

# スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムにおける評価シミュレータの開発と経済性の検討

小林 昌弘  
(技術研究所)  
中村 卓司  
(技術研究所)

## §1. はじめに

通商産業省・工業技術院では、'84年度よりムーンライト計画の一環としてスーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム（以下、SHPシステム）の開発を行ない、当初の目標を達成した。財エンジニアリング振興協会は新エネルギー・産業技術総合開発機構からシステム化研究を受託し、'93年7月をもってその開発<sup>1)</sup>が終了した。当社は財エンジニアリング振興協会が新エネルギー・産業技術総合開発機構から受託したシステム化研究（平成3年度、および、平成4年度）の一部を担当し、本報告は筆者らが担当した部分についてその概要をまとめたものである。

SHPシステム開発の目的には、要素機器の開発として従来のヒートポンプと比べ2倍以上の成績係数（以下、COP）となる高効率ヒートポンプの開発、および、ケミカル蓄熱の開発がある。また、要素機器を結合する場合のシステム化の研究開発がある。要素機器の適用対象としては、民生用と産業用があり、省エネルギー効果、電力平準化効果、社会的・産業的効果、環境保全効果、技術的波及効果などを狙いとしている。

民生用の要素技術では、高効率冷温兼用SHP（以下、SHP-L、 $COP_c=7.0$ 、 $COP_h=6.0$ ）、温熱専用SHP（以下、SHP-H、出力温度 $80^\circ\text{C}$ 以上、 $COP_h=8.0$ ）が開発された。また、蓄熱装置としてはクラスレート蓄熱（以下、CS）が開発された。これら要素技術の開発は、ベンチプラントでの実証実験を経て、'90年度からの熱出力1000kW級パイロットシステムの実証実験、'92年度の熱出力3万kW級プラントの概念設計、および、総合評価によって全研究開発が終了した。

筆者らは当初より財エンジニアリング振興協会によるシステム化研究に参加し、システム評価用シミュ

レータ開発、および、SHPモデルシステムの経済性評価を行なってきた。<sup>2)</sup>

本報ではSHP熱出力3万kWクラスを必要とする大規模地域冷暖房・給湯システムに適用する評価シミュレータとその実行例<sup>3), 4)</sup>、および、SHPと河川水を利用した事務所ビルでの経済性について報告する。

## §2. シミュレータ開発の目的

システム化研究の目的は、ベンチプラント、パイロットシステムなどでの研究成果を取入れ、最適なシステム設計、実用化段階での概念設計を行なうことにある。

SHPシステムの適用は、全国各地域が対象となり、地域特性を考慮した最適なシステム設計が必要となる。また、システムの主機であるヒートポンプは、年間を通して運転され、ヒートソースである採熱源（河川水・海水・下水処理場排水など）や、時々刻々変化する建物側の負荷との関係で、COPやエネルギー消費量が大きく影響し、簡単な手計算でシステムを評価することは困難である。このため、対話型で簡易に設計支援可能なツールを作ることにした。

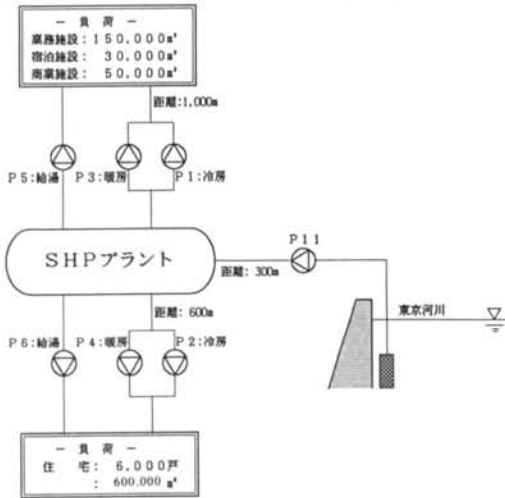
シミュレータの開発は2種類とした。一つは様々な要素機器、使用熱源、負荷需要が任意に選定でき、従来システムとの比較も可能な汎用シミュレータであり、もう一つは固定されたシステムに対し、システムの運転を正確に再現する詳細シミュレータである。

本報では、両シミュレータの概要を述べるとともに、SHPシステムの経済性試算結果例について報告する。

### § 3. 民生用汎用シミュレータの構成

#### 3.1 汎用シミュレータ開発の基本コンセプト

システム設計では、供給エリア内の建物特性、負荷変動特性、プラントの立地条件、利用可能な熱源の種類などの環境条件のほか、使用SHP機器、台数、蓄熱方式、運転条件などを考慮し、最適なシステム化の検討をする。設計段階では、使用する要素機器・負荷構成・負荷変動・採熱源・季節変動などによって適用するシステム自体が様々に変化し、対象によっては何種類もの設計例が考案できる。そのため、最初から限定されたシステムを決定しておくこ



