



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地域暖冷房のモデル計画
Author(s)	射場本, 勘市郎; 花岡, 裕
Citation	衛生工学, 11, 23-36
Issue Date	1965-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36175
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_23-36.pdf



地域暖冷房のモデル計画

射場本 勘市郎*

花岡 裕**

Some Project on Model Planning for District Heating
and Cooling System

Kanichiro IBAMOTO

Yutaka HANAOKA

Abstract

In this paper, on the assumption that the district heating and cooling system has been come into operation in a relatively cold area which set up a model section, the authors calculated a cost of equipments and its running cost, and decided a calorific price for this system.

We found that the least expensive piping pattern was concerned with the number of branchies from a main pipe and of heat exchangers taking charge of several buildings. Taking considerations of buildings which have been already constructed, it may be given as a conclusion that a payment for the heat medium of this system is not so expensive as it is for a usual one.

1 ま え が き

地域暖冷房は都市のビル街や近郊の住宅団地などを対象として、中央のプラントから熱を供給し暖冷房を行う方式を云い、既に欧米では一世紀におよぶ発達歴史がある。

その主なねらいは地域の特色により種々と考えられるが、一般に各ビル暖房の方式と較べて

- イ) 諸設備効率の増大
- ロ) 単位出力あたりの労賃の軽減
- ハ) 燃料および設備費の低廉化
- ニ) 石炭や石油の燃焼に伴う煤煙の集約処理

などがあげられ、特に札幌市のごときは冬期間の降下煤塵量が世界有数であり、その汚染源は住宅

*産業環境工学講座教授

**大学院博士課程学生

のストーブやビルの暖房ボイラが圧倒的で他の工業都市と事情が異なる。市街の密集部では昭和37年に煤煙防止条例が公布され、火床面積 0.25 m^2 以上の燃焼装置について規制をうけているが、さすがに不特定多数のストーブは野放しのままで、その取締りや指導も現状では困難である。

さて、抜本的対策としては地域暖房を実施することが理想的であるが、地区面積あたりの熱需要の確保、設備の更新、ならびに融資など未だ経済的見通しもつかないので、とりあえず小規模ながらでも実現させたいと云う起運が熟しつつある。

この論文はその第一段階として、札幌市のような寒冷地にモデル化した地域暖房を施す場合の方式、諸設備などの経済的検討を行つたもので、夏期における設備遊休の場合についても冷房の対象として考察した。

2 地域暖冷房方式

地域暖冷房方式は実情の送熱媒体という見方からすれば、蒸気を用いる場合と熱水を用いる場合とがある。こゝに蒸気とは一般に中等程度の圧力（ゲージ圧力10気圧前後）で温度は180℃位であり、熱水はゲージ圧力が7～10気圧程度、温度150℃～180℃位に加熱したものを指し、いわゆる温水とは区別される。

これらの中でどちらを用いるかにより配管ならびに諸設備がいくらか異なるので、その相違を簡単に述べておくと

イ）蒸気を熱媒として使用する場合には、暖冷房目的としては、大部分をその蒸気の持つ潜熱を利用するので、見掛け比熱は熱水のそれに較べ大きく、従つて、同じ熱量を送るのにも流量は少なくて済み、しかも流速を大にすることができるので、気体であることを考えても配管管径は細くすることが可能である。

しかし、トラップ、減圧ステーションなど余分な設備を要し、また還水管は腐蝕しやすく、しかも逆勾配にすることが許されないので、地形の起伏が多いと施工が困難になる。

ロ）破損、漏洩があつた場合、蒸気ならば触れた物体にその顕熱を放出するので危険であるが、熱水はむしろ潜熱の一部を吸収し低圧の蒸気になるのでその度合は少ない。

この論文では、上記のような利害得失を総合判断し、もつぱら熱水を用いる場合の暖冷房方式について考察した。

なお、外国の実施例を簡単に述べると、地域暖冷房の歴史は1875年ドイツで行われた低圧温水の例が最初とされ、その後、ヨーロッパで温水方式が普及し、比較的最近になり熱水が用いられる様になつた。また、アメリカにおける歴史も古く1877年ニューヨークで低圧蒸気暖房が行われたのが始めて、その後は高圧の蒸気に移り最近では熱水も用いられている。

3 モデル計画

3-1 需要熱負荷の分布密度

ある地域を暖冷房する場合に対象とする建物の種類が何であるかを見定める必要がある。

例えば、考えている地域がビル街、アパート群、あるいは1戸建住宅群のいずれであるかにより暖

冷房負荷が異なり、それに関連して配管費や設備費などが異なってくる。

具体的に、今1Km四方の地域、すなわち100ヘクタールの面積を考え、その地域の特徴として

- イ) 10階建程度のビル街
- ロ) 4階建程度のアパート群
- ハ) 1戸建住宅群

の3つの場合を与え、それぞれの地域暖房負荷を概算すると

イ) ビル街の場合

1Km四方の面積から道路や公園などの公共的面積を3割として除き、残った敷地内での建坪すなわち建ぺい率を7割とすれば、建坪の合計は50ヘクタールとなり、延床面積はその10倍になる。これは換言すると、延床面積25,000㎡のビル(以下標準ビルと称し、例えば北海道ビル位)であれば200棟も存在することになる。

