

1 地域暖房の計画

1-1 問題の背景

札幌市の大気汚染はいわゆる産業公害ではなく、ビルや家庭の暖房によるロンドン型の都市公害である。降下煤塵量は平方軒当り毎月30トン、すなわち毎日1トンに及んでおり、昭和31年より委員会を作り大気汚染防止につとめて来た。その後、昭和37年6月に煤煙防止条例が公布され、大気汚染防止法に基づいてこの条例の規制を受けるようになった。その結果は皮肉にもビル暖房の大半が重油焚きになり、黒い煙の発生は半減したが反面にSO₂(硫酸酸化物)が増加し、市中心部の記録計では0.2 ppmを越える日域再三あり、今後ますます増加する傾向である。根本的解決策としては、公害防止審議会の答申が示され、住宅街には無煙化半成コークスの製造および普及を計り、ビル街に対しては地域暖房の具体的な設計段階に来ている。

1-2 熱需要の予想

地域暖房の対象と規模を概観すればビル街、アパート団地、学園境内などが上げられる。エネルギー輸送の見地から言えば、蒸気や温水の外に電力、ガス、重油なども需要者に直送する方式が考えられる。ガスや灯油であれば片道供給で足りる。しかし電力やガスの単価がそれぞれ1/5、1/3位に安くなるのと経済的に魅力が乏しい。また甲府市では灯油はトラック運搬で足りるが、寒地で重油パイプ輸送はできない。従って、高圧・高温の蒸気や熱水による地域暖房が実用的である。

かかる熱量を計る単位としては、ギガ・カロリー(Gcal=100万kcal)があるが、もっと具体的に札幌で床

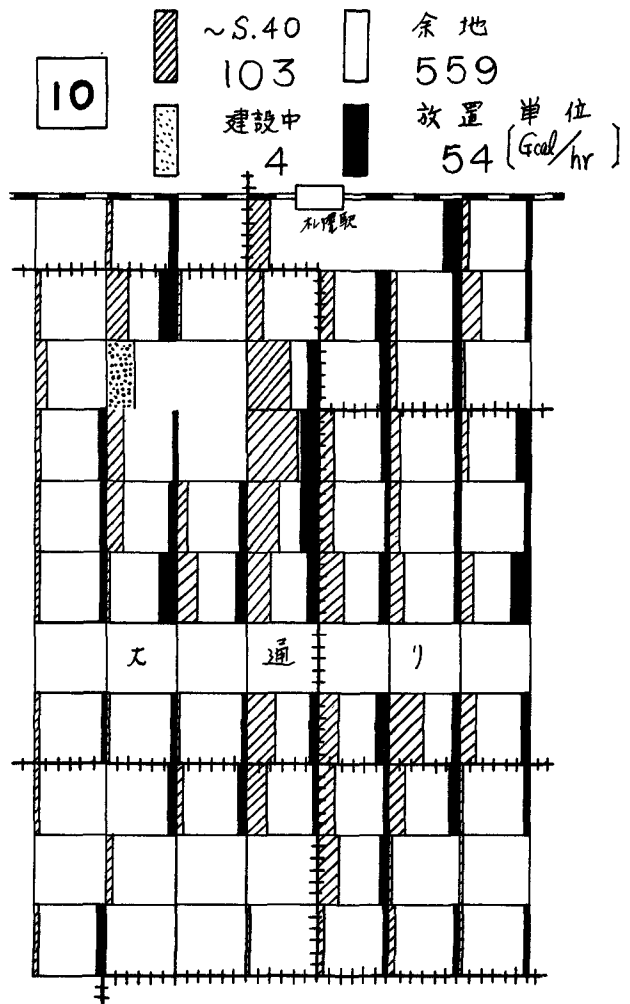


図1-1 現状熱負荷(建物) 昭和40年12月

面積1スm位の中型ビルは暖房負荷が1Gcal/hr.であり、中流住宅の100軒分に相当する。東京では暖房負荷は半減するが冷房負荷では両地の数字を交換して想定と考へれば良い。

地域暖房に於いてはその対象地域の熱需要密度を知る必要がある。丸の内レベルに密集したビル街だと、平方軒当り中型ビル400軒にも達するが、札幌ではその半分を目安にとる。中心街の約1.2kmに散在する非木造建築の現況を図1-1に示す。