図—1 地域冷暖房・給湯システムの概要

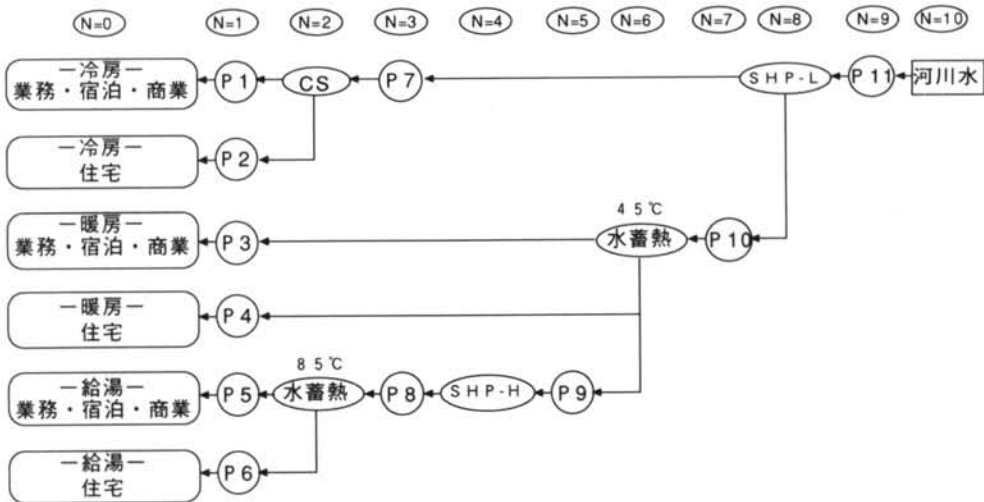
とは不可能であり、任意のシステム化に対して評価できるシミュレータが必要となる。汎用シミュレータは設計側の要望に応じ、任意のシステム構成に対して、エネルギー使用効率、深夜電力利用率、用水消費量、機器コスト、供給熱量単価などの評価項目を算出することを基本コンセプトとして開発を行なった。

#### 3.2 汎用シミュレータの概要

プログラムのアルゴリズム、実行手順、操作方法の詳細については、実行マニュアル<sup>5)</sup>が準備されている。ここではプログラムの概要を述べる。

プログラムは、地域（東京、札幌、仙台、大阪、福岡）選定、用途（業務、宿泊、商業、住居）別の負荷（冷房、暖房、給湯）選定が可能であり、設計者が要素機器を選定し、利用熱源（海水、河川水、下水処理場排水、大気）から負荷までの供給システムを構成するようになっている。供給システムは10系統まで選定できる。

設定方法は、使用する熱源、要素機器、負荷を一つのNodeと考え、これをポンプを介して接続することによってシステム構成を行う。例えば、図—1に示す業務・宿泊・商業施設と住居施設が混在する大規模地域冷暖房・給湯システムを考える。配管システムは6系統とし、業務・商業・宿泊施設の①冷房、③暖房、⑤給湯、および、住居施設での②冷房、④暖房、⑥給湯に分離する。冷房・暖房系は河川水を熱源とした冷温兼用SHP-Lにより、深夜電力によ



図—2 システム系統図

り冷水・温水を同時製造し、ケミカル蓄熱槽 (CS) に貯える。給湯系は貯湯槽から負荷に供給する方式とし、温熱専用SHP-Hで升温する。温水蓄熱槽はSHP-Hの熱源となる。以上の計画をシステム設計すると図-2のように表現でき、CRT画面上で要素機器の結合を行なう。シミュレーション入力はこのシステム系統図をもとに対話型で施設別面積、負荷種類、機器仕様、容量、台数、ポンプ流量、蓄熱槽仕様、機器制御方法、電力料金算定方法などを入力する。入力が終了するとCRT上に再確認のためのシステム系統図が表示され、結合の間違いをチェックすることができる。

### 3.3 要素機器熱収支計算と評価式の概要

#### 3.3.1 ヒートポンプ熱収支について

ヒートポンプと蓄熱システムでの熱収支については次のように考えた。

- (a) ヒートポンプNodeでの必要台数・運転時間は、そのNodeに要求される冷房、暖房・給湯熱量から算出する。
- (b) SHP-LのNodeに冷暖同時負荷が発生した場合は、熱回収運転を行なう。熱回収運転により、冷暖どちらかの負荷を満足した後は、冷房専用または暖房専用運転となる。
- (c) SHP-Lが、冷房、または、暖房専用運転の場合、負荷を満たす必要運転台数を決め、端数台数はリニアでの容量制御が行なわれるものとする。
- (d) ヒートポンプの効率、機種別、熱源別に各地域の時刻ごとに計算され内蔵データとなっている。プログラムでは、電動機出力にこの計算された効率を乗じて熱出力を計算する。

#### 3.3.2 蓄熱システム熱収支について

蓄熱Nodeに対しては、冷房、または、暖房 (給湯) の要求は一種類だけとし、計算フローは次のアルゴリズムとした。

- (a) 一日の負荷側の合計熱要求量を算出する。
- (b) 22時より蓄熱を開始し、蓄熱容量が一日の合計要求量に達した時点で、蓄熱を終了する。
- (c) 蓄熱槽容量以上の (蓄熱量-負荷) になった時点で、蓄熱を中断する。
- (d) 蓄熱容量は入力値に効率を乗じる。
- (e) 蓄熱Nodeからヒートポンプ側に要求する熱量は、蓄熱Node流入量の最大値である。