札幌では暖房面積あたりの熱負荷は大体100kcal/h㎡であるから、標準ビルの暖房面積を延床面積の8割位とすれば、約200万kcal/hで、全地域では4億kcal/hが必要である。

ロ) アパート群の場合

公共用地の条件は上記と同じで、建ぺい率を3割におさえれば、建築面積の合計は20ヘクタールになる。こゝで、建坪500㎡、4階建標準アパートを考えると、400棟建ち暖房対象の住宅面積を延床面積の6割として暖房負荷を算出すると、全地域で約0.5億kcal/hになる。

ハ) 1戸建住宅団地では、同様に計算すると、100㎡(30坪)程度の住宅が2000戸建ち、全地域の暖房負荷は約0.1億kcal/hとなる。

この計算によれば、同じ広さの地域を考えても暖房負荷はビル街の場合に對し、アパート群、1戸建住宅群ではそれぞれ1/9、1/36程度の需要密度になる。つまり、配管の総延長はこの需要密度に反比例して長くなるので、管径の差異を考慮しても単位熱量あたりの配管設備費は住宅群やアパート群については割高となる。

ビル街に関しては一般に、既設の設備があり、その処分の問題や配管の埋設の困難などが存在する。その点、アパート群については、団地の建設時に施工することが容易であるが、上記の需要密度を合わせ考えると、両者は長短相反することになる。従つて、単純には決められないが、こゝでは主として、ビル街のモデル計画を中心に述べる。

3-2 配管系統計画

中央プラントから各ビルへの配管は幾通りか考えられるが、なるべく簡単な形式として中央プラントにつながる主管が数本の副主管を出し、さらに分岐管を出して2次プラントに至る。そこでは熱交換器を備え、専用または共同で各ビルに通常の蒸気や温水を供給する。熱交換器で用をなした熱水は還水管の枝管から主管を通り中央プラントに還元されるものとする。

管摩擦損失水頭 $Ff(mAq)$ はFanningの式によれば

$$Ff = \lambda \frac{\ell}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (mAq) \quad (1)$$

である。

ただし	λ ＝管摩擦係数	$[mAQ/m]$
	D ＝管径	$[m]$
	ℓ ＝管の長さ	$[m]$
	V ＝管内流速	$[m/S]$
	g ＝重力加速度	$[m/S^2]$

単純化のために、単位長さあたりの摩擦損失水頭 Ff/ℓ を一定値とする等摩擦法を採用し、また管摩擦係数 λ が考える範囲内では流速 V に関せず一定であるとの仮定を許せば $\sqrt{Ff \cdot 2g/\lambda \cdot \ell}$
 $\equiv \alpha$ は定数とみなすことができ

$$V = \alpha D^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

のように表わせる。

さらに、流量 Q (m^3/S) と流速 V との間に $Q = \pi D^2 V / 4$ の関係があることから、(2)式はつぎのように表示できる。

$$D = \beta Q^{\frac{2}{5}} \quad (3)$$

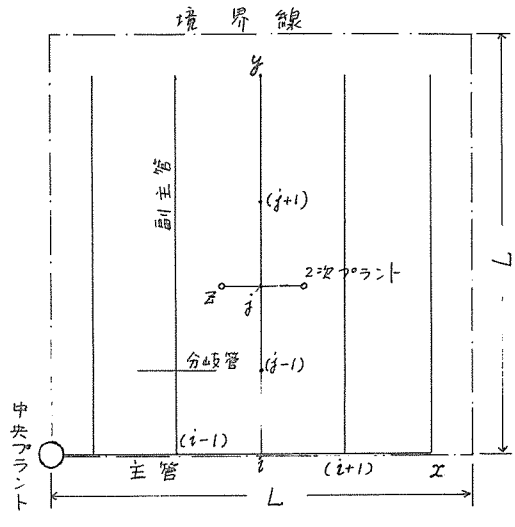
ここで

$$\beta = \left(\frac{4}{\alpha \pi} \right)^{\frac{2}{5}} = \left\{ \frac{4}{\pi} \sqrt{\left(\frac{\ell}{Ff} \right) \left(\frac{\lambda}{2g} \right)} \right\}^{\frac{2}{5}} = \text{定数}$$