図1-1は延床面積あたりの負荷を100kcal/m²・hrとして算出した定常負荷である。市内では街区の標準が100m角であり、これが10階建のビルで充てられると10Gcal/hr程度となる。ここで「余地と放置」の概念を導入して街区別の使用度を即座に読みとれるようにしたのがこの図の特長である。余地とはビル新築の可能性を指し、そこに10階建のビルを建てた時の熱負荷で表現してある。また、放置は既存のビルの屋上から10階相当までの部分を熱負荷に換算して示してある。

図1-2は燃量の発熱量とボイラ効率を仮定し、暖房相当時間を1500hrとして年間の燃量消費量から算出したもので普通のオフィスビルの場合には図1-1の値とよく一致している。

病院、新聞社などの暖房時間が長い場合にもその割合が変わり、地域暖房プラントの運転の立場からは有効な図である。この中に図1-1の値より燃量消費量の少ない街区もあるが、これはガスなどを燃料に使用しているものと思われる。

図1-3はボイラの定格出力より求めた結果を図に示した。

図1-4は将来の熱需要の予想を示すが、その推移を掴むことは大変に難しい。筆者は前記の余地(ただし、%表示)に地価(円/m²)を乗じたもので、半定性的な濃度表示ながら発展力のインデックス化を試みた。これによるとむしろ南部が有望であるが、ここでは実際に注目され出した北部(駅前)を取り扱う。

配管の経路決定には計画を何期かに分けて実施する場合、できるだけ配管の先行投資を避けることが望ましい。しかし、この場合には予定されているプラントの位置と負荷の状況から、配管に関しては計画の第一期から殆んど全城にわたるものを設置せ

