

## 清水建設研究所設備のコンピュータ制御システム（その3）

## —空調設備システム—

桜井 翰

二木 紘一

（設計部）

## § 1. はじめに

従来、ビルの空調設備の制御はローカル自動制御あるいは中央監視室におけるグラフィックパネルなどによる監視をもとになされる動力機器の遠隔操作によって行なわれる例が圧倒的に多い。これによればビルが大型化、複雑化するにしたがって多数の設備管理員を要するとともに、ますます複雑高度化してくる制御機能を満たし難い。ローカル自動制御では多くても2、3の情報をもとに個別機器を制御するにとどまり、空調設備システムの総合制御の観点からは多くの矛盾が生ずる。ビル的大型化、複雑化に伴い得られる情報量も膨大となり、それらの情報を迅速かつ的確に総合判断し、1つの空調システムを機能目的に向かって統括制御するには、従来のごとき全面的にハードウェア機能に頼るローカル自動制御に代えて、ソフトウェア機能を制御面にかんなく発揮し得るコンピュータの導入は不可欠といえる。コンピュータを空調設備制御に導入することによって、これまで難解であった制御機能を大幅に拡大するとともに空調システム自体、大きく変貌する可能性があることを意味している。ポンプ、ファン等の一般空調設備機器、ならびにモーターバルブ、温度センサー等の計装機器について基本的なものをハードウェアとして備えるならば、コンピュータ制御システムではソフトウェア（プログラム）を任意に変更することによって広範な空調制御用シュミレータとして使用できる。また、コンピュータ制御システムが有する“大容量情報の一括管理”機能により、各種の制御シュミレーション実行時の熱負荷、エネルギー効率等の多量の解析用バックデータをオンライン自動集録ができるとともに、それらを大型電子計算機等によるプログラム解析に直接インプットとして使える紙テープ、あるいは磁気テープの形でアウトプットが可能である。目下、当研究所に設置されたシステムにおいて空調関係の制御プログラムにより、各種制御シュミレーションを実行しながらバックデータを集録、分析中である

が、まだ発表の段階には至らない。したがって、本論文では空調設備システムを構成する一般設備機器ならびに計装機器について、ハードウェアと制御ソフトウェアの目標とするところを報告するにとどめる。

## § 2. システムの構成

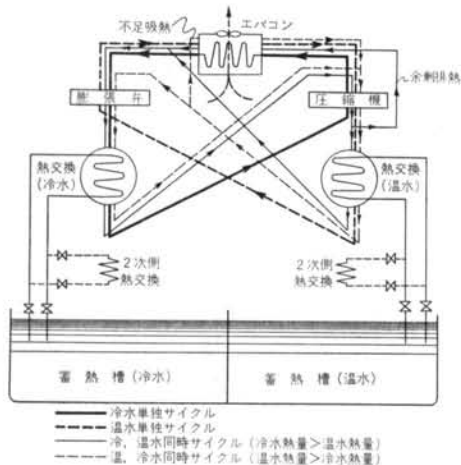
空調システムは大別して、①一般設備機器、②制御計装機器のハードウェアならびに③ソフトウェアプログラムによって構成される。

## 2.1 一般設備機器

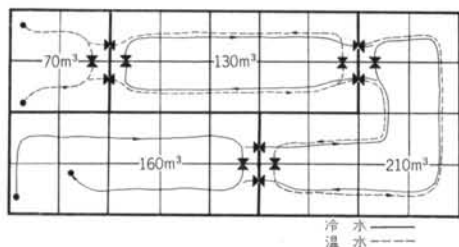
熱源ならびに空調システムの一般設備機器のほとんどが、コンピュータによる制御対象となっており、一部ローカル自動制御（5階系統のハンドリングユニット、ファンコイルユニットなど）に頼っている。

## 2.1.1 熱源システム（S-PACシステムと蓄熱槽）

今日、石油・ガス・電力等のエネルギーの利用に対して資源の枯渇、あるいは大気汚染などの問題が急速に表面化してきている。建築設備に対してもそのエネルギーの使われ方は、資源の有効利用あるいは公害対策などの観点から見れば極めて不十分といえる点が多い。空調用熱源、照明、大型電子計算機関係の電力、給湯、人体からの発生熱、日射等建物で消費あるいは発生する諸々のエネルギーを把握、分析しそれらを（全て熱エネルギーとして）空調熱源を主体とした熱回収システムに組み込むことにより、エネルギー回収が可能となる。当研究所には、このような熱回収を可能とした空調用熱源として、当社開発によるS-PAC（=Shimizu Prefabricated Air Conditioner）システムを蓄熱槽と組合わせて設置してある。S-PACシステムは電力を動力源に、主熱源として大気を用いた（熱回収型）ダブルパンドル・ヒートポンプシステムであり、したがって無公害熱源システムとなっている。S-PACシステムはクローズ



