

札幌市における熱供給システムの導入可能性に関する研究

A Study on the Analysis for Economical Feasibility of Heat Supply System in Sapporo

小島 直人^{*}・内田 賢悦^{**}・加賀屋 誠一^{***}・萩原 亨^{****}

By Naoto KOHATA^{*}・Ken-etsu UCHIDA^{**}・Seiichi KAGAYA^{***}・Toru HAGIWARA^{****}

1. はじめに

札幌市は積雪寒冷地に位置しており、冬季間には多量の降雪がある。それにより、冬期間には都市交通機能は低下し、社会経済活動や日常生活にも多大な影響を及ぼしている。また、北海道は冬季間において暖房、給湯等に多くのエネルギーを必要とするため、民生部門でのエネルギー消費率は高くなっている。よって、家庭での省エネルギー化、効率化を図ることが課題となっている。

また、北海道では冷暖房エネルギーのほとんどを石油に依存している。石油の採掘可能年数は残り40年程と推計されており、これに依存していることは、北海道の脆弱なエネルギー消費構造を露呈していると言える。

表1は札幌市の熱エネルギー効率を示している。現在、札幌市の熱エネルギー効率は0.51となっており²⁾、廃熱によって熱エネルギーが利用されることなく放出されている。熱供給発電システムの積極的導入が図られているフィンランドの首都ヘルシンキと比較すると、ヘルシンキでは熱エネルギー効率が0.73であり、札幌市は2割程度も劣る。したがって、この未利用エネルギーの有効利用が、札幌市における脆弱なエネルギー消費構造を改善するための一つの解決策として注目されている。

表1 札幌市の熱エネルギー効率 (1990、単位Tcal)

	Input 熱量	Output 熱量	エネルギー効率
発電所	12,677	4,294	0.34
産業	4,665	3,159	0.68
運輸	5,616	1,640	0.29
民生	8,919	7,014	0.79
合計	31,877	16,107	0.51

一方、札幌市では毎年、約160億円の除雪費が費やされている。冬季の都市交通機能を向上させる可能性のある未利用エネルギーの利用は、熱エネルギー効率の向上

だけではなく、ロードヒーティングへの利用を考えた場合、除雪費の削減にも役立つものと考えられる。しかし、そのインフラ整備にかかる資金面の問題を解決しなければ、その実現は困難な状況にある。

地域熱供給システムには、こうした問題を包括的に解決できる可能性がある。地域熱供給システムは、電力と共に熱を供給する熱供給発電所を建設し、その熱と下水処理場や清掃工場などからの未利用熱をパイプラインで市内広域に供給するシステムである。これによって、暖房等の熱供給、さらに、ロードヒーティングや融雪槽等の雪対策設備にも利用することができる。

図1は、地域熱供給システム導入による効果フローを示している。地域熱供給システムを導入することにより、未利用エネルギーの利用によるエネルギー問題の改善、それによって化石燃料消費量の減少による環境問題の改善、雪対策設備の増設による冬季の積雪問題の改善など、様々な効果が期待され、多くの問題を解消する可能性が高いとされている¹⁾。図2は、デンマーク、エスピア発電所での地域熱供給システムによるエネルギー効率向上の具体例を示している²⁾。ただし、ここでは同じ量の電気(図中の電気45%)を発電するためのエネルギー効率を示している。地域熱供給システムは、未利用エネルギーを利用することによって、エネルギー問題の改善に多大な効果を与えると考えられる。それによって、化石燃料消費量が減少することによる環境問題の改善、廉価な熱を得られることによって、ロードヒーティング等の雪対策設備の増設による冬季の積雪問題の改善など、様々な効果が考えられる。地域熱供給システムは、札幌市が抱える多くの課題を包括的に解決していく有効なシステムになるものと考えられる。

キーワード: エネルギー計画、地球環境問題

*学生員 北海道大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻

(札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6212 FAX 011-706-6211)

