

## 特集

## ヒートポンプ

## ガスエンジンヒートポンプの現状と将来

## Present State and Future for Gas Engine Driven Heat Pump

小倉 正雄\*

Masao Ogura

1. はじめに<sup>1)</sup>

産業用・民生用のエネルギーを長期にわたり連続して確保していくことは、世界的な最重要課題であり、各国は長期エネルギー政策の推進に真剣に取り組んでいる。とりわけ、一次エネルギーの約2/3を輸入原油に依存し、2度にわたるオイルショックを経験したわが国にあってはエネルギー問題への取り組み方ひとつが、わが国の経済発展の大きな鍵を握っているといっても過言ではない。こうした中において、政府は石油依存度の低下をはかるために、石油代替エネルギーの普及促進に努めてきた。特に石油代替エネルギーの重要な担い手であるLNGの積極的な導入に努めることを方向づけた。そしてLNGの普及は都市ガスの供給を通じて行われることが実際的であるとし、都市ガス需要の季節変動の平準化と夏期に於ける電力供給緩和の両面からガス冷房を積極的に拡大すべきであるとした。このためガス冷房の普及促進のために、財政上、税制上の各種優遇措置を構ずるとともに、技術的に未確立な家庭用及び小型業務用向けの小型ガス冷房機の開発に対しては、昭和56年5月にその開発集団として「小型ガス冷房技術研究組合」を発足させた。一方民間においても、エネルギー問題への関心は高く、省エネルギー、ピークロード対策、エネルギーの安定需給対策といった面から、都市ガスが積極的に導入されてきた。特に最近、注目を集め、徐々に実績を得つつあるものが、ガスエンジン・ガスタービンを利用したトータルエネルギーシステムである。本稿では、その中でも、ガスエンジンヒートポンプをとり上げ、その現状と将来について述べる。

2. ガスエンジンシステムの種類<sup>2)</sup>

現状の、都市ガスをはじめとする各種燃料の利用法

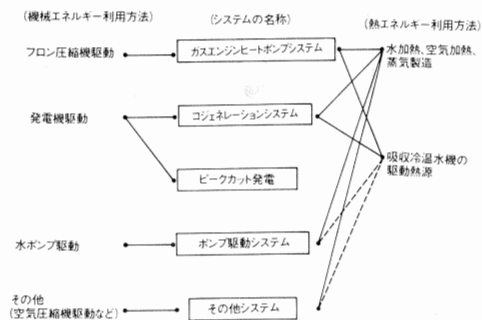
\* 東京ガス㈱需要開発部トータルエネルギー室 課長格

〒105 東京都港区海岸1-5-20

は燃焼→熱伝達→利用という過程による単純燃焼の過程であり、その用途はもっぱら加熱目的に限定されてきた。これに対して、熱機関でもって動力を取り出し、その際発生する排熱を温水や蒸気として利用するならば、都市ガスの利便性は飛躍的に高まることになる。

表1はガスエンジン・ガスタービンシステムを機械エネルギー、熱エネルギーの利用方法によって分類したものである。表中、最も代表的なシステムはガスエンジンヒートポンプシステムおよびコージェネレーションシステムである。前者の場合、機械エネルギーは蒸気圧縮式冷凍機の圧縮機の駆動に用いられ、排熱は加熱目的または吸収冷温水機の駆動熱源に用いられる。一方コージェネレーションの場合は、機械エネルギーは発電機の駆動に用いられ、排熱は加熱又は吸収冷温水機の駆動熱源として利用される。

表1 ガスエンジンシステムの分類

3. ガスエンジンヒートポンプの構造<sup>3)</sup>

## 3.1 全体構造

ガスエンジンヒートポンプ(以下GHPと称す)は、基本的には電気駆動式ヒートポンプのモーターをガスエンジンに置き換えたものにすぎない。すなわち図-1に示す様に、ヒートポンプの圧縮機を直接または増減速機を介しガスエンジンで駆動する。凝縮器から得られる凝縮熱は加熱モード(暖房・給湯等)で用いられ、蒸発器で蒸発熱を奪う作用は冷凍モード(冷房・製氷

