

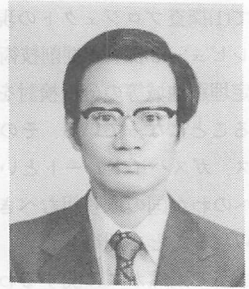
■ 展望・解説 ■

最近の地域冷暖房システムと今後の動向

Present Status of D.H.C. Technology Development in Japan

岩 本 博 之*

Hiroyuki Iwamoto



1. 地域冷暖房の現状

地域冷暖房事業とは、ある特定の地域内で使用する空調用あるいは給湯等の熱エネルギーを、一か所または数か所の熱供給プラントで集中的に製造し、冷水、蒸気、温水等の形で、配管をとおして、複数の需要家へ供給するシステムである。このような熱供給方式は、欧米では既に100年以上の歴史があり、パリやハンブルグ等では、電気やガス等と同じようにインフラストラクチャの一つとして、広大なネットワークが形成されている。これに対して我が国では、昭和45年に日本万国博で初めて導入されて以来、まだ20年足らずしか経過していない。この間全国で、39社68地区（平成元年3月末現在）において地域冷暖房が導入されるに至っているが、その発展は社会環境の変化に大きな影響を受けてきた。特に1970年代の2度にわたる石油ショックは、高まったばかりの地域冷暖房導入の気運を減退させた。しかし、ここ数年来再び脚光をあびはじめ、第二次ブームの到来といわれている。このような状況を生み出した社会的要因として、都市再開発の活発化が挙げられる。これは民活導入、内需拡大という国政の流れと、情報化、国際化により、首都圏でのオフィス需要が大幅に拡大したことによる。都市再開発が目指す方向は、職住遊の複合土地利用であり、これに伴いビルのインテリジェント化、24時間化が進むこととなり、単に機能面だけでなく、居住性、美しさといった人間中心的な空間が求められるようになった。このような高度の付加価値の要求は、ビル機能の重要な役割をはたす空調、給湯システムにも当然求められることとなる。近年、首都圏を中心として数多くの都市再開発が計画されており、そのほとんどで、地域冷暖房の導入が検討されているが、これは地域冷暖房が上記の要求を満たす新システムとして位置づけられてきた

ことを示している。

地域冷暖房システムは、供給熱エネルギーを製造する熱源プラント、熱媒を需要家まで輸送するための地域配管、需要家の使用熱量の計測等を行う受入施設、および需要家使用施設から構成されるが、本稿では主としてプラントシステムについて述べることにする。

従来、個別ビルの空調に使用されてきたシステムとしては、ボイラと吸収冷凍機、およびボイラと電動ターボ冷凍機といった組み合わせが大半であった。地域冷暖房においても、熱源プラントにはこれらのシステムを大型化し設置する方法がとられることが多かった。しかし、スケールメリットをより生かすような大型熱源機器、熱回収による高効率システム、地域の排熱を利用するシステム等の開発によって、熱源プラントシステムのバリエーションは拡大した。また電気と熱を同時に供給するコージェネレーションシステムが地域冷暖房に導入されるに至り、ますますシステム選択の自由度は広がりつつある。今後はこれらの機器を組み合わせさせた様々なシステムの中から、最も地域の実情にマッチし、かつ経済的なシステムが選択されることとなる。このように地域冷暖房は、今まさに、より成熟した地域エネルギーシステムへと変貌する過程にあるといえる。以下には、現在の我が国における地域冷暖房システムの2大潮流ともいえる、コージェネレーションシステムと排熱有効利用型システムの現状と今後の動向について、主として当社の実例を挙げながら述べることにしたい。

2. コージェネレーションと地域冷暖房

コージェネレーションとは1種類の1次エネルギーから異なった2種類の2次エネルギーを回収するシステムのことであるが、ここでは原動機または燃料電池を使用して、電気と熱を発生させるシステムについて考える。

*東京ガス(株)地域冷暖房建設部副部長
〒105 東京都港区海岸 1-5-20

表1 駆動方式による特徴¹⁾

	発電効率 (%)	熱併給率 (%)	総合効率 (%)	特 徴
ディーゼルエンジン	25~38	40~50	75~80	ガスタービンより発電効率が良い。振動・騒音が大きい
ガ ス エ ン ジ ン	20~35	40~50	70~75	ガスタービンより発電効率が良い。ディーゼルエンジンより振動・騒音が少ない
ガ ス タ ー ビ ン	20~25	55~60	約80	ディーゼルエンジンなどより発電効率が悪い。熱回収エネルギーの割合は一番多く、熱負荷の大きい需要に向く

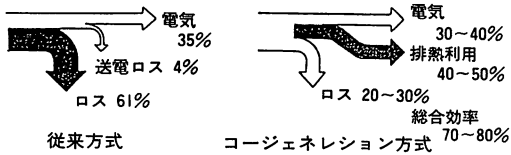


図-1 エネルギー利用効率の比較

2.1 原動機によるコージェネレーション

原動機によるコージェネレーションには、ガスエンジン、ディーゼルエンジン、およびガスタービンを使用するものがある。エネルギー需要の規模、熱と電気の需要割合によって最適なシステムが異なってくるが、その利用効率は、一般的には図-1のようになる。駆動方式の違いによる特徴は表1に示す。このように本システムを用いることにより、エネルギー効率を従来方式より飛躍的に伸ばせるメリットがある。また自家発による買電使用のピークカットや、特高契約の回避、