**正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科

***フェロー 学博 北海道大学公共政策大学院

****正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科

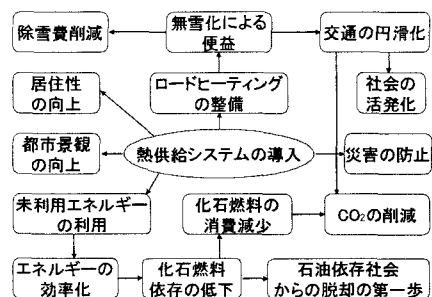


図1 地域熱供給システム導入による効果フロー

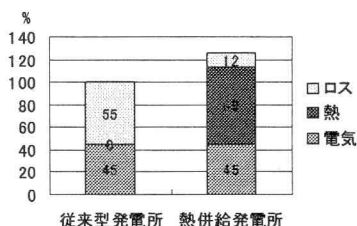


図2 エネルギー効率向上の例

2. 本研究の概要

熱供給システムは、積雪寒冷都市において有効であると考えられる。しかし、現状ではシステム構築に多大な費用がかかり、導入には踏み切られていない。そこで、札幌市において熱供給システムを社会的に必要なインフラとして捉え、広域熱供給システムの整備事業を想定する。

熱供給システムに関する研究として、工藤ら¹⁾は、熱供給システムによるロードヒーティング網の効率の配置について検討を行っている。さらに、GISを用いて、札幌市を事例とした道路投資評価の検討も行っている。北海道地域総合振興機構はまなす財団は、これらの基本的計画を踏まえ、「ふゆ未来 2010 新北方型都市整備プラン」としてまとめている²⁾。これらの研究は、広域熱供給システムの有用性は示しているが、具体的な事業スキームの検討はなされてなく、事業可能性に関する経済性評価もなされていない。こうした事業の経済性評価に関する研究として、梶井ら³⁾は、地域ITシステム整備事業を対象に、事業スキームを構築し、効用化最大問題に基づいた検討を行っている。また、織田澤ら⁴⁾は、海外BOTプロジェクトを対象に、そのリスク分担と利潤構造を明らかにしている。

本研究では、札幌市における広域熱供給システムを対象とし、その事業スキームを構築するとともに、経済性評価の検討を行うものである。ここでは、はまなす財団の基本計画をベースとし、梶井らの官と民との協調型の事業スキームの考え方や、織田澤らの政府による債務保証を取り入れた事業スキームの考え方、さらには工藤らの関係する便益評価額も考慮に入れ、経済性評価を行っている。具体的には、自治体、電力会社等の各主体がどのように整備コストを負担すれば、広域熱供給システムが導入可能となるかについて、検討を行う。ここで、自治体、電力会社の負担額は、それぞれ補助金、事業への投資額として表現される。ここで、補助金に関しては事業によるロードヒーティングが自治体の除雪費を削減し、さらに熱売却費を得るため、それが費用負担の動機となる。こうした検討を行うため、事業スキームを構築し、これに基づき、参入する各主体について、それぞれコス

ト分担量を変数とした効用関数を定式化し、これらを用いた目的関数を設定した。目的関数の最適化を行うに当たり、その特殊性から、GA (Genetic Algorithm) を解法として適用している。

3. 札幌市を対象とした熱供給システム

(1) 札幌市における熱供給システムの概要

本研究で想定する、札幌市における熱供給システムは、北海道地域総合振興機構(はまなす財団)による新北方型都市整備プランによるものである²⁾。図3は熱供給システム導入によるイメージ図である。図中のSSは、熱交換施設のSub Stationを意味する。本研究の熱供給システムの概要を以下に示す。

- 集中型システム：大規模な集中型熱供給発電をベースとするシステム（広域配管方式、媒体は温水）。
- 熱源：石狩湾新港地域に70万kWの火力発電所を建設。現存する下水処理場や清掃工場も活用。
- 対象エリア：特に熱エネルギーの需要密度が高いと考えられる、札幌中央地区、麻生地区、美香保地区、琴似地区、白石地区、平岸地区、石狩花川地区の7箇所。それぞれ中心から半径1.5～2.0km圏の範囲に供給する。
- 建設費、供給内容については、それぞれ表1、表2を参照されたい。

(2) 熱供給システムの前提

本研究における熱供給システムの前提条件を以下に示す。石狩湾新港地区に熱供給発電所が建設される。また、熱供給による冷暖房・給湯を供給可能な住宅および事務系のそれぞれ30%、50%が加入すると仮定する。ロードヒーティング化される幹線道路、歩道、交差点の合計総面積は959,975㎡とする¹⁾。

