

特 集

ヒートポンプ

地域冷暖房へのヒートポンプの応用

Application of Heat Pump Systems for District Heating & Cooling

成田 勝彦*・前川 哲也**

Katsuhiko Narita Tetsuya Maekawa

1. はじめに

地域冷暖房が再び注目されはじめている。民間活力利用による経済の活性化をめざした日本プロジェクト産業協議会(JAPIC)は、都市再開発を高く評価しており、その中で地域冷暖房も都市施設の地位を与えられようとしている。

石油ショックの直前にもこの論議は盛んになされていた。この動きは結局石油ショックにより消されてしまった感があるが、電気、ガス、上下水道なみの都市施設としての地位を得られるかどうかは、今後の地域冷暖房にとって極めて重要な問題であろう、しかしながら、地域冷暖房が都市施設として認知されるためには、それなりの大義名分が必要であり、それは地域冷暖房ならではのものでなくてはならないはずである。

本稿では地域冷暖房をめぐる状況と、その新しい展開のために期待されているヒートポンプ利用の考え方について述べる。

2. 地域冷暖房

地域冷暖房とは住宅やビルなどの冷房、暖房、給湯などに必要な熱エネルギーを地域的に集中して製造し分配するものである。個々の住宅や建物ごとに熱源機器(ボイラや冷凍機)を設置しないですむため、大型の高効率機器の効率的運転による省エネルギー効果や機器の集中管理による大気汚染防止効果などがあると言われている。

ヨーロッパで始まったこのシステムは日本では1970年の万国博覧会(EXPO '70)以来、これまでに40ヶ所で営業運転が行なわれている。しかしながらヨーロッパと異なり、これまでの日本の地域冷暖房事業はいろいろな意味で厳しい道を歩んできている。ヨーロッパ

で地域冷暖房が順調に普及してきた理由として、まず第一には暖房なしには生活していけないというヨーロッパの気象条件をあげることができるだろう。また日本と異なり、冷房は事務所等を含めてほとんど必要ないことも、暖房を主目的とした地域集中システムが普及していることと関係がある。

第二には「自分達の町」という共同体意識の強さと、それを基礎とした市町村行政当局の地域暖房に対する都市施設としての位置づけがあげられる。電気・ガス水道と並んで都市に不可欠なものとして認知されたが故に、地域暖房が行政的にも普及促進されているのである。

人間が集まって集落をつくり生活していくとき、ある密度に達するまでは各人が勝手に自分の生活手段を自分で調達していくとしても問題は起こらないかもしれない。しかしながら、その後生活に必須な水や薪などの燃料を獲得するのにだんだんと共同作業を始めることがよく知られている。現代においても水を得る手段として各戸が井戸を掘り、地下水を得る方が単純に経済面だけみれば安いかもしれない。しかし、気候の変化によっては容易に水が得られなくなるかも知れないし、地下水の汚染や地盤沈下などの問題や、防火用水や街路清掃など個人の水需要を超えた「集落」としての水需要もあろう。従って、水道についてはどの国でも古くから集落の共同事業として、自治体の公益事業として認められ、実施されてきたのである。下水道についても類似の事情があるが、河川が豊富な地域や極端な乾燥地帯では都市施設として下水道を建設するニーズがどちらかという小さく、その整備、普及は進まなかった。

地域冷暖房がヨーロッパで始まった頃にはこのような状況から、生活必需品である暖房設備を街ぐるみで共同体意識のもとに整備していったのであろう。これに対して日本の地域冷暖房は、暖房用燃料の燃焼により発生する大気汚染の量が環境容量を超えるという事態

* 東京電力㈱営業開発部副部長

〒100 東京都千代田区内幸町1-1-3

** 東京電力㈱営業開発部都市システムプロジェクトチーム

から始まったと言える。もちろん、ヨーロッパでも類似の現象はあった。(例えば1年に4,000人以上が死んだと言われるロンドンの暖房用石炭の排塵に起因するスモッグ)。しかしながら、環境問題によって「地域暖房は都市に必須の社会設備である」と位置づけるのは性急である。なぜなら、大気汚染を起こさずに暖房できる他の手段があるからである。例えば燃焼による硫黄酸化物(SOx)が問題であれば硫黄分を含まない燃料を、窒素酸化物が問題であるなら脱硝装置をつけるとか、電力を使うとかいう方法である。

