

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 Possibility of a Heat Supply System in Sapporo

小島 直人*・加賀屋 誠一**・内田 賢悦***・萩原 亨****

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

1. はじめに

(1) 本研究の背景

札幌市は積雪寒冷地に位置しており、冬季間には多量の積雪がある。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欠かせない課題となっている。

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年程と言われており、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。

現在、札幌市の熱エネルギー効率は0.51となっており、廃熱として熱エネルギーが無駄に放出されている。したがって、この未利用エネルギーを有効に使うことが、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。一方、札幌市では毎年、約160億円の除雪費が消えていく。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なく、除雪費の削減にも役立つ。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実現は難しい。

図1は、デンマークでの熱供給システムによるエネルギー効率向上の例を示している。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られられる。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、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。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。

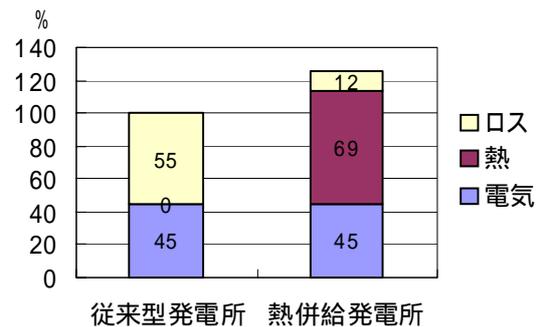


図1 エネルギー効率向上の例

(2) 本研究の目的

広域熱供給システムは、積雪寒冷都市において非常に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。

本研究の目的は、自治体、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を導入できるのかを検討することである。そのために、事業スキームを構築し、参加する自治体と各主体者について、コスト分担量を変数とした目的関数を作成し、その最適化を行う。

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)

** フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科

*** 正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科

****正会員 学博 北海道大学大学院工学研究科

2. 熱供給システム

(1) 熱供給システム

熱供給システムとは、電力と共に熱を供給する熱併給発電所を建設し、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、札幌市内の暖房等の熱供給、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を想定する。

図2は、熱供給システム導入による効果フローを示している。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、様々な効果が考えられ、多くの問題の解消になりそうである。

(2) 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。図3は熱供給システム導入によるイメージ図である。本研究の熱供給システムの概要は、次の通りである。

- a) 集中型システム：大規模な集中型熱併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。
- b) 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。
- c) 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。
- d) 建設費：表1参照
- e) 供給内容：表2参照

(3) 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を以下に示す。石狩湾新港地区に熱併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。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㎡となる。

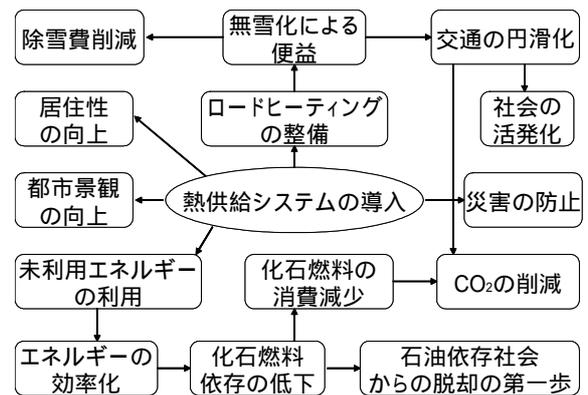


図2 熱供給システム導入による効果フロー

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
公共施設	停留所:約1000箇所
公園	アトリウムなど:10箇所
排雪施設	避難場所など:58箇所
	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

3. 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まわす流れを担うのが、熱供給事業体の役割である。

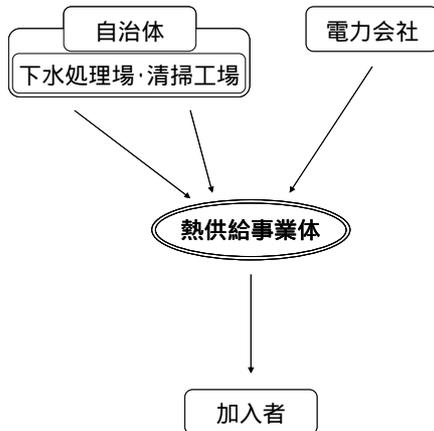


図4 熱供給システム導入による熱フロー

(3) 熱供給システムの金銭と便益のフロー

図5は、熱供給システム導入後の事業全体の金銭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。

a) 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、事業を存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。

b) 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、除雪費用が削減されるため、この代価として熱供給事業体に補助金を支払う。

c) 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。

d) 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。しかし、熱供給事業体に熱料金を支払う。

e) 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と想定し、無リスク金利を適用し、返済は元利均等返済を仮定する。