表1 熱供給システムの建設費

主要施設	建設費(億円)	構成比
一次供給導管(幹線配管)	455.6	21.6 %
二次供給導管(地域配管)	1130.7	53.7 %
計	1586.3	75.3 %
熱交換施設(サブステーション)	485.2	23.0 %
搬送動力施設(ポンプステーション)	34.7	1.6 %
計	519.9	24.7 %
合計	2106.2	100.0 %

表2 熱供給システムの内容

対象施設	想定供給内容
冷暖房・給湯	加入率
	住宅系:30% 業務系:50%
ロードヒーティング	幹線道路延長:55km
	歩道:55万㎡
	交差点:197箇所
	停留所:約1000箇所
公共施設	アトリウムなど:10箇所
公園	避難場所など:58箇所
排雪施設	大型融雪槽:4箇所
	流雪溝:4箇所 小型融雪槽:54箇所

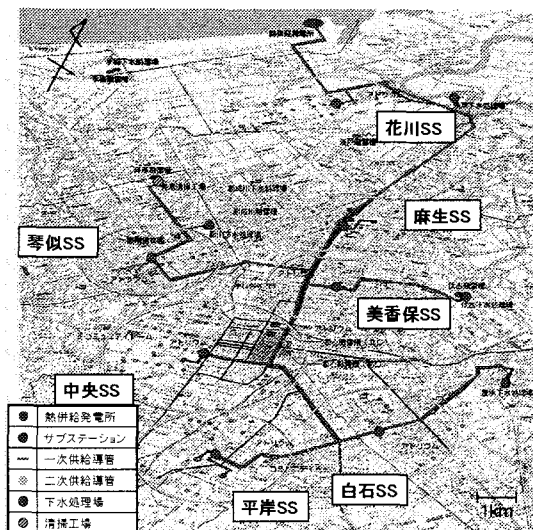


図3 熱供給システム導入によるイメージ図

4. 事業スキームの構築

(1) 参加主体の想定

参加主体は、この熱供給システム事業を行う上で、利益を得る主体である。考えられる参加主体は、自治体、電力会社、加入者が挙げられる。

(2) 熱供給システムの熱フロー

図4は、熱供給システム導入後の熱フローを示している。熱供給発電所を所有する電力会社からの熱と、自治体が所有する下水処理場・清掃工場の未利用熱を1次供給導管、2次供給導管によって市内広域に供給する流れになっている。自治体、電力会社からの熱を加入者まで運び、その後ロードヒーティングに供給するのが、熱供給事業体の役割となる。

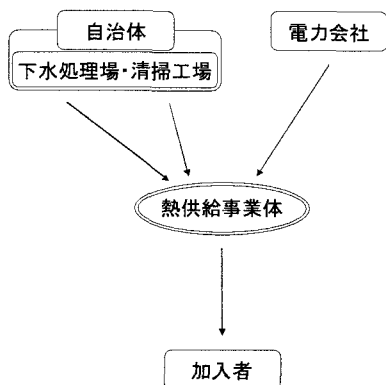


図4 熱供給システム導入による熱フロー

(3) 熱供給システムのキャッシュと便益のフロー

図5は、熱供給システム導入後の事業全体のキャッシュフローと便益のフローを示している。図5におけるそれぞれの主体の役割は、次に示す通りである。

- 熱供給事業体...電力会社と自治体から熱を購入し、それぞれに熱購入料を支払う。また、自治体からは補助金、加入者からは熱料金を支払ってもらい、事業を継続していくための資金を得る。なお、この主体は利益の追求を行わないものとする。
- 自治体...下水処理場・清掃工場から発生する未利用熱を熱供給事業体に売却し、熱購入料を得る。また、事業によるロードヒーティングは除雪費用を削減するため、この代価として熱供給事業体に補助金を投入することは前述した。
- 電力会社...熱供給発電所によって発生した熱を熱供給事業体に売却する。また、熱供給システムの建設時には、建設資金の一部を出資する。
- 加入者...熱供給システムによる暖房・給湯のために今まで支払っていた熱費用を支払わなくて良くなるが、熱供給事業体に熱料金を支払う。
- 金融機関...建設資金の一部を融資し、この資金はある期間で返済される。債務保証は自治体が行うものと想定し、無リスク金利の元利均等返済を仮定する。

