

16. 積雪寒冷都市における広域熱供給システム導入のための 課題と環境負荷抑制効果に関する研究

STUDY ON THE PROBLEMS IN THE INTRODUCTION OF A WIDE AREA DISTRICT HEATING SYSTEM
TO COLD-CLIMATE CITIES AND THE EFFECTS ON ENVIRONMENTAL LOAD CONTROL

古道宣行^{*} , 藤原陽三^{**} , 落藤 澄^{***} , 佐藤馨一^{****}
Nobuyuki FURUMICHI, Youzou FUJIWARA, Kiyosi OCHIFUJI, Keiichi SATOH

ABSTRACT; In order to formulate a pleasant and safe urban life style in cold, snowy cities, Hokkaido is called upon to create a new type of northern city and develop a living environment based on an understanding of energy economy and global environmental problems.

Therefore, it is thought that developing a method of district heating over a wide area, based on utilizing combined heat/power generation plants as a main source of heat with high energy efficiency and effective environmental load control and other unused energy sources, would be effective in creating a comfortable urban life style and solve traffic, energy and environmental problems due to snow and cold in northern cities.

This study clarified the problems in the development of the system in the cities of Hokkaido and concurrently examined its effect on economizing energy and reducing environmental load.

KEYWORDS; Wide area district heating system, combined heat/power generation, environmental load control

1. 新しいエネルギーシステム

1.1 研究の目的と基本スタンス

北海道の冬季間における社会活動や日常生活は、雪や寒さにより様々な支障が生じており、省エネルギー、地球環境問題等を踏まえた、これからの新しい北国の都市及び生活環境の整備方策が求められている。

本研究は、北国の都市づくりとそれを支えるエネルギーシステムの構築を目指して、北海道における産・学・官の関係機関により設立された「都市高度化推進調査会」（会長；有江幹男 元・北海道大学長、事務局；はまなす財団）が、長期的視点に立って調査・研究した結果を報告するものである。

本研究では、雪と寒さに強い都市環境の整備とこれを支える都市の地下空間を利用した熱エネルギーシステムのあり方を明らかにすることを目的としたものであり、エネルギーの有効利用の観点から都市内もしくは都市周辺部に発電施設が設置されることを前提とし、発電の際に生ずる排熱を熱エネルギー源として活用し、都市環境の整備に導入していくことを目的としたものである。従って、「何らかの発電施設が設置される」ことが調査の前提になっており、発電施設の立地や電気供給方式については、本研究では扱わない。

さらに、都市全体に熱エネルギーシステムを展開するとともに、融雪や都市アメニティの向上に熱エネルギーを幅広く利用することを狙いとしているため、道路地下空間を有効利用した広域的な熱供給ネットワー

^{*};はまなす財団 Hamanas Foundation, ^{**};藤原環境科学研究所 Fujiwara Environmental Science Institute, ^{***};北海道大学大学院工学研究科人間環境計画学 Lab. of Human Environment Eng., Graduate school of Eng., Hokkaido Univ., ^{****};北海道大学大学院工学研究科交通システム工学 Lab. of Transportation system, Graduate school of Eng., Hokkaido Univ.

クシステムの形成が不可欠である。

このため、熱源システムも広域的なシステムに適した方法が必要となり、冬季間における都市問題、環境問題及びエネルギー問題等を一体的、総合的、広域的に捉えることを本研究の基本条件として検討を進める。

1.2 新しい都市づくりの方向性

北海道におけるこれからの都市づくりに当たっては、冬でも快適な生活ができるアメニティの高い都市環境、生活環境の形成と省エネルギー、環境負荷の抑制という相互に対立する三つの課題を一体的に捉え、個別対策の領域を超えた総合的な都市政策のもとで、図-1に示すように相対立する課題を調和的に解決していく都市づくりの発想、手法に切り換えていくことが求められている。

1.3 これからの都市整備

これまで都市問題、エネルギー問題は、それぞれの個別領域ごとに問題解決のアプローチがなされてきた。しかし、これからは個別領域を超えた総合的な観点から都市づくりを行う必要性が求められており、北海道の各都市に地球環境時代にふさわしい熱エネルギー供給システムを導入することにより、暖房、給湯、雪対策など、北国の都市が抱える課題の一体的、総合的解決を目指すものである。