#### 3.3.3 熱源COP、システムCOPの評価式について

COPの評価式では、1次エネルギー換算 (換算値2450kcal/kWh) と2次エネルギー換算 (換算値860kcal/kWh) を定義し、システムの対象範囲の違いにより次の評価式とした。

$$\begin{aligned} \text{熱源COP} &= \text{熱出力 (kcal)} / \{ \text{熱源電力量 (kWh)} \\ &\quad \times \text{換算値} \} \quad \dots\dots (3.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{システムCOP} &= \text{熱出力 (kcal)} / \{ \text{全電力消費量 (kWh)} \\ &\quad \times \text{換算値} \} \quad \dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

プラントCOPは、どの要素機器までをプラントと考えるか設計者によって判断が異なる。したがって、プラントCOPの評価計算は、設計者が要素機器を決定するものとし、プログラム実行上では機器入力時に任意の要素機器に対して、その判断を入力するものとした。プラントCOPの評価は、選定した要素機器に対して全ての電力量を使用して次の式で換算した。

$$\begin{aligned} \text{プラントCOP} &= \text{熱出力 (kcal)} / \{ \text{選定機器の全電力消費量} \\ &\quad \text{(kWh)} \times \text{換算値} \} \quad \dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

### 3.4 消費エネルギー、コスト計算の概要

#### 3.4.1 電力量の計算と料金計算

東京電力の電力料金体系、業務用20kVを用いた。機器動力は効率を考慮し、ヒートポンプ動力は0.93、他の機器は0.90で除した。また、設計者は機器の選定時に、機器の同時使用率・機器設計での余裕率などを考慮し、選定する機器を基本料金の計算に組み入れるか否かの判断を入力する。この判断がない場合には、基本電力料金が最大となる。

基本電力料金は、基本料金算定機器により最大年間負荷を賄う電力量で計算する。

従量料金は、計算は月代表日で行なっているため、各月の日数を乗じて、月間電力量を算出する。電力量の計算と料金計算においては、産業用蓄熱調整契約料金を適用した。基本料金は1,600円/kW、電力従量料金は夏季11.17円/kWh、その他の季節10.15円/kWhとした。また、蓄熱調整契約料金は、4.36円/kWhとした。

なおここでの、夜間電力移行率は、全消費電力量に対する夜間消費電力量の比で計算した。

#### 3.4.2 要素機器コスト

要素機器のコストは生産体系、機器容量など不確定な要素があるが、概略値として次の算式を用いた。

- SHPコスト = 90(G)<sup>0.9</sup>(百万円)
  - プラント・配管設備費 = 160(G)<sup>0.9</sup>(百万円)
  - 化学蓄熱コスト = 16(G)<sup>0.9</sup>(百万円)
  - 顕熱蓄熱槽コスト = 10(G)<sup>0.8</sup>(百万円)
  - 在来のHPコスト = 81(G)<sup>0.9</sup>(百万円)
- ……(3.4)

G:熱出力(Gcal/h), または, 蓄熱容量(Gcal)

地域配管コストは, 系統別に配管延長と工事単価を入力する。その他, 原価償却費・金利・プラントのスペースコスト・人件費・維持・修理費などは設計者が任意に入力できる方式とした。

### 3.5 汎用シミュレーションの実用例

#### 3.5.1 対象モデル

対象地区は東京とし, 図-1に示す業務・宿泊・商業施設と住居施設が混在する大規模地域冷暖房・給湯システムを考えた。供給系統は6系統とし, 空調・給湯の対象面積は, 業務施設が15万㎡, 宿泊施設が3万㎡, 商業施設が5万㎡, および, 居住施設が30万㎡(住戸数:6000戸)とした。使用したピーク負荷原単位例を図-3に示す。

#### 3.5.2 要素機器のシステム構成

要素機器のシステム化は次のように考えた。

- (a)供給系統は, 業務・宿泊・商業系統と住宅系統を分離配管系とする。ただし, 冷房・暖房の同時使用はないものとし, 給湯系統と別途の4管方式である。
- (b)熱源機器は, SHP-LとSHP-Hを主機とし, 蓄熱は冷熱用としてクラスレート, 暖房用, および, SHP-Hのヒートシンクとして, 顕熱蓄熱槽を設置する。
- (c)SHP-Lの採熱源は河川水を使用し, 冷温同時製造が出来るシステムとする。