地域冷暖房を都市に必要な社会設備として位置づけるためには、環境上の視点に加えて都市計画上の視点、つまり防災、安全、街づくりの観点から都市のエネルギー供給はいかにあるべきか、さらに言えば国家のエネルギー政策、エネルギー安全保障の視点からの議論がなされなければならない。つまり地域冷暖房だからこそ可能な何かが必要ではない。また日本における地域冷暖房の議論では需要家側のニーズの多様性や共同体意識のなさなども考慮に入れなければならない。

ヨーロッパでは熱料金はほとんどの場合「定額性」である。つまり使っても使わなくても支払料金は変わらない。これは暖房が生活上必須であるという認識と共同体意識により支えられているものと思われるが、日本ではこうは行かない。各戸の熱消費量を計測し、検針し、料金を計算して徴収する作業が必要となる。また、ヨーロッパに比べると比較的温暖な気候条件に恵まれているため、暖房が断続使用される。そのため軽負荷時には50%を超える供給配管途上の熱損失が生じることも稀ではない。

こうなると、機器の集約化による地域冷暖房の省エネルギー効果は配管熱損失により相殺されてしまい、地域冷暖房はその存在意義を失いかねない。どちらかと言えば大まかなヨーロッパの地域暖房でも、エネルギー危機を契機に配管熱損失が問題視されてきているという。時あたかも、後述するように、ヒートポンプの再評価と相まって、地域冷暖房の熱媒を蒸気から高温水へ、高温水から温水へとする傾向が欧米では既に始まっている。これは地域冷暖房を改めて都市施設として位置づけ、国のエネルギー政策上も有効なシステムとして認知されるための転換でもある。

3. ヒートポンプ

一昔前の教科書ではヒートポンプは「熱ポンプ」と表現されていた。つまり、水のポンプに対して熱のポ

ンプ、熱の汲みあげ装置がヒートポンプと呼ばれている。ヒートポンプの原理は基本的に「冷凍サイクル」と同じであり、冷房機を内外逆に取付ければヒートポンプ運転をしていることになる(図-1)。

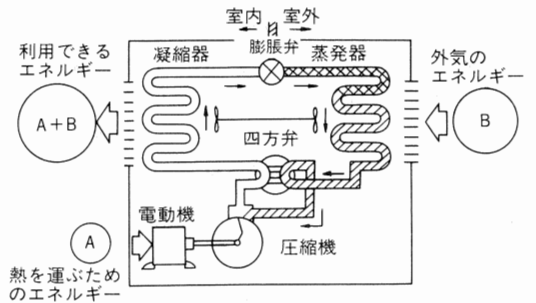


図-1 ヒートポンプによる熱の移動

ヒートポンプに関する最近の技術進歩は著しく、ここ数年で運転効率率は図-2に示すように急上昇している。今年販売されたエアコンの65%がヒートポンプ(冷暖房兼用)であったことから、その技術が十分に普及の段階に至っていることがわかる。

ヒートポンプは、低い温度の熱を吸収し高い温度の熱として放出する装置である。自らは熱を発生せず、熱を移動する機械であるため、投入エネルギーのほぼ3倍の熱エネルギーを取出すことができる。この高い