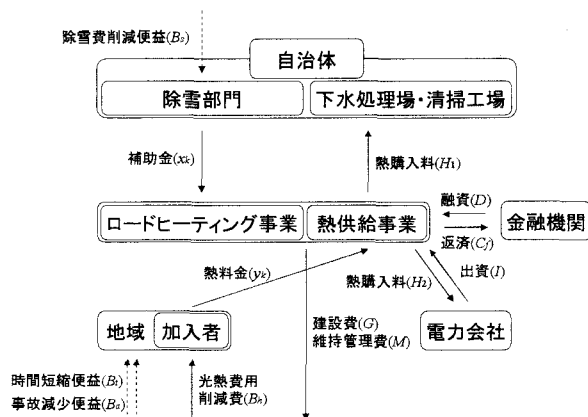


図5 熱供給システムによる金銭と便益のフロー

(4) 調達資金の返済方法

図6は、調達資金の返済方法を示している。熱供給事業に関するインフラは、電力会社の出資と金融機関の借入金によって、一年間で建設され、その後、熱供給事業体は運営期間 n 年間にわたって運営と返済を行うものとする。毎年の金銭と便益のフローは、運営・債務償還期間によってA期、B期、C期、D期に分けて考えることにする。まず初めにA期では、金融機関からの借入金のみを返済する。B期では、借入金を返済すると共に、出

資金の返済を行う。C 期では、借入金の返済が終わり、出資金のみを返済する。最後に D 期では事業が終了する。ここで、各期においては、負債が出ることも想定されるが、その場合は政府系金融機関からの融資を受けるものとする。さらに、この借入金に対しても自治体が債務保証することとし、返済には無リスク金利を適用することになる。また、逆に利益が発生することも考えられるが、これは国債等の無リスク金利で運用することとする。したがって、無リスク金利と割引率が同一である場合、D 期において一括して配当がなされるとしても、利益が出た時点で配当されるとしても、0 年目におけるそれらの現在価値は同一となることに注意が必要である。また、この現在価値が 0 未満となる場合、政府系金融機関への返済は完了せず、当然ながら配当もないことになる。以下では、こうした関係を効用関数の定式化を通して、記述していく。

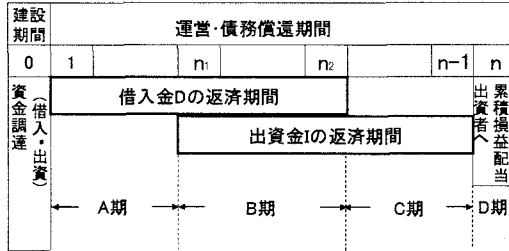


図6 調達資金の返済方法

(5) 各期の金銭と便益のフローの定式化

各主体のある k 年目における効用関数を、図 5 に示したキャッシュフローと便益フロー（以下、単に便益フローと呼ぶ）をもとに定式化する。ここでは、減価償却は考慮しないことにする。その理由は、減価償却費は会計上の概念であり、現実には金銭の流れがある訳ではなく、さらに、ここで示すスキームを繰り返し適用することで、事業期間終了時に再度インフラ部の更新に必要な資金を調達できると仮定しているからである。熱供給事業体は利益を追求しないこととし、借入金の返済は元利金等返済と仮定する。また、配当は n 年目に割り当てられるものとするが、その現在価値は、利益が出た時点で配当しても変化しないことは前述した。

各主体の事業期間を通して ($1 \leq k \leq n$) の便益フローを考えていく。事業体の k 年目における便益フロー (f_k) は、式(1)で表現される。

$$f_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - C_f^k - C_c^k - i_k \quad (1.a)$$

where, $f_k = 0$

$$\Rightarrow i_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - C_f^k - C_c^k \quad (1.b)$$

x_k : k 年目の自治体による補助金

y_k : k 年目の加入者からの熱料金

H_1 : 自治体からの熱購入費用

H_2 : 電力会社からの熱購入費用

M : 維持管理費 (including employment costs).

