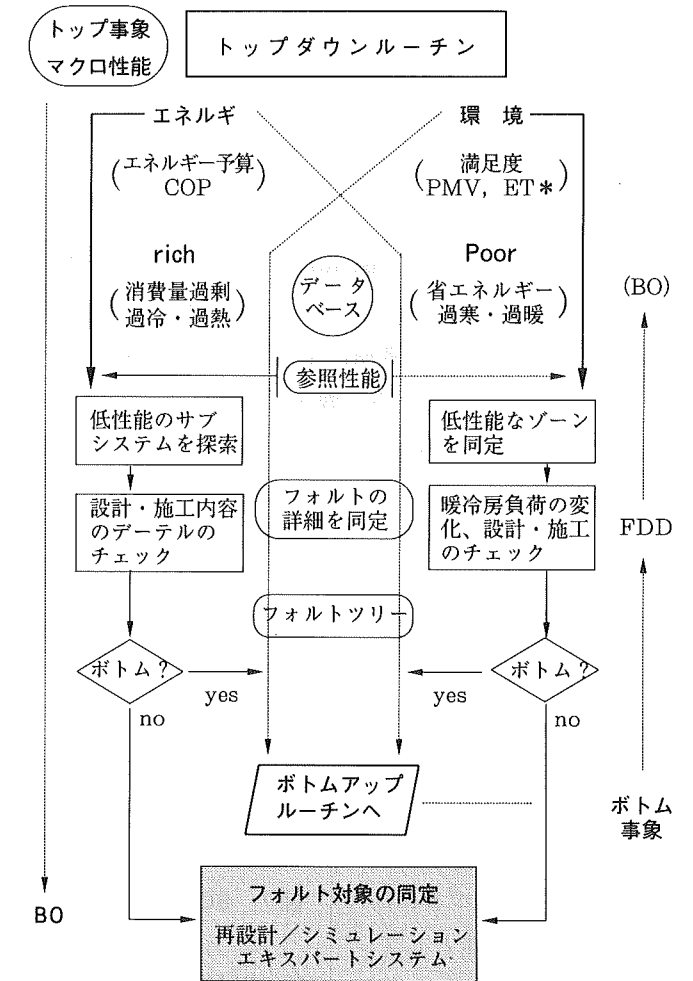
リアルタイムの学習によってパラメーター推定を行うその他の予測モデルも応用できる。その中には出力に該当する特性値に影響を与える複数の要因を入力変数とする予測モデルが含まれる。各要因変数の重み係数とも言うべきこのパラメーターは、フィルターモデルや自己回帰モデルその他のデータ処理法によって推定されよう。

ビル最適化において、非最適の状態の原因推論のためにはエキスパートシステムが実際的な道具になるであろう。エキスパートシステムを用いることによりある種の空調サブシステムの再設計や改修に対する有用な回答を与えることがしばしばある。この場合、データベースには統計解析に耐え得るエネルギー消費量データやその他の有用な情報を十分に含む必要がある。短時間に満足すべき解に到達するためには知識データベースを集積せねばならない。それには設計技術者や保守

管理技術者に対するアンケート調査やヒヤリングが不可欠なものである。

以上のビル最適化のためのトップダウンルーチンとボトムアップルーチンの役割分担、関連づけを図5に示す。

図5 トップダウンルーチンとボトムダウンとの関係

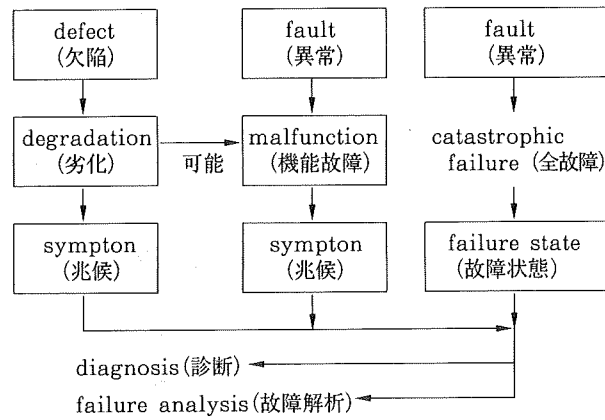


4.7 フォルト現象と診断の構造

フォルトに関連する用語は入り乱れて用いられているので、研究推進のためには共通の認識が必要である。この国際研究会の発足会議においてこれが問題となり、NISTのDr.Kellyが概念整理を図6のように行った。



