

人と熱との関わりの足跡（その3）
 ー大阪万国博と札幌冬季五輪に駆動された我が国の地域熱・冷熱供給ー
Footprints of the relationship between humans and heat (Part 3)
-District Heating and Cooling Promoted by Osaka World Exposition and Sapporo Winter Olympic Game-

河村 洋（公立諏訪東京理科大学），白石 貞二（（株）北海道熱供給公社）
Hiroshi KAWAMURA (Suwa University of Science) and Teiji SHIRAISHI (Hoku Netsu Corporation)
e-mail: kawa@rs.sus.ac.jp

1. はじめに

第二次世界大戦後のとくに 1950 年代後半から 1970 年代初頭までは、我が国では実質経済成長率が平均的に年間 10%を超えた期間で、高度経済成長期とよばれている。この時期には、国の総力を挙げたいくつかの国家プロジェクトが推進された。1964 年の東京オリンピック大会とそれを目標に建設された東海道新幹線、1970 年に大阪で開催された日本万国博覧会（以下、大阪万博）、1972 年開催の札幌冬季オリンピック大会（以下、札幌五輪）である。一方この時代は、大気汚染などの公害問題が顕在化して、その対策が立てられ実施されるようになった時代でもあった。

筆者らの熱遺産委員会では、今年度の伝熱シンポジウムが札幌で開催されたので、北海道に題材をとり、札幌五輪を機に当時大気汚染になやまされていた札幌に青空を取り戻そうとして導入された地域熱供給を取り上げ、地元のご担当企業のご協力を得て、オーガナイズドセッションを開催して紹介することが出来た。本稿はこれを記事として紹介するものであるが、同時に札幌五輪に先駆けて開催された大阪万博を契機に、大阪万博には地域冷房が、千里中央地区には地域冷暖房が我が国で始めて導入された[1]ので、これにも言及して、我が国の地域熱・冷熱供給の黎明期を辿りたい（表 1）。

表 1 我が国の地域熱・冷熱供給の黎明期

年	月	事 項
1970	2	千里中央地区地域冷暖房供給開始
70	3	大阪万博会場地域冷房供給開始
70	3	大阪万博開催（～9月）
71	4	新宿新都心地区地域冷暖房供給開始
71	10	札幌市都心部地域暖房供給開始
72	2	札幌冬季オリンピック開催

なお、大阪と札幌のこれらの例以外にも、ほぼ同時期に新宿新都心の地域熱・冷熱供給があるが[1]、本稿では大阪万博と札幌五輪という二つの大きな国家プロジェクトに着目することと紙面の都合から、これには項目を挙げるだけとしたい。これらについては、尾島俊雄氏による解説書がある[2]。

世界的に見ると、商用の地域熱供給は、1870 年代にアメリカのロックポート（ニューヨーク）、ドイツのハンブルグで開始された[3]。しかし小規模な例としては、すでに 1330 年頃からフランスの山間の小さな街ショードゼーグ（Chaudes-Aigues 図 1）で温泉水を村の複数の建物に配って暖房に用いていたとの記録がある[3]。この町は標高約 800m にあり、1330 年はヨーロッパが小氷河期に入る時期であったから、そのような需要と工夫があったのだろうと思われる。

冷熱の地域供給については、大規模な地域冷房は、1960 年頃から米国のハンフォード、ドイツのハンブルグなどで開始された[3]。地域冷房にも小



図 1 現代の Chaudes-Aigues. 温泉水の泉の背景に地熱博物館の文字が見える。右下の放出温泉水は現在も約 80℃と紹介されている。（Auvergne 観光協会）

規模ではあるものの先行事例があり、1890年頃、ニューヨークなどの米国の都市で地域冷房が行われたようである[3]。このときの方式は、中央に一つの凝縮器をおき、蒸発器は需要先において加圧した冷媒を送るものであった。この方式では、配送する冷媒の温度が低温でなくてもよいので冷熱のロスが防げる。現在は採用されていないこの方式が利用されたのは、当時はまだ冷媒にアンモニアを使っていたであろうから、圧力を高くしなくてもよかったからではないかと言うのが、熱遺産委員の間での議論による結論であった。