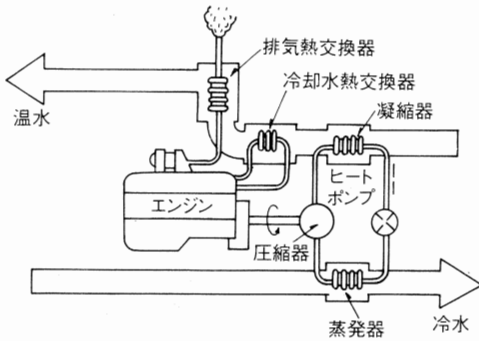


図-1 ガスエンジンヒートポンプの構造

等)に利用される。高温のエンジン排熱(80~85°Cの冷却水排熱および500~650°Cの排気排熱)は回収されて、加熱モードにおいては、凝縮熱と共に加熱(暖房・給湯・プロセスヒート等)に用いられ、冷凍モードにおいては別目的の加熱(給湯など)あるいは吸収冷温水機の駆動用熱源に利用できる。

3.2 ガスエンジン

ヒートポンプの駆動用エンジンとしては、ガスを燃料とするオットーサイクルガスエンジンが一般的に使

用される。図-2はガスエンジンとディーゼルエンジンの構造をオットーサイクルガソリンエンジンと比較して示したものである。ガスエンジンはキャブレターで混合された燃料ガスと空気との混合ガスをシリンダに吸い込み、ピストンで十分に圧縮した瞬間に点火プラグからスパークを飛ばして着火・爆発させるものであり、ガソリンエンジンと酷似している。オットーエンジンの泣き所とも言われた騒音、振動、排気ガスについては、それぞれがガスエンジンであることですでにかなり低減される上に、各種の対策技術、材料の開発により、住宅密集地域でも充分使用可能なレベルに到達している。

4. ガスエンジンヒートポンプの特徴<sup>3)</sup>

4.1 エネルギー効率が低いこと

図-3はGHP、電動ヒートポンプ、ボイラーの一次エネルギー効率を比較したものである。図の様に加温モードにおける効率は119~185%であり電動ヒートポンプの1.3~1.6倍、ボイラーの1.4~2.2倍程度の高効率が発揮できる。一方冷凍モードではヒートポン

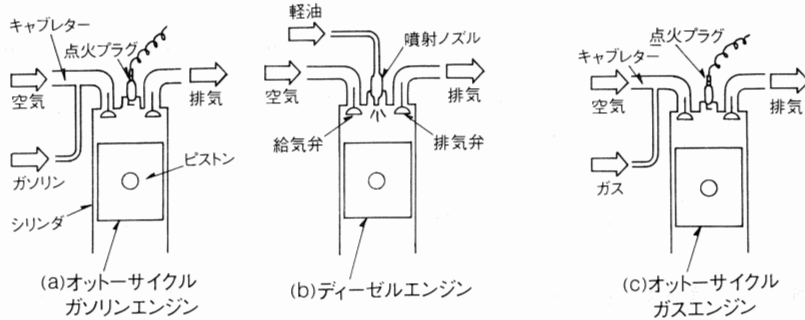


図-2 ガスエンジンの構造

	電動ヒートポンプ	ガスエンジンヒートポンプ	ボイラー
加温モード	燃料100 → 送電ロス5 → 40送電35 → COP=2.1~4.1 → 72~142 加温 発電ロス60 → 37~107	燃料100 → 67排熱 → 50 → COP=2.1~4.1 → 119~185 加温 33軸力 → 36~102熱源	燃料100 → 15ロス → 85 加温
冷凍モード	燃料100 → 送電ロス5 → 40送電35 → COP=2.6~3.4 → 125~155 発電ロス60 → 90~120 冷凍	燃料100 → 67排熱 → 50給湯 → COP=2.6~3.4 → 119~145 33軸力 → 86~112 冷凍	

