

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

An Evaluation on Improvement of the Urban Energy System in a Snowy Cold Region

加賀屋 誠 一* ・ 上 田 真 代**

Seiichi KAGAYA & Masayo UEDA

ABSTRACT: Recently it has become important to establish the local environmental preservation level based on the Agenda21 including the local energy system. In this study we examined the improvement techniques on an urban energy system in snowy cold region. We surveyed the possibility of new urban energy system like waste heat from incineration plants and sewage plants. We analyzed the results using fuzzy utility function and structural modeling. We simulated several scenarios on the urban new energy system which can be introduced and evaluated by using cost-performance with environmental cost. We proposed the rational energy system in a residential area in Sapporo practically.

KEYWORDS: URBAN ENERGY SYSTEM, ENVIRONMENTAL COST, FUZZY UTILITY FUNCTION, STRUCTURAL MODELING, SYSTEM DYNAMICS

1. はじめに

現在、地球規模の環境問題への対応として地球サミットでのアジェンダ21が行動指針の1つとなっており、地方レベルの目標設定と、その達成への努力を重要な課題としている^{1),2)}。

地方都市ではその最も重要なものの1つがエネルギー問題である。第1次および第2次エネルギー危機の際、エネルギーシステムを省資源型あるいは自然エネルギー導入型へ転換することにより、石油エネルギー依存体制からの脱却の試みがおこなわれたが、今日地球規模の環境問題を考える上で、都市エネルギーシステムはその様相を変え新しい検討課題となりつつある。すなわち、都市エネルギーシステムの改善は、究極的には環境への負荷を軽減し、持続的な環境維持に寄与することになるからである。

一方、積雪寒冷地における都市でのエネルギーシステムは、特に冬季間の厳寒な気象条件のため、一般家庭を中心として暖房用エネルギーに偏った消費の様相を呈している。さらに、都市生活レベルの向上や、冬季間における快適な生活環境への欲求の高まりによって、資源・エネルギー需要もより拡大することが懸念される。したがって、今後は都市の機能を維持しつつ、省エネルギーを推進するシステムの導入が望まれている。基本的には、冬季間の利雪や克雪よっての快適生活の維持、個別暖房方式に変わる環境に配慮した地域暖房システムの導入、あるいは排熱や太陽熱などの未利用エネルギーの積極的活用が考えられる。

本研究は、寒冷住宅地域を対象とし、いくつかのエネルギー・環境に関わる新しい都市システムを提案し、これらのシステムの地域の意思決定者である住民のニーズを踏まえた改善・導入可能性を明らかにする。↓ (下水処理量、焼却ごみ量等データ収集)
具体的には、システムモデル構築とそのシミュレーションによって評価する方法を検討するものである。↓ (ファジィ効用関数、ファジィ構造化)

2. 研究の方法・手順および検討対象地域

2.1 研究の方法と手順

本研究の具体的な方法と手順を以下に示す。

図1はその概要の略述である。

未利用(排熱)エネルギーの賦存量・利用可能性調査

↓ (下水処理量、焼却ごみ量等データ収集)

具体的には、システムモデル構築とそのシミュレーション

積雪寒冷地型都市エネルギーシステムの選好性調査

↓ (ファジィ効用関数、ファジィ構造化)

新都市エネルギーシステムのシナリオ作成

↓ (システム要素項目抽出と組み合わせ)

シナリオによるシミュレーション分析と導入可能性把握

(システムダイナミクスモデル)

図1 検討手順と方法

*北海道大学工学部 Faculty of Engineering, Hokkaido University, **北海道開発局 Hokkaido Development Bureau

Step 1: 未利用エネルギーの利用可能性の把握

排熱や太陽熱など未利用エネルギーの賦存量とその利用可能性について調査する。

Step 2: 積雪寒冷地型都市エネルギーシステム項目の効用評価

積雪寒冷地型都市エネルギーシステムの要素を案出し、意思決定者（住民）の考え方を整理する。積雪寒冷地型都市システムの項目は、11項目選択され、項目相互の重要性を質問する。これらの関係は、ファジィ効用関数の相対差に基づき、重要度の相対的な差を評価することで表わされる^{3),4)}。

Step 3: FSM法による評価項目間の構造化

FSM法は、ファジィ従属関係マトリクスを基本とし、いくつかの抽出した項目の階層化を行い、階層間ならびに、階層に属する項目間の従属関係を決定してそれをグラフ表現するものである。新都市エネルギーシステム導入の相対的重要度をそれぞれstep 2により集団ファジィ効用差値で表現しそれを用いて構造化を行った。グラフ作成はレベル法によるFSMを新たに開発しておこなった⁵⁾。これによって各項目間選好性が明確になる。

