

# 清水建設研究所設備のコンピュータ制御システム（その1）

— 総 論 —

荒木 陸彦

## § 1. はじめに

本稿は昭和44年春以来、研究所・設備部・設計部が共同して行なってきた建築設備の自動化に関する研究の第1回報告である。

本報告は4部から構成され、第1部で従来の研究の経過と研究所の制御システムの概要、第2部以降、コンピュータシステム、空調設備、電気設備の詳細について述べる。

現在、この研究は新設研究所の設備を制御対象とした実験的な無人制御システムが完成し、システムの運転と監視に入ったところである。この実験的なシステムを通して得られた情報の解析を通じ、より高度な制御システム作成の試みが現在進行中である。昭和49～50年にはさらに進んだシステムの報告ができるであろう。

なお本研究をまとめるにあたり、システム設計とプログラム作成の段階では森井電業株式会社：森井定光、千葉善夫、栗原武光、製作の段階では第一設備株式会社：島田 潔、小林宗義、運転と監視の段階では鈴木 勉、中島敏勝の諸氏をはじめとする多くの方々のお世話になった。これら諸氏のご協力とご援助がなかったら、われわれのシステムはでき上がらなかったであろう。紙上を通じて心からの感謝を捧げたい。

## § 2. 研究の目的

1930年代にはじまり40～60年にかけて爆発的な進歩をみせた技術革新の基軸をなしたものは、19世紀におけるそれがエネルギーであったのに対し、情報・通信・制御といった新しいファクターであった。とくに計装産業における生産過程は、戦後「オートメーション」の普及によって一変したといえる。

このような技術史的な認識を背景にして、われわれの研究はまず第一に建物における設備運転とその制御の自

動化を目指した。しかし単なる自動運転であれば在来のリレーを使ったシーケンシャル制御においてもすでに行なわれてきており、とくにコンピュータを利用するメリットは出ないともいえる。第2の目的は、建物の使用エネルギーをミニマムにするような最適制御システムの確立にあった。エネルギーの有効利用は最近急速に社会問題化してきており、このような考え方は、今後、あらゆる熱機関とそのシステム設計に極めて重要な課題となるであろう。建物の動特性を把握し、エネルギーミニマムにするような最適制御を行なうことは、かなり複雑な計算過程を必要とするもので、在来の制御方法では不可能な分野である。

第3の目的は最近のビルの大型化・複雑化に伴う人力による設備制御の困難化に対処して、ビルの安全性と信頼性を確保するような制御システムの確立である。これは防災システムに対するコンピュータ利用にも関係するものであり、今後の大きな課題の1つである。

最後に第4の目的として適正環境の保全がある。環境制御も温湿度を制御対象とする限りでは在来の方法でも制御可能であった。しかしビルの無公害化、また取入れ空気の清浄化といったように制御対象が拡張された場合には、在来の制御方法では極めて制御が困難な上に費用もかかることになるであろう。

われわれが建築設備のコンピュータ制御の研究の目的として考えた重要なものは以上の4つである。

現在、第1の目的である設備の無人運転システムの基礎的な部分がほぼ完成したところである。したがって今回の報告の主体はコンピュータを中心とした設備の自動運転システムに関するものとなっている。

## § 3. 設備のコンピュータ制御の歴史

わが国における設備のコンピュータ制御は、昭和42年春に大阪の梅田に完成した西阪神ビル(15F, 42,066㎡)

に始まると思われる。このビルでは MELDAP—8000 (21ビット×8K語)を使い、電気・空調機器のスケジュール運転と各機器の自動発停を行なうほか、防災関係の制御も考慮した総合的な設備制御を目指した。

昭和43年頃からわが国で建築される主要なビルでは、かなりコンピュータの利用が始められた。例えば、昭和43年大井町第一生命 (OKI—MINITAC 7000, 26ビット×4K語)、大阪国際空港ビル (FACOM 270—10, 16ビット×4K語、ドラム32K語)、昭和44年神戸商工貿易センタ (MELDAP—8000, ドラム8K語)、昭和45年東京 WTC ビル (HIDIC—300, 500) などがある。しかしこの年代におけるコンピュータ利用は、日報の作成を中心としたデータロガーの段階を出なかつたといえる。その理由は本格的な DDC (Direct Digital Control) 制御を行ないうるコンピュータの種類が少ない上に、コストが非常に高かつたこと、コンピュータと設備機器との間のインタフェースの制御装置もまだ汎用の形ではわが国には存在しなかつたことなどからきていた。