ここでは、積雪寒冷地にある都市の「都市機能の低下」、「エネルギー問題」、「防災対策の遅れ」について、幾つかの問題点とこれからの整備方向について図-2に整理した。これらの問題点は積雪寒冷都市のマイナ

スイメージを形成する要因となっており、また、安全で快適な都市生活を営む上で優先的に解決しなければならない問題である。

2. 札幌・石狩圏をモデルとする検討

本研究の最終目標は対象地域全体を網羅する熱エネルギーシステムの確立であるが、経済性や実現性の観点から考えると、人口密集地域やエネルギー利用頻度の高い地域がまず対象となる。したがって、札幌・石狩圏をモデルとする広域熱エネルギー供給システムのケーススタディを行うにあたっては、石狩（花川）、麻生、美香保、札幌中央（都心）、琴似、白石、平岸の7地域を選定し、1地域の熱需要範囲を1.5km～

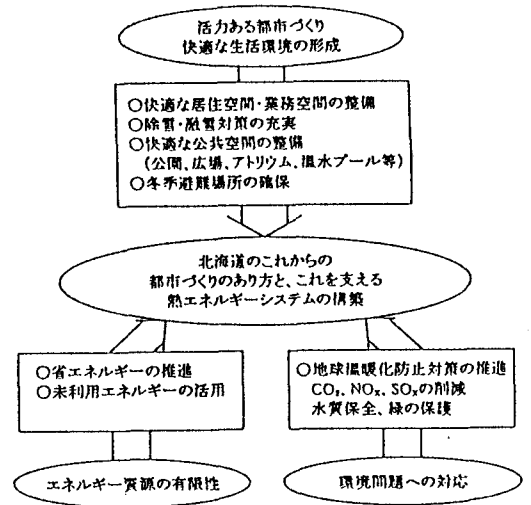


図-1 基本コンセプト

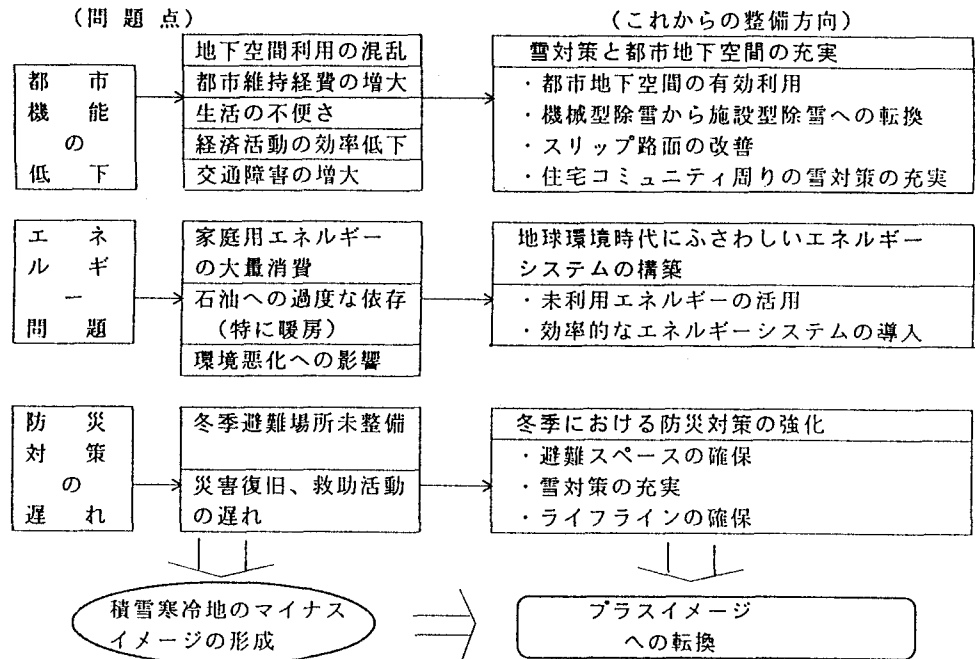


図-2 北海道の冬季の問題点と整備方向

2.0kmエリアとして、①考えられるシステム、②概算事業費、③熱供給コスト、④省エネルギー効果、⑤二酸化炭素排出量削減効果等について検討を加えた。

2.1 モデルの選定

広域熱供給システムとしては、①主力熱源を熱電併給発電とする「集中型」、②中小規模のコージェネレーションによる「分散型」、③「集中型」と「分散型」を組み合わせた複合型、が考えられる。本研究のケーススタディでは、表－1に示すように「集中型」と「分散型」を採用し、ともに補助熱源として下水処理場や清掃工場から発生する排熱をベース熱源として加え、熱エネルギーは表－2に示す各種施設へ供給する。