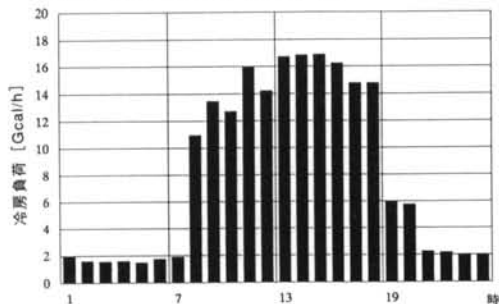


図-3 ピーク負荷原単位例

- (d)業務・宿泊・商業施設では, 8時から18時の間に冷房負荷が大きい。したがって, 昼間は蓄熱システムからの冷熱により冷房を行ない, 負荷が大きい12時から可能な限りSHP-Lの運転を停止する方式とする。
- (e)蓄熱は深夜電力による蓄熱を考える。蓄熱容量はピーク負荷に対し, 前夜22時から翌日の12時までヒートポンプを運転し, 負荷を賄う方式とする。
- (f)暖房はSHP-Lによる温水(45°C/40°C)を使用するものとし, 顕熱蓄熱槽に貯える。
- (g)給湯は僅かであるため, SHP-Hにより85°Cを供給するものとし, SHP-Lで昇温された温水(45°C)を熱源とする。蓄熱は顕熱蓄熱槽(貯湯タンク)を想定してできる限り小容量とする。
- (h)冷房・暖房の同時負荷はないものと考え, 配管系は区別しない。搬送動力(ポンプ)は負荷が大きい冷房系で設計し, 暖房系の搬送動力に対しては基本電力料金の計算には含まない。

#### 3.5.3 シミュレーションの実行と考察

シミュレーション結果例として年間電力消費量を表-1に示す。また, システムCOP, 夜間電力移行率, コスト構成などを図-4~図-6に示す。

このシステムは, 冷蓄熱容量が多いシステムであることがわかる。中間季から夏季は夜間電力が多く, 移行率も高くなる。図-5はシステムCOPである。6月, 9月にCOPが高くなるのは, 冷・暖負荷が均衡し, 熱回収による効果があるためである。図-6は, 熱量単価とその内訳である。イニシャルコストによる減価償却費と金利で6割を占め, 熱量単価も

月	SHP		CS		Pump		CT, HT		電力量合計		
	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	計
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
1	316	232	4	4	244	174	0	0	564	410	974
2	385	281	4	4	224	157	0	0	613	443	1056
3	319	323	9	10	181	169	0	0	509	502	1012
4	83	296	14	16	44	145	0	0	142	457	599
5	76	231	28	34	46	87	0	0	149	352	501
6	68	338	55	68	71	99	0	0	194	5050	699
7	268	825	217	177	245	198	0	0	731	1200	1931
8	419	878	263	180	300	201	0	0	982	1259	2241
9	66	621	106	130	123	153	0	0	294	904	1198
10	80	203	23	27	41	86	0	0	144	317	460
11	95	294	12	13	60	157	0	0	167	465	631
12	330	300	7	8	198	175	0	0	535	483	1018
計	2505	4823	742	672	1777	1802	0	0	5024	7297	12321

表-1 年間電力消費量

53.4円/Mcalと割高な感がある。

## § 4. 詳細シミュレーションの実行例

### 4.1 シミュレータ概要

前節では、システムを自由に設定可能な汎用シミュレータについて述べた。ここでは、'90年度からの1000kW級パイロットプラントでの実証実験結果を踏まえ、SHP出力温度とCS結合方法によりシステムを固定した場合の経済性評価を行なった。

本シミュレータは、採熱源、SHP-L、循環ポン

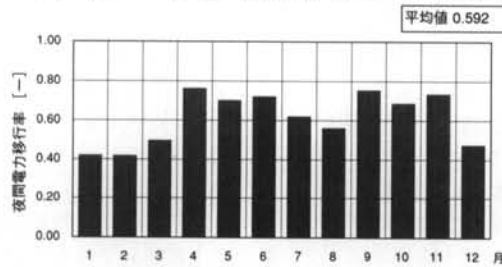


図-4 夜間電力移行率

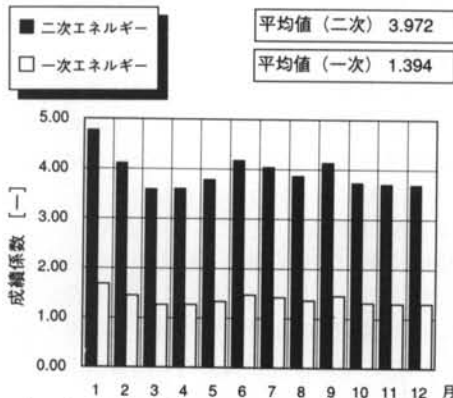


図-5 システムCOP

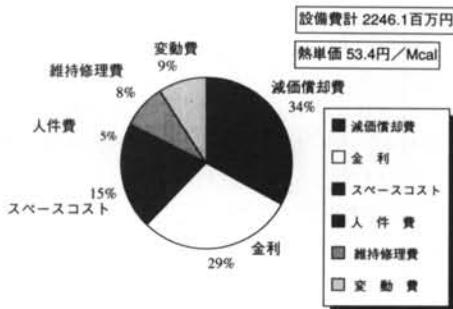


図-6 熱量単価とその内訳

プなどの要素機器とその結合構成が固定となっており、設計者が入力可能な事項は各機器の容量(台数)のみである。計算では、1時間ごとに負荷、または、蓄熱の要求に応じて各機器が運転され、その結果、各機器の1時間ごとの電力消費量がファイルに記録される。

