

## 特集

## 未利用エネルギー

## 下水汚泥焼却処理施設の排熱利用システム

## Waste Heat From Sewage Incineration Plant Re-utilization System

中村 秀行\*

Hideyuki Nakamura

## 1. はじめに

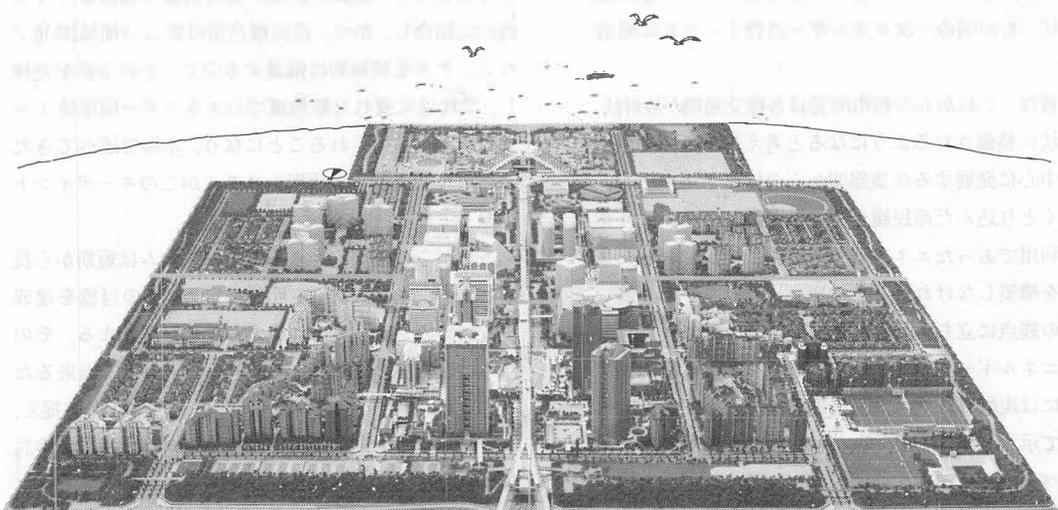
神戸市の東南部海上の埋立人工島六甲アイランドは、神戸市において開発がすすめられており、総面積580haで島の中央部131haは都市機能ゾーンとして計画されている。そのうち第1期構想部分31haについては民間活力導入による都市開発として事業コンペティションが実施され、昭和61年2月に最優秀作として住友信託銀行グループの計画が選ばれた。そして同企業グループにより海上文化都市「六甲アイランドCITY」の建設がすすめられることとなった。

「六甲アイランドCITY」は、中央部を「神戸国際ファッションモール」を中核とする業務商業ゾーンと、その周辺部を超高層住宅等の住宅ゾーンから構成されている。本計画をすすめるにあたって21世紀に向けての街づくりにふさわしいエネルギーシステムを組み込みたいというディベロッパー企業

グループの要望があり、当社より業務商業ゾーンに対し「地域熱供給システム」、住宅ゾーンに対し神戸市下水道局スラッジセンターの排熱を活用した「地域温水供給システム」を提案し、関係者による共同検討評価の結果、それぞれの採用が決定した。

「六甲アイランドCITY」の都市開発事業は、積水ハウス、アーバンライフ、信泉不動産、住友信託銀行の4社により設立された「六甲アイランド開発(株)」にて推進されている。この「地域温水供給事業」の建設及び事業化にあたっては、大阪ガスと六甲アイランド開発にて「六甲アイランドエネルギーサービス(株)」を設立し、昭和63年3月より供給を開始し、すでに約2,000戸の住宅へ供給している。

本システムの特長は、省エネ性をできるだけ高め、かつ供給コストをできるだけ低く抑えるために、温度保障のための設備がない「成り行き温度供給システム」を採用し、入居者に運営コストを、直接負担していた



※この写真は神戸市構想をもとにした模型です。実際とはことなる場合があります。

\*大阪ガス(株)都市リビング営業部都市住宅設備室マネージャー  
〒541 大阪市中央区平野町4-1-2

図-1 六甲アイランドCITY全体図

だいている。そのため設計時に綿密なシュミレーションを行い、成り行き温度の状況及びその結果生じる経済的メリット等を入居者に提示する必要があった。現在の実稼働状態において、供給温度状況及び経済的メリットも、この提示値に対して充分余裕のある良好な結果となっており、初回入居画地において実施した入居者アンケート調査においても高い満足度を得ている。