これにより、札幌都心部では、歩・車道の広い範囲にヒーティングを施し、雪や凍結から開放された都心ゾーンを形成するとともに、その他の地区においても幹線道路のヒーティング設備の整備やコミュニティゾーンについても排雪、融雪施設を設置し、冬季における市民の生活環境を大幅に改善することとした。

表－1 基幹熱源の規模、立地位置及び熱輸送方式

区 分	プラント方式	出力規模	立地位置
集中型	大型熱併給発電方式	3 0 万kW (35万kW×2)	石狩湾新港地区に 設置するものとする。
	熱輸送媒体は、温水式		
分散型	中小規模のコージェネ レーションプラント 方式	1 万kW ～ 1 6 万kW	各供給エリア内に 設置するものとする。
	熱輸送媒体は、蒸気式		

表－2 需要先への供給内容の想定

需 要 先	供 給 内 容
家庭用暖房、給湯用エネルギー	加入率 30%
業務用暖房、冷房、給湯用エネルギー	加入率 50%
融雪用エネルギー	ロードヒーティング、融雪槽、公園等
都市施設用エネルギー	アトリウム、プール、ドーム等

2.2 概算事業費と熱供給コスト

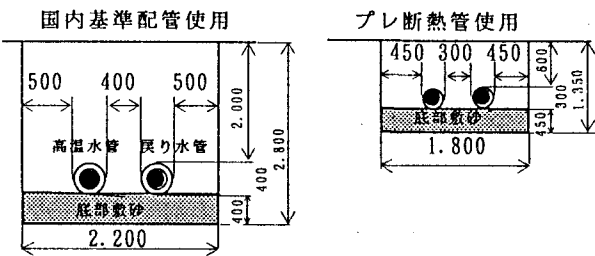
本システムを導入した場合の概算事業費および熱供給コストについて、集中型及び分散型をそれぞれ試算したが、ここでは集中型の試算結果について説明する。

(A) パイプラインのコスト比較

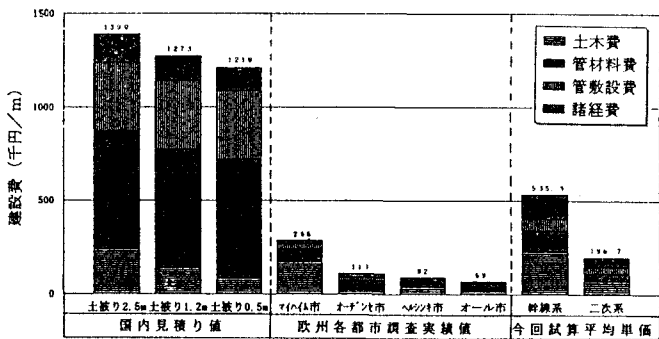
熱供給のためのパイプライン敷設コストは、埋設位置、埋設深度、配管材料及び施工方法に大きく左右されるため、コスト構成要因の分析を行い、検討した結果、地域熱供給の先進地である北欧で一般的に使用している「プレ断熱加工管」を利用し、図－3に示すように道路地下空間への埋設深さを浅くすることにより、管材経費及び敷設コストの削減を図った。パイプライン敷設に関する工事費について欧州各都市との比較を図－4に示す。

(B) 概算事業費

現行の国内基準、法制度適用による第1次試算の概算事業費は、表－3に示すようにパイプラインに要する経費が全体の約80%近くを占めていることが明らかとなった。このため、「プレ断熱加工管」の利用による管材経費及び敷設コスト削減のほか、サブステーションの簡素化、建設資金の借入金利に公的助成制度を導入（4.5%を3.5%とした）するなどのコスト削減策を講じた。その結果、第2次試算による概算事業費は、表－4に示すように第1次試算に比べて約4割減の2,289億円と試算された。