以上の式を基にして、つぎの図-1のような管路網の管径を求める。

図-1において、主管、副主管を等間隔にそれぞれ x 本および y 本出し、中央プラントからの全供給熱水量を Q_0 とすれば、主管の i 番目の分岐点と $(i+1)$ 番目の分岐点間の流量は $(Q_0 - i Q_0 / m)$ 、副主管の j 番目および $(j+1)$ 番目間の流量は $(Q_0 / x - j Q_0 / xy)$ であるので、主管、副主管の i 番目および j 番目の管径を $D_{x,i}$ 、 $D_{y,j}$ また分岐管の径を D_z とすると、

$$\left. \begin{aligned} D_{x,i} &= \beta (Q_0 - \frac{i}{x} Q_0)^{\frac{2}{5}} = \left(\frac{x-i}{x} \right)^{\frac{2}{5}} \beta Q_0^{\frac{2}{5}} \\ D_{y,j} &= \left(\frac{y-j}{xy} \right)^{\frac{2}{5}} \beta Q_0^{\frac{2}{5}} \\ D_z &= \left(\frac{1}{xy} \right)^{\frac{2}{5}} \beta Q_0^{\frac{2}{5}} \end{aligned} \right\}$$



(4) 図-1 配管系統図

となる。

つぎに、1 mあたりの配管設備費を P_ϕ とし、管径 D との間に

$$P_\phi = K_\phi \cdot D^2 \quad (5)$$

の関係が成立つものとする。 $K\phi$ は配管設置に関する係数で、材料費の他に埋設工事費、保温工事費、附属品費、人件費などを含み、配管用鋼管については $K\phi$ 値は10～30万円/(管径²)程度であり、10cm以上の管径ではほぼ定数とみなせる。

(4)式を(5)式に代入して、 $D_{x,i}$, $D_{y,j}$, D_z に対する1mあたりの配管費 $P_{x,i}$, $P_{y,j}$, P_z を求めると

$$\left. \begin{aligned} P_{x,i} &= K\phi\beta^2 Q_0 \frac{4}{5} \left(\frac{x-i}{x} \right)^{\frac{4}{5}} \\ P_{y,j} &= K\phi\beta^2 Q_0 \frac{4}{5} \left(\frac{y-j}{xy} \right)^{\frac{4}{5}} \\ P_z &= K\phi\beta^2 Q_0 \frac{4}{5} \left(\frac{1}{xy} \right)^{\frac{4}{5}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

が得られる。

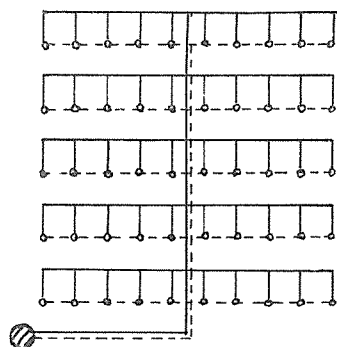
従つて、全配管費 $P\phi$ は

$$\begin{aligned} P\phi &= \sum_{i=0}^{x-1} P_{x,i} \frac{1}{x} L + \sum_{j=0}^{y-1} P_{y,j} \frac{x}{y} L + xy P_z \\ &= K\phi\beta^2 Q_0 \frac{4}{5} L \left\{ \sum_{i=0}^{x-1} \frac{1}{x} \left(\frac{x-i}{x} \right)^{\frac{4}{5}} \right. \\ &\quad \left. + \sum_{j=0}^{y-1} \frac{x}{y} \left(\frac{y-j}{xy} \right)^{\frac{4}{5}} + xy \frac{1}{5} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

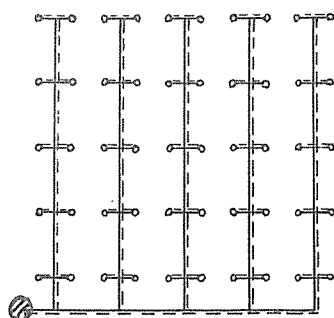
で表示される。ここに L は図-1のように対象地域の一边の長さを表わす。

先に述べたビル街のモデル地域について、具体的な数値を求めて見よう。

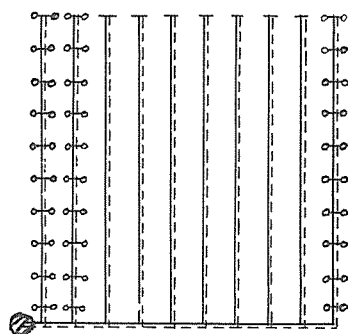
いま、中央プラントから送られる熱水の温度が各熱交換器で150℃から80℃に温度降下したとすれば、全熱負荷4億kcal/hに対して、熱水循環量 Q_0 は比熱1Kcal/Kg℃として5700m³/h必要となる。単位長さあたりの管摩擦損失 FL を0.004(mA_Q/m)、中央プラントに接続される主管の径 $D_0=1.0$ m、流速 $V=2.0$ m/sとし、配管用鋼管については $\lambda=0.02$ 位であるので、(2), (3)式より、 $\alpha=2.00$, $\beta=0.84$ を得る。そこで、 $L=10^3$ (m), $K\phi=2 \times 10^5$ とにおいて、代表的であると考えられる配管のパターンについて全配管費を算出し、その結果を図-2に示す。ただし、図中Ⅳ型Ⅴ型については別個に β の値を求め算出した。