SHP-Lの温度レベルはシステムにより異なっているため、パイロットプラントの成果より熱源水温度の関数としてシステムごとのCOP算出式を内蔵している。

### 4.2 計算対象システムの概要

計算例は東京での熱出力3万kW級の地域冷暖房・給湯システムとし、

- A. 業務施設を中心とするもの
- B. 業務・住宅の複合施設
- C. 住宅施設を中心とするもの

の3種類を想定した。

供給規模は住宅、業務、商業、宿泊施設の面積比率を地域の特性に合わせて調整し、ピーク負荷を一致するようにした。施設別面積を表-2に示す。

施設名	A.業務施設主体		B.複合型施設		C.住宅施設主体	
	延面積	空調面積	延面積	空調面積	延面積	空調面積
住宅施設	0	0	210,000	150,000	420,000	300,000
業務施設	250,000	177,000	150,000	103,700	50,000	34,400
商業施設	70,000	50,000	70,000	50,000	70,000	50,000
宿泊施設	30,000	20,000	30,000	20,000	0	0
合計	350,000	247,000	460,000	323,700	540,000	384,000

表-2 施設別面積

[m<sup>2</sup>]

対象施設は、業務・商業・宿泊・住宅の混在施設であるが、負荷系統は冷房・暖房・給湯の3系統とした。図-7にシステムの系統図例を示す。冷房用の熱源機としては、冷温兼用SHP-Lの専用機(以下、専用機、図-8(a))と、SHP-Lとクラスレート蓄熱を直列結合(図-8(b))、もしくは、2次側供給温度差を7℃とする並列結合(図-8(c))した2種類を併用する。SHP-Lの熱源は河川水とした。暖房はSHP-Lと顕熱蓄熱槽で賄う。この蓄熱槽

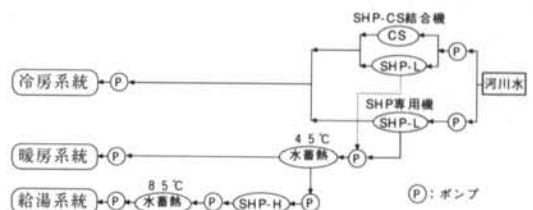


図-7 システム系統図

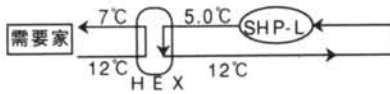


図-8 (a) 専用機

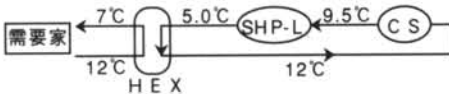


図-8 (b) 結合機 (直列)

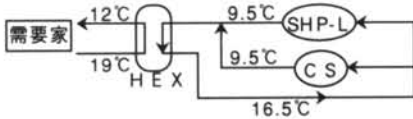


図-8 (c) 結合機 (並列)

は温水専用であり冷房用には使用しない。給湯は顕熱蓄熱槽に貯えた温水を熱源として、温熱専用のSHP-Hにより昇温して給湯用蓄熱槽に貯え使用する。

また、結合機はCS蓄熱時のSHP出熱量とCS蓄熱量のバランスをとり、SHP-Lの熱出力が2500kWもの1台に対して、蓄熱容量が500kWのCSを5基(計2500kW)配置した。

システムは、SHPとCSの結合方法と負荷側供給冷水温度の違いにより次のI～IVの4種類を設定した。各々の結合方法、出力温度レベルを表-3に示す。

#### 4.3 要素機器の運転・制御方式

要素機器の運転は夜間電力料金が適用可能な夜間(22時～翌朝8時)と昼間(8時～22時)に分けて考え、夏季の電力平準化のため、昼間負荷は可能な限り蓄熱によって賄う方式とした。蓄熱は冷房、暖房とも夜間にのみ行ない、昼間の追い駆け蓄熱は行なわない。また、冷房用に使用されない結合機はCSを切り離し、暖房用専用機として転用可能とした。

##### 4.3.1 冷房運転

夜間の負荷は、専用機で賄う方式とした。また、昼間の負荷は、基本的にCSが利用可能な結合機で賄うものとした。しかし、夜間負荷用の専用機の使用を考慮し、昼間の負荷が専用機の定格運転可能な負荷パターンであれば、専用機が定格運転可能な台数だけ運転し、残りの負荷を結合機で賄うものとした。

結合機の放熱は、SHP-LとCSが同時運転するも

システム	結合	CS出力	SHP出力	負荷側温度
I	直列	9.5°C	5.0°C	7°C / 12°C
II	直列	9.5°C	5.0°C	7°C / 14°C
III	並列	7.0°C	7.0°C	9°C / 16°C
IV	並列	9.5°C	9.5°C	12°C / 19°C

表-3 システムの結合法と温度レベル

	冷房定格運転	暖房定格運転
冷熱出力	2625kW	—
温熱出力	—	3000kW
圧縮機動力	375kW	500kW
COP	7	6

表-4 SHP2500kW級諸元

のとし、CSの蓄熱量が無くなった時点でSHPの運転も停止するとした。CSとSHPの放熱比率は固定し、部分負荷運転時も変化しないものとした。また、結合機でSHPを停止し、CSのみで放熱することは行なわないとした。