図一 S-PACシステム冷媒サイクルと蓄熱槽サイクル



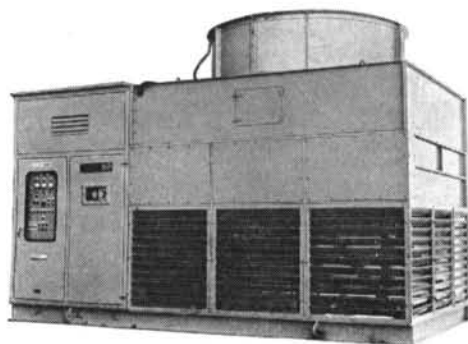
図二 蓄熱槽

ド運転とともに蓄熱槽と組合せ、オープン運転を可能としており、熱源機器の容量軽減の他、深夜電力の有効利用や電力デマンド管理を円滑に行なえるようにしてある。S-PACシステムにより、年間を通じて同時に冷・暖房機能、すなわち冷水・温水製造を同時に行なうことができる。冷媒サイクルならびに1次冷・温水サイクルを図一に示す。

ヒートポンプはスクリュー式圧縮機を電動駆動(電動機定格出力=110KW・1台、回転数=2950RPM)によって運転され、冷媒にはフロン-12を使用している。最大冷房能力310,000 kcal/h (=103 Rt)、同暖房能力287,000 kcal/h を有しおてり、塔屋2階に設置されている(写真一)。

蓄熱槽は図二に示すごとく冷水・温水の複槽式とし、冷・温水槽の水量合計は最大約570m<sup>3</sup>であり、蓄熱水量はシーズンによる負荷条件の違いによって冷水槽水量・500m<sup>3</sup>、370m<sup>3</sup>、160m<sup>3</sup>、これに対応して温水槽水量は70m<sup>3</sup>、200m<sup>3</sup>、410m<sup>3</sup>とバルブ切換によって容量変更できる。最大蓄熱量は冷水1,500,000 kcal (=500 Rt・h)、温水1,230,000 kcal を見込んでいる。

2.1.2 空調システム



写真一 S-PACシステム組み込みヒートポンプ



写真二 室内吹出ノズル

動力機器	設置台数	D/Oによる発停
2次冷水ポンプ	4	ポンプ
2次温水ポンプ	4	"
ハンドリングユニット	7	ファン
ファンコイルユニット	104	各階ごとの電源のみ
大型計算機室空調機	2	ファン
1次処理空調機	1	"
機械室給気ファン	1	"
機械室排気ファン	1	"
厨房排気ファン	1	"
倉庫排気ファン	1	"
便所排気ファン	2	"
給湯室排気ファン	1	"
加湿スプレーポンプ	1	ポンプ
エアワッシャーポンプ	1	"
(以下衛生・消火関係)		
揚水ポンプ	2	D/O発停なし
消火栓ポンプ	1	"
給湯ポンプ	1	ポンプ
給湯循環ポンプ	1	"

表一 動力機器一覧(熱源関係を除く)

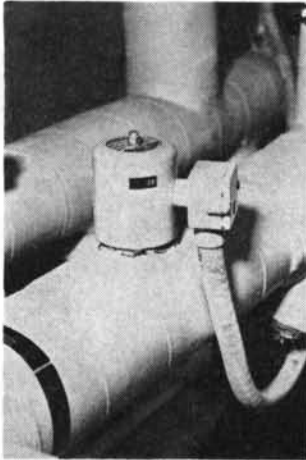


写真-3 ソレノイド・バルブ

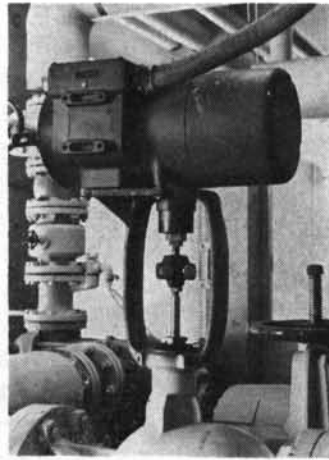


写真-4 モーター・バルブ (3方弁)