契約電力の低減ができ、経済性を大幅に向上させることができる。更に、デュアル燃料タイプとすることにより、非常用発電としても兼用が可能であり、余分の投資が避けられるといったメリットもある。

2.2 地域冷暖房への導入例

我が国で、コージェネレーションが地域冷暖房に組み込まれて稼働している例としては、現在のところ東京ガス芝浦地域冷暖房センターと、大阪ガス千里エネルギーセンターの2例があるが、今後エネルギー有効利用の観点から、ますます普及すると考えられる。当社においても、平成元年10月に稼働する幕張地域冷暖房センターや、平成3年に稼働する新新宿地域冷暖房センターに、ガスタービンによるコージェネレーションを導入する。また、同じく平成3年から稼働する予定の明石町地域冷暖房センターでも、ガスエンジンによるコージェネレーションを導入する計画である。以下に、稼働中の芝浦地域冷暖房センター、千里エネ

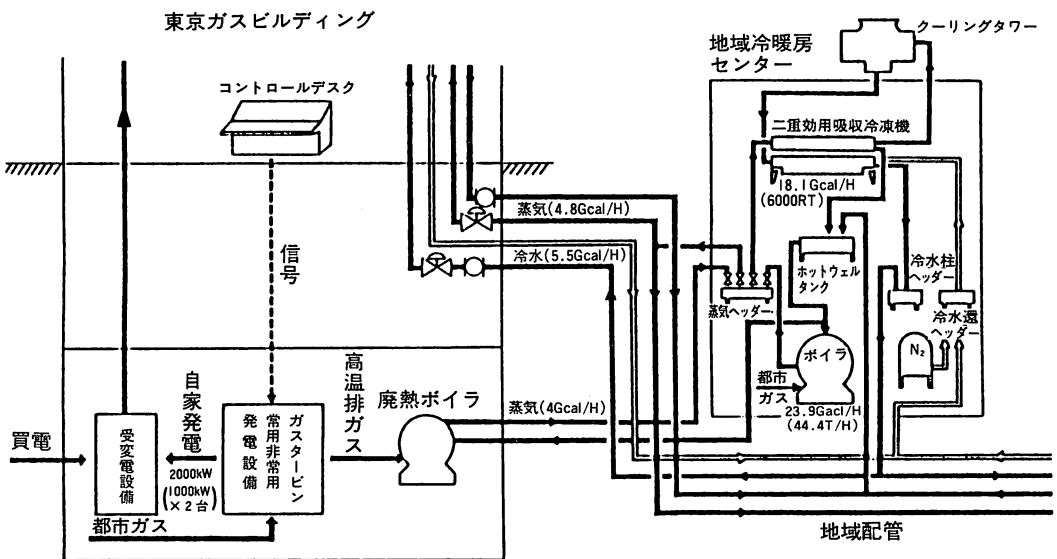


図-2 芝浦地区地域冷暖房システム概要

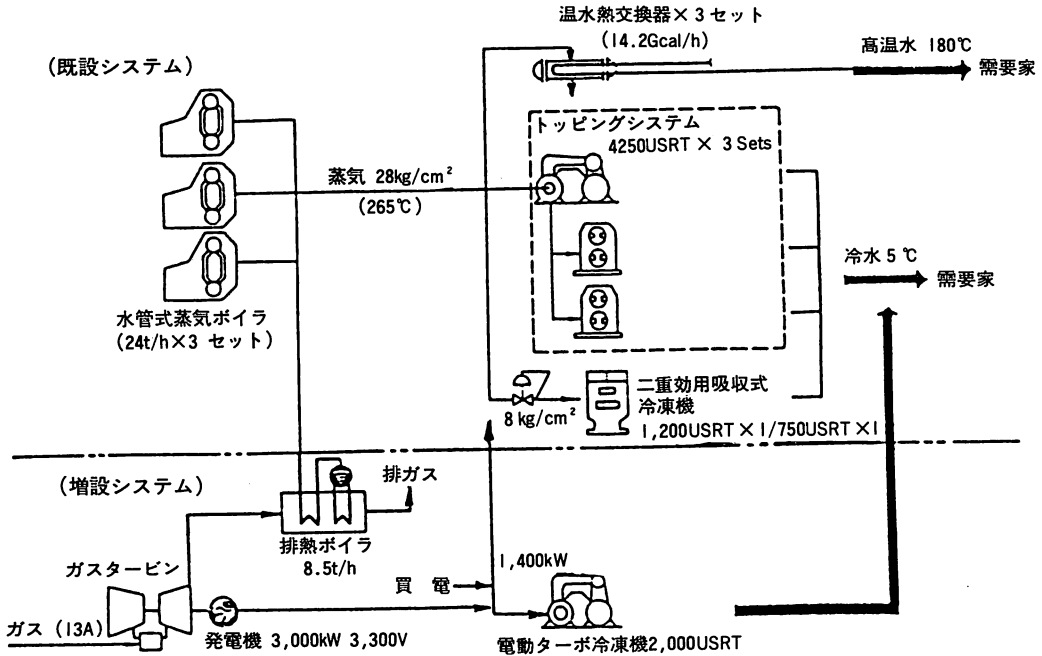


図-3 千里エネルギーセンターシステム概要³⁾

ギーセンター，及び建設中の新新宿地域冷暖房センターの事例を紹介する。

芝浦地域冷暖房センターは昭和59年2月に，我が国で最初にコージェネレーションを採用した地域冷暖房センターである。このシステムはCES (Community Energy System) と呼ばれており，概要は図-2のとおりである。東京ガス本社ビル内に1000kWのガスタービン発電機2台を設置し，ビル内の電力の約50%をまかない，発生する排熱を排熱ボイラーで蒸気として回収して，地域冷暖房センターへ送り，温熱用蒸気，または二重効用吸収冷凍機の熱源として使用している。