##### 4.3.2 暖房運転

夜間負荷は専用機で賄う。昼間の負荷は夜間電力の使用を考慮すると、可能な限り蓄熱分で賄うのが望ましい。しかし、実際にはプラント面積により蓄熱槽容積は制限される。また、経済性の面から昼間の全負荷を賄う蓄熱槽を設けることはコストアップとなる。そこで、本シミュレータではプラント設置面積から想定される蓄熱槽容積を予め定め、放熱時は蓄熱分を優先して使用し、不足分は専用機による暖房単独運転により賄う方式とした。

##### 4.3.3 熱回収運転

熱回収運転は夜間に蓄熱運転を行っている結合機のみで行なう。これは冷房時は、夜間負荷が少ないため、専用機可動率はきわめて低くほとんど熱回収が望めない。また、冬季暖房用専用機からの冷熱回収は可能であるが、暖房用にSHP-Lが運転されるのは蓄熱を行なう夜間が大部分であり、冷水蓄熱槽がない本システムでは、夜間の回収冷熱を昼利用できないためである。

プログラム上では結合機でCSに蓄熱を行うとき、暖房負荷、もしくは、温水蓄熱要求が存在すれば熱回収運転を、ない場合には通常のCS蓄熱運転を行なうことにした。

##### 4.3.4 各要素機器のモデル化

表-4に2500kW級SHPの性能を示す。SHPの熱出力は、圧縮機動力を固定し、これにCOPを乗じ算出する。ただし、部分負荷運転時は熱出力と圧縮機動力の変化をリニアとした。COP算出式はSHP

2次側（冷房では蒸発器，暖房では凝縮器）循環水入出力温度ごとに，実験式を用いた。また，本システムでは熱源側熱交換器での熱損失を考慮し，SHP 1次側循環水温度を河川水温度+2℃としている。

クラスレート蓄熱は，時間当たりの蓄熱量が定格500kWであり，蓄熱の総量は定格で10時間（500kW×10時間=5000kWh=18GJ）である。単位時間当たりの放熱量は定格の最大150%まで出力可能である。総放熱可能量は，蓄熱量に蓄熱効率を乗じた熱量とした。また，CS500kW 1基にはクラスレート攪拌機として6.3kWの攪拌ポンプが付属している。

#### 4.3.5 消費エネルギー，経常費の計算

電力量の計算と料金計算においては，産業用20kV受電とし，産業用蓄熱調整契約料金を適用した。機器コストは決定されたものではないが，ここでは以下の価格を使用した。

- ・SHP-L本体(2500kW級) 145百万円
- ・クラスレート蓄熱槽(2500kW) 428百万円
- ・プラント内設備 280百万円/SHP 1台  
(含，配管・電気・熱交換器・ポンプ)
- ・顕熱蓄熱槽 4万円/m<sup>3</sup>
- ・熱回収設備 240百万円/プラント
- ・地域配管設備 2000百万円/プラント

年間経常費は固定費と運転費の合計である。固定費の算出は，年金利6%，固定資産税率1.4%，保険料率0.2%，減価償却年数15年，残存価格10%の条件で均等化計算を行ない，毎年の平均を設備費に0.1174を乗じた値とした。

運転費は，年間電力料金であるエネルギー費，要員の人件費，プラント保守のための外注費，スペースコストの合計である。ここでは，以下の費用を用いた。

- ・スペースコスト：単価 39,700円/(m<sup>2</sup>・年)
- ・保守人件費：単価 967.3万円/(人・年)
- ・保守人員：9人/年
- ・外注費：設備費の2%

### 4.4 シミュレーションの実行結果

#### 4.4.1 要素機器構成と容量設計条件

機器台数の設計は機器容量の過剰な設計を防ぐため，夏・冬ピーク日による設計ではなく，冷房側は8月負荷で設計し，暖房側で不足する場合には機器を追加した。

設計順序は，8月冷房負荷より結合機・専用機の

SHP台数を決め，次にSHPの同時可動率を考え，SHPの入出熱量よりポンプを設計した。暖房用の顕熱蓄熱槽の容量は，熱源プラント（建築面積：2520m<sup>2</sup>）の地下基礎梁空間を利用した連通管方式の蓄熱槽を設置することとし，その容積を8000m<sup>3</sup>（水深4m）とした。

SHPの台数の決定は，1つの負荷パターンに対し，4つの運転パターンについてそれぞれ台数を求め，台数が最大となる組み合わせをその負荷パターンでの機器台数とした。負荷パターンごとのSHP，CS台数を表-5に示す。