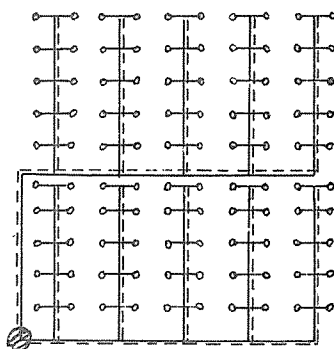
(I)
2次プラント数 50
 $P_{\phi} = 10$ 億円



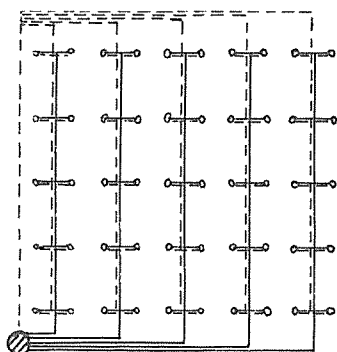
(II)
2次プラント数 50
 $P_{\phi} = 7.5$ 億円



(III)
2次プラント数 200
 $P_{\phi} = 7.1$ 億円



(IV)
2次プラント数 100
 $P_{\phi} = 6.6$ 億円



(V)
2次プラント数 50
 $P_{\phi} = 9.1$ 億円

—— 往水管
----- 環水管

図-2 各種パターンの配管費

これらの5通りのパターンについて比較すると、Ⅳ型が最も安く6.6億円であり、Ⅰ型のように中央プラントから主管が分岐なしで太い管のまま直接奥に入り込んだ場合は10億円に上る。

つぎに、主管の数を1本として、それから分岐されている副主管の本数と配管費の関係を、熱交換器の数をパラメータにしてプロットすると 図-3 のようになる。

ただし、この例では1本の副主管から5本の分岐管を出している場合を考え、また地域内の全建物数は200棟であるため、熱交換器1基の受持つビルの数を常識の範囲におさめ、1棟、2棟、4棟、8棟の4種類について考慮した。図-3からも判るように、配管の分布にはある最小値を与えるような分岐数が存在し、ここでは主管からの分岐数(副主管の本数)がおよそ5本程度であるのが最もよい。主管が複数になったⅣ型、Ⅴ型の場合でも同様の傾向になる。

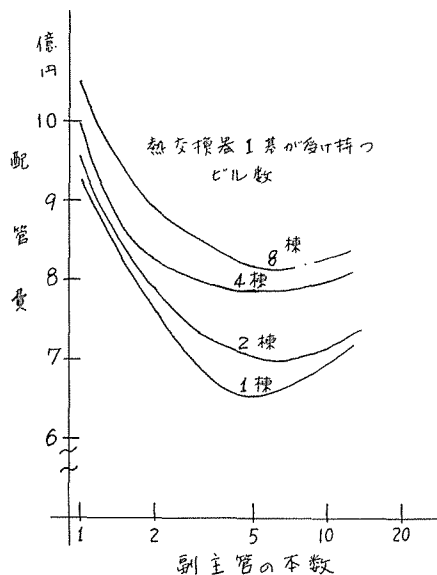


図-3 副主管本数と配管費との関係

3-3 ポンプ設備

熱水を送るためにポンプが受持つ揚程は、管路が閉回路になっているので熱水を循環させるだけの水頭があれば足りる。つまり、直管部の摩擦損失水頭と分岐、曲管、異径管の接合部などの抵抗及び熱交換器内の流動抵抗に関する損失水頭をポンプが負担すればよい。

ところで分岐、異径管及び熱交換器などの損失水頭は $\sum \zeta_i V_i^2 / 2g$ で表わせるが、これを簡単化するために相当管長 l_e を考え

$$l_e = \frac{l_m}{F_f} \cdot \sum \zeta_i \frac{V_i^2}{2g} \quad (m) \quad (8)$$

とおくと、ポンプの受け持つ管長は $(l_e + l_m)$ となり、ポンプに要求される揚程 $H_p (mAQ)$ は

$$H_p = \frac{2F_f}{l_m} (l_m + l_e) = \frac{2\lambda \alpha^2 l_m}{2g} \left(1 + \frac{l_e}{l_m}\right) \quad (9)$$

