

# 地域熱供給設備における最新の制御技術

岡本秀寿\*・藤本晶士\*・木村 進\*\*・川見俊之\*\*

\*エンジニアリング事業部・計電装技術部 \*\*エンジニアリング事業部・エネルギー・原子力プラント技術部

## Modern and New Control Systems for District Heating and Cooling (DHC) Plants

Hidetoshi Okamoto・Masashi Fujimoto・Susumu Kimura・Toshiyuki Kawami

Kobe Steel has completed a district heating and cooling (DHC) plant to supply chilled and hot water to buildings located in a new city center in eastern Kobe. The plant is equipped with a new control system to handle varied and effective operation with minimal operator inference. This system controls and monitors the start-up and shutdown of heat generating or cooling equipment according to different day time and seasonal heat load fluctuations, as programmed for the priority table for each piece of equipment in the system.

まえがき = 地域熱供給設備は、少人数の運転員により季節および昼夜間の熱負荷の変動に応じた最適な熱源機の運転（機種・台数制御）が必要である。

当社は、神戸市東部新都心地域熱供給施設の制御装置を受注し神戸熱供給(株)向けに納入した。熱源の機種・台数制御方式をあらかじめ設定することにより需要側の熱負荷変動に追従し、熱源機の発停および容量制御を自動的におこなう制御機能を、運転監視をおこなうDCS（分散型制御システム）に組み込み熱源の効率的な運用・運転員の負荷低減を実現している。なお、この制御機能の妥当性については季節および昼夜間の負荷変動に対する熱源機の機種・台数制御機能の動きをシミュレーションすることにより熱源機の効率的な制御が実現できることを事前に確認している。

### 1 設備の概要

#### 1.1 機器構成

地域熱供給設備を計画するにあたっては、対象とする需要家の熱負荷を想定し、プラントスペース・設備の余裕率などを考慮し、機器容量を設定する必要がある。しかしながら、今回の神戸市東部新都心地区のように、まったく新しい開発地域に地域熱供給を導入する場合、最初に建設される建物にプラントの設置を決定し、その建物を含め、将来建設が予定される建屋の用途などを考慮し、需要家全体の熱負荷を想定する必要がある。将来の建物については、建物規模・用途などの概要がわかる程度で、詳細な建物の情報がえられにくく、一般的に計画

の初期段階では、想定される建物の過去の統計データに基づき、単位熱負荷（原単位）をもちいて、最大熱負荷を想定する。また、熱負荷は季節別・時刻別に刻々と変化するため、過去の統計データに基づき、年間の熱負荷変動を想定する。このようにして最大熱負荷により決定される設備について、年間のあらゆる熱負荷に対し、効率的に熱源機を割り当ててゆくことが重要となる。

今回の地域熱供給設備の熱源機の設備概要を第1表に示す。供給条件は、冷水7・温水47 供給である。熱源機の構成は電気方式・ガス方式の組合せである。また、建物の地下の二重スラブ部分を有効利用し、1500 m<sup>3</sup>の水蓄熱槽を備えている。

水蓄熱槽では、安価な深夜電力を利用して夜間に蓄熱をおこない、昼間の電力需要が逼迫する時間帯に、水蓄熱槽に蓄えられた熱の放熱をおこなうことにより、電力のピークカット、運転コストの低減を図っている。水蓄熱槽は冷水・温水の切替方式であり、季節により冷房・暖房の熱源機に使用される。

1 期工事においては、電気方式として空気熱源スクリュヒートポンプおよび水蓄熱槽が設置され、ガス方式としてガス吸収式冷温水機が設置されている。将来的には、電気方式としてターボ冷凍機が2機、ガス方式としてガス吸収式冷温水機が2機増設され、3600RT程度（1RT = 12.66MJ/h）の地域熱供給設備となる予定である。

