

## 建築設備制御システム(BECSS)の運転スケジュールプログラムについて

佐藤 豊 勝

### § 1. はじめに

現在、制御用ミニコンピュータは、プロセスコントロールをはじめとする多くの方面に利用されているが、本文は当研究所において開発した建築設備の自動制御システム(BECSS)における、設備制御プログラムとスケジュール管理システムについて報告をする。

#### 1.1 コンピュータによるビル設備制御の意義

ビル設備のコンピュータ制御は、近年大規模ビルを中心として米国やわが国で盛んに適用されるようになってきた。その背景には、高騰を続けるエネルギー費とビル管理のための人件費の節減の必要性をはじめとして、制御用ミニコンピュータやその周辺装置、およびソフトウェアなどの技術水準の向上が考えられよう。さらに、コンピュータによる制御システムは厳密な制御を行なうことによる過剰設備の回避や、システムの信頼性の向上、あるいは停電・火災などの非常時においても確実な処理を期待できるなど多くの利点を有している。

#### 1.2 コンピュータの制御対象

コンピュータ制御システムの制御対象となる設備系統は、一般に次の項目が中心となっている。

- (1) 空気調和、給排水設備
- (2) 電力(受配電)設備
- (3) 防災(主として防火)、防犯設備

以上の項目におけるコンピュータ制御システム全体の性能は、その構成要素であるコンピュータ、伝送制御装置、入出力装置をはじめとするハードウェアならびに実際に制御を行なうソフトウェアによって決定されていると考えてよい。ハードウェアについては、個々の規格、仕様書、特性表などによって評価が可能であるが、ソフトウェアについてはトータルシステムとして評価することが必要である。

#### 1.3 コンピュータシステムにおけるソフトウェア

コンピュータ制御システムにおける制御のすべては、ソフトウェアによってこれらの優劣が全システムの制御性に大きく影響する。ビル管理に使用するコンピュータ制御システムでは、末端の設備制御機器情報が即時に制御に反映するようなリアルタイム処理機能や、同時にいくつかの制御を行なうための多重プログラムなどの手法が要求される。

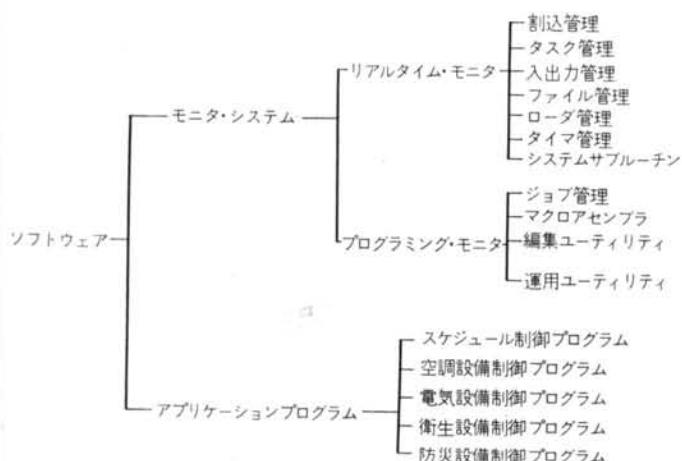
したがって、ソフトウェアの体系は実際の設備制御を行なうアプリケーションプログラム群と、これらを結合して各処理プログラムの実行を管理するための制御プログラム、すなわちモニタープログラムに大別される。

##### 1.3.1 モニタープログラムシステム

モニタープログラムシステムは機能上、その優劣が全システムの制御性に大きな影響を与える。従来、これは計算機メーカー側から提供されるのが原則となっているが、実際には汎用性に乏しく、機能からいっても十分ではなく、設備制御に最適なモニターの開発が進められてきた。そこで、現在清水建設研究所に使用されているモニタープログラムシステムの概要を説明する。

このシステムは、多くの利用分野に適用できる汎用性と、どのような規模にも対応できる拡張性を基本理念とした本格的なモニターシステムである。実時間システムにおいては、当然リアルタイム処理機能を必要とするが、その他にバッチ処理機能をも共存させ、システム運用中にプログラム開発が並行して実行でき、計算機を最大限有効に使用している。