2. 大阪万博における地域冷房

大阪万博は、1970年3月15日から9月13日まで、大阪府吹田市の千里丘陵で開催された。77カ国が参加し、約6,400万人が入場した。この会期には約3ヶ月の夏期が含まれたため、計画当初から会場に空調を行うことは絶対に必要と考えられていた[4]。その際、各展示館毎に空調設備を設置するよりも、会場内全域に空調用冷水を一元的に供給するほうが、敷地の有効利用となり、かつ分散する冷却塔からの騒音や熱風になやまされることもないことから有利であると考えられた。紆余曲折はあったが、1967年の末頃には、会場全域を対称に地域冷房を実施することが決定された[4]。

使用者に供給する冷水温度は6°C、最大負荷時の還水温度は14°Cと設定された。その結果、地域冷房の必要な冷却容量は、約35,000Rt（冷凍トン：1Rtは0°Cの1tの水を1日で同温度の氷にするのに必要な冷却能力）と推定されたが、蓄熱や同時使用率による節約から、実際に設置すべき冷凍機



図2 大阪万博当時の地域冷房東プラント。左後ろの円形の建物は日本館。左下の挿入は建設中の機器室。（出典：[6]）

等の機器総容量は30,000Rtと見積もられた[5]。この容量をどのように配置するかについてもいくつかの案が検討され、最終的には、北、東、南の3カ所のプラントに分散して供給する案が採用された[5]。図2は東プラントの外観と建設中の機器室である。

個別冷凍機の容量としては、経済性や会期後の利用のこと等を考慮して3,000Rtの大型の電動ターボ冷凍機に加えて、ガス利用の吸収式冷凍機とターボ冷凍機の組み合わせが開発された[5]。

建設に当たっては、送還水パイプ内への多量の土砂や竹根、溶接鉄片などの混入で、大変な苦勞があったと記録されている[7]。しかし関係者の努力によって開会式に間に合って運転が開始され、かつ会期中は小さなトラブルはあったものの、順調に稼働し、プラントの最大負荷率は83%、期間内の全プラントの期間平均負荷率は37%であった[7]。

会期終了後の施設は、当初の計画通り太陽の塔の他一部の施設を残して解体され、その跡地は現在は万博記念公園となっている（図3）。



図3 現在の大阪万博跡地。太陽の塔を中心とする記念公園になっており、手前に高速道路やモノレールが走る。

機器のうち東プラントの機器は、並行して建設中であった千里中央エネルギーセンター（次節参照）に移設された。そのほか3,000Rtの大型冷凍機のうち一基は新東京国際空港で、もう一基は新宿副都心の地域冷暖房施設で利用された[8]。このように、大阪万博の地域冷房は、我が国の地域熱供給のスタートに大きな足跡を残した。

3. 千里中央地区センター地域冷暖房

大阪の北部に広がる広大な千里丘陵に、住宅や公共施設と交通機関を総合的に計画して建設する

大規模開発が、1960年の初め頃から大阪府によって進められた。

そのなかで千里中央地区には、各種の公共・商業・文化施設やオフィスビル、地下鉄駅が集中的に配置され、この地域の中核となるべく計画された。そのため、新しい街として快適さを増し、かつ当時大きな問題となっていた大気汚染防止対策もあって、千里中央地区に地域冷暖房が導入されることが決定された。建設と完成後の運営は、関西の主要エネルギー企業の一つである大阪ガス(株)が中心となることとなった[9]。



図4 開業後7年頃の千里中央地区。矢印はエネルギーセンター(出典[10])

図4は、地域冷暖房の供給が開始されて7年後頃の千里中央地区の航空写真である。図上で左右に走る道路が中国自動車道、それに直角に交差するのが新幹線の新大阪駅から北に延びる道路(新御堂筋線)である。冷・高温水は、左側の矢印のエネルギーセンターから、この交差部分の右上の一角のビル群とそのさらに右側の数棟の高層住宅に供給されている。