本報告では、システムの概要と、設計シュミレーションによる省エネ性と経済的メリットの予測と実績値及び入居者の評価について述べる。

## 2. 神戸市下水道局東部スラッジセンターの概要

東部スラッジセンター(図-2)は、六甲アイランドCITYの北東約300mに位置し、神戸市内の全下水処理場から運び込まれる脱水ケーキ(汚泥)を焼却処理している。この焼却設備は公害対策と省エネ対策が図られており、焼却時に発生する排熱はケーキの乾燥及び燃焼用空気の予熱用として活用されている。(図-3)

焼却用の燃料としては重油が使用されているが、ケーキの自燃性を高め燃料消費量を押えるために、排熱の大部分を費やしている。従って通常のゴミ焼却設備のような高温排熱は発生しない。

焼却後の排ガスは、排ガススクラバーで中水による洗浄を行いクリーン化されて大気に放出される。この排ガス洗浄後の排温水は、中和処理をされた後、中水により希釈冷却され下水放流される。

本システムは、この希釈冷却前の排温水を受け入れ熱回収した後にスラッジセンター側へ送り返すものであり、スラッジセンターからの排温水の供給条件は次のようになる。

- 1) 排温水供給量：約1,000m<sup>3</sup>/日
- 2) 供給温度：約64℃(夏)～約50℃(冬)



図-2 東部スラッジセンター

- 3) 供給条件：正月3ケ日を除き、ほぼ連続供給可能(正月3ケ日はケーキの搬入が停止し運休)

## 3. 地域温水システムの概要

### 3.1 システムの選定

住宅用熱エネルギーとしての排熱の活用方法としては、高温排熱であれば給湯・暖房用としてそのまま熱搬送し、また低温排熱であればヒートポンプ等により昇温して利用することが考えられる。今回の排熱水の条件は中温度であり、単純熱交換によると40～50℃程度の温度が利用できることになる。

住宅への地域熱供給による給湯システムは、一般的には、60℃程度の一定温度まで昇温して各住戸へ供給し、入居者が混合水栓により給水とミキシングして、使用目的に応じた適当な温度に調整して使用する方式が採用されている。今回の場合は、そのままの温度で供給しても、住宅の給湯として最も多く使用される温度域にあることから、わざわざ60℃まで昇温するための無駄なエネルギー消費及び昇温設備の償却等運用費用の増加をさける昇温用バックアップボイラーのない単純熱交換方式を採用している。各住棟でこれにより給湯予熱を行い、入居者が必要に応じて各戸のバックアップ給湯器による追焚使用する「成り行き温度供給方式」を採用することになった。

### 3.2 全体計画概要

図-4に六甲アイランド全体図と地域温水供給配置図を示す。

東部スラッジセンターから、地域熱媒水配管により集合住宅ゾーンに設置した住棟熱交換器へ排熱を搬送する。地域熱媒水配管は往復約3,800mであり、住棟熱交換器は100～200戸単位にブロック分けをした集合住宅3,800戸の機械室に設置されている。

### 3.3 システム構成

図-5にシステム構成の全体図を示す。以下各ブロック毎に説明する。

#### (1) 熱源プラント設備

スラッジセンター敷地内に設置されており、スラッジセンターの高温排温水槽に隣接設置した受入槽より高温排温水を温排水ポンプで一次熱交換器へ送り入れ、スラッジセンターの低温排温水槽へ戻している。一次熱交換器では、これにより地域熱媒水が加熱され熱媒水循環ポンプにより送り出される。