図－3 パイプライン埋設比較



図－4 熱供給管工事費比較

(C) 熱供給価格

本システムを導入した場合、第2次試算による平均熱販売価格は13円30銭/Mcalという結果が得られた。この試算価格は、

現行の札幌都市部における熱供給事業者の平均熱販売価格13円81銭/Mcalを若干下回る価格である。

今回、検討の対象としたシステムは、これまでの暖房システムを大幅に変更するもので、しかも、都市の様々な熱需要に対して多面的に対応できる大がかりなシステムであるにもかかわらず、現行の地域熱供給価格を下回る試算結果が得られたことは、このシステムが効率性に富み、事業面からも十分成立の可能性があるものと考えられる。

しかしながら、現行の地域熱供給事業は石油等の暖房手段に比べて割高感があり、これが普及拡大のネックになっている。今後、このシステムの事業化を本格的に検討するにあたっては、図-5に示すように現行の平均熱販売価格を更に3割程度下回る、10円/Mcal程度を供給目標価格とし、受け入れ易い熱エネルギー価格とする必要があり、特に事業面、技術面からの徹底した調査・研究が必要である。

3. 省エネルギー効果と環境負荷削減効果

本研究で設定した熱供給発電所を主体とする集中型システムと、従来からの電力供給形態と建物個別に燃料等を使用して暖冷房給湯を行う従来型システムとを比較し、集中型の省エネルギー効果及び環境負荷削減効果について検討する。

民生用熱需要は札幌・石狩圏モデルとし、平成3・4年に実施された都市計画基礎調査の建物用途別延床面積に、札幌市における実績値等から設定した暖冷房給湯年間エネルギー消費原単位を乗じて求めた。また、融雪用熱需要については、札幌・石狩圏で融雪が必要と思われる交差点、幹線道路、融雪槽などを具体的に地図上に設定し、箇所数を拾い出して熱需要を算出した。

用途別の年間熱需要は、表-5に示すように、民生用温熱1,359Tcal/年、冷熱197Tcal/年、融雪需要319Tcal/年となった。民生用熱需要の温熱量は、札幌・石狩圏全体の約14%、冷熱は約30%の値となっている。

3.1 システム比較のための条件設定

(A) システム設定

集中型と従来型システムの概略フローを図-6及び7に、比較に使用した各機器の効率等を表-6に示す。

(1) 集中型システムの概要

集中型システムは、熱供給発電所を主たる熱源とし、これを補完し、かつ、ベース負荷を担う熱源として未利用エネルギーであるごみ清掃工場排熱と下水処理場排熱を利用するシステムとした。熱供給発電所の規

表-3 第1次試算概算事業費内訳

主要施設	建設費(億円)	構成比(%)
幹線配管	1,053.0	27.5
地域配管	2,128.8	55.6
計	3,181.8	83.1
熱交換施設	606.5	15.8
ポンプステーション	43.4	1.1
計	649.9	16.9
合計	3,831.7	100.0

表-4 第2次試算概算事業費内訳

主要施設	建設費(億円)	構成比(%)
幹線配管	544.9	23.8
地域配管	1,224.4	53.5
計	1,769.3	77.3
熱交換施設	485.2	21.2
ポンプステーション	34.7	1.5
計	519.9	22.7
合計	2,289.2	100.0

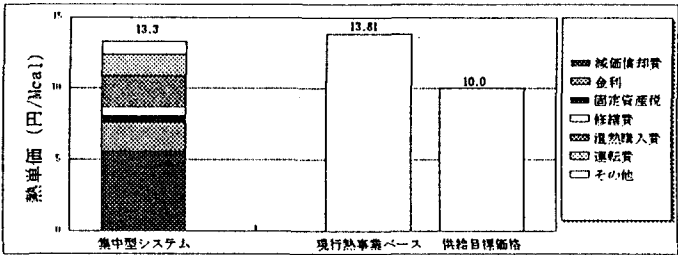


図-5 熱供給価格試算結果の比較

表-5 システム全体の年間熱需要内訳

民生用		融雪用熱需要	備考
温熱 [Tcal/年]	冷熱 [Tcal/年]	[Tcal/年]	
1,359	197	319	使用用途については表-2参照

模は70万kWとし、効率等に関しては、わが国における実績がないため、ドイツの熱併給発電所の稼働実績を用い、年間発電効率30%、年間熱発生効率40%、年間総合効率70%と設定した。