冷水と高温水の標準温度条件は、プラント側の出入り口で、冷水出口(6°C)、戻り(13°C)、高温

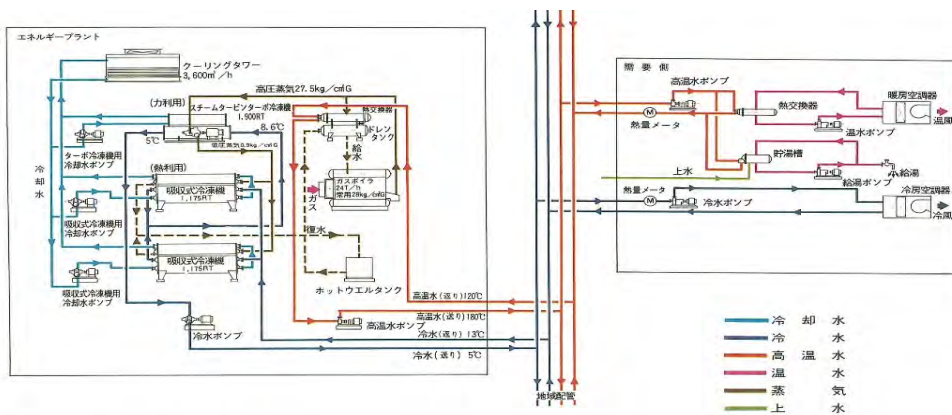


図5 千里中央地区における冷・高温水の供給チャート(供給開始時)[6]

水出口(175°C)、戻り(120°C)と設定された。本稿では、3例の地域熱・冷熱供給を取り上げているが、大阪万博が冷熱、札幌都心が温熱の専用(当時)であるのに対し、この例は冷熱と温熱をともに供給する点に特徴があるので、そのエネルギーフローを図5に示す。都市ガスの燃焼で発生させた高圧蒸気は、一部は高温水用の熱交換器に供給され高温水を供給し、残りの一部は背圧蒸気タービンを介してターボ冷凍機を駆動する。タービンからの低圧蒸気は吸収式冷凍機の再生器に供給されて冷媒から水蒸気を蒸発させる熱源となる。利用者からの冷熱系の還水は、ここ吸収式冷凍機で冷却された後ターボ冷凍機で供給温度まで冷却される。



図6 左:大阪万博から移設されたボイラー。右:専用溝に敷設された開業当初からの高温水用(赤)及び冷水用(青)導管。

設備容量は1970年2月の運転開始時には冷熱53.7GJ/h、温熱54.2GJ/hであったが、大阪万博終了の翌年には、東プラント(図2)の設備が予定通り移設され、冷熱、温熱共に上記の3倍の容量となった[9]。移設された設備のうち、2基のボイラーは現在も一基は昇温待機用、一基は予備として使用されている。図6は、大阪万博の東プラントから移設されたボイラーと専用溝内に配置された

操作開始当初からの高温水及び冷水供給配管の現状の写真である。現在の設備容量は、顧客の増加により冷熱242GJ/h、温熱337GJ/hとなっており、時代の変化に対応して、コージェネによる発電も実施している。

4. 札幌都心部地域熱供給

4.1 札幌の急速な都市化と大気汚染

1972年、アジア初となる冬季オリンピックが札幌で開催された。現在も市内のあちこちには五輪のマークなどの面影が残っており、札幌市民の誇りになっている（図7）。しかしながら、その開催に至るまでには、急速に都市化が進んだ札幌の特殊性が招いた困難な状況と、それを何とか克服しようとした努力があった。