熱源プラントは、無人運転とし電話回線による監視システムを採用している。

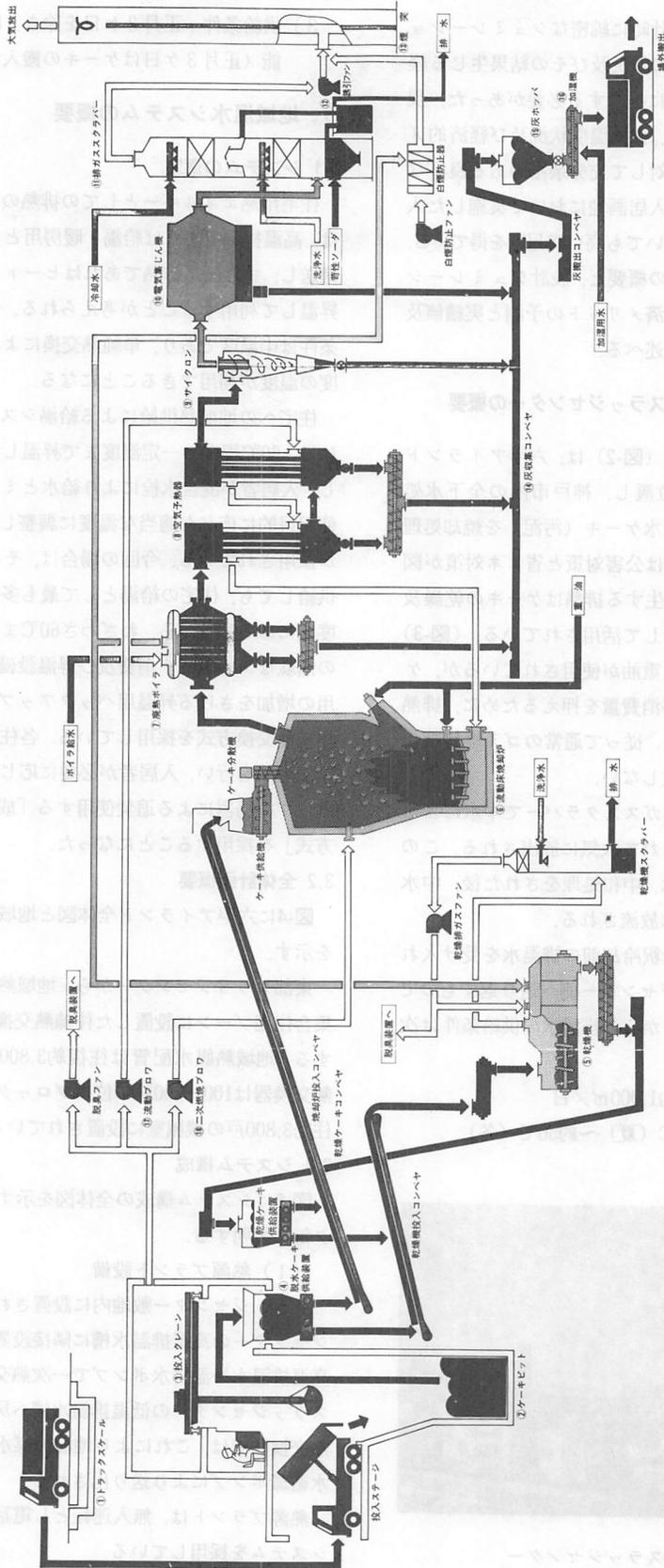


図-3 東部スラッジセクターローゼーシート

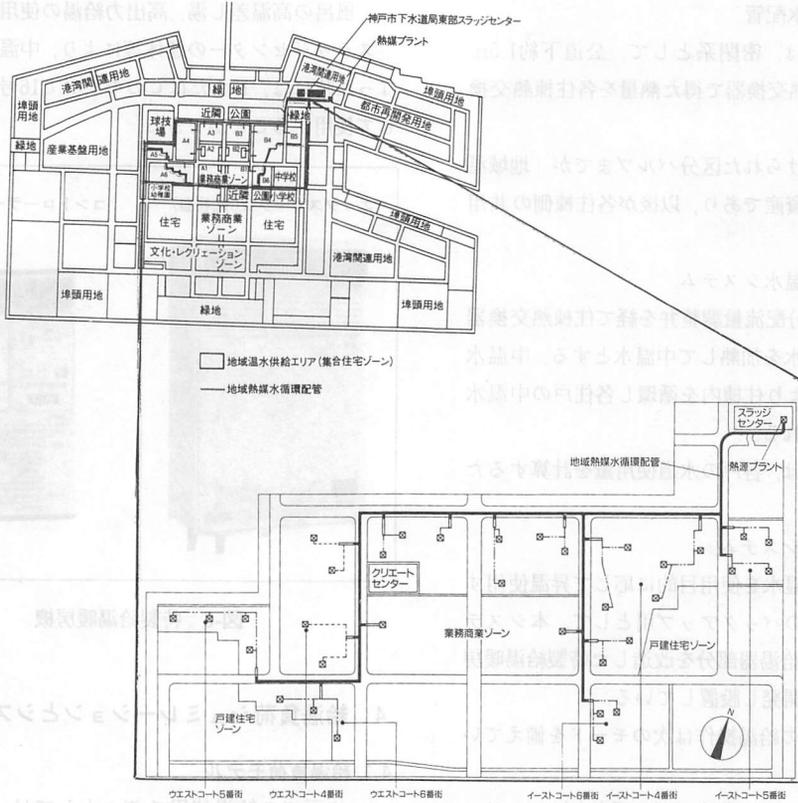


図-4 地域温水供給全体配置図

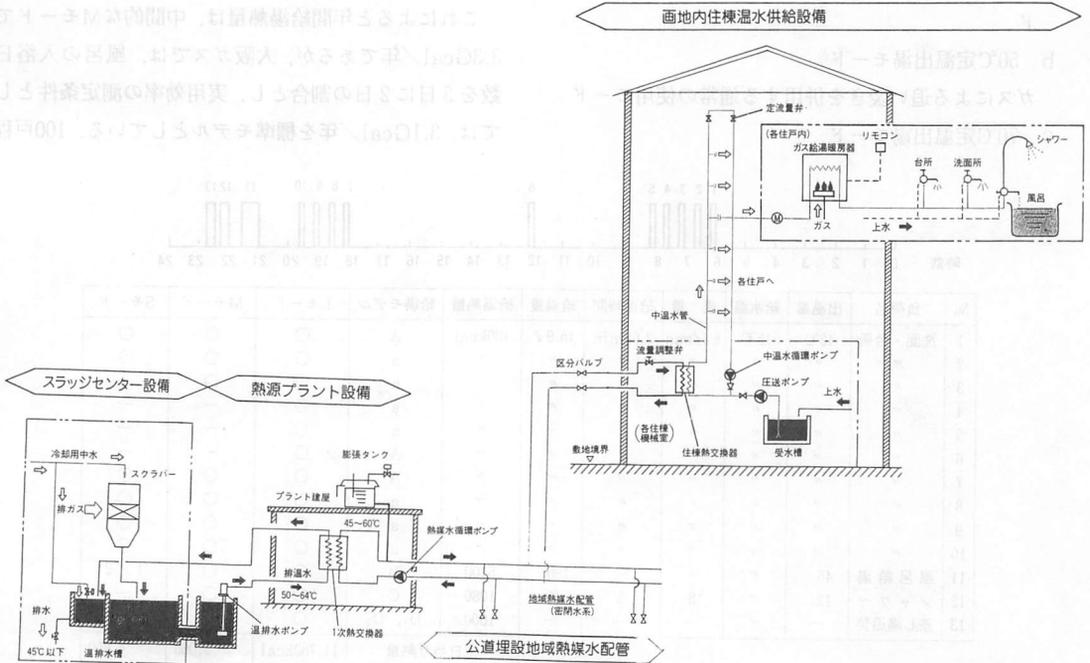


図-5 地域温水システムフロー図

(2) 地域熱媒水配管

地域熱媒水配管は、密閉系として、公道下約1.5mに埋設され、一次熱交換器で得た熱量を各住棟熱交換器へ搬送する。

各画地入口に設けられた区分バルブまでが「地域温水平給事業」側の資産であり、以後が各住棟側の共用資産となる。

(3) 住棟内中温水システム

地域熱媒水は、分配流量調整弁を経て住棟熱交換器へ送られ給湯用上水を加熱して中温水とする。中温水は、循環ポンプにより住棟内を循環し各住戸の中温水メーターへ供給される。

中温水メーターは、各戸の水道使用量を計算するために設置している。

(4) 住戸内供給システム