次に、実時間システムにおいては、プログラムに対する起動要求がどういった時点で発生するか不定であり、さらに、同時に多種の要求が重なり合うことも考えられる。こうした場合、モニターはプログラムの緊急度によって優先順位の高いプログラムを実行させ、他の要求プログラムは待ち状態となる。また、プログラムが入出力装置などを利用中(事象待ちの状態)の時、モニターは



図一 1 ソフトウェアの体系

この空き時間をすでに要求のあったプログラムを実行させ、見掛け上並行処理が可能となる。

応用プログラムは、一般に多数のプログラム群より構成されており、これらは特に緊急度の高いプログラムを除いては主記憶に常駐させる必要はなく、大容量の補助記憶に配置し主記憶装置を効率よく管理する方が望ましい。そこで利用者のプログラムやデータなどは大部分補助記憶に配置され、要求に応じて主記憶に転送し実行するといったファイル管理機能が提供されている。そのほか、各種のタイマサービスをはじめ、アプリケーションプログラムが容易に使用できるよう考慮され、また、システムサブルーチンを提供し多様化する適用分野に対処している。

上記のモニタープログラムの機能をまとめると、

- (1) 割込み制御：多重プログラミング（優先処理，並行処理），待ち行列制御
- (2) プログラム制御：プログラム間の通信と制御
- (3) 入出力制御：機器の割当て，入出力処理スケジュール，動作シーケンスのコントロール・テスト
- (4) 伝送制御：データスキミング，端末機器制御，誤動作の検出と処置
- (5) ファイル制御：外部メモリからのロードと動的割当て，ファイルの保全
- (6) タイマ制御：時間割込み処理，ソフトウェアクロックの更新とサービス

以上の基本ソフトウェアを持つリアルタイムシステムが、現在使用されている。

## § 2. アプリケーションプログラム(I)

### 2.1 スケジュール運転

#### 2.1.1 概要

アプリケーションプログラムを大別すると、各種設備制御プログラム（空調・電気・防災など）とそれらのプログラムの時間管理プログラム（スケジュールプログラム）より構成されている。スケジュールプログラムはモニタープログラムの機能を充分に活用し、各種設備制御プログラムが論理的に実行できるように時間管理を行なう能力

を持つものである。具体的には、各グループ（熱源管理系・空調機系・ファンコイル系・吸排気系・電気系など）の自動発停、および各制御系プログラム群の時間的実行を管理する。

#### 2.1.2 基本的考え方

従来、空調を行なう際には人間が1台1台空調機のオン・オフを繰り返してきた。そこで自動制御装置が作り出され、それによって空調機の自動発停が可能となったわけである。しかしその反面、自動発停装置にかかるコスト、また運転スケジュールの変更操作が困難など、いくつかの問題点があった。

本システムでは、上記の諸問題を解決するためにすべてのスケジュール機能をソフトウェアに移行することによって、一日の設備機器の運転ばかりでなく1ヶ月、1年などの長期間のスケジュール運転を可能にすることができた。また、スケジュールの変更も容易にでき、設備機器の運転時刻ばかりでなく、機器グループ毎の運転パターンを設定・変更する機能も含んでいる。

以上の機能を有するスケジュールプログラムの開発において、各階空調制御・熱源管理制御・力率改善などを単位とするグループ群にシステムを分割し、それぞれのスケジュール管理を行なうこととした。このようなスケジュールシステムを、制御プログラムのなかにおける独立した部分として定義したことが、本システムの大きな特徴の1つである。

## 2.2 スケジュールプログラムシステム

### 2.2.1 概要

本システムの開発は DDC (Direct Digital Control) を指向して進めてきたが、そこではローカル制御におきかわる制御プログラム間の情報の交換・伝達などにかかわる諸問題が抽出された。これらの情報量の混乱を調整

する解決策として、データ構成を考え直す必要があった。また種々検討の結果、ソフトウェアの一部としてのデータ構成がシステムの機能向上について不可欠なものと考えられるに至った。