図7 現在の宮ノ森ジャンプ競技場
（著者 S.T.撮影）。

今年（2018年）は、1869年に北海道開拓史が置かれて以来150年目となる節目の年である。この間に札幌市は急速な発展を遂げ、1965年には人口約80万人を擁する全国第9位の都市となり、産業、経済の伸展とともに急速に発展、膨張を遂げた。一方で、冬の寒さの厳しい北海道では、暖房は生活に欠かせないもので、急速に発展した札幌では、都心部に高層ビルが林立するようになると、暖房設備から排出される煤煙や有害ガスによる大気汚染が深刻な問題となっていった[11]。大気汚染は年々激しくなり、特に都心部においては、厳寒期の朝や夕方気温の逆転層が発生する時などは煤煙が街路上まで低くたれこめて、自動車はヘッドライトをつけて徐行しなければならないほど事態は著しく深刻化していった（図8）。

札幌の大気汚染の特徴は、工業地域のように特定の汚染源をもつものとは異なり、ビルのボイラーから家庭用のストーブに至るまで多様な燃焼施設が原因となっており、これに対処する方法として、地域暖房方式が極めて有効であると考えられた[12]。

そのため札幌市では、1964年7月、地域暖房が都心部の大気汚染防止対策の切り札であると考え、札幌市公害対策審議会（現札幌市環境審議会）に

諮問して、北海道大学工学部の齊藤武教授（日本伝熱学会10代会長、後に北海道熱供給公社取締役相談役）ら四氏による地域暖房技術小委員会を設けて、2ヶ年にわたって調査研究を実施した。その結果は1966年（昭和41年）7月に「札幌市中央区地域暖房計画」と題する地域暖房実施具体案として答申され、これがその後の札幌都心部地域暖房計画の基本となった。



図8 大気汚染の進行した札幌市街地
（写真：札幌市公文書館所蔵）

ちょうどこの1966年の4月には、札幌が1972年の冬季オリンピック開催地に決定した。札幌市民の喜びも大きく、6年後のオリンピックに向けて「青空のもとに純白の雪で冬季オリンピックを」がスローガンとなっていった[13]。

4.2 札幌都心部地域暖房施設の建設

この計画の実施にあたっての大きな課題の一つは熱需要先の開拓であった。本稿で扱っている他の2例（2と3節）が新規の開発計画に地域熱供給を導入するものであったのに対し、本例は既設の市街地に導入するものであったから、需要先にとっては設備の一部の切り替えが必要あり、これを考慮しての顧客開拓が必要であった。そこで地域暖房計画の供給区域内のビル所有者の理解と協力を得るため、度々説明会が催され、地域暖房の経済的利益や種々の利便性等について説明を行い、加入の促進が図られた。

もう一つの課題は建設資金の確保であった。必要資金の当初見積もりは約42億円であったが、先行的投資額が大きく事業の収支採算がとれるまで相当年数を要することから、札幌市、北海道、地元金融機関、関係企業等からの出資や公害防止事業団（当時）からの融資の見通しによって、1968年に建設と運営を担う（株）北海道熱供給公社が設立されるに至った。

つづいて1969年6月、中央エネルギーセンターの起工式が執り行われた。関係者は、札幌オリンピック開催前年（1971年）の初冬から供給を開始することを至上命令としてその決意を固めた。建設の様子を図9に示す。以下に述べるとおり、操業開始時は燃料として石炭が採用されたため、高い煙突（90m）が建設された。

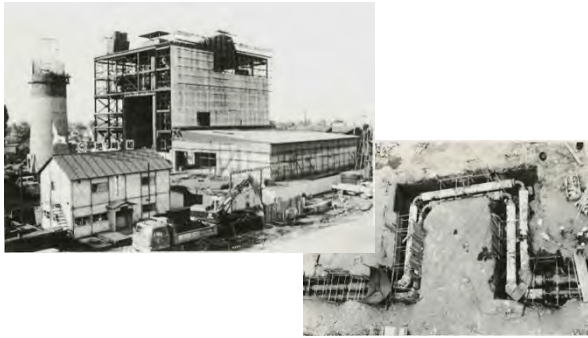


図9 建設の様子。左：中央エネルギーセンター（左に見えるのは建設中の煙突）右下：熱膨張吸収のためのU型ループ管埋設工事[15]。

第一期計画の熱供給地域を図10に示す。右上のハッチ部分が高温水を供給する中央エネルギーセンターで、高温水の条件は供給温度220℃、標準戻り温度140℃、供給量209GJ/h（50Gcal/h）と計画された[12]。