各住戸には、中温水を使用目的に応じて昇温使用するためと、運休時のバックアップ用として、本システムに適合するよう給湯器部分を改造した特製給湯暖房熱源機(図-6)を開発し設置している。

この給湯暖房機の給湯操作は次のモードを備えている。

- a. 中温水ストレート供給(ガス不点火)モード  
夏期、中温水温度が高い場合、あるいは炊事洗濯等の低温で良い場合はガスで追い焚きしないモード
- b. 50℃定温出湯モード  
ガスによる追い焚きを併用する通常の使用モード
- c. 70℃定温出湯モード

風呂の高温差し湯、高出力給湯の使用時

スラッジセンターの運休等により、中温水が低温となった時には、bまたはcのモードで16号の給湯器として使用することができる。

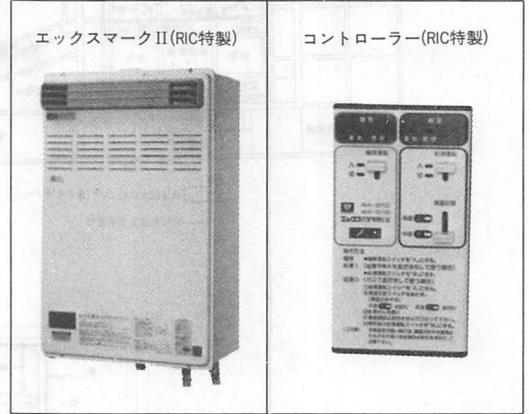


図-6 特製給湯暖房機

4. 給湯負荷シュミレーションとシステム設計

4.1 給湯負荷モデル

一住戸での給湯使用モデルとしては、図-7に示す(財)住宅・建築省エネルギー機構による機器実用試験モデルがある。

これによると年間給湯熱量は、中間的なMモードで3.3Gcal/年であるが、大阪ガスでは、風呂の入浴日数を3日に2日の割合とし、実用効率の測定条件としては、3.1Gcal/年を標準モデルとしている。100戸程