### 2.2.2 データ構造

コンピュータ利用技術の進歩の中で、重要な方向の一つにデータベースシステムがある。その核をなすデータ構造の特徴は、

- ① きわめて多量のデータが存在する
- ② それらのデータが構造化されている
- ③ 多数の利用者（プログラム）により共用される
- ④ 特定の言語やプログラムから独立している

などがあげられ、コンピュータ利用技術の基礎となるものである。

コンピュータ制御システムにおいても、データ量やプログラム数はシステム水準の向上とともに必然的に増加するが、これに伴う混乱に対処し、またその独立性、拡張性を確保するためには、データベースを前提とする共通システムへの方向が今後のシステムにとって不可欠なものになると思われる。

そこで本題のシステム開発にあたり、今後の制御システムにおけるデータベースシステムの一例として、スケジュールシステムを取り上げ開発を進めてきた。

### 2.3 スケジュールプログラムシステム

スケジュールプログラムシステムは、各データテーブルと、コントロールプログラムより構成されており、プログラム内では、データ作成プログラムとデータ表示、および変更プログラムに大別できる。

#### (a) カレンダー作成グループ

##### (1) カレンダー作成プログラム (CMP)

ある年月日における運転パターンを作成するプ

ログラムである。データインプット装置としては、TW (タイプライタ)・PTR (紙テープ読み取装置) などを使用し、最大 512 日までの連続したスケジュール運転パターンデータを作成できる。

##### (2) カレンダーデータテーブル (CDT)

補助記憶装置 (磁気ドラム) のアドレスが年月日に対応し、CMP プログラムによりそのアドレスにデータを格納する。運転パターンデータとしては 16 個用意されており、それぞれ 8 個の固定運転パターンと、交換可能運転パターンにわかれている。

#### (b) パターン判定およびタイマセットグループ

##### (1) タイマセットプログラム (TSP)

毎日 1 回実行され、CDT テーブルよりその日の運転パターンを検出し、SPT テーブルより各制御グループのスタート・ストップタイムを作成する。それらのタイムデータを主記憶 (コア) 上のグループタイムデータテーブルに格納する。

##### (2) スケジュールパターンテーブル (SPT)

補助記憶装置内に格納されており、SPD (スケジュールパターンデータ) と BCT (ブロックコントロールテーブル) より形成されている。TSP プログラムより決定したその日の運転パターンに対応した SPD テーブルおよび BCT テーブルから、その日の各グループのスタート・ストップタイムを作成する。大部分のスタート・ストップ情報は SPD テーブルに代表されるが、かりにあるグループのスタートおよびストップタイムが異なっているとき、その内容が BCT テーブルに定義されている。

##### (3) グループタイムデータテーブル (GDT)

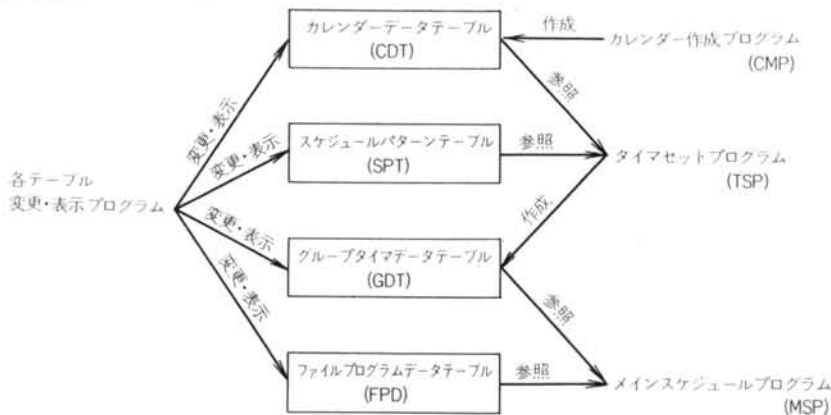


図-2 スケジュールプログラムシステム

TSPプログラムによってSPTテーブルより求められた実際の実行時刻をグループ別に並べたテーブルである。GDTテーブルは主記憶(コア)上に置かれ、最大128グループまで定義できる。

(c) メインスケジュールグループ

(1) メインスケジュールプログラム (MSP)