Step 4: システムダイナミクスによるシミュレーションモデルの構築

積雪寒冷地型都市システムによる動学的モデルを構築する。ここでは、特に環境汚染やエネルギー需要を取り込んだモデル構築をシステムダイナミクス手法によっておこなう⁶⁾。そして現状推移による地域の将来予測と、新システム導入のいくつかのシナリオを作成しシミュレーション結果の比較検討する。シナリオ作成には、上記の意思決定グループの新システム導入可能性調査結果を利用した。

2.2 対象地域の概要とエネルギー賦存量

対象地域は札幌市北区あいの里地域である。この地域は、現在整備中の新規住宅地域であり、地域の計画および現人口等は表-1に示される。地域の計画面積規模は約184haの住宅団地である。表を見ると現在人口比で計画人口の42%が居住し過去2年間で約2,000人の増加を見ている。今後入居人口の急増が予想されることから、計画人口は今後5～6年で目標人口に到達することが見込まれる。その他の主な施設としては消防出張所、下水処理場、廃棄物空気輸送センター、共同溝などがある。また近くにごみ処理のための清掃工場が立地している。さらに石狩湾新港とその後背産業団地も近くに控え、周辺の未利用エネルギーの利用可能性が高いといえる⁷⁾。

表-1 対象地域の計画及び現人口

諸元	数量
計画人口	
計画建設用地戸数(戸)	3,300
人口(人)	12,500
公団独立住宅用地戸数(戸)	2,200
人口(人)	8,800
一般住宅用地戸数(戸)	2,300
人口(人)	9,200
総計画戸数(戸)	7,800
総計画人口(人)	30,500
公益的施設用地(m ²)	633,490
人口動態(1995年1月)	
世帯数	3,889
人口総数	12,739
男	6,236
女	6,503

(1) 清掃工場排熱によるエネルギー賦存量

清掃工場における排熱量として隣接する篠路清掃工場で得られる可能性について推計する。蒸気発生熱源であるボイラ自体の効率を約80%とし、他の用途に使用された熱量の使用率を発生蒸気全体の約19%とすると供給可能エネルギーとしては次式によって算定される。なおこれらの比率は実際適用した清掃工場での実測値である。

排熱賦存量(kcal/h) = ごみ単位重量発生熱量(kcal/kg) × 焼却重量(kg/h) × ボイラー効率(80%)

× 外部への供給率(81%) (1)

ここでは蒸気発生量の時間変動がなく、定期点検や補修作業による運転休止等も無視するものとする。データからごみの単位重量当りの発熱量は1,640Kcal/kgであり、推定した排熱賦存量は図-2のようになる。

(2) 下水処理場排熱によるエネルギー賦存量

次に下水処理場の場合の排熱賦存量を考える。札幌市内下水処理場の中で拓北下水処理場が近接しており利用可能性が高い。そこでの処理水量からの排熱賦存量を推定する。ヒートポンプ運転の考え方により推定熱量も変わってくるがここでは熱源水の出入口温度差を $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ と仮定する。排熱賦存量は、次のように与えられる。

$$\text{排熱賦存量(kcal/h)} = \text{処理水量(kg/h)} \times \text{比熱(1kcal/℃kg)} \times \text{温度差}(\Delta T=5℃) \quad (2)$$

