

積雪寒冷都市における熱需給ネットワーク計画のための創発システム*

An Emergent System for the Heating Network Planning in a Snowy Cold City

加賀屋 誠 **・高野 伸 栄 ***・佐藤 馨 ****

By Seiichi KAGAYA, Shin-ei TAKANO & Keiichi SATOH

1. はじめに

北海道・東北の日本海側を中心とした地域は他国に例をみない積雪寒冷地域を持っている。その地域に居住する人口も多く、札幌市のような180万人に近づく大都市も存在している。それらの地域での人々の生活環境レベル向上により、冬季間も快適に過ごす欲求が増してきている。それが熱需要の一層の増加となり、石油を中心とした化石燃料の消費増となっている。

一方、冬季における交通渋滞や、冬型事故の増加は主要幹線交差点や歩道等の路面凍結を防止対策を急がせている。これも資源エネルギーの消費増となる。

したがって、これらの問題を解決できる新しい熱供給システムを中心とした都市整備の方向性を考える必要がある。

ここでは、積雪寒冷都市における地域熱供給システムを都市および交通の環境改善という視点から評価を行うことを目的とするものである。

2. 寒冷地都市整備の問題点

ここで考える寒冷地都市での冬季における快適な都市機能の実現のためには次のような問題点を解決する必要がある。

- ①増加する雪処理量：雪捨て場不足、処理費用の増加
- ②冬季の交通の混雑が激化：自動車登録の増加、都心部への集中、車走りが不安定
- ③エネルギー消費の増加：家庭エネルギー消費量の増加、化石燃料類消費の増加
- ④高齢者の増加：歩道通行中の転倒事故の増加、高齢者の暮らしやすい都市づくりの必要性増加

*キーワード：エネルギー計画、持続的成長管理論、システム分析、交通管理

**正会員、学博、北海道大学工学部土木工学科（札幌市北区北13条西8丁目、TEL011-706-6210、FAX011-726-2296）

***正会員、学修、北海道大学工学部土木工学科（札幌市北区北13条西8丁目、TEL011-706-6213、FAX011-726-2296）

****フェロー会員、工博、北海道大学工学部土木工学科（札幌市北区北13条西8丁目、TEL011-706-6209、FAX011-726-2296）

⑤CO₂の排出量の増加：地球温暖化への悪影響

3. 創発システムと協同による事業

(1) 寒冷地都市整備の手段

以上の諸問題解決のための整備手段としては表1に示されるものがあげられる。

表1 寒冷地都市整備高度化の施策

整備対象	整備システム	目的
交通環境	道路無雪化システム	・交通渋滞の緩和 ・交差点事故の低減 ・安定した都市空間の創出
	歩道ヒーティング	・安全快適歩行空間の確保
	大型融雪槽	・除排雪の効率化
	流雪溝	・除排雪の効率化
職住環境	熱供給による暖房給湯	・地球温暖化防止 ・エネルギー資源の持続 ・未利用エネルギーの有効利用 ・安全性向上
コミュニティ環境	小規模融雪槽	・雪処分場の確保 ・生活道路の除雪水準の向上
	無雪化公園	・冬季の余暇空間の創出

(2) 積雪寒冷都市地域熱供給システム

従来、地域熱供給とは、特に冬季の暖房のため一定地域内の建築群へ熱源プラントから導管を通じて、熱媒を供給することをいう。この事業は、従来大気汚染防止・省エネルギー対策として行われてきた経緯がある。しかし、①熱価格に関する問題、②整備負担に関する問題などで普及が妨げられているのが現状である。したがって、ここではそれらの考え方を一歩進めて、積雪寒冷地都市における都市高度化システムの上述した要素に対応する複合的、体系的な整備方法を考える。そのシステムのトータルな目的としては次のようなものがあげられる。

- ①都市全体への環境、省エネルギー面での効果
- ②都市エネルギーシステムとしての経済性

④都市問題の解決への寄与度（特に冬季間交通問題）

このような条件へのアプローチの方法として

a)広域型熱供給方式：大規模な熱供給発電所を主力熱源とし、パイプラインによるネットワークを通じて都市全体へ広域的に供給するもの、b)特定地域型熱供給方式：特定の供給エリア内で小規模な熱源から熱供給するものがある。