この排熱利用による蒸気で地域冷暖房に必要な蒸気の約40%をまかなっている。昭和62年5月からは買電系統と自家発系統が常時連系化され，より効率的な運転が可能になった。これによって，コージェネレーション導入による変動費メリットが，導入前に比べて50%以上増加した²⁾。

芝浦地域冷暖房センターが，開業当初よりコージェネレーションを導入しているのに対し，千里エネルギーセンターは，既存の地域冷暖房プラントにコージェネレーションを導入した例である。ここでは，当初は水管式蒸気ボイラーを中心に，熱交換器による高温水と，背圧スチームタービン駆動ターボ冷凍機，吸収冷凍機による冷水供給が行われていた。しかし，より一層の

熱供給コストの低減を図るため，昭和61年に，3000kWガスタービン発電機を設置し，発生電力を増設したターボ冷凍機やプラント内補機用電力として使用し，排熱は排熱ボイラーにより回収後，地域冷暖房用熱源として使用することとした。このコージェネレーションの導入により，購入電力が約30%削減でき，ガス使用量が約10%の省エネルギー効果があったと報告されている³⁾。

昭和46年4月，首都圏で初めて地域冷暖房を導入し，世界最大級の規模を誇る新宿副都心地区では，平成3年竣工を目指して新都庁舎が建設中であり，更に当社の再開発ビル計画等もあり，今後大幅な熱需要の増加が見込まれている。これに対応するため，当社では現在の新宿地域冷暖房センターを移設し，設備を増強する新新宿地域冷暖房センターの建設工事を行なっているが，新センターを計画するにあたり，これまで以上に経済的で高効率，省エネルギーのシステムとするため，百数十種類のシステムについて年間コストシミュレーションを行い，その中で最も経済的かつ省エネルギーとなるシステムとして図-4に示すコージェネレーションシステムを採用した。これにより，現システムより約10%の効率アップが見込まれている。