負荷パターン	結合機	専用機	CS
A.業務施設主体	8台	1台	40基
B.複合型施設	6台	2台	30基
C.住宅施設主体	3台	3台	15基

表-5 各システムのSHP，CS台数

#### 4.4.2 計算結果，考察

年間のシミュレーション結果例を以下に示す。ここで使用した評価式の定義は次のようになっている。

- ①熱量単価（円/Mcal）：設計システムにおいて単位熱量を製造する経費であり，年間総供給熱量に対する年間経常費で定義した。

$$\text{熱量単価(円/Mcal)} = \text{年間経常費} / \text{年間総供給熱量} \quad \dots\dots (4.1)$$

- ②夜間移行率：CSの放熱量に対する移行率であり，次式で定義した。

$$\text{夜間移行率} = (\text{CSの放熱量}) / [\text{夜間を除く} \{ (\text{従来熱源機器の放熱量}) + (\text{SHPの放熱量}) + (\text{CSの放熱量}) \}] \quad \dots\dots (4.2)$$

- ③エネルギー効率E：エネルギー効率はCS評価用の効率であり，次式で定義した。

$$E = (\text{CSの放熱量}) / [\text{蓄熱時SHP軸動力積算値} + \text{蓄熱時SHP補機電力量} + \text{蓄熱時結合用補機電力量} + \text{CS運転に要した蓄放熱時補機電力量}] \quad \dots\dots (4.3)$$

- ④夜間電力移行率：夜間の定義は22時翌朝8時とし次の定義式とした。

$$\text{夜間電力移行率} = \text{夜間電力消費量} / \text{全電力消費量} \quad \dots\dots (4.4)$$

(a)図-9は，“B.複合型施設・システムIV”（表-1参考）の月別熱源COPである。このシステ

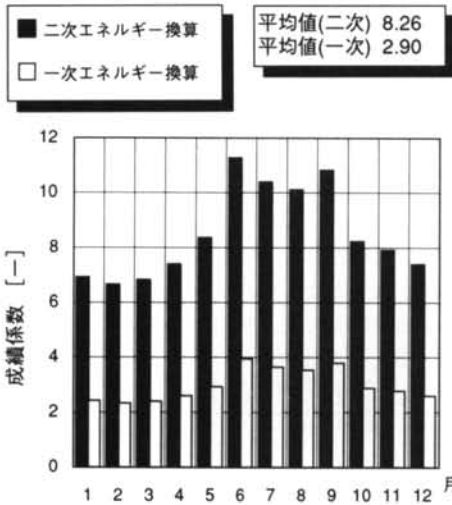


図-9 月別熱源COP

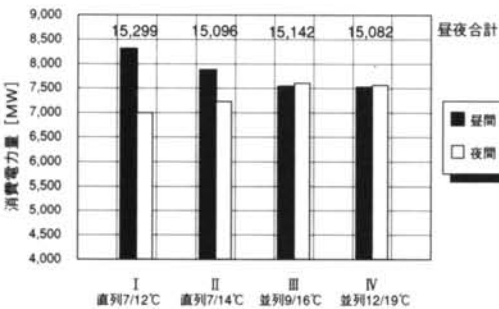


図-10 システム別年間消費電力

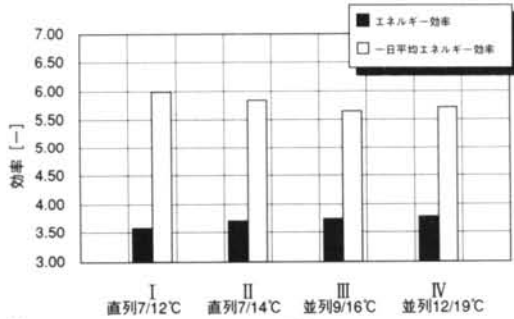


図-11 システム別エネルギー効率

ムの特徴は、冷熱蓄熱時の温熱回収にある。中間季では、冷房負荷と暖房負荷が均衡し、暖房負荷は大部分熱回収により賄われている。そのため、熱源COPは、SHP単体での最高値8.5を越え10.0以上に達している。

(b)図-10は、"B.複合型施設"のシステム別の昼夜電力消費量である。蓄熱利用率の高い並列結合のシステムIII、IVで夜間電力の使用割合が高

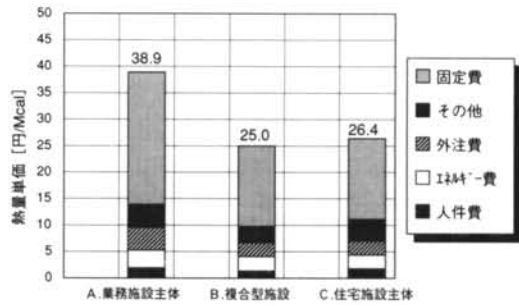


図-12 施設別熱量単価

くなっている。

(c)図-11は、"B.複合型施設"のシステム別のエネルギー効率、一日平均エネルギー効率である。エネルギー効率はCS蓄熱時の機器効率であり、SHPの放熱温度の高いシステムIV（並列12/19℃）が高くなった。

しかし、一日平均エネルギー効率は、影響を与える因子がSHP放熱温度、CS利用率（蓄熱効率、CS攪拌ポンプ動力）、熱回収運転（負荷の平均、COP低下）と多く判断が難しい。ただ、この負荷パターンでは、蓄熱利用の少ないシステムIが最も効率が良くなっている。

