

北海道工業開発試験所技術資料

第 10 号

暖房システム調査研究報告書

昭和 59 年 10 月

工業技術院

北海道工業開発試験所

暖房システム調査研究報告書

目 次

序 文	(1)
第1章 調査の目的と方法	(5)
1.1 調査の目的	(5)
1.2 調査方法	(5)
第2章 調査結果	(6)
2.1 北海道の特徴	(6)
2.1.1 気 象	(6)
1) 気温及び暖房負荷	(6)
2) 積雪及び降水量	(8)
3) 日射量	(9)
4) 風 力	(10)
2.1.2 資 源	(11)
1) 石 炭	(11)
2) 未利用固体燃料	(12)
3) バイオマス資源	(15)
(1) 林産資源	(15)
(2) 農産資源	(19)
(3) 海洋資源	(21)
(4) その他のバイオマス資源	(22)
i) 炭化水素植物	(22)
ii) 畜産廃棄物	(22)
4) 地 熱	(23)
(1) 地熱の賦存	(23)
(2) 深層熱水	(24)
5) 地下水	(27)
(1) 地下水の賦存状態及び賦存量	(27)
(2) 地下水利用	(27)
i) 利用の現状	(27)
ii) 水位変化	(28)
iii) 水質及び水温	(29)
iv) ヒートポンプ熱源	(30)
2.2 暖房の現状	(31)
1) 海外の動向	(31)
2) 国内の動向	(34)
(1) 北海道における暖房の現状	(34)
i) 暖房の方法	(34)
ii) 地域暖房	(37)
(2) 最近の傾向	(39)

2・3	非石油系燃料の可能性	(40)
2・3・1	燃料	(40)
1)	天然固体燃料	(40)
(1)	石炭	(41)
(2)	選炭スラッジ	(41)
(3)	炭鉱ズリ	(41)
2)	改質固体燃料	(41)
(1)	練炭及び豆炭	(41)
(2)	コークス	(42)
(3)	バイオコール	(42)
3)	木質系燃料	(42)
(1)	木炭	(42)
(2)	木質成型燃料	(43)
	i) 製材廃棄物の成型燃料化	(43)
	ii) 未利用林産資源からの成型燃料	(43)
4)	その他の固体燃料	(43)
(1)	都市ごみ	(43)
(2)	建設廃木材	(45)
(3)	含炭汚泥ケーキ	(46)
(4)	泥炭	(46)
5)	スラリー燃料	(46)
(1)	COM (Coal Oil Mixture)	(47)
(2)	CWM (Coal Water Mixture)	(47)
(3)	CMM (Coal Methanol Mixture)	(47)
6)	その他のガス燃料	(47)
(1)	炭鉱ガス	(47)
(2)	石炭乾留ガス等	(49)
(3)	メタン発酵ガス	(49)
(4)	都市ごみの熱分解ガス	(50)
(5)	木質系廃棄物のガス化	(51)
2・3・2	暖房用燃焼設備	(51)
1)	ストーブ	(51)
2)	暖房用ボイラー	(51)
(1)	気体及び液体燃料用ボイラー	(52)
(2)	スラリー燃料用ボイラー	(52)
(3)	固体燃料用ボイラー	(52)
2・3・3	代替の可能性	(53)
1)	代替の必要条件	(53)
(1)	燃料	(53)
(2)	燃焼設備	(53)
(3)	ヨーロッパにおける固体燃料と燃焼器の規格	(53)
2)	可能性	(55)
(1)	小規模用燃料	(55)
(2)	中・大規模用燃料	(56)

2・5・5	地域暖房の事例	(83)
2・6	モデルケース	(86)
2・6・1	省エネルギー型個人住宅	(86)
1)	現状の北海道内寒地住宅の性能	(86)
2)	今後の寒地住宅の性能と課題	(87)
(1)	断熱材	(88)
(2)	開口部	(88)
(3)	換気	(88)
(4)	暖房	(89)
(5)	建築費	(89)
2・6・2	省エネルギー型ビル	(89)
2・6・3	現状における省エネルギー型建築物の事例	(91)
1)	省エネルギー型個人住宅	(91)
2)	省エネルギー型ビル	(91)
第3章	開発すべき暖房システムへの提言	(95)
3・1	開発すべき技術課題	(95)
3・2	提言	(103)
3・2・1	省エネルギー	(104)
1)	暖房負荷の軽減	(104)
(1)	高断熱化	(104)
(2)	廃熱利用	(104)
(3)	暖房法	(105)
2)	他の熱源の有効利用	(105)
(1)	ヒートポンプ	(105)
(2)	太陽熱	(106)
(3)	地熱	(106)
(4)	燃料電池	(106)
3・2・2	燃料の多様化	(107)
1)	石炭系燃料	(107)
2)	木質系燃料	(107)
3)	石油系燃料	(107)
3・2・3	その他	(108)
1)	蓄熱	(108)
2)	観測システム	(108)
3・2・4	開発体制	(108)
第4章	むすび	(109)

2.4	建築構造物の省エネルギー	(58)
2.4.1	断熱	(58)
1)	住宅の断熱構造化	(58)
(1)	断熱性	(58)
(2)	断熱建材の種類と特徴	(58)
(3)	断熱工法	(59)
i)	断熱工法の動向	(59)
ii)	外断熱	(62)
2)	断熱化の課題	(63)
2.4.2	廃熱回収	(63)
1)	建築物の廃熱	(63)
2)	空気系の低温廃熱回収	(64)
(1)	ロータ式	(64)
(2)	透過式	(64)
3)	熱回収ヒートポンプ	(64)
(1)	セントラル方式	(64)
(2)	ユニット方式	(65)
4)	ボイラー廃熱	(65)
2.4.3	蓄熱	(66)
1)	水蓄熱	(66)
2)	固体蓄熱	(66)
3)	潜熱蓄熱	(66)
4)	化学蓄熱	(67)
5)	長期蓄熱	(67)
2.4.4	暖房	(68)
1)	建築の省エネルギー	(68)
2)	ストーブ暖房	(68)
3)	ペチカ及びびオンドル暖房	(68)
4)	床暖房	(70)
5)	セントラルヒーティング	(70)
6)	太陽熱	(70)
2.4.5	換気	(71)
1)	防湿	(72)
2)	湿度調節	(72)
3)	熱交換換気	(72)
4)	炭酸ガス制御	(73)
2.5	暖房のシステム化による省エネルギー	(73)
2.5.1	暖房システムの合理化	(73)
2.5.2	補助熱源	(75)
1)	ヒートポンプ	(75)
2)	太陽熱	(78)
2.5.3	ヒートポンプ及び太陽熱を利用した寒地向け暖房	(79)
2.5.4	地域暖房の熱源	(81)
1)	地熱	(81)
2)	ごみ焼却	(82)

序

積雪寒冷地、特に北海道にとって暖房は不可欠であり、より経済的でかつ快適な暖房に対するニーズは小規模から大規模まで極めて強いものがあり、このニーズは今後も続くものと考えられる。

戦前及び戦後、北海道の建物の構造は寒さに対して殆ど無防備に近く、また燃料としては石炭と薪が全てであった。人々は真赤に燃えるストーブにかじりつくようにして暖を取った。しかし、1960年代から始った高度成長時代に、燃料は石炭から石油へと急速に転換していった。人々は灰も煤もなく、しかも安い液体燃料としての石油の利便性と、その安定供給を謳歌し、暖房に対する関心は相対的に低下した。

1973年と1978年の2回にわたる石油ショックは事態を一変させた。人々は、石油の価格高騰と安定供給に不安をつのらせ、改めて暖房の重要性を再認識した。その対策の一つは、高断熱、効率的な熱利用等省エネルギー対策であり、例えば住宅におけるグラスウール断熱層の厚さは、20, 50, 100, 200 mmと年を追って増大した。他方、石油代替エネルギーの利用にも関心が高まり、一部産業廃棄物等の利用も進んだ。しかし、最近の石油の小康状態もあり、全体としては暖房用燃料として石油に大きく依存しているのが現状である。

本報告書は、このような状況の中にあって、中、長期的には石油のコスト増大と供給不足が避けられないとの認識の上に立って、今から多様な道産エネルギー資源の利活用を考え、より石油に依存せず、かつより省エネルギー的な暖房システムについて討論し、現在行われつつある、また将来開発すべき技術的課題を暖房システムの一環としてとらえ、国として、地方自治体として、また民間として、あるいは産・学・官の連携の下に今後実行すべき課題を提案したものである。

これらの課題を逐次解決していくためには、当所の努力は勿論であるが、関係方面のご援助なくしては実現できない。引き続きご協力をお願いしたい。

なお、この調査研究にあたっては、長期間にわたり、下記の各委員の方々に、また情報の提供等で大学をはじめ民間企業の関係者に積極的なご支援を賜わった。ここに心からお礼を申し上げる。

最後に、本調査研究は通商産業省工業技術院の特別研究促進調査費によって行われたものであることを付記する。

北海道工業開発試験所長

佐藤 俊夫

北海道における暖房システム調査研究委員名簿

〔委員長〕

後 藤 藤太郎 北海道工業開発試験所 第1部長

〔委員〕

遠 藤 尚 武 札幌通産局 商工部技術振興課長
塚 越 利 忠 札幌通産局 商工部(前)技術振興課長補佐
福 井 勇 雄 札幌通産局 総務部エネルギー対策課長
成 田 英 吉 地質調査所 北海道支所長
岡 部 賢 二 地質調査所 北海道支所(前)鉦床課長
根 本 隆 文 地質調査所 北海道支所燃料課長
釜 田 幹 男 北海道立寒地建築研究所 第1研究部設備課長
種 村 藤 吉 北海道立工業試験場 工業装置部長
三 上 正 樹 北海道立工業試験場 工業装置部熱技術科長
榎 本 泰 彦 北海道立工業試験場 工業装置部装置科長
山 中 文 夫 (社)北方圏センター調査委員
斉 藤 邦 彦 北海道電力株式会社 技術研究所長
富 田 勝 久 北海道電力株式会社 技術研究所(前)次長
山 口 岩 男 北海道電力株式会社 技術研究所次長
高 村 慎 介 (株)エセック 地域開発部主任研究員
田 辺 肇 (株)ほくさん 企画開発本部課長
三 井 茂 夫 廃棄物工学研究所長
佐 藤 俊 夫 北海道工業開発試験所長

暖房システム調査研究専門委員名簿

後藤 藤太郎	北海道工業開発試験所	第1部長
山口 弘	〃 〃	(前)第3部長
鈴木 智	〃 〃	(前)研究企画官
伊藤 三郎	〃 〃	研究企画官
佐山 惣吾	〃 〃	課長
石橋 一二	〃 〃	主任研究官
富田 稔	〃 〃	課長
(故)西崎 寛樹	〃 〃	〃
田中 重信	〃 〃	主任研究官
新川 一彦	〃 〃	課長
田村 勇	〃 〃	主任研究官
福田 隆至	〃 〃	(前)研究企画官補
長谷川 義久	〃 〃	研究企画官補

第1章 調査の目的と方法

1.1 調査の目的

北海道は積雪寒冷の自然環境にあり、一年の約半分の期間にわたり暖房を必要としている。昭和48年の第1次石油危機を契機として、住宅や暖房の質的な面が重視されるようになり、省エネルギー性及び快適性を含めた合理的暖房に関する関心が急速に高まってきた。

暖房の目的は、生活水準や文化水準の向上につれて変遷し、北海道開拓期の寒さをしのぐだけの採暖から、寒冷環境においても人間の諸活動が機能的、かつ、快適に遂行しうよう、その生活空間の環境を適度に整えるという具合に変わってきている。最近では、さらに省エネルギーの観点が加味され、経済的な暖房システムの開発が重視されている。

北国における暖房の対象として戸建住宅のような小規模のものから、集合住宅、事業所ビル等、さらに、地域を対象とした大規模のものまで挙げられる。北海道の民生用エネルギーの需要状況は昭和54年度を例にとると、エネルギー総需要量の36.6%を占めており、暖房用エネルギーは民生用エネルギーの35.4%とされている。したがって、北海道のエネルギー総需要量に占める暖房用エネルギーの割合は約13%に達しており、国内の他の地域に比べて著しく高いのが特徴である。

一方、北海道における暖房用のエネルギー源は、他の地域と同様に、その大部分を石油に依存している。エネルギー資源の開発利用は生活水準の向上、産業の振興を図るために欠くことのできない問題である。我が国のように、エネルギー資源の殆どを海外に依存している国にとって、今後、価格の上昇や供給の不安定が予測される石油から、可能な限り脱却することが求められている。したがって、地域に賦存し、かつ、在来のエネルギー

供給システムに必ずしも乗りにくい、いわゆるローカルエネルギーの利用拡大を図り、これを通じて地域社会におけるエネルギー供給の安定度を高める必要がある。そのためには、近い将来において、地域社会のエネルギー需要実態に即応した暖房方法が確立されなければならない。このような事情から、北海道における暖房に関して、今後より一層の省エネルギーを図ると同時に、石油系エネルギーに代り得る暖房用エネルギー源の開発、利用が必要となる。

本調査報告書は、こうした社会的要請に応えるべく、北海道の気候に適した合理的な暖房システムについて検討を加え、その実現に必要な技術開発課題を抽出し、今後開発すべき暖房システムの提言を取りまとめたものである。

1.2 調査方法

本調査は、国の行政機関及び研究機関、公設研究機関、民間の研究機関等の産・学・官の関係者を委員とする「北海道における暖房システムに関する調査研究委員会」を設けて実施したものである。

なお、報告書の作成にあたっては、まず、当所職員から成る専門委員会を組織し技術情報・資料の収集と調査計画の骨子を作成した。本委員会においては、これらを基に、暖房問題の全般にわたる技術開発動向と今後の暖房システムのあり方について検討していただいた。

以上の検討結果に基づき、専門委員会において文献調査、資料の収集、大学及び企業の専門家の方々への面接調査、電話による聞き取り調査、現地調査等を行い、第一次素案の取りまとめを行った。その結果を本委員会に諮って検討を加え、最終報告書として取りまとめた。

第2章 調査結果

2.1 北海道の特徴

2.1.1 気象

1) 気温及び暖房負荷

北海道は北緯42～46度の間に位置する日本の北端の面積78,512 km²(日本の全面積の21%)の島で、約110年前に政府の政策の下にその開拓が始まった。寒冷・多雪の未開の地であったので、その初期から欧米の指導を仰ぎ、西欧の影響を受け、日本の中でも独自の文化が育ってきている。

北海道は、ユーラシア大陸の東岸に近接しているため、大陸的な気候の特徴を持つ。一方、周辺を流れる海流の影響をも受けている。冬期はシベリヤ大陸気団のため、同緯度のヨーロッパの都市と比べて低温となり、夏季は逆に高温となる。年間

の寒暖の差は大きく、一日の気温較差も大きい。

図 2.1-1 に緯度と年間の平均気温との関係を示す。また、図 2.1-2 に北海道、日本及び北方圏諸国の都市の年間平均気温と年間降水量を示す。北海道の都市の年間平均気温は5.3～8.3℃であり、5度北の北緯50度に位置するミュンヘン、ワルシャワ、プラハ等と等しい。一方、東京をはじめ、日本の都市の年間平均気温は14～16℃であり、約8℃もの差がある。

図 2.1-3に、北海道の都市の年間の気温の推移を示す。北海道の中央を縦に日高、天塩山系が走るが、山系以東は西部に比較して寒冷であり、道南の半島部及び札幌附近の沿岸部はやや暖かい。これは、基本的には山系の配列、海流、気圧配置の年間推移と関係がある。夏は西岸には対島海流

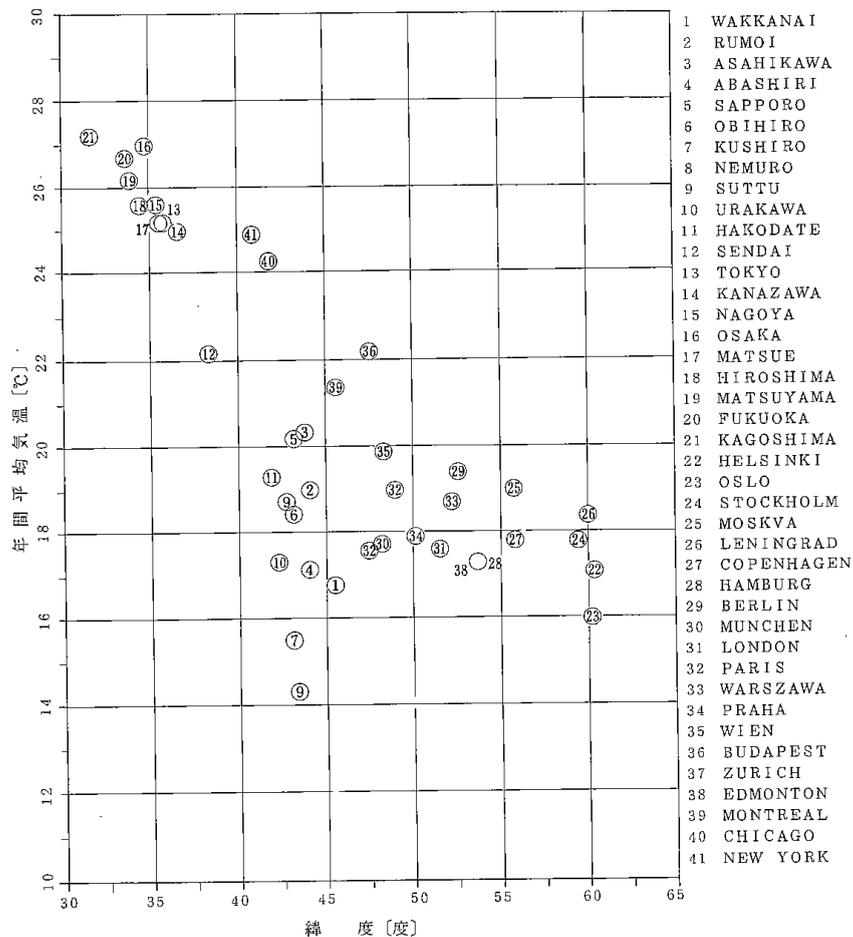


図 2.1-1 北海道、本州及び北方圏の主な都市の緯度と年間平均気温

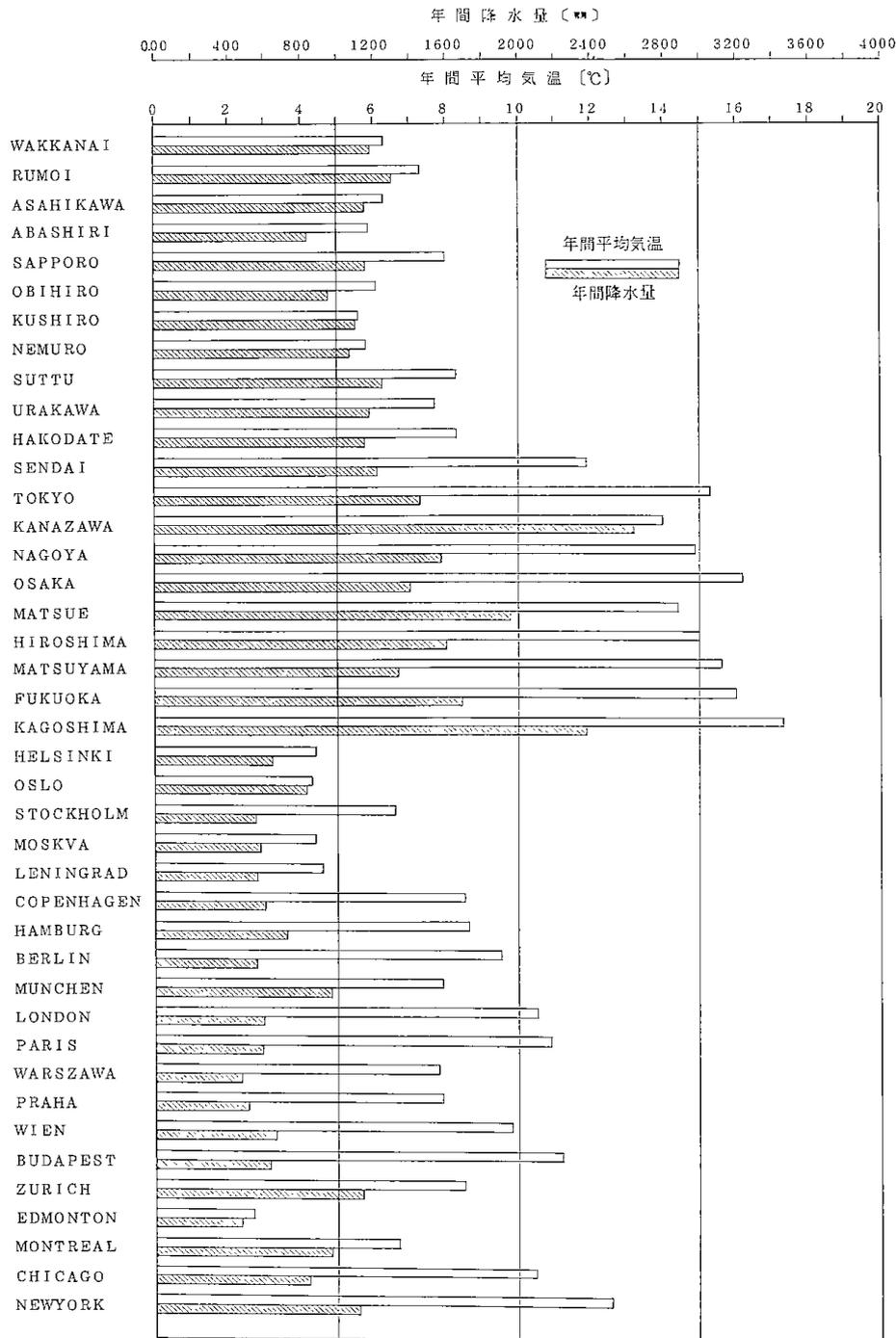


図2・1-2 北海道、本州及び北方圏の主な都市の年間平均気温と年間降水量

が北上し、一部は津軽海峡及び宗谷海峡に流入する。南岸や北東岸には北からの対島海流が南下し、冬は流水、凍結、初夏にはガス(海霧)を発生する原因となり、ときには冷害をもたらす。夏は、北上する日本海流(黒潮)はるか沖合を流れ、沿岸には近づかない。内陸の中央盆地群はいずれも内陸的気候をもち、気温較差が大きく、冬は -30°C に達することもある。

地域の暖房必要量は、その地域の寒さによって

定まる。寒さの度合は暖房度日で表わすが、それは、暖房期間中の暖房によって高めなければならない温度の積算値である。図2・1-4に北海道の暖房度日の分布を示すが、約 $2,500\sim 3,200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ の値である。外気温と室温とが 1° の差があるときの建物の熱損失量、つまり、壁等の部材を通して逃げる熱損失量と換気による熱損失量との和を熱損失係数という。熱損失係数は、壁の熱貫流率が小さいほど、また気密性が良好なほど小さくな