図6 フォルトに関連する用語と現象の相互関係

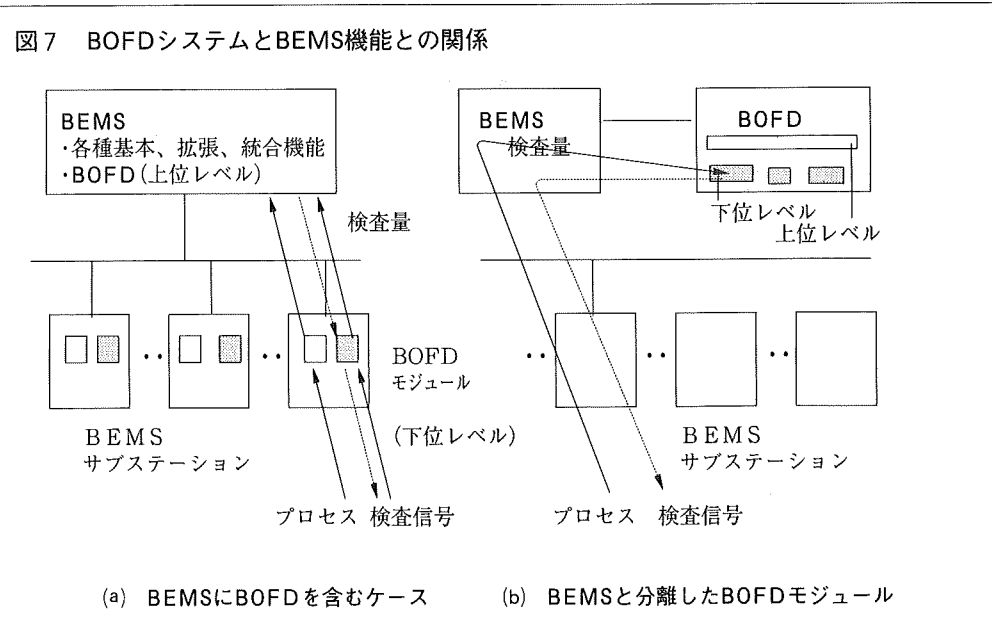


4.8 BOFDシステムとBEMS<sup>1)</sup>

BEMSにはその発展段階に応じて様々な形態と統合性を有することは別稿に記したとおりである。高級BEMSにおいては最適制御を、さらに統合化BEMSにおいてはビル情報ネットワークの統合性からビル内諸情報やハードウェアの共有が可能となり、データベースも大量になるばかりでなく知識化され、エキスパートシステム適用に大きな可能性を見いだす。従ってビル最適化、さらに図2のBOFD全体像をBEMS機能として具有し得ることは言うまでもない。そうすることにより、より強化された状態監視計測システムが統合化されたBEMSを通してビルの最適運営の各セクター(FM、MISなど、従ってFEMISとして)で活用できる。図7(a)は、このよ

うな考えに基づき、BEMSの一機能としてBOFDシステムを備えるときのシステム構造を示す。

一方、現存するBEMSにFD、あるいはBOFD機能を付加するためのテスト装置としてこれを考えた場合は、図7(b)に示すようにモジュール化しておいた方が便利であろう。現ANNEX25の各メン



バーのイメージはどちらかと言えばこの方に近い。したがって、出来上がったモジュールから現実のBEMSに適用して実証するプログラムを含んでいる。

おわりに

以上、新しい概念であるBOFDを研究対象とするIEA ANNEX25とその対応委員会であるBEMS委員会の研究状況について述べると共に、読者の理解を深める目的でBOFDそのものの説明について解説を行った。この国際研究への参加が契機となって、わが国における建築設備管理制御の最適化への関心が深まることを念ずるものである。

〈文献〉

- 1) 中原信生：IEA特集、ANNEX16対応研究委員会、研究開発成果とその展開について、IBEC#80,94.1
- 2) BEMS委員会システム分科会報告書、(財)住宅・建築省エネルギー機構、1992
- 3) 中原信生ほか：空調システムフォルトの動的シミュレーション、その1～その2、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、1993.10
- 4) 中原信生：BOFD (ビル最適化とフォルト検知) の概念設計、日本建築学会東海支部研究報告1992.2
- 5) Nobuo Nakahara：BOFD in HVAC with Top-down Approach、日本建築学会東海支部研究報告1992.2
- 6) Nobuo Nakahara：FAULT DIAGNOSIS TECHNIQUES (MAPPING DATA TO FAULTS), IEA ANNEX25, Zurich meeting, Sept.1993