スケジュールプログラムシステムで、MSPプログラムを除いた各プログラムは、各種データテーブルの変更および作成を行なう。MSPプログラムは、GDTテーブルとファイルプログラムデータテーブル (FPD) を参照し、実際にある時間に制御プログラムを実行する。

従来のスケジュール運転とは、空調設備機器の自動発停に限定されていたが、ここでいうMSPプログラムは、各グループとして独立した制御系の全てのスケジュール運転をする。このプログラムを作ったことにより、アプリケーションプログラムの時間的混乱を防止することができ、制御プログラムの時間的体系が明瞭にされた。

(2) ファイルプログラムデータテーブル (FPD)

FPDテーブルは主記憶(コア)内に置かれ、MSPプログラム実行の際どのグループからの要求かを知り、そのグループにあたるFPDテーブルを選び出し、そのデータの内容から実行させるファイルプログラムを決定する。この場合、同時に制御するグループ数に制限はない。

(d) 変更および表示グループ

各テーブル(CDT・SPT・GDT・FPD)は、変更・表示プログラムを必要とする。上記したテーブルのデータ表示および変更を行なうプログラムは、オペレータの必要に応じて実行される。CRT (Cathode Ray Tube) とオペレータとの会話形式になっており、制御プログラムの内容についての知識を必要とせず、データチェックだけでよい。例として、GDTテーブル表示変更プログラムを示す(写真-1)。

```

*** SCHEDULE ALTERATION ***
NO-NAME  STRT  STOP  NO-NAME  STRT  STOP
00 HPWP 21:59 07:59 12 F2SE 07:30 16:30
01 STUP EMPTY EMPTY 13 F2SM EMPTY EMPTY
02 DRIR EMPTY EMPTY 14 F3SE 07:30 16:39
03 2PWP EMPTY EMPTY 15 F3SM 07:30 16:39
04 HUND 08:29 16:39 16 F4SE 07:30 16:39
05 R2NM 07:28 16:39 17 F4SM 07:30 16:39
06 R3SE 07:28 16:39 18 FCSF 07:30 16:39
07 R3NM 07:28 16:39 19 MFRN 08:29 16:39
08 R4SE 07:29 16:39 20 OFRN 06:59 18:00
09 R4NM 07:29 16:39 21 MFRN 06:59 18:00
10 R5SE 07:29 16:39 22 UFAN 08:29 18:00
11 R5NM 07:30 EMPTY 23 SWWV 07:32 07:24
PLEASE KEY IN DATA 03, STRT, 07:30
  
```

写真-1

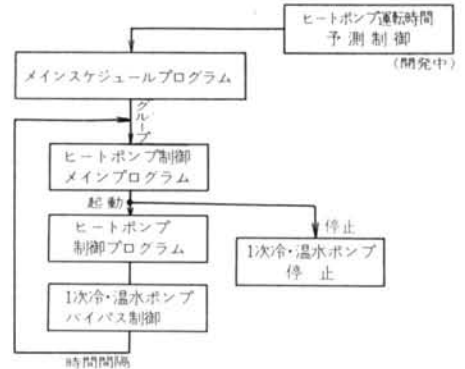


図-3 熱源プログラムシステム

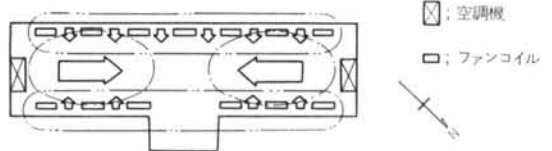


図-4 空調制御範囲(4F)

り、かならずしもハードウェアとソフトウェアがうまく組み合せて制御が行なわれているわけではない。ソフトウェアに限定して説明すると、

- ① ビル設備制御に最適なモニタープログラムの作成の遅れ、
- ② ハードウェアの長所を生かした制御プログラムの作成がなされていない、
- ③ 各種プログラム間の主従関係の曖昧さや、データ利用の汎用性のなさ、

などの欠点をあげることができる。これらの欠点をなくしよりよい空調制御プログラムを作成する必要がある。

3.1.2 空調設備制御システム構成

空調制御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、および③ソフトウェアによ

§ 3. アプリケーションプログラム(II)