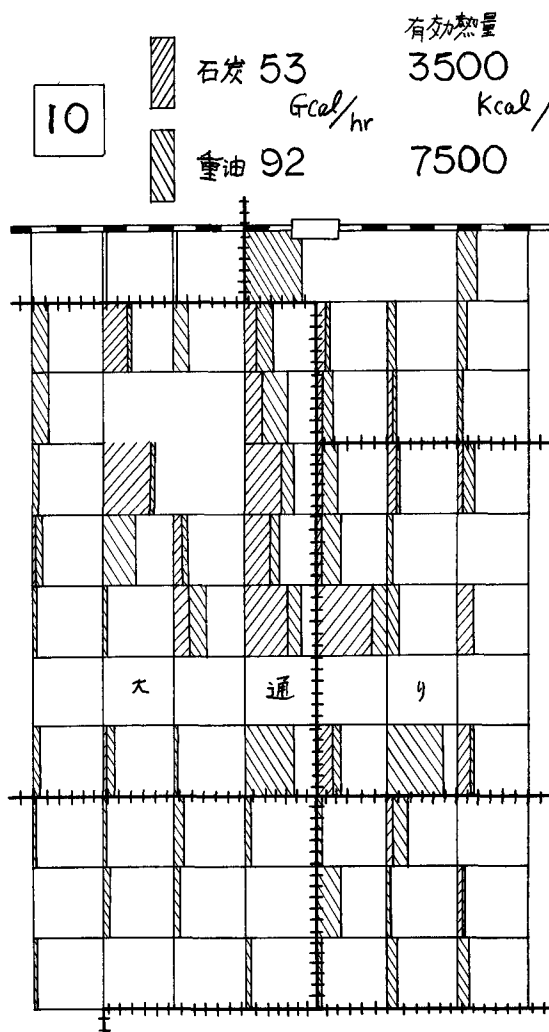


図1-2 燃量消費量

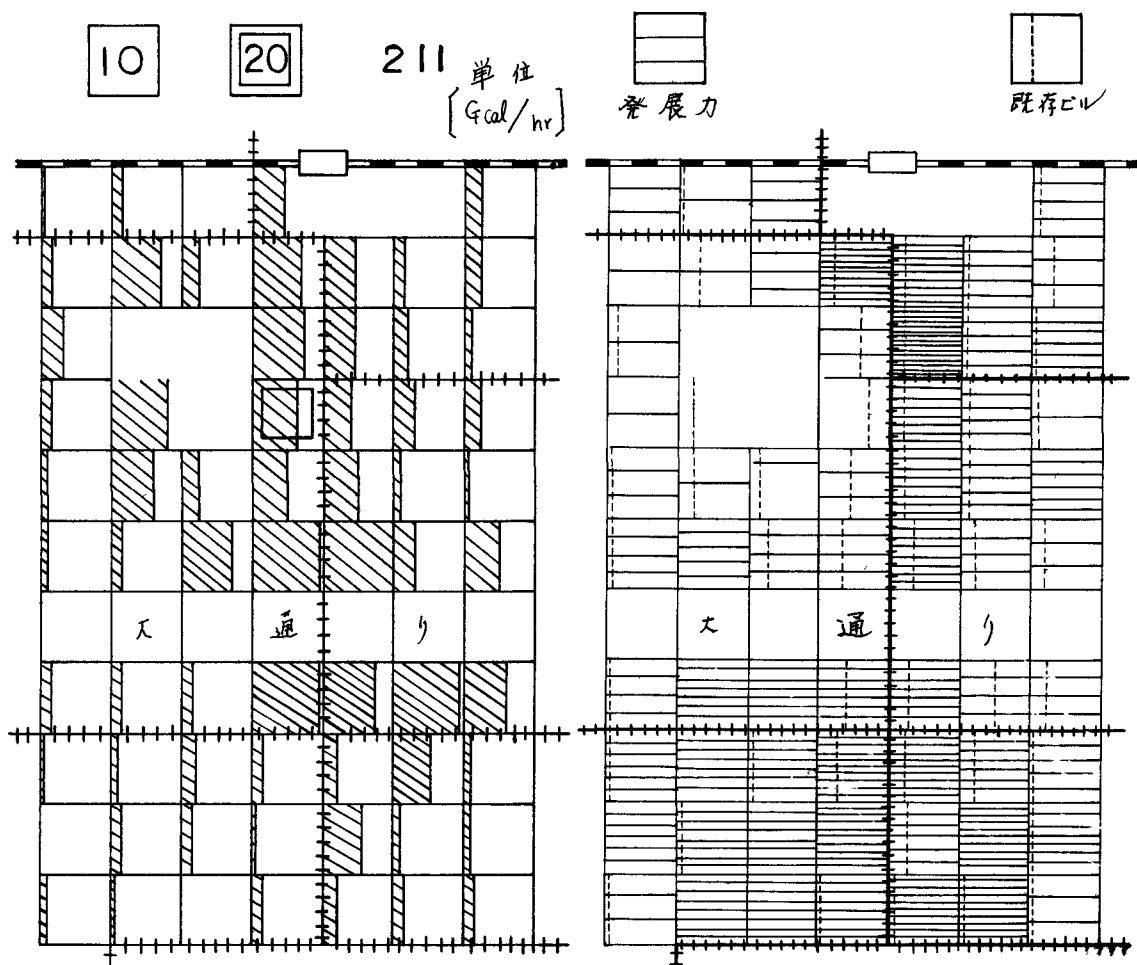


図1-3 現状熱負荷

図1-4 熱需用の予想

ざるを得なかった。実際の配管路の設定には工事面からの制約が多く、上下水道などの障害物を避け、電車軌道や国道の横断をできるだけ減らす。

図1-5に示す配管路は資料の関係から完全ではないが、かなり現実に近いものと思われる。ただし、図中にはメイン・パイプのみ記入しており、ビルへの引込み管および枝管については記入していない。

プラントの使用燃料は重油や石炭が考えられるが、産炭地との関係を考慮し、且つ硫黄含有量が漸落ちなので石炭を使用する。このとき、降下煤塵量が問題となるのでサイクロンや電気集塵機を使用しなければならない。

輸送熱媒としては蒸気と熱水がある。濃縮した熱量を担送させるため所々とも高圧にする必要があるが、他面には部品材料の耐圧規格に経済的な制約もあって、約20気圧でおおよそ200℃以上と考

えられる。仮りに100℃まで降下させて利用するならば、1Gcalを運ぶための熱水は約10m³であり、高圧飽和蒸気と比べて40倍もの負担能力をもつ。しかし、流速は蒸気より桁落ちであるから、結局は熱水方式の方がいく分細目の配管である。この地にも多くの長短があつて、例えば蒸気は復水するから、ボイラへの還り管はやはり細くなるが、地形に沿った逆勾配は許されなれし、管内腐蝕や蒸発漏れも大きい。

また、熱水方式では加圧装置や送水ポンプが少くとも、総合判断して暖房が主体の区域では熱水方式が良いと思われる。建設ビルには低圧蒸気でコンバーターを取り付けるので、設定条件としては熱水の往き還り温度差は50degとし、各街区に4Gcal/hrを供給するものとする。街区総数は45であるから総負荷は180Gcal/hrとなり、流量は3600m³/hrである。