図-3 ガスエンジンヒートポンプの効率

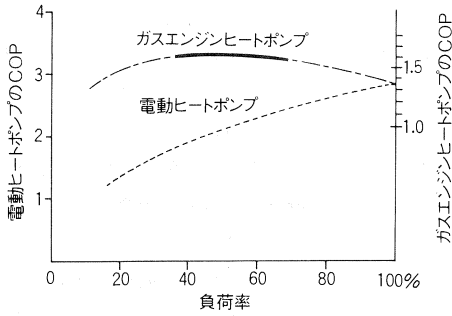


図-4 ガスエンジンヒートポンプの部分負荷制御特性

プの冷凍出力は電動とエンジンとで殆ど同じであるが、エンジンの排熱が給湯に利用できる場合のGHPの総合熱効率は136～162%となる。

またGHPは部分負荷特性が良いことも特徴の一つである。すなわち電動ヒートポンプの負荷制御はコンプレッサの容量制御またはON/OFF制御のみに頼るために、全負荷時に比べて部分負荷時の効率は著しく低下する。これに対してGHPの場合はエンジンの回転数制御とコンプレッサの容量制御を併用できるために、部分負荷時も全負荷時と同程度以上の効率を維持できる。図-4にGHPの部分負荷制御特性を電動ヒートポンプと比較して示す。

4.2 多機能性

GHPは高温のエンジン排熱をも併せて利用できるため、多機能機としての特徴を持っている。すなわち、蒸発熱（冷却）、凝縮熱（加温）、エンジン排熱の3熱量の組み合わせによって冷暖房、給湯、除湿など多様な機能が実現できる。

4.3 冬場の外気温の影響を受けにくい

空気熱源式の電動ヒートポンプは外気を熱源とするため、その能力・効率は外気温の影響を強く受ける。すなわち加温モードにおいては外気温が低い程、ヒートポンプの能力・効率が低下する。しかしながら、GHPの場合は外気温の影響を受けぬエンジン排熱をも併せて利用するために、トータルの加温能力・効率は外気温に大きくは左右されない。図-5は外気温が7℃の時の能力・成績係数を1として、外気温が低下した時の能力、成績係数を比べて示したものである。外気温が低くなると電動ヒートポンプの能力・効率が著しく低下するのに対して、GHPの能力・効率は大幅には低下しないことが図からわかる。

またヒートポンプはしばしば空気熱交換器に着霜を生ずる。これを除霜する場合 逆サイクルすなわち冷房モードに切り換えて運転する方法がよく採られる。

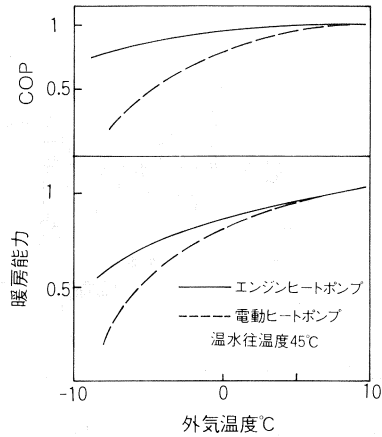


図-5 能力・効率に及ぼす外気温の影響

この場合チラーであれば循環温水、パッケージであれば室内空気から熱を奪われ、それらの温度が低下し不快感を招く。これに対してGHPでは、逆サイクル運転中もエンジン排熱は循環温水に熱を供給し続けるため、循環水の温度低下は小さく、また、元の温度への復帰も早い。さらに空気熱交換器に温水コイルを組み込み、エンジンの排熱を導けば、逆サイクル運転が不要となる。

5. ガスエンジンヒートポンプの分類<sup>4)</sup>

GHPはヒートポンプの冷媒と水とを熱交換し、冷温水を得て空調機やファンコイルユニットに導く、いわゆるチラーヒータータイプと、冷媒と空気を直接熱交換し、室内ユニットやダクトから冷温風を取り出す直膨タイプとに大別できる。これらは負荷用途と機器構成によって、表2に示すように7つのシステムに分類される。

表2中のIのシステムはGHPチラーで、暖房運転時にエンジンの排熱が温水として回収され、暖房用として使われる比較的シンプルなシステムである。運転時間の長い建物用途で経済的なメリットがあり、規模は10～700RT程度までカバーできる。

IIはIのシステムに温水焚の吸収式冷温水機を組み合わせた構成である。Iのシステムに比べると冷房時のCOPがより高く、機器のコストも安い特長がある。

これらI及びIIのシステムは給湯専用運転を行うことができない。しかし給湯負荷の存在する建物では、必要に応じてエンジンの排熱を回収して給湯用として供することも可能である。