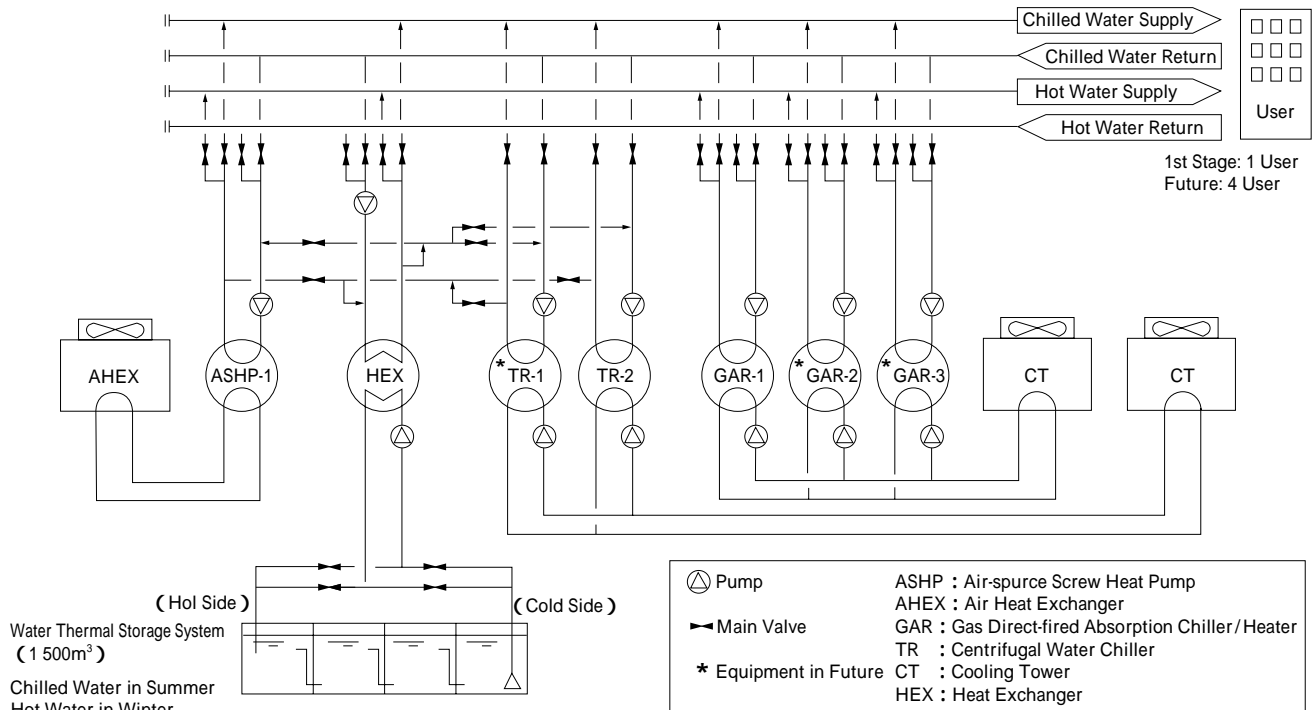
第1図に地域熱供給設備システムフローを示す。各熱源機の運転モードについては、以下のとおりである。

空気熱源スクリュヒートポンプは冷房・冷房蓄熱・暖

第1表 設備概要  
Table 1 Equipment list

Main Equipment		First Step	Future
Air-source Screw Heat Pump ASHP	Chilled Water	325RT (4 114MJ/h)	—
	Hot Water	3 495MJ/h	—
Gas Direct-fired Absorption Chiller/Heater GAR	Chilled Water	600RT (7 595MJ/h)	600RT (7 595MJ/h) x 2 sets
	Hot Water	7 786MJ/h	7 786MJ/h x 2 sets
Centrifugal Water Chiller TR	Chilled Water	—	600RT (7 595MJ/h) x 2 sets
Water Thermal Storage System TST	Chilled Water	1 500m <sup>3</sup>	—
	Hot Water	Hot Water/Chilled Water	—

Temperature Condition Chilled Water : 7 (Out) 14 (Return)  
Hot Water : 47 (Out) 40 (Return)



第1図 地域熱供給設備システムフロー図  
 Fig. 1 System flow diagram of district heating and cooling plant

房・暖房蓄熱の4モードを有する。冷房(または暖房)モードでは、製造した冷水(または温水)を直接7(または47)で供給する。冷房蓄熱(暖房蓄熱)モードでは、熱源機で4(50)で製造し、熱交換器を介して、水蓄熱槽に5(49)で蓄熱する。

ガス吸収式冷温水機は冷房・暖房の2モードを有する。冷房・暖房モードでは、熱源機で製造した冷水・温水を直接需要家へ7または47で供給する。

電動ターボ冷凍機は冷房・冷房蓄熱の2モードを有し、冷房モードでは、7の冷水を直接供給する。冷房蓄熱モードでは、4の冷水を製造し、熱交換器を介して、水蓄熱槽に5で蓄熱する。