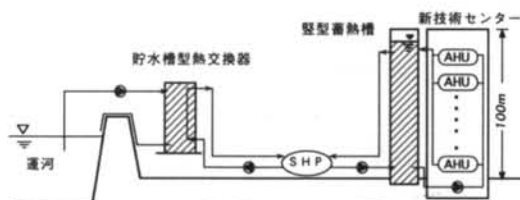
(d)図-12は、"システムIV"における施設別の熱量単価とその内訳である。各施設とも、供給熱単価の大部分は初期投資によるものであり、電力料金の占める割合は10%前後である。また、負荷の平準化効果の大きい"B.複合型施設"で25.0円/Mcalと最も単価が安くなった。

## §5. 事務所ビルにおける従来システムとSHPシステムの経済性比較

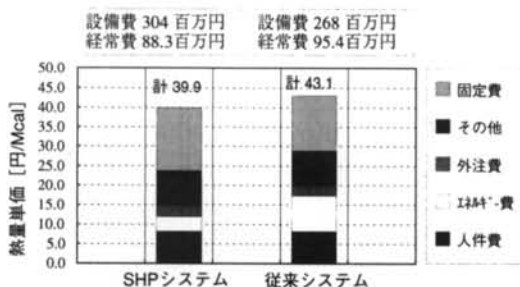
高層事務所ビル（空調面積：23000㎡）を想定し、標準的なCOP性能を持つヒートポンプを主機とする従来システムとSHPシステムの経済性評価を行った。使用したシミュレータは汎用シミュレータである。ヒートポンプ熱源は河川水（東京）とし、冷暖房兼用のたて型蓄熱槽（高さ100m、直径4.0m、1300㎡）を備え、ケミカル蓄熱槽は使用しない方式とした。図-13にシステムの概要を示す。要素機器コストは、(3.4)式を使用し、税率・金利は前節の数値を使用した。ただし、保守人員は4名、機械室面積は500㎡とした。

シミュレーション結果を図-14に示す。SHPシ





図一13 システム概要図



図一14 コスト比較

システムでの設備費は304百万円となり従来システムよりおよそ36百万円増加する。しかし、熱単価は39.9円/Mcalで従来システムより3.2円/Mcal安くなる。本システムでの年間負荷合計(暖房+冷房+給湯)は2212Gcalであり、年間経常費が7.1百万円節減できるため、およそ、5.1年で償却が可能となる。

## § 6. まとめ、今後の課題

適用モデル地区を設定し汎用シミュレータの構成と計算例を示した。本汎用シミュレータの特徴としては、

- (a)設計者の要求に応じ任意な機器構成とシステム化が可能である。

- (b)CRT上でシステム構成された要素機器について対話型入力での機器の諸元が入力できる。

- (c)SHPシステムのみならず従来型のヒートポンプ性能も組み込まれており、かつ、水蓄熱方式との計算も可能であるため、SHP方式と従来方式との比較検証もできる。

などが挙げられる。また、詳細シミュレーションの結果からは、次のような特徴が分かった。

- (d)供給負荷が一日を通し平準化する業務・商業・宿泊と住宅で構成される地域が冷暖房・給湯システムに最も適していることが分かった。供給熱単価は25.0円/Mcalとなった。

- (e)システムの結合方式としては、並列方式IVによる供給温度差7℃(冷房出力温度12℃, レターン温度19℃)が最も消費電力量が低減でき省エネルギーシステムとなった。

- (f)2次側空調機の性能によっては冷房出力温度が12℃では困難である場合がある。この時には、出力温度9℃とし、温度差7℃の並列方式IIIのシステムが推奨できる。その場合、IVシステムと比較し、消費電力量が60MW/年増加する。

従来システムとの比較では、

- (g)SHPシステムでの設備費は、従来システムより、およそ、36百万円増加する。しかし、熱単価が3.2円/Mcal安くなるため、5.1年で償却が可能となることが分かった。

- (h)単一の事務所ビルではケミカル蓄熱は価格の面で水蓄熱槽に比較し割高となる。都心型高層事務所ビルでは、蓄熱槽設置面積が少なくなるため型蓄熱システムは搬送動力の低減効果もあり、有効なシステムと考えられる。本システムの設計については今後より詳細な検討を続け、実証提案を行なう予定である。

## <参考文献>

- 1) 産業技術審議会・省エネルギー技術開発部会評価分科会：“スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム研究開発最終評価報告書” 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 燃料・貯蔵技術開発室 (1993年6月)
- 2) 小林昌弘：“スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムにおける概念設計用シミュレータの開発” 清水建設機研研究所研究報告書AA920009 (1992年4月)
- 3) 中村卓司, 小林昌弘, 岡建雄：“スーパーヒートポンプエネルギー集積システムにおける経済性の検討, 第1報” 空気調和衛生工学会講演論文集 (1993年10月) pp.241~244
- 4) 中村卓司, 小林昌弘,：“スーパーヒートポンプエネルギー集積システムにおける経済性の検討” 北海道大学衛生工学会シンポジウム (1993年11月) pp.102~105

- 5) 小林昌弘：“スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムシミュレーションプログラムマニュアル（平成3年度版）”  
清水建設株式会社研究所研究報告書AA920040（1992年4月）