燃料の候補には、石炭と重油が検討された。両者を比較すると設備費や燃焼装置の自動化などの面では重油の方に利点が多かったが、石炭の方が燃料費が安く、かつ北海道の産炭地振興もあって、開業時点では石炭が採用された[14]。石炭の燃焼方式は、負荷変動にできる限り迅速に対応出来るように、石炭投入を散布式とした逆走式のストー

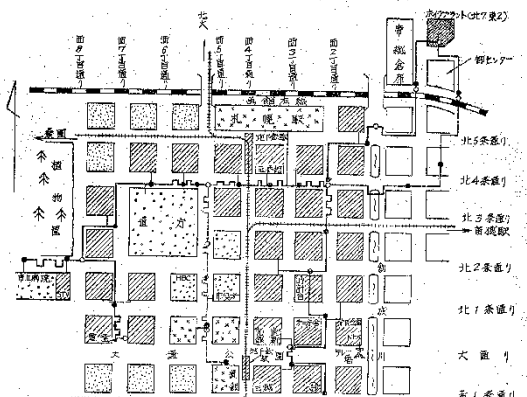


図10 札幌都心部熱供給計画範囲：右上の濃い斜線部：エネルギーセンター，その他の斜線部：第1期，○，×印：第2,3期計画[12]。

カーが採用された。しかしこの運転には非常に熟練を要したと、当時の運転担当者は述懐しておられる[16]。操業開始当初のこの石炭散布投入式ボイラーは、現在では稼働はしていないが現存している（図11）。なおその後、時代と共に燃料は灯油、プロパンガス、天然ガス、木質バイオマス等に変更されて来ている[14]。

4.3 熱供給の開始とその後の経緯

中央エネルギーセンターは、計画通り1971年10月から熱供給を開始した。しかしその立ち上がりは必ずしも順調ではなかった。というのは、操業開始当初は煙突から黒い煤煙が排出され、市民や報道から公害対策になっていないのではないかという批判が多くあがったからである[17]。この原因は、営業開始当初は需要先も少なくかつ季節的にもまだ初冬であったため不完全燃焼にならざるを得ず、そのため黒い煤煙が煙突から放出されることがあったからである。しかし時間の経過と共に気温が下がり需要も増えたため、負荷が増加して燃焼条件が改善し、従来ならスモッグが発生する条件下でも青空が戻ってきたとの報道もされるようになった[17]。その後も札幌の空は急速に浄化され、札幌オリンピックは青空と純白の雪の中で無事成功裏に開催された。

最近の傾向としては、燃料もガス、灯油また一部に木質バイオマスと多様化しており、また札幌においても夏冬ともに冷熱の供給が必要となり、さらにはコジェネを核とした熱電併給型のプラントも相次いで稼働させて、現在では5プラント体制となっている。



図11 左：中央エネルギーセンターと煙突（稼働中）、右：操業開始当時の石炭燃焼ボイラー（現在は稼働していない）。

5. おわりに

我が国の地域熱・冷熱供給はその後順調に発展し、全国の一定規模以上の供給地点と事業社数は、

1972年には11地点、8社であったが、2014年には140地点、78社に達している[18]。しかしより詳細に見ると、地点数、事業者数共に2001~2003年頃にピークに達し、その後は緩やかに減少している。

この原因は、近年ではCO₂削減の観点から電力を中心に置くエネルギー施策が展開されてきたこと、供給区域内にある事業所でも法的には熱供給加入は義務付けられていないこと、技術的には天然ガスの普及、コージェネやヒートポンプの活用等による施設毎の個別空調技術が進歩してきたこと、需要家のニーズも多様化していること等にあると言われている[19,20]。