2. わが国のIEA建築関連研究開発活動について(6)

実務者からみたANNEX25について

山武ハネウエル(株) 開発統括部 担当部長 玉置 進

1. はじめに

オフィスを取り巻く環境は地球環境の悪化、社会環境の変化により、知的生産性の向上と国際化に伴う24時間対応と大きく変化してきている。

このように要求される事項は複雑で困難の度を増し、前者は生活者視点による快適環境の提供、後者は時間管理の複雑さとエネルギーの増大をもたらしている。

今までの省エネルギー主体であったものが、省エネルギー、省資源、健康面を配慮した快適環境をコストミニマムで実現させる最適化システムが望まれている。

今回のANNEX25は体系化や理論的考え方に大きな示唆を与えている。

上述の内容を達成させるには最適化の理論と実現する制御システムの重要性が認識させられ、これらシステムをいかにわかりやすく、使い易いシステムを構築するかの追求が必要と考えられる。

また実用化のため重要なことは理論をフィールド情報の加味によって経済ベースに乗せるシステムを構築することである。

以上のことをANNEX25に反映させられれば社会貢献や国際貢献が可能と思う。

また実務上からみて感じたことを述べる。

2. 全体システムについて

基本目的と達成取組みの概念を図1に示す。省エネルギー、省資源、健康的快適環境をコストミニマム達成するには、フィールド情報、技術(設計、計装、ツールを含む)、理論が相まってBOFDシステムが成立す

るものと考えられる。

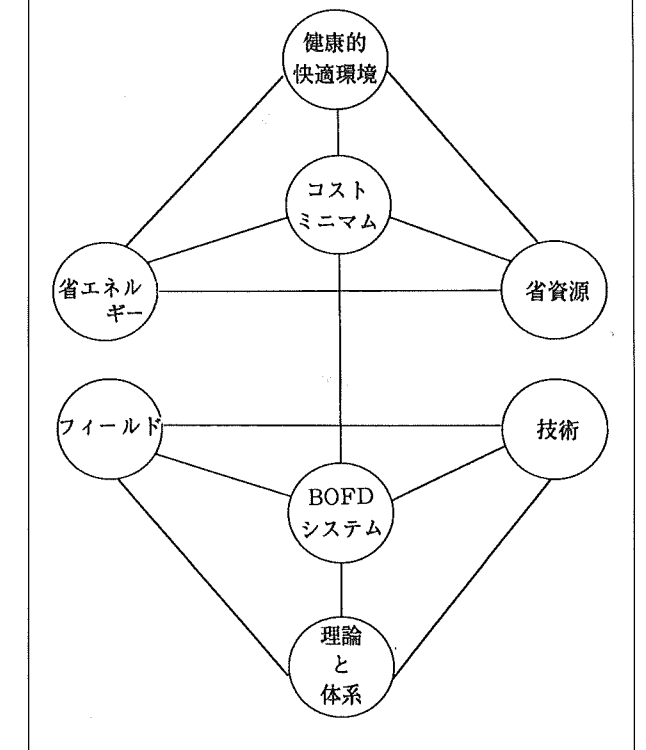
ANNEX25に中原教授が提案し採用されたビル最適化の概念と方法を図2に示すが故障の修復について加筆した。