2.3 コージェネレーションに関する技術開発状況
コージェネレーションの採用は時代の要請でもあり，

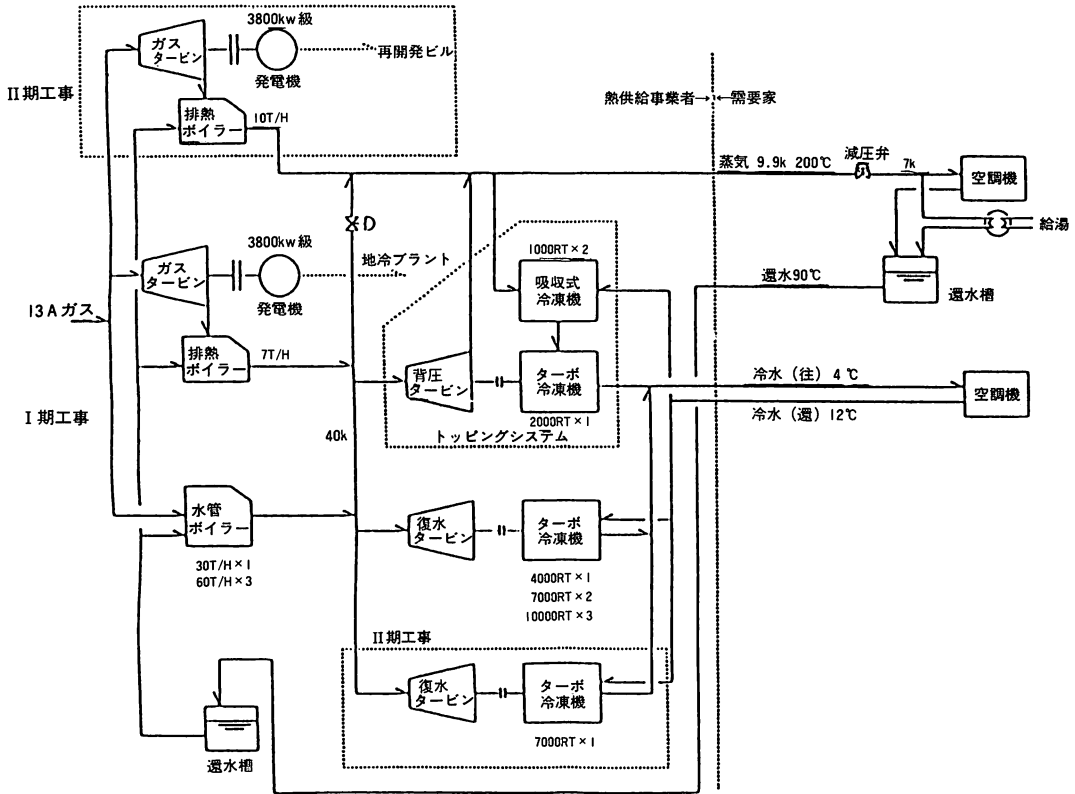


図-4 新新宿地域冷暖房センターシステム概要

今後ますます普及していくと考えられ、各界で精力的な技術開発が行われている。その項目としては以下のようなものがある。

(1) 高効率ガスタービンの開発

ガスタービンは、タービン入口における燃焼ガス温度を上げれば上げる程効率が高くなる。そこで、都市ガス3社はメーカーと共同で、1000kWクラスのガスタービンに空冷動静翼を採用することにより、発電端効率を従来の20%から25%に上げることに成功し、昭和63年4月より商品化を行っている。また、コージェネレーション技術開発を行うために結成されたACT90では、1500kW以下のクラスのガスタービンで発電端効率30%以上を目指し、平成3年度よりフィールドテストを行う予定である。

(2) 熱電比の可変制御化

コージェネレーションシステムのトータル効率は、熱需要と電気需要のバランスに大きな影響を受ける。地域冷暖房は日毎、季節毎に負荷が変動するので、発電機から発生する排熱と電気の比（熱電比）を必要に応じて変動させることができれば、より効率の高い運

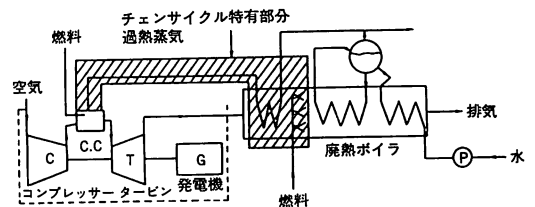


図-5 チェンサイクル概要

転を行うことができる。このようなシステムにチェンサイクルがある。これは排熱ボイラーから発生する蒸気の一部をガスタービン燃焼室内に戻し、蒸気の温度膨脹でタービンの駆動力を増すシステムで、蒸気のもどし量を調節することで、熱電比を50%程度変化させることができる。現在商品化されているのは3000kWクラスのものであり、今後より小型機種での開発が望まれる。

(3) コージェネレーションシステムのパッケージ化
コージェネレーションシステムの標準化、パッケージ化を図り、設備費の低減、保守点検の簡略化、省ス

ペース化を目指すもので、既に都市ガス3社により、100kW、200kWクラスの高圧ガスエンジンシステムについては商品化されている。また、より大型のもの、及びガスタービンシステムについても、ACT90等で開発中である。

(4) ガスタービン、ガスエンジンの低NO_x化

都市ガス、特に天然ガスを燃料とするコージェネレーションでは、燃料自体が非常にクリーンであるため、従来問題となっていたSO_xについては全く問題とはならない。NO_xについて、国では大気汚染防止の観点から大気汚染防止法を改正し、工場等に設置される一定規模以上のガスタービン及びディーゼル機関をばい煙発生施設として追加し、昨年2月から施行した。一方、東京都等でも新たに『定置型内燃機関に係わる窒素酸化物排出低減指導要綱』等を定め、工場、事業場に設置される一定規模以上のガスタービン、ディーゼル機関及びガスエンジンのNO_x排出の指導基準を定め、本年2月より施行した。本基準に対しては、ガスタービンについては水噴射、蒸気噴射等で、ガスエンジンについては三元触媒方式等で対応可能であるが、更に経済性を高めるために希薄燃焼方式、排ガス再循環方式、触媒脱硝方式等の開発が行われている。

(5) システム連系化

芝浦地域冷暖房の例でもわかる通り、買電とのシステム連系を行うことにより、契約電力を大幅に低減できるとともに、より高効率な運転が可能となるほか、電源の信頼性が極めて高くなる。コージェネレーションのシステム連系については、高圧配電システム、または特別高圧送電システムに対しては、『システム連系技術ガイドライン』が定められている。しかし、スポットネットワークシステムについては、現時点では個別検討することになっており、本システムについても今後早急にシステム連系の技術ガイドラインの確立が望まれる。更に、我が国の将来的なエネルギー事情の観点から電力相互融通体制の検討も必要であろう。