他方、地域熱供給の方式も多様化・高効率化しており、電力とのコージェネやヒートポンプの活用は言うまでもなく、熱源も地中熱、河川熱、海水熱、雪氷熱などの再生可能な低温・定温熱源に拡がっている[21]。

最近では気温の最高温度記録更新に見られる暑熱気象や集中豪雨の発生など、地球温暖化がもたらす「極端気象」が頻発しており、環境に配慮した地域熱・冷熱供給の重要性は一層増大している。他方IT技術の進歩と共に、いわゆるITを活用したスマートシティの構想が、電力を軸に盛んになりつつある。しかし現状では電力の置かれる状況が変化し、これを主軸にCO₂削減を図ることは当初計画より困難になってきている。したがって、電力のみならず熱・冷熱の供給・循環及び、電力に比して有利なエネルギー貯蔵（蓄熱）特性を積極的に活用する等、より総合的なスマートエネルギーネットワークの重要性が増してきているといえる。

本稿は本文中にも記したように、札幌で開催された第55回日本伝熱シンポジウムにおけるオーガナイズドセッション「人と熱との関わりの足跡」を契機として、著者の一人（S.T.）が行った講演の論文[22]に、第一著者（K.H.）が平尾勝彦氏（OGCTS（株））のご協力を得て大阪万博と千里中央地区の部分を加筆して全体をとりまとめたもので、全体の文責は（K.H.）にある。

調査の過程においては、千里中央地区では、熱供給に当たっておられる（株）OGCTSの熱供給事業部千里エネルギーセンター所長咲花尚氏、同企画管理チームマネージャー平尾勝彦氏にご説明や資料のご提供などに大変お世話になった。また、札幌市の中央エネルギーセンターの訪問において

は、（株）北海道熱供給公社の茂木宜幸氏、小林幹夫氏から開業当時のご経験を伺うことができた。記して感謝する。

参考文献

- [1] 地域冷暖房, Vol.76, 社団法人創立10周年記念号, 日本地域冷暖房協会, (2003).
- [2] 尾島俊雄, 地域冷暖房, 早稲田大学出版部, (1994), pp.1-46.
- [3] Werner, S. International review of district heating and cooling, *Energy*, 137, (2017), pp.617-631.
- [4] 宮田敏雄, 地域冷房, 日本万国博覧会公式記録, 資料集別冊L, (1971), pp.1-3.
- [5] 尾島俊雄, [4]の pp.4-20.
- [6] 千里中央地区センターの地域冷暖房, 大阪瓦斯株式会社, (1970).
- [7] 万博冷房冷水供給共同企業体, [4]の pp.62-65.
- [8] 尾島俊雄, 空気調和・衛生工学, 16-7, (1972), p.6.
- [9] 千里中央地区の地域冷暖房のあゆみ, 大阪ガス, (1975).
- [10] 千里中央地区センターの地域冷暖房, 大阪ガス, (1978).
- [11] 札幌市衛生局, 札幌の公害, (1970), p.7.
- [12] 札幌市都心部地域暖房計画概要, 札幌市, (1969).
- [13] 武谷愿, 北海道の大気汚染都市公害, 燃料協会誌, 45-12, (1966), p.823.
- [14] 北海道熱供給公社, [1]の p.37.
- [15] 10年のあゆみ, (株)北海道熱供給公社, (1978).
- [16] 茂木宜幸氏談, ボイラ研究, No.316, (2002), pp.37-41.
- [17] 読売新聞北海道版, 1971/10/23, 同 1971/11/29.
- [18] 熱供給の現状について, ガスシステム改革小委員会 9/24, (資料6), 経済産業省, (2014).
- [19] 熱供給システム改革に向けて, ガスシステム改革小委員会 9/24, (資料8), 経済産業省, (2014).
- [20] 尾島俊雄, 小澤一郎, 熱供給, Vol.85, (2013), pp.3-9.
- [21] 日本熱供給事業協会, 熱供給事業便覧, (2018), pp.6-7.
- [22] 白石貞二, 第55回日本伝熱シンポジウム講演論文集, CD-ROM, E234, (2018).