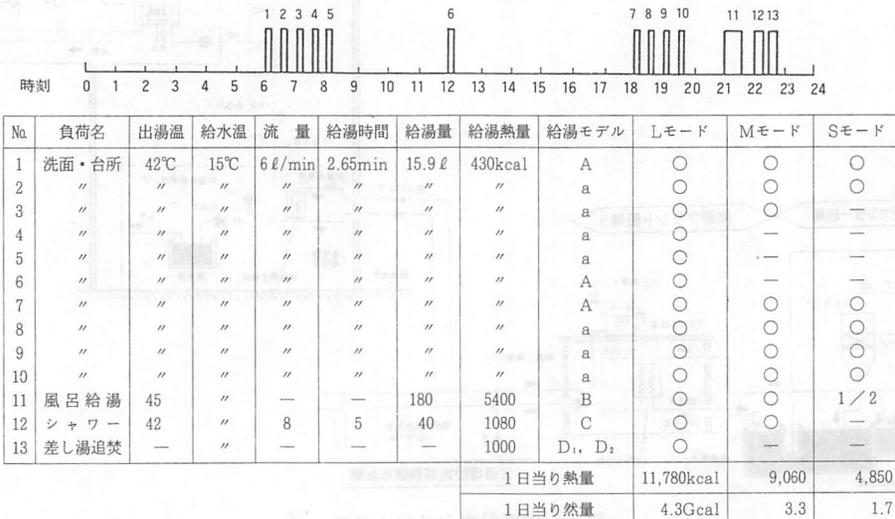


図-7 (財)住宅・建築省エネルギー機構による機器実用効率試験モデル

度の住棟ブロックでの給湯負荷は分散され、最大ピーク同時利用率は10%程度となり、図-8に示すように入浴時間帯となる夕方約7時間程度に集中する。そこで住棟熱交換器における負荷モデルをつぎのように定め、各月毎の省エネ率、中温水供給温度を求めて、システム容量の設計を行うと共に、入居者への提示値を求めている。

- a. 住棟熱交換器負荷は、 $3.1\text{Gcal}/\text{年} \cdot \text{戸} \times \text{住棟ブロック戸数}$  (水温ファクターにより各月分配)
- b. 給湯負荷パターンは、1日合計負荷が夕方7時間に平均的に集中する。(安全側モデルとなる)

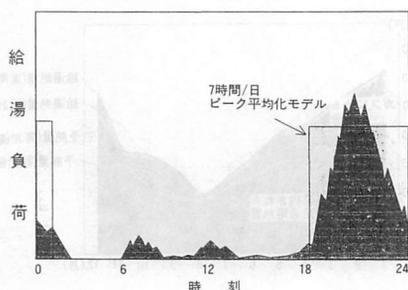


図-8 給湯負荷パターンモデル (住棟単位)

#### 4.2 システム設計

負荷シュミレーションを繰り返し、省エネ性とインシヤルコストのバランス、入居者へのメリットの提供と事業性等の評価と検討をした。表1に最終設計値を

表1 各部の仕様

位置	設備名	仕様	備考
スラッジセンター	排熱水循環設備	受入槽 循環量：125m <sup>3</sup> /hポンプ 温排水配管 SUS 316L	
	混合冷却器	排出温度45℃に制御	排熱水排出時の 中水混合量制御
	1次熱交換器	伝熱面積：300m <sup>2</sup> 熱交換量：4.75Gcal/h	チタン製
	熱媒温水循環ポンプ	循環量：62.5m <sup>3</sup> /h×2 流量負荷容量制御	
公道部及び画地内	地域熱媒温水配管	鋼管土中埋設 φ200～φ80 総延長 約1,900m×往復	密閉配管系 厚肉鋼管
住棟内	住棟熱交換器	熱交換量：1,150kcal/h・戸	各住棟ブロック 毎に設ける
	中温水循環系	大阪ガスHEATS-I (住棟セントラル給湯システム) 配管仕様と同じ	・SUS 304配管 +循環ポンプ ・住棟ブロック 毎に設ける
住戸内	中温水メーター	各住戸中温水使用量を計量	水道使用量を 求める
	バックアップ給湯器	16号エックス特製仕様 (スラッジセンターの運休を考慮)	中温水能力加算 で26号相当