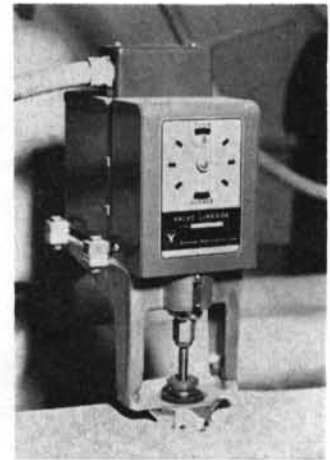


写真-5 モーター・バルブ (2方弁)

空調方式は当制御システムの拡張性を考慮してペリメータシステムをファンコイルユニット方式、インテリシステムを各階ハンドリングユニット方式を採用している。冷・温水供給はゾーン4パイプ方式により、ゾーンコントロールを行なっている。空調(2次)処理後の各室への吹出空気は写真-2に示すごときノズルを使用している。これによれば、吹出方向を任意に変えることができるとともに、吹出風量を絞リバーンによって調節できる。空調関係の動力機器一覧を表-1に示す。

## 2.2 制御計装機器

制御計装機器は作動系、伝送系、計測あるいは検知系に分けられる。これらについて空調関係の主なるものを示す。

### 2.2.1 作動系(コンピュータからの出力側)

一般設備機器として述べられたファン、ポンプ等動力機器(表-1参照)の大半とソレノイドバルブ(電磁弁)、モーターバルブ、モーターダンパ等の作動機器は全てコンピュータからのD/O(デジタル出力)信号によって、オンライン作動(DDC制御)注1)される。動力機器ならびにソレノイドバルブはD/O信号をフィールド盤(CP盤)のリレーで受けてオンライン発停(ON/OFF)あるいはバルブ開閉(OPEN/CLOSE)を行なう。ソレノイドバルブ(写真-3)は2次冷・温水の流路切換、ならびにハンドリングユニットにおける加湿制御に用いている。この他コンピュータからのステップ信号をD/O信号としてフィールド盤リレーに受けて所定のステップ作動を行なうものとしては、次のごとき機器がある。

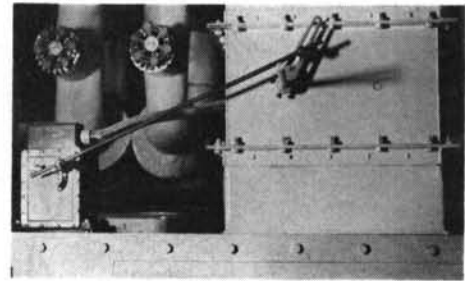


写真-6 モーター・ダンパ

- (a)モーターバルブ——蓄熱槽からヒートポンプへの1次冷・温水送水温度制御に3方弁(写真-4)、ハンドリングユニット、ファンコイルユニット内コイルへの2次冷・温水流量の制御に2方弁(写真-5)を使用。
- (b)モーターダンパ——ハンドリングユニットへの1次処理外気取入量制御に使用(写真-6)。
- (c)可変速モーター——1次処理空調機内ファンの回転数制御によって外気取入量制御に使用。
- (d)アンローダー・ピストン——ヒートポンプ内冷媒圧縮量の制御に使用。

空調関係の作動系制御点数一覧を表-2に示す。

### 2.2.2 計測ならびに検知系(コンピュータへの入力側)

空調関係の諸物理量はコンピュータ側に対して測温抵抗体などのセンサー(検出端)、変換器(発振器、抵抗等から成る)を介して0~100mVの電圧伝送(A/I=

注1) Digital Direct Control

作 動 機 器	出力信号	制 御	点数
動 力 機 器 (ファン・ポンプ類)	D/O	ON/OFF	37
ソレノイドバルブ	D/O	OPEN/CLOSE	50
モーターバルブ (二方弁・三方弁)	D/O	16ステップ制御	20
モーターダンパ	D/O	16ステップ制御	7
ヒートポンプ・アンロー ダーピストン	D/O	16ステップ制御	1
ファン回転数	D/O	16ステップ制御	1