となる。

また、送水流量 $Q_0 (m^3/S)$ に関しては、ポンプの吐出側に接続され管径を D_0 、流速を V_0 とすれば、(2)式の関係を満足するものとして、

$$Q_0 = \frac{\pi}{4} \alpha D_0^{\frac{5}{2}}$$

で示され、結局、ポンプの出力 (H_p) はつぎのとおりである。

$$L_p = \frac{\rho Q_0 H_p}{75 \eta} = \frac{2 \cdot \frac{\pi}{4} \rho \lambda \alpha^3 \ell m}{75 \eta \cdot 2g} \left(1 + \frac{\ell_e}{\ell m}\right) D_0^{\frac{5}{2}} \quad (10)$$

ただし、 ρ = 流体の密度 (Kg/m^3)

η = ポンプの効率

電動機を含むポンプの費用 P_p はポンプ出力 L_p との間に

$$P_p = a L_p \quad (11)$$

が成立すれば、(10)式を(11)式に代入して次式を得る。

$$P_p = a K_p D_0^{\frac{5}{2}} \quad (12)$$

ここに a は出力あたりポンプ設備費に関する係数で、約 2×10^4 円/ H_p であり、また

$$K_p = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\alpha^3}{2g} \cdot \frac{\rho \lambda}{75 \eta} \ell m \left(1 + \frac{\ell_e}{\ell m}\right)$$

である。

さらに、ポンプ稼動時の運転費を P_r とすると

$$\begin{aligned} P_r &= b L_p \cdot T \\ &= b K_p D_0^{\frac{5}{2}} T \end{aligned} \quad (13)$$

で表わされる。ここに b (円/ H_p) はポンプ稼動時に伴う動力費に関する定数、 T (h_r) はポンプ稼動時間である。

具体的な数値例として、図-2 にあげた各種配管パターンについてポンプの設備費のみを計算し、その結果を表-1 に示す。

配管型式	ポンプ台数	ポンプ1台あたり流量	最遠地までの管長 ℓm	相当管長 ℓ_e	ポンプ揚程 H_p	ポンプ設置費用 P_p
I	1	94.5 m^3/m	2×10^3 m	41.6 m	16.3 m	0.2 億円
II	1	94.5	2×10^3	41.6	16.3	0.2
III	1	94.5	2×10^3	163.0	17.4	0.2 ₄
IV	2	47.4	2×10^3	81.6	16.6	0.2 ₁
V	5	19.2	2×10^3	41.1	16.2	0.2

表-1 ポンプの設備費用

ただし、この計算ではポンプ効率 $\eta = 0.6$ とした。また、(8)式で定義した g の値としては大雑把に分岐、異径管など局部抵抗係数を 0.5、熱交換器内の流動抵抗については 4 とした。

この計算結果ではポンプの価格はどのタイプでもさほど変動はなく約 2,000 万円程度の設備費となる。

3-4 熱 交 換 器

熱交換器の熱収支を考えると、次の平衡式が成立つ

$$\rho C_p q \cdot \Delta t = K \cdot \Delta \theta A_e \quad (14)$$

こゝで

ρ = 熱水の密度 (Kg/m^3)

C_p = 熱水の比熱 ($Kcal/Kg \text{ deg}$)

q = 熱水量 (m^3/h)

A_e = 熱交換器の有効伝熱面積 (m^2)

K = 熱水と二次側流体との総合熱貫流率 ($Kcal/m^2 h \text{ deg}$)

Δt = 熱水の熱交換器出入口温度差 (deg)

$\Delta \theta$ = 熱水と二次側流体との対数平均温度差 (deg)

伝熱面積 A_e と熱交換器重量 W (Kg) との間にはよつぎの関係が成立する。

$$W = 1.2 \times 10^2 A_e^{0.8} \quad (15)$$

(14)式に代入して

$$W = K_e' \cdot q^{0.8} \quad (16)$$

こゝに

$$K_e' = 1.2 \times 10^2 \times \left(\frac{\rho C_p}{K} \right)^{0.8} \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta \theta} \right)^{0.8}$$

熱交換器の費用 P_e' は重量 W と比例の関係にあるものとして

$$P_e' = C \cdot W \quad (17)$$

こゝで、 C は重量と費用に関する係数で材料費、人件費、製作費などを含めて、トンあたり 20 ～ 30 万円位とされている。

従つて、熱交換器 1 基に関しては

$$P_e' = K_e \cdot q^{0.8} \quad (18)$$

ただし

$$K_e = C \cdot K_e'$$

いま、 C_p 、 K など熱的特性値が流量 q に関係なく一定であれば、熱交換器の費用は熱水の流量の 0.8 乗に比例する。

そこで 熱交換器の費用 P_e をプラントの規模で表示することを考え、熱交換器は 2 次プラントあるいは各ビルをそれぞれ 1 基でまかなうものとするれば、熱水の全供給量 Q_0 、熱交換器の個数を M とする時、 $Q_0 = M \cdot q$ なる関係を有するので、(18)式に代入して

$$P_e' = K_e Q_0^{0.8} \left(\frac{1}{M} \right)^{0.8}$$

全熱交換器の費用 P_e は

$$\begin{aligned} P_e &= M \cdot P_e' = K_e Q_0^{0.8} M^{0.2} \\ &= \frac{K_e}{\rho^{0.2}} D_0^2 M^{1.2} \end{aligned} \quad (19)$$