拓北下水処理場について月別排熱賦存量は図-3 で推定される。

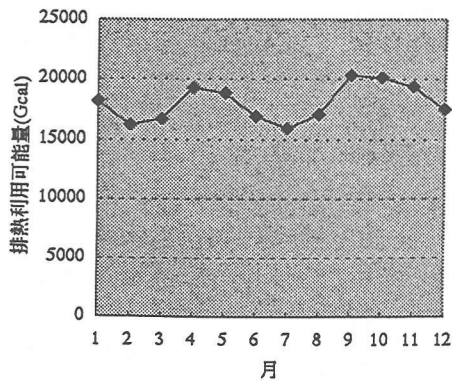


図-2 清掃工場排熱賦存量の例

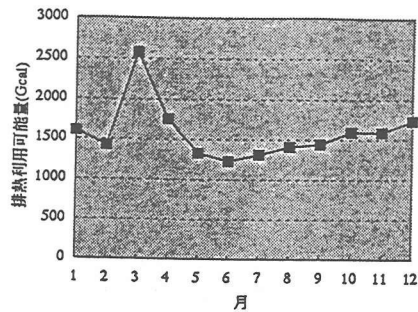


図-3 下水処理場排熱賦存量の例

3.新都市エネルギーシステム選好性の検討

選択された省エネ・リサイクル型都市システムの項目を表-2に示す⁸⁾。

表-2 省エネ・リサイクル型都市システムの項目

項目	内容
A 未利用エネルギー活用 地域熱供給システム	地域内での冷暖房・給湯の熱源として清掃工場の排熱や中・下水処理水の熱等をヒートポンプで回収して導管を通じて供給する。クリーンな環境づくりやエネルギー負荷の軽減、スペースの有効利用の実現が可能である。
B太陽電池・自然エネルギー利用発電	太陽光、風力、波力、地熱、温度差、水力等自然エネルギーを利用して発電、CO ₂ の排出なしのクリーンエネルギーの供給が可能である。
Cごみ真空輸送システム	ごみを空気輸送により自動的に搬送するシステム。ごみ収集員の削減、衛生的な都市環境創出に効果がある。分別収集でリサイクル率の向上ができる。
D廃棄物循環システム	従来の資源から廃棄までの流れを資源・素材へ戻すシステム。自家処理、再利用、再資源化の三段階で構成される。
E土壌空気浄化システム	植栽を施した土壌層に汚染した空気を通させ、空気を浄化させる。土壌の物理化学的作用および微生物・植物の代謝作用を利用して空気を浄化する。
F交通システム	新交通システム、電気自動車の活用、交通の流れの効率化などから大気汚染物質の削減を行う。
G雪対策システム	流雪溝や融雪層などによって雪対策を行う。
Hロードヒーティング	路面下に埋設したヒーティングシステムによって融雪、氷を溶かす。路面凍結時の車両歩行者の安全性を図る。
I無積雪公園	公園の除雪を行い冬季でのスポーツ等が楽しめる。
J省エネルギー建築	断熱化、太陽熱利用、最適運転制御により、エネルギー負荷軽減する。
K都市情報・制御・管理システム	都市、地域全体を総合的に管理し個々の施設機能を結合させる。

調査は、対象地域における住宅形式（一戸建ておよび集合）別に各々100サンプルを抽出し、調査用紙による

留置回収方法によっておこなわれた。得られた回収率は全体で54%であった。回答者は世帯の中で最もエネルギー問題に関心を持つ人とした。その結果、男41%、女59%となり、また年齢構成は、30歳代49%、40歳代17%、60歳代15%、50歳代12%の順となった。また、現在用いられている暖房用エネルギーとしては、灯油による個別暖房が89%を占め、灯油・電気併用が6.3%、都市ガス3.6%の順となっている。また給湯は灯油および都市ガスが半数ずつとなっている。

また省エネ・リサイクル型都市システムの選好構造は図-4に示すようになる。これによると、全体的には太陽電池・自然エネルギー利用発電、ごみ真空輸送システム、廃棄物循環システム、雪対策システムが最上位にランクされており、それらの施策を同時に導入してほしいとの考え方が多いことがわかった。

またこれらはすでに実施されているかあるいは比較的情報が多いものである。都市情報・制御・管理システムのようにあまり身近なシステムといえないものが下位に位置されていることをみてもその傾向がうかがえる。この結果、未利用エネルギーの利用や雪対策システムに対するニーズが大きいことがわかり、後述する将来のエネルギーシステム改善のシナリオを構築に適用することとする。

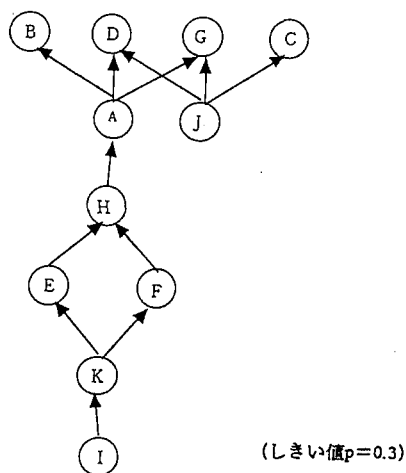


図-4 省エネ・リサイクル型都市システムの選好構造

4. エネルギーシステムモデル構築とシステムの可能性評価

4.1 算出される地域の熱需要量と排出量

ここでは、新規住宅団地を対象とした地域内のエネルギーシステムのシミュレーションモデルを構築し、次のような点を主として分析することとする。

- i) 地域内の冷暖房、給湯における熱需要量、および汚染排出量の現状
- ii) 冬季間のシステム（ロードヒーティング、融雪槽）導入時の地域内熱需要量、および汚染排出量の変化
- iii) 未利用エネルギー（排熱等）導入による熱負荷の割合と汚染排出量への影響

4.2 エネルギーシステムモデルの構築

本モデルは、熱需要量、汚染排出量を評価するためのそれぞれに関連する要素からなるシステムである。図-5に示すようにこのモデルは7つのセクターから構成される。それぞれのセクターの概要を以下に示す。

a) 利用セクター：熱需要量は、建物床面積によって左右されるものとする。そこで建物床面積をその熱負荷パターンにより、住宅、業務、商業施設の用途別に分類した。

・住宅施設床面積：一戸建住宅床面積、集合床面積、・行政・商業施設床面積：近隣商業地域床面積、商業地域床面積、・業務施設床面積：教育施設床面積、供給処理施設床面積

・熱供給加入率：住宅施設冷暖房加入率、住宅施設給湯加入率、行政・商業施設冷暖房加入率、行政・商業施設給湯加入率、業務施設冷暖房加入率、業務施設給湯加入率。

将来の床面積の想定は計画人口が達成されるまで行う。この想定値は容積率をフルに活用した床面積である。

b) 供給・需要セクター：ここでは対象地域内における熱利用形態を冷暖房と給湯に限定しその必要量について考える。対象地域内の熱必要量推定を行うにあたっては、建物延床 1m^2 当りの熱負荷指標である建物用途別熱負荷原単位（単位： $\text{kcal/h} \cdot \text{m}^2$ ）を用いて決定することにした。