C_f^k : 金融機関からの借入金 $D(1+r)^{n_0-1}$ に対する k 年目 ($n_0 \leq k \leq n_2$) の返済額 ($n_2 - n_0 + 1$ 年元利均等返済額)。

C_c^k : 電力会社からの出資金 $I(1+r)^{n_1-1}$ に対する k 年目 ($n_1 \leq k \leq n_3$) の返済額 ($n_3 - n_1 + 1$ 年元利均等返済額)。

i_k : k 年目の事業体の当期利益 (または当期損益)。

ここで、 f_k は利益を追求する事業体を想定した場合、0 以外の値をとることになるが (利益が出た場合、最終的に配当へ充てられる i_k と事業体の利益となる f_k に分配可能)、ここでは利益を追求しない事業体を想定するため f_k は、常に 0 となることに注意されたい。これによって、後述する事業の目的関数に事業体の効用が影響することはない。後述するが、 i_k が正となる場合、すなわち、自治体からの補助金と加入者が事業体に支払う熱購入費用が返済も含めた諸費用を上回る場合、それは配当用は無リスクで運用され、負の場合、その分、政府系金融機関からの融資を受けるが⁴⁾、これについては、配当よりも優先して無リスク金利で返済することを想定している。返済に関しては、政府による債務保証を前提としているため、無リスク金利を適用可能であり、この金利には文字通り変動リスクは存在しない。また、 C_f^k および C_c^k は、借入金と出資金の返済期間を考慮して、それぞれ式(2)、式(3)で表される。

$$C_f^k = \frac{D(1+r)^{n_0-1} r(1+r)^{n_2-n_0+1}}{(1+r)^{n_2-n_0+1} - 1} \quad \text{if } n_0 \leq k \leq n_2 \quad (2.a)$$

$$C_f^k = 0 \quad \text{otherwise.} \quad (2.b)$$

$$C_c^k = \frac{I(1+r)^{n_1-1} r(1+r)^{n_3-n_1+1}}{(1+r)^{n_3-n_1+1} - 1} \quad \text{if } n_1 \leq k \leq n_3 \quad (3.a)$$

$$C_c^k = 0 \quad \text{otherwise.} \quad (3.b)$$

D : 金融機関からの借入金

I : 電力会社からの出資金

このとき、各主体 (主体 1: 自治体、主体 2: 電力会社、主体 3: 加入者) の k 年目の便益フローそれぞれ u_1^k 、 u_2^k 、 u_3^k は以下の式で表される。

$$u_1^k = B_s + H_1 - x_k \quad (4)$$

$$u_2^k = H_2 + C_c^k + CD^k \quad (5)$$

$$u_3^k = B_a + B_t + B_h - y_k \quad (6)$$

B_a : 除雪費削減便益 (削減費用)

B_t : 交通事故減少便益

B_h : 旅行時間短縮便益

B_h : 熱費用削減費

ここで CD^k は、電力会社への配当金であり、以下に示す関係が成立する。

$$\begin{aligned} CD^k &= R^n \quad \text{when } k=n \\ CD^k &= 0 \quad \text{otherwise} \end{aligned}$$

$$\text{where, } R^k = \sum_{l=1}^k i_l (1+r)^{k-l}$$

ここで、最後に示す式が以下の関係を表現している。 i_k が正となる場合、それは配当用無しリスク金利 (r) (後に示す割引率と同じ値をとるものとする) で運用され、負の場合、その分、政府系金融機関からの融資を受けるが、これは無しリスク金利で優先的に返済されることになる。

(6) 各主体の全体の目的関数

以上の準備のもと、各主体の事業期間 n 年間通しての便益フローの現在価値をそれぞれ U_1 、 U_2 、 U_3 とすると、以下に示す式で表現することができる。

$$U_1 = \sum_{k=1}^n \frac{u_1^k}{(1+r)^k} \quad (7)$$

$$U_2 = \sum_{k=1}^n \frac{u_2^k}{(1+r)^k} - I \quad (8)$$

$$U_3 = \sum_{k=1}^n \frac{u_3^k}{(1+r)^k} \quad (9)$$

次に、事業全体の最適化問題は、上記の便益フローの現在価値を用いて、以下に示す最適化問題として定式化される。

$$\max_{x_k, y_k, J, D} Z = \prod_{i \in \{1, 2, 3\}} \exp(U_i / ad) - \sum_{i \in \{1, 2, 3\}} \delta(U_i) pnl \quad (10)$$

s.t.