さらに高度なコンピュータ制御への途を開いたのは、昭和43年末からわが国のコンピュータメーカーで、いっせいに発表され始めたいわゆる「ミニコンピュータ」である。ミニコンピュータはプロセス入出力関係のハードウェアおよびソフトウェアの仕様が公開されており、ユーザ側の機器の接続や制御がしやすいのみならず、コスト的にも極めて安価であり、これによって本格的な計測制御への途が開かれたといえる。

このミニコンピュータを利用した設備制御の事例は、昭和46年の東京の朝日東海ビル (FACOM—R, 16ビット×4K語、ディスク65K語)、大阪読売新聞社 (FACOM—R, 4K語、ディスク65K語、HIDIC—100, 8K語) に始まる。この段階になると従来のデータロガーの利用からコンピュータによる本格的な運転制御への試みが意識的に行なわれ始める。しかも制御そのものも、ローカル制御からセントラル制御へ、個別制御から総合制御へ、単純な定値制御から予測制御へ大きな変貌をとげようとしている。このように制御の対象が広がり、かつ高度化すると、個別施工業者の技術開発の範囲ではいろいろな問題点がでてくる。

このような時期に、いわゆる大方の建設会社で本格的な設備制御のシステムが相い前後していっせいに発表されたことは決して偶然ではないといえる。当社研究所 (昭和48年12月、FACOM—R, 16K語、ドラム131K語)、大阪大林ビル (昭和48年1月、H—316, 16K語、ドラム131K語)、竹中工務店設計・施工の大阪国際ビル (昭和48年2月、FACOM—R, 8K語、ドラム131K

語)における新しい制御システムの発表がそれである。

コンピュータの性能を最高度に利用した建築設備の最適制御システムの完成が、昭和49～50年の大きな課題であるといえる。

さて欧米におけるコンピュータ制御の経過はあまり定かではない。米国の場合、もちろんわが国に比べて遙かに長いコンピュータ利用の歴史をもち、設備における利用の面でも1966年のIMFビル (PRODAC—50, 12K語)、68年のONE MAIN PLACEビル (H—516)、72年WTCビル (H—516, 16K語、ディスク196K語)、シカゴIBMビル (IBM 1800, 32K語、ディスク2台) など個別例としてはいくつもの事例をもつ。しかし1970年12月にメリーランド州において商務省の規格局が主催して開かれた「建築に関連する環境工学へのコンピュータ利用」のシンポジウム<sup>1)</sup>においても、60編近い発表論文中、コンピュータ制御の事例はわずか1編である。最後のS. Daryanani氏の講演<sup>2)</sup>にもあるごとく、米国でも建設業界におけるコンピュータ利用は極めて遅れているようである。

ヨーロッパでは設備制御へのコンピュータ利用はさらに遅れており、パリのオルリー空港に設置されたものがヨーロッパで唯一の事例といわれる。

## § 4. 研究の経過

昭和44年から現在に至る研究の経過は5期に分割される。その経過の概要を述べてみよう。

第1期 (44年5～9月) は実現可能性の検討の時期であった。設備機器、コンピュータの両側面から、設備のコンピュータ制御の技術的、経済的可能性の検討を行なった。当時発表されたばかりのミニコンピュータ FACOM—R の検討を通じて、コンピュータ制御が将来の設備設計における不可欠な要件になるという見通しをもった。

第2期 (44年10月～45年3月) は、設備の自動制御を行なうにあたっての問題点の検討を行なった。検討点は次のようなものである。

- ・設備とコンピュータの間の結合問題
- ・空調システムを例にとり、制御上の問題点の洗い出し
- ・制御方式
- ・過去の適用事例の調査と検討

この段階で明らかになったことは、設備のコンピュータ制御のための情報が極めて乏しいことで、実際の物を作ってみる必要性が痛感される時期でもあった。

第3期(45年4~12月)には、仮想的な条件設定を行ない、制御方式の検討、設備機器とコンピュータとのインタフェイスの設計、モニタシステムの設計を含む抽象的なシステム設計を行なった。このことによって設備のコンピュータ制御の基本的な考え方をほぼ明らかにすることができた。しかし実際のシステムで運転してみなければ、工学的には無意味であることも極めて明らかになった。

第4期(46年1月~48年9月)は、新設研究所の設備を対象にして実験的なコンピュータ制御システムを作りあげることにあった。全面的なコンピュータ制御を行なった場合に設計面、施工面でそれぞれどのような問題があるかということが、この経験を通じて明らかになってきた。

第5期(48年10月~)。新設研究所の制御システムを実験的に利用することにより、汎用の設備制御システムの設計、予測制御を前提にしたさらに高度な制御アルゴリズムの作成、制御のための設備関係におけるデータ構造の標準化とファイリングシステムの作成、設備・コンピュータ両面における標準仕様の明確化を行なうことがこの時期の課題である。