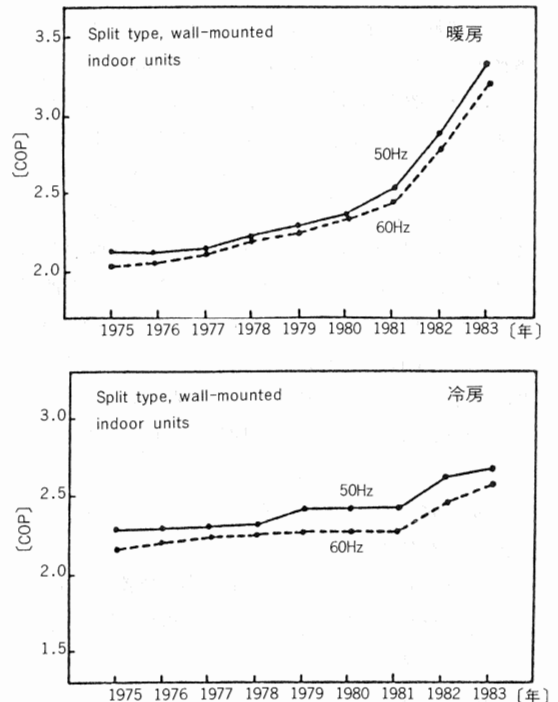


図-2 ヒートポンプエアコンのCOPの向上

表1 都市廃熱の種類と概要

発熱源	廃熱形	廃熱温度	発生量の変動	廃熱回収 利用方法	利用状況	その他	発熱源	廃熱形	廃熱温度	発生量の変動	廃熱回収 利用方法	利用状況	その他
ゴミ焼却施設	蒸気 ^{※1}	150~250℃ (40~50℃)	定検時1ヶ月 止その他変動小	排熱ボイラー (熱交換器)	発電 周辺熱供給	賦存量 109×10 ⁶ kJ/年 ^{※2}	地下鉄地下駅	空気	15~35℃		熱交換器 ヒートポンプ		
工場	蒸気 水	30~500℃	変動小	熱交換器 ヒートポンプ	工場内利用が多い	賦存量 879×10 ⁶ kJ/年 ^{※2}	倉庫	空気 水	-20~20℃	夏期/冬期 =2.5~3	熱交換器 ヒートポンプ		倉庫の種類による
火力発電所	水	20~40℃	発電量の変動 に依存	熱供給発電 ヒートポンプ	栽培漁業	賦存量 1363×10 ⁶ kJ/年 ^{※3}	温水プール	空気 水	20~30℃	遊泳者数に依 存	熱交換器 ヒートポンプ		
変電施設 高圧 送電地中ケーブル	水	20~25℃	電力需要の変動 に依存	ヒートポンプ	ビル空調	賦存量 8×10 ⁶ kJ/年 ^{※3}	アイススケート場	水	30~35℃	屋外型は天候 に依存	ヒートポンプ		
下水処理場 (汚泥焼却)	蒸気	数100℃	定検時1ヶ月 停止	排熱ボイラー	汚泥焼却が有 り工場は少い	賦存量 15×10 ⁶ kJ/年 ^{※4}	電子計算機室 電話交換機室	空気 水	20~35℃	機械の稼働率 に依存	熱交換器 ヒートポンプ		ビル単位の熱 回収
工業用水	水	10~25℃	変動小	ヒートポンプ	雑用水として 利用		放送局	空気 水	20~35℃	スタジオ稼働 に依存	熱交換器 ヒートポンプ		ビル単位の熱 回収
一般排水	水	10~30℃	給湯量の変動 に依存	ヒートポンプ	ビル単位の熱 回収		太陽熱	水	30~60℃	日射量に依 存	ヒートポンプ 直接利用		住宅・ビル単 位の熱利用
地下街	空気	18~25℃		熱交換器	ビル単位の熱 回収		公衆浴場	水	20~35℃	入浴人数に依 存	ヒートポンプ		

※1 復水冷却水再利用 ※2 石油燃費 首都圏内 ※3 石油燃費 関東地方 ※4 石油燃費 都区区内

エネルギー効率の故に、国際エネルギー機関(IEA)では世界各国に対して、その普及を勧告している(文献2)。

あらゆるエネルギー利用において、ある程度の損失は避けられるものではなく、その損失はエントロピーの法則によって最終的に熱になるものと考えられる。都市活動や生産活動の結果、いろいろなレベルの排熱が大気や下水、河川、海などに捨てられている。