$$f_k = 0 \quad \forall k \quad (11)$$

$$D - \sum_{k'=n_0}^{n_2} \frac{C_f^{k'}}{(1+r)^{k'}} = 0 \quad (12)$$

$$I - \sum_{k'=n_1}^{n_3} \frac{C_c^{k'}}{(1+r)^{k'}} = 0 \quad (13)$$

$$D + I = G \quad (14)$$

$\delta(U_i)$: もし $U_i < 0$ ならば 1、それ以外ならば 0 をとる変数

ad : 効用値 U_i の単位を調整する係数であり、ここでは $\exp()$ 内の計算をオーバーフローさせることなく行うために導入する

pnl : ペナルティ値

ここで、 G は事業システムの建設費である。すなわち、事業の建設費は金融機関からの借入金と出資金でまかなわれるが、それぞれの分担量は制御変数として表現されることになる。式(11)は、先述のとおり事業主体が利益を追求しないことを示している。また、式(12)、式(13)はそれぞれ、借入金と出資額に対する返済の制約条件となっており、式(14)は先述のように建設費は、借入金と出資金から得られることを示している。

式(10)右边第1項に着目しよう。この項は、主体 i の事業期間を通しての便益フローの現在価値において、単位を調整したものに逆対数変換を行い、それらの積をとった形式となっている⁴⁾。通常、各主体の便益フローの現在価値の和を目的関数とするが、以下に示す理由から式(10)に示す形式にしている。たとえば、便益フローの現在価値の和を目的関数とした場合、ある主体の効用関数が負となっても、最適値と判断される可能性がある。こうした場合、その主体は事業に参入することではなく、事業自体が成立することはない。そのため、便益の総和を目的関数とすることは適切ではない。一方、目的関数を積の形式することが考えられるが、3主体のうち2主体の便益が負となる場合、目的関数の評価値が高く評価されることになる。こうした影響を回避するため、各主体の効用値を逆対数変換したものを想定している。すなわち、値域が $-\infty \sim +\infty$ と想定される各主体の便益フローの現在価値に対し、値域が 0 以上となるような変換を施している。こうした変換を行うことで、乗数型の目的関数を正当化している。ここで、逆対数変換後の効用の和を目的関数としても、式(10)による解と同じ解が得られることが想定される。式(10)右边第2項については、一つの主体でも便益フローの現在価値が負になった場合、目的関数が低く評価されるように、ある正の十分大きなペナルティ値を導入した。このように、各主体が事業に参加することを第一に考え、その上で便益フローの現在価値が最大化されることを重視した目的関数となっている。

もし、 $U_i > 0 \quad \forall i$ が成立する場合、それらの和を目的関数とする問題を解くことによって、より高い便益をもたらす解が得られるように思われるかもしれない。しかしながら、 $U_i > 0 \quad \forall i$ が成立する場合、下記の3つの目的関数は等価となり、さらに3番目の目的関数 Z_3 は式(10)に示したものと等価であることを考えると、そのようなことが起こらないことがわかる。

$$\begin{aligned}\max Z_1 &= \sum_{i \in \{1,2,3\}} U_i \quad \text{if } U_i \geq 0 \quad \forall i \\ \Leftrightarrow \max Z_2 &= \prod_{i \in \{1,2,3\}} U_i \\ \Leftrightarrow \max Z_3 &= \prod_{i \in \{1,2,3\}} \exp(U_i)\end{aligned}$$

式(10)で示される目的関数は、制御変数に関して連続とはなっていない、さらに微分可能でもない。したがって、勾配情報を用いるような標準的な最適化手法は適用できない。そのため、本研究では解法として GA を適用して最適化を行った。

5. 試算方法

本研究では解法として GA を適用して最適化を行っている。そのフローを以下に示す。まず、初期集団 ($x_k, y_k, k=\{1,2,\dots,30\}, I, D$) の生成を行い、目的関数 Z の値を評価することによって、それらの一部を選択し、交叉および突然変異を考慮した次世代集団の生成を繰り返すことによって最適解を求める。

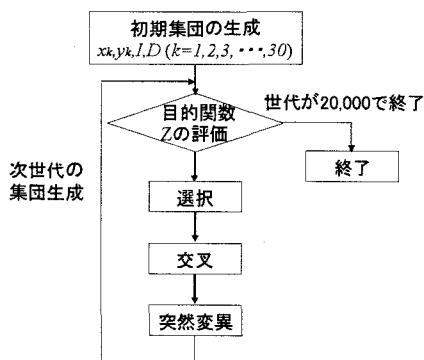


図6 GA適用のフロー

計算に使用した値を以下に示す。建設費、維持管理費、自治体からの熱購入費用、電力会社からの熱購入費用、除雪削減便益、旅行時間短縮便益、交通事故減少便益、熱費用削減費等がある。旅行時間短縮便益の推定方法は、ロードヒーティングの有無による旅行時間の変化を推定し、次に時間価値を用いた金銭的換算値を便益としている。また、交通事故減少便益の推計方法は、ロードヒーティングによってその区間のスリップ事故がなくなることによる金銭的価値を推定している。この詳細に関しては、参考文献¹⁾を参照されたい。