(3)都市づくりの創発システムとシナジェティクス

積雪寒冷都市での都市高度化整備の方法として、熱循環をベースにした需給システムを検討することはその目的から考えても有効であるといえる。すなわち、それぞれの部分システムの目的達成測度の総和以上の全体の目的が達成される可能性を持つからである。このようなシステムとしての効果を生むためには、従来にない新しいシステムと制度さらに秩序が必要となる¹⁾。このように質的に新しい秩序が出現することを創発性という。新しい都市づくりという観点からの創発性は①公共性の強い事業への民活を含めたパートナーシップ、②計画から事業までの市民参加型プログラム、③各事業の円滑な実施をめざす規制緩和の方策、④持続的成長型の環境づくり等に現れる。これらは「全体は部分の総和以上のものになる」という部分－全体関係を明確に表しており、それを内包するシステムを創発システムと考える。ここでは熱供給発電所や小規模ガスプラントなど熱源システムと熱エネルギーを運ぶ輸送システムおよび地域熱供給やロードヒーティングなど利用システムがそれぞれ部分システムとして、積雪寒冷都市の熱需給システムの全体との複雑系を構成する。したがって各部分システム間の関係を組織化することによってシナジー効果が期待される²⁾。ここでのシナジェティクスは協同化あるいはそれによる相乗性を考えるものとする。さらにこれらのシステムは自己生産的かつ自己保存的である。すなわち、システムは社会的にも、経済的にも崩壊することなくその構造を維持することになる。このようなシステムはオートポイエーシスシステムと考えることができる³⁾。

ここで熱源システムをもつ部分システム（事業主体 P_1 ）と地域熱供給システムを持つ部分システム（事業主体 P_2 ）、さらにロードヒーティングシステムを持つ部分システム（事業主体 P_3 ）についてそれぞれの主体間の影響力を考慮して考えると次のような式が得られる。すなわちある主体のパフォーマンスや努力等

($E_i, i=1,2,3$)が大きくなると他の主体が影響されその進捗度や努力度などが増加することがここでのシステムの特徴である。

$$dE_1/dt = f_1(E_1, E_2, E_3) \quad (1)$$

$$dE_2/dt = f_2(E_1, E_2, E_3) \quad (2)$$

$$dE_3/dt = f_3(E_1, E_2, E_3) \quad (3)$$

それぞれの変化率を表す式は高次（3次）の項を含むので、変化率は他の要素の影響を受け、システムは複雑系となる。以下にこのような協同システムを具体的に検討した結果を示す。

(4)システムのイメージ

上述した方式の比較を行えば、積雪寒冷都市の典型的な都市である札幌市では広域型熱供給方式がよいと考えられる。その理由は、①熱源を一元化することで、集中的に環境・省エネルギー対策が行えること、②パイプラインが安く整備できれば、価格メリットが大きくなること、③都市全体へ面的熱供給を行うため、冬季間の凍結路面対策の一貫としてロードヒーティングへの熱の適用が可能となることなどである。

そこで、札幌市における将来の地域熱供給システムを図1のように想定し、それらの効果を評価することとする。なお、ここでの熱供給規模は最大時間熱供給量 760Gcal/h、年間熱供給量 1,200Tcal/年として以下の議論を進める。

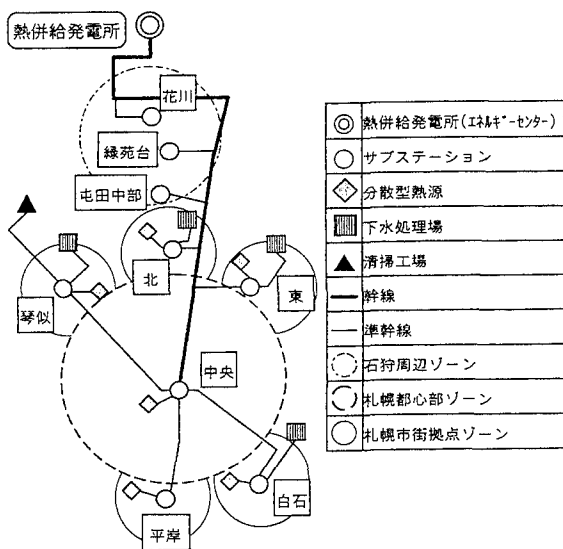


図1 札幌市での地域熱供給システムの概念図

4. 地域熱供給システムの導入可能性

(1) 地域熱供給システムの導入と効果

都市への効果の波及過程を表すと図2のようになる。地域熱供給システムは特にCO₂等の環境負荷削減という都市環境改善効果、またロードヒーティングへの熱供給により凍結路面解消といった交通環境改善効果が期待できる。