となる。

熱交換器について、熱水の比熱 $C_p = 1 \text{ Kcal/Kg deg}$ ，熱貫流率 $K = 10^3 \text{ Kcal/m}^2\text{h deg}$ ， $\Delta t = 70 \text{ deg}$ ， $\Delta \theta = 50 \text{ deg}$ とすれば， $Ke' = 0.65$ である。先のモデル地域では $Q_0 = 5.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ であるから， $C = 2.5 \times 10^5 \text{ 円/ton-熱交換器重量}$ として，全熱交換器費用は19式にそれぞれ数値を代入して

$$Pe = 1.46 \times 10^8 \times M^{0.2} \quad (\text{円})$$

を得る。

ビル8棟を1基の熱交換器でまかなう様な場合には，全地域で25基の熱交換器になるので $M=25$ を代入して $Pe = 2.8$ 億円となる。ビル4棟で熱交換器1基の場合は同様に計算すると，3.2億円となり，以下ビル2棟の時は3.7億円，2次プラントがビルの専用の熱交換器である場合には最も高く4.1億円である。

以上をまとめて，図-2の(I)型から(V)型までの配管費，ポンプ費，熱交換器費の合計を算出し，2次プラントの数，すなわち熱交換器の数を横軸にとり，グラフに示すと図-4のようになる。ただし，このときの配管費は3-2で求めた $P\phi$ に2次プラントから各ビルまでに分配する管の費用を加えた。

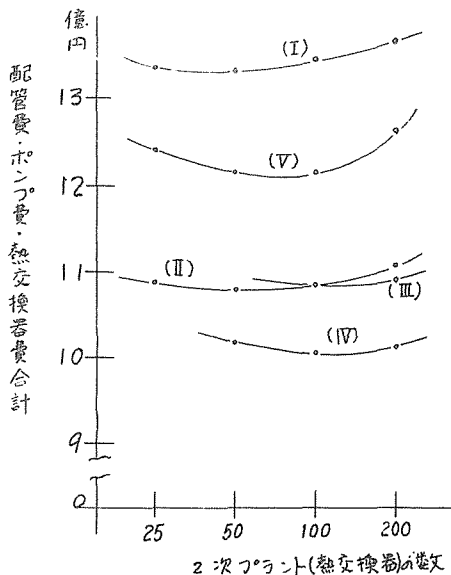


図-4 2次プラントの数と配管費，ポンプ費，熱交換器費合計

3-5 中央プラント施設

上記の他に設備費として考慮しなければならないものにボイラ建設費などがある。

熱水を作り出す方式として熱水ボイラなどが実用化されているが，こゝでは大容量を取扱うの

で水管式蒸気ボイラにより蒸気を発生させ、中央熱交換器に通して熱水を得る方式を考える。この方法によれば、高価なボイラ用水が少なくて済むと思われる。

このモデル計画では熱水循環量が $5700 \text{ m}^3/\text{h}$ であるから、その熱量を補う蒸気の発生量は、約 300 t/h である。いま1基につき 20 atg 、蒸気容量 80 t/h のボイラを使用したとすれば10基必要となる。

このボイラに対して、建設費が発生蒸気トン数あたり300万円とし、計装や集塵器を考慮すれば、1基で約4億円、全体で40億円の建設費を要する。さらに中央プラントの建屋など10億円と見込めば、中央プラント関係で50億円となる。ただし、敷地代は含まない。

3-6 設備費に関する考察

以上の諸設備費を総計すると約60億円になり、ほぼ同程度の熱出力（蒸気圧 131 atg 、容量 $420 \text{ T/H} \times 3$ ）を持ち、全道の電力需要の $1/3$ をまかなう新江別火力発電所が約200億円の建設費を要したのに較べると約 $1/3$ にとどまつているが、超高圧ボイラであることに加えて発電設備を必要としないからなのであろう。

つぎに、同じ1Km四方の地域が3-1で述べたロ）の場合、すなわち4階建アパート群について同様の概算をすると、熱負荷が減少し、熱水循環量がビル街に対し約 $1/10$ になるので、配管費、熱交換器費などは約3億円、中央プラント設備が約5億円で計8億円を要することになる。熱需要密度はビル街の $1/10$ であるのに対し、建設費は $1/8$ 程度であるから、同じ熱負荷あたりで建設費は25%割高になる。

また中央プラント設備費と配管費との割合を見ると、ビル街では5:1であるのがアパート群では5:3となり配管費などに要するウエイトが増大し、そのパターンの影響も無視できなくなる。