1-3 原価計算

地域暖房の標準の概算としては熱出力Gcal/hr当りの施設費は0.2億円、その内訳はプラントが7割で配管が3割、産熱単価はGcal当り0.2万円の見込みで、これは公営的な企業体で長期・低利の融資が得られた場合であり、もし民間ベースの資金だと約0.3万円になるが、それでも現行各ビル暖房のおよそ0.4万円より安くなり、この差額0.1万円は主に集中化に伴う人件費の節減である。

表1-1に配管各部分の経済設計を行った場合の費用を示す。

また、表1-2に熱量単価の内訳をのせた。

表1-1 配管費の内訳

	億 円	%
主 管	4.34	89.8
枝 管	0.49	11.2
合 計	4.83	100.0
引込管	3.60	—
融雪管	0.93	—

表2-1 熱量単価の内訳

		円/Gcal	%
資本費	プラント	1000	40
	主管・枝管	500	20
運転費	燃料・電力	800	32
	人件・管理	200	8
合 計		2500	100

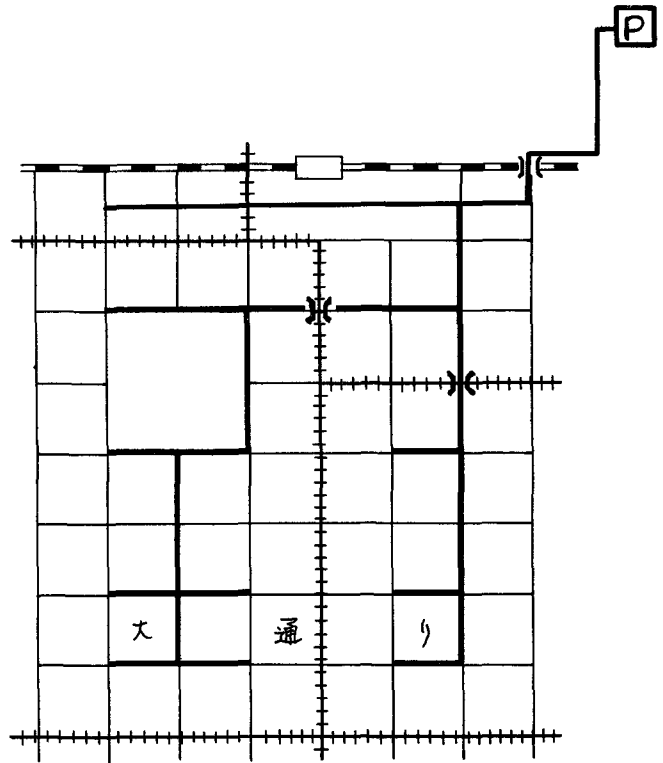


図1-5 モデル配管図

2 路線融雪

2-1 路線式スノー・メルティング

「路線式スノー・メルティング」とは、砕氷部を対象とした大規模な融雪方式をさし、L型側溝下に埋設した裸管からの放熱により、融雪させるものを言い、従来から行なわれている温水管網や電熱線網を利用した「ロード・ヒーティング」とは区別する。熱源としては地域暖房プラントや、ゴミ焼却炉が考えられる。地域暖房に伴うスノー・メルティングでは、配管方式を工夫することにより無駄熱を少なくすることが可能で、夜間使用ならばプラントの容量を増加させなくてもよい。ゴミ焼却炉を利用した場合、道路延長の数kmにわたって融雪ができる。従って、その行政面での総合効果は非常に高いものと思われる。

2-2 基本伝熱式

路面での融雪現象は気象条件も含めて極めて複雑なため、次のようなモデルを設定し計算する。

- i) 地中は熱的に等質、等方向性である。
- ii) 融雪時、路面温度は0℃に保たれる。
- iii) パイプ表面温度は一定である。

以上のことより熱伝導論上は定常伝熱の問題となり、その基本伝熱式は次のようになる。

路面より放熱される熱流密度 q [$\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$] は

$$q = \frac{\lambda}{H} \frac{4}{2.3} \frac{\theta_p - \theta_0}{\log \frac{Z+H}{Z-H}} \frac{1}{1 + \left(\frac{Z}{H}\right)^2} \approx \frac{\lambda}{Z} \frac{4}{2.3} \frac{\theta_p - \theta_0}{\log \frac{Z+H}{Z-H}} \frac{1}{1 + \left(\frac{Z}{Z}\right)^2} \quad (2-1)$$