紹介する。

なおこれによる省エネ性等の設計計画値については、実績値と合わせて後述する。

#### 5. 事業の運営

地域温水システムを永続的にかつ安価なコストで入居者へ提供して行くために、運営の簡素化を画ると共に各関係者等の協力を得ている。

運営面では、無人化を画り、電話回線による遠隔監視と緊急出動を組合せたステーション24 (大阪ガスのサービスシステム) を採用し、入居者への通知及び集金等には「リックオペレーション」(六甲アイランドCITYの管理運営会社) への委託協力を得ている。また、神戸市下水道局東部スラッジセンターにおいても、安定供給のためにスラッジの焼却処理量の調整等の配慮をいただいている。

建設費用は3億数千円であり、入居者から入居時に10万円の分担金を頂いているが建設から入居まで長期に渡るため金利の支払負担が大きくなる。この負担の軽減化に新エネルギー財団による「地域エネルギー開発利用事業に係る利子補給」を受けている。

運営費用としては、設備の補却費用、電気代、借地代、委託作業費等の費用を支払う必要があり、入居者から月額1,500円/戸の温水利用料を定額で徴収している。

#### 6. 実用における省エネ性評価

本システムの公表計画性能は、安全率を加味した設計値により、給湯負荷ピーク時間帯の中温水平均供給温度を冬期1月が28℃、夏期8月が52℃とし、その結果給湯用エネルギーの67.5%を排熱でまかない、3,400戸の実稼働状態で年間10,000Gcal相当の燃料の節減が画れるものとしていた。

実稼働後の初回入居の住棟において実測した実績値と設計値の比較を表2に示す。これにより実績値は設計値を上回る良好な結果となっている。

##### (1) 中温水温度

図-9に中温水のピーク負荷時平均供給温度を示す。年間平均で計画値40.5℃に対して実測値では46.8℃、冬期においても計画27.8℃に対して41.5℃と大幅に上回っている。

図-10、図-11に夏冬の代表日における中温水温度の時間毎の変化を示す。ピーク負荷時間帯は、午後6時より午前11時まで7時間であり、この時間帯以外では、

表2 地域温水システム性能実測結果（戸あたり算定値）

		スラッター ジ 排温水温度	熱媒水 入り温度	上水 給水温度	中温水温度 (ピーク時 平均)	排熱による 予熱	追い焚き ガス消費量	給湯熱量	省熱率
1月	設計	50℃	45℃	6.5℃	27.8℃	7250Kcal/D	29.0m <sup>3</sup> /M	459Mcal/M	48.9%
	実測	52.1℃	48.0℃	10.2℃	41.5℃	9130Kcal/D	13.6m <sup>3</sup> /M	391Mcal/M	72.3%
8月	設計	64℃	60℃	25.5℃	52.0℃	3680Kcal/D	0m <sup>3</sup> /M	114Mcal/M	100%
	実測	59.5℃	56.8℃	27.3℃	53.9℃	3850Kcal/D	0m <sup>3</sup> /M	119Mcal/M	100%
年間 平均	設計	56.9℃	47.1℃	15.4℃	40.5℃	2.09Gcal/Y	127 m <sup>3</sup> /Y	3.10Gcal/Y	67.5%
	実測	56.6℃	52.8℃	17.3℃	46.8℃	2.59Gcal/Y	61.2m <sup>3</sup> /Y	3.07Gcal/Y	84.3%