2.4 燃料電池によるコージェネレーション

コージェネレーションシステムの発電機部分に、原動機ではなく燃料電池を使用するシステムも、現在精力的に開発されている。燃料電池とは、燃料に水素を、酸化剤として酸素を用いて、電気化学的反応によって電気を直接発生させるものである。電解質としては水酸化カリウムやリン酸等の水溶液（第一世代）、炭酸リチウム、炭酸カリウム等の炭酸溶融塩（第二世代）、ジルコニア等の固体電解質（第三世代）などを用いて

いる。それぞれの特徴は表2に示すが、現時点では、第一世代のものが実用の域に近づいているといえる。燃料電池を用いるメリットとしては、以下の事項がある。

- (1) 理論的発電効率が原動機発電機を用いるよりはるかに高く、80%以上である。
- (2) 部分負荷運転になっても、効率があまり低下しない。
- (3) 負荷応答性がよく、最低負荷（約25%）から定格負荷まで、秒オーダーで出力変化が行える。
- (4) モジュール化されており、ユニットの増設により供給能力を増設できるので、先行投資が少なく済む。
- (5) 主要部分に燃焼や回転などの機械がないため、大気汚染物質発生量が少なく、騒音や振動の問題もない。
- (6) 排熱も蒸気（170～180℃）と温水（70～80℃）の形で回収でき、熱利用の用途も広い。

以上のようなメリットをもつ燃料電池を、オンサイト用として地域冷暖房プラントに設置し、熱併給発電を行えば、地域冷暖房の省エネルギー性、クリーン性等の特徴を、より一層大きくできる。米国では宇宙船電源用燃料電池開発で蓄えた技術を基に、昭和42年から、民生用の電源の開発を目指したオンサイト用燃料電池開発計画（TARGET計画）に着手した。当社も昭和47年にこれに参画し、電気出力12.5kWのリン酸型燃料電池（PC-11型）2基のフィールドテストを行った。その後、昭和52年にTARGET計画を引継いだGRI計画にも参画し、電気出力40kWのPC-18型機プロトタイプのフィールドテストを2000時間行い、更にその改良機で11000時間を越えるテストを行ってきた。

また、より高温の排熱を利用できる第二、第三世代の燃料電池についても、積極的に開発を進めている。特に固体電解質型については、米国ウエスチングハウス社、関西電力、大阪ガスと共同で、来春にも25kW発電機の性能試験を開始する予定であり、実用化が期待される。

3. 排熱利用システムと地域冷暖房

3.1 排熱利用システムの概要とメリット

排熱利用には大きく分けて、2種類ある。ひとつは自然系排熱、つまり地球上の大気や水や地面に貯えられた熱エネルギーを利用するものであり、もうひとつは、都市排熱、つまりある主要な目的のための施設、

表2 燃料電池の種類¹⁾

	(第1世代型)		(第2世代型)	(第3世代型)
	アルカリ型	酸性型	熔融炭酸塩型	固体電解質型
主たる電解質	水酸化カリウム水溶液	リン酸, 硫酸	炭酸リチウム, 炭酸ナトリウムの混合物	ジルコニアと酸化カルシウムの混合物
作動温度	~120°C	~200°C	400~700°C	800~1,000°C
燃料	H ₂	H ₂ , 天然ガスなど炭化水素系ガスの改質ガス	H ₂ , CO, 石炭ガス, 天然ガスなど炭化水素系ガスの改質ガス	同 左
特徴	・電解液による腐食性が比較的少ない	・改質燃料および空気中のCO ₂ 吸収による電解液の汚染がない	・高発電効率 ・広汎な燃料利用可能	同 左
問題点	・CO ₂ が溶解すると電解液が劣化	・使用材料の寿命腐食が問題	・熔融塩による腐食クリープの問題 ・炭酸ガス補給方法 ・蒸発・分解による電解質の損失	・耐熱材料, 特に電池接続部のシール材の問題 ・電解質の薄膜化の問題
発電効率	40%	40%	45%以上 50% (内部改質式)	50%