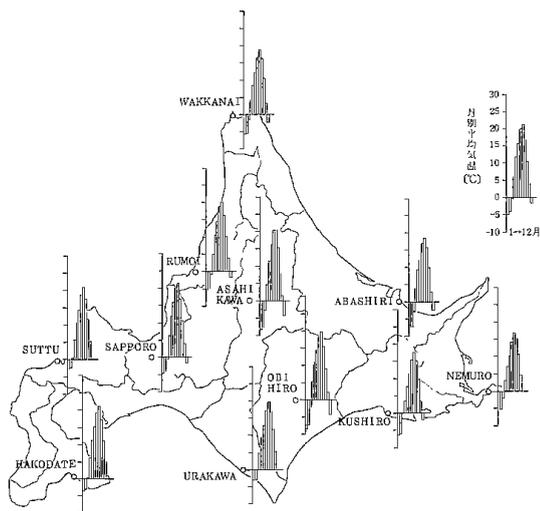


図2・1-3 北海道の主な都市の年間気温推移¹⁾

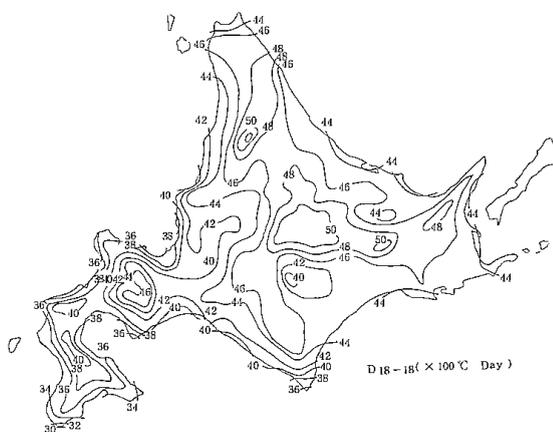


図2・1-4 北海道の暖房度日の分布³⁾

るので、その建物の断熱性能を表わす大切な指標である。この熱損失係数と暖房度日との積により、建物の暖房期間負荷が表わされる。附録にこれらの値の数式的な関係を示した。

現在における北海道地域の断熱水準は、熱損失係数 $2.8 \text{ kcal/hr} \cdot \text{°C} \cdot \text{m}^2$ 以下が建設省の基準であり、最近建てられた住宅は、この基準内にあるといえよう。また、暖房していない場合でも建物の内部は室内での発生熱や室内へ入り込む太陽熱により戸外より温度が高く、この温度差を自然温度差という。図2・1-5に断熱レベルによる自然温度差、暖房日数、燃料の消費量等の変化の一例²⁾を示す。

各地域の暖房負荷は、気温だけでなく、日射量、風力、風向等により変るが、現在のところ、気温により算出されることが多い。

また、暖房装置の容量は年間の最低温度に相当する最大負荷が目安となるが、熱損失係数は簡単

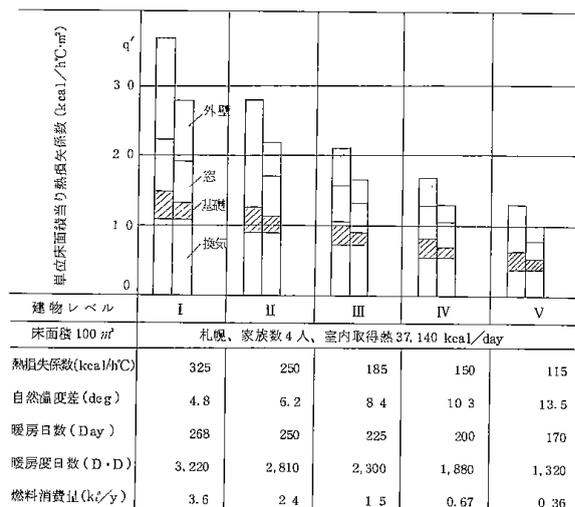


図2・1-5 断熱レベルによる燃料消費量等の変化²⁾

に測定できないので、過大な熱量を発生する暖房装置を設置し、熱効率の低いところで使用している例が多い。

2) 積雪及び降水量

図2・1-2に日本、北海道及び北方圏諸国の主な都市の年間降水量を示す。日本は年間を通して降水量が多く、湿度も高い。北海道の年間降水量は $1,100 \text{ mm}$ ほどで、日本全国の平均年間降水量 $1,700 \text{ mm}$ と比較して少ないが、それでもヨーロッパの平均 560 mm 、北アメリカの 640 mm に比べ二倍以上であり、降水量の多い地域に属する。

図2・1-6に北海道の主な都市の年間降水量の推移を、図2・1-7に積雪の深さ別の積算日数を示す。北海道は風が強い地帯であり、特に、冬季は北西ないし西からの風が強く、このため、日本海沿岸の地域に多量の積雪をもたらす。これに対して、天塩山地や日高山脈以東以南の地域は積雪

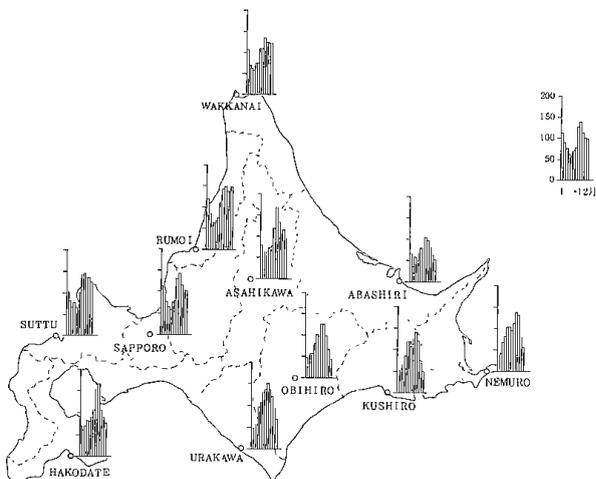


図2・1-6 北海道の主な都市の月別降水量の推移

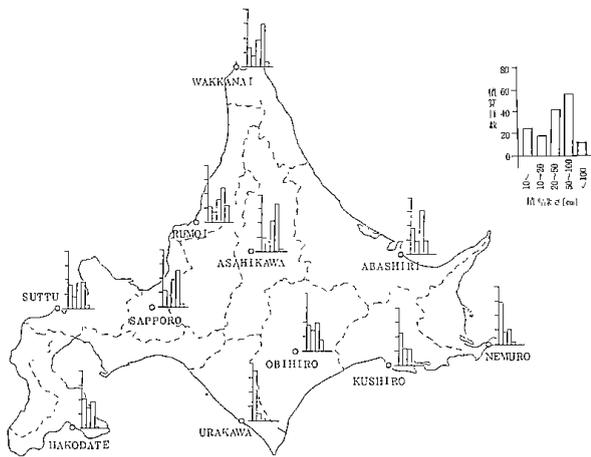


図2・1-7 北海道の主な都市の積雪の深さ別の積算日数

が極めて少なく、凍結が激しく、ことに十勝地方では凍上現象が顕著である。

3) 日 射 量

日射量の観測値として、日射時間、直達日射と全天日射とがある。直達日射は入射方向に垂直な平面に太陽から直接入射する日射をいう。表2・1-1に月平均直達日射量を、図2・1-8に月平均の日照時間、表2・1-2に全天日射量の月平均日量を示す。北海道の直達日射量の値は、日本の他の地域と大差ない。全天日射は、立体角 2π の全方向から水平面に下向きに入射する直達日射と散乱

日射の和であり、日射時間の多寡と関係がある。北海道は北方圏諸国に比べ緯度が低いので、冬季の日射量ははるかに多く、一月の北海道の日射量はローマ、ニューヨークと同程度である。

地域的には、日照時間は降雪量とは逆に、道東地域では冬期間でも多く、夏と同じく200時間/月ほどであり、日本海側に比べ、日射量の多い地域であり、太陽エネルギーの利用が期待される。日本海側の地域は冬季の日照が少なく、道央地方は両者の中間的性格を持つ。しかし、日本海沿岸地域でも冬季は太陽の高度が下がり、南面の窓から入

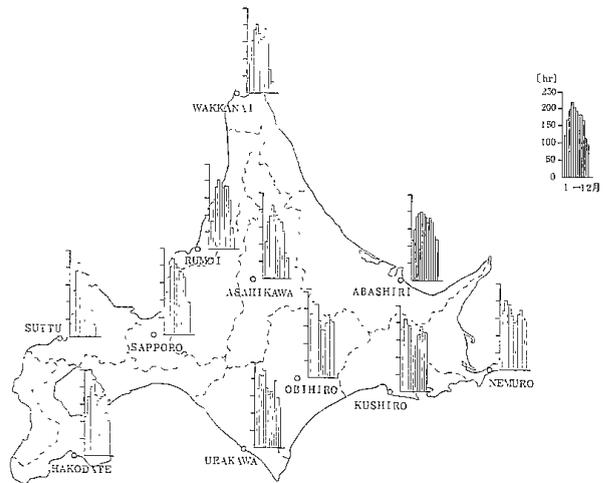


図2・1-8 北海道の主な都市の月別日照時間

表2・1-1 月平均直達日射量 (kW/m²) (12時) (統計期間：1971年から1980年までの平均値)

地 点	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月
札幌	0.76	0.80	0.84	0.80	0.80	0.82	0.83	0.84	0.72	0.72	0.73	0.73
根室	0.86	0.88	0.89	0.88	0.86	0.90	0.89	0.85	0.76	0.77	0.80	0.82
秋田	0.84	0.85	0.87	0.85	0.84	0.84	0.86	0.84	0.72	0.74	0.76	0.75
宮古	0.88	0.89	0.86	0.85	0.83	0.82	0.81	0.82	0.71	0.76	0.78	0.79
輪島	0.86	0.90	0.83	0.86	0.84	0.81	0.81	0.81	0.69	0.73	0.75	0.76
松本	0.90	0.93	0.92	0.89	0.87	0.84	0.83	0.81	0.74	0.76	0.79	0.80
館野	0.87	0.90	0.89	0.85	0.86	0.78	0.80	0.81	0.73	0.75	0.79	0.80
米子	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.82	0.81	0.81	0.71	0.73	0.75	0.75
潮岬	0.90	0.92	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.71	0.74	0.77	0.78
福岡	0.83	0.87	0.85	0.81	0.82	0.79	0.80	0.81	0.70	0.74	0.73	0.75
鹿児島	0.90	0.88	0.86	0.82	0.82	0.81	0.83	0.86	0.70	0.72	0.75	0.77
足摺	0.91	0.91	0.86	0.86	0.86	0.82	0.79	0.84	0.71	0.75	0.77	0.78
石垣島	0.93	0.85	0.79	0.81	0.86	0.90	0.86	0.91	0.65		0.70	0.69
那覇	0.84	0.86	0.82	0.79	0.85	0.84	0.85	0.86	0.66	0.68	0.70	0.72
平均	0.86	0.88	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.71	0.74	0.75	0.77

表2・1-2 全天日射量の月平均日量 (MJ/m²)
(統計期間：1974年から1980年までの平均値)

地 点	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月
稚 内	3.9	7.6	12.3	14.4	16.6	17.2	17.4	16.0	13.2	8.1	4.3	3.0
旭 川	5.4	8.4	12.8	14.1	17.2	17.8	17.8	15.3	12.2	8.0	4.9	4.2
網 走	6.0	10.1	14.1	15.0	16.6	18.2	18.7	15.6	13.1	9.2	6.0	4.8
札 幌	5.9	8.8	12.5	14.3	18.1	18.6	17.5	15.5	12.9	9.1	5.9	4.9
帯 広	7.7	11.3	15.1	17.0	18.2	17.1	15.9	14.9	13.0	10.1	7.1	5.8
根 室	7.3	10.8	14.7	15.9	17.3	17.4	17.3	15.4	13.0	9.9	6.9	5.7
函 館	6.7	9.2	12.7	15.0	18.0	16.7	15.8	14.8	12.9	10.0	6.4	5.4

る日射量は多くなり、特に三月以降は日照時間も多いため、パッシブ・ソーラーとして有効に利用することができる。窓の断熱性能の向上、光選択膜の利用等により窓を通して入る日射による熱量と、窓を通して逃げる熱量との差をプラスにすることも可能である。

4) 風 力

北海道は、日本の中でも年間を通じて風が強い地域である。特に、冬季は西高東低の気圧配置により、西ないし北西の強い風が吹く。表2・1-3に北海道の都市の月平均風速を示す。日本海と太平洋沿岸の留萌、室蘭、浦河等では平均5m/secを越え、最大風速が10m/sec以上の日が月の半分以上にも

及ぶ。札幌等の他の地域でも3m/sec程度の風速があるが、旭川、帯広等の内陸部では2m/secとやや穏やかになる。風の強い、特に、日本海沿岸では冬の強い風と海岸に押し寄せる波はソフト・エネルギー源であり、風力、波力発電の実験的な試みもされている。

附 録

建物の熱損失量をQ、熱損失係数をgとする。また、日平均の室温と外気温とをそれぞれ $\bar{\theta}_i$ と $\bar{\theta}_o$ とすれば、

$$Q = g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o) \dots \dots \dots (1)$$

Qは暖房装置からの熱供給量(Q_{net})と暖房装置以

表2・1-3 北海道の主な都市の月平均風速と強風日数²⁾

地 名	月 平均 風 速 (0.1m)						強 風 (最大風速) 日数 (0.1日)						
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	10 m/s 以 上						15m/s 以 上 11~ 4月
							11月	12月	1月	2月	3月	4月	
網 走	41	40	40	34	37	38	83	57	81	50	67	73	50
留 萌	66	68	64	59	56	51	191	194	176	134	136	100	184
旭 川	23	21	18	20	25	25	9	9	2	6	13	23	0
根 室	51	50	50	45	46	46	120	113	113	71	100	72	85
岩見沢	33	31	33	35	36	38	45	33	39	49	57	67	9
小 樽	33	33	36	34	34	29	21	20	27	20	19	37	5
札 幌	26	23	23	25	30	37	24	23	17	16	37	60	4
釧 路	35	34	35	35	37	36	47	30	42	26	45	36	11
帯 広	24	22	22	23	25	25	38	19	31	25	30	39	1
倶知安	24	22	23	24	27	26	21	14	24	23	32	34	7
苫小牧	36	34	38	38	39	38	64	62	65	53	83	64	48
室 蘭	60	65	65	61	54	49	186	204	199	152	144	114	186
浦 河	57	55	55	56	54	44	200	169	174	168	165	113	329
函 館	38	36	39	39	42	41	93	77	85	81	115	117	49

外の日射，人体，照明，炊事器具等からの室内取得熱(Q_c)との和であり，

$$Q = Q_{net} + Q_c \dots \dots \dots (2)$$

暖房していない場合の建物の内外の温度差を自然温度差(ΔQ_n)とすると，

$$\Delta Q_n = Q_c / g \dots \dots \dots (3)$$

自然温度差は建物の断熱や気密性がよく，熱損失係数が小さい場合や，取得熱量の多い建物の場合に大きくなる。以上の関係から，1時間当たりの暖房熱量(Q_{net})は

$$Q_{net} = g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o - \Delta \theta_n) \dots \dots \dots (4)$$

これを1日24時間積算したものが日損失熱量(Q_{day})で，

$$Q_{day} = 24 \cdot g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o - \Delta \theta_n) \dots \dots \dots (5)$$

さらに，暖房期間負荷(Q_{year})は，この日負荷(Q_{day})を暖房期間(Z)にわたって合計したもので，

$$Q_{year} = \sum Z Q_{day} (Z) = 24 \cdot g \cdot \sum (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o - \Delta \theta_n) \dots \dots \dots (6)$$

となる。θ_h=θ_i-Δθ_nとすれば，外気温がθ_h以下になって暖房が開始され，翌春，θ_o=θ_hになるまでが暖房期間(Z)であり，(θ_h-θ_o)を暖房期間中の毎日について積算したものを∑(θ_i-θ_i-Δθ_n)を暖房度日(暖房デグリー・デー)(D_{θ_i-θ_h})という。したがって，

$$D_{\theta_i - \theta_h} = \sum 24 \cdot g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o - \Delta \theta_n) = Q_{year} / g \dots \dots \dots (7)$$

参考文献

- 1) 東京天文台編纂:「理科年表(昭和五十八年)」,丸善(1983)
- 2) 日本建築学会北海道支部編:「寒地建築教材,概論編」,彰国社(1982)
- 3) 遠藤:技術と情報, 8, (2), 25(1981)

2.1.2 資源

1) 石炭

石油ショック後，見直されてきた石炭は固体燃料の本命である。しかし，本質的に液体燃料と比較して，次のような欠点を有する。

- ①現在は無人採炭でなく，人間が直接採掘している。
- ②採炭後の輸送，貯蔵等取り扱いが面倒である。
- ③発熱量は，混在する灰分のためカロリーが下がり5,000~8,000 kcal/kg程度である。

以上のような欠点を克服しながら今後液体燃料の代替燃料として使用するためには，新しい燃焼装置を含めた技術開発の研究が必要である。

北海道における炭田と生産量を図2.1-9に示す¹⁾。昭和56年度の出炭量は年間10,359千tで，その内訳は，釧路地区24%，石狩地区76%となっている。現在は，北炭夕張鉱が閉鎖されて出炭量は下がっているが，今後長期にわたって1,000万t規模の出炭が可能と考えられる。

図2.1-10は，昭和31年度からの石炭生産量の推移である¹⁾。この図から，昭和50年代はほぼ一定の生産量となっていることがわかる。北海道において産出する石炭は，天北地区の亜炭，釧路地区の褐炭，石狩地区の弱粘結炭が主であり，炭素が85%以上の強粘結炭や無煙炭は道内では産出されていない。次に，昭和56年度の北海道炭の荷渡状況と道内における需要状況を図2.1-11に示す²⁾。この図から出炭量の55%が北海道内で消費され，内訳として発電用に72.5%，暖房用として約7.4%の44万5千tが消費されていることが分かる。

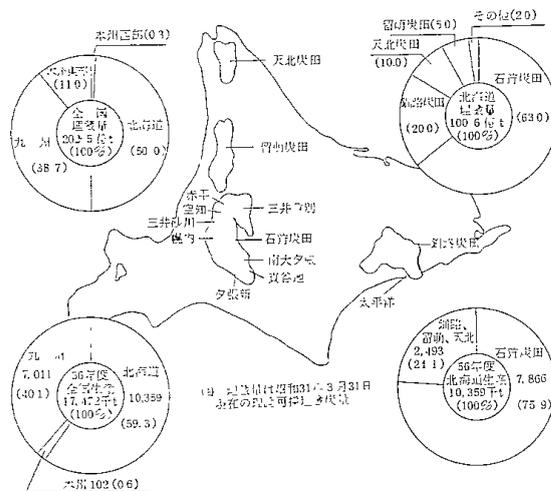


図2.1-9 炭田と主要炭鉱の分布¹⁾

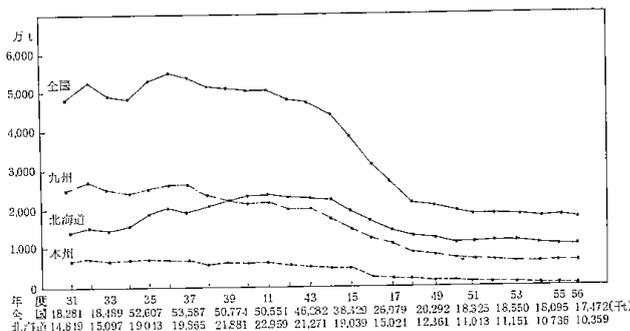


図2.1-10 石炭生産量の推移¹⁾

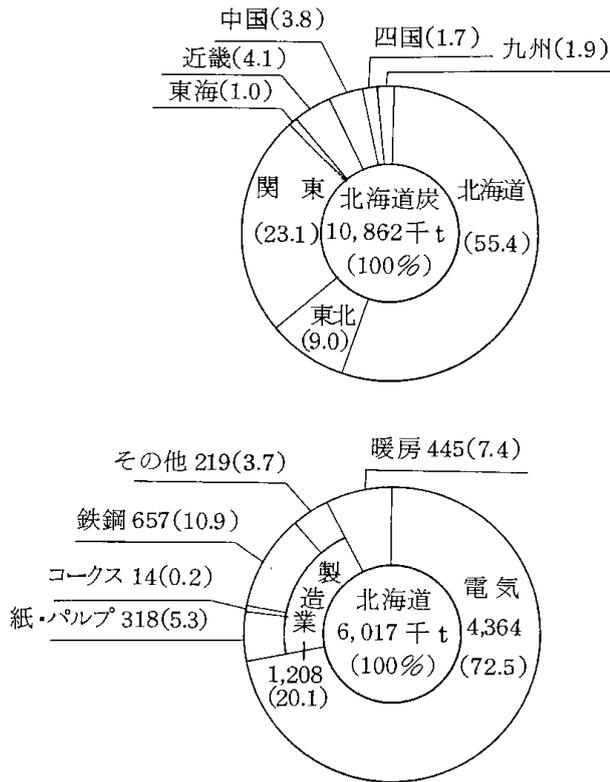


図2・1-11 北海道炭荷渡状況及び需要²⁾

石炭は、多種類の炭素質化合物と無機物質の混合物である。このため石炭の分類法は用途に応じて異なっている。石炭化度を示す指標として、無水無灰基(d・a・f)の炭素パーセントを用いて分類する方法を表2・1-4に示す³⁾。

石炭を燃料として考える場合、その性質を示す値として工業分析値が用いられている。水分(M)、揮発分(V・M)、灰分(A)、固定炭素(FC)、発熱量、ボタン指数などで、これらの値は石炭の燃料としての価値や特徴を示す基準となっている。北海道

表2・1-4 C(無水無灰)%による石炭の分類³⁾

C(無水無灰)%	石炭の種類
～70	亜炭
70～78	かっ炭
78～80	非粘結炭
80～83	弱粘炭
83～85	粘着炭
85～90	強粘炭
90～	無煙炭

} 歴青炭

炭の分析値を表2・1-5に示す⁴⁾。北海道に産出する石炭は、硫黄と窒素が少なく、低公害の石炭といえる。

2) 未利用固体燃料

エネルギー多様化の一環として高品位炭だけでなく、これまで商品価値に乏しいとみられていた選炭スラッジ及びズリが見直され、最近、その利用状況と賦存量の調査が行われた^{5,6)}。その他、石炭系の未利用の固体燃料用資源としては泥炭があげられる。

選炭スラッジ⁵⁾

選炭工程で発生する選炭廃水中には粘土鉱物及び石炭の微粒子が含まれており、昭和50年代の水質汚濁防止法による規制強化に伴って、これらの固形分が選炭スラッジとして回収されている。このスラッジは2,000～3,000kcal/kgの発熱量を有しており、湿分も約25%含んでいる。北海道内の炭鉱において回収される選炭スラッジの量は表2・1-6に示すように年間約60万tに達し、その一部は上級炭との混炭によって発熱量を調整し利用されているが、その大部分は野外に堆積されるか、またはズリ山に投棄されている。表2・1-7に、

表2・1-5 北海道炭の分析値⁴⁾

	元素分析(無水無灰%)					工業分析(%)				発熱量(kcal/kg)	ボタン法
	C	H	O	N	S	M	A	VM	FC		
亜炭 天北	70.4	4.7	23.8	1.1	0	12.8	1.5	35.6	50.0	5,700	0
褐炭 太平洋	77.8	6.0	14.9	1.1	0	5.5	5.0	48.2	41.3	7,100	0
歴青炭 芦別	81.0	5.7	11.0	2.2	0.6	2.6	4.3	43.4	49.7	7,700	1.0
” 美唄	80.2	6.1	11.3	1.9	0.4	3.4	3.9	45.3	47.4	7,600	
” 赤平	82.3	5.9	9.2	2.3	0.2	3.0	3.2	42.5	51.3	7,800	5.5
” 砂川	81.7	6.2	10.4	1.5	0.2	2.5	8.8	41.7	47.0	7,500	1.0
” 幌内	69.2	5.6	9.2	1.4	0.5	3.4	10.5	41.0	45.3	7,000	0.9
” 大夕張	84.0	6.3	6.9	1.9	0.9	6	6.3	44.4	47.7	7,900	7.0

表2・1-6 選炭スラッジ回収量及び処理法

炭 鉱 名	回収量/年	処 理 法
太 平 洋	267,000トン	ズリ山投棄
芦 別	6,000	一部坑内流送
赤 平	50,000	野外堆積中(現在20万t),冬期間一部ボイラ燃料化
空 知	6,000	ズリ山投棄
砂 川	※130,000	66粉と混炭50粉として市販
幌 内	60,000	ズリ山投棄 一部ボイラ燃料化テスト中
真 谷 地	50,000	坑内流送,58年度よりプレスケーキとして回収予定
南 大 夕 張	不 明	ズリ山投棄,セメントと混合して固化
備 考	※ 水力採炭を行っているため坑内からの揚水中に微粉炭が多く含まれ,これらも合せてプレスケーキとして回収している。	