水蓄熱槽は冷房・暖房それぞれに対し蓄熱・放熱の2モードを有する。蓄熱モードでは、熱源機で製造した4の冷水(または50の温水)を熱交換器を介して水蓄熱槽に5(49)で蓄熱する。放熱モードでは、こうして水蓄熱槽に蓄えた冷水(または温水)をポンプで取り出し、熱交換器を介して6(または48)で供給する。ポンプは3台設置されており、運転台数を設定することにより一時間あたりの能力を設定する。これらの熱源機・水蓄熱槽の組合せにより、季節によって、冷房・暖房に寄与する機器を割り当て、後述の台数制御を使用して、需要家側の熱負荷変動に対して、自動的に機器が発停するシステムを構築している。

台数制御からの指令は発停のみであり、熱源機の供給温度は、DCSからの容量制御指令により、熱源機付属の制御盤にて調整される。

### 1.2 制御システム

本設備の制御装置は、中央制御装置および各熱源機の機側制御装置、配管系統の切り替え・熱源機とポンプの連動運転を制御する現場操作盤より構成されている。写



写真1 熱源機および機側制御装置  
 Photo 1 Heat generation / cooling equipment and local control panel



写真2 中央制御装置(DCS)  
 Photo 2 Main control system(DCS)

真1に装置の外観写真を示す。

中央制御装置(写真2)には、最新型のDCS(分散型制御システム)を採用し、20インチCRT・キーボード・プリンタにより1人の運転員で、設備全体の監視・操作・運転レポートの作成がおこなえる。また、制御装置には、熱負荷の状況に応じ熱源機の自動発停、蓄熱槽

の蓄熱・放熱運転、配管系統の選択機能を持たせているため、設備全体の効率的な運転が可能である。

各熱源機の機側制御装置は、中央制御装置からの指令により熱源機の安全な起動・運転・停止をおこなうための補機の制御、出口温度を一定にするための容量制御、および現場操作盤にたいし熱源機の運転に必要な条件を確立するためのポンプの起動・配管系統の切り替え指令をおこなう。この各熱源機の機側制御装置と現場操作盤との連動により、万が一中央制御装置のDCSが停止しても各熱源機側制御装置により各熱源機の運転が可能となっている。現場操作盤には、冷水系・温水系のポンプ、流量・圧力制御バルブ、蓄熱槽の蓄熱・放熱運転のための配管系統の切り替え制御機能を持たせている。

## 2 負荷変動に対する制御方式

### 2.1 熱負荷変動

年間の熱負荷変動は、夏期・中間期・冬期により異なる。夏期は冷房負荷のみであり、暖房負荷は一般的に存在しない。よって、夏期においては、水蓄熱槽を含めたすべての機器を冷房負荷対応させることが可能である。したがって台数制御にて設定をおこなう機器優先順位の選択肢がもっとも多く、熱負荷変動に対して最適な機器の割り当てが期待される。中間期・冬期については、冷房・暖房の同時負荷が存在する。そのため、冷房対応・暖房対応の機器をあらかじめ選択して、冷房・暖房ごとの台数制御にそれぞれの熱源機を組入れる必要がある。

現在の建物では、コンピュータールームなどの用途により、冬期においても24時間の冷房負荷が存在することが多く、比較的小さな冷房負荷に対しても熱源機を対応させる必要がある。日別変動においては、最大負荷が現れる時間帯が、夏期では9時頃および14時頃に、冬期では9時頃になる傾向がある。この時間帯に水蓄熱槽の放熱を対応させ、極力熱源機の起動を抑えることが、ピークカットにとって重要となる。

しかしながら、9時頃の負荷に対して、すべての蓄熱分を放熱してしまうと、その後の熱負荷に対して、他の電気式またはガス式の熱源機でまかなう必要がある。そのため、一時的な熱負荷ピークが終了した後は、最適な放熱時間に見合った最適なポンプ運転台数を設定する必要がある。

### 2.2 台数制御

#### 2.2.1 熱源機台数制御

熱源機の運転台数は、中央制御装置により監視・制御されており、運転モードは冷房・暖房・蓄熱の3種類が存在している。冷房・暖房モードでは、常時運転されるが、蓄熱モードでは、電力料金の安い夜22時より翌朝の8時までの夜間のみ運転される。

この各運転モードに対し、各熱源機の運転優先順位が運転員により割り当てられ、この割り当てにしたがい、各運転モードでの熱源機台数制御がおこなわれる。

台数制御は、負荷側の要求熱量と運転中の熱源機、蓄熱槽の定格能力（熱量）の比較をおこない各熱源機の自動発停をするための増減段制御および負荷側の要求流量

と運転中の熱源機、蓄熱槽の定格能力（流量）の比較および冷温水の送出温度の規定値との比較による熱源機の追加制御によりおこなわれる。なお、増減段制御は、頻繁な増減を避けるため一定時間増減段要求が生じた場合のみ、増減をおこなうようにしている。