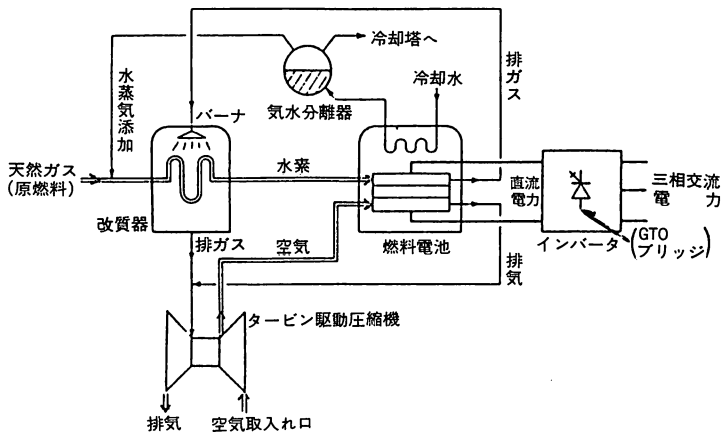


図-6 燃料によるコージェネレーションシステム概要¹⁾

あるいはプロセスから、副産物的に発生する熱エネルギーを利用するものである。自然系排熱はいたるところに存在し、量的にも安定した熱源であるが、一般的に温度が低く利用しにくい。これに対して都市排熱は、局所的にしか存在しないが、比較的溫度が高く、利用しやすい熱源といえる。これらの排熱は更に、もともとの排熱溫度が十分高く、ヒートポンプ等の昇温機を必要としない高温排熱と、溫度が低いため昇温機で昇温する必要のある低温排熱という分類もできる。高温排熱利用システムは熱発生エネルギーがほとんど不要のため省エネ性が極めて大きく、熱媒コストを低くでき、また、暖房給湯のみならず、吸収冷凍機等で冷房にも利用できる。排熱源が近くに存在する場合には、積極的に地域冷暖房に組み込んでいくべきもの

と考えられる。低温排熱利用システムについても、排熱溫度が低いためヒートポンプ等の昇温機が必要となるものの、今後の周辺技術の進展に伴い、省エネルギーの観点から積極的に地域冷暖房に組み込んでいくべきものと考えられる。

3.2 地域冷暖房への適用例

(1) 高温排熱利用の事例

高温排熱の代表的なものに清掃工場排熱があるが、これを利用した事例として、東京熱供給(株)による品川・八潮団地における熱供給がある。ここでは東京都大井清掃工場の排熱を熱交換器を通して回収し、130°Cの高温水を得ている。補助熱源として高温水ボイラーが設置されているが、年間総熱使用量の約80%は排熱でまかなわれている⁵⁾。清掃工場の排熱を利用した地

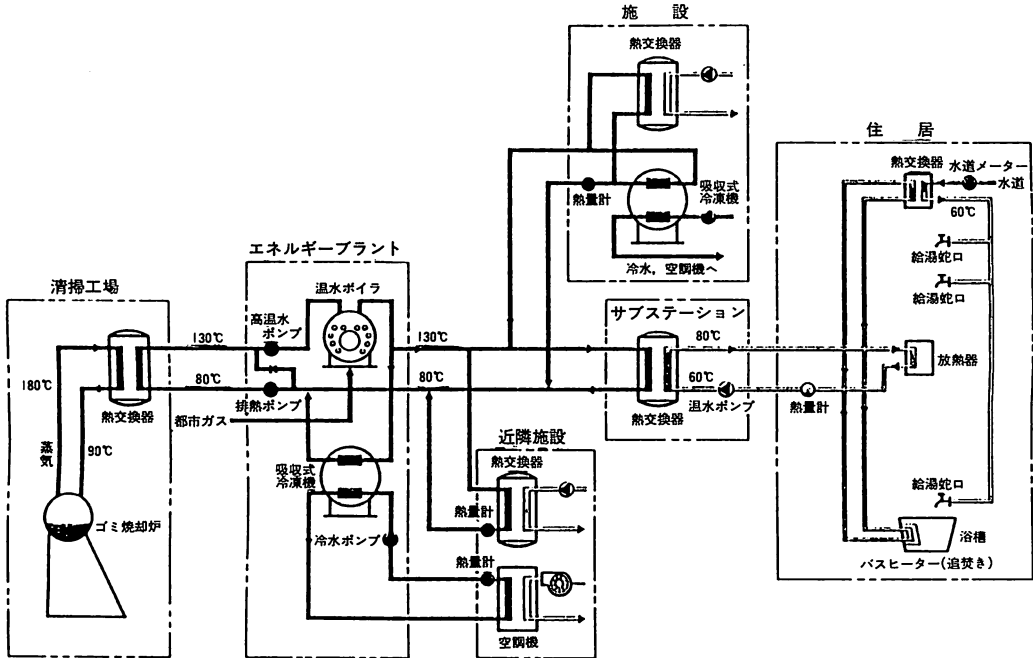


図-7 品川八潮地区システム概要

域冷暖房の例としては他に、大阪森之宮第二市街地住宅、札幌市下野幌団地等がある。また、工場排熱を利用したものに、いわき市小名浜の例がある。

(2) 低温排熱利用の事例

低温排熱を利用した地域冷暖房の事例として、現在稼働中のものでは、地中ケーブルや変電所排熱を利用したものがある。また建設中のものとしては、河川水利用のものや地下鉄排熱利用のものが、また計画のものとしては、下水処理水を利用するものがある。

当社は、平成3年より大川端地区で、河川水利用の給湯・暖房システムを稼働させる予定である。本地区は隅田川河口に位置し、東京都マイタウン構想の一環として良好な居住環境の創出を目的として建設が進められている。システムの特徴は河川水を低温熱源とし、都市ガスを駆動熱源としたガス吸収ヒートポンプシステムを採用していることにある。概要を図-8に示す。ガス吸収ヒートポンプにより、河川水から熱をくみ上げて60°Cの温水を作り、熱交換器で上水を55°Cに加熱し、各戸に供給する。このシステムにより、従来システムに比べ約40%の省エネルギーが期待できる。