サブステーションへ熱を供給する一次側ネットワークの供給温水は、海外で実績の多い安価なプレ断熱加工管が使用可能な140℃と設定した。このため、サブステーションでの冷熱生産には、単効用吸収式冷凍機を使用するものとし、効率は65%とした。

未利用エネルギー熱源であるごみ清掃工場排熱は温度が高く一次側ネットワークへの接続が可能であるが、下水処理場排熱はヒートポンプ利用が基本となるため高い温度での供給が難しい。このため、ごみ清掃工場排熱は一次側ネットワークへ接続し、下水排熱は、システムのなかで最も温度の低いサブプラント二次側ネットワーク返り温水システムの加熱に利用するものとした。ただし、負荷カーブ等の詳細な検討を行っていないため未利用エネルギー利用量が確定できないこと、また、省エネルギー効果及び環境負荷削減効果算定上、従来方式に有利となると考えられることから、省エネルギー効果及び環境負荷削減効果の算定には未利用エネルギーの利用は考慮しないこととする。

(2) 従来型システムの概要

従来型システムは、全て個別に冷暖房給湯及び一般電力系統からの電力供給を行うシステムとした。個別建物における温熱はボイラで生産するものとし、ボイラの年間効率率は75%と設定した。冷熱はボイラからの高圧蒸気を熱源とする、二重効用吸収式冷凍機を使用するものとし、効率は100%とした。

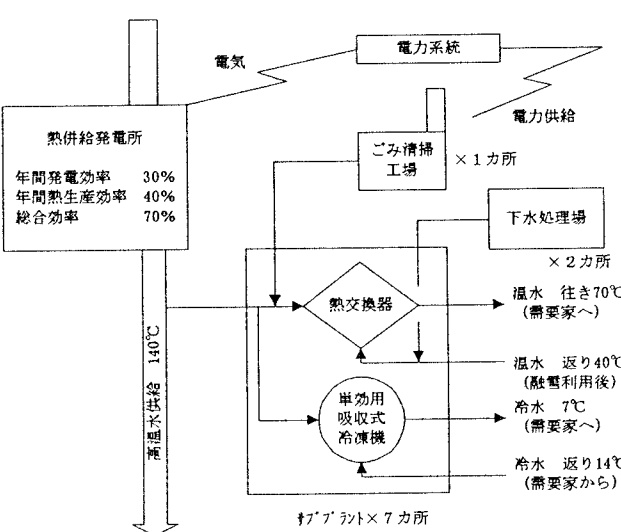
また、電力系統については、集中型との比較のため、大規模火力発電所を想定しており、発電効率は38%と設定した。

(B) システム比較のための条件設定

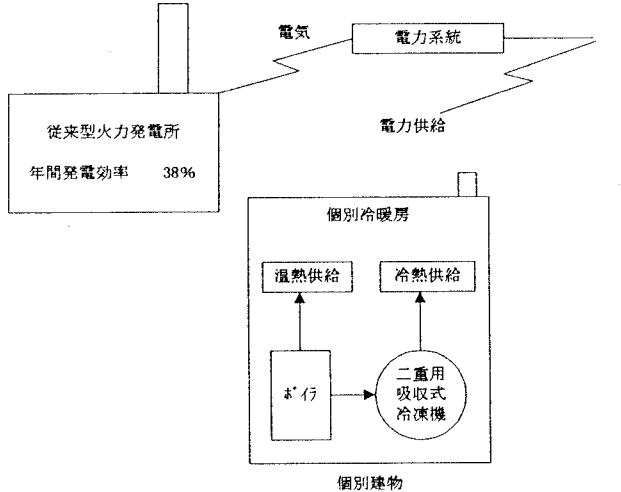
両システムの比較は、冷熱・温熱生産及び熱併給発電所で発電された電力量も含めた投入エネルギー量と、それから発生する二酸化炭素排出量によって評価を行う。また、火力発電所の燃料は石炭とし、従来型システムの個別建物で使用する燃料は灯油とした。