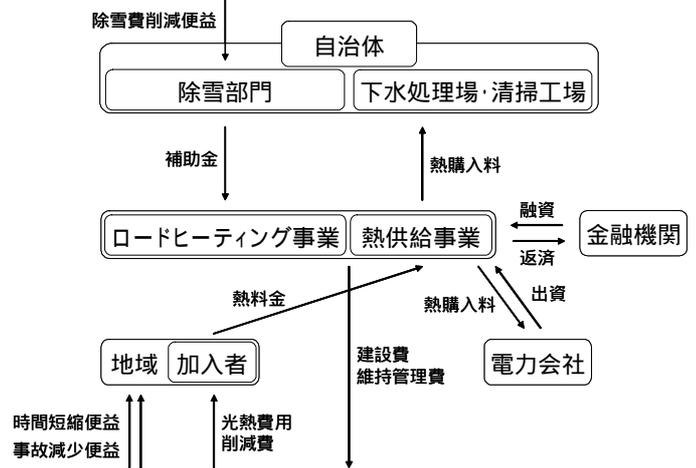


図5 熱供給システムによる金銭と便益のフロー

(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、出資金を返済する。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、返済は全て終わり、配当が出資者に割り当てられる。

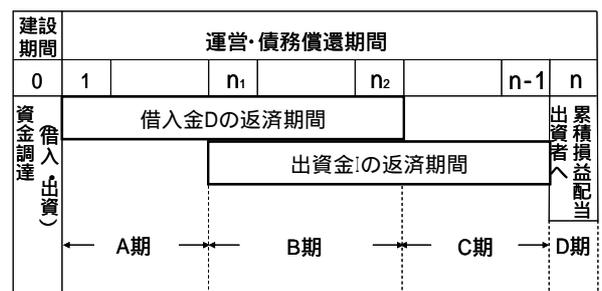


図6 調達資金の返済方法

(5) 各期の金銭と便益のフローの定式化

あるk年目における各主体別の効用関数を、金銭と便益のフローの図をもとに作成する。図5において、返済金額の異なるA期、B期、C期、D期ごとに場合分けをして、定式化を行う。

A期：0 < k < n₁

$$f_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - C - i_k$$

$$C = \frac{Dr(r+1)^{n_2}}{(r+1)^{n_2} - 1}$$

$$u_1^k = B_S + H_1 - x_k$$

$$u_2^k = H_2$$

$$u_3^k = B_A + B_T + B_H - y_k$$

B期：n₁ ≤ k < n₂

$$f_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - C - \frac{I(r+1)^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - i_k$$

$$u_1^k = B_S + H_1 - x_k$$

$$u_2^k = H_2 + \frac{I(r+1)^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1}$$

$$u_3^k = B_A + B_T + B_H - y_k$$

C期：n₂ ≤ k < n-1

$$f_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - \frac{I r^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - i_k$$

$$u_1^k = B_S + H_1 - x_k$$

$$u_2^k = H_2 + \frac{I r^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1}$$

$$u_3^k = B_A + B_T + B_H - y_k$$

D期：k=n

$$f_k = x_k + y_k - H_1 - H_2 - M - i_k$$

$$u_1^k = B_S + H_1 - x_k$$

$$u_2^k = H_2 + \sum_{k=1}^n i_k$$

$$u_3^k = B_A + B_T + B_H - y_k$$

f_k : k年目の事業体の金銭と便益のフロー

u_1^k : k年目の自治体の効用

u_2^k : k年目の電力会社の効用

u_3^k : k年目の加入者の効用

x_k : k年目の自治体による補助金(円)

y_k : k年目の加入者からの熱料金(円)

n : 事業期間(年)

n_1 : 出資金返済開始年度(年)

n_2 : 借入金返済終了年度(年)

D : 金融機関からの借入金(円)

I : 電力会社による出資(円)

i_k : k年目の当期利益(円)

r : 融資金利、割引率

M : 維持管理費(円/年)

H_1 : 自治体からの熱購入費(円/年)

H_2 : 電力会社からの熱購入費(円/年)

B_H : 熱費用削減費(円/年)

B_S : 除雪費削減便益(円)

B_T : 時間短縮便益(円)

(6) 各主体の全体の目的関数

各参加主体の事業期間n年間における目的関数を定式化する。上から順に、自治体、電力会社、加入者の目的関数である。

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

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

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

次に、事業全体の最適化問題は、上記の目的関数を用いて以下に示すように定式化される。

$$\text{Max } G = \prod_{i \in \{1,2,3\}} U_i$$

s.t.

$$f_k = 0$$

$$D - \sum_{k=1}^{n_2} \frac{C}{(1+r)^k} = 0$$

$$U_i \geq 0, \forall i$$

4. おわりに

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の導入時における費用を、自治体、電力会社、加入者がどのように負担するかという熱供給事業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。

環境問題、エネルギー問題が重要視されるこれからの時代には、この熱供給システムは実現性を帯びてくる可能性があると考えられる。

- 参考文献 -

- 1) 工藤健一: 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) 梶井善徳: 地域ITシステム整備における効用最大化最大問題に関する研究, 地域学研究, Vol. 33, No. 1, pp. 295-303, 2002
- 3) 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