地下鉄排熱を利用したものとしては、平成元年4月より開業する、(株)札幌エネルギー供給公社によるJR札幌駅北口地区がある。システム概要を図-9に示す。排熱回収部では、空気熱源ヒートポンプで44°Cの温水

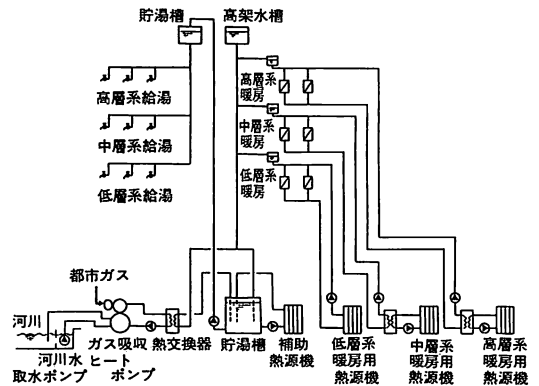


図-8 大川端地区システム概要

を作り、エネルギーセンターへ送る。センターでは、この温水を熱源に蒸気タービン駆動ヒートポンプを用いて90°Cの温水を製造し、地域冷暖房用熱媒としている。本システムにより、全供給熱量の約25%を地下鉄排熱でまかなうことができ、省エネルギー化がはかれる。また地下鉄側は換気用電力コストを大幅に削減できるとされている⁶⁾。

特殊な排熱利用として、当社の新宿地域冷暖房センターで採用している復水タービン駆動ターボ冷凍機の冷却水からの熱回収がある。これは図-10のように本

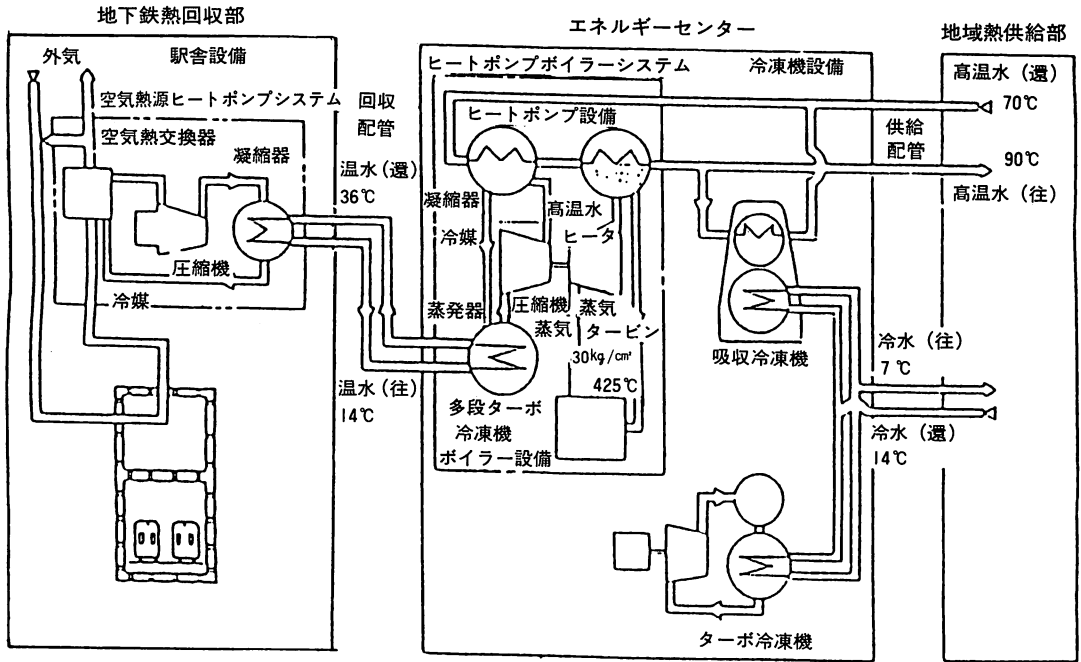


図-9 札幌駅北口地区システム概要⁶⁾

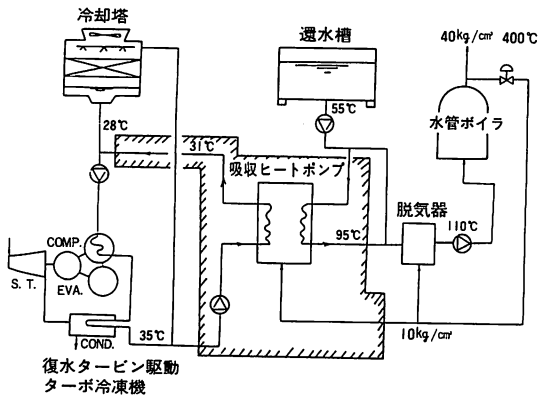


図-10 新宿地域冷暖房センターにおける吸収ヒートポンプシステム

来冷却塔から捨てられる熱を、ガス吸収ヒートポンプで回収するシステムである。本システムは昭和57年に導入されたが、ガス吸収ヒートポンプの運転実績は、年間を通して $\text{cop}1.6\sim 1.8$ となっており、省エネルギーに大きく貢献している。