今回の報告は、この第4期における新設研究所を対象にした実験的なシステムに関するものであり、そのまま一般化して考えられない面も多くある。これらの問題点は第5期以降に残されているものであることを、あらかじめご了解いただきたい。

## § 5. 研究所建物の概要

名称	清水建設(株)研究所・計算センター
所在地	東京都江東区越中島3-4-17
設計監理	清水建設株式会社
建築施工	同上
設備施工	同上
協力業者	第一設備工業株式会社
工期	昭和46年12月~昭和47年9月
面積	建築面積 1,276.087 <sup>2</sup> 延床面積 5,432.276 <sup>2</sup>
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
階数	地上6階、塔屋2階
階別用途	1階:ピロティ、蓄熱槽 2階:応接ロビー、食堂、土質実験室、ロッカー室、制御室、機械室、電気室、電話交換室、会議室、診療室、

休憩室

3階:事務室、会議室、ワークルーム、スタッフルーム、化学分析室、機器分析室、強度試験室、劣化試験室、書庫、閲覧室

4階:ワークルーム、スタッフルーム、環境可変室、非破壊検査室、振動実験室、データ処理室、集中計測室

5階:コンピュータ室、ワークルーム、スタッフルーム、キーパンチ室、カード庫、資料室、休憩室

6階:空調機械室

熱源方式 熱回収型エアソースヒートポンプ方式

空調方式 ファンコイルユニット併用、各階ユニット方式

蓄熱槽 複槽式

## § 6. 設備概要

### 6.1 空調設備

#### a. 熱回収型エアソースヒートポンプ

前川製作所 100RT 型冷媒R-12

冷房能力 310,000kcal/Hr

冷水入口10℃ 出口5℃

暖房能力 287,000kcal/Hr

温水入口40℃ 出口45℃

圧縮機 スクリュー型 110KW

空気熱交換器 プレートファン(銅管銅フィン、スズメッキ)送風機 22KW

水熱交換器、シェルアンドチューブ型

#### b. 1次冷水ポンプ

100φ×1,150ℓ/min×35m×11KW

#### c. 1次温水ポンプ

100φ×1,050ℓ/min×35m×11KW

#### d. チリングユニット 200RT 型 圧縮機19KW

#### e. 冷却塔 20RT 用×0.75KW

#### f. 2次冷水ポンプ

100φ×700ℓ/min×35m×11KW×4台

#### g. 2次温水ポンプ

100φ×700ℓ/min×35m×11KW×4台

#### h. エアハンドリングユニット 7台

#### i. コンピュータ室用ハンドリングユニット 2台

#### j. ファンコイルユニット 110台

#### k. 貯湯槽 2t (1,600φ×1,300h)

## 内部エポキシライニング仕上げ

### 6.2 電気設備

- a. 受電電圧 9.6KV  
配電電圧 420V, 210V, 105V
- b. 主変圧器容量 1,550KVA 三菱電機  
研究所 950KVA 実験棟 600KVA
- c. 契約電力 700KW
- d. 制御用電源  
120V AC 50Hz アクシオネータ用  
24V AC 50Hz モデュトロール・モータ用  
24V DC 安定化 コンピュータ直結センサ用  
24V DC その他センサ用  
42V DC 安定化 管内圧力用  
12V DC 安定化 パルスユニット用
- e. 予備電源設備  
ディーゼル発電機 35KVA  
10秒起動方式 PG-35 三菱電機  
蓄電池 210AH  
鉛クラッド完全密閉型 古河電池
- f. コンピュータ用安定化電源装置  
CVCF 10KVA TOSNIC 静止型 東芝
- g. 電話交換設備  
クロスバ型交換器 200回線  
フロアダクト セルラダクト方式

### 6.3 防災設備

- a. 自動火災報知設備 P型25窓
- b. 非常電灯 100灯
- c. 防火ドアユニット

## § 7. 研究所設備制御システムの特徴

§ 3. で述べたような在来設備のコンピュータ制御への試みのなかで、われわれのシステムがどのように特徴づけられるかを次に述べてみよう。

まず第1の特徴は、コンピュータ制御の面から設備設計へアプローチしたことにある。これは従来のシステムが、既存の設備設計のなかへコンピュータを位置づけようとしていたのを裏返したものである。このことによつて、コンピュータの性能を最大限に発揮させるためには、在来の設備システムにどのような問題点があるかを明確にしようとした。

第2の特徴は、設備機器の末端情報をすべて中央のコ

ンピュータに集中する方法をとったこと、しかもその場合の伝送方式としてコンピュータと端末機器の間を1対1対応させる直結方式をとったことにある。これは在来の制御方式が、ローカルで処理できる末端情報はできるだけローカルで処理をし、伝送は系統ごとにまとめたデータハイウェイ方式に相對するものである。これは極度の中央制御が良いと考えたわけでは必ずしもなく、集中化、分散化の問題点を調べ、両者の長所を総合したシステムを作りたいという考えからきている。