表2・1-7 炭鉱別スラッジの工業分析値と発熱量⁵⁾

	工業分析(wt%)				発熱量 kcal/kg
	水分	灰分	揮発分	固定炭素	
太平洋	2.7	59.2	25.2	12.9	2,120
芦 別	1.9	69.9	17.0	11.2	1,790
赤 平	2.0	60.7	19.8	17.5	2,750
空 知	1.4	63.2	19.1	16.3	2,600
砂 川	2.2	55.1	19.6	23.1	3,090
幌 内	1.6	66.2	18.1	13.1	2,200

注) 本表における数値は重量比を%で表示した。

各地域の選炭スラッジの工業分析値の一例を示した。

炭鉱ズリ⁶⁾

採炭に伴って発生するズリは出炭量と同量ともいわれ、北海道の炭鉱地域に広く散在している。低品位の石炭の回収が見込めるズリ山は、休廃止した炭鉱の焼化したものを除いた水選ズリが対象となる。回収を経済的に行うためには、良質なズリの量が少なくとも50万m³以上堆積しているか、または、20万m³程度であってもズリ山が群集していること、さらに、水利の便がよいことなどの立地条件が必要とされている。

最近の調査⁶⁾によれば、休廃止山の20万m³以上のズリ山の水選ズリの堆積量は総計約6,100万m³と見込まれている。これらから4,000kcal/kg以上の発熱量をもつ石炭分を回収するとすれば、約590万tとなる。立地条件や経済性を加味した種々のマイナス要因を考慮に入れると、実回収見込量はその1/2~1/3程度になるものと推定されている。

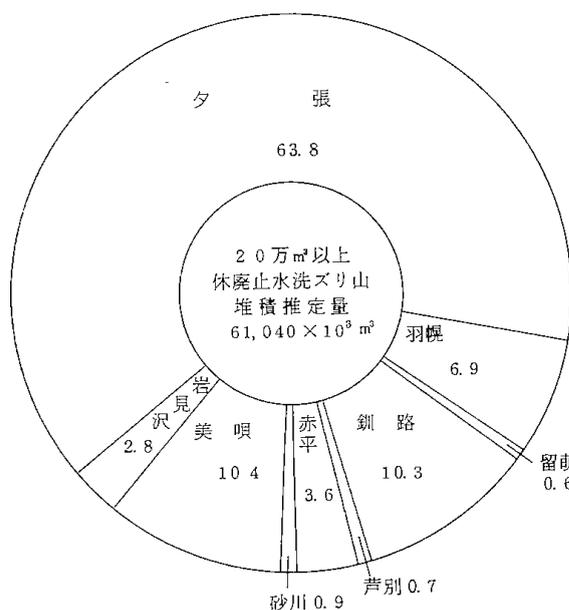


図2・1-12 地区別炭鉱ズリ堆積量の割合(%)⁶⁾

図2・1-12に地区別の炭鉱ズリ堆積量の割合を示した。同図中、夕張地区は古くからの産炭地であると同時に大型炭鉱を中心とした数多くの中小炭鉱が採炭を行っているため、全体の堆積量の約64%を占めるが、ズリ山の含炭率は他の地区に比べて相対的に低く、回収可能量はそれほど多くはないものとみられている。また、釧路地区も全体の10%程度で比較的多くの堆積量があるが、ズリ山が山奥に分散しているなど立地条件が必ずしも整っているとはいえない。

表2・1-8に、空知管内のズリ山から選定した10山の性状分析の例を示した。発熱量は5,000kcal/kg以上であるが、比重分別による試験によればズリ山によって歩留にかなりのバラツキがあることを示している。

表 2・1-8 ズリ山性状調査例⁵⁾

	粒度構成 (mm)					工業分析及び発熱量 (S・G-1.8試料)					可洗曲線歩留 3,500kcal		同 左 4,000kcal	
	+60	60~ 25	25~ 15	15~ 0.6	-0.6	水分	灰分	揮発分	固定 炭素	発熱量 kcal/kg	理論 歩留	対全試 料歩留	理論 歩留	対全試 料歩留
夕張 W% 光 A%	—	11.1 79.5	22.2 79.5	48.7 78.9	18.0 84.9	1.43	30.49	32.16	35.92	5,590	31.5 52	25.8	24.0 45	19.7
万字 W% 字 A%	—	11.1 61.1	11.1 82.3	38.9 73.6	38.9 96.4	1.52	14.45	43.80	40.23	7,020	62.0 52	40.4	53.0 45	34.6
美唄 W% 西口の沢 A%	13.3 —	13.3 73.1	13.3 75.5	42.2 76.4	17.9	2.16	23.55	35.15	39.14	5,820	22.5 45	16.1	18.0 40	12.9
美桂台(上層) W% A%	12.1 —	9.7 82.4	12.1 79.1	51.6 78.5	14.5	2.48	29.08	33.49	34.95	5,230	21.0 45	16.4	16.5 40	12.9
美桂台(下層) W% A%	—	13.8 66.4	14.0 62.5	47.1 55.3	25.1 60.2	2.18	22.07	35.28	40.47	5,770	67.5 45	46.8	57.5 40	39.8
空知 W% 神威 A%	—	14.3 71.2	11.4 73.8	54.5 73.8	19.8 75.3	1.69	25.36	31.99	40.96	5,890	27.5 52	22.3	19.0 45	15.2
空知 W% 北斗 A%	—	33.3 77.3	16.7 78.3	43.5 75.1	6.5 98.0	1.24	33.71	29.42	35.63	5,330	19.5 52	16.5	13.5 45	11.4
空知 W% 歌内 A%	—	28.6 71.3	21.4 72.7	43.3 79.4	6.7 80.6	1.82	32.55	30.36	35.27	5,370	11.0 50	9.7	7.5 45	6.6
赤平 W% 赤間 A%	—	—	11.0 76.6	60.9 74.5	28.1 73.3	1.94	35.61	29.74	32.71	5,000	29.5 52	25.1	20.5 45	17.4
築索 W% 別道 A%	—	15.4 72.9	15.3 59.1	37.5 56.8	31.8 95.0	3.40	27.37	33.95	35.28	5,020	39.0 40	23.8	32.0 35	19.5
築選炭機 W% 沢 A%	—	7.7 41.2	15.4 52.3	40.0 45.0	36.9 56.6	7.37	21.55	38.74	32.34	5,120	86.0 40	49.3	72.0 35	41.3

註) Wは重量, Aは灰分を表す。

泥 炭

北海道の泥炭地は、北海道の総面積の約2.4%を占め、昭和20年までにその35%が耕地化された。泥炭のうちエネルギーとして利用の可能性を秘めているのは高位泥炭である。すなわち、泥炭地生成の後期のもので、植物養分が乏しく、原野の内

部に発達しているものである⁷⁾。

表 2・1-9 に、北海道の主な高位泥炭地の埋蔵量を示したが、その量は総6億m³と推定されている。

採取したままの泥炭は65~95%の水分を含んでいるが、これを数週間気乾すれば、水分は12~25%の固有水分となる。乾燥泥炭は褐色または黒色で、見掛比重は極めて小さく、気孔率が大きな固型物で、その中に原植物の形骸をとどめている場合が多い。代表的な工業分析値を表 2・1-10 に示す⁹⁾。本試験所で行った石狩地区の泥炭の元素分析値を表 2・1-11 に示す¹⁰⁾。水分約12.3%に乾燥した泥炭は3,000~4,000kcal/kgの発熱量を有する。

表 2・1-9 北海道の高位泥炭の量⁸⁾

区 分	面 積 (ha)	埋蔵量(千m ³)
当別篠津原野	7,436	151,324
幌向原野	4,183	114,207
美唄原野	7,503	195,237
秩父大鳳原野	1,559	42,673
幌加内原野	166	4,350
対雁原野	1,941	65,073
長都原野	23	174
鷹栖原野	25	772
富良野原野	277	2,752
サロベツ原野	1,702	30,845
釧路原野	324	3,651
計	25,139	611,058

(1956年北海道開発局調)

表 2・1-10 泥炭の工業分析値⁹⁾

	(I)	(II)	(III)
水分(%)	13.00	12.68	16.17
灰分(%)	16.90	9.23	5.62
揮発分(%)	47.35	57.59	58.75
固定炭素(%)	22.75	20.50	19.46
窒素(%)	1.38	2.23	1.14

(I)石狩軽川産, (II)石狩金沢産, (III)美唄産

表 2・1-11 石狩地区の泥炭の元素分析¹⁰⁾

水	素	3.78	wt%
炭	素	36.20	
酸	素	25.13	
窒	素	1.13	
硫	黄	0.52	

これらの未利用の固体燃料用資源のうち、選炭スラッジはその一部が利用されつつあるものの、炭鉱の操業によって確実に生産され、将来、その累積量も膨大なものとなる。堆積に伴う保安上の問題も考慮するならば、地域の有用なエネルギー源としてより早期に利用の開発が望まれる。また、ズリ山からの回収炭は、再選炭工程を経ることから、スラッジ炭に比べて発熱量、粒度、取り扱いなどの点で優れている。今後、立地条件を加味した経済性の検討等、より詳細な調査研究が望まれる。

泥炭は、その賦存量が比較的多いものと推定されているが、貴重な有機質資源でもあり、また、泥炭には太古からの地史的環境の変化が刻み込まれた自然が残されているため、エネルギー源としての開発利用には制限が伴うことになる。

参考資料

- 1) 札幌通商産業局編集:「目でみる北海道産業, 昭和57年度版」, P. 27, 札幌商工協会(昭和57年9月)
- 2) 前掲書, P. 28
- 3) 本田英昌:「石炭化学工業」, 馬場有政編著, P. 63, 産業図書(昭和35年)
- 4) 資源調査会編:「石炭資源とその利用技術」, 科学技術庁資源調査所監修, P. 365, 産業技術センター(昭和52年5月)
- 5) 北海道商工観光部資源エネルギー課・北海道立工業試験場:「低品位炭利用可能性調査(中間報告)」(昭和58年3月)
- 6) 北海道商工観光部資源エネルギー課・北海道立工業試験場:「低品位炭利用可能性調査(中間報告)」(昭和59年3月)
- 7) 阪口豊:「泥炭地の地学」, P. 189, 東京大学出版会(1974年4月)
- 8) 泉重雄:「コンサルタンツ北海道」, 34, (6), P. 22(1981)
- 9) 佐藤久次:北海道立工業試験場報告, 第151号, P. 1(1957)

10) 細田英雄:北海道工業開発試験所第3部資料(1983)

3) バイオマス資源

バイオマス資源は多岐に亘るため、ここでは北海道の主要産業である農産、水産、林産資源を対象とした。特に、林産分野では全国の素材生産量の24%を占めることから、調査内容は林産分野に重点をおいた。

(1) 林産資源

林産資源のエネルギーとしての利用の代表的な例は薪炭である。かつては燃料の大部分を占めたが、北海道では現在、エネルギー総需要の0.1%以下となっている。

我が国の国土面積(3,800万ha)の $\frac{2}{3}$ の2,500万haが森林であり、このうちの1,000万haが人工林である。人工林の約475万haは間伐を必要とする状態である。一方、民有林は年間で、わずか10~15万haしか行われていない現状である。この問題については、間伐技術、労賃など問題が山積しているものの、この莫大な資源の適切な燃料化は急務を要する重要な課題である。特に、北海道は先に述べたように森林面積が多いことから、エネルギー源としての活用方法を今後の暖房システムの中でも検討する必要がある。

北海道における林野面積は表 2・1-12³⁾に示すように約567万haであり、北海道の土地面積781万haの約72%、全国の森林面積の22%を占める。このうち、国有林、道有林の割合は69%であり、しかも天然林66%、人工林24%と天然林の占める割合が高く、他の地域とは異った特徴を有する。

表 2・1-13³⁾に樹林地の森林蓄積量を示したが、北海道は5億1千万 m^3 で全国の $\frac{1}{4}$ を占める。人工林の占める割合は11%程度で、樹種はトドマツ(49%)、カラマツ(37%)が主体となっている(表 2・1-14 a~c 参照³⁾)。

図 2・1-13は、北海道の大部分を占める国有林の樹種別森林蓄積量の分布図であるが、道内の森林地帯は北見、旭川、帯広、札幌などに大別される。

木材需要の推移、素材生産の推移等は木材加工過程での廃出材を推定する意味で重要であるが、図 2・1-14, 15 を見ると年々や、減少する傾向にある。これは道内の大半を占める国有林の自然保護等の配慮、蓄積の高い天然林の減少、あるいは人工林の80%が20年以下の若齢林であることも理由として上げられている。

表2・1-12 土地・世帯・人口

区 分	1) 総土地面積	林野面積	2) 耕地面積	3) 総世帯数	4) 総人口	5) 農家数
	(1) ha	(2) ha	(3) ha	(4) 戸	(5) 人	(6) 戸
全 国	37,278,784	25,197,653	5,474,000	35,976,517	117,057,485	4,661,384
都 府 県	29,426,874	19,525,863	4,350,000	34,134,417	111,481,375	4,541,740
北 海 道	7,851,910	5,671,790	1,125,000	1,842,100	5,576,110	119,644

6) 林家数	7) 林野率	8) 山地率	9) 人工林率	10) 国有林野率	11) 耕地率	
(7) 戸	(8) %	(9) %	(10) %	(11) %	(12) %	
2,531,261	68	69	40	30	15	全 国
2,452,892	66	68	44	23	15	都 府 県
78,369	72	75	27	54	14	北 海 道

注：1) は、原則として、建設省国土地理院「昭和54年全国都道府県市区町村別面積調」による。2) は、ラウンドの関係で積上値とは一致しない。3), 4) は、昭和55年国勢調査の概数による。5) は、1980年世界農林業センサス農家調査による。6) は、1980年世界農林業センサス林業事業体調査による。7) は、林野面積/総土地面積。8) は、(林野面積+林野面積から除いた国有林野除地)/総土地面積。9) は、人工林面積/間林地面積。10) は、林野面積(国有)/林野面積(総数)。11) は、耕地面積/総土地面積。

表2・1-13 樹林地の森林蓄積量
(森林計画対象のみ)

(1) 総数 (2) 国 有 (3) 民 有

単位: 100m³

区 分	(1) 総数			(2) 国 有			(3) 民 有		
	計	人工林	天然林	計	人工林	天然林	計	人工林	天然林
全 国	(1) 23,312,849	(2) 9,192,037	(3) 14,120,812	(1) 7,720,926	(2) 1,373,815	(3) 6,347,111	(1) 15,591,923	(2) 7,818,222	(3) 7,773,701
都 府 県	18,286,510	8,609,447	9,677,063	4,443,045	1,242,970	3,200,075	13,843,465	7,366,477	6,476,988
北 海 道	5,026,339	582,590	4,443,749	3,277,881	130,845	3,147,036	1,748,458	451,745	1,296,713

表2・1-14 a. 樹種別樹林地面積
(森林計画面積)

(1) 総数

区 分	人 工 樹							
	計	針 葉 樹						
		小 計	す ぎ	ひ の き	あかまつ つるまつ	からまつ	えぞまつ とどまつ	そ の 他
全 国	(1) 9,546,672	(2) 9,401,034	(3) 4,249,764	(4) 2,031,238	(5) 1,173,810	(6) 1,105,071	(7) 741,723	(8) 33,406
都 府 県	8,191,821	8,074,556	4,219,100	2,031,238	1,171,595	600,694	712	14,858
北 海 道	1,354,851	1,326,478	30,664	—	2,215	504,377	741,011	18,548

単位：ha

林				天 然 林			
広 葉 樹				計	針 葉 樹	広 葉 樹	
小 計	くぬぎ・なら	ぶ な	そ の 他				
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	
62,453	2,330	148	59,975	4,751,551	909,346	3,815,208	全 国
55,177	2,330	148	52,699	2,553,462	415,982	2,137,480	都 府 県
7,276	—	—	7,276	2,201,092	493,361	1,707,728	北 海 道

表2・1-14 b. 樹種別樹林地面積

(2) 国 有

区 分	人 工							
	計	針 葉 樹						
		小 計	す ぎ	ひ の き	あかまつ くろまつ	からまつ	えぞまつ とどまつ	そ の 他
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
全 国	2,281,254	2,218,801	759,857	387,306	209,550	378,493	450,189	66,022
都 府 県	1,684,058	1,628,881	756,443	387,306	209,269	260,293	712	36,359
北 海 道	597,196	589,920	3,414	—	281	118,200	449,477	29,663

単位：ha

林				天 然 林			
広 葉 樹				計	針 葉 樹	広 葉 樹	
小 計	く ぬ ぎ な	ぶ な	そ の 他				
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	
83,185	31,869	168	51,118	9,267,263	1,519,096	7,718,167	全 国
62,088	31,853	168	30,067	7,755,075	1,418,147	6,336,928	都 府 県
21,097	16	—	21,081	1,512,188	130,919	1,381,239	北 海 道

表2・1-14 c. 樹種別樹林地面積

(3) 民 有

区 分	人 工							
	計	針 葉 樹						
		小 計	す ぎ	ひ の き	あかまつ くろまつ	からまつ	えぞまつ とどまつ	そ の 他
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
全 国	7,265,418	7,182,233	3,489,907	1,613,932	964,260	726,578	291,534	99,428
都 府 県	6,507,763	6,445,675	3,462,657	1,643,932	962,326	340,401	—	51,217
北 海 道	757,655	736,558	27,250	—	1,934	386,177	291,534	48,211

単位：ha

林				天 然 林			
広 葉 樹				計	針 葉 樹	広 葉 樹	
小 計	くぬぎら な	ぶ な	そ の 他				
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	全 国
145,638	34,199	316	111,123	14,021,817	2,458,442	11,563,375	都 府 県
117,265	34,183	316	82,766	10,308,537	1,834,129	8,474,408	北 海 道
28,373	16	—	28,357	3,713,280	624,313	3,088,967	

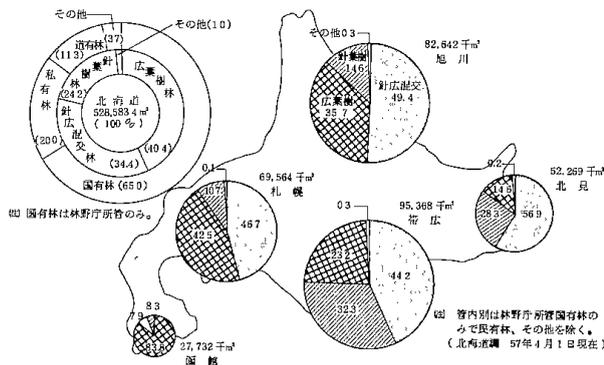


図 2・1-13 樹種別森林蓄積量の分布

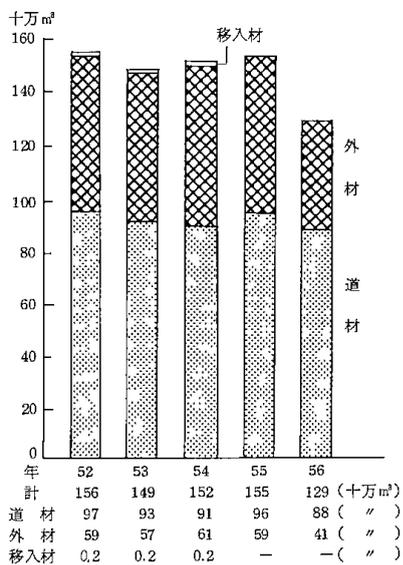


図 2・1-14 木材需要の推移 (道内)

しかしながら、「北海道発展計画」によると昭和62年には人工林374万m³、天然林643万m³、計1,017万m³の伐採量を計画しており、これらをエネルギーとして換算した場合、発熱量を4,000kcal/kgとすれば20×10¹³ kcal/年となる。

現在の木材需給を勘案すると薪炭利用が急激に

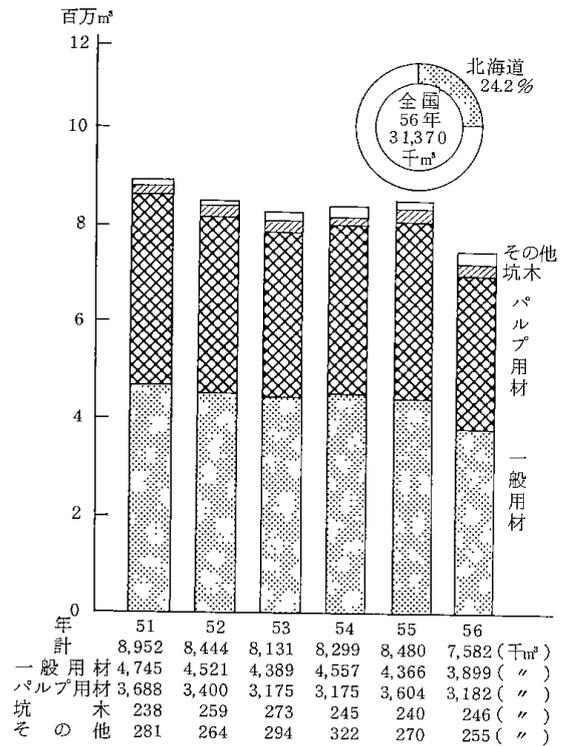


図 2・1-15 素材生産の推砂

伸びるとは考えられないが、北海道の特殊事情としてカラマツの間伐材利用の問題がある。

カラマツの林野所管別素材生産量を表 2・1-15 に、支庁別カラマツ素材生産量を表 2・1-16 に示した。これらの表から昭和53年度の素材生産量は約49万m³であるが、小径、中径の間伐材が主となっている。樹木を直径30 cm以上の主伐材に成長させるために間伐は欠かせないことから、今後10数年間は主伐とともに間伐を一層進める必要がある。こうした観点から、カラマツ間伐材の利用拡大の一方策として、燃料としての利用方法が考えられる。

一方、木材の加工過程における樹皮やのこ屑、端材などの廃材が多量に産出されている外、建築

表2・1-15 林野所管別カラマツ素林生産量

(m³)

年度 林野別	47	48	49	50	51	52	53	53年度の内容	
								自分で生産	下請に出して生産
国有林 (営林局)	10,544	13,774	17,187	34,473	32,527	48,183	51,676	31,319	20,357
その他 国有林	700	2,425	2,582	2,164	5,263	4,373	6,826	2,893	3,933
道有林	10,003	20,151	21,074	22,180	20,560	22,783	27,660	16,472	11,188
市町村有林	19,994	21,818	21,730	35,237	29,258	39,482	45,327	25,271	20,056
会社有林	19,255	25,624	30,469	23,469	25,728	35,741	43,296	10,454	32,842
個人有林	305,195	337,183	260,804	285,663	342,401	355,175	316,543	214,905	101,638
その他	2,970	447	1,838	1,667	1,284	151	424	424	0
合計	368,661	421,422	355,684	404,853	457,021	505,888	491,752	301,738	190,014

表2・1-16 支庁別カラマツ素材生産量及び生産業者数

(生産量 m³)

区分 支庁別	47年度	48年度	49年度	50年度	51年度	52年度	53年度	
	生産量	業者数						
渡島	7,249	11,780	6,663	8,643	9,851	8,447	8,190	24
桧山	2,325	2,872	4,870	2,905	5,174	7,105	5,123	38
後志	19,041	23,650	9,943	20,414	26,177	14,412	10,631	18
胆振	14,183	29,490	24,255	17,232	18,385	27,654	23,255	80
日高	17,356	6,500	3,505	2,215	4,131	4,422	9,067	18
石狩	1,196	3,880	3,743	1,978	4,776	6,305	3,282	4
空知	24,338	20,250	11,812	25,355	32,972	39,972	38,808	34
上川	87,646	52,000	31,156	51,383	45,879	71,429	71,342	56
留萌	1,158	2,270	1,524	1,808	1,854	2,603	561	4
宗谷	2,406	2,650	1,792	278	486	30	719	5
網走	61,220	83,080	69,576	106,799	135,230	148,487	143,888	66
十勝	102,472	153,400	160,698	122,250	130,003	133,577	130,078	201
釧路	9,243	12,590	10,734	15,711	23,048	30,253	26,432	27
根室	18,858	17,010	15,020	26,882	19,055	12,058	20,376	15
合計	358,661	421,422	355,684	404,853	457,021	505,888	491,752	587