IIIおよびIVはヒートポンプによって給湯専用運転が可能なシステムである。機器構成の上では各々Iおよび

表2 ガスエンジンヒートポンプの分類

大分類	負荷用途	分類番号	機器構成	システムフロー	主建物用途	規模
チラーヒータタイプ (冷温水取外型)	冷暖房	I	エンジンヒートポンプ		事務所ビル 工場	10~700 RT
		II	エンジンヒートポンプ 温水焚吸収式冷凍機		事務所ビル 工場	30~1,000 RT
	冷暖房給湯	III	エンジンヒートポンプ		病院 ホテル スポーツセンター	10~700 RT
		IV	エンジンヒートポンプ 温水焚吸収式冷凍機		病院 ホテル スポーツセンター	30~1,000 RT
	給湯	V	エンジンヒートポンプ (加温専用)		プー ル	75,000~ 600,000 kcal/h
直膨タイプ	冷暖房	VI	エンジンヒートポンプ		事務所	10~30 RT
	冷暖房給湯	VII	エンジンヒートポンプ		レストラン	10~30 RT

びⅡのシステムに対応する。これは病院、スポーツセンター、ホテルといった給湯負荷需要の多い建物用途に市場があり、GHPの特長を最大限、有効に活用できるシステムである。

Vは加温専用で温水プールなどが市場で、システムとしては最も単純なものである。

ⅥおよびⅦのシステムは直膨タイプで中間期のヒートポンプ運転の有・無によって分類される。チラーヒータタイプが比較的大容量の機種までカバーするのに対し、これらは30RT未満の中型容量から小型容量のものになる。

6. 設置実績<sup>5)</sup>

表3は昭和59年3月現在のGHPの一覧を前項で述べた分類に従いまとめたものである。GHPは昭和55年にはじめて設置されたが、ガスエンジンによる冷凍機の駆動は昭和40年頃から実用に供されていた。現在でも稼動中のものが多くあるが、本表では省略した。

GHPの設置件数の合計は36件で、冷凍トン数にして2,636RTである。36件のうちガス会社に設置された例を除くと22件で、冷凍トン数は1,748RTである。システムはⅠ、Ⅱ、Ⅲが多く、建物用途では事務所、ホテル、工場が多い。