4 経常費に関する考察

経常費に関しては運転費、人件費、燃料費などが考えられる。

4-1 運 転 費

運転費としては、循環ポンプの動力費について概算する。

このモデルではポンプの所要出力は約 1000 HP で電動機により駆動するものとすれば 750 KW となる。駆動期間を年間200日とし、16時間づつ定格運転するものと仮定して、大口需要電力単価を 5 円/KWH とすると、年間動力費は0.1億円になる。

4-2 人 件 費

地域暖房の事業体では管理や運転をできるだけ経済的に、能率よくするため、中央監視などの集中管理を積極的に図る必要がある。

これらの機器および装置をどの程度にまで自動化し、中央監視させるかなどの計装計画はその状況によつて決まり、一概に判断することはむずかしい。しかし、全体としては、従来の各ビル暖房方式にくらべ、かなり人員整理されることは事実であり、仮りに、中央プラントに優秀なボイラ技士を30名、2次プラントの巡回要員（保守要員も含む）を35名、事務関係に5名程度、計70名で組織されるものとすれば、1人あたり年収70万円として年間0.5億円となる。

4-3 燃 料 費

モデル地域が産炭地にあることおよび重油の供給変動を考え、ボイラは微粉炭焚（重油を補助に混焼）とし、発熱量 5500Kcal/Kg の低品位炭を使用する。

所要熱量 4億Kcal/h に対し、定格運転でボイラ効率 85% 、途中配管の熱損失を 10% と見込んで、年間の石炭消費量を求めると約 30 万トンになり、上記の低品位炭をトンあたり $3,000$ 円とみて年間 9 億円になる。

さらに石炭の場合、燃焼に伴う灰の処理が問題になる。この石炭の 20% が灰になるとすれば、年間 7.5 万トンを処理せねばならない。いま、これらを 4 トン積トラックにより 20Km 遠方の地に捨てるものとすれば、年間 2 万回往復することになり、 1 回の輸送費を $2,000$ 円として、 0.4 億円になる。

5 総 括

5-1 需 要 熱 量 単 価

以上で、地域暖房の計画を寒冷地にある 1Km 四方の 10 階建ビル街に適用して規模、配管型式による費用、熱交換器、ボイラ設備費用および経常費などについて個々に論じて来た。いま一度これを整理して要約すると、配管費、 2 次プラントの費用に 10 億円、中央プラントのボイラおよび建屋に 50 億円、計 60 億円を要する。そこで、この設備を公益事業体が管理するものとし、施工時に 60 億円の資金を借入れ、さらに次期の新規購入資金の積立を考慮して、年利率 5% の 30 年延べ払い、 8.3% の償還率として 1 年間の償却費を算出すると、 5 億円になる。運転費、人件費、燃料費を考慮すると年間経常費は 15 億円を要する。さらに経常費としての機器、設備などの保守費は上記積立の分から支出するものとする。

この費用をもとに熱水の熱量価格を算定すると、暖房のみを考えた需要熱量を基準にすれば、 1.2 円/ 10^3Kcal となる。ちなみに、アパート群に対して同様の計算を行うと、配管費、熱交換器費、ポンプ運転費などは熱量割合に比例せず割高となり、全体としてビル街に対し 2 割 5 分増しの 1.5 円/ 10^3Kcal になる。

なお、ビル街については次節に述べるように、冷房のための送熱を行い、夏期の遊休期間を 50 日とせぐとすれば、 2 割ほど安く 1.0 円/ 10^3Kcal となる。

5-2 夏 期 対 策

前節で述べた経常費では、ビル街に対してのみ夏期の冷房用送熱を考慮した。

圧縮式冷凍機を用いずに、ガス冷蔵庫の原理に基づいて、熱水で冷房ができる。すなわち、熱水の持つ持っている熱あるいは高い圧力を利用して、水または他の液体を低い圧力の下で蒸発させ、その時に対象物から奪う潜熱を冷房の目的として使用する。その方式により吸収式冷凍機とか蒸気噴射式冷凍機があり、前者は熱水の持つ保有熱を、後者は熱水を一度蒸気に変え、ノズルから噴出させることにより蒸発を行わせる。これらの冷凍機はいずれも装置自体に可動部分が少なく、運転費は安く済む。しかしなお設備費を節約するために、効率は多少劣るが、熱水をそのまま噴射させる方式が開発されればより合目的であると思われる。このような方法によれば、暖房期においても、還水管は圧送しなくてもよい。

札幌の場合、冷房負荷は暖房の半分にあたる $50\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}$ 程度で、東京とは逆の関係になつてゐる。この負荷を得るために、上記の冷凍機を用いるものとすれば、熱水の熱量はその割合で行くと約 $70\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}$ 必要となり、標準ビルに換算すると、 $140\text{万Kcal}/\text{h}$ 、全体で $2.8\text{億Kcal}/\text{h}$ となり、暖房時の $4\text{億Kcal}/\text{h}$ に比して 7 割程度の負荷になる。