- ・建設費($D+I$): 2419.13(億円) (内訳は以下の通り)
システム建設費(a)+ロードヒーティング建設費(b)
(a)熱供給システム建設費²⁾
一次配管、二次配管、ポンプ・サブステーション
455.6+1,130.7+485.2+34.7=2,106.2(億円)
(b)ロードヒーティング建設費¹⁾
敷設面積×建設費単価
962,871(m²)×32.5(千円/m²)=312.93(億円)
(a)+(b)
2,106.2+312.93=2419.13(億円)
- ・維持管理費(M): 14.52(億円)²⁾
一次配管・二次配管(a)+ポンプ・サブステーション(b)
+ロードヒーティング(c)+人件費(d)
(a)一次配管・二次配管の維持管理費
一次配管・二次配管 80%に対しての 0.19%
(455.6+1,130.7)×0.8×0.0019=2.41(億円)
(b)ポンプ・サブステーションの維持管理費
ポンプ・サブステーション建設費の 80%に対して 2%
(485.2+34.7)×0.8×0.02=8.32(億円)
(c)ロードヒーティング維持管理費
敷設面積×維持管理費単価
962,871(m²)×0.3(千円/m²)=2.89(億円)
(d)人件費: 0.9(億円)
年俸×人数
450(万円)×20(人)=0.9(億円)
(a)+(b)+(c)+(d)
2.41+8.32+2.89+0.90=14.52(億円)
- ・自治体からの熱購入費用(H_1): 18.27(億円)²⁾
下水処理場、清掃工場の合計分×熱量単価
1,015(Tcal)×1.8(円/Mcal)=18.27(億円)
- ・電力会社からの熱購入費用(H_2): 63.54(億円)²⁾
生成総熱量×熱量単価
3,530(Tcal)×1.8(円/Mcal)=63.54(億円)
- ・除雪削減便益(B_s): 2.89(億円)¹⁾
- ・旅行時間短縮便益(B_t): 19.91(億円)¹⁾ (走行費用削減便益: 1.47(億円)¹⁾を含むものと仮定した。)
- ・交通事故減少便益(B_a): 0.53(億円)¹⁾ (転倒事故減少便益: 0.04(億円)¹⁾を含むものと仮定した。)
- ・熱費用削減費(B_h): 255.34(億円)²⁾
生成総熱量(Tcal)÷灯油換算係数(Tcal/l)×灯油単価(l/円)
4,545(Tcal)÷8,900(cal/l)×50(l/円)=255.34(億円)
- ・設定年数(n): 30 年 (本研究で仮定した)
- ・返済期間(n_0, n_1, n_2): 1, 11, 20(年目) (本研究で仮定した)
- ・無リスク金利(r): 0.04 (本研究で仮定した)

6. 試算結果

これらの値を用いて、算出された結果を以下に示す。

- ・自治体(U_1)の便益フローの現在価値：3.04(億円)
- ・電力会社(U_2)の便益フローの現在価値：1,232.18(億円)
(このうち、出資金償還後の配当額の現在価値は285.29 億円)
- ・加入者の便益フローの現在価値(U_3)：666.19(億円)
- ・金融機関による融資額(D)：2,266.10(億円)
- ・電力会社による出資額(I)：152.90(億円)