図-6はGHPの設置件数の年次変化をまとめたものである。件数は年を追う毎に増えており、昭和58年には20件に達している。

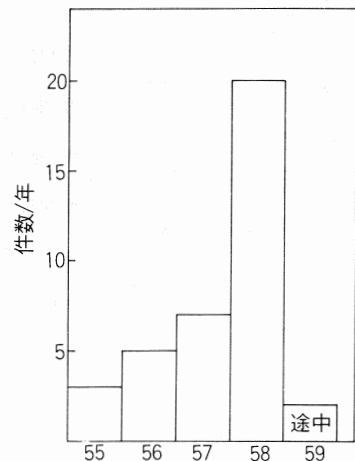


図-6 ガスエンジンヒートポンプの設置件数年次変化

7. 稼動実績例の紹介

36件のうちから特徴のある下記の3件について紹介する。

7.1 邦和スポーツランド<sup>6)</sup>

邦和スポーツランドは室内温水プールとアイスリンク、サウナ等を備えた総合体育館である。夏期は冷房、

表3 ガスエンジンヒートポンプの設置実績一覧表

分類番号	枝番号	設置場所	設置年月	メーカー (エンジン)	建物用途	負荷用途	規模	
I	1	日本鋼管鶴見製作所内 ECビル (神奈川県)	55.12	日本鋼管 (Wavkesh)	事務所	冷暖房	117 RT	
	2	小松電子金属平塚工場 (神奈川県)	57.1	小松製作所 (小松製作所)	工場	調湿, 冷暖房	70 RT	
	3	金門製作所北海道工場 (北海道)	57.5	金門製作所 (パーキンス)	工場	冷暖房	30 RT	
	4	オメガ電子工業 (埼玉県)	57.6	金門製作所 (日産自動車)	事務所	冷暖房	30 RT	
	5	佐藤工業中央技術研究所 (神奈川県)	57.6	小松製作所 (小松製作所)	事務所	冷暖房	60 RT	
	6	習志野市企業局 (千葉県)	57.11	前川製作所 (小松製作所)	事務所	冷暖房	42 RT	
	7	焼津シーグリーンホテル (静岡県)	58.10	三洋電機特機 (トヨタ自動車)	ホテル	冷暖房, 給湯	22 RT × 2	
	8	専売公社 京都研修所 (京都府)	58.10	小松製作所 (小松製作所)	研修所	冷暖房	43 RT	
	9~15	東京ガス(袖ヶ浦工場, 技術研究所別館, 戸塚営業所), 京葉ガス船橋支社, 両毛ガス事業協同組合, 武陽ガス本社, 埼玉県ガス事業訓練会研修センター						249 RT
II	16	金門製作所 本社工場 (東京都)	55.12	三洋電機特機 (パーキンス)	事務所	冷暖房	40 RT	
	17	新日本空調工学センター (神奈川県)	58.1	新日本空調 (小松製作所)	事務所	冷暖房	40 RT	
	18	日鉄商事 日本橋寮 (東京都)	58.2	東京三洋電機 (トヨタ自動車)	事務所	冷暖房	29 RT	
	19	新潟鉄工所 (新潟県)	58.3	清水建設, 荏原製作所 (新潟鉄工)	工場	調湿, 冷暖房	450 RT	
	20	大井第2ビル (東京都)	58.7	小松製作所 (小松製作所)	事務所	冷暖房	53 RT	
	21	久保田鉄工技術開発研究所 (兵庫県)	59.3	久保田, 日立製作所 (久保田鉄工)	研究室	冷暖房	56 RT	
	22~26	大阪ガス営業技術センター1号館, 東京ガス(導管センター, 太田営業所, 天然ガス熱量変更センター), 関東ガス別館						571 RT
	27	邦和スポーツランド (愛知県)	56.11	神鋼造機 (MAN)	スポーツセンター	製水, 冷暖房 給湯	110 RT × 2	
III	28	ニューマルイワホテル (愛知県)	57.7	東邦ガス, 前川製作所 (小松製作所)	ホテル	冷暖房, 給湯	70 RT	
	29	ホテル クイーン (愛知県)	58.5	東邦ガス, キャタピラ三菱 (キャタピラ三菱)	ホテル	冷暖房, 給湯	39 RT	
	30	名古屋トラックステーション (愛知県)	58.6	東邦ガス, ヤンマーディーゼル (ヤンマーディーゼル)	宿泊所	冷暖房, 給湯	22 RT	
	31	習志野市老人憩の家 (千葉県)	58.7	前川製作所 (日産自動車)	老人ホーム	冷暖房, 給湯	11 RT	
	32	モンブランホテル (大阪府)	58.12	ヤンマーディーゼル (ヤンマーディーゼル)	ホテル	冷暖房, 給湯	40 RT	
	33	星ヶ丘スポーツP&S (愛知県)	58.12	東邦ガス, キャタピラ三菱 (キャタピラ三菱)	スポーツセンター	製水, 冷暖房 給湯	93 RT × 2	
	34	東京ガス 東支社						50 RT
	V	35	世田谷スポーツプラザ (東京都)	58.6	小松製作所 (小松製作所)	プール	加温	97,000 kcal/h
VII	36	東京ガス 技術研究所 食堂						18 RT
							合計 2,636 RT	

冬期は製氷用として一定の冷熱負荷が存在すると同時に、施設全体の温熱負荷が夏期はプール水加熱、シャワー給湯、冬期は暖房給湯と年間を通じて存在している。このシステムはサウナを除く負荷をすべてGHP

でまかなうものである。その主な特徴は①冷温水同時取り出しのダブルハンドル型であること。②熱源が水と空気とに切り替え可能であることである。表4~5は各々夏と冬の実測データであるがトータル効率で各

表4 邦和スポーツランド冬期運転成績 (57/3)

入力(ガス 使用量) G ( $m^3$ )	出力(負荷)				熱利用率		
	製氷 $Q_1$ (Mcal)	給湯 $Q_2$ (Mcal)	暖房 $Q_3$ (Mcal)	蓄熱量 $Q_4$ (Mcal)	製氷 $Q_1$ 9.95 G	温水供給 $Q_2 + Q_3 + Q_4$ 9.95 G	トータル $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ 9.95 G
6,819 (325)	55,336 (2,635)	16,772 (799)	13,487 (642)	210 (10)	0.8	0.5	1.3

- 57/3の運転のうち外乱のなかった21日間の合計値
- ( ) 内は日平均値

表5 邦和スポーツランド夏期運転成績 (57. 8. 2)