第3の特徴は、研究所の設備と制御にこだわらず、むしろ大型ビルの設備と制御のシミュレータ的機能を持たせたことにある。そのために、第1, 2の特徴とも関係するが、むしろ問題点が出易いようなシステムを採用した。

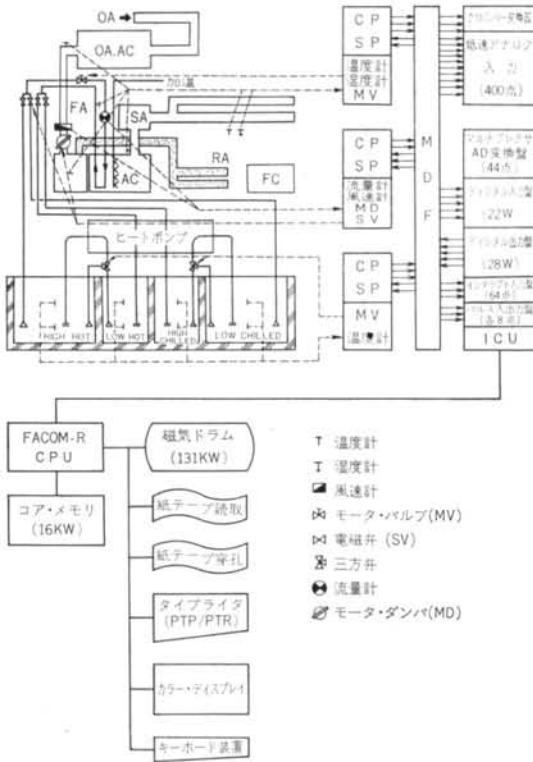
第4の特徴は、在来の設備と制御のシステムにおいてハードウェアが果たしていた機能の多くをソフトウェアに移そうと試みていることにある。これは制御の高度化をはかる場合の経済性に、極めて大きな意義をもつようになるであろうと考えている。

第5の特徴は、制御機器面に関係するもので、アナログ情報をデジタル情報に変換する場合の経済性を考えクロスバ交換器(400チャンネル)を採用したこと、中央監視盤を廃止してカラーディスプレイを採用したことなどがあげられる。

## § 8. コンピュータ制御システムの概要

わかり易いように室温制御を例にとつて、コンピュータ制御の概要を説明してみよう(図-1)。

まず、室内温度計から温度がコンピュータに読み込まれる。温度は0~100mVの電圧変動によるアナログ信号によつて表現され、1mVが1℃に対応する。温度情報はCP盤、MDF盤を経由し、クロスバ交換器によつて××室の温度として選択され、AD変換器によつてデジタル情報に変換されてコンピュータのCPUに読み込まれる。定値制御の簡単な場合を考えると、CPUでは読み込まれた室温と設定値の比較を行なう。例えば、暖房サイクルで運転されており、室温が設定値より低かったとすると、CPUから当該室のAC(空調機)へ入っているコイルのMV(モータバルブ)へバルブを1ステップ開けというデジタル信号が送られる。このデジタル信号はICU(インタフェイス制御装置)の出力盤からMDF(総合端子盤)、CP(制御盤)を経由してAC・MV(モータバルブ)へ伝えられ、その結果と



図一 空調設備のコンピュータ制御の概要

＜参考文献＞

- 1) U. S. Dept. of Commerce: "Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings", U. S. Gov't Printing Office, Washington, D. C., 1971.
- 2) ibid., p. 787—791.

して蓄熱槽の温水の高温側からくみ上げられコイルをへて低温側へおちる温水の流量が増加する。このことによって室内への供給空気の温度が上がって室温も上がる。その結果としての室温を検出して設定値が得られるまでMVを開くわけである。この場合、設定値の近傍で発振しないように設定値にある幅をもうけておく。

以上が簡単な定値制御の例であるが、熱収支の予測計算ができれば、これに合わせてMVの開閉を行なう予測制御が可能となる。さらに日単位の熱収支の予測ができれば、ヒートポンプの運転と蓄熱量の最適化も可能となる。これらの予測制御はコンピュータの利用を前提にしなければ不可能な領域であり、ここまでいかなければ本当のコンピュータ制御のメリットは論ずることはできないであろう。

さらに、室内の湿度、空気の組成の情報を入れていくと、室内環境をさらに最適化していく高度なソフトテクノロジーも可能となる。この点、コンピュータ制御の最大の利点は、ハードウェアの構成をそのままとしてソフトウェアの改良のみで制御の高度化が可能になる点にあるといえよう。