廃材も多い。

廃材の排出量については、北海道立林産試験場が昭和54年度に実施した「製材・チップ業部門の廃材の産出・利用調査」がある。これを表2・1-17に示したが、これによれば54年廃材廃棄量は約22万m³となっている。表2・1-18には支庁別にみた廃材の排出量を示した。これらの表の数値は製材・チップ業部門に限った産出量であり、この外、加工業や林地残材を加えると相当量の排出が見込まれる。

(2) 農産資源

農産物などのバイオマス資源をエネルギーとしてとらえる場合には、エネルギーの採取方法で分類する考え方がある。

- ①糖質、澱粉質の収量の高い農作物利用によるエタノール発酵
 - ②バガスや稲わら等の農産物残渣利用によるメタン発酵
 - ③もみがら等の直接燃焼
- すでにエタノール発酵は、ブラジルで主にサトウ

表2・1-17 製材及びチップ工場の廃材の産出量とその利用

(単位:実積m³)

廃材産出量		廃棄量 (m ³)	利用量 (m ³)	利 用 途 別 数 量						
種 類	数 量 (m ³)			燃 料	オガライト 原 料	家 畜 用 原 料	堆 肥 用 原 料	キノコ 培 地 用	ボート用 原 料	炭 化 物 そ の 他
端 材	27,783 (100.0) [2.1]	1,273 (4.6) [0.1]	26,510 (95.4) [2.0]	26,510 (95.4) [2.0]						
樹 皮	703,237 (100.0) [52.6]	200,459 (28.5) [15.0]	502,778 (71.5) [37.6]	298,275 (42.4) [22.3]	15,707 (2.2) [1.2]	102,759 (14.6) [7.7]	84,651 (12.0) [6.3]			1,386 (0.2) [0.1]
の こ 屑	527,924 (100.0) [39.4]	5,387 (1.0) [0.4]	522,537 (99.0) [39.0]	160,805 (30.5) [12.0]	33,184 (6.3) [2.5]	260,537 (49.4) [19.5]	20,914 (4.0) [1.6]	20,412 (3.0) [1.5]	24,921 (4.7) [1.9]	1,761 (0.3) [0.1]
チップ屑 プレナ屑	79,280 (100.0) [5.9]	12,845 (16.2) [1.0]	66,435 (83.8) [5.0]	40,084 (50.6) [3.0]	2,887 (3.6) [0.2]	17,051 (21.5) [1.3]	2,811 (3.5) [0.3]		3,602 (4.5) [0.3]	
合 計	1,338,224 (100.0) [100.0]	219,964 (16.4) [16.4]	1,118,260 (83.6) [83.6]	525,674 (39.3) [39.3]	51,778 (3.9) [3.9]	380,347 (28.4) [28.4]	108,376 (8.1) [8.1]	20,412 (1.5) [1.5]	28,523 (2.1) [2.1]	3,159 (0.2) [0.2]

N 3,246 千m³/年間

- 注) 1. 昭和55年3月末現在 製材工場数 831 原木消費量 L 1,748 〃
(兼業チップ工場数) (733) 計 4,994 〃
チップ専業工場数 104 原料消費量 (素材・廃材込) 1,006千m³/年間
2. 乾物重量に換算するには、おおむね上記数字に0.45~0.5をかけると決まる(廃材実積1m³→乾物重量0.45~0.5 ton)
3. ()・[]内は構成比%

表2・1-18 支庁別にみた廃材の産出量とその利用

[上段:実績千m³, 下段:() %]

支 庁	廃 材 産 出 量	利 用 量	主な利用用途(1,000m ³ 以上, 上位4種まで)			
			① 数 量	② 数 量	③ 数 量	④ 数 量
渡 島	52.4 (100.0)	25.8 (19.2)	燃 10.7 (20.4)	敷 9.9 (18.9)	オ 3.9 ガ (7.4)	キ 1.3 ノ (2.4)
松 山	13.3 (100.0)	10.3 (77.3)	オ 4.4 ガ (33.2)	堆 3.8 (28.3)	燃 1.6 (11.9)	
後 志	53.1 (100.0)	43.9 (82.7)	堆 19.1 (35.9)	敷 16.8 (31.6)	燃 6.1 (12.2)	キ 1.6 ノ (3.0)
石 狩	75.9 (100.0)	52.1 (68.7)	敷 26.3 (34.6)	燃 12.8 (17.7)	ボ 6.8 ノ (9.0)	堆 4.7 (6.1)
空 知	83.3 (100.0)	69.1 (83.0)	燃 50.6 (60.8)	敷 8.7 (10.4)	オ 6.6 ガ (7.9)	キ 2.7 ノ (3.3)
上 川	325.0 (100.0)	286.7 (88.2)	燃 124.2 (38.2)	敷 87.1 (26.8)	オ 33.4 ガ (10.3)	堆 26.2 (8.0)
留 萌	24.0 (100.0)	19.7 (82.0)	燃 13.4 (55.6)	敷 2.1 (8.8)	炭 1.4 (5.8)	堆 1.3 (5.5)
宗 谷	37.7 (100.0)	13.4 (35.5)	敷 10.4 (27.6)	燃 3.0 (8.0)		
網 走	251.0 (100.0)	238.5 (95.0)	燃 135.2 (53.9)	敷 73.4 (29.2)	堆 27.4 (10.9)	オ 2.3 ガ (0.9)
胆 振	67.5 (100.0)	48.7 (72.2)	敷 14.8 (21.9)	燃 14.8 (21.8)	ボ 11.9 ノ (17.7)	堆 6.5 ノ 9.7
日 高	111.8 (100.0)	100.3 (89.7)	燃 78.2 (69.9)	敷 15.9 (14.3)	ボ 6.2 ノ (5.6)	
十 勝	143.5 (100.0)	140.4 (97.8)	敷 75.4 (52.5)	燃 47.4 (33.0)	堆 16.4 (11.5)	オ 1.2 ガ (0.8)
釧 路	78.9 (100.0)	58.2 (73.7)	敷 33.1 (41.9)	燃 25.0 (31.7)		
根 室	20.6 (100.0)	11.0 (53.4)	敷 6.6 (32.0)	堆 2.6 (12.6)	燃 1.8 (8.8)	
計	1,338.2 (100.0)	1,118.3 (83.6)	燃 525.7 (39.3)	敷 373.7 (27.9)	堆 108.4 (8.1)	オ 51.8 ガ (3.0)

- 注) 略記号 燃:燃料 堆:堆肥用原料 敷:家畜用敷料 オガ:オガライト原料
キノ:キノコ培地用 ボー:ボート用原料 炭:炭化物原料

キビから380万klのエタノールを生産し、それをガソリンに混入して利用している。しかしながら、農作物から発酵エタノールを生産するための原料選択に当っては、単に収量や経済性の面のみならず、生態系への影響や食糧資源との競合度の評価に関する十分な研究が必要である。

北海道における主な農産物の収穫量を表2・1-19に、地区別作付面積の構成を図2・1-16に示した。

このうちエタノール発酵の原料となり得る主な農作物としては馬鈴しょ、てん菜、とうもろこしなどがある。

馬鈴しょ及びてん菜の単位面積当たりの収量は昭和53年度の場合でそれぞれ36.4t/ha, 49.9t/haである。重量当たりのエタノール収量をそれぞれ116l/t, 90l/tと仮定し馬鈴しょ及びてん菜の生産者価格を、36,000円/t, 18,500円/tとした場合、仮にエタノール製造コストをゼロとしてもエタノール価格は310円/l, 205円/lとなる。ガソリン換算にすると馬鈴しょ及びてん菜について、それぞれ556円/l, 367円/lとなり、石油製品の実質

上昇率を見込み10年後に導入するとしても他のエネルギーと競合し得るとする材料に乏しい。

次に、米の生産段階で発生する稲わら、もみがらの量は現在合わせて5.9~8.8t/haといわれている。

もみがらの発熱量は約3,900kcal/kgあり、エネルギー的利用方法としては①メタン発酵と②直接燃焼があるが、北海道では②の方が注目されている。もみがらの発生原単位は1.5t/haとみられており、北海道における水稲作付面積約17万5千haから発生するもみがらの量は26万3千tとなる。エネルギーに換算すると、1,026×10³kcal/年である。

(3) 海洋資源

海洋性バイオマスの対象となるのは海藻類である。その種類は2万7千種ともいわれており、これからエネルギーを採取する方法はメタン発酵が考えられている。

主な対象物を表2・1-20に示したが、そのうち特にジャイアント・ケルプ、コマンドが注目されている。米海軍研究センター提唱による海洋エネルギー農場構想ではジャイアント・ケルプを大量に人工栽培し、メタンガス、化学薬品を生産する計画がある。

一方、日本の海域で生息する海藻の中では、北海道東北の一部に生息するコンブの収率の高さが、注目されている。特に、北海道沿岸においては図2・2-17に示すようにマコンブ、ホソメコンブ、ミツイシコンブなどが広く自生している。表2・1-21は北海道のコンブの収穫量を示したものであるが、マコンブの収量は生草で65~700t/haといわれており、これからメタン 1,100~11,800 m³/ha が得られると推定されている。しかしながら、現段

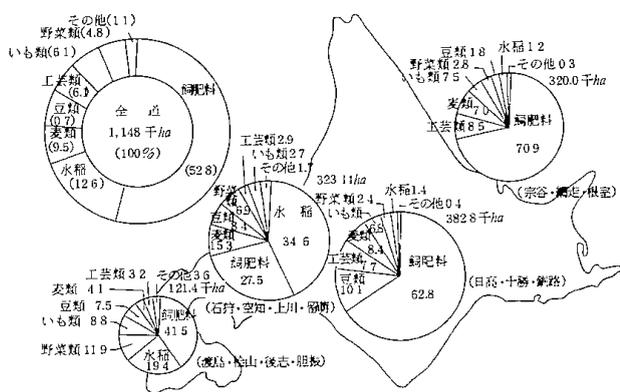


図2・1-16 地区別作物別作付面積の構成(57年)

表2・1-19 北海道の主要作物収穫量(54年)

	水		稲		小		麦		馬鈴しょ		てん菜		青刈とうもろこし		
	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	作付面積	10a当たり収量	
	ha	kg	ha	kg	ha	kg	ha	kg	ha	kg	ha	kg	ha	kg	
全道	172,600	502	867,300	62,800	404	253,400	63,600	3,640	2,316,000	58,900	5,680	3,344,000	52,500	5,380	2,823,000
道南	12,060	481	58,000	303	156	473	4,180	2,536	106,000	278	4,856	13,500	3,000	4,513	135,400
道央	108,920	509	554,700	18,358	393	72,117	8,660	3,401	294,530	5,177	5,555	287,590	6,652	5,081	338,000
道東	6,540	434	28,360	34,429	442	152,162	44,551	3,844	1,712,700	48,170	5,745	2,767,500	39,370	5,531	2,177,700
道北	44,950	503	226,200	9,704	294	28,624	6,265	3,228	202,260	5,347	5,140	274,840	3,388	5,094	172,600

(北海道農林水産統計年報より作成)

表2・1-20 バイオマスの対象となる藻類

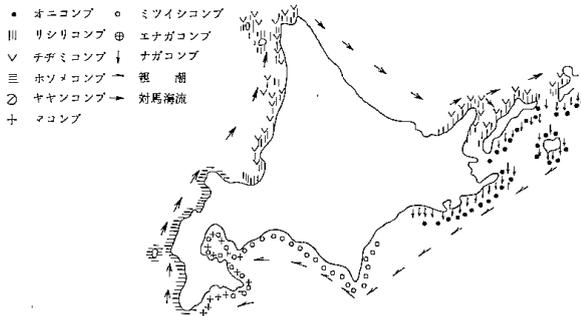
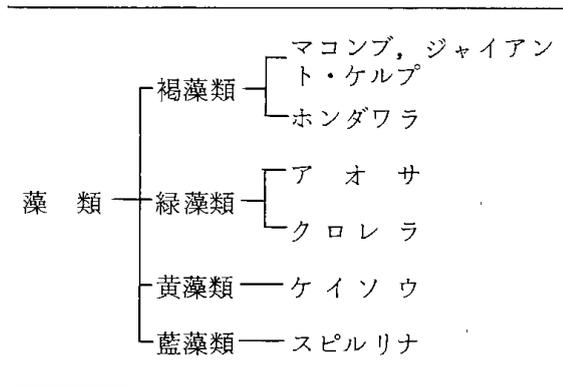


図2・1-17 北海道沿岸におけるコンブ類の分布(遠藤氏より)

表2・1-21 北海道におけるコンブの収穫量(昭和53年)

	こんぶ (海面)	こんぶ (養殖)	計
全道	98,314 (86.44%)	15,429 (13.56%)	113,743 (100.0)
道南	10,281	14,567	24,848
道央	20,996	1	20,997
道東	62,009	861	62,870
道北	5,028	—	5,028

農林水産統計年報(水産編)

階では栽培技術, 収穫技術, 経済性等で未解決の点が多いとされている。将来的には採算ベースに乗った「海洋エネルギー農場」システムの開発が構想されており, 海洋農場の候補地点として北海道では太平洋沿岸の3ヶ所が適地としてあがっている。この場所でのメタン生産量は約 $6,000 \times 10^9$ kcal/年となる。

(4) その他のバイオマス資源

i) 炭化水素植物

オイル含量が多く北海道のような寒冷地でも栽

培できる植物として, ハッカやひまわり種子が着目されている。ハッカについては, 北見地方で最盛期(昭和11年)に約2万haの栽培面積, 世界の7割近くのシェアを占めたことがあるが, 現在では100ha以下となっている。

ハッカは10a当たり生草で3~4t採れるが, ハッカ油としては収率0.5%程度である。しかし発熱量は約9,600kcal/kgでオクタン価が高いことから, 油分の多い品種への改良が期待されている。

北海道の原野は約7,000km²あり, その1割でハッカを栽培するとして, 油の収率を1%とすると約25,000t得られ, 熱量換算で 240×19^9 kcalとなるが, 現在のオイル収率, 生産コストからみると利用される可能性は少ない。

ひまわり種子の収量は250kg/haで, その45%程度がオイルとして利用できると考えられているが, ハッカオイルと比べると単位面積当たりのオイル収量は $\frac{1}{3}$ から $\frac{1}{4}$ 程度である。

ii) 畜産廃棄物

北海道では酪農, 畜産が大規模に行われており, 今後も拡大傾向にあることから, 畜産廃棄物を利用したメタン発酵のエネルギー化が重要である。

表2・1-22に昭和54年の北海道における家畜飼養頭羽数, 図2・1-18に地域ブロック別のものを示した。

クリーンジャパンセンターが試算した昭和65年のメタン発酵によるエネルギー可採量を表2・1-23に示したが, 最大で約 $4,000 \times 10^9$ kcal/年とされている。

参考文献

- 1) 札幌通商産業局:「目でみる北海道産業」, P.49~51, 昭和57年版
- 2) 財団法人クリーンジャパンセンター:「再資源化技術の地域適用性に関する報告書」, 昭和58年3月
- 3) 林野庁:「林業年鑑」, 昭和57年
- 4) 鎌田, 治田:「北海道におけるカラマツ素材・製材の流通」, 林業試験場月報, 10, P.1~6, (1979)
- 5) 種田建造:「旭川市及び苫小牧広域圏における廃材利用調査」, 7, P.8~17, (1981)
- 6) 林野庁委託調査:「木質エネルギー活用促進調査」, 昭和56年3月
- 7) 鎌田, 村木:「北海道の製材工場及びチップ工場における廃材の産出, 利用調査」, 林産試験場月報, 9, P.7~17, (1980)

表 2・1-22 北海道における家畜養頭羽数の推移と飼養規模

単位 { 戸数：10戸
頭数：10頭
羽数：1,000羽

区分 年	乳用牛			肉用牛			豚			鶏		
	飼養戸数	飼養頭数	一飼戸養当頭り数	飼養戸数	飼養頭数	一飼戸養当頭り数	飼養戸数	飼養頭数	一飼戸養当頭り数	飼養戸数	飼養頭数	一成戸鶏当り数
50	2,738	61,476	22.5	771	12,546	16.3	720	43,801	60.8	1,928	6,582	279
51	2,520	62,375	24.7	712	12,592	17.6	617	41,547	67.4	1,526	6,536	353
52	2,362	65,666	27.8	719	14,879	20.7	528	42,851	81.2	1,219	7,133	477
53	2,287	69,428	30.4	649	15,960	24.6	514	48,090	93.6	977	7,289	601
54	2,215	72,731	32.8	593	16,421	27.7	515	54,702	106.2	788	6,947	721

(畜産統計より作成)

表 2・1-23 畜産廃棄物からのメタンガス発生量

	飼養頭羽数	発生ガス原単位	発生ガス量	発生ガス発熱量	年間エネルギー
			× 10 ⁸ m ³ /日	kcal/m ³	× 10 ⁸ kcal/年
乳牛	120 万頭	1.0 m ³ /頭・日	1,200	6,200	2,716
肉牛	35 万頭	0.8 m ³ /頭・日	280	6,200	634
豚	100 万頭	0.18 m ³ /頭・日	180	6,600	434
鶏	900 万羽	0.01 m ³ /羽・日	90	5,200	171
				計	3,955

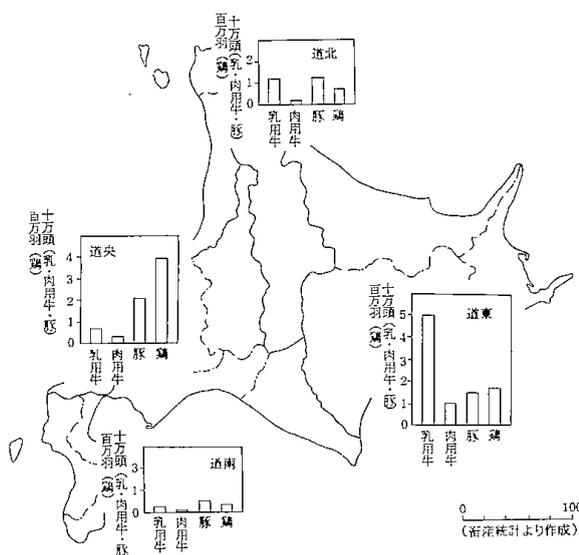


図 2・1-18 地域ブロック別家畜飼養頭羽数 (昭和54年2月)

4) 地熱

(1) 地熱の賦存

地熱エネルギー資源は、大きく2つに分類される。一つは火山性として高温岩体、熱水循環系などと、

他の一つは非火山性として深層熱水、天水循環系などである。しかし、このエネルギーのすべてを火山性のものと非火山性のものとに明確に区別することは困難であり、便宜上堆積岩から湧出する、あまり温度の高くない地熱流体を深層熱水(非火山性)として一般に区別している¹⁾。

地熱エネルギーが地下で賦存している地層を地熱貯溜槽と呼び、これから取り出される熱エネルギー状態が蒸気を多く含んでいる場合を蒸気卓越型、熱水が多い場合を熱水卓越型、蒸気も熱水もない場合を高温岩(その熱の利用に当たっては水の注入・蒸気の回収の方法によらねばならない)と称している。地熱貯溜槽内の流体は、その90%以上が降雨により浸透した地下水が加熱されたものであり、この浸透、加熱、貯溜という一連の系を熱水系と呼ぶ²⁾。

表 2・1-28 に、日米の地熱資源量を示す。諸外国と比べ日本の大きな特徴は火山の多いことであり、世界の活火山約800のうち、その約9%が日本にある。また、日本は新第3紀及び第4紀の火山性

表2・1-24 日米両国の地熱資源評価³⁾

		温度 ℃	圧力 kb	資源ベース Resource base										
				潜在 Undiscovered				既知 Identified						
				日本		米 国		日本		米 国				
				10 ¹⁸ cal	10 ¹⁸ cal	10 ¹⁸ cal	MW. 100y	10 ¹⁸ cal	MW. 30y	10 ¹⁸ cal	MW	10 ¹⁸ cal	MW. 30y	
新期マグマ貫入に 関係 (火山性) Related to young igneous intrusion	マグマ Magma (MG)	650-1,200	0.2 - 1			6,150 (*70)	20,000 (Sub. '74)	100,000				13,000		
	高温岩体 Hot dry rock (HDR)	300-650	0.1 - 1				100,000 (Sub. '74)					12,000		
	熱水循環系 Hydrothermal convection system	蒸気卓越型 Vapor- dominated (VD)	> 240	0.05 - 0.2				150,000 Rec. + Para '70	50	76,000 Rec. + Para		4,000 (*57) 7,300 (*77)	26	11,700 (Rec.) 11,700 (Para.)
		高温熱水型 High temperature hot water (HW)	> 150	0.05 - 0.4				100,000 (Sub.) (*74)	1,600	51,000 (Sub.)		26,580 (*77) 19,380 (*77)	370	3,300 (Sub.)
		中温熱水型 Intermediate temperature hot water (IW)	90-160	0.01 - 0.1				25,000 -50,000 (Para. '74)	1,400				345	
低温熱水型 Low temperature hot water (LW)		50-90	0.001 - 0.005											
新期マグマ貫入に無関係 (非火山性) Not related to young igneous intrusion	広域熱伝導系 Regional conductive (RC)	15-450	0.001 - 2.2											
	深層熱水 Hot water in deep sedimentary basin Hydrostatic pressured (HP)	静水圧型 Hydrostatic pressured (HP)	50-300	0.05 - 0.5		8,000,000		8,000,000			研究中		8,000,000	
		岩圧水型 (GP) Geopressured	> 200	0.9-2.2					>250,000 (Para.)		(*79)			115,000 (Para.)
深部天水循環系 Deep meteoric circulation (MC)	50-250	0.001 - 0.4												
計							420,000	8,103,050	>377,000		23,000	8,025,741	131,700	

地層が著しく厚い。これらの地層は比較的透水性が高いらしく、このため熱と水との豊富な供給によって熱水循環系が多く賦存するものと期待されている⁴⁾。

図2・1-19に日本の地熱資源分布図を示した。また、図2・1-20に北海道の地殻熱流量, すなわち地下からの熱の流れの大きさをHFU単位で示した。北海道の地熱徴候地は、札幌苫小牧低地帯から西方の西南北海道と呼ばれる地域、中央部の大雪十勝地域、東部の阿寒知床地域に集中して分布している。それらは、新期火山に関連しているものが多いが、その他、基盤の隆起沈降に関連した構造線に支配されたものもあり、北海道の地熱はこの2つのタイプに分けられる⁵⁾。

(2) 深層熱水

札幌苫小牧地区と帯広地区は、深層熱水の賦存量が多い地域である。一般に地温は、平均して100m下がるに従って3℃上昇し、その割合より地温勾配の高い深層熱水は、一般に地下の多孔質で浸透性