・熱負荷原単位：住宅施設単位面積当り熱負荷原単位、行政・商業施設単位面積当り熱負荷原単位、業務施設単位面積当り熱負荷原単位、・熱利用形態：冷暖房、給湯。

建物用途別熱負荷原単位の設定は既存の調査データを用いた。対象地域である札幌市における熱負荷原単位を表

一3 に示す。また地域熱供給システムの場合、その熱供給時間は、熱負荷の時間変動のパターンから住宅においては1日、業務商業施設では半日とする。

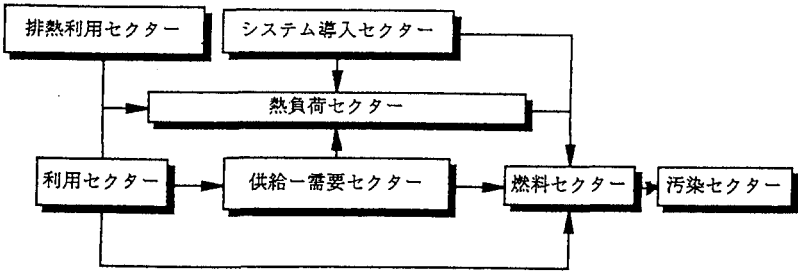


図-5 動学的都市エネルギーシステムモデルの概要

表-3 建物用途別熱負荷原単位

	時間最大(kcal/h・m ²)			年間(Mcal/年・m ²)		
	冷房	暖房	給湯	冷房	暖房	給湯
住宅	38.4	44.9	23.3	15.3	31.9	44.1
業務	45.6	95.9	9.9	29.7	77.3	14.7
商業	114.2	63.0	18.3	100.6	36.0	17.8

d)システム導入セクター：積雪寒冷地に望まれる冬季間のシステムに着目し、その導入について検討する⁹⁾。ここで取り上げるシステムは、地域住民の導入要求の高いロードヒーティングと融雪槽とした。ロードヒーティング設置場所は、意識調査による導入希望意見が多かった次の箇所とする。①交差点：主要な交差点にロードヒーティングを敷設し路面凍結時における車両・歩行者の安全性向上を図る。②緑道：住宅と地域内施設とを結ぶ主要な歩道の役目を担っているが、冬季間の通行不能が多いので歩行空間を確保する。③駅前公園広場：利用者の多い鉄道駅周辺に敷設し歩行空間と車両空間を確保する。ここでは敷設面積およびロードヒーティング単位面積当り熱負荷原単位、ロードヒーティング稼働時間を変数とした。

一方融雪槽であるが、投入する1日当りの除雪量として、対象地域内の道路面積の50%にあたる部分、積雪10cm（札幌市の降雪開始積雪高）分を処理するものとした。対象地域では約51,000m²と推定される。システムの稼働時間は、1～2月の60日間とした。

d)排熱利用セクター：熱供給の熱源として、清掃工場の排熱と下水処理場の排熱の利用を考える。システムモデルの変数は清掃工場排熱としてごみ単位重量発熱量、ごみ焼却量、下水処理場排熱としては下水処理用水を考えている。これらは、将来の人口増加と連関して増加する。

e)熱負荷セクター：熱負荷セクターでは、熱供給システムを導入した場合の地域内負荷量を考える。熱負荷に関わる変数としては、住宅施設総熱負荷、行政・商業施設総熱負荷、業務施設総熱負荷、ロードヒーティング総熱負荷および融雪槽総熱負荷と排熱による代替率である。

f)燃料セクター：地域内の燃料需要量を灯油と都市ガスについて考える。現状のエネルギー使用状況から、集合住宅の給湯のみを都市ガスとし、他はすべて灯油で賄うものとした。またロードヒーティングの熱源は都市ガスと灯油の2パターンを用い、排熱使用の場合の不足熱量は灯油で補うものとした。ここでの変数は、燃料需要量として灯油需要量、都市ガス需要量、エネルギー平均発熱量として灯油平均発熱量、都市ガス平均発熱量を導入した。エネルギー平均発熱量は灯油9,200kcal/lおよび都市ガス10,000kcal/m³である。

g)汚染セクター：ここでは汚染排出量としてSOx,NOx および CO2を考えた。汚染排出量の推計には汚染排出係数を用いたが、その値を表-4に示す。なお、後述する結果ではCO2についてのみの検討に限った。