これらのシステム構築はビル管理システム(BEMS)を抜きにして非常に困難である。

図3に環境制御の系統を示し、管理情報、オペレータ、シミュレーションの関係を明らかにする。

設定指標に基づき制御されたプロセス情報は管理システムにより整理統合されオペレータへ指針、修正動作を要求し、この要求に基づき修正動作を行うが、ま

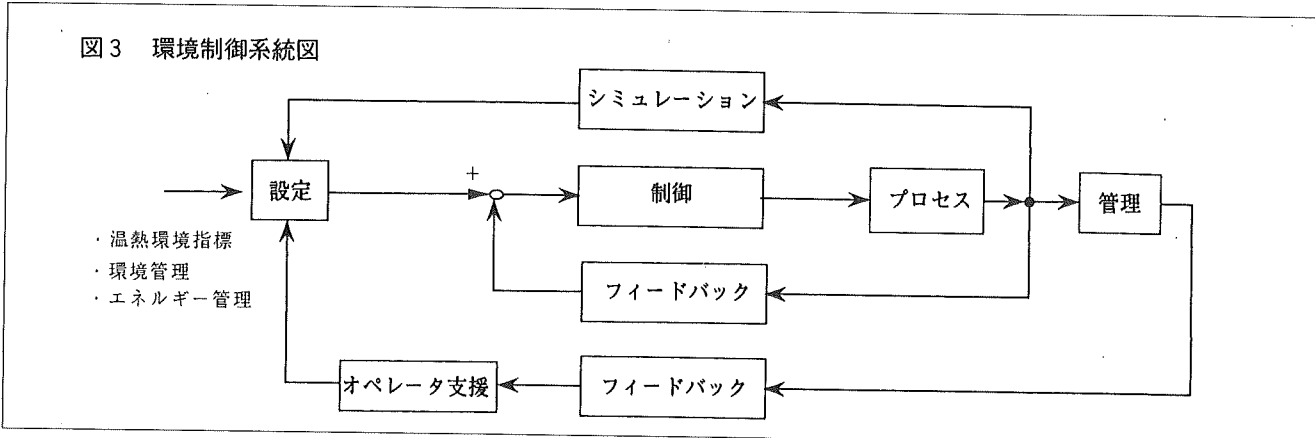
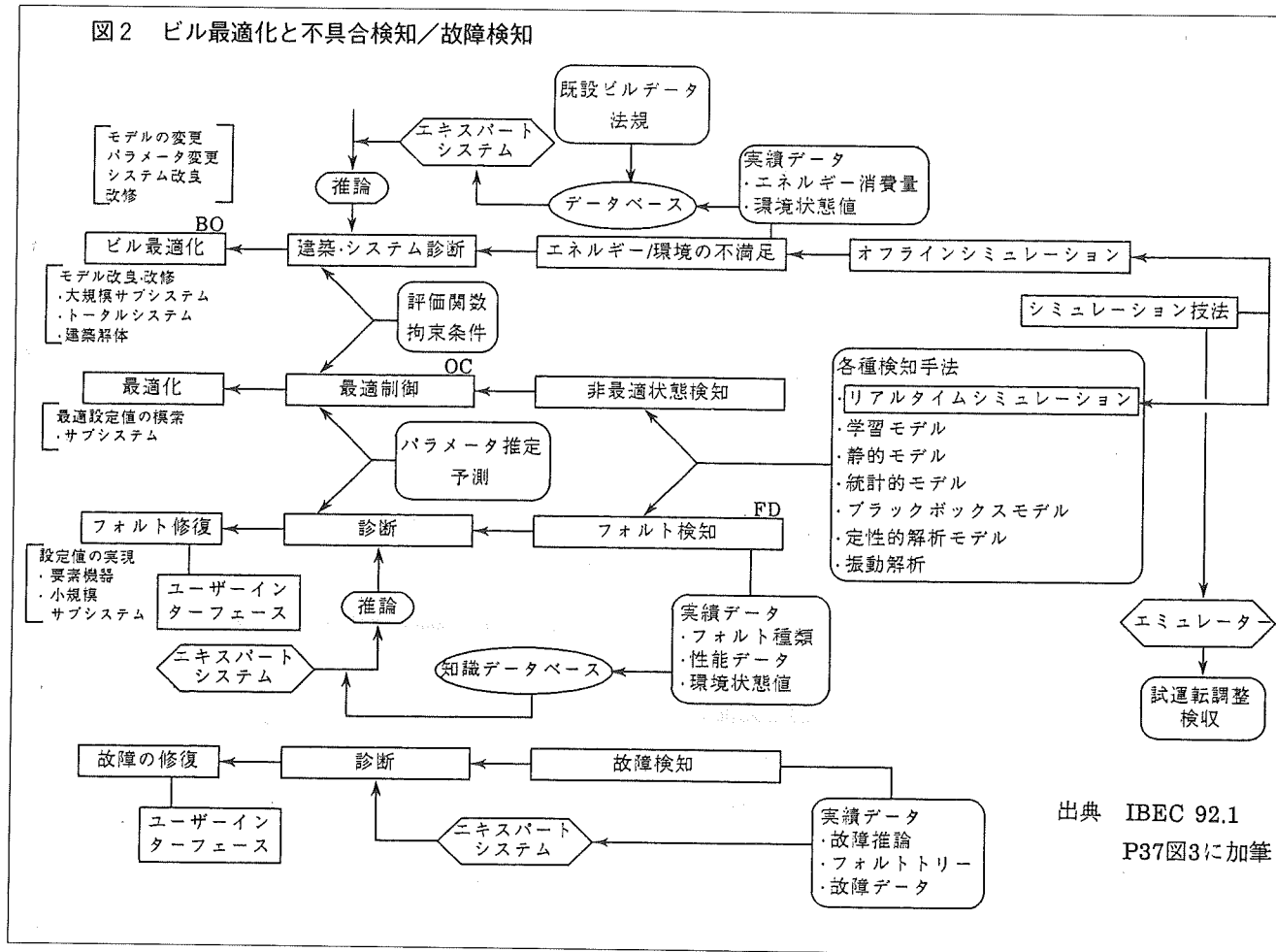
図1 基本理念と達成取組みの概念