入力(ガス 使用量) G ( $m^3$ )	出力(負荷)				熱利用率		
	冷房 $Q_1$ (Mcal)	給湯 $Q_2$ (Mcal)	プール水加熱 $Q_3$ (Mcal)	プール室暖房 $Q_4$ (Mcal)	冷房 $Q_1$ 9.95 G	温水供給 $Q_2 + Q_3 + Q_4$ 9.95 G	トータル $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ 9.95 G
215	2,230	1,020	2,030	750	1.0	1.8	2.8

- 気象データ 天候 晴 外気温 最高 30.7℃ 最低 22.1℃ 平均 26.7℃
- 運転データ 運転モード ⑤, GHP 運転時間 10.9 時間

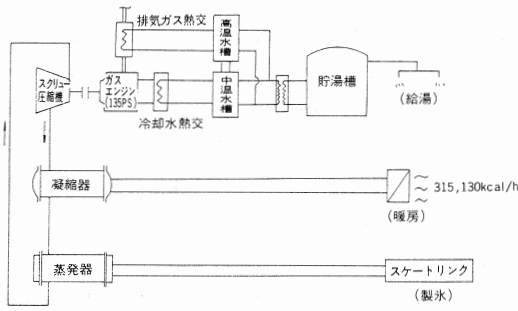


図-7 システムフロー (邦和スポーツランド冬期)

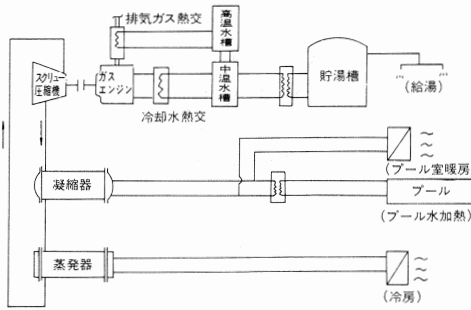


図-8 システムフロー (邦和スポーツランド夏期)

々 1.3, 2.8 の高い値を示している. 変動費比較では電動ヒートポンプとガスボイラーの組合せシステムに対し, GHPは年間約 13,000千円, 約50%のエネルギー節約がはかれる.

7.2 東京ガス天然ガス熱量変更センター

GHPでヒートポンプを駆動するとともに, エンジンの排熱で吸収冷温水機を運転するシステムである.

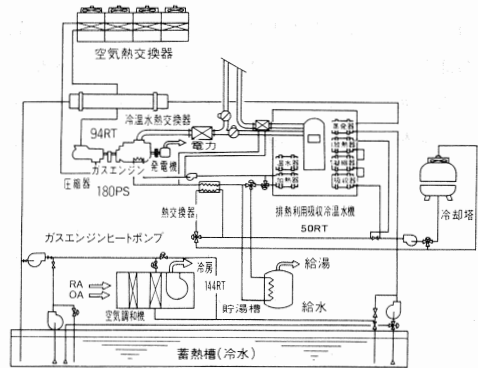


図-9 システムフロー (東京ガス天然ガス熱量変更センター 夏期)

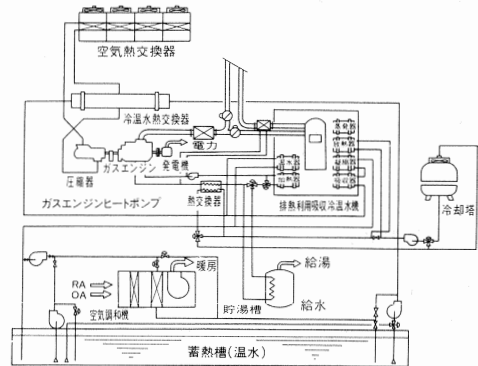


図-10 システムフロー (東京ガス天然ガス熱量センター 冬期)

吸収冷温水機はガスエンジンの冷却水と排気ガスの両方を熱源とする一重二重効用吸収冷温水機である. ま

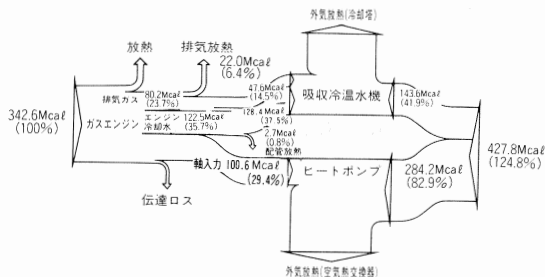


図-11 冷房モードの熱収支（東京ガス天然ガス熱量変更センター）

たタンデム発電機を設け、ヒートポンプ空気熱交換器のファン動力とすることにより、空調に必要な冷温熱と動力とを効果的に供給することも試験的に行われている。図-11 に冷房モードの熱収支を示す。