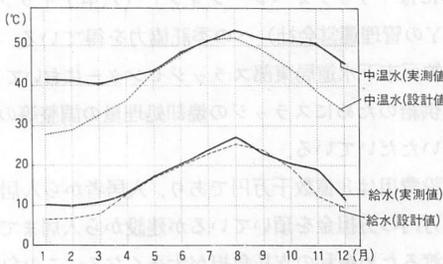


図-9 中温水供給温度

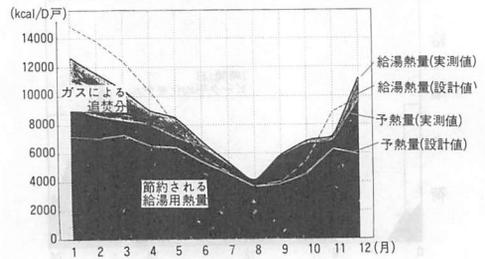


図-12 排熱による予熱量

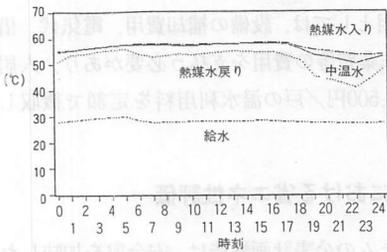


図-10 中温水温度の日変化（8月）

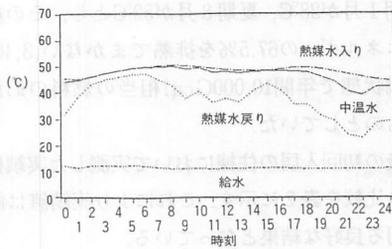


図-11 中温水温度の日変化（1月）

中温水温度は地域熱媒水温度近くまで上昇し、冬期においても45℃以上となっている。

(2) 省熱率（排熱による給湯負荷カバー率）

給湯負荷は計画値3.1Gcal/年・戸に対し、実績値では3.07Gcal/年・戸であった。

図-12に排熱による予熱量の月別変化を示す。8月

は、ほぼ100%排熱でまかなわれ、1月でも72%、年間平均でも84%が排熱でまかなわれている。

7. 入居者の評価

入居者に対しては、地域温水利用契約の際に中温水の供給温度、省エネによるガス代低減率、使用方法等を提示している。成り行き温度供給で利用料金については定額料金とする等のこの方式に対して入居者の評価を求めるため、初年度に供給開始したウエストコート4番街にてアンケート調査を実施した。

配布数は200で回収数は114であった。

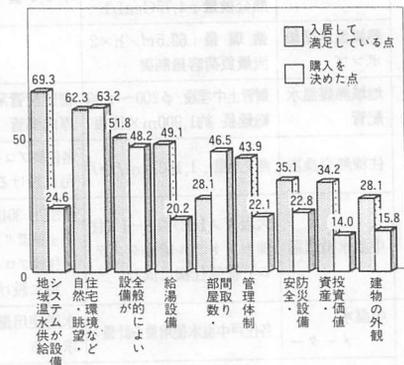


図-13 購入を決めた点・入居して満足している点（複数回答）

(1) 住宅設備としての評価 (図-13, 図-14)

購入を決めた時点での評価は、それほど高くはないが  
入居して実際に使ったの満足度は非常に高く、また今  
後のニーズも非常に高い。

(2) システムの満足度 (図-15)

「満足」「やや満足」を合わせると約80%となり満  
足度も非常に高い。

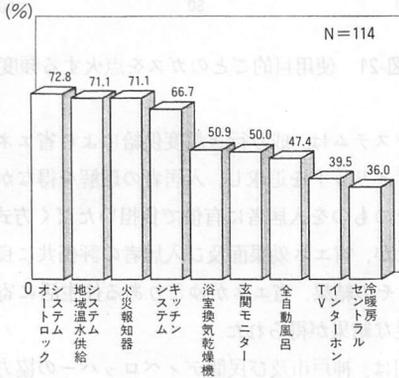


図-14 標準にすべき設備 (複数回答)

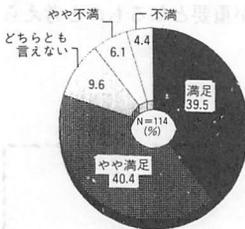


図-15 システムに対する満足度

(3) 経済性に対する評価 (図-16, 図-17, 図-18)

システムの利用料金については「妥当」と「安い」を  
合わせると76%、入居後のガス代については、「思っ  
たとおり安くなった」と合わせると84%となり、経済  
性の満足度も高い。

定額料金制度も81%が良いとしている。

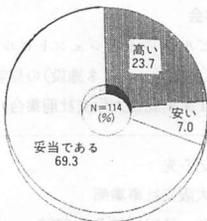


図-16 システム利用の料金について

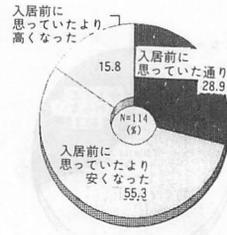


図-17 入居後のガス代

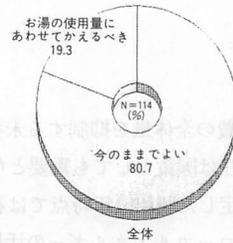


図-18 中温水使用量別のシステム利用料金が一  
律であることについて

(4) システムの使用感 (図-19, 図-20, 図-21)