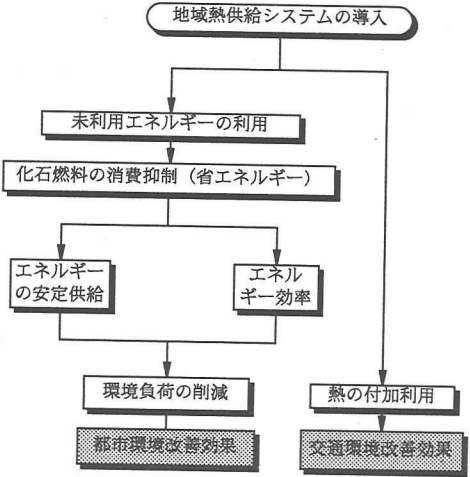


図2 地域熱供給システムの導入と波及

(2) 都市環境改善の効果

都市環境改善の効果を地球温暖化の原因となるCO₂排出量削減削減のために投入する費用によって表現する。算出過程は図3、算出結果は表2に示す。

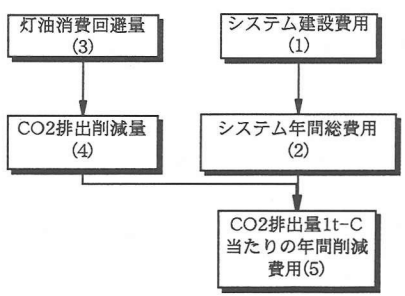


図3 都市環境改善効果算出過程

表2 CO₂排出量削減費用の算出結果

項目	算出結果
システム建設費用	834(億円)
システム年間総費用	36.1(億円)
灯油消費回避換算量	135,000(kl/年)
CO ₂ 排出削減換算量	93,000(t-C/年)
CO ₂ 排出量 1t-C 削減費用	38,800(円/t-C)

以上の結果より、1年間にCO₂排出量1t-C削減するために39,200(円/t-C)必要となるといえる。これに対し、CO₂排出削減費用については、炭素税の導入を想定し算出したものがいくつかあり、炭素税の税率は1t-C削減量当たり約3,000円～35,000円であると報告されている。したがって、このシステムのみでのCO₂削減費用はかなり高い所に位置づけされる。

(3) 交通環境改善の効果

このシステムからロードヒーティングへの熱供給を行えば、冬季間の交通環境を高水準で改善することができる。そこで、費用の面から従来の方式(電気、ガス)と比較を行った。総費用の比較を表3に示す。

表3 各熱源によるロードヒーティング年間総費用

費用 熱源	年平均建設費用(億円/年)	ランニングコスト(億円/年)	年総費用(億円/年)
地域熱供給	35.4	48.0	83.4
電気	55.5	60.0	115.5
都市ガス	60.4	54.2	114.6

ちなみに、ここでは低温水(送り45℃戻り30℃)で都心部延長20km、交差点総面積212,200m²、幹線延長120kmのヒーティングを行うこととした。結果は都心部62.21Tcal/年、交差点89.28Tcal/年、233.27Tcal/年、総量として350.23Tcal/年の需要が見込まれる。なお地域熱供給システムでは年間83.4億円要するが、札幌市の道路除雪費(1994)に相当する額である。

(4) 地域熱供給システムの費用負担

以上のように、未利用エネルギーを利用した熱供給システムは地域熱供給事業とロードヒーティングの双方に効果があることがわかった。ここではこれら別々の供給対象にそれぞれ費用を分担し、お互いに協力しあうシステムを作ることによって導入可能性のシナジスティック効果を検討する。費用分担方式は地域熱供給事業者と道路管理者での使用熱量によるパイプライン建設費の分担を考える。建設費843億円は、地域