単位管長で巾 $2x$ からの放熱量 Q_x [$\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{hr}$] は

$$Q_x = \int_{-x}^x q dx \approx 2 \frac{4\lambda}{2.3} \frac{\theta_p - \theta_0}{\log \frac{Z+H}{Z-H}} \tan^{-1}\left(\frac{x}{Z}\right) \quad (2-2)$$

この熱源よりの全放熱量 Q_∞ [$\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{hr}$] は

$$Q_\infty = \int_{-\infty}^{\infty} q dx = \frac{4\pi\lambda}{2.3} \frac{\theta_p - \theta_0}{\log \frac{Z+H}{Z-H}} \quad (2-3)$$

である。ただし、 $Z^2 = H^2 + (D/2)^2$

路面温度	 θ_0 [$^{\circ}\text{C}$]
パイプ表面温度	 θ_p [$^{\circ}\text{C}$]
パイプ中心深さ	 Z [m]
パイプ直径	 D [m]
熱流密度	 q [$\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$]
全放熱量	 Q_∞ [$\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{hr}$]
有効融雪巾	 $2x$ [m]
熱伝導率	 λ [$\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{hr} \cdot \text{deg}$]

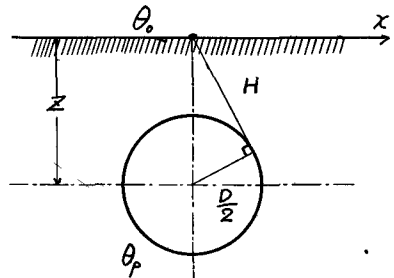
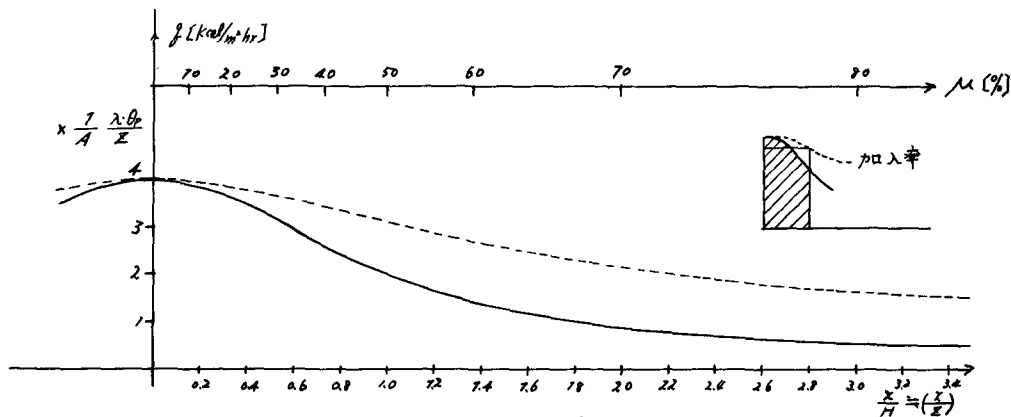


図2-1 埋設パイプ

上式、計算図を図2-2および後に掲げる図2-2、図2-4に示す。

ただし、熱伝導率 λ は舗装および土壌とも $1.5 \text{ kcal}/\text{m} \cdot \text{hr} \cdot \text{deg}$ とし、

* 川下研介；「熱伝導論」河出書房 P.176 1944



2-3 具体例

札幌市の降雪日数は10~20月分であるが、その中で10 mm/day程度のものである。(以下、降雪量は総水換算で表現するが新雪の比重は0.1位であるから積雪cmは容易に実感される。)しかし、冬期に数回は2日続いた大雪となりやすく40 mm