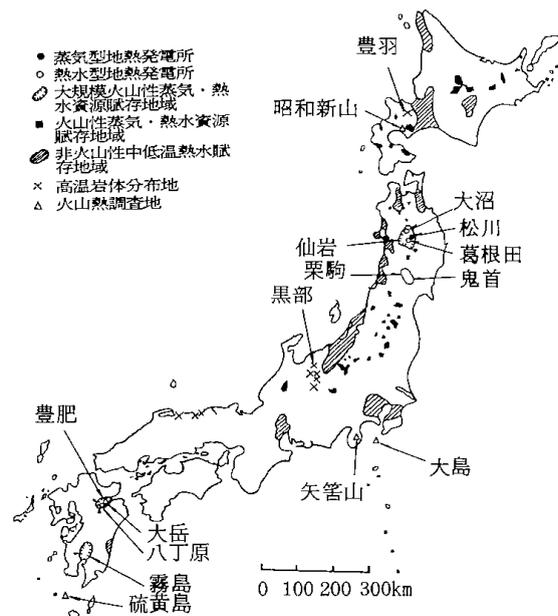
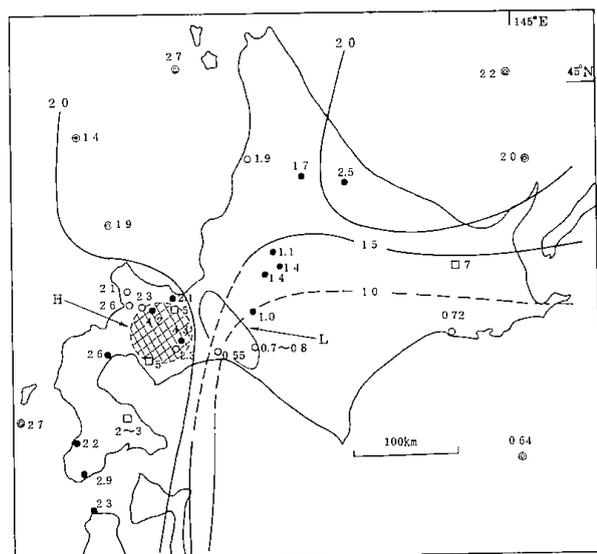


図2・1-19 日本の地熱資源分布図³⁾



● A class(good measurement)
○ B class(passable measurement)
□ C class(reference measurement)
⊙ marine measurement
H:Extremely high heat flow region(amounting to 3~5HFU)
L:Extremely low heat flow region(0.6~0.8HFU)

図2・1-20 北海道及びその周辺における地殻熱流量の分布

をもつ堆積岩すなわち比較的粗い堆積岩中に形成される¹⁾。表2・1-25にそれらの地域の深層熱水埋蔵量を、また、表2・1-26にその地域の地温勾配を示す。また、札幌に近い豊羽地区には高温岩体が賦存しており、深層熱水を含め、それら地熱の暖房エネルギーとしての利用が期待されている。

深層熱水利用の一例として、俣野⁷⁾が札幌市を対象として試算した地域暖房構想を紹介する。石狩西部の深層熱水賦存量(推定値)と、採取可能量を賦存量の50%とし、50年間にわたり採取できるものとして算出した年間採取可能な熱量を表2・1-27に示した。これによると採取可能量は18,000Gcal/km²年となり、これが地域暖房及び給湯に使用可能な熱量と推定される。

100m²の独立住宅を想定して算定すると、年間の所要熱量は13.9Gcal/戸・年となる(表2・1-28)。一方、札幌市の1世帯当たりの住宅面積は平均76m²

表2・1-25 深層熱水埋蔵量の暫定評価⁶⁾

No.	地域名	面積 kcal	推定埋蔵量×10 ⁹ m ³				可採熱水量 ×10 ⁹ m ³	地質条件の仮定 φは孔隙率(%), s/mは砂岩 頁岩比の平均値
			40~ 80℃	80~ 100℃	100℃ 以上	計		
1	釧路							
2	帯広	1,969	425	126	79	630	189	φ 上部層30%, 下部層20%
3	稚内	1,363				280	84	s/m0.2, φ 15% 熱水の平均温度75℃
4	札幌・ 苫小牧	5,109				610	180	s/m0.3, φ 15% 熱水の平均温度65℃
5	長万部							
6	知内							

表2・1-26 深層熱水賦存地域の地温勾配⁶⁾

No.	地域名	地温勾配 °C/100m	
		平均	地温分布の状態 その他 坑底温度/深度
1	釧路	7	
2	帯広	5	下居辺町営井61℃/1,000m, 音更町営井56℃/700m, 十勝川温泉, 帯広市街地試掘井ほか
3	稚内	3	石油深掘井
4	札幌・ 苫小牧	2.5	石油深掘井, 石狩平野西部3.6℃/100m, 南幌地区2.8℃, 軽舞地区2.4℃, 新冠地区1.9℃/100m, 西高東低
5	長万部		
6	知内		

表 2・1-27 石狩西部の深層熱水賦存量と年間採取可能な熱量 (推定値)⁷⁾

地熱水の温度	平均水温 °C	賦存量 10 ⁹ kℓ	賦存地面積 km ²	km ² 当り 賦存量 10 ⁶ kℓ/km ²	年間採取可能 地熱水量 (1) 10 ⁷ ℓ/km ²	年間利用可能 最大熱量 (2) G cal /年km ²
25°C~42°C	33.5	83	3,300	25.1	25.1	3,400
42°C 以上	65.1	110	3,300	33.3	33.3	15,000
						計 18,400

注 1) 深層熱水の採取可能量は、賦存量の50%とし、50年間にわたり採取できるものとして算出。
2) 利用温度下限を20°Cとして算定、ヒートポンプなどを使用して、低温(20°C)まで、地熱水の熱を利用すると想定している。

表 2・1-28 札幌市の地域暖房の所要熱量の推定 (独立住宅100m²/戸)

	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	計
平均気温°C	10.4	3.7	-2.3	-5.1	-4.4	-0.6	6.1	11.8	15.7	20.2	21.7	16.9	
平均室温°C	18.0	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
平均自然温度差°C	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
加熱温度差°C	3.6	10.3	16.3	19.1	18.4	14.6	7.9						
温度差当り熱消費 kcal/m ² ・h・°C	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88						
所要熱量 10 ³ kcal/月戸	504	1,394	2,280	2,672	2,324	2,042	1,069	330	330	330	330	330	13,935
所要熱量比率%	3.6	10.0	16.3	19.2	16.6	14.6	7.6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	100
内訳	給湯熱量 $\frac{10^3 \text{kcal}}{\text{月戸}}$	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3,960
	暖房熱量 $\frac{10^3 \text{kcal}}{\text{月戸}}$	174	1,064	1,950	2,342	1,994	1,712	739	0	0	0	0	9,975

注 1) 平均自然温度差：建物内に暖房熱源がなくても、昼間の太陽熱の侵入や、建物内の発生熱(人体、機器)等により室温が上昇し、建物の蓄熱能力により、平均室内気温は平均外温度より数度高い温度となっている。この温度差を平均自然温度差といい、ここでは4°Cとした。
2) 加熱温度差：平均室温) - (平均自然温度差) - (平均気温) (°C)

であるから、その年間の所要熱量は11Gcal/戸・年と推定される。また、人口統計から札幌市の深層熱水が利用できると考えられる地域について、世帯数を算出して全住宅の消費熱量を算出すると表 2・1-29 のようになり、平均消費熱量は10,871 Gcal/km²・年となる。したがって、月平均熱消費量は10,871÷12=906Gcal/km²・月となり、1月の熱消費量は表 2・1-28 の所要熱量比率19.2%(1月)を用いて計算すると、10,871×0.192=2,087 Gcal/km²・月(1月)となる。

これに対して、深層熱水の年間最大利用可能熱量は表 2・1-27 で示したように18,400Gcal/km²・年であるから、全体として見ると深層熱水で全地域の住宅の暖房・給湯熱量の主要部分を賅えることになる。また、このシステム利用による大気汚染防止効果を検討した結果、二酸化硫黄、窒素酸化

物、浮遊粉じん等の発生が大幅に減少することから、その対策として深層熱水の利用が有効であると述べられている。

参考文献

- 1) 北海道商工観光部・エセック・地域エネルギー開発利用調査報告書, P.1, (1981)
- 2) 中小企業事業団・中小企業大学・中小企業研究所, 石油代替エネルギーに関する研究総論編, P.1, (1983)
- 3) 角:地質ニュース, (295), 1 (1979)
- 4) 角:地学雑誌, 85, (4), 10(1976)
- 5) 山本:地熱エネルギー, (13), 6 (1979)
- 6) 金子, 安藤:地熱技術, (1), 23 (1980)
- 7) 俣野:地熱エネルギー, (20), 26(1982)

表2・1-29 札幌市の5地区の人口、面積と住宅の暖房・給湯消費熱量推定値（昭和56年）⁷⁾

地区名	面積 (km ²)	人口 (人)	世帯数 (推定)(1)	平均暖房・ 給湯消費熱量	熱消費量小計 Gcal / 年	km ² 当り 熱消費量 Gcal / km ² 年
中央区	46.11	180,294	60,098	11 $\frac{\text{Gcal}}{\text{世帯}}$	661,078	14,337 $\frac{\text{Gcal}}{\text{km}^2\text{年}}$
西区	131.50	238,295	79,431	11	873,741	6,644
北区	62.70	195,407	65,135	11	716,492	11,427
東区	57.27	214,198	71,399	11	785,392	13,714
白石区	59.46	230,361	76,787	11	844,657	14,205
計	357.04	1,058,555	352,850	11	3,881,360	10,871

注 1) 一世帯平均3人として推定

2) 一世帯平均住戸床面積平均76m²と推定

3) 事務所ビル・大型店舗・ホテル・病院等の熱消費もあるが、ここでは単純化のため住宅の熱消費のみを推定した。

5) 地下水

(1) 地下水の賦存状態¹⁾及び賦存量³⁾

地下水は、その賦存状態によって、不圧地下水と被圧地下水に分けられる。一般に前者を浅層地下水、後者を深層地下水とみることができよう。

不圧地下水は沖積低地では扇状地、自然堤防、沿岸部の砂州や砂丘地帯に賦存し、大量揚水が可能な帯水層としては、大河川流域に発達している大型の扇状地や火山山麓の湧水などが挙げられる。

被圧地下水で比較的浅い所にあるものとしては、完新統の基底礫層に貯留するものや、溶結凝灰岩、平坦面を形成する溶岩などの下盤に発達する粗粒相が帯水層を形成している場合などである。平野部の被圧地下水は、一般に鮮新世～更新世の未固結堆積物～半固形堆積物中の粗粒相中に貯留し、深度は150～300mで深層地下水と呼ばれることが多い。

地下水の賦存量とは、降水あるいは河川によって涵養されている流動量である。したがって、揚水量を増加しても自然水位が低下しなければ賦存量は増えたことになる。揚水量が増して、涵養量がこれに伴わなければ、帯水層に蓄積された水量に食い込むことになり、自然水位の慢性的低下をきたす。つまり、賦存量以上を揚水していることになる。

井戸の能力は、揚水による水位降下と揚水量との関係で示される。井戸が理想的にできていれば、これから直ちに帯水層の性能を知ることができる。しかし一般には、井戸は理想的ではなく、井径、ストレーナーの位置と構造、その他井戸仕上げの良否などが、井戸の能力に大きく関係している。そ

のため地域ごとの帯水層の性能を知るには、多数の井戸のデータから統計的に帰納するほかはない。採水効率とは、水位降下1mあたりの揚水量つまり井戸の比湧出量を、採水層の厚さで割った値である。ただし、便宜上、ストレーナー長をもって採水層の厚さに代えることもある。

(2) 地下水利用

ここでは、広範囲な北海道のうち一例として、石狩平野西部地域をとり上げて述べる²⁾。石狩平野西部地域、札幌圏の人口増大に伴う都市域の拡大と隣接する石狩湾新港プロジェクトなどから、今後地下水需要の増大が予想され、それに起因する各種地下水障害が危惧されている地域である。ここでは、野幌丘陵と当別川左岸山地とを結ぶ線以西を「石狩平野西部地域」と呼び調査対象地域とした。行政的には、札幌市及び石狩町の全域、江別市、小樽市、当別町の一部が含まれる。

本地域の表流水は、南北両山地～丘陵から中小河川によって平野中央を流れる石狩川に集約され、石狩湾に流出している。地下水も基本的には同じ流路を示す。すなわち、南北両山地～丘陵及び東方平野から流入する地下水は平野内の客水地盤を通過して石狩湾の海底に流出しているものと思われる(図2・1-21)。

1) 利用の現状²⁾

表2・1-30に、北海道の揚水設備数と地下水の採取量(地下還元水を考慮しない場合)を示した。

札幌の地下水の水温は平均10～12℃であり、特別に水温が高い所は約20℃である(福井地区)。井戸の深さは50～200mで、最も深い所は350mである(中沼処理場)。地下水の資源量は一般に定義は

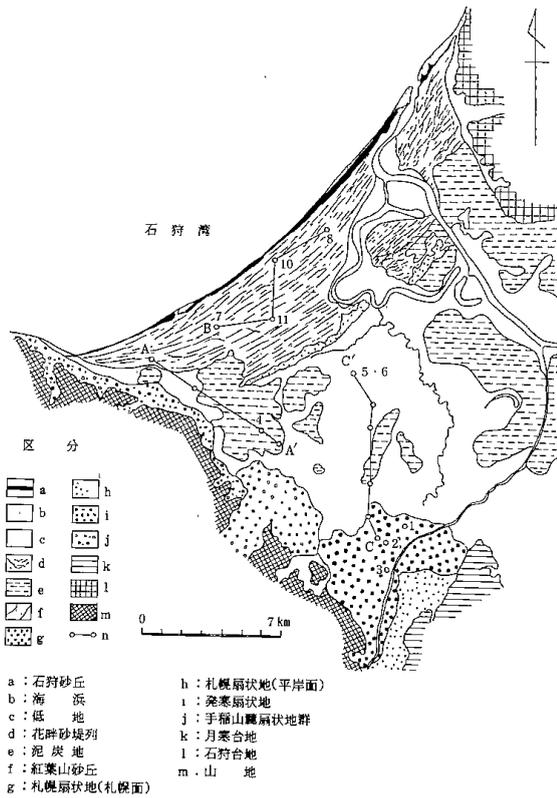


図2-1-21 低地の地形区分図 (松下：1977)²⁾

なく、揚水量と水位変化、地盤沈下量との関連で述べられることが多い。石狩地区の場合、現在の揚水量は平均約500m³/km²・日であり、札幌都心部を除き資源的採取量はまだ余裕があるといわれているが、石狩湾地域への企業の進出に伴い、それだけでは不十分となろう²⁾。

調査地域の揚水量の実態調査については、現行制度上、地下水利用者に何らの義務づけがなされていない現状では、聞き取り調査、アンケート調査が主体である。したがって、同一地区の幾つかの調査結果で相当な差が生ずるのは止むを得ない。各行政区別に用途別揚水量をみると、建築物用水は全体の48%を占め、地域地下水利用の特徴を示している(表2-1-31)。調査地域の4市町を比較すると、8割が札幌市域の揚水である²⁾。

ii) 水位変化²⁾

本調査で取り上げた石狩平野西部地域は、500km²に及ぶ広大な地下水盆であり、現在利用されている地下水が200,000m³/日足らずの量であることからみて、総量では決して極端に過大な揚水とは考えられない。現在、調査地域における地下水位変動

表2-1-30 地下水揚水設備と採取量¹⁾

広域生活 圏別	揚水設備の数(本)						地下水の採取量(m ³ /日)										計		
	揚水量別(m ³ /日)						用途別												
	100 未満	100~ 300 未満	300~ 1000 未満	1000~ 5000 未満	5000~ 10000 未満	10000 以上	計	水道 用水	工業用水			農業 用水	水産業 用水	建築物 用水	消費 用水	家庭 用水		その他 用水	
渡島	9,641	40	35	11	—	—	9,727	14,310	—	—	19,042	3,567	8,994	2,939	—	3,719	7,560	60,131	
桧山	2,772	115	11	1	—	—	2,899	2,512	—	—	2,820	1,732	800	303	—	1,158	4,613	26,838	
札幌	34,423	270	156	26	—	—	34,875	14,783	—	4,140	58,302	35,309	—	94,403	—	12,073	12,930	231,940	
後志	12,309	47	18	4	—	—	12,378	9,003	—	—	12,699	15,805	260	3,218	7,343	4,807	2,034	55,169	
空知	南空知	3,502	77	55	1	—	—	3,635	380	—	—	3,151	37,651	—	713	—	1,465	2,858	46,218
	中空知	8,704	214	66	4	—	—	8,988	1,808	—	—	2,002	66,096	300	1,798	240	3,422	1,755	77,421
	北空知	4,913	75	11	5	—	—	5,004	7,174	—	—	3,389	11,626	—	4,004	7,492	2,227	114	36,026
小計	17,119	366	132	10	—	—	17,627	9,362	—	—	8,542	115,373	300	6,515	7,732	7,114	4,727	159,665	
胆振	西胆振	4,278	18	10	11	—	—	4,317	7,972	—	—	14,770	2,951	58	1,189	—	1,774	3,286	32,000
東胆振	7,342	51	23	14	1	—	—	7,431	1,170	—	—	16,629	32,153	6	2,868	—	2,859	7,657	63,342
小計	11,620	69	33	25	1	—	—	11,748	9,142	—	—	31,399	35,404	64	4,057	—	4,633	10,943	95,342
日高	上川中部	5,972	35	12	6	—	—	6,025	6,716	—	—	2,115	7,817	6,198	478	—	2,040	3,333	28,697
上川	上川北部	36,344	52	30	3	—	—	36,429	1,019	—	325	18,045	12,428	76	35,117	—	12,035	5,256	84,303
	富良野	8,844	54	39	3	—	—	8,940	1,691	—	—	7,535	25,992	2,606	861	24	3,301	1,836	43,846
	小計	5,489	99	43	9	1	—	—	5,641	7,340	—	—	2,054	56,948	—	383	—	2,411	1,090
小計	50,677	205	112	15	1	—	—	51,010	10,050	—	325	27,634	95,368	2,682	36,361	24	17,747	8,184	198,375
留萌	2,880	7	2	3	—	—	2,892	751	—	—	5,404	2,626	—	345	—	1,070	1,034	11,230	
宗谷	764	7	11	1	—	—	783	3,668	—	—	2,632	1,996	2,956	76	—	184	3,541	15,049	
網走	北網	16,439	59	24	13	1	—	16,536	23,463	—	—	29,182	15,152	1,008	2,846	—	5,903	4,435	81,989
遠紋	8,325	31	15	1	—	—	8,372	1,020	—	—	10,229	5,090	3,000	1,286	—	2,874	2,799	26,298	
小計	24,764	90	39	14	1	—	—	24,908	24,483	—	—	39,411	20,242	4,008	4,132	—	8,777	7,234	108,287
十勝	19,395	89	79	33	—	—	19,596	10,173	—	—	58,815	32,919	17,481	19,835	—	7,520	9,354	156,097	
釧路	3,931	41	38	37	—	—	4,047	2,793	—	—	66,471	6,874	1,239	4,589	—	1,326	15,018	98,310	
根室	3,443	9	16	8	—	—	3,476	1,885	—	—	10,830	7,218	1,368	504	—	1,175	3,759	26,739	
全道	199,710	1,390	694	194	33	—	201,991	119,631	—	4,465	346,116	394,850	46,346	177,755	15,099	73,343	94,264	1,271,869	

表2・1-31 市町村別用途別揚水量 (百m³/日)²⁾

(地下水利用等基礎調査による)

市 町 村	水 道 用	工 業 用	農 業 用	建 築 物 用	そ の 他	計
札 幌 市	77	416	17	900	104	1,514
江 別 市	9	77	56	5	19	166
石 狩 町	24	11	119	1	8	163
当 別 町	0	1	24	3	10	38
計	110	505	216	909	141	1,881

の観測は、52本の観測井で実施されている(昭和55年度)。帯水層別では第1帯水層(平均深さ40m)が圧倒的に多い。また第2帯水層(平均深さ約200m)には溶存元素、特に鉄分が多く、まだ調査資料も少ない。

札幌扇状地の地下水は不圧地下水である。この地区の水位は極めて特徴的な変化を示している。地下水位の上昇と低下は年2回づつ現われる。4～5月の水位上昇は融雪による涵養量の増大、6～8月の水位低下は涵養量の減少と揚水量の増大、9～11月の水位上昇は降雨による涵養量の増大と揚水量の減少、12～3月の水位低下は積雪による涵養量の減少によるものと考えられる。このパターンは、扇状地の各観測井に共通の現象である。同地区の地下水が不圧地下水であることから、気象と密に関係していることは容易に推定される。

現在、札幌周辺で最も多く地下水を汲みあげている豊平川扇状地とその扇端部では、約50年間に自然水位は約3mほど低下した。しかし、それが、過剰揚水による慢性的低下なのか、よくわからないのが実情である。多数の井戸のうちには過剰揚水気味のものがないでもないが、現時点では憂慮すべき状態には至っていない。これは一つには豊平川扇状地は優れた地下水ダムであるということ、いま一つには、扇央を除いて集団的大量揚水地帯が形成されていないという、恵まれた環境下にあるためである。しかし発寒川扇状地においては、現に過剰揚水が行われ、大きな水位低下が表れている。本地域では、局所的に地盤沈下現象はみられるものの、今までのところ具体的な大きな被害は生じていない。水準測量は、昭和48年札幌市によって始められ、地域の年間沈下量は約50mm以下であり、そのうち札幌市街地の沈下量は10mm以下である。最大沈下量は東米里の昭和50～54年で約350mmであり、これは泥炭という特異地盤に深い関係がある。

iii) 水質³⁾及び水温⁵⁾

地下水の水質は、大まかにみれば河川水の水質と類似しているが、地下水は土壌や地層の中にあつて、流動速度が一般に極めて小さいという性格をもっているため、溶存成分の種類や濃度にそれらの性格が反映している³⁾。

地下水中の主要化学成分は、水質の型によって、したがって水理地質上の系統によって、それぞれ特徴のある濃度分布を呈している。表2・1-32は、系統別の平均値と、源流域河川水の平均値とを示している。同じ系統内でも上流から下流へと組成は変化(進化)していくし、同時に総合濃度も高まっていく。月寒台地、発寒扇状地とその前面、及び篠路東部の3地域は低濃度域であり、豊平川扇状地とその前面、及び厚別川中流域から旧豊平川流域にかけての2地域は高濃度域である³⁾。

地下水の温度と大地の温度の間には密接な関係がある。大地の温度は、地層の熱的性質、地殻内部からの熱流、いわゆる地熱、地層中の有機物や硫化物の化学反応熱、太陽の輻射熱、地表からの浸透水の量と温度などによって制御されている。

地温に及ぼす気温の日変化の影響は深さ1m以内であるが、周年変化の影響は深さ数10mに及ぶ。浅層地温あるいは浅層地下水と深さとの関係は、よく似た傾向を示す。その温度は、年平均気温よりも1～3℃高いのが普通である。

地温の周年変化がほとんど認められない深さ以下を恒温層とよぶ。恒温層上部の深度は主としてその地域の地形と水理地質的条件で決まり、平野部では一般に10～20mである。恒温層上限地温 T_e と年平均気温 T_a との間には一般に次式の関係がある。

$$T_e = 0.83 T_a + 3.7$$

深層地下水は、一般に恒温層内にあつて、かつ熱伝導率の比較的小さい難透水層で浅層地下水と隔てられている。さらに、その循環速度も極めて緩

表2・1-32 系統別の水質平均値³⁾

(単位 ppm)

系 統	水温	pH	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na+K	Ca	Mg	Fe	SiO ₂	COD
豊平川扇状地	10.3	6.9	24	17	56	16	15	7	tr	27	2
発寒川扇状地	10.3	7.0	16	17	56	12	15	7	0.3 >	27	3
月寒台地	9.5	7.2	10	5	50	10	8	4	0.3 >	40	4
野幌丘陵	12.0	7.8	9	3	98	16	14	6	1 >	41	6
低地帯	10.6	7.2	10	0	120	21	16	7	0.3 >	44	10
低地帯西部 100 m <	15	7.9	28	0	200	64	14	7	0.3 >	48	11
豊平川(簾舞)		6.9	23	20	23	16	10	3	0.3 ±	19	10
発寒川(二股)		7.0	9	21	26	8	10	3	0.3	21	19
真駒内川(常盤橋)		7.0	7	11	25	6	7	3	0.0	22	8
厚別川(清田)		6.8	9	3	25	8	4	2	tr	40	9