国際エネルギー機関がヒートポンプ技術に注目したのは、このような排熱をヒートポンプによって必要な温度レベルまで昇温して利用すれば、エネルギー資源の節約になるばかりでなく、熱汚染などの環境汚染を未然に防止することができること、さらには、ヒートポンプ運転のエネルギー源が原子力、水力、風力など各種のエネルギーであり、輸入石油への依存度が減り貿易収支の改善も可能となる、といったところにある。

先に述べたように、ヒートポンプはその運転に必要なエネルギーの約3倍の熱エネルギーを生み出すことができるから、ヒートポンプを利用すると運転エネルギー費用は約1/3になる。しかしながら温熱を得る方法として、ボイラーで燃焼を行なうような簡単で安価な方法があるため、ヒートポンプの高い初期コストが問題となり、そのコストダウンが大きな課題とされている。高い初期コストを吸収するためには冷房/暖房の両方に利用する(稼働7ヶ月)方法や給湯(同12ヶ月)に利用するなど、できるだけ長い期間運転し、その固定的コストを分散することが、利用する立場からは有効である。

また、ヒートポンプは非常に高率の高い機器ではあるが、それ自体は熱を発生しない。低温の熱を吸収して高温で放出する装置であるから、ヒートポンプを利用するためには吸収すべき低温の熱源が必要である。ヒートポンプの利用にとって、この熱源が決定的な役割を果

すことになり、これまでに多くの都市廃熱がヒートポンプの熱源として検討されている(表1)。ヒートポンプを地域冷暖房に用いる場合には、当然のことながら地域の熱需要に見合った大量の熱源が必要になるので、熱源の問題はより一層重要となる。

4. 地域冷暖房とヒートポンプ

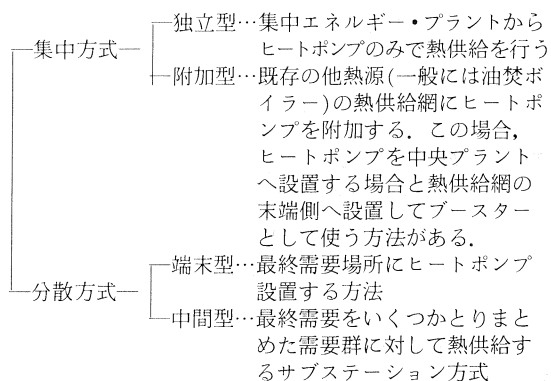
ヒートポンプを地域冷暖房に用いた例は日本ではまだ2ヶ所(光が丘パークタウン)銀座2~3丁目)であるが、地域暖房先進国のヨーロッパ諸国では既に多くの実例が存在している(詳しくは後述)。そしてそれぞれの需要場所の条件、需要密度などによって、その使い方についてはいろいろと工夫されている。

4.1 ヒートポンプの地域冷暖房への利用方法

ヒートポンプの地域冷暖房への利用方法を形式的に分類すると表2のようになる。

集中方式は基本的に需要温度に近い温度の熱を中央プラントで作って地域に送る方式で、そのうち独立型はヒートポンプだけで熱源機器が構成されている場合、附加型は主として既存の熱供給網に、石油の節約あるいは運転エネルギー費の低減をねらってヒートポンプを附加する場合をいう。附加型はヨーロッパで建物暖房用に普及しはじめて「バイパレント」あるいは「バイエネルギー」とよばれる方式の地域冷暖房版とも言うべきものである。この方式によれば、最大熱需要の30%程度のヒートポンプ機器を設置すれば年間エネルギーの60~80パーセントを賄うことができ、寒冷地ヨーロッパではこの方式が既存設備に対するヒートポンプの利用方法として最も経済的であると言われている。独立型、附加型とも集中方式の地域冷暖房はヒートポンプを利用するしないにかかわらず、スケール

表2 ヒートポンプの地域冷暖房への利用方法



メリットを追求でき、運転保守がやりやすいなどという利点がある反面、先行投資の大きさや地域熱供給配管からの熱損失などの欠点がある。

これらの点を改善しようとして考えられたものが分散方式である。ヒートポンプの熱源の温度レベルの水を需要場所、または需要場所の近くに設けられたサブステーションにまで供給し、そこで初めてヒートポンプにより需要温度にまで昇温する方式である。この方式は、熱損失が少ないこと、需要家の建設スケジュールにあわせた投資ができることなどの点から利点が多く、コールド・ディストリクト・ヒーティング (Cold District Heating) としてヨーロッパでも注目されはじめている。なお、光が丘パークタウンの地域冷暖房はこの方式の第一号である。