3.3 排熱利用システムの今後の課題

低温排熱利用システムは现阶段ではまだ実用化が始まったばかりであり、今後運転時間が長くなるにつれて、その経済効果や新たな問題点が明らかになってく

ると考えられるが、地域冷暖房システムに適用するための現時点で考えられる課題としては次のような事項がある。

- (1) 高効率ヒートポンプの開発
- (2) 経済的で、蓄熱効率の優れた、コンパクトな蓄熱方式の開発
- (3) 排熱回収部の材質やメンテ方法を含めた経済的な排熱源の回収方法の開発
- (4) 排熱源からセンタープラントまでの経済性を含めた排熱輸送方式の確立

以上のような課題に対し、各方面で積極的な技術開発を行っており、通産省工業技術院でも、昭和59年からムーンライト計画の大型省エネルギー技術開発として「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム」の研究開発に取り組んでいる。この計画は超高性能圧縮式ヒートポンプ及びケミカル蓄熱技術の開発と、これらを組合せたシステムの開発から成り立っている。超高性能圧縮式ヒートポンプは、高効率型と高温出力型の2タイプがあり、高効率型は $\text{cop}6\sim 8$ を目指し、高温出力型は低温排熱用でも約 150°C を目指している。ケミカル蓄熱は、従来の水蓄熱や氷蓄熱より蓄熱効率の高いもので、蓄熱槽容積の低減をねらっている⁷⁾。

4. 地域冷暖房のネットワーク化

これまで主として熱源システムについて述べてきたが、ここでは将来の展望として、地域冷暖房のネットワーク化についてふれてみることにする。地域冷暖房による熱供給地点は今後ますます増加すると考えられるが、供給エリアはセンタープラントスペースの制限により決まってくるので、特に都心のような場所では複数の地域冷暖房エリアが隣接することも考えられる。既に東京の千代田区、新宿区等では複数のエリアが隣接しはじめている。将来的にはこれらのエリアを配管で結び、よりグローバルな地域冷暖房システムの構築が目指されるであろう。このようなネットワーク化のメリットには、以下のような事項がある。

- (1) ネットワーク化によりバックアップ体制がとれ、より信頼性の高いシステムとなる。
- (2) 各プラントを群制御することにより、より一層の省力化が図れる。
- (3) ネットワーク化により、排熱を含めた最適なエネルギー源の選択ができ、一層の省エネルギー化が図れる。

当社では、平成元年7月に開業する西新宿一丁目地区で、2つの独立プラントを洞道内配管で結んだ、相互バックアップ型地冷を行う予定である。また新宿副都心地区では、ネットワーク化に必要不可欠と考えられる熱媒配管の活管分岐技術の実用化に成功している。もちろんネットワーク化の実現のために解決すべき問題は山積している。例えば、既存の地域冷暖房では多くの場合、地区毎に事業主体をはじめ、熱媒の種類、供給条件、料金等が異なっており、一朝一夕にはネットワーク化はできないであろうが、今後、地域冷暖房エリアの拡大とともにクローズアップされる問題であろう。

5. おわりに

本稿では、我が国における地域冷暖房の現状と今後の動向についてその概要を述べてきたが、地域冷暖房は建築、機械、配管、電気、計装、土木等の様々な技術要素を総合化したものであり、より経済的で省エネルギー性を有する地域冷暖房とするためには、これらの個々の技術開発が不可欠である。本論で述べたように、より一層の省エネルギー、省資源を目指して現在各方面で精力的な技術開発が行われており、これらの新技術が実用化される日も遠からず来るものと思われ、地域冷暖房はますますエネルギーの有効利用と快適な都市環境造りに大きく貢献することとなろう。今日、第二の波を迎えている地域冷暖房について、制度的な面も含めて各界で大いに議論し、地域冷暖房が真に都市に融合し、我が国のエネルギー政策の一翼を担う重要な社会資本のひとつとして発展していくことを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 荻本和男；燃料電池の開発状況、空気調和・衛生工学 Vol. 61, No. 2, 33-38 (1988)
- 2) 牧内靖幸；芝浦地区コミュニティ・エネルギー・システム、建設設備と配管工事 Vol. 26, No. 8, 103-109 (1988)
- 3) 辻野慎哉、小林正；大阪ガス(株)地域冷暖房プラント「千里エネルギーセンター」のガスタービンコージェネレーション、建築設備 Vol. 39, No. 9, 64-70 (1988)
- 4) 菊池謙一；新しい天然ガス利用技術としてのオンサイト型燃料電池、天然ガス Vol. 28, No. 6, 16-23 (1985)
- 5) 永井義一；品川八潮団地、建築設備と配管工事 Vol. 26, No. 8, 165-170 (1988)
- 6) 新川輝顕；地下鉄廃熱利用による地域熱供給事業、建築設備と配管工事 Vol. 26, No. 3, 60-62 (1988)
- 7) 志村武彦；スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム、電熱 No. 26, 30-34 (1986)
- 8) 熱供給事業に関する調査検討委員会報告書 (1988)、日本熱供給事業協会、日本地域冷暖房協会