リアルタイムシミュレーションによる評価結果を設定指標として与えられ、変更後の新しい指標は制御用設定値として、フィードバック制御されるものである。このように単純なフィードバックコントロールのみでなく、シミュレーションあるいは人を介しての設定指標の変更等BEMSを抜きに制御系を構築できないこ

とを示している。

図2は前項で中原教授が記述されるので、ここでは割愛するが、重要なことは理論をもとにデータ収集の目的、集取データの加工等がなされなければ、データは単に記録されるにすぎず利用価値のないものになる。また、この理論とフィールド情報を結ぶためのエン



지니어リングとそのツールがなければ単に理論は理論で終り、フィールド情報はデータ収集に終り、成果として生み出される情報価値は低いものになる。

私事で申し訳れありませんが、私自身の経験事例からも最適化理論式により理論パラメータを与え取込させても収束までの時間が実用化に程遠いものであってもフィールドデータの分析による経験的パラメータを与えることにより、方程式の簡略化、条件付パラメータにより実用化に耐え、経済的にも十分なシステムが構築できるため、理論とフィールドを結合する新しい技術を研究、開発することが大切と感じている。

### 3. 空調、熱源システムとシミュレーションについて

#### (1) 空調システム分科会

日本においては重要フォルトを5個選んでシミュレーションを実施し、ARMAモデルでフォルト検知を行い、診断の観点からフォルトツリーを実施している。フォルト事例からシミュレーション評価、フォルト検知、診断用ツリーと一連の分析、評価、診断システムを構築する手段と方法論ができることは実務者にとって大変有り難いことである。

また海外における数多い理論、研究等は我々の開発に多くの示唆をもたらしている。

上述したように実データによる検証により、多くの知見が得られることが期待される。

#### (2) 熱源システム分科会

熱源システムは日本がリーダーとなっているため理論面からフォルト検知を試行しており、方法論のアプローチが空調システムと違い我々については両方のアプローチが同時に得られることは非常に大きな意味があり、実際にケースごとに一番フィットした方法を多くの方法論から取り得ることで大変実務上期待できるものである。

#### (3) シミュレーションについて

今まで断片的に「故障検知・診断」の概念構成と研

究開発が行われてきたが、今回のようにBOFDシステムとして全体枠組としての体系化はほとんど認識されなかった。

静的シミュレーションは存在していたが動的シミュレーションについては、今後のBOFDシステム発展の基礎的ツールとして位置づけられ、このツールを基礎に実務レベルでも十分知識を持ち、自由に使用できるようなインターフェイスの開発が実務レベルでは必要なことと感じている。

さらに動的リアルタイムシミュレーションへと期待される予感があり、常に継続して実データを使用しているの検証が必要と考えられる。

そうすることによってさらに洗練された、使い易いツールとなり、最適設計のために極めて強力な武器になることへの期待が大きい。

また国内で中原教授が中心になり推進グループによる共同研究の場が作られようとしているので期待をしている。

#### (4) まとめ

省エネルギー、健康的快適性、省資源を経済ベースで成立させるために最適制御システム抜きでの達成は不可能であることを認識しなければならないと思う。

これらは新しい概念構築と設計が必要で、最適制御システム実現のため設備機器のあり方を論じることが要求され、動的シミュレーションはツールとして強力な武器となることが期待される。

弊社のことで大変恐縮ですが、会社理念のセーブメーション (Saving by Automation) 具現化の形態がANNEX25に盛り込まれているので、本プロジェクトを通じ社会貢献や国際貢献ができるものと考え、今後の研究を進め、更なる発展を期待している。

#### (参考文献)

- 1) 中原信生：BOFD (ビル最適化とフォルト検知) の概念設計, 日本建築学会東海支部研究報告, 1992年2月
- 2) 中原信生：建築の省エネルギー(4) 運転管理, IBEC '92. 1, p.37