#### ●熱量による増段判断のケース

$$\Sigma (\text{運転中の熱源機定格能力} + \text{蓄熱槽放熱出力} - D_i) \\ \text{負荷側要求熱量}$$

#### ●熱量による減段判断のケース

$$\Sigma (\text{運転中の熱源機定格能力} + \text{蓄熱槽放熱出力} - D_d) \\ \text{負荷側要求熱量}$$

#### ●流量による増段判断のケース

$$\Sigma (\text{運転中の熱源機定格流量} + \text{蓄熱槽放熱流量} - D_i) \\ \text{負荷側要求流量}$$

#### ●送出温度による増段判断のケース

送出主管の冷温水上限温度 < 送出主管の冷温水温度  
(冷水の場合)

送出主管の冷温水下限温度 > 送出主管の冷温水温度  
(温水の場合)

ただし、 $D_i$  = 増段ディファレンシャル

$D_d$  = 減段ディファレンシャル

### 2.2.2 蓄熱槽の蓄熱・放熱モード制御

#### 1) 蓄熱モード運転

蓄熱槽は熱源機を1台使用し夜間に100%まで蓄熱をおこなう。蓄熱運転中は、蓄熱量を演算しCRT上に表示している。蓄熱モード運転は、タイマーにより22時に自動開始される。

$$QST = \Sigma |t_i - t_0| \times V_i \times$$

QST: 蓄熱量,  $t_i$ : 各槽の温度,  $t_0$ : 基準温度

$V_i$ : 各槽の容積, : 蓄熱効率

#### 2) 放熱モード運転

放熱用ポンプの運転台数を設定することにより、あらかじめ指定された能力にて昼間放熱運転をおこなう。ただし、放熱用冷温水ポンプ3台運転を選択している場合は、熱負荷に応じ2台または3台運転となるが、短時間での放熱を防ぐ目的で、3台運転であらかじめ設定された時間を経過すれば強制的に一定時間は2台運転となる。

放熱運転時においても、蓄熱運転と同じ演算式をもちいて蓄熱残量をCRTに表示している。

#### ●冷房能力

1 900MJ/h: 放熱用冷温水ポンプ1台運転(65 m<sup>3</sup>/h)

3 800MJ/h: 放熱用冷温水ポンプ2台運転(130 m<sup>3</sup>/h)

5 700MJ/h: 放熱用冷温水ポンプ3台運転(195 m<sup>3</sup>/h)

#### ●暖房能力

2 480MJ/h: 放熱用冷温水ポンプ2台運転(84.4 m<sup>3</sup>/h)

4 950MJ/h: 放熱用冷温水ポンプ3台運転(168.7 m<sup>3</sup>/h)

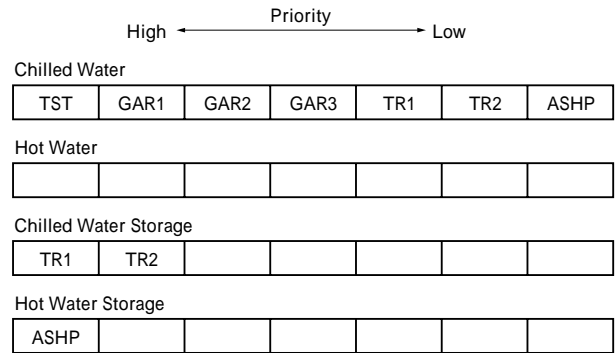
## 3 熱負荷変動シミュレーション

### 3.1 熱負荷変動シミュレーション

本項では、すべての機器を冷房負荷に対応させることのできる夏期の冷房運転についての熱源機台数制御の熱負荷変動シミュレーションをおこない、夜間電力の有効利用、各熱源機の適切な運転が可能であることを確認する。