3.1 空調設備制御運転

3.1.1 概論

最近、ビル設備制御コンピュータを使用しての制御システム例が年々増加している。また、これは将来ますます盛んになってくると思われる。しかし、現物を見る限

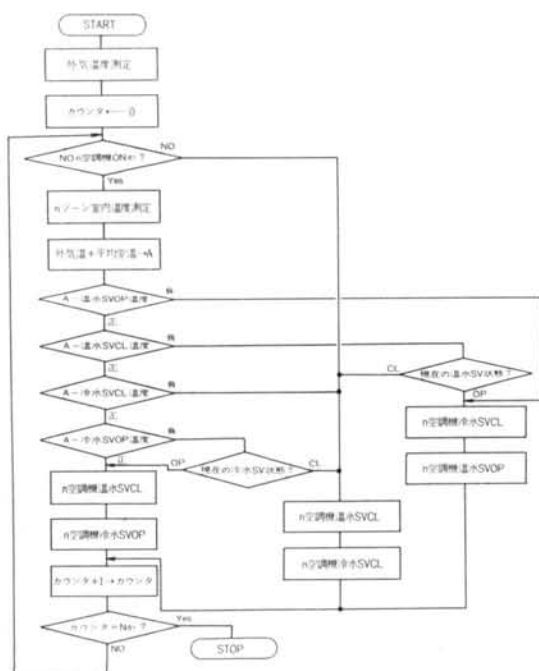


図-5 空調機 SV 切り換え制御プログラム

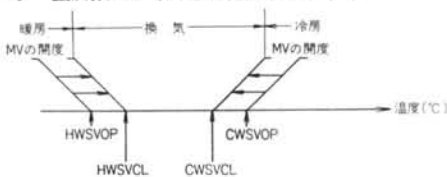


図-6 冷暖房、換気サイクル

て構成される。①および②のハードウェア関係は、所報 Vol. 22 で報告済みであるため、ここでは ③ソフトウェアを中心とした空調制御システムを論じたい。ここで、空調の制御とはどんな順序で行なうかを考えてみたい。空調するということは、

- ① 空調機の作動
- ② 冷暖房および換気の選出
- ③ ②の条件に沿う2次ポンプの作動
- ④ 最適室温にするための流量の調節

などの制御段階に分けることができる。すなわち、このハードウェアの主従関係がそのままプログラム間の主従を物語っている。

### 3.1.3 空調設備制御プログラム

#### (a) 熱源制御系

ヒートポンプが外気との熱交換を行なう、いわゆるオープン運転時、外気温・湿度、日射量などの気象外乱、建物の負荷特性などの情報をもとに、翌日の需要を予測するとともに、夜間電力の最大限利用

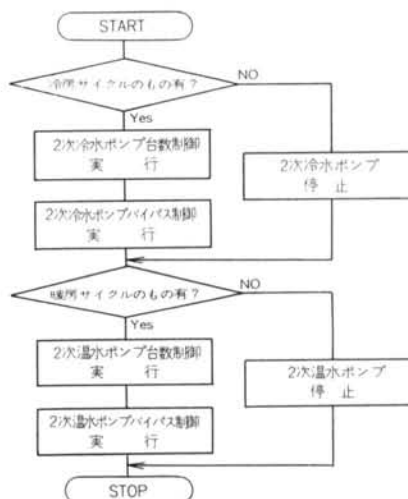


図-7 2次ポンプメインプログラム

を考えて、ヒートポンプの起動・停止時刻を制御する。

熱源制御系の発停は、オープン運転時では蓄熱槽からヒートポンプへの給水用1次冷・温水ポンプの発停と、アンローダー制御を行なっている。1次冷・温水ポンプのいずれかが停止することにより、空気熱交換器(エバコン)が稼動状態となり、両ポンプの停止とともに熱源制御系の停止状態となる。熱源制御系を構成しているプログラム群を図-3に示す。