### 7.3 東京ガス技術研究所食堂

実用に供されている直膨式GHPの唯一の実績例である。空気熱源直膨式マルチタイプで、室内機は天吊り型が4台食堂内に設置されている。冷房、暖房運転に加えて、中間期の給湯運転が可能なシステムである。給湯運転モードでは、給水された水が冷媒-水熱交換器、冷却水-水熱交換器及び排ガス水熱交換器を順次通って加熱され、貯湯槽を経て食堂の給湯用として使用されている。

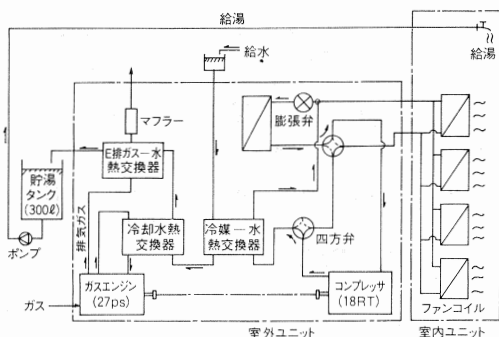


図-12 東京ガス技術研究所食堂に設置したGHPのシステムフロー

## 8. 今後の動向

### 8.1 GHPチラー

現状コストの高いことが最大のネックとなっている。ランニングコストの減額分でイニシャルコストの増額分をカバーする必要がある、少なくとも3年以内で資本回収をはからねばならない。このようなことから、当面はホテル、スポーツセンターなど温熱負荷の多い用途、工場のプロセスヒートなど運転時間が長い用途

あるいは温熱と冷熱が同時に必要な用途などに、GHPが採用されるだろう。

### 8.2 GHPパッケージ

冷暖房専用のGHPパッケージ（表2の分類VIに相当するもの）が電機メーカーを中心に開発中で、1年以内にも商品化される見込みである。

### 8.3 家庭用、小型業務用向けGHP

「小型ガス冷房技術研究組合」で昭和56年から3年間にわたり、家庭用及び小型業務用向けのGHPの開発が進められ、多大の成果を収め実用化の目途を得ている。研究組合に引き続き、東京、大阪、東邦のガス三社が共同でメーカー六社と家庭用二タイプ、店舗用二タイプの商品開発に取り組んでいる。これらの商品化時期の目標は昭和61年度に置いている。

## 9. おわりに

GHPは中型～大型物件については実用化されており、本格的な普及に向けて、今萌芽期を向けようとしている。また小型の家庭用及び店舗向けのGHPについてもこの3年以内に商品化される見込みである。

今後の課題は本体機器のコストダウンである。そのためには量産されている既存部品の活用、システムの単純化、コンパクト化、部品の共通化などをはかっていく必要がある。

昭和55年にGHPが設置されてから約4年が経過し、各所で有用な実績データが取得され、GHPが世間に流布され始めた。今後とも上述のコストの問題の解釈をはかり、着実に実績を積み重ねていけば、GHPは必ずや普及拡大されるだろう。

### 参考文献

- 1) 上原明；ガス冷房普及促進の背景とガスエンジンヒートポンプの開発促進，建築設備士，15巻，2号（1983），5～12
- 2) 山岸一夫；エネルギー変換を伴う都市ガスの多角的利用，化学工学，48巻，2号（1984），126～129
- 3) 井上宇一他；ガスエンジン利用のトータルエネルギーシステムの調査研究報告書（1983），日本産業機械工業会
- 4) 小倉正雄；ガスエンジンヒートポンプの稼動状況，ソーラーシステム，22号（1983），20～25
- 5) ガスエンジン（ガスタービン）トータルエネルギーシステム技術研究会；ガスエンジン（ガスタービン）トータルエネルギーシステム技術研究報告書（1984），社団法人 日本ガス協会
- 6) 荒尾正二；邦和スポーツランドにおける実施例，明日のエンジンヒートポンプ・コジェネレーションを考える（1983），日本能率協会