以上の結果より、本研究で想定した事業には実現可能性があることが示された。すなわち、事業に参加する主体はすべて利益を受ける結果となった。図7は、横軸に事業開始からの年数を取り、縦軸に各期の利益を現在価値化したものの総和を取ったもので、電力会社の累積利益を示している。累積利益は約285億円になり、最終年に電力会社に配当として割り当てられることになる。結果としては、電力会社の純便益の現在価値が大きくなり、自治体のそれは小さくなった。これらは、受益者負担の原則を導入していないことが一因となっている。しかし、電力会社による費用負担（ここでは、出資金として表現されている）は、試算結果によると、152.90億円となっている。電力会社は利益があると判断するから出資するものと考えられる。こうした考えの下では受益者負担は出資金を増やすことを意味するが、ここで示した事業に馴染むとは考えにくい。すなわち、ここで示したスキームの元では、電力会社が出資額をこれ以上増やすと、純便益の現在価値が減少すると判断されたことになる。自治体に関しては、利益を追求する必要がない。このことを考えると、事業に補助金を投入する方が、少なくとも投入しない場合と比べ、純便益の現在価値が多くなる結果からも、事業への補助金投入の動機はあるものと考えられる。また、加入者が支払う料金は受益額によって決められるものとは考えにくい。受益者負担については重要な原則ではあるが、本研究では明確に取り扱っていない。これについては、今後検討を重ねる必要がある。

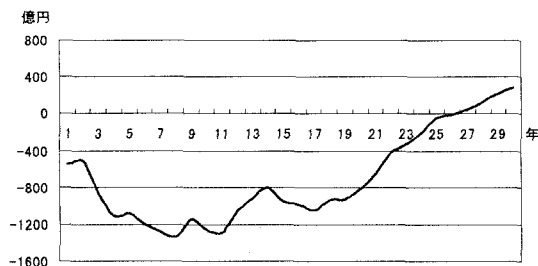


図7 試算結果による電力会社の累積利益

7. おわりに

本研究では、広域熱供給システムの導入、運営時における費用を、自治体、電力会社、加入者が負担するための事業スキームを構築し、コスト分担量を変数とした最適化問題の定式化を行った。各主体における、純便益の現在価値が正になったことより、本研究で想定した条件下では、札幌市における熱供給システムの導入は検討の可能性があると考えられる。環境・エネルギー問題が重視されるこれからの時代、広域熱供給システムは有効であると考えられる。本研究で示した結果は、通常は利害が対立するような主体であっても、協力関係を想定することによって、実現が困難とされてきた事業の可能性を示したものと考えられる。今後は、より精緻な分析を行うためにも、本研究で取り上げることができなかった要因、たとえば、料金設定と加入者数の関係を導入した分析を行う所存である。

参考文献

- 1) 工藤健一他：GISを用いたロードヒーティング網配置による道路投資の評価—札幌市を事例として、地域学研究、Vol.30、No.1、pp.31-46、2000.
- 2) 北海道地域総合振興機構はまなす財団：ふゆ 未来2010 新北方型都市整備プラン.
- 3) 梶井善徳他：地域ITシステム整備における効用化最大問題に関する研究、地域学研究、Vol.33、No.1、pp.295-303、2002.
- 4) 織田澤利守：海外BOTプロジェクトにおけるリスク分担と利潤構造、建設マネジメント研究論文集、Vol.9、pp.141-150、2002.

札幌市における熱供給システムの導入可能性に関する研究

小島直人・内田賢悦・加賀屋誠一・萩原亨

本研究では、積雪寒冷都市において有効であると考えられる、広域熱供給システムについて経済性評価を行った。具体的には、札幌市を対象とし、その事業スキームを構築し、自治体、電力会社等の各主体がどのように整備コストを負担すれば、導入可能となるかについて検討を行った。検討に先立ち、構築した事業スキームに基づき、参入する各主体それぞれについて、コスト分担量を変数とした効用関数を定式化し、これらを用いた目的関数を設定し、その最適化を GA (Genetic Algorithm) 適用して行った。その結果、札幌市を対象とした広域熱供給システムには、経済的観点から導入可能性があることが示された。

A Study on the Analysis for Economical Feasibility of Heat Supply System in Sapporo

By Naoto KOHATA・Ken-etsu UCHIDA・Seichi KAGAYA・Toru Hagiwara

In this study, the economical feasibility of a heat supply system in Sapporo is discussed. Large-scaled heat supply system is considered to be available for the cities in cold and snow region. A project scheme is built, and the utility functions for each participant that are formulated based on the scheme. Then, the amounts of optimal cost assignment are clarified. In order to solve optimization problem formulated by using these utility functions, GA (Genetic Algorithm) is applied to. Consequently, economical feasibility of the large-scale heat supply system in Sapporo is presented.