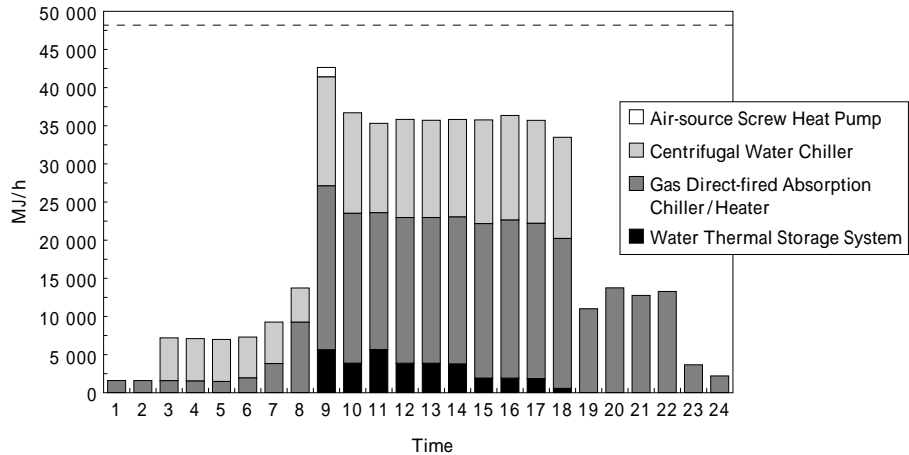
想定する冷房負荷は、現段階で想定されている需要家が業務を開始し、将来予定の熱源機が設置されている時期の冷房負荷とする。季節は、8月の冷房負荷が最大となる日とし、冷房負荷の推移は、業務が開始される前の8時より急激に増加し、業務開始の9時にピーク(42 000 MJ/h)が発生する。業務が終了する19時までは、ピークよりわずかに低い35 000MJ/hで継続し、その後急激に負荷が下がり、業務が終了する23時までは13 000MJ/hとなる。深夜は、5 000MJ/h以下に落ち込む。

冷房運転に対する熱源機台数制御の優先順位は、第2図に示す順とする。



第2図 台数制御の優先順位  
Fig. 2 Priority table of equipment for operation

第3図 シミュレーション結果  
(夏期運転)  
Fig. 3 Result of simulation  
(in summer)



### 3.2 シミュレーション結果

前述のとおり、すべての機器を冷房負荷に対応させることが可能な夏期運転が、台数制御の優先機器順序の選択肢がもっとも多い。第2図の運転優先順位を選択した場合について、夏期運転日の熱負荷変動に対する各機器稼働状態を第3図に示す。

22時から8時までの夜間は、電動ターボ冷凍機にて蓄熱運転をおこない、その間の需要家に対する冷房負荷についてはガス吸収式冷温水機が対応している。

9時の最大負荷に対しては、水蓄熱槽の運転を第1優先としており、不足する負荷に対して、ガス吸収式冷温水機・電動ターボ冷凍機・空気熱源スクリュヒートポンプが対応している。

10時から18時においては、放熱量を一定に抑えた水蓄熱槽の運転により、昼間の電力ピークカットができており、電動ターボ冷凍機の負荷を低減するとともに空気熱源スクリュヒートポンプを停止している。

19時から22時の負荷に対してはガス冷温水機が対応しており、電動ターボ冷凍機は稼働しておらず、冷房蓄熱運転への待機状態となっている。

このように熱源機の台数制御にて運転員が機器の優先順位および水蓄熱槽の放熱制御のポンプ台数を適切に選択することにより、1日の熱負荷変動に対して安価な夜間電力を有効利用しながら、熱源機が偏ることなく割り当てられ、最適な運転モードを構成することが可能となる。

むすび=熱負荷変動シミュレーションの例として夏期の冷房負荷ピーク時について紹介し、熱源機の優先順位の設定、台数制御および水蓄熱槽の蓄熱・放熱制御により電力ピークカットが可能となることを確認した。

このほか、冷房・暖房負荷が存在する冬期・中間期についても熱負荷変動シミュレーションをおこない最適運転ができることを確認している。

また、DCSは日々の需要家熱負荷・各機器ごとの稼働状況などの日・月報を作成しており、運転員はこのデータにより適切な運転モードを選択する指針とすることができる。

今回の地域熱供給設備制御システムにおいては、集中監視・制御に使用するDCSに、あらかじめ熱負荷変動に対応する熱源機を自動発停させる台数制御・蓄熱槽の蓄放熱制御・配管系統の制御を組込むことにより、少人数の運転員により安定でかつエネルギー効率の良い運転が可能となった。

なお、本設備は機械設備および制御設備の試運転を終了後、本年4月から需要家に対し熱供給を開始して所定の設備・制御性能が確認されている。

制御方式の決定に際し多大なご助言、ご協力をいただいた神戸熱供給㈱、関西電力㈱、大阪ガス㈱の関係各位に深く謝意を表します。