「沸かす手間」と「経済性」の評価が高いが、「湯  
温の安定性」が不満な点となっている。冬期の「経済  
性」の評価が低いのは、中温水温度が低くなり追い焚  
き頻度が増える事及びガス料金にガスセントラルヒー  
ティングのガス代が含まれているため経済性が分かり  
にくいことによるものと考えられる。

風呂のお湯はりにかかる時間は、「短くなった」と  
の評価が高く、使用目的ごとにガスを点火する頻度で  
は、「炊事」のときにはほとんど点火せず使い分けて  
いると言える。

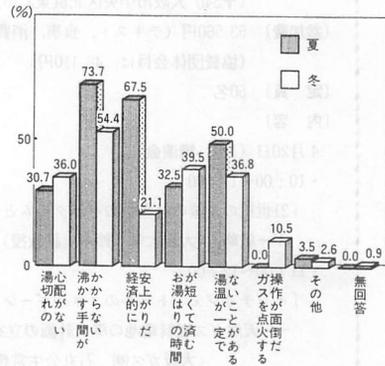


図-19 システムの使用感 (複数回答)

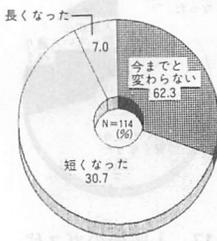


図-20 風呂のお湯はりにかかる時間

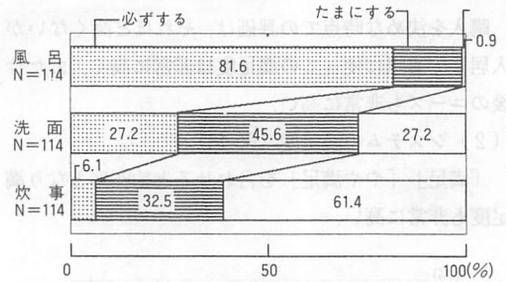


図-21 使用目的ごとのガスを点火する頻度

## 8. おわりに

エネルギー消費の全体量を抑制する未利用エネルギーの活用は、現在は国策としても重要となってきている。本計画を策定した昭和61年時点では石油代替エネルギーとしてのローカルエネルギーの活用を新しい街づくりに生かし、住まう人々に持続性がありメリットのあるシステムを提供することに目標を置き、神戸市、ディベロッパーである積水ハウスの方々との協力をいただきつつ実施に到っている。また、本システムは、新エネルギー財団の利子補給を得ており事業運営コストの低減に活用させていただいている。

本システムは、成り行き温度供給により省エネ性とコストメリットを追求し、入居者の理解を得ながら省エネそのものを入居者に有償で負担いただく方式を採用したが、省エネ効果面及び入居者の評価共に良好である。その結果、省エネがゆとりある住生活に寄与する満足な結果が得られた。

今回は、神戸市及び民間ディベロッパーの協力のもとに実現できたが、未利用エネルギーの活用については都市開発のインフラとして行政と民間の一層の協力協調による推進が重要となるものと考えられる。

協賛行事ごあんない 日刊工業新聞社 主催

### 「コストダウンにつながる新エネルギーシステムの導入計画と課題」開催について

【協 賛】 エネルギー・資源学会、  
日本コージェネレーション研究会  
【期 日】 平成4年4月20日(月)・21日(火)  
【会 場】 日刊工業新聞社大阪支社  
(〒540 大阪市中央区北浜東2-16)  
【参加費】 53,560円(テキスト, 食事, 消費税込)  
(協賛団体会員は, 48,410円)  
【定 員】 50名  
【内 容】  
4月20日(月) 講演会  
・10:00~11:00  
「21世紀の企業の社会性のパラダイムとエネルギー戦略」(大阪大学 鈴木 胖教授)  
・11:00~12:00  
「インテリジェントビルのエネルギーシステム——天然ガス燃料電池の導入計画の立案」  
(大阪ガス㈱ 石丸公生常務)

・13:00~14:00  
「コージェネの導入計画と課題」  
(大阪ガス㈱)  
・14:00~14:45  
「コージェネの具体事例」  
(ホクシン㈱ 杉浦 勝課長)  
・15:00~16:00  
「インテリジェントビルの設計事例」  
(㈱安井建築設計事務所 山田祐三氏)  
4月21日(火) 見学会  
・大阪ガス㈱ICCビル(インテリジェントビル)及びホクシン㈱(産業コージェネ施設)の見学  
(午前10時 日刊工業新聞社大阪支社前集合)

<問い合わせ・申し込み先>

・日刊工業新聞社大阪支社事業部  
TEL 06-946-3382 FAX 06-946-3389