3.2 省エネルギー効果

集中型と従来型の投入エネルギー量は表－7に示すように、従来型が約6,740Gcal/年、集中型が約5,830Gcal/年と推計され、集中型は従来型の約87%の値となっており、1割以上の省エネルギー効果が得られた。これより、集中型システムの導入が投入エネルギー削減に有効であると考えられる。また、ここでのエネルギー削減量 910Gcal/年は、灯油約10万klに相当し、札幌市の1995年時点の一世帯当たりの灯油消費量が約



図－6 集中型システム概略フロー



図－7 従来型システム概略フロー

表－6 システム比較に使用した機器効率

機器名称	機器効率
熱併給発電所 (独国・熱併給発電所実績 値を参考に設定)	年間発電効率 30% 年間熱発生効率 40% 年間総合効率 70%
従来型火力発電所	発電効率 38%
熱交換器	100%
ボイラ	年間効率 75%
単効用吸収式冷凍機	65%
二重効用吸収式冷凍機	100%

1,300 㔩/世帯・年であることから、市の総世帯数の約11%に当たる7万8千世帯の灯油消費量に相当するエネルギー量が削減されたと考えられる。

一方、仮に、冷熱を比較対象とせず、温熱と電力生産のみの試算を行った場合、集中型の方が従来型に対し3割近い省エネルギー効果が得られる。これは、集中型システムにおいて、エネルギー効率の劣る単効用吸収式冷凍機を使用しているためであり、集中型における冷熱生産システムについては、今後さらに検討が必要であると考えられる。

3.3 環境負荷削減効果

集中型と従来型の二酸化炭素排出量は表-7に示すように、従来型が約64万5千tC/年（炭素換算㔩）、集中型が約58万8千tC/年と推計され、集中型は従来型の91%の値となっており、おおよそ1割の環境負荷削減効果が得られた。これより、集中型システムの導入が環境負荷削減にも有効であるといえる。二酸化炭素排出削減量5万7千tC/年は、札幌市の1995年時点の一世帯当たりの灯油消費による二酸化炭素排出量が約770 kgC/年であることから、市の総世帯数の約1割に当たる7万4千世帯の排出量に相当する。

また、ここでも冷熱生産を対象とせず、温熱と電力生産だけについて二酸化炭素排出量を見ると、集中型は従来型の20%強の二酸化炭素排出量削減効果が得られることから、環境負荷削減の観点からも集中型における冷熱生産システムの検討が必要であると考えられる。

表-7 省エネルギー効果及び環境負荷削減効果

方式名等	投入エネルギー-熱量換算値		環境負荷	
	熱量換算値	従来型100とした場合の比	二酸化炭素排出量	従来型100とした場合の比
従来型	6,740 Gcal/年	100	645 千 t c	100
集中型	5,830 Gcal/年	87	588 千 t c	91
削減量	910 Gcal/年	13	57 千 t c	9
備 考	投入エネルギーの削減量は灯油約10万klに当たり。札幌市の1995年時点の約7万8千世帯の灯油消費量に相当すると考えられる。		二酸化炭素排出削減量は、札幌市の1995年時点の世帯数の約1割に当たる約7万1千世帯の二酸化炭素排出量に相当すると考えられる。	

4. あとがき

今後、本研究結果で示した広域熱供給システムを21世紀の北海道における各都市のあり方として位置付け、具体的に実現化していくためには、

- ①広域熱供給システムを積雪寒冷都市において不可欠な社会基盤として、エネルギー政策、都市整備政策の中に位置付けること。
 - ②公共事業と連携したネットワークの形成やパイプラインの敷設についての公的支援の強化、敷設条件に関する規制緩和などパイプラインコストの低減策の究明を図ること。
 - ③市民の理解と協力のもと、産・学・官が連携した専門的、技術的な調査および実施体制を確立すること。
- などの課題が残されており、この点に関して今後、関係機関と調整を進めていくこととしている。

本構想は、積雪寒冷地が抱えている都市環境、生活環境の整備に大きく貢献できるシステムであり、これからの北方型都市整備にふさわしいシステムであると考えられる。

また、今回の試算結果によると、幾つかの仮定が入っているが、本構想は事業面で現行の地域熱供給事業に対抗できる価格競争力を持ち、かつ、省エネルギーの推進、地域における環境負荷の削減に大きく寄与することが明らかになった。

しかしながら、本研究の実現には未だ多くの課題が残されており、今後も引き続き検討していく予定である。