表-4 汚染排出係数

	灯油	都市ガス
SOx 排出係数	20.0×0.032 kg/ton	0.01 kg/10 ¹⁰ cal
NOx 排出係数	2.49 kg/ton	0.22 kg/10 ¹⁰ cal
CO2 排出係数	3.164 kg/ton	2.141×10 ⁻⁴ g-CO2/cal

4.3 シミュレーションのためのシナリオ

将来の地域熱需要を考える上でいくつかの代替案を設定しシミュレーション分析をおこなう。このシミュレーションでは現況のエネルギー使用が存続した場合、未利用エネルギー（排熱）を利用した場合に大別して考え、次のような4つのシナリオタイプを想定した。

TYPE-A	現状追従型	現在のエネルギー使用の型が存続した場合
TYPE-B	清掃工場排熱利用型	清掃工場の排熱を地域熱供給に利用した場合
TYPE-C	下水処理場排熱利用型	下水処理場排熱を地域熱供給に利用した場合
TYPE-D	清掃工場・下水処理場排熱併用型	両方の排熱を地域熱供給に利用した場合

表5 検討されたシナリオとその具体的なケース

		一戸建住宅		集合住宅		行政・商業施設		業務施設		ロードヒーティング	融雪槽
		冷暖房	給湯	冷暖房	給湯	冷暖房	給湯	冷暖房	給湯		
TYPE-A	Case-1	○	○	○	△	○	○	○	○		
	Case-2	○	○	○	△	○	○	○	○		
	Case-3	○	○	○	△	○	○	○	○	△	
	Case-4	○	○	○	△	○	○	○	○		○
	Case-5	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
	Case-6	○	○	○	△	○	○	○	○	△	○
TYPE-B	Case-7	○	○	○	△	○	○	◎	◎		
	Case-8	○	○	○	△	◎	◎	◎	◎		
	Case-9	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	Case-10	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○		
	Case-11	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	Case-12	◎	◎	○	△	○	○	○	○		
	Case-13	○	○	◎	◎	○	○	○	○		
	Case-14	○	○	○	△	○	○	○	○	◎	
TYPE-C	Case-15	○	○	○	△	○	○	○	○		◎
	Case-16	○	○	○	△	○	○	○	○	◎	◎
TYPE-D	Case-17	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	Case-18	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○		
	Case-19	○	○	○	△	◎	◎	◎	◎		
	Case-20	○	○	○	△	○	○	○	○	◎	
	Case-21	○	○	○	△	○	○	○	○		◎
	Case-22	○	○	○	△	○	○	○	○	◎	◎
TYPE-E	Case-23	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	Case-24	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○		
	Case-25	○	○	○	△	◎	◎	◎	◎		
	Case-26	○	○	○	△	○	○	○	○		◎
	Case-27	○	○	○	△	○	○	○	○	◎	◎

(熱源) 灯油 : ○
都市ガス : △
熱供給 : ◎

また熱供給対象として上述したように以下の施設を設定する。①一戸建て住宅（冷暖房、給湯）、②集合住宅（冷暖房、給湯）、③行政・商業施設（冷暖房、給湯）、④業務施設（冷暖房、給湯）、⑤ロードヒーティング、⑥融雪槽である。

具体的なシミュレーションのシナリオは、上記の代替案と熱供給施設を組み合わせ 27 通りの場合を考え表-5 に示されるケースとして解析がおこなわれた。

4.4 シミュレーション結果

(1)各施設の熱需要変動の現状評価

前述した 27 のケースについてシミュレーションをおこないその中で下記のような 14 のケースで具体的な検討を行った。その結果、住宅施設、行政・商業施設の熱需要の変動を図-6 に示す。これによると冷暖房熱需要は、季節による変動が大きいことがわかる。