表一 作動系点数

計 測 項 目		入力 信号	検 出 端	発振器 有 無	点数
温度	室内外空気温度	A/I	測温抵抗体	有	24
	ダクト内気流温度	A/I	測温抵抗体	有	34
	管内送水・還水温度	A/I	測温抵抗体	有	38
	蓄熱槽内水温	A/I	測温抵抗体	有	22
	蓄熱槽周辺地中温度	A/I	測温抵抗体	有	6
湿度	室内外湿度	A/I	臭化リチウム	有	9
	ダクト内・その他気 流湿度	A/I	臭化リチウム	有	9
風向・ 風速	ダクト内気流風速	A/I	測温抵抗体	有	8
	外気風向・風速	I/A	方位を抵抗可 変(風向) 風車発電(風 速)	有	2
日射	直達日射・全日射量	A/I	熱電対	無	5
圧力	2次冷温水送水圧力	A/I	ブルドン管	有	2
流量	管内送水流量	P/I	ローター	有	26

表三 計測系点数

アナログ入力信号),あるいはタイムインターバルによるパルスカウントとして伝送(P/I=パルス入力信号)をもとにオンライン計測を行なっている。計測点数一覧を表一に示す。

コンピュータへの入力としては計測の他,空調機(ハンドリング・ユニット)内エアフィルタの圧損限度検知にデジタル入力信号(=D/I)を用いている。

### § 3. ソフトウェアの目標とするところ

従来,ビル設備制御にコンピュータが導入されても,電気,防災と同じく空調設備においてもそのほとんどは

管理面,すなわち各動力系統・室温のCRTへの表示などによる監視,あるいは日報作成などのデータ・ロギング用としてしか使われない。しかるに当空調制御システムでは,コンピュータの演算能力をフルに活用した計算あるいは予測をもととした運転制御に最重点を置いたソフトウェアを目標としている。計算あるいは予測制御と,ハードウェア面でのDDC制御とが組合わされた本格的な運転制御といえる。

### 3.1 運転制御

#### 3.1.1 動力機器のスケジュール自動発停

コンピュータ制御システムでは設備の広範囲にわたる制御を伴った“無人化運転”を行なうことができ,昨今のオペレータの供給不足に対しても省力化が進み,時代的要請に応えることができる。カレンダー,時刻などの情報をもととして,プログラムスケジュールにしたがってヒートポンプ,冷・温水送水ポンプ,空調機ファン,給・排気ファンなどの動力機器を自動発停する。これによって設備管理員の早期出勤,深夜勤務などが改善され,また予冷・予熱なども最適条件によってなされる。

#### 3.1.2 熱源管理

従来,蓄熱槽とのオープン運転では蓄熱槽内のサーモ(温度センサー)とのローカル自動制御によって熱源機器の発停がなされるが,これではエネルギーの有効利用の点からも熱負荷としての需要変動に即応した効率良い蓄熱槽管理や,深夜電力の有効利用は行ない難い。ヒートポンプの運転時間帯を深夜移行することにより,昼間消費電力のピークを軽減あるいは設備運転費を削減することができる。当システムではカレンダー,蓄熱槽特性などの情報をもととして気象外乱等のデータから翌日の熱負荷変動パターンを予測し,深夜電力の最大限利用を計るべく,ヒートポンプの起動・停止(1次冷・温水ポンプのDDCのオンライン発停による)時刻ならびにアンローダーピストンの16ステップ作動によって容量制御する。予測される熱負荷変動の違いによって図一3,図一4に示されるような運転パターンが考えられる。

#### 3.1.3 室内温・湿度制御(室内の最適環境)

空調方式にファンコイルユニット方式とハンドリングユニット方式を併用する場合,それぞれコイル内冷・温水の流量制御は一般にローカル自動制御によって行なわれている。室内照明,人員等の内部発熱による負荷によって冬季にはペリメーター部,ファンコイルユニットに温水が(暖房),インテリア部ではハンドリングユニットから冷風が(冷房)供給されている場合が度々見られるが,ファンコイルユニット,ハンドリングユニットそれ