なお、冷凍機での熱収支を考えると、5 の冷房負荷に対し 7 の割合で熱量を冷凍機に与えたので、その和に相当する熱量だけ取除かねばならない。その熱量は標準ビルで $240\text{万Kcal}/\text{h}$ 、全地域で $4.8\text{億Kcal}/\text{h}$ になり、これを全部井水でまかなうとすれば、地下水はたちまち枯渇してしまう危険があるので、使用水量の節約を考えて、冷却塔により空気で冷やされた水を循環させるものとする。

5-3 既設ビルの転換経済

以上のモデル地域の考察では全てのビルが始めから地域暖冷房を目的として新設されると云う極めて理想的な場合であるが、実際には既設のビルが大部分であつて、これに対する考察を無視することはできない。

さて、地域暖房を施した場合と各ビル暖房を採用した場合との経済性について比較するために、まず、各ビル暖房方式の暖房設備に対する年間経常費を概算しよう。

標準ビルの暖房負荷に対し、蒸気容量 $5\text{t}/\text{h}$ のボイラを設置したとすれば、煙突、計装などを含めて約 $2,000\text{万円}$ を要する。またボイラ室、煙突、石炭庫などが占める面積を全延床面積の 2 % とすれば、ビル建設費を 10億円 として、この面積に対する建設費は $2,000\text{万円}$ 位になり、計 $4,000\text{万円}$ が固定費として要る。この固定費に対する償却を民間ベースの税込みで年利率 10 %、20 年償却として算出すると、年 600万円 となる。

燃料費に関しては $6500\text{Kcal}/\text{kg}$ の良質炭をトンあたり $6,000\text{円}$ 、ボイラ効率 70 %、暖房期間を 200 日として求めると、年間 850万円 位になる。また、人件費についてはボイラ技士 1 名を常駐、2 名を需要期のみ採用するものと考えれば、年間 150万円 程度であり、結局、各ビル暖房方式の年間経常費は標準ビルで $1,600\text{万円}$ 位となり、熱水を購入した場合約 800万円 で済むのに対して倍も高くつく。

しかしながら、既設ビルの場合、既存のボイラ設備の処理および借金未済の問題があり、いくらか不利になるものと思われる。

そこで仮りに、自体でボイラ設備を持つ新築直後のビルが地域暖房に切り換えを計り、しかもボイラ売却に際して買手がつかないと云う最悪の場合を考える。ボイラ撤去後、その面積は他の目的に転用でき、いずれは償却されるが、ボイラそのものは無償で取り除かれ、しかも、この設備に対する借入金の残りがあつた。それを契約を守り続けて償却するものとすれば、経常費の中 300万円 を返済することになる。結局、新設ビルでは年間 800万円 を節約できるが、新築直後の既設の場合でもなお 500万円 は得になる。

なお、地域暖冷房方式に切り換える際は、ボイラ設備のみがその対象になつて居り、空気調和機器その他の設備は在来のまま使用を続けることができる。

5-4 結 論

これまでのことを要約して述べると、諸設備固定費はビル街の場合、このモデル地域では全体とし

て約60億円を要し、その中で、中央プラントのボイラ設備などが大部分を占める。配管費については10億円程度であり、配管のパターンの影響は全体に比して小さいが、一応のパターンおよび2次プラントの数を決定することができた。

また、同じ1km四方の面積を考えても、アパート群の場合には、その需要密度はビル街の1/10程度で全体の規模も小さくなるが、配管費、熱交換器費などはその割には減らないで、配管パターンの影響も無視できなくなると思われる。

これらの施設を公益事業体が運営管理するものとすれば、低利資金、長期年賦になるので、償却費は民間に較べて低くすることができる。経常費については運転費、人件費、燃料費および灰処理運搬費を考慮して熱水価格を試算した結果、1.2円/10³Kcalで標準ビル1棟に換算すると年間約800万円の負担で済むことになり、従来の各ビル暖房方式に較べると、半分で済むことが分つた。さらに設備の夏期遊休について冷房を考慮すれば、1.0円/10³Kcalで2割程度安くなる。また、アパート群ではビル街の2割5分増の1.5円/10³Kcalとなるが、この地域に1万世帯が住むものとすれば、1世帯あたり年に約2万円の負担で済むことになり、この計算では現在の各戸別暖房に対しても充分対抗できる。

いずれにせよ、実際には上記のモデル地域よりは小規模であり、また既設ビル、新設ビルが混っているので、上記の数字より多少高くつき修正を要すると思われるが、一応の目安がついたのでこゝに報告した次第である。