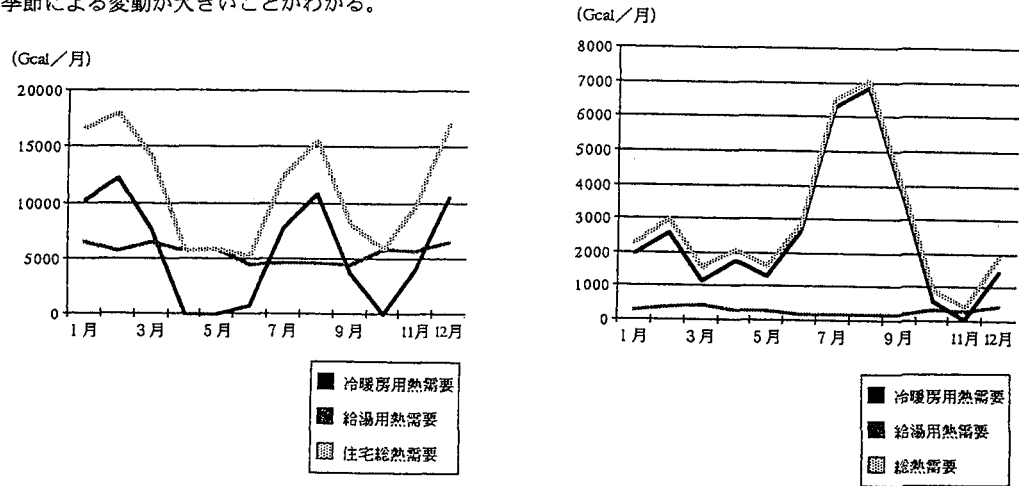


図-6 施設別冷暖房熱需要の変動（左：住宅、右：行政・商業）

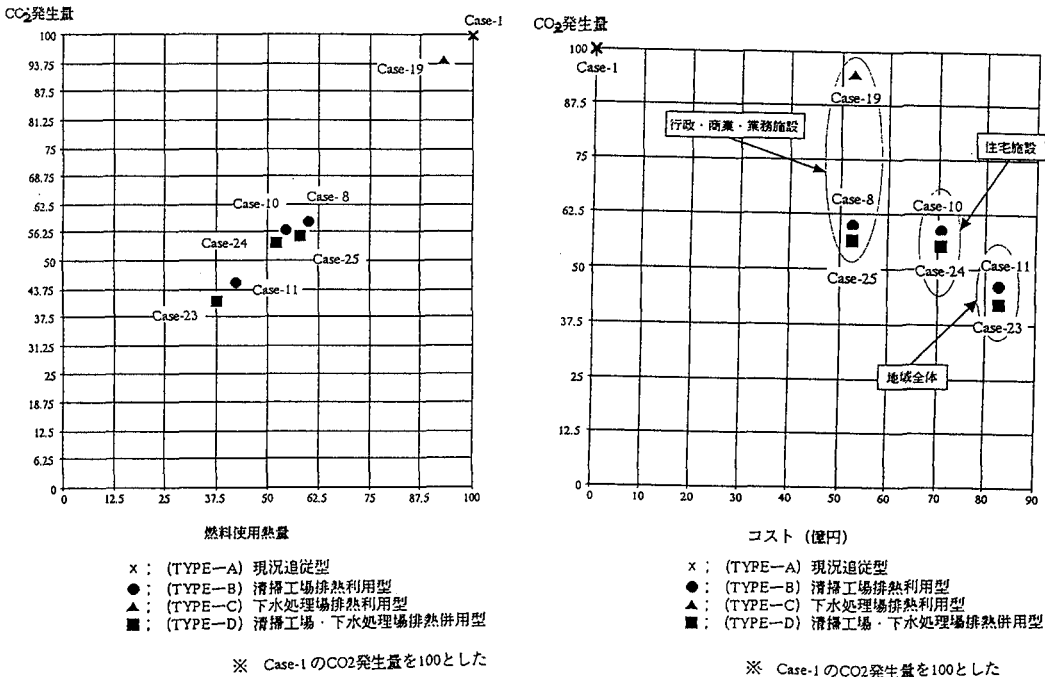


図-7 CO₂発生量と燃料使用量の関係

図-8 CO₂発生量と供給管敷設費の関係

(2)システム導入の評価

a)各ケースの比較

システム導入の経済性を比較するために、熱供給管敷設費とロードヒーティング費用による費用の算定をおこなった。供給管の場合は、主要道路下に単独埋設する場合を想定した。ロードヒーティングは、温水循環パイプを利用した方法を用いた。

ここでは現状(Case-1)の値を 100 とし、現状の燃料使用が必要な熱量、汚染物質発生量に相対的な値を求めたものである。汚染物質(CO₂)発生量と燃料使用量の関係を図-7に示し、また汚染物質(CO₂)発生量とコスト(供給管敷設費)の関係を図-8に示す。これによると、当然ながら地域内で燃料により賄われる熱量が少ないほど環境への影響も少ない。特にここではTYPE-B(清掃工場排熱利用型)やTYPE-D(清掃工場・下水道処理場排熱併用型)といった排熱賦存量の多いものをより広域に供給する場合に汚染物質発生量の減少がみられる。(図のTYPEの凡例は図-7、図-8、図-9および図-10に共通である)

図-9はロードヒーティングと融雪層を導入したケースをCO₂発生量と燃料使用熱量の関係でまた図-10はCO₂発生量とコストの関係で比較したものである。これを見ると、排熱賦存量の大きな未利用エネルギーを熱源として利用し、さらに不足熱量を都市ガスによって補う場合がより汚染物質発生量を押さえることがわかる。また排熱利用の場合は、環境への負荷が望めるものの、より大きな直接費用を必要とすることが明らかとなった。