4.2. 地域冷暖房用ヒートポンプ機器

エクセルギーの考え方によるまでもなく、熱の供給温度は需要温度に近ければ近いほど効率が良い。ビルや住宅の暖房に用いられる温水は45℃から50℃程度で充分であり、入浴に用いられる給湯の温度なら差し湯を考えても60℃程度であろう。この程度の温度であれば排熱を利用しなくとも、空気熱源ヒートポンプで充分に供給できる。

現在の技術水準では、適当な熱源さえあれば80℃程度の温水を供給するヒートポンプを製造することは充分に可能である。問題は、いかにして熱源を得て経済的に採熱するかである。表1に示した熱源はそのほとんどが何らかの所有者のある排熱であるということがその普及の阻害要因になりうる。ただ、これらの所有者の多くは公的セクター、あるいは公益企業であることから、社会的ニーズと気運が高まれば、その利用について意外に早く道が開かれるかもしれない。

事実、スウェーデンやノルウェーなどの北欧諸国では海水や下水処理場の排水を熱源とするヒートポンプが表3に示すように数多く実際に運転されており、その内容も熱出力で10,000kW から 30,000kW という大規模なものである。北極に近い海水でも、水面下15m位になれば冬期でも3~5℃程度の温度であり、これを1.5℃まで冷却することによって、採熱することが現に行なわれているのである。

表3 地域暖房用大型ヒートポンプ実施例 (1983.3, スウェーデン).

地点名	運転開始	熱源	熱出力 (MW)
ASEA Ludvika	1982. 9	湖水	11
Tekniska Verken in Vastira	1982. 6	下水(浄化後)	12
Uppsala Kraftvarme AB	1982.10	同上	39
Statens Vattenfallsverk (Lidingo)	1983. 2	海水	11
AB Borlange Industriverk	1983.10	森林産業からの下水	24
Aktiebolaget Svartnalsforsen(Vartan)	1983. 9	海水	13~15
Lunds Energiverk	1983. 9	下水(浄化後)	10~13
Malm Energiverk	1983.11	同上	40
Tekniska Verken in Eskilstuna	1983.10	同上	13
Kalnar Energiverk AB	1983.12	同上	10~13
Energiverket in Upplands Vasby	1984. 6	湖水	20~22
Sandvikens Energiverk AB	1984. 4	産業冷却水	12
Gavl Energiverk	1984. 2	下水(浄化後)	14
Ornskoldsviks kommun	1984.10	産業排水	14+5
Tekniska Verken in Eskilstuna	1984. 6	下水(浄化後)	10~13
Umea Energiverk	1984.11	同上	16+17
Lunds Energiverk (GEO ETAPP III)	1985. 1	地熱水	18~20
Trollhattans Fjarrvarme AB	1984.11	産業冷却水	7.5
AB Borlange Industriverk	1985. 2	森林産業からの下水	12
Orebro kraftvarme AB	1985. 2	下水(浄化後)	20+21

4.3. 地域冷暖房用ヒートポンプシステム

熱源から需要端までをシステムとして評価した場合には、その総合的評価の結論を出すのは極めて難しく、今後の研究に負うところが多い。

ここでは最近注目され始めた熱併給発電*(コ・ジェネレーション)を例にとって議論を進める。コ・ジェネレーションはそれほど新しい技術ではなく、ヨーロッパの一部では発電と同時に始まったシステムですらある。スチームタービンによるコ・ジェネレーションは電力とともに抽気蒸気を先取りして利用するもので、発電効率は低下するものの熱利用が行えるので総合効率は高くなるというものである。この方式を熱供給システムとして見ると熱源機器の効率は高いうえ、蒸気の供給を受ける二次側システムも幅広い用途に対応できるものになる。