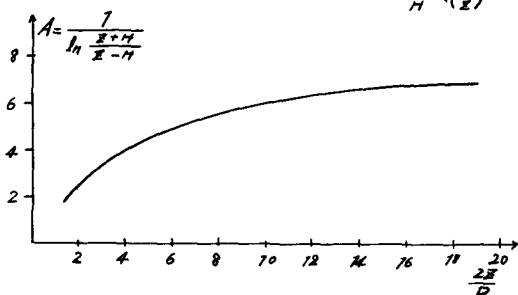


図2-2 熱出力のプロファイル

にも達する。融雪の設計には降雪量の設定域下を要点なので、筆者は次のことを考慮して決めた。

期間中の降雪量は400 mm程度で1日当りの平均値は約4 mm/dayとなる。路傍に集められた雪をトラックで搬出するに、側溝融雪で時間をかけて溶かすなら、上記の平均値に相当する熱出力で十分である。しかし、積極的に融雪をして交通障害を取り除こうとすれば、いく分余裕のある熱出力が必要でこれを10 mm/dayに対応させれば数回の大雪は2~3日の我慢である。また、交通・障害を考慮して融雪巾を1 mにおさえると、20 mm/dayの場合にも抜き集められた比重0.3位の雪塊の高さは0.8 m程度となり、まず妥当と思われる。10 mm/day程度の融雪は殆んど下水道の負担の増加にはならない。

【例題Ⅰ】地域暖房に伴う路傍融雪

融雪用配管は図2-3のようにして、夜間・みすー・マルチングに利用する。融雪巾は1 mとし、10 mm/dayの降雪量を対象にして道路半巾10 mに積って抜き集められた量を融雪する。なお、歩道については別途にロード・ヒーティングを考える。この時、必要放熱量 $Q_R = 660 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr}$ と見積もる。並列管の場合重ね合わせが可能と見なして、パイプ軸距離 $l = 0.3 \text{ m}$ で埋設し、パイプ直径 $D = 0.05 \text{ m}$ 、パイプ表面温度 $\theta_p = 90^\circ \text{C}$ とする。求める埋設深さは図2-4より $z = 0.12 \text{ m}$ で、その時の加入率 $\mu = 84\%$ となり全放熱量 $Q_N = 786 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr}$ とわかる。

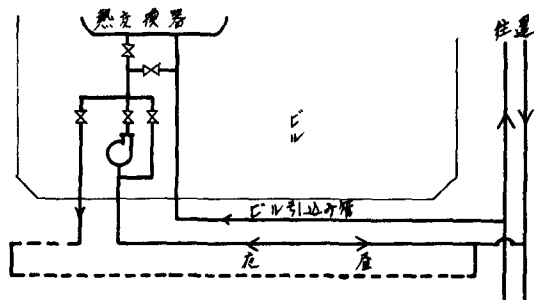


図2-3 配管方式

【例題Ⅱ】 ゴミ焼却炉に伴うスロー・メルティング

前題と異なす条件は24時間使用で歩道巾3mの除雪量も参加する。この時、 $Q_x = 435 \text{ kcal/m.hr}$ となり、 $l = 0.3 \text{ m}$ 、 $D = 0.7 \text{ m}$ 、 $\theta_p = 60^\circ$ とすれば図2-5より $Z = 0.2 \text{ m}$ を得て、 $\mu = 75\%$ 、 $Q_m = 580 \text{ kcal/m.hr}$ とわかる。