#### (b) 室内温・湿度制御系

清水建設研究所における空調設備は、全てDDC(Direct Digital Control)によって制御されている。そのために従来の空調自動制御盤の機能が全てソフトウェアに移行することから、ハードウェアは簡素化され、より高度でしかも無駄のない制御ができる可能性がうまれてきた。しかしその反面、制御対象が数多く存在し、機器の制御上の関連性を深く認識する必要がでてきたのである。例えば、空調機ファンが起動することが切り換え弁(SV)を開くための必要条件であり、また切り換え弁(SV)の開くことが流量調節弁(MV)を開くための必要条件である。このような制御における時間的統制を取ることが大きな問題として残っていた。この問題がスケジューリングプログラムシステムの作成により解決された。図-4には空調制御範囲の例を示す。

#### (1) SVコントロールプログラム

このプログラムは冷水、温水の切り換え制御を行なっている。ファンのスタート情報を検知した

後、外気温度と室内温度をパラメータとして、S Vの自動切り換えが行なわれる。その結果、各季節ごとに人為的な冷・暖房切り換えを全く必要としなくなった。図-5に AC・SV 制御プログラ

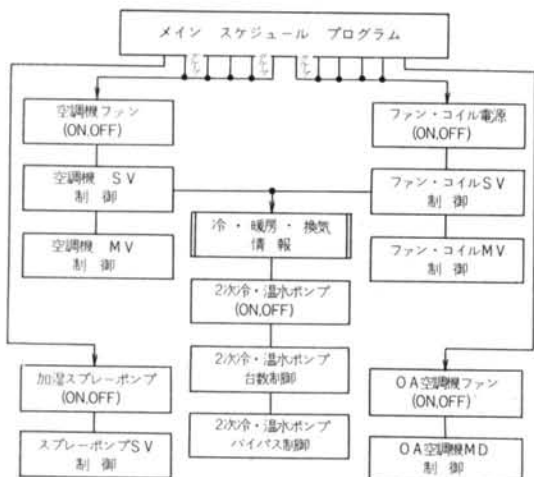


図-8 空調設備制御プログラム系統図

ムのフローチャートを示す。

(2) MVコントロールプログラム

このプログラムは冷水、もしくは温水のSVオープン情報を検出した後、室内温度を測定して最適温度との比較により、MVの開度を定める。制御方法は比例制御方式を採用しており、その時点における室内温度と最適温度との差により、MVのステップ数を順次決める。SV、MVの関連を図-6に示す。

(3) 湿度コントロールプログラム

このプログラムは、冬季における加湿サイクルを担当しており、加湿スプレーポンプのコントロールと、そのSVの開閉の制御を行なっている。

(c) 2次冷・温水ポンプの台数制御系

SVの冷水・温水情報によって、制御過程が決まっており、具体的には2次冷・温水ポンプ台数制御、2次冷・温水バイパス制御プログラムなどから構成されている。冷・暖房サイクルは互いに独立しており、中間季には冷・暖房および換気サイクルが