これに対して同じコ・ジェネレーションでも、発電は発電で充分行い、発電復水排熱をヒートポンプの熱源とする方式もある。この方式が本来の意味のコ・

*コ・ジェネレーション： ひとつの熱機関の出力として電力と熱の両方を取り出し利用するシステムで、投入エネルギーに対する利用エネルギーの比率が理論的には高く、省エネルギーシステムであると言われている。

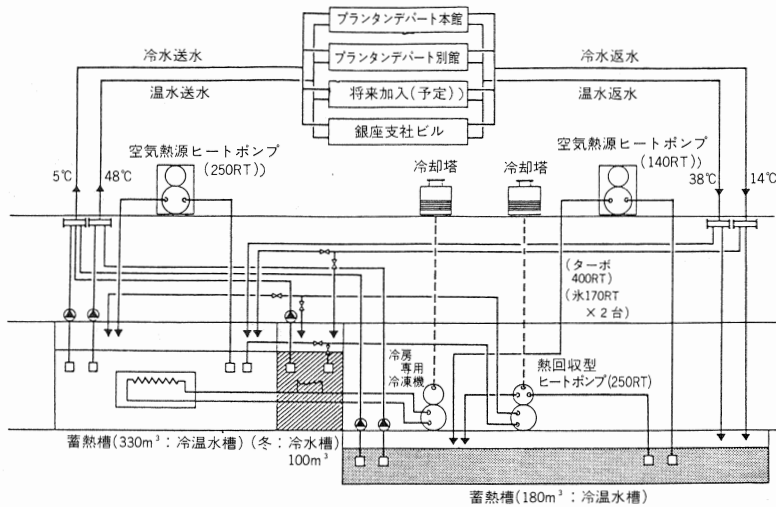


図-3 銀座地区地域冷暖房システム

ジェネレーションと呼べるかどうかは議論のあるところであろうが、集中方式熱供給システムの熱損失が30～60%もあることを考えると、この方式によるコ・ジェネレーションは特に日本のような冷暖房とも必要とする国には興味深い。この本式は次章で紹介する。

5. ヒートポンプによる地域冷暖房の実例

表2に述べたヒートポンプによる地域冷暖房の分類による方式の、集中方式の実例として銀座2～3丁目地区、分散方式の実例として光が丘パークタウンのケースを紹介する。

5.1. 銀座2～3丁目地区の地域冷暖房

この地区はプランタン・デパートの新設を機会に地域冷暖房が実施されたものである。供給対象面積はデパート周辺の事務所を合わせて第1期分は約43,000㎡であるが、デパートがその大半を占めているため、冷房負荷が大きく、システムはヒートポンプとターボ冷凍機で構成されている(図-3)。この地区の地域冷暖房システムの特徴を下記に示す。

(1) 全電気式であること

安全・無公害なうえ、保守管理、運転管理が容易である。

(2) 熱回収システムであること

冬期の冷房需要を持つ建物(デパート)が供給対象であるため、熱回収ヒートポンプによりこれらの冷房排熱を他の建物の暖房給湯需要に使うことができる。さらには変電所排熱、高圧地中送電線発熱なども利用した省エネルギー型地域冷暖房が可能となる。

(3) 蓄熱式の地域冷暖房であること

地域の最大時熱需要よりも小さな容量の熱源機器を設置することが、蓄熱槽を設置することにより可能となった。また深夜時間帯にも機器を運転することにより安価な料金の電力を利用することができる。また、小さな蓄熱槽でも多くの冷熱を貯えるために水蓄熱システムを採用している。

5.2 光が丘パークタウンの地域冷暖房

この地域冷暖房は表2の分類による分散方式の中間型にあたるもので、広大な地域(186 ha)の長期にわたって建設される住宅団地に対する熱供給システムである。そして、建設スケジュールの進展に応じた設備投資、配管からの熱損失の防止、都市排熱の有効利用の3つのテーマをヒートポンプにより解決することを目指している。システム概念図を図-4に示し、その特徴を下記に示す。