かであるから、その水温は浅層水よりもはるかに安定している。ほぼ一連と思われる帯水層準でも、その水温は上流から下流方向へ次第に上昇してゆく傾向がある。表2・1-33に各地域での深層地下水水温を示した。

iv) ヒートポンプ熱源

ヒートポンプの低熱源として、一般に水及び空

気が利用される。寒冷地において、ヒートポンプ暖房システムを考えると、空気熱源では冬期に外気温が零度以下になるため、ヒートポンプの効率良い運転はできない。また、熱交換器に霜の付着の問題が生じる。したがって、現段階としては、低熱源として可能ならば水の利用が好ましいといえる。しかしながら札幌周辺において、水利用のヒ

表2・1-33 深層地下水の温度と地下増温率(斜体数字は深さm)⁵⁾

都道府県	市・町	平均気温(°C)	恒温層温度/深度	地下水温度/採水深度(m)	増温率(°C/m)
北海道	釧路	5.3	8.3/8.9	8.5~9.5/30~60, 10~12/120~150	1/37
	帯広	5.7	8.9/9.3	10~11/30~60, 12~13/90~120, 14~15/150~200	1/30
	旭川	6.0	9.3/8.1	10~11/20~30, 11~12/40~60	
	札幌	7.6	9.0	9~10/20~50, 10~12/80~120, 13~15/150~200	1/33
	苫小牧	7.0	10.0	10~11/70~100, 11~13/30~160, 14~16/150~220	1/30
青森	函館	8.1	10.9/10.3	12~13/20~30, 15~17/40~80, 18~21/100~150	1/17
	青森	9.1	11.4/10.5	13~14/30~50, 15~17/80~130, 18~20/100~200	1/22
宮城	仙台	11.3	13.0/13.0	14.5~17.5/30~100, 18~21/130~190, 23/300	1/27
東京都	心	14.7	15.7/11.6	16~18/50~150, 18~20/150~200, 21~22/200~300	
愛知	名古屋	14.4	15.9/10.3	17~19/50~100, 20~21/110~150, 21~23/160~270	1/36
大阪	大阪	15.5	16.5/10.5	17~18/50~80, 19~20/90~120, 21~22/150~180	
広島	広島	14.7	16.5/11.0	17~18/25~35	
	佐賀	15.6	15.4/10.6	18~20/40~80, 21~23/90~140, 24~26/150~200	1/22

ートポンプの設置数はまだ少ない。

低熱源としての水は、水道水と地下水が考えられる。水道水は鑿井の必要がなく設備費からみて有利であるが、冬期には水温が下がることと(約2℃)、また使用量が膨大であること(一般住宅で約10m³/日)により現実的でない。したがって、地下水の利用が注目される。札幌の場合、地下水の温度は年間を通じて平均約12℃である(第1帯水層)。これを熱源として利用し、約5℃の排水が出るとする。これを下水に流すのは不経済であるためと、地下水資源の確保のためから地下環元を行うことが望ましい。そのため井戸は2本掘らねばならない。

地下水利用のヒートポンプが一般に普及しない理由として、次の事が挙げられている。

- 設備費が高いなど経済性に疑問がある。
- 地下水資源量、水質などが不明であり、水温も比較的低い。
- 地下環元を行ったときの水温、水質その他環境に及ぼす影響が不明である。
- 地下水利用の規制が行われるかも知れない。
- 給湯(約80℃)を行うとすると約2段のヒートアップが必要となる。
- 寒冷地においては冷房負荷は小さく、冷暖房共用のメリットが小さい。

以上の問題点を十分に考慮して、ヒートポンプシステムを検討しなければならない。ヒートポンプを効率良く運転するためには、放熱側の温度は低いほど好ましい。そのために約50℃の温度しか得られないときには、暖房方法として床暖房の可能性もある。さらに地下水資源として札幌周辺の場合、深層の第2帯水層の調査が進むことにより、ヒートポンプの将来性がより明らかになる。

参考文献

- 1) 北海道, 地下水利用等基礎調査報告書——北海道における地下水利用等の状況, P.1, (1981)
- 2) 北海道, 地下水利用等基礎調査報告書, P.1, (1982)
- 3) 北海道立地下資源調査所, 札幌周辺の地盤と地下水, (1965)
- 4) 地下水ハンドブック, 建設産業調査会, P.131, (1980)
- 5) 水資源ハンドブック, P.166, 朝倉書店(1966)

2.2 暖房の現状

1) 海外の動向^{1, 3, 8~10)}

寒冷地の暖房について考える場合に、北欧諸国、ソ連、カナダなど、厳しい冬を過ごさなければならない北方圏の国々のことを調べる必要がある。スウェーデン、デンマーク、フィンランドの北欧3国は歴史的、地理的に類似した共通の自然的、社会的土壌に培われた寒冷地文化圏を構成しており、都市施設整備に関しても基本的な理念を持っている。すなわち、住宅や施設の量より質への転換、生活環境におけるアメニティ(快適さ)の重視、常によりよきものを目指した実験的ニュータウンの建設推進などの形で、いくつかの試行錯誤を繰り返しながら、便利で住みよい生活環境創造へのたゆみない努力を積み重ねている。

暖房は、生活必需の国民的ニーズとなっており、国や地方自治体では、道路や橋、上下水道などと同様、社会資本の充実による福祉向上という観点から、地域暖房が総合的な都市行政の一環としてとらえられている。

北欧3国が暖房用として使用する燃料は、全エネルギー消費の40%にも達し、しかも国内供給力(水力発電、石炭、天然ガス、薪炭等)は小さく、輸入エネルギーの占める割合は、スウェーデンで72%、フィンランドで79%、デンマークではほとんど100%という状態である。したがって、地域暖房はこの点からもエネルギー政策の重要な柱となっている。

ヨーロッパにおける地域暖房は、1893年ドイツのハンブルグ市で発電所の排熱を利用して行われたのが最初で、1911年ロンドン、1920年コペンハーゲン、1929年パリ、1937年ストックホルムと今世紀初頭にその萌芽をみることができ、ソ連でも1924年レニングラードで発電所からの温熱供給が開始され、次いでモスクワ、ロストフ、ハリコフ、キエフ等の都市に広がっている。

1930年代の終りには、ドイツ全体で40カ所以上の蒸気配管網ができていたと思われる。第2次大戦以降、とりわけ第1次石油危機以降蒸気配管網は拡大を続けた。この中であって、工場排熱の利用を組み込むことを目的とした2つのFernwärmschiene(遠隔温度配管)計画が発表された。これらは、蒸気配管によるエネルギーの遠隔供給システムであるが、具体的には大容量発電所からの抽気による送蒸気を計画の主体としている。つまり、

大型発電所の発電・抽気の併用運転により、電力の他、約30kmに及ぶ近接民生地域に暖房を主目的として蒸気をも供給しようとするものである。大容量火力発電所と民生地区を結ぶ蒸気配管網の設置及びこの配管網への工場排熱の導入と、そのための排熱の蒸気への転換が課題であった。

蒸気配管網の拡大にあたって最大の問題点の一つは、設備のイニシャルコストとりわけ配管コストが高いことである。したがって、このシステムが成立しうるのは負荷密度がおよそ40 MW/km²以上であって1 km²に約5,000世帯以上が居住しているケースとされている。発電規模と抽気量から相対コストを見ると、大規模のものが有利になり、小さな蒸気ボイラーを動かすより大容量発電所から遠距離配管により送気するほうが有利になるのである。1つのシステムの規模は、蒸気量として以前は300 MW (258 Gcal/h)程度であったが、1978年に操業を開始した Fernwärmeschiene Ruhr の場合600 MW (516 Gcal/h)のエネルギーが送り込まれるようになった。

1980年における全西ドイツの配管完成加入実績は、27,800 MW (23,900 Gcal/h)であるが、容量は年々1,000 MW (860 Gcal/h)程度の割で増加している。この勢いは今後も続き、21世紀の始めには全西ドイツで低温熱源需要の25%が抽気と排熱利用によって賄われるものと予測されている。工場地帯では、この数字は50%以上になる可能性がある。これに見合う設備を完備するには、容量50,000 MW (43,000 Gcal/h)の抽気・配管工事が必要である。

エネルギーに関する背景が日本とあまり変わらない西ドイツにおいて、上述のようなプロジェクトが展開されていることについて篠田⁸⁾は次のように考察している。すなわち、(1)西ドイツ各地では第1次石油危機以前からこの種の計画が作られ議論されていた。そして、その時点で2,000年頃の完成とでき上がった状態を予想しており、その方針のもとに着実に計画を進めている。(2)エネルギー政策には経済至上主義でない面があり、社会全体の効率とバランスを考え、国産エネルギー(石炭、褐炭)の優先と子孫への資産保護が極めて長い見通しのもとに配慮され模索されている。(3)西ドイツでは、法規上、あるいは官庁間、関連業界の利害の調整作用がうまく働いているように思われる。などの理由を挙げている。

デンマークでは、現在220都市に480の熱発生ステーションを持っており、国全体の普及率は40%程度であるが、1990年には60%に引き上げる方針である。人口3,000人以上の町はすべて地域暖房が計画されており、特にニュータウンでは加入率は100%近い。石油、天然ガス、固型燃料のいずれに対しても切り換えが可能な大型ボイラーへの集中と、熱併給発電所の余熱利用によるコスト低下を目指している。

スウェーデンでは、現在都市住宅の75~80%に地域暖房が普及しており、特に首都圏の衛星都市ではほぼ100%の加入率となっている。オイルショック以後は、国の省エネルギー対策としても重要な役割を果たし、スウェーデン独自の優れた地域暖房機種の開発が行われている。

フィンランドでは、ヘルシンキ市において市域における地域暖房の普及率は約80%とされている。施設の整備に対しては、公共投資として行政投資がされているので、管理運営費分に相当するだけ料金は安く、急速に普及している。熱供給導管の敷設が困難な小規模集落に対しては、仮設の可搬式ボイラーで熱を供給している。市街地からの導管が到達するか、その地域に固定ステーションが設置されるとさらに移動して新しい小規模地域で使用する。

これら3国を含め、北欧諸国においては、地域暖房の行きわたっていない地方での暖房は、個別住宅ごとのセントラルヒーティングにより行われている。北海道に多く見られるストーブによる直暖方式の割合は小さい。

北方圏地域の中で、カナダとアラスカは百年余りの歴史を持つ点では北海道と似ている。しかし、冬の生活の面ではかなりの違いがあるといえよう。これは、住宅が暖かい生活を保証していることによるところが大きい。

両者とも天然ガス、石油等に恵まれ、パイプにより各家庭に送られてくる天然ガスを燃料にしたセントラルヒーティングが行きわたっている。冬も夏と同じ生活が当然という考え方があり、建物の中はどこも暖かく、外に出るとき防寒コートを着ることだけが夏との違いになっている。

ヨーロッパ諸国は、大半が北海道に比べ高緯度に位置しているが、気象条件は北海道ほど厳しくはない(2・1・1参照)。しかし、各国における消費エネルギー中に占める暖房用エネルギーの比率は

表 2・2-1 ヨーロッパ各国のエネルギー消費量に占める暖房の割合

国名	暖房エネルギー (%)	備考
デンマーク	44	暖房
西独	40	暖房・給湯
オーストリア	35.5	住宅・農業用
スイス	40	暖房用推定値
オランダ	35.7	住用・サービス用
ベルギー	34.1	住宅用
イギリス	25.3	住宅用
	12.7	商業・サービス用
スペイン	10.0	住宅・商業
	5.5	農林・水産
	3.8	サービス
イタリア	31.7	低温熱

表 2・2-1 に示すように高いものが多く、全般的に見ると30%を超える値といえよう。これは、国によっては工業消費に匹敵する量である。前述のカナダのようにエネルギー資源が豊富なわけではなく、1973年の第1次オイルショックを契機に省エネルギーの気運が高まった。各国では、省エネルギーのための法令の整備あるいは、省エネルギー技術の開発に対する援助などの体制を作っている。これらの中には、暖房に関するものが大きな割合で含まれており、例えば1974年にフランスで制定されたエネルギー節約基本法や、その後西独で制定された断熱令、暖房装置令及び暖房運転令においては暖房温度、熱水供給料金制度、住宅の断熱法等についての規定が盛り込まれている。

省エネルギー技術開発では、スウェーデンが先行しており、オイルショック以前から取り組んでいる。工業、運輸、建物などの用途別あるいは、基礎、供給、全システムなどの段階別の担当研究機関があり、研究開発・創意に対する経済援助と合わせて省エネルギー努力を図っている。フランス、西独などでも政府主導の体制が作られている。

エネルギーの有効利用及び従来使われていなかった低温熱源の利用の面から、各国においてヒートポンプの利用についての研究がなされており、次代の熱供給システムを担うものとして大きな期待がよせられている。もともと電気あるいはスチームによる温風暖房が主体であるので、ヒートポンプへ移行しやすいのであるが、既存暖房装置に比べて複雑かつ精密であるため、その価格、信頼

性及び寿命について問題がある。主な国における現状を以下に紹介する。

スウェーデンでは、特に熱源の開発に力点を置き、同国に多くある湖沼からの熱の回収、夏季の太陽熱の湖沼への蓄熱、土壌からの熱の回収が試みられたことがある。

西独では、戸建住宅の集中暖房用として、1978年時点で電動ヒートポンプが6,000台程導入されていた。エンジン駆動のものは、メーカーを中心に新型機器の開発が行われた結果、現在では、ガスエンジンヒートポンプ(GEHP)の実用化では西独が最先端を進んでいる。すなわち、1977年にBochumの集合住宅向けを含め4カ所に設置されて、省エネルギー性が確かめられて以来、1982年末で設置施設数は300を越えており、出力総計は暖房能力で500 MW (430 Gcal/h) に達している。100 kW未満のGEHPは中小メーカーが主体で、大型分野は大手メーカーが主体になっている。コンプレッサー、ガスエンジン、廃熱回収の機器類をユニット化し、KASSETTEと名づけられて製品化されている。西独においてヒートポンプの熱源としては、約80%が空気を使用しているが、その理由は水熱源のほうがコスト高になるためである。技術的に新しいものとして、1983年のISH(国際空調衛生)展に超小型スクリーコンプレッサーが出展されている。

省エネルギーの点で西独が目されるもう一つの点は、熱併給発電が進んでいることである。西独では、1980年において使用総エネルギーの約56

～57%が利用されずに損失となっているというエネルギー利用実態から、この損失に対する対策が大きな課題となっている。損失の内容に基づき、発電時の排熱利用、長距離送電による送電ロス対策を中心に検討が重ねられ、発熱と発電を組み合わせた小規模の地域分散型熱併給発電(Block Heiz Kraft Werke: BHKW)方式が開発されてきた。1次エネルギーよりの利用効率は、大型発電方式では有効利用率が32%、中央遠隔供給方式では電力24%、約51%の計75%であるが、BHKWでは電力30%、熱55%と計85%の高い効率が得られており、さらに改善されつつある。これは、近距離地域供給による輸送損失の低下ばかりでなく、70℃以下低温の利用が可能になったことにもよるものである。

BHKWの有利な点は、大量生産される船舶、トラック用のエンジンが利用できることにあり、さらに需要規模に合わせて複数のエンジンに増設できることが資本投資を容易にしている。複数エンジンのシステムでは、運転中1台が停止しても供給の安定が保証され、また、それぞれのエンジンを最適条件で運転しておいて、負荷に応じて運転台数を調整する方法により、効率の上昇、低公害化及び耐久性向上が図れる。1台の施設は85～105kW程度のもので、エンジン、発電機、熱交換器を一体に組み込み、これをモジュールと名づけて製品化している。1983年には160ヶ所以上に普及している。

小規模発電とヒートポンプを組み合わせ、〔エンジン〕+〔発電機/電動機〕+〔圧縮器〕をクラッチを介して直列に接続して、これを一つのユニットとしたタンデム方式も採られるようになっている。これは、電力や熱の需要に合わせて、BHKW、GEHP、BHKW+GEHP、電動HPの4方式のいずれかのモードで使用できるものである。

西独において、BHKWが急速に発展普及した理由としては、1次、2次の石油危機を契機とした国家的省エネルギー化の推進と同時に、社会的、経済的、技術的に有利な条件を兼ね備えていることにある。それらを列記すると、(1)西ドイツでは、需要家と電力会社、ガス会社の間に市の企業局が存在し、需要家への電力、ガス、温水、水の供給を企業局が運営しているので、BHKWを採用することにより、温水需要に応じた運転、余剰及び不足電力の公共電力ネットワークとの受け渡しなどによって使

用効率を高めることが可能である。(2)北海油田やソ連からパイプラインによるガス供給を受けており、エネルギーコストが低い。(3)1次エネルギーの利用効率が85%と高い。(4)kW当たりの投資額が2,770DM(約28万円)であり、大規模発電の4,280DM、大規模集中型の4,040DMに比べて大幅に安い。(5)台数制御方式の採用で、信頼性の向上、部分負荷率の向上、モジュール化によるコストダウンが達成された。(6)1次エネルギー効率、耐久性、メンテナンスインターバルが年々向上している。などが挙げられるが、一方、今後の課題として残されているものも多い。例えば、機械効率の向上、メンテナンスフリー化、利用技術面での発展、ガスエンジン燃料の多様化、ヒートポンプの熱源、電力ネットワークとの関連、BHKWによる余剰電力の扱いなどである。

スイスでは、第二次大戦前から暖房用のヒートポンプが存在し、現在まで30年以上動いている例もある。高温用作用媒体の組み合わせや高効率吸気式ヒートポンプの研究が行われている。

イギリスでは、小型のものが市販されており、また、MW級の大型機のメーカーもある。いずれも電動式である。

以上のほか、ヨーロッパ各国を含めて、ヒートポンプについては機器の開発、長期運転試験による信頼性と安全性の確認、機器の標準化の検討を行っており、装置として発展途上国へも売却が可能なメンテナンスフリーの装置への志向を強めている。

2) 国内の動向

(1) 北海道における暖房の現状

1) 暖房の方法

北海道の生活における暖房の意義、社会に占める位置等は、前述の北方圏諸国に比べて、歴史的経過、現状のいずれを見ても大きな違いがあるといえよう。すなわち、住宅全体を暖かくする暖房は最近一部にその傾向がみられるようになったが、主流は、必要な個所にストーブを置いて使う、いわゆる採暖である。これは、もともと北海道は開拓時代以来、本州からの移住者によって形成された社会であることが一因であると思われる。すなわち、家屋構造は、夏の高温多湿に対応した本州のそれを受け継いでいたため、断熱・気密性は考慮されていなかった。二重窓が使われ、断熱材が使われるようになったのは、ここ20年たらずのこと

である。これには、住宅金融公庫の融資対象住宅の仕様に盛り込まれた内容が大きな影響をもたらしたといえる。

一方、暖房の面でもやはり本州の火鉢、こたつ、いろりなどの流れをくんで、気候に合わせて火力を増した形のストーブによる局所暖房の時代が長く続いた。燃料としては、初期のまきの時代を経て、北海道が産炭地であったこともあって石炭が多く使われ、昭和40年代はじめまでは石炭だきストーブが主流であった。この間には、単なる投げ込み式ストーブのほかに、ルンペンストーブ、貯炭式ストーブ、粉炭ストーブなど街の発明家の手になるものを含めて、各種の工夫されたストーブが出回っていた。火力は強かったが、前述の家屋構造のせいもあって、厳寒期には顔は熱いが背中では寒いということも珍らしいことではなかった。都市部においては、ばい煙による大気汚染公害が問題になり、昭和30年代後半には石炭を原料とする無煙燃料の製造が試みられた。しかし、国全体でエネルギー源が石油に転換される中で、北海道の暖房用燃料も石炭ばなれが進み、石炭系無煙燃料は実際に普及することはなかった。代わって、家庭で使われるようになったのは石油系燃料の灯油である。エネルギー転換という状況の変化とポット式ストーブの登場によって、従来石油コンロやポータブル型ストーブ用に使われていた灯油が、北海道の家庭用暖房燃料の主役に躍り出た。

北海道消費者協会では、家庭用の暖房、炊事、風呂用エネルギーの使用実態について、道内の1,000世帯を対象にアンケート形式による調査を行っている。ここでは、その中から暖房に関する部分に

ついて紹介する⁴⁾。

表2・2-2は、調査対象の家屋構造と暖房用燃料の使用状況を地区別に示したものである。表2・2-3は、同じく暖房器具の使用状況を示している。灯油の使用世帯数は978と全体の97.8%を占め圧倒的に多い。使用世帯数で次に多いのが電気暖房であるが、これは主に子供室などで使われる補助暖房である。電気暖房使用比率を地域別にみると、道南35%、道央32%、道北24%及び道東20%となっており、寒い地域になるにしたがい比率が下がる傾向にある。石炭、LPガス、まきなどのその他燃料の使用世帯数はそれぞれ71、24、81となっており、北海道内の主暖房は灯油、石炭及びその他燃料が中心になっていることがわかる。

暖房器具の使用状況をみると、灯油使用器具数は合計で1,922台で1世帯平均2台となっている。そのうち、もっとも多いタイプはポット式(裸タイプ)で、次いでポータブル式、ポット式(温風タイプ)、FF式、セントラルヒーティングの順となっている。

灯油暖房器具以外では、数の上で電気ストーブが約60%を占めているが、これは前述のように補助暖房向けに使われているものである。次いでまき、コークスストーブなどの「その他」が多く、石炭ストーブ、LPガスストーブ、都市ガスストーブと続いている。

前年度に行った同じ調査との比較では、灯油用器具台数の増加がみられるが、タイプ別では比較的灯油消費量の多いポット式(温風タイプ)及びセントラルヒーティングが減少、または横ばいとなっており、灯油の高価格化による消費者の省エ

表2・2-2 地域別家屋構造及び暖房用燃料使用状況

地 域	家 屋 構 造				暖 房 用 燃 料						
	純木造	木 造 モルタル	ブロック造 (レンガ造舎)	その他	灯油	L P ガ ス	都 市 ガ ス	石 炭	電 気	その他	合 計
道 央 (505 世帯)	40	369	70	26	498	12	7	30	163	44	754
道 南 (40 世帯)	8	25	6	1	40		1	1	14		56
道 北 (195 世帯)	20	133	34	8	189	2		14	47	14	266
道 東 (260 世帯)	19	200	30	11	251	10	3	26	52	23	365
全 道 (1,000 世帯)	87	727	140	46	978	24	11	71	276	81	1,441

昭和57年度

表2・2-3 地域別暖房器具使用状況

昭和57年度

地 域	灯 油 用					そ の 他					計
	ポット式 (裸タイプ)	ポット式 (温風)	ポータ ブル式	FF式	セントラル ヒーティング	石炭	電気	LP ガス	都市 ガス	その他	
道 央 (505世帯)	416	187	285	79	53	30	184	14	11	44	1,303
道 南 (40世帯)	31	19	25	5	5	1	16		1		103
道 北 (195世帯)	158	78	68	26	15	15	50	2		18	430
道 東 (260世帯)	187	98	110	39	38	29	57	18	4	23	603
全 道 (1,000世帯)	792	382	488	149	111	75	307	34	16	85	2,439

エネルギー志向が浸透した結果と思われる。

昭和48年の第1次オイルショック及び昭和54年の第2次オイルショックを経て灯油の価格は5倍前後に高騰した。この間、前述のように省エネルギー志向が浸透し、過去5年間の一世帯平均消費量をみると、昭和52年度は2,047ℓ、53年度2,016ℓ、54年度1,906ℓ、55年度1,829ℓ、56年度1,818ℓと、53年度以降は4年連続の減少傾向が続いている。

ここで、北海道における暖房用エネルギーの占める位置を見ることにする⁶⁾。昭和54年度における北海道及び全国の総エネルギー需要量及びそれらの部門別内訳を表2・2-4に示す。このうち、北海道については、アンケート調査に基づき、一般家庭及び業務用(事務所、官公庁、学校、病院、福祉施設)の暖房用エネルギー量が求められており、それぞれ、総エネルギー需要量の10.9%及び1.7%となっている。表2・2-1に示した諸外国の値