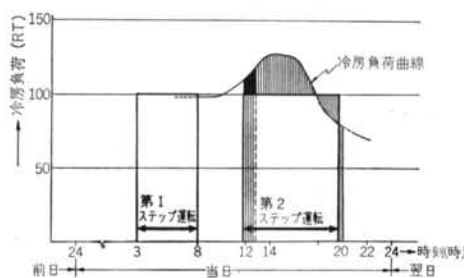


図-3 夏季冷房負荷ピーク時におけるヒートポンプ運転パターン

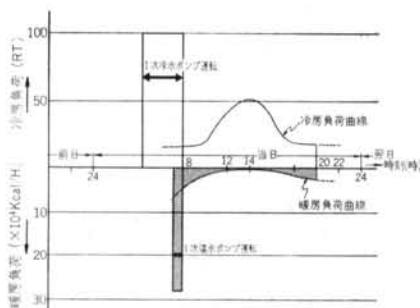


図-4 11月中旬頃のヒートポンプ運転パターン

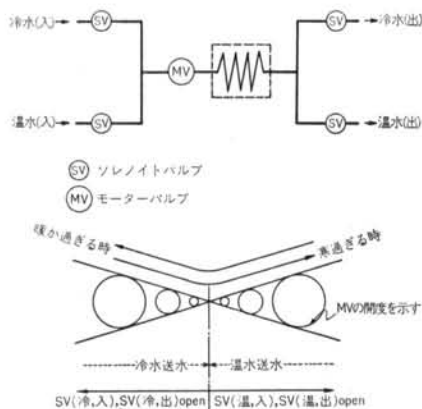


図-5 コイル内2次冷水・温水流量制御

それぞれ独立のローカル制御によっているため、双方のコイル内には余分の水量が流れ、発散してしまう結果が生ずる。当システムではファンコイルユニット、ハンドリングユニットの冷・温水流量制御には4個のソレノイドバルブ(SV)、1個のモーターバルブ(MV=2方弁)によってDDC制御しているため、ペリメーター部の受持負荷を気象外乱等から一義的に定め、不足分をハンドリングユニットで補う計算制御が実行できる(図-5)。したがって前記ローカル制御に見られる供給熱量の損失

を無くせる。

またローカル制御では室内温・湿度は単調な定値温・湿度制御であるが、ソフトウェアのフレキシビリティを活用し気象外乱、輻射などを考慮することによって各時点における最適環境を追及できる。

湿度制御は1次処理空調機内エアワッシャー、加湿スプレーならびに各階ハンドリングユニット内加湿スプレー用ソレノイドバルブの開閉をDDC制御によって行なっている。

### 3.1.4 2次冷・温水ポンプの台数制御

2次冷・温水ポンプは各4台で並列運転され、各ポンプの発停、故障、時刻、ポンプ送水圧等の情報をもとにローテーションを組み台数制御する。オープン運転時、ポンプ送水圧は蓄熱槽へのバイパス管還水流量をもとに、モーターバルブ(還水管2方弁=DDC制御される)とポンプ台数制御とから一定に保たれる。

### 3.1.5 外気取入量制御

外気、室内の温・湿度ならびにじんあい、二酸化いおう、窒素酸化物等の汚染物質濃度などの情報をもとに外気取入量を制御することは、熱負荷の軽減、あるいは室内汚染濃度制御にとって十分メリットがあると考えられる。当システムではダクト末端静圧情報をもととして、1次処理空調機のファン回転数、ハンドリングユニットでのモーターダンパのステップ制御によって行なう。

## 3.2 監視

監視機能としては次のような項目について各個別、あるいは系統別にキーボードからのリクエスト(機器のコード番号等のKEY IN)によりCRTへ表示させる。

- (a) 動力機器の運転ならびに故障状況
- (b) モーターバルブ、モーターダンパ、1次処理空調機ファン回転数、ヒートポンプ・アンローダーピストンのステップ値ならびに故障状況
- (c) ソレノイドバルブの開閉ならびに故障状況
- (d) 温・湿度等1次物理量注2)の値ならびに故障状況(表-3参照)
- (e) 供給熱量、熱源効率等の2次計算諸量

## 3.3 データ・ロギング(集録)

各種のシミュレーション運転制御時のヒートポンプ等動力機器の運転、あるいはバルブ、ダンパの開閉など設備機器の作動状態とともに温・湿度、圧力、日射量等の環境データをバックデータとしてオンライン自動集録す

注2) センサーが対応して設置されているもの。

る。集積データは一時磁気ドラムへ格納され、オーバーフローしないよう定期的に紙テープへパンチアウトしている。

以上の他、非正常時の動力機器の発停、モーターバル

ブのステップ作動、ソレノイドバルブの開閉など手動による遠隔作動もCRTキーボードからコード番号、作動指示コードをKEY INすることによってソフトウェアを介してなされる。