(1) 都市排熱を回収して利用すること

清掃工場のゴミ焼却熱により発電した後の復水熱(35～45℃)と、附近を通る超高压地中送電線の発熱(20～25℃)を熱源として回収し、熱供給プラント地下の蓄熱槽(5,300 m³)に貯える。

(2) 地域の熱需要に応じて熱源水を供給すること

熱源水の温度は20～25℃であるので配管の断熱保温は必要ないうえ、熱損失もなくなる。これにより工事費も運転エネルギーも削減される。

(3) 分散設置のヒートポンプによる熱供給であること。

約100戸に1ヶ所の割合でヒートポンプが設置されており、このヒートポンプが熱源水を熱源として

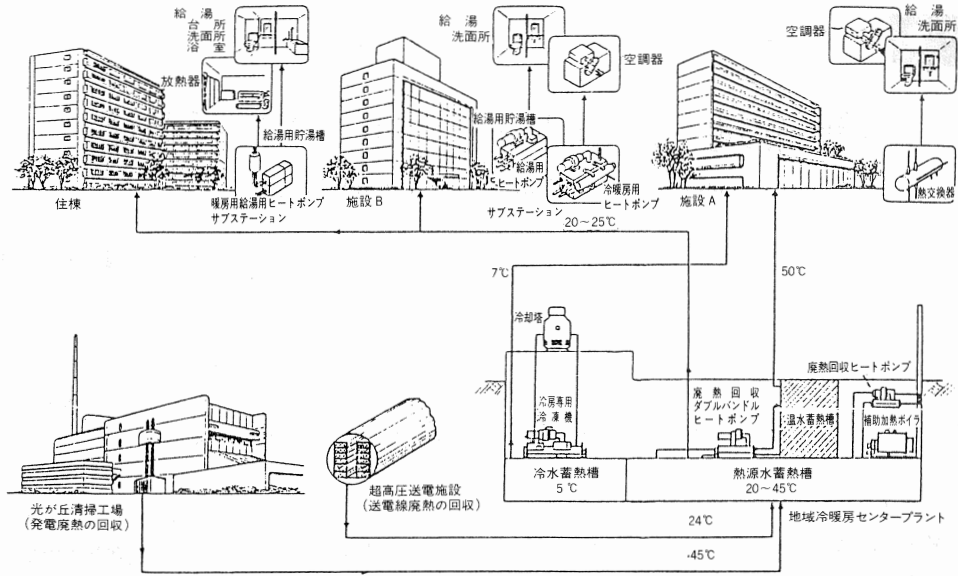


図-4 光が丘団地地域暖冷房概念図

温水(60°C)を効率良く製造し各戸に供給する。ヒートポンプは熱需要が発生した時に設置されるため、先行投資は相対的に少なくなる。ヒートポンプによる熱供給であるため安全、クリーンで経済的でもある。

6. おわりに

地域冷暖房が真の都市施設として位置づけられるためには地域冷暖房ならではの利点が必要である。と冒頭で述べた。他のシステムでは実現できず、地域的に集中することによってのみ可能となることは、都市排熱を効率的に回収利用すること、地域の安全、防災を集中的に制御することなどであろうが、このためのハードウェアとして現在最も優れているものはヒートポンプであると言っても過言ではあるまい。その意味でヒートポンプこそが地域冷暖房に最もふさわしい機器だと言うこともできる。

都市部のエネルギー供給システムを検討する際には国のエネルギー安全保障、都市の環境水準、防災、安全性の維持、省エネルギー性なども経済性と同時に評価すべきである。「ヨーロッパでは」とか「アメリカでは」というような「出羽守」的な議論は必ずしも常に説得力を持つものではないが、日本だけが世界の例外ではありえないことを忘れてはならず、短期的な経済性だけでなく長期的な視野が都市システムプロジェクトには必要である。

参考文献

- 1) 成田勝彦；ヒートポンプと地域冷暖房，日本能率協会セミナーテキスト，1984. 9. 4
- 2) IEA；ヒートポンプシステム技術評価報告書，(1983)，(財)省エネルギーセンター
- 3) 東京電力省エネルギーセンター訳；ヒートポンプ，実用設計とその応用，(1983) ジャティック出版