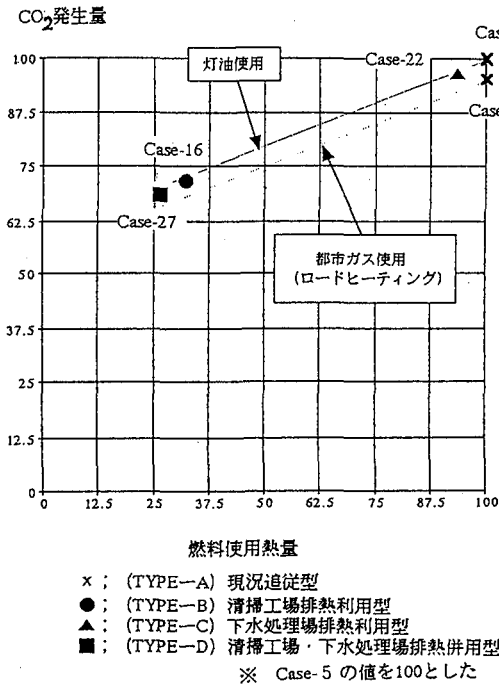


図-9 CO₂発生量と燃料使用量
(ロードヒーティング+融雪槽)

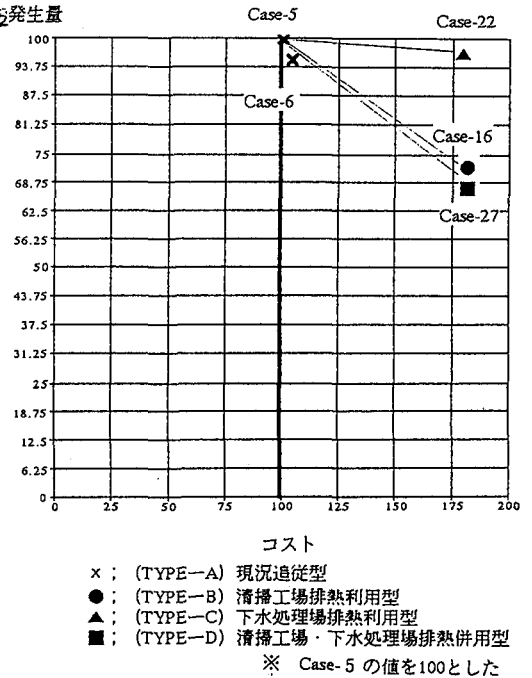
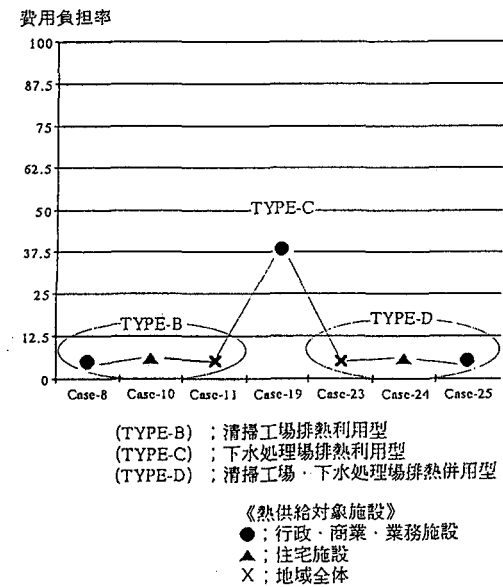


図-10 CO₂発生量と供給管敷設費
(ロードヒーティング+融雪槽)

b)CO₂削減コスト

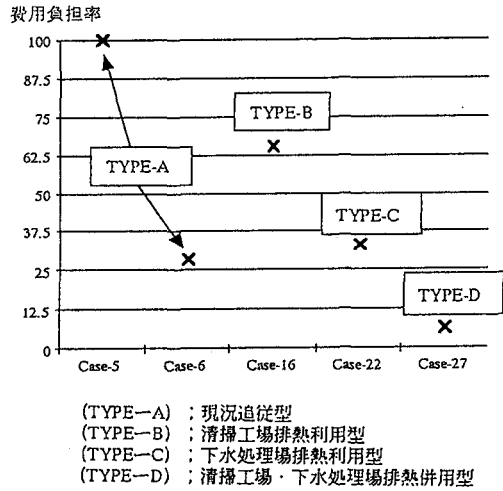
上述した排熱利用の場合には直接費用の増加が大きくなる反面、環境への負荷が低減することがわかった。さらに、ここではCO₂削減による環境コスト低減の評価について検討する。すなわち、環境汚染コストを内生化しそれを押さえたことによる代価便益を評価することによって、その間接的効果を推計する方法を考える。CO₂発生を押さえる代価としては、いくつか存在するが、ここでは、電中研でのモデルシミュレーションで用いられた原単位を用いて概算的な算定法をとった¹⁰⁾。各ケースにおけるCO₂削減費用を図-11に示す。これは熱供給管の耐用年数を30年として、その間削減必要費用が変化しないと仮定して求めたものである。この場合、費用負担