と比較するために求めた暖房用以外も含めた民生用(一般家庭及び上述の業務用)の割合は36.6%となる。また、全国における民生用の割合は21.5%となっており、北海道における民生用エネルギー需要量の比率が高いことがわかる。北海道における民生用エネルギー使用量の種別構成比を表2・2-5に示す。表2・2-6に地区別家庭用エネルギー消費原単位を示す。北海道における暖房用の値は全国平均の4倍弱であり、東北地区に比べても2倍弱となっており、北海道における暖房の占める位置の高いことがわかる。

前項で紹介した北方圏諸国における現状では、地域暖房の普及が著しく、また、地域暖房の行きわたらない所でもセントラルヒーティングがほとんどであった。北海道における地域暖房の現状については、別項で紹介するが普及率からみればわずかなものに過ぎない。これは、北方圏諸国においては、ニュータウンの建設が地域暖房に有利な集

表2・2-4 部門別エネルギー使用割合

北海道エネルギー需要量(昭和54年) 193,500 (単位: 10³ Gcal, %)

産 業 用	運 輸 用	民 生 用	暖 房 用 ()
87,754	34,982	70,769	24,434
45.4	18.1	36.6	12.6

全国エネルギー需要量(昭和55年) 2,535,940 (単位: 10³ Gcal, %)

産 業 用	運 輸 用	民 生 用
1,414,470	575,640	545,830
55.8	22.7	21.5

表2・2-5 北海道における民生用エネルギー種別構成⁶⁾昭和54年(単位:10³Gcal,%)

	計	電 力	灯 油	A・B・C 重 油	都市ガス	L P G	石 炭
家 庭 用	36,131	10,560	21,239	—	1,011	1,582	1,739
	100	29.2	58.8	—	2.8	4.4	4.8
うち暖房用	21,094	394	18,646	—	297	467	1,290
	100	1.9	88.4	—	1.4	2.2	6.1
業 務 用	34,633	10,736	7,655	10,848	602	954	3,838
	100	31.0	22.1	31.4	1.7	2.8	11.0
うち暖房用	3,340	129	326	2,599	—	—	287
	100	3.9	9.7	76.7	—	—	8.6

表2・2-6 地区別家庭用エネルギー消費単位¹⁾

(単位:Gcal/戸・年)

地区別	用途別		
	暖 房 用	給 湯 用	合 計
北 海 道	9.5	3.4	12.9
東 北	5.0	3.4	8.4
関 東 ^{*1}	2.2	3.1	5.3
関 西 ^{*2}	2.0	2.7	4.7
全国平均	2.6	3.1	5.7

*1 関東には、北陸、関東、東海を含む。

*2 関西には、近畿、中国、四国、九州を含む。

合住宅を主にしているのに対して、北海道では戸建志向が強いことが一因と考えられるが、最大の原因は、政策的な面からの観点が異なることであると思われる。

もう一方のセントラルヒーティングは約11%となっており、これもまた外国の状況とは大きな違いをみせている。

今後、北海道の暖房形態はどのような方向に行くかを探る一助として、新築住宅についてセントラルヒーティングがどの程度採用されているかを調査した結果を紹介する。調査方法は、札幌圏で営業しているプレハブメーカー、中小工務店を対象に、年間着工数とセントラルヒーティングの採用状況を電話によりアンケートしたものである。正確な数字として把握しているところは少なく、推定値を示したものが多かったが、全体を合計した数字を表2・2-7に示す。この表の数字には、推定値が含まれてはいるが、傾向をつかむことはできよう。なお、年次別の経緯では、やはり数字的

表2・2-7 新築住宅の集中暖房採用状況

調査対象工務店数	20社
年間総着工数	4,900棟
集中暖房採用	550棟
高断熱工法により	
集中暖房でないが全室暖房可能	1,400棟

な答は得られなかったが、一時増加傾向にあったものの、ここ2~3年は横ばいであるというものが多かった。上記の結果で特徴的なことは、省エネルギー志向をうけて、セントラルヒーティングではないが全室暖房というものが30%近くを占めていることである。これは、高断熱工法をしたうえで、簡易ベチカ、排煙床暖房などを取り入れて、1台のストーブでセントラルヒーティングに近い効果を得ようとするもので、今後の傾向の一つの方向を示すものといえよう。

ii) 地域暖房^{2,5)}

従来からわが国においては、冷暖房は個別の住宅あるいは部屋ごとに設備を設置して行われており、現在も主流となっているのはこの方法である。

しかし、昭和40年代に入り、高度成長・エネルギー消費量増大に伴って、大気汚染を始めとする公害が社会問題となり、地域冷暖房、特に北海道においては地域暖房の採用が検討されるようになった。

北海道で最も早く地域暖房を始めたのは、北海道住宅供給公社の札幌市・北円山地域で、昭和42年12月から日本住宅公団の分譲、賃貸住宅を対象に熱を供給している。

熱供給事業としては、昭和46年10月、北海道熱供給公社が、石炭を主燃料として、札幌市の都市部のビル暖房を対象に、また北海道地域暖房(株)が下野幌と真駒内の住宅団地を対象に営業を開始した。熱供給公社は、その後、光星地区の集合住宅にも対象を拡げた。

札幌以外では苫小牧市で昭和47年1月、苫小牧熱サービス(株)、同48年12月に苫小牧熱供給(株)、さらに同49年11月に苫小牧エネルギー公社が、住宅地域を主な対象に事業を開始しており、地域暖房

の普及では一歩進んでいるといえよう。

このほか、昭和58年10月供給開始のものを含めて北海道内で地域暖房を事業として実施しているのは、4市2町で11地域に、熱供給企業8社がこれにあたっている。これら熱供給事業者の昭和58年3月末現在の概況を表2・2-8に示す。同表に示されていない項目も含めて、北海道内各社の合計を、全国の合計と比較してみた結果が表2・2-9である。

表2・2-9から、北海道の地域暖房の特徴を挙

表2・2-8 北海道の熱供給事業者/日概況

No.	事業者名	供給区域	需要の種類		昭和57年度需要(Gcal)			設備		使用燃料	供給開始年月
			住宅用	業務用	温熱	給湯	合計	種類	能力計(Gcal/h)		
1	(株)北海道熱供給公社	札幌市都心部		オフィスビル、ホテル、デパート等 95件	185,473		185,473	ボイラー	170.0	石炭 灯油	46.10
		札幌市光星地区	集合 1,729件 (12棟)	商業施設 10件	17,043	3,596	20,639	ボイラー	17.0	灯油 LPG	50.2
2	北海道地域暖房(株)	札幌市下野幌団地	集合 5,686件 (161棟) 独立 89件	デパート、学校病院等 33件	64,721	14,340	79,061	熱交換器 ボイラー	16.5 42.4	ごみ焼却 排熱 A重油 再生油	46.11
		札幌市真駒内団地	集合 1,778件 (51棟) 独立 91件	オフィスビル、学校、店舗等 7件	20,311	2,825	23,136	ボイラー	15.3	A重油	46.12
3	北広島熱供給(株)		集合 1,356件 (52棟) 独立 401件 (399棟)	デパート、銀行等 11件	18,910	1,045	19,955	ボイラー	18.3	C重油 再生油	47.10
4	苫小牧熱サービス(株)	苫小牧市日新団地	集合 1,678件 (57棟)	公共施設等 7件	15,551	4,170	19,721	ボイラー	12.0	C重油	47.1
5	(株)苫小牧エネルギー公社	苫小牧市街地南地区	集合 849件 (7棟)	学校、福祉施設等 17件	17,440		17,440	ボイラー	19.4	都市ガス 灯油 A重油	49.11
6	苫小牧熱供給(株)	苫小牧市西部地区	集合 2,586件 (37棟)	店舗等 16件	16,620	9,051	25,671	ボイラー	16.8	A重油	51.12
7	函館熱供給(株)	函館圏流通センター		オフィスビル 56件	3,901		3,901	ボイラー	6.5	灯油	49.11
8	石狩サービス(株)	北海道花畔団地	集合 475件 (16棟) 独立 693件	学校・スーパー等 27件	13,622		13,622	ボイラー	14.6	B重油 C重油	53.4
9	(株)釧路熱供給公社	釧路市春湖台地区		博物館 1件	1,520		1,520	ボイラー アキュムレーター	13.1 3.6	低品位炭 A重油	58.10
計	釧路熱供給公社を除く		17,411件 (792棟)	279件	373,592	35,027	408,619		365.5		

表2・2-9 北海道の地域暖房

() 内は全国比%

ボイラー容量	Gcal/h	332 (35)
販売量 (住宅用)	Gcal	184, 426 (78)
“ (業務用)	Gcal	224, 193 (27)
需要者 (住宅用)	件	17, 411 (65)
“ (業務用)	件	279 (41)
燃料使用量		
都市ガス	m ³	28, 641 (0.03)
LPG	t	1, 495 (100)
石炭	t	38, 560 (100)
灯油	kℓ	6, 778 (44)
重油	kℓ	18, 906 (77)
再生油	kℓ	1, 685 (100)
廃熱 (ごみ焼却)	千t	148 (88)
電力	千kWh	13, 548 (13)

げてみると、販売量、需要者数ともに、住宅用の比重が大きいこと、燃料として石炭、LPG及び石油スラッジ等からの再生油は北海道でしか使われていないこと、ごみ焼却の廃熱を利用していることなどである。

一方、通商産業省では、大臣の諮問機関である総合エネルギー調査会に熱供給部会を設置して、熱供給に関する施策の諮問を行い、昭和46年1月に中間答申を得た。都市における地域冷暖房事業のすぐれた特質が強調され、消費者保護と事業の健全な発展を確保する観点から必要な施策を講ずべき旨、提言された。この答申をうけ、通商産業省は熱供給事業法を制定し、昭和47年12月に施行されるに至った。

なお、営業として行われていないものとして、前記札幌市北円山地域をはじめ、炭鉱を含めて企業内で工場に隣接した社宅の暖房を、工場内のボイラーからの供給熱で行っている例は多い。

(2) 最近の傾向

これまで見てきたように、北海道における暖房の現状は、暖房先進国ともいえる北方圏諸国の暖房の現状とは大きな開きがあるように思われる。しかし、暖房の効果は、住宅構造と暖房機器とが組み合わされて生まれるものであるから、単にセントラルヒーティングの普及率の数字だけで比較するのは妥当でないであろう。最近20年間たらず

の間の住宅構造の進歩には目ざましいものがあり、高断熱化が進んだ。その結果、部屋ごとに暖房を行う場合には、器具の火力調節を最小にして使う場合が多い。このことは、全室暖房に必要な熱量は1台のストーブで間に合うことを示し、実際にセントラルヒーティングなしで1台のストーブにより全室暖房を行うもの、あるいは排気の熱を回収して全室を暖房する簡易ペチカや、排煙床暖房あるいは、煙突の回収熱による温水を使った温水暖房などが使われ始めている。

北海道の暖房システムを考える場合、歴史的、社会的に背景の違う北欧諸国あるいはエネルギーの豊富なカナダやアラスカの状態を将来像とするのではなく、独自の方法の開発があってもよいであろう。

性能の良い建築材料の出現と施工技術の進歩によって、家屋構造は高断熱化、気密化している。このことは、暖房機に対する負荷が減少していることになり、前述のように、従来一部屋暖房用として使われていたストーブを転用した簡易ペチカや排煙床暖房が可能になった。また、温水によるセントラルヒーティングの場合でも部屋の中に置ける程度の小型ボイラーを使ったシステムが現われている。

暖房を考える場合、経済的な意識は常につきまとう問題であり、燃料価格が上昇した時などは特に著しくなるであろう。北海道に住む我々の場合、冬の生活を夏と同じようにという欲求と、使うことの少ない部屋を含めた全室暖房に対する抵抗感のバランスが、国民性の違いにより外国の場合と必ずしも同じにならないのではないだろうか。

ここで、暖房を2段階に分ける考え方がある⁷⁾。すなわち、寒くないということと暖かいということは生理学的に別の現象であるということに基づき、1段階として寒さを感じないまで温度を上げて、2段階で暖かさを感じさせるというものである。

寒さを感じない温度は、季節、個人差、気象条件、衣服等によって違うが、建物の高断熱化によって壁の温度を室温に近づけ、また温度分布を均一に近づけることにより比較的低いものとなる。

ところで、ここに挙げた温度については、測定方法に大きな問題がある。断熱材の使用により、室内の温度分布は従来より少なくなったとはいえ、天井と床面とではかなりの温度差があり、どこの

温度をもって室温とするか難しい。床暖房では比較的均一な温度分布が得られ、表示温度が比較的低くても暖房効果が得られている。また、赤外線放射効果のある暖房器では、皮膚に感ずる暖かさは普通の温度計で測る温度以上に感じられる。

以上のことを加味して、暖房システムの理想像を考えると、一つとして次のようなものが考えられよう。

すなわち、床暖房により、全室を寒さを感じない温度まで暖房する。この場合の負荷は小さいので、機器も小容量のものでよい。床に流す媒体温度は高いものは必要なく、低熱源を利用してヒートポンプで加熱することが有効であると思われる。地域暖房の技術的問題の一つである配管からの熱損失を少なくするために、媒体をできるだけ低い温度で送り、使用地点でヒートポンプで加温して使うことも考えられる。ヒートポンプの効率を考慮に入れて最適条件を探ることが課題となろう。暖かさを得るには赤外線放射のある機器が有効である。このような場合、暖炉形式のものがインテリア的な面ばかりでなく理にかなっている。ポット式灯油ストーブでも、燃焼部をガラスで囲み、赤外線放射量を多くしたタイプが広くみられるようになってきている。

燃料としては、現在灯油がほとんどの部分を占めている。石炭や最近開発されつつある新型固型燃料を使う場合、都心部においては貯蔵スペース、ハンドリング、灰の処理などの問題があり、これらが解決されないと大量に使われるようになることはむずかしいであろう。しかし、家屋密度の少ない地域や留守にすることのない家庭などには可能性があると思われる。

灯油への依存度を減らすためには、これら代替燃料の使用量を増さねばならないが、そのための一方策として地域暖房の燃料源とすることが考えられる。そのためには地域暖房の普及が前提となるが、北海道においても、北欧諸国のように地域暖房を社会資本の一環に含める考え方が生まれてこなければならない。これには、行政的取り組みが不可欠な問題である。

参考文献

- 1) 北方圏センター:「北欧の都市施設」, 昭和58年3月
- 2) 北海道新聞社:「北海道を考えなおす第2集」, 昭和50年2月

- 3) 工業技術院ムーンライト計画推進室:「ヨーロッパにおける省エネルギー」, 昭和55年3月
- 4) 北海道消費者協会:「暖ちゅう房用燃料調査昭和57年度版」, 昭和58年3月
- 5) 金沢:電気とガス, **33**, (3), 20(1983)
- 6) 北海道商工観光部:「地域エネルギー開発利用調査報告書」, 昭和56年3月
- 7) 塚原進:「人間と環境」, P. 186, 人間・建築・環境六書編集委員会編, 彰国社, 昭和50年
- 8) 篠田:省エネルギー, **34**, (7), 25及び(9), 41(1982)
- 9) 和田:「'83新テクノロジーシンポジウム PART 4 明日のヒートポンプを考える」, P. 4~23, 日本エネルギー協会, 1983年12月
- 10) 桜井:「'83新テクノロジーシンポジウム PART 4 明日のヒートポンプを考える」, P. 4~31, 日本エネルギー協会, 1983年12月
- 11) クリーン・ジャパンセンター:「再資源化技術の地域適用性に関する調査研究報告書」, P. 73, 昭和58年3月

2・3 非石油系燃料の可能性

2・3・1 燃料

燃料とは、熱エネルギーの原料となるもので、空気の存在下で容易に燃焼し、燃焼熱を経済的に利用できる物質をいう。したがって、その貯蔵、運搬及び取り扱いに便利なものである必要がある。従来からの固体燃料として石炭、褐炭、豆炭、コークス、練炭、木炭、木材、液体燃料としてガソリン、灯油、重油、アルコール、気体燃料としては天然ガス、合成ガス、プロパン、油ガスなどがある。このほか、北海道内で可能な燃料源としては選炭スラッジ、炭鉱ズリ、泥炭(草炭)、各種の可能性廃棄物、バイオマス、メタン発酵ガス、炭鉱ガスなどが考えられる。

1) 天然固体燃料

固体燃料は、固体状態で使用される燃料で、一般に植物質とその変質したものが主体である。従来から木材、石炭などの天然物質と、これらを加工して得られるコークス、木炭、練炭、半成コークスなどが使用されてきた。

固体燃料は炭素、水素、酸素を主成分とする可燃性高分子物質と無機物質(いわゆる灰)とからなっている。天然固体燃料の元素の割合を **図 2・3-1** に示す¹⁾。木材から亜炭、れき青炭と変成するに

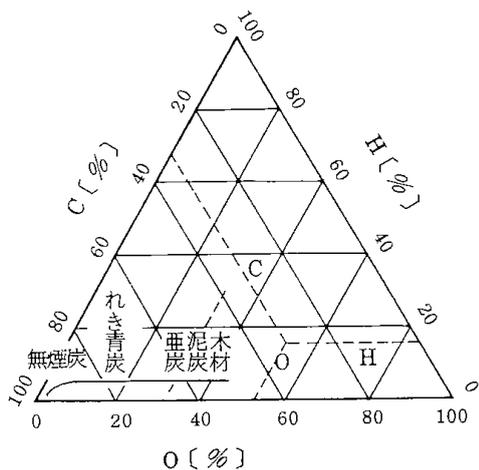


図2・3-1 天然固体燃料に含まれる元素の割合¹⁾

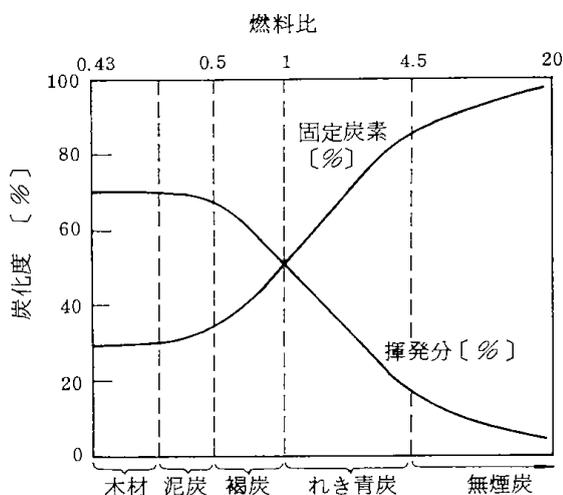


図2・3-2 燃料比と炭化度²⁾

従って炭素の割合が増加し、酸素の割合が減少する。無煙炭は、酸素及び水素の割合も減少して炭素に近づく。また、固体燃料の性質を示す値として使用されている燃料比は、工業分析値の固定炭素/揮発分で表示される値で、この代表的な値を図2・3-2に示す²⁾。燃料比は炭化度の高い石炭について差が大きいため、石炭の性質を比較するために便利な値である。

(1) 石炭

北海道は、日本で有数の産炭地であり、石油代替燃料としては石炭を含めた固体燃料が主流と考えられる。北海道で産出する石炭の昭和58年小売価格は、幌内炭(発熱量7,200kcal/kg)で34,800円/tである。灯油の価格が78,000円/klなので、カロリー当りの価格比では灯油が幌内炭の約1.6倍である。また、太平洋炭(発熱量6,200kcal/kg)の小売価格は32,000円/tで、灯油との価格比は約1.5倍である。

石炭は価格的に灯油より勝っているが、固体であるためのハンドリングの困難さ、媒煙発生などの理由により都市内での使用は制限される。

(2) 選炭スラッジ³⁾

選炭スラッジは、フィルタープレスによって脱水固化されたケーキ状のもので、発熱量は各炭鉱によって異なるが2,000~3,000kcal/kgの範囲にある。また、微粒子であるため、湿分を約25%含んでいる。このような選炭スラッジをボイラー用燃料として使用している例としては住友赤平炭鉱(主燃料は発熱量3,000kcal/kgの選炭スラッジ)、北炭真谷地炭鉱(選炭スラッジとの混炭により発熱量3,500~4,000kcal/kgに調整)、(株)石炭の歴史村観光(廃材チップ等と選炭スラッジとの混合燃料)、釧路熱供給公社による公共施設への熱供給(選炭スラッジと4,500kcal/kgの石炭を3:1に混合した燃料等)があげられる。

(3) 炭鉱ズリ⁴⁾

現在、空知管内の炭鉱の数箇所で、ズリから発熱量4,000kcal/kg程度の石炭が回収され、電力用炭への混炭用に使用されている。しかし、その量は少ない。回収炭は再選炭工程を経るため、脱灰等により、ボイラー用燃料として、今後、単味でも十分使用可能になると考えられる。

2) 改質固体燃料

石炭の生焚きはハンドリングの困難さ、媒煙の発生、粒度の不揃いなどの欠点がある。これらの欠点の改良として各種の改質固体燃料が開発中であり、使用されているものもある。

(1) 練炭及び豆炭

無煙炭に消石5%とパルプ廃液等を若干量加え、円筒形に成形したものを練炭という。偏平枕状に成形したものを豆炭といい、石炭にコールタールピッチを8~12%加え90~120℃で加熱成形して製造される。工業用ピッチ練炭は、かつて蒸気機関車に用いられたが、現在は使用されていない。

表2・3-1 練炭の工業分析⁵⁾

水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	全イオウ (%)
3	30	8	59	5,000 ~ 5,500	0.4 ~ 0.44
3	32	8	57	5,000 ~ 5,500	0.4 ~ 0.5

表2・3-2 コークスの分析結果⁶⁾

工業分析，全硫黄及び発熱量

	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	全硫黄 (%)	発熱量 (kcal/kg)
鋳物用コークス	5～14	0.5～2	84～94	0.5～0.8	6,700～7,500
製鉄用コークス	10～13	0.5～2	80～89	0.5～0.8	6,500～7,200
一般用コークス	14～18	1～5	77～85	0.5～1.7	6,300～6,500

元 素 分 析

炭素 (%)	水素 (%)	酸素 (%)	窒素 (%)	硫黄 (%)	リン (%)
82～92	1～1.5	0.4～0.7	0.5～0.6	0.5～1.0	0.03

比 重 及 び 気 孔 率

	見掛比重	真比重	気孔率 (%)
鋳物用コークス	1.2～1.4	1.8～2.0	30～40
製鉄用コークス	1.0～1.1	1.8～1.9	40～45
一般用コークス	0.6～1.0	1.8内外	45～50

練炭及び豆炭は一般家庭用としていずれもほとんど使用されてはいない。

練炭の工業分析値を表 2・3-1 に示す⁵⁾。

(2) コークス

コークスは、粘結炭を高温度(400～1,000℃)で乾留して得られる固体燃料である。約1,000℃で乾留して得られるコークスには鋳物用と製鉄用があり、その分析値を表 2・3-2 に示す⁶⁾。北海道では、室蘭市で鉄原コークス(株)が年間9万t生産している。

温度400～800℃で乾留したものを半成コークスといい、昭和30年代、住友石炭(株)が市販したことがある。北海道工業開発試験所でも成形無煙燃料として、その製造法を確立している⁷⁾。住友赤平炭を原料として製造された成形無煙炭料の工業分析値を表 2・3-3 に示す。

(3) バイオコール⁹⁾

北海道立工業試験場で開発中の燃料で、石炭75～80%に廃木材粉を20～25%加え、約100℃で加熱成形した燃料である。石炭だけで成形して得られたものに比べて、着火性、ばい煙の発生も少な

いという燃焼特性をもっている。今後、経済性を有するようになると固体無煙燃料として、使用の可能性が高い。

3) 木質系燃料

(1) 木炭

木材を300～450℃で炭化し、さらに800～

表2・3-3 成形無煙燃料の工業分析値⁸⁾

熱処理温度 (℃)	熱処理時間 (分)	水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 (%)	揮発分 (d.a.f.)	発熱量 (kcal/kg)
425	0	3.0	18.3	26.8	34.1	6,433
	5	1.7	19.0	24.4	31.0	6,266
	10	3.0	19.8	21.9	28.3	6,106
450	0	3.0	19.1	22.7	29.2	6,203
	5	3.6	20.1	19.3	25.3	6,004
	10	4.3	19.1	17.4	22.7	6,087
475	0	3.4	21.6	18.2	24.3	6,170
	5	4.2	21.8	15.7	21.3	5,805
	10	4.5	21.8	15.5	21.3	5,673

表2・3-4 木炭の諸性質¹⁰⁾

	白炭	黒炭	
組成	C (%)	82～87	78～85
	H "	0.5～2	1～3
	O "	2～5	3～8
	水分 "	7～10	7～10
	灰分 "	1～3	1～3
発熱量 (kcal/kg)	6,700 ～7,300	6,700 ～7,500	
みかけの比重	1.5～1.9	1.3～1.7	
着火温度(℃)	350～400	300～350	

1,200℃に加熱し、その後、冷却する。加熱条件、冷却条件の違いにより、白炭と黒炭があり、その性質を表2・3-4に示す。北海道では業務用及びバーベキューに使用されているにすぎない

(2)木質成型燃料

i) 製材廃棄物の成型燃料化

2・1・2-3)の表2・1-17に示したように、北海道における製材・チップ業部門の廃材廃棄量は年間約22万³m³と推定されているが、余市町、平取町の製紙用チップ製造企業では、そこから排出される樹皮、廃材を旭川のオガタンメーカーと提携して木質ペレット燃料の製造に着手している。メーカーでは暖房用の燃料費は灯油に比べて3～4割程度の節約が可能と見込んでいる。木質ペレット燃料の専用燃焼器は、既に本州の企業が商品化しているが、北海道では旭川のストーブメーカーが開発中である。

ii) 未利用林産資源からの成型燃料

北海道北東部では、カラマツ人工林1.11×10⁵haの76%にあたる8.5×10⁴haが一般民有林で、これから発生する年間主間伐量は現在の約2×10⁵m³から、20年後には1×10⁶m³に飛躍的に増加する見込みであり、これの新しい利用法について研究開発が求められている。その一環として、当地域の林産地における林産業、木材加工業の未利用資源利用の観点から、木質系排出物、すなわち、工場廃材、林地残材、間伐等に着眼した固型燃料の製造¹¹⁾及びガス化^{12,13)}の調査研究が行われている。これらは、いずれも地域における木質資源の高度利用を図り、それを通じて林産業の近代化を促進するとともに地域経済の振興に寄与しようとするものである。

(財)クリーン・ジャパンセンターは、製造プラントの規模が小さくとも経済性があり、かつ多様な条件に対応できる木質系ペレット燃料の調査を行った。原料には、林地残材を利用し、表2・3-5に示す理由から、ウーデックスに着目した。ウーデックスは、木質系廃材を粉砕し、温度調整後、高温高压下でペレット化した固形成型燃料で、発熱量は約4,500kcal/kgである。既に、富山県新湊で北洋パークを対象とした実証プラントが昭和58年6月に完成している。

調査の結果、ウーデックスによる林地残材利用を実現するには、原料の収集コストを低減する必要があることが判明した。表2・3-6は収集コスト低減のための機械化の方向をまとめたものである。

なお、上記の報告書は、単に未利用資源による地域エネルギーの供給という観点だけではなく、林内作業の機械化を促進し、伐出生産を多様化して林産業の体質を改善できるという利点にも留意すべきであると述べている。また、間伐事業の採算を向上させ、木材工業にとっては工場廃材の高度利用や原料入手の安定化にも寄与するなど、多くの波及効果が予想されるので、このような視点からの総合的判断が必要であるとしている。

4) その他の固体燃料

(1)都市ごみ

都市ごみの発熱量は、およそ1,000～2,000kcal/kgの範囲にあり、ごみ焼却熱からのエネルギー回収により、暖房用エネルギーとしての利用が、今後とも進むものと考えられる。北海道において処理されるごみの全量は昭和57年度で327万1千tであるが、収集された量はこのうちの196万4千tで、残りは埋め立て処分されている。焼却されている量は収集量の約44.5%(約8万5千t)である¹⁶⁾。

現在、焼却熱を回収し、施設外への利用を図っているところは札幌市(売電、地域暖房など)と函館市(公衆浴場)だけである。北海道におけるごみ焼却施設の規模を表2・3-7に示した。

廃棄物のエネルギーを回収し、それを暖房等に利用するためには立地条件ならびに四季にわたって安定した収集量が確保できることや、安定した需要があることが必要条件となる。この意味で、人口密度の高い都市部において実現の可能性がある。しかし、焼却炉からの熱利用あるいは発電を行う場合には、次のような問題もある。すなわち、寒冷地においては、熱需要の多い冬季に、ごみの

表2・3-5 木質系ペレット燃料の比較¹⁴⁾

	製品概要	適用評価
オガライト	<ul style="list-style-type: none"> ○形状—断面 55～60 mm (丸・角) ○原料—木粉 ○発熱量—4,500 kcal/kg 程度 ○コスト—3.5～4.6 円/1,000 kcal/kg 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ○既に工場燃料または、従来型まきストーブ等で利用されている。 ○家庭用の代替燃料として使用する場合は、燃焼器具の利便性向上がむずかしい。
ウーデックス	<ul style="list-style-type: none"> ○形状—6 mm φ × 15 mm (ペレット状) ○原料—木粉等 ○発熱量—4,500 kcal/kg 程度 ○コスト—4～6 円/1,000 kcal 	<ul style="list-style-type: none"> ○室内化初段階 ○ウーデックス用の燃焼器具開発が行われ、利便性向上の期待が持てる。 ○プラント立地は比較的自由 (ローカルエネルギー向き)
バイオコール	<ul style="list-style-type: none"> ○形状—12 mm φ × 35 mm (試作製品) (ペレット状) ○原料—粉炭 75～80 % 木粉 20～25 % ○発熱量—6,000～7,000 kcal/kg ○コスト—4～5 円/1,000 kcal 	<ul style="list-style-type: none"> ○試作研究が終った段階 ○石炭の利用度が高いことからプラント立地に制約 (広域流通向き)
ウッドコール	<ul style="list-style-type: none"> ○形状—断面 70 mm φ 長さ 300 mm ○原料—木粉 70 % 粉炭 30 % ○発熱量—5,000 kcal/kg 程度 ○コスト—7 円/1,000 kcal 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ○製品がどちらかという中途半端

表2・3-6 今後の機械化の方向¹⁵⁾

	幹材集材	林地残材の集材
間伐系	<ul style="list-style-type: none"> ○伐木作業の機械化 <ul style="list-style-type: none"> ・間伐用フェラーパンチャー、ソーフェラーの導入 ○木寄せ、具材の機械化 <ul style="list-style-type: none"> ・リモコンウィンチの導入 ・間伐用ロッキングトラックターの導入 	<ul style="list-style-type: none"> ○土場作業の機械化 <ul style="list-style-type: none"> ・枝払、玉切を同時に行うプロセスマシンの導入 ○林地残材の効率的搬送 <ul style="list-style-type: none"> ・移動チップパー ・木材粉碎トラック ・チップ搬送コンテナ等の導入
皆伐系	<ul style="list-style-type: none"> ○伐木作業の機械化 <ul style="list-style-type: none"> ・フェラーパンチャー ・ソーフェラー ・ハーベスター 	同 上

量が夏季に比べて半減する。また、ごみ焼却炉の保守点検のため、ごみ排出量の多い夏季に休炉せざるを得ない。したがって、炉のごみ処理能力は夏

季の最大排出量を上廻って設計しなければならず、焼却炉の利用効率が低下する。また、発電を行う場合には、燃焼ガス中の塩化水素による伝熱管等

表2・3-7 北海道におけるゴミ焼却施設の規模¹⁶⁾

地域	処理能力	150t/d以上	100t/d以上 150t/d未満	50t/d以上 100t/d未満	50t/d未満
	道 央	6	2	6	19
道 南	1	0	0	12	
道 北	0	0	0	19	
道 東	1	1	0	29	
合 計	8*	3	6	79	

* 札幌市, 江別市, 函館市, 苫小牧市, 帯広市
外5町村

昭和57年度, 北海道一般廃棄物処理事業概要 (北海道衛生部
衛生施設課) より作成

の腐蝕の問題があり, 現在のところ蒸気温度を280℃以上にするには困難な状況にある。小出力の発電では蒸気タービンの効率の低下が避けられない。

都市ごみのエネルギーを効率よく回収し, 暖房用のエネルギーとして利用するためには, 上記のような問題に対処しうる要素技術の開発と, 寒冷地に適したエネルギーの回収と利用の最適システムを考えなければならない。我が国における都市ごみの综合利用の研究開発が通商産業省工業技術院によって, 大型プロジェクトとして昭和51年から7年間にわたって実施され, その成果が取りまとめられている¹⁷⁾。これらの成果のうちで, 今後寒冷地の都市ごみのエネルギー回収に利用しうるものとして, ①分別された都市ごみ中の紙類, プラスチック主体のものを部分燃焼法により流動熱分解し, 主に油や固体燃料を回収する熱分解油化技術, ②分別されたプラスチックを熱分解してクリーンな燃料ガスに変換する熱分解ガス化技術, ③分別された厨芥主体のごみを効率よくメタンに転化しうる2相式メタン発酵技術が挙げられる。上記の①は冬

表2・3-8 建物への木材の使用量
(建設物価調査会)¹⁸⁾

	木材使用量 (m ³ /m ²)		
	51年度	54年度	平均
木 造	0.201	0.212	0.207
鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC造)	0.018	0.033	0.026
鉄筋コンクリート造 (RC造)	0.036	0.052	0.044
鉄 骨 造	0.041	0.040	0.041

表2・3-9 投入木材及び排出木材の原単位¹⁹⁾

	木 造	R C 造 SRC造	鉄骨造
投入木材量 (m ³ /m ²)	0.21	0.04	0.04
廃木材量 (m ³ /m ²) (投入木材量×0.67)	0.14	0.03	0.03

季の熱需要増対策として貯蔵が可能であり, ②, ③は都市ガス, 発電用燃料などに使用することにより, 都市ごみのエネルギー利用効率を高めることが可能となる。

(2) 建設廃木材

建設廃木材には, ①解体建物から発生する廃材, ②工事に発生する廃材に分けられる。表2・3-8に建物への木材の使用量を示した。①の廃木材の発生量は, 建築時の木材所要量の約9%程度といわれている。表2・3-9に, 建物の種類ごとの排出木材量の原単位を示した。②の廃木材量の原単位を表2・3-10に示した。この他に, コンクリート工事の型枠からの廃木材がある。北海道における建設廃木材の排出量は, 昭和55年には約84万tと推定されている²¹⁾。そのうちの約92%が処分され, 残りは再利用等にまわされている。

札幌市では, 年間約10万tの建設廃木材が排出するものと推定している。これらの一部は, 札幌市の

表2・3-10 構造種別木材投入原単位置 (昭和54年)

	木 造	S R C	R C	S	ブロック	そ の 他
投入原単位置 (m ³ /m ²)	0.212	0.033	0.052	0.04	0.082	0.055
工事に発生する 廃木材の原単位置 (m ³ /m ²)	0.032	0.005	0.008	0.006	0.012	0.008

408

汚泥焼却センターのボイラー用燃料(年間1万t, 蒸発量2.8t/h水管ボイラー1基)や、札幌市内の公衆浴場のボイラー用燃料(木屑専焼ボイラー約18%, 混焼ボイラー16%)に使用されている。なお、廃木材は昭和59年度から産業廃棄物に指定されている。

(3) 含炭汚泥ケーキ

石炭の利用開発の一つとして、下水の汚泥処理工程における浮遊性懸濁物の濾過材及び汚泥の脱水助材として、粉状の石炭を用いた研究開発が行われている²²⁾。これより得られるスラッジ炭と含炭汚泥ケーキを熱源として回収し、余剰エネルギーを地域の暖冷房に活用しようとするものである。表2・3-11にスラッジ炭の分析値の一例を示した。また、表2・3-12と表2・3-13に含炭汚泥ケーキの発熱量と焼却の必要熱量の一例を示した。自然させるためには、含炭汚泥中の水分を50%以下にする必要があり、石炭添加率(汚泥固形物量あたり)を100%以上にしなければならない。

表2・3-11 スラッジ炭及び構成成分の性状分析²³⁾

		ろ床炭 (太平洋 洋炭)	スラッジ	スラッジ炭 (凝集剤 無添加)
含水率		—	96.5	28.0
工業分析 (%)	水分	6.2	7.2	6.9
	灰分	11.3	65.8	16.9
	揮発分	37.2	23.1	38.2
	固定炭素	45.3	3.9	38.0
元素分析 (%)	灰分	12.04	70.91	18.43
	炭素	69.11	15.68	62.34
	水素	5.08	2.04	5.32
	酸素	12.36	9.21	12.33
	窒素	1.12	1.32	1.22
	全硫黄	0.29	0.84	0.36
発熱量 (kcal/kg)	高位量	6,330	1,520	5,870
	低位量	5,630	—630	3,790

表2・3-12 含炭汚泥ケーキの低位発熱量²⁴⁾

石炭添加率 (%)	0	66	100	200	300
発熱量 (kcal/kg)	2,620	3,950	4,290	4,850	5,130

注 1) 乾ケーキ基準

表2・3-13 含炭汚泥ケーキ焼却の必要熱量と発生熱量²⁴⁾

項目 加添石炭 率(%)	ケーキ 含水率 (%)	ケーキ 水分/ 固形分 (kg/kg)	ケーキ固 形分当り 必要熱量 (kcal/kg)	ケーキ固 形分当り 発生熱量 (kcal/kg)
0	73.5	2.77	4,640	2,620
66	63.9	1.77	3,490	3,950
100	47.9	0.92	2,510	4,290

(4) 泥炭

泥炭は世界的に広く分布しており、アイルランド、フィンランド、ソ連で発電用ボイラー及び地域暖房用燃料として利用されている。世界の年間採掘量は2億1,400万tであるが²⁵⁾、エネルギーとしての使用割合は定かではない。石油危機以後、北欧、カナダ、米国など資源量の多い国では、石油代替の合成燃料用として、ガス化の研究開発が行われている^{26,27)}。我が国の泥炭の資源量は、これらの国々に比べて桁ちがいに少なく、しかも、北海道においては泥炭地は水田用として土地改良が行われてきており、燃料としての利用可能量は必ずしも多いとはいえない。

燃料として利用するためには、高位泥炭層が対象となるが経済的な脱水方法の開発が不可欠である。表2・3-14に北海道の高位泥炭の推定量を示した。

5) スラリー燃料²⁸⁾

非石油系燃料で石油に代替できる燃料として、

表2・3-14 北海道の高低泥炭の量²⁵⁾

区分	面積 (ha)	埋蔵量(千m ³)
当別篠津原野	7,436	151,324
幌向	4,183	114,207
美唄	7,503	195,237
秩父大鳳	1,559	42,673
幌加内	166	4,350
対雁	1,941	65,073
長都	23	174
鷹栖	25	772
富良野	277	2,752
サロベツ	1,702	30,845
釧路	324	3,651
計	25,139	611,058

(1956年北海道開発局調)

石炭と流体との混合燃料が開発されている。各種石炭の流体化輸送技術の開発状況を図2・3-3に示す。

(1) COM (Coal Oil Mixture)

COMは石炭と油の混合燃料で、電源開発(株)が開発した技術は、油中湿式粉碎、微粉粒度 200 mesh 通過70~80%、分散剤添加方式である。石炭/重油が重量比50/50、カロリー比が40/60で重油よりの燃料である。カロリーの高いことにより、既設重油焚ボイラーの転換燃料として使用することが開発の目的である。現在、日本コム(株)が設立され使用されつつある。

(2) CWM (Coal Water Mixture)

石炭高濃度スラリーは、一般に200 mesh 通過70~80%の石炭を濃度70%以上のスラリーとし、常時流体として取り扱いができるように安定化したものである。

石炭資源の乏しい我が国では、今後海外炭の需要増大が見込まれている。この輸送システムとして、高効率石炭輸送システムの構想がある。この一つとして、石炭・水スラリーの研究開発が行われた。

石炭・水スラリーは、アメリカ、スウェーデン、カナダ等で本格的に研究が進められている。日本では日立・日本鋼管・日本油脂と丸紅・川鉄、宇

部興産及び電源開発等が研究を進めている。我が国の高濃度水スラリーの開発状況を表2・3-15に示す³⁰⁾。

実用化の問題点は、①スラリーの安定性を保持するため沈降を抑制する添加剤コストの引き下げ、②水分によるボイラー効率の低下、カロリー減による定格低下及び③バーナーの摩耗等がある。

(3) CMM (Coal Methanol Mixture)

石炭のメタノールの混合スラリーで開発の背景として次のようなことがある。

- ①メタノール原料は多様性があり、将来低廉化が見込まれる。
- ②メタノールの低粘性及びメタノール自体がエネルギーを有し、輸送コストが安い。
- ③メタノールの融点は-98℃と低く、寒冷地輸送に適している。

我が国では、三井グループが三井石炭流体化研究共同体を設立して研究開発を行っている。

今後、石油燃料に代替する流体化燃料は、重油ボイラーへの適用化の方向で研究開発されるものと考えられ、技術開発の現状が報告されている。北海道内でも製造及び輸送システムが整備されると使用される可能性がある。

6) その他のガス燃料

(1)炭鉱ガス³¹⁾

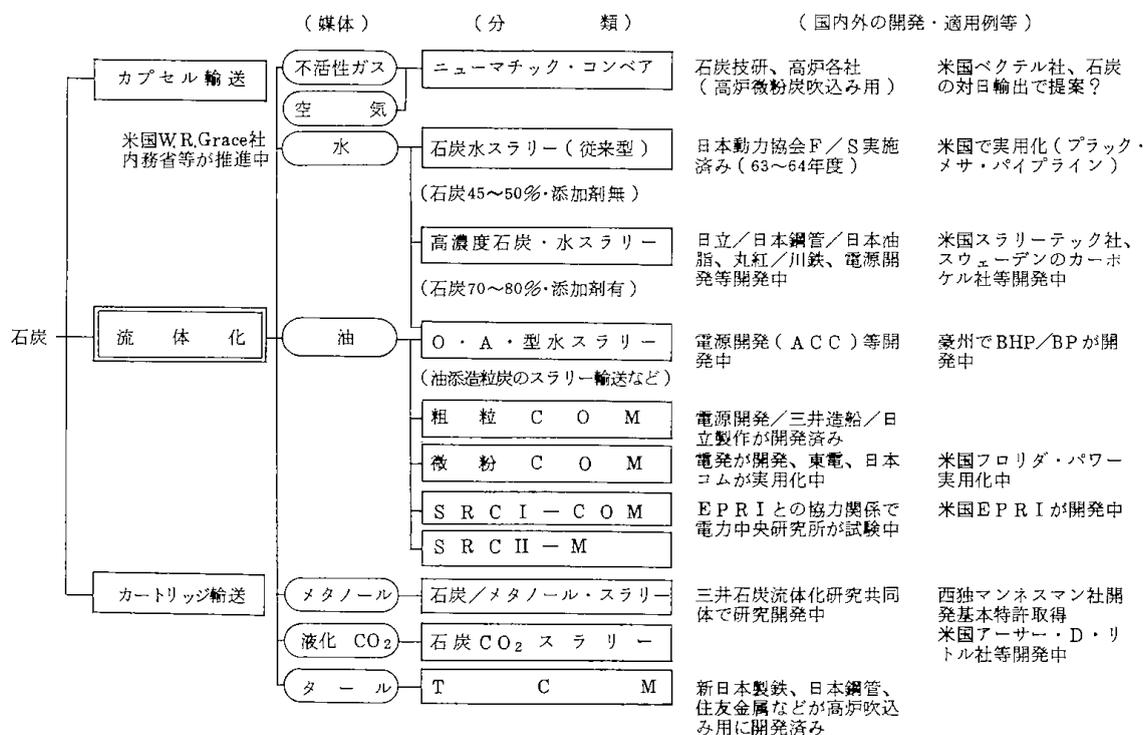


図2・3-3 各種石炭流体化輸送技術の開発状況²⁹⁾

表2・3-15 我が国における高濃度スラリーの開発状況³⁰⁾

	F-COAL (米国ではCO-AL)	石炭高濃度スラリー	高濃度石炭スラリー	石炭・水スラリー
開発企業	日立製作所, 日本鋼管, 日本油脂, 丸紅	電 発 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">三菱, 石 播, 川重, 住重機, 三井造船</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">花王, ラ イオン, 一工, ネ オス</div> </div>	川崎製鉄	宇部興産
開発の目的	発電利用を中心とした海外山元→国内発電所の一貫システムとして確立	同 左	当面製鉄所型スラリーセンターから他工場への移送を考えた国内型システムとして確立	当面テキサコ法石炭ガス化システム用に確立
技術概要				
①石炭/水 (%)	① 70~80/30~20	① 60~80/40~20	① 70 / 30	① 60 ~ 65 / 40~35
②Add(%)	② 0.5 (0.05 ~ 2)	② 0.1 ~ 1	② 1%以下	② 不明
③粘度(CP)	③ 500(500~1,000)	③ 500 ~ 2,000	③ 1,000 以下	③ 不明
開発状況	'82 米国で製造されたスラリーを輸入し燃焼テストを実施。 同上スラリーを使用しての流送試験を計画。 150 kg/h の製造設備を計画	'82 STEP-II パイロットプラント '85 試験開始 スラリー製造 1.5 t/h 各要素試験を計画	'80 製造及びCOM流送試験ループを使用した流送試験開始 '82 石炭濃度80%のCWS製造に成功 6インチ×330m 8インチ×330m 3インチ×70m 4インチ×70m の実験用スラリーパイプラインを完成	'81 テキサコ法石炭ガス化炉実験(アンモニア合成)建設でスラリー技術の開発も計画 '82 石炭ガス化炉の建設決定(12月) '84 6月の操業に合わせ, CWSの製造を予定, ユーザーが確保できれば一部外販も

炭鉱から抜き出されるガスとしては、炭層からボーリングによって採取されるメタンの濃度の高いガスと、坑道からの排気中に同伴される低濃度のメタンガスとがある。昭和57年度の北海道における9炭鉱からボーリングによって採取されたガス量は、純メタン換算で約2.3億 m^3 である。メタンの平均濃度は42%であり、これらは事業所の暖房、自家発電、加熱炉、ガス事業等に全量の82%が利用されている。特に、9炭鉱のうち4炭鉱が100%活用している。残る5炭鉱においてはメタンガスの濃度が不安定等の理由により、全量利用が難

しいといわれているが、 4×10^5 Gcal が未利用であり、炭鉱地域におけるクリーンな暖房用等の燃料として有効利用が望まれる。なお、上記のガス事業への利用としては、太平洋炭鉱(株)が都市ガス用として年間約1,600万 m^3 (ガス抜ガス基準)を供給している。

坑道からの排気中に含まれるメタンの濃度は平均0.44%であるが、純メタン換算で57年度において3.1億 m^3 排出されている。今後、安価なメタン濃縮法が開発されると、炭鉱の近効地域への有力な暖房用エネルギーとなる可能性がある。

(2) 石炭乾留ガス等

製鉄所のコークス製造過程から生成するコークス炉ガスは、発熱量が約4,400kcal/Nm³であるが、室蘭の都市ガス用として、年間約6,100万m³(1,000kcal/Nm³換算)供給されている。

長万部町では、都市ガスとして、天然ガスを年間544万m³使用している。

(3) メタン発酵ガス

各種農産廃棄物のガス化ポテンシャルを表2-3-16に示す³²⁾。オガ屑や木皮などの木質系は、ガス発生量が少ないのでメタン発酵の原料としては適していない。稲わらやもみガラも含め、水分量が少なく自燃性のあるものはメタン発酵をする利