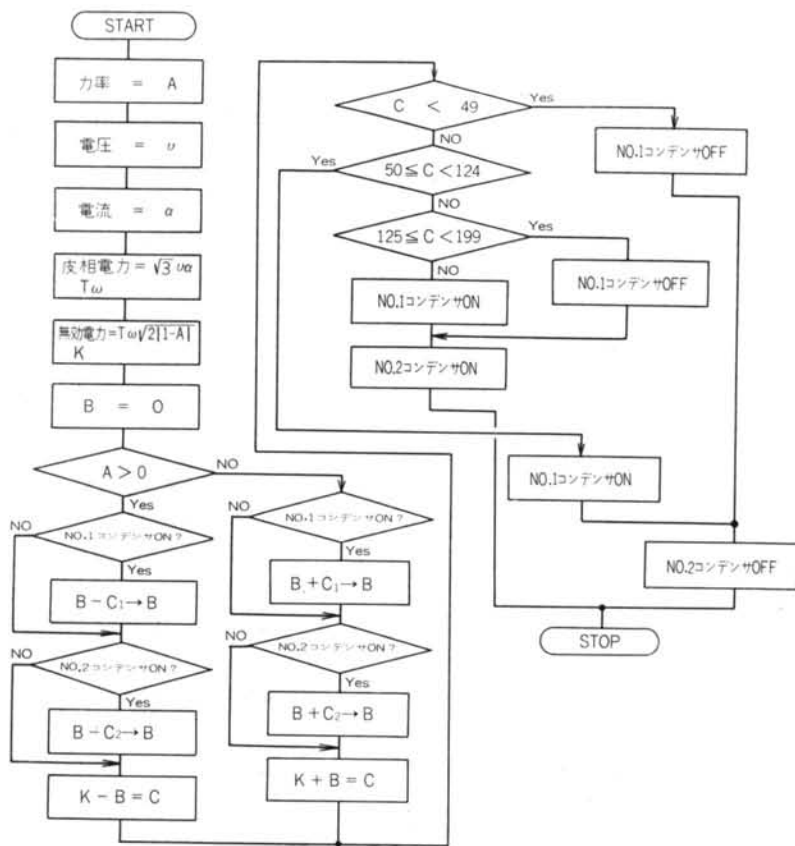
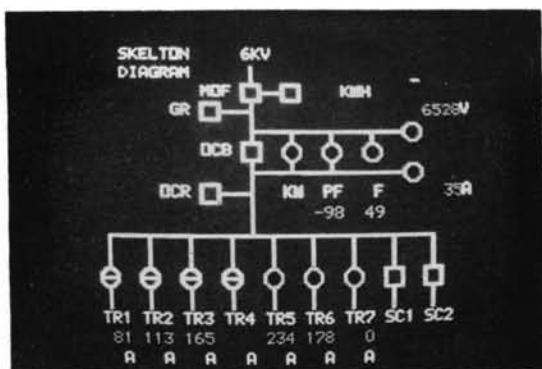


図-9 力率改善プログラムフローチャート



写真一 2

同時に起りうる。

(1) 2次ポンプメインプログラム

SVの冷・温水情報を検出して、各制御プログラムの実行を行なう。図-7に2次ポンプメインプログラムのフローチャートを示す。

(2) 2次冷・温水ポンプ台数制御プログラム

各4台ずつの冷・温水ポンプを配置し、各ポンプ間のローテーションの決定と、ON、OFFの制御を行なう。

(3) 2次冷・温水バイパス制御プログラム

このプログラムは、台数制御プログラムの後に実行され、最適な圧力を保つためのバイパスコントロールを行なう。

最後に、空調設備制御プログラムの系統図を図-8に示す。

### 3.2 電気設備壁御運転

#### 3.2.1 概論

電気設備制御は、ビル管理制御システムの重要な分野の1つであり、主に次の制御を行なっている。①デマン

#### <参考文献>

日本技術経済センター編：“最新のビル設備制御システムの開発計画法導入実例集” 1975

ド管理、②力率改善、③使用電力量管理、④電流、電圧などのデータ記録作成などに大別できる。

#### 3.2.2 電力管理の情報

正常な電力の供給はビル設備において電気設備に課せられた大命題であり、他設備に対し最良の電力供給を行なう必要がある。そのためには、契約電力をオーバーせぬよう電力使用の監視および制御を行ない、また最良な力率の電力を作り出すための制御などを行なっている。

(1) デマンド管理プログラム

すでに決定されている契約電力と、求めた電力との比較を行ない、表示および予測される30分デマンドに対する処理をする。具体的には、予測値が契約電力値をオーバーする状態が生じたとき、前もって選択されてある機器の電力を絶つことにより契約電力値を超えないように制御する。

(2) 力率改善プログラム

コンデンサを使用して、最良の力率にコントロールしようというもので、電圧、電流の値より無効電力値に応じてコンデンサの投入を行なう。図-9は力率改善プログラムのフローチャートである。

(3) 電気データ表示プログラム

これらは、全てCRT(Cathode Ray Tube)画面を使い、オペレータの要求した電気データ表示プログラムが実行される。写真-2は電力系統図である。

#### 謝辞

最後に、モニタプログラムの段階では山田邦夫(研究所)、スケジュールプログラムシステムの段階では清瀬啓二(技術開発本部)の両氏をはじめとする BECSS グループの方々のお助言、および協力に感謝します。