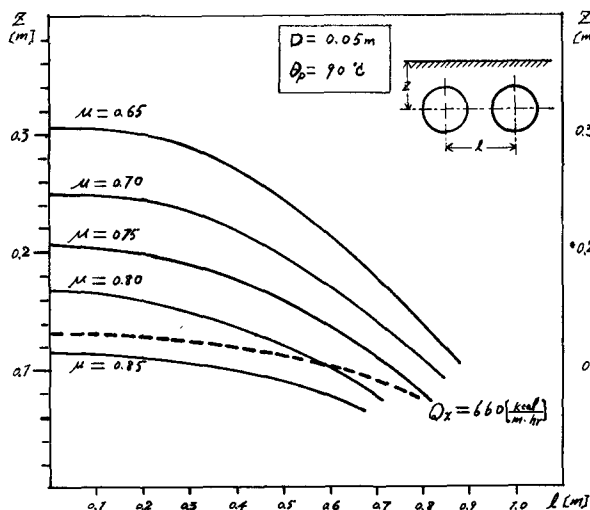


図2-4 パイプ軸距離と埋設深さ

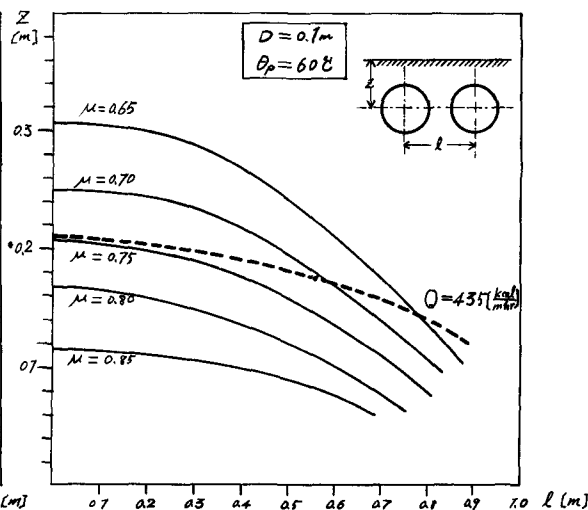


図2-5 パイプ軸距離と埋設深さ

2-4 ゴミ焼却プラント

ゴミ焼却炉は300^{ton}/dayの処理能力を予定するが、この程度の施設費は6億円と言われる。ゴミ発熱量を約1000 kcal/kg とすれば13 Gal/hr程度の熱出力をもつことになる。

例題Ⅱより融雪する道路距離を10kmとすれば、 $2 \times 580 \times 10 \times 10^3 = 11.6 \text{ Gal/hr}$ の熱出力を要する。交叉点にプラントを置き片道2.5kmでパイプ径0.7mの管路は8本となり、その各々1.45 Gal/hrを分担することになる。パイプ表面の平均温度は60℃であるから、防蝕の問題を考慮して送り出し温度を80℃

に設定すれば送り温度は40℃であれば良い。従って流量は36 m³/hrであり、流速は約1 m/secとなる。パイプ延長としては5kmであるから、摩擦損失水頭は35 m Agに相当する。

設備費はパイプ径0.1mの時、施工費も含めて一對で1.2 万円程度とすれば

表 2-1 各種方式との比較

車道巾10m
歩道巾3m
[万円/100m・年]

			償却	運転	除雪	計
車道	搬雪		—	19.6	0.2	19.8
	側溝	地域暖房に伴う	9.4	12.0	0.2	21.6
歩道	融雪	焼却炉に伴う	12.0	12.0 ^{**}	0.2	24.2
	除雪	搬雪*	—	7.8	0.6	8.4
歩道	必要	側溝融雪	1.0	4.5	0.6	6.1
	即時	路線式	16.4	6.0	—	22.4
	融雪	温水管網式*	48.0	6.0	—	54.0
			融雪	電熱線式*	—	67.5

* 「街路の清掃と除雪に関する考察」 衛生工学 NO. 14, 1967

** 2000円/Gcal. その他は2500円/Gcal

約2.4億円となって、20年償却で年利8分の利子付き定額法^{*}によって返済すれば、2400円/年となる。熱量単価を2000円/Gcalとし、有効買い取り時間が1000時間ならば、2320円/年と算出される。すなわち、道路片側では24円/100m・年である。

表2-1に各種方式の除雪費用の比較をのせた。

2-5 余熱利用

前節では温水プールや浴場、温度などに通年負荷1.4 Gcal/hrを削いたこととなる。しかし、夏期だけに熱を利用する施設を別途に考えないと余分な冷却塔が必要となる。その試算として路面を40℃と仮定してスノー・メルティング設備の冷却力を求めたところ、パイプ表面の平均温度は70℃で冷却能力は冬期に比べて半減して5.8 Gcal/hrしかないので代わった。

二、積極的な解決策として、札幌の冬は非常に寒く自然結氷が可能のため、セミ・オープンなスケート・リンクを考え、夏期はタービンを駆動して冷凍機を使用すれば、約15 Gcal/hr分だけプラントの熱出力を消化する。その内訳は、リンクを150m×50mとすれば約1.5 m/秒²を要し500冷凍トンとなる。タービンの効率を0.3、冷凍機の成績係数を4とすれば、上記の消化出力によって出される熱量は、圧縮機の冷却用に1.46 Gcal/hrとタービン排熱に1.03 Gcal/hrとなる。従って、 $5.8 / 1.03 = 5.7$ 倍まで冷凍機を増設することができ、約2000冷凍トンの冷蔵庫を施設する。これも冬期にはそれほど負荷減ないもので好都合である。また、上記の冷却水は12 Gcal/hrとなるが、これはもはや温度も低いのでむしろ灌漑用水として放流し、冷房対策の苗代作りに利用すれば良い。プラントの熱出力にはまだ約3 Gcal/hrの余力があるので、これは融雪配管の一部を水流に浸して灌漑用に回わさざるを得ない。

* 「ゴミ収集のモデル計画」 衛生工学 NO. 13, 1966