熱供給事業者 59%、道路管理者 41%に振り分けられ、シミュレーション結果は、表4および表5に示される。

表4 分担後のロードヒーティングの費用比較 (億円)

熱源	建設費用	分担建設費用	総建設費用
地域熱供給	819.0	346.5	1,165.5
電気	1,283.0	-	1,283.0
都市ガス	1,397.0	-	1,397.0

なお表5は地域熱供給事業者の場合の供給価格を示す。

表5 地域熱供給事業者の熱供給価格

費用 条件	パイプライン建設費用(億円)	1m当たりの建設費用(万円/m)	熱供給価格 (円/Mcal)
単独の場合	843.0	161.8	8.48
分担の場合	496.5	95.3	5.88
灯油の場合			6.35

表4および表5より、それぞれの事業者・管理者が協力することによって、従来のシステムに比べより廉価な新システムの導入が可能となることがわかった。

5. 積雪寒冷都市の整備高度化効果

表6 各方策によって得られる効果

方策	ロード ヒーティング	熱供給 システム	融雪槽 システム
直接的効果	・交通容量の増加 ・走行速度の上昇 ・スリップ事故件数の現象 ・都市活動、商業活動の活性化	・コストの長期安定性	・雪捨て場の削減 ・運搬排雪量の削減 ・排雪運搬コストの低減 ・除雪作業効率の向上
その他の効果	・物流輸送活動の活性化 ・ドライバーの疲労度削減	・未利用エネルギーの有効活用 ・エネルギー資源の持続性	・快適空間の創出 ・都市活動、商業活動の活性化 ・コミュニケーションの向上
省エネ効果	・自動車の燃料効率の向上	・エネルギー効率の向上 ・化石燃料の使用削減	
環境への効果	・CO ₂ 排出量の削減	・CO ₂ 排出量の削減	・河川環境の改善
防災面の効果	・避難路の確保 ・緊急輸送路等の確保	・災害時の信頼性	・緊急用貯水槽としての活用 ・避難路の確保

以上のように、熱供給システムを部分システムと全

体システムとの関連性で検討した。このシステムでの協同化システムはそれぞれの計画への負担を軽くしそれぞれの事業主体の参加の可能性を大きくしたのが特徴である。都市整備高度化の効果を各方策ごとに表すと表6のようになる。

このように、積雪寒冷地型の新しいエネルギーシステムは、そのシステムの複雑性により、数多くの効果をもたらす可能性があることがわかる。

6. おわりに

以上、積雪寒冷地域北海道において、最も重要な課題である、都市の地域暖房システムおよび道路交通円滑化のためのロードヒーティングシステム導入可能性について、部分系一全体系の中で生じる新しいシステムによって実現する基本的考え方を提案した。

今までこれらの事業をそれぞれ独立に行う場合、その経費の負担が大きく、地域暖房の場合はどの供給公社も厳しい経営を行っているのが現状である。上記の創発システムは資本が限られている場合のそれぞれの事業主体が協力することによって、単独事業では考えられない効果をもたらすのである。

そこで未利用エネルギーを最大限利用した広域的地域熱供給システムを構築することは、今後の大きな課題である。ここでは冬季間の供給システムにそれらの協力関係による相乗効果を見込むことによって、新システムの導入可能性を示した。しかしながら、夏季間のエネルギーシステムの運用については今後の検討がさらに必要であると考えている。

また各事業主体の協力体制について、具体的なケース、例えば規制緩和があった場合などを数式化していくことを考えている。

参考文献

- 1) M・ミッチェル・ワードロップ、田中、遠山訳；複雑系、新潮社、pp13-62、(1995)。
- 2) G.ニコリス、I.プリゴジン、安孫子、北原訳；複雑性の探求、みすず書房、pp239-266、(1993)。
- 3) ゲオルク・クニール、アルミン・ナセヒ、館野、池田、野崎訳；ルーマン社会システム理論、新泉社、pp41-94、(1995)。
- 4) 加賀屋誠一、上田真代；積雪寒冷地における都市エネルギーシステム改善法の評価、環境システム研究(土木学会)Vol.23、pp204-213、(1995)。