率はTYPE-Bの場合、わずか7%程度ですみ、またTYPE-Cの場合は38%程度になる。熱供給システム導入にはかなりの費用を要するが、その反面長期的にみて大幅なCO₂削減費用の軽減が見込まれることがわかった。同様に、排熱をロードヒーティングや融雪槽に利用した場合について、灯油を熱源とした場合(Case-5)のCO₂発生量を清掃工場の排熱と下水処理場排熱を共に利用した場合(Case-27)のレベルまで削減するための費用を100として、各ケースについて相対的な値を求めたものが図-12である。これを見ると排熱利用がCO₂削減費用の軽減効果を与えていることがわかる。また需要熱量に対して供給可能排熱の使用率が少ない場合には、都市ガスを熱源としたものを用いる方が削減のための費用は少なくてすむ。すなわち排熱を利用する場合は初期費用が現状より高価である反面、CO₂削減費用の面からは長期的にみて安価であるといえる。



- * システム導入における各ケースのCO₂の削減量を現状で削減するために必要な費用を100とした。
- * 熱供給管の耐用年数を100とした。

図-11 各ケースにおけるCO₂削減費用



- * Case-5(TYPE-A)のCO₂発生量をCase-27(TYPE-D)のレベルまで削減するための費用を100とした。
- * ロードヒーティングの耐用年数を30年と仮定した。

図-12 システム導入による費用軽減率
(ロードヒーティング+融雪槽)

5. おわりに

本研究では、積雪寒冷地でのエネルギーシステムの導入可能性について検討した。その結果は次のようにまとめられる。

- ①都市システム導入に関して、自然エネルギー利用発電、ごみ真空輸送システム、廃棄物循環システム、雪対策システムの4つが優先的に導入が望まれており、ついで地域冷暖房システム、省エネルギー建築の導入が望まれている。ここでの各属性からの特性をみると男女間では、若い世代に類似性が低く考え方の独自性が高いが、高齢層では類似性が高く、雪対策システムの導入に特に関心が高いことがわかった。
- ②積雪寒冷地システムとして、地域熱供給システム、雪対策システム、ロードヒーティングなどが安全性、低公害、信頼性、経済性などが満たされるならば受け入れられる可能性が高いことがわかった。
- ③ロードヒーティングと融雪槽の導入を考える際、熱源に未利用エネルギー(排熱)を用いることにより、環境汚染負荷の軽減が可能である。

④一方排熱を利用したシステム導入は現況のシステムに比べ多大な初期費用を要する問題がある。しかしながら、汚染物質排出による環境コストを考えると長期的なタームで未利用エネルギーを活用したシステムの導入の有効性が高いことが明らかとなった。

⑤現状では、環境コストを施設整備の中で論じることが難しいが、今回の予測としてのタームでは都市活動による環境負荷を考慮すべきであり、今後このような検討を結果を踏まえてを様々な形で論議する必要があると考える。

今回は、積雪寒冷地における都市エネルギーシステムの改善をおこなうためのシステムモデルを構築し、考えられるいくつかのシナリオによって、その可能性と妥当性、さらにその条件について検討を行った。今後は精緻なコスト計算方法、地域住民の考え方とシステムモデルでのシミュレーション結果の間の相互関係を取り込んだより弾力性のある検討方法を考えていきたい。

なお、システムダイナミクスでの動学的シミュレーションは、Macintosh版 シミュレーション言語 i-think を用いておこなわれた。

6. 参考文献

- 1) Commission of the European Communities: Towards Sustainability, vol.2,(1992).
- 2) 環境庁編：平成5年版環境白書（総説）、pp211-237,(1994).
- 3) S.Kagaya, et al: An Application to the Evaluation of Regional Infrastructure Planning in terms of Fuzzy Decision Making, Proc. of Fuzz-IEEE/IFES'95, pp 607-614,(1995).
- 4) 加賀屋誠一、菊池慎也：ファジィモデリングによる地方交通施設整備の生活環境改善への影響評価、土木計画学研究・講演集、No.17、pp647-650,(1995).
- 5) 加賀屋誠一：構造化手法とファジィ逆問題に関する基礎的考察、土木学会北海道支部論文報告集、pp411-416,(1986).
- 6) 加賀屋誠一：水源地域でのダム開発に伴う地域振興施策の影響評価法について、地域学研究、Vol.16、pp.157-177、(1985).
- 7) 札幌市：省エネルギー都市づくり基本計画策定調査、(1986).
- 8) (社)日本熱供給事業協会：未利用エネルギー活用地域熱供給システム啓蒙普及セミナー資料集、(1993).
- 9) (財)はまなす財団：快適な冬の生活環境づくり（ふゆトピア）事業推進調査報告書、(1993).
- 10) 山地憲治他：中期経済予測システムの開発と応用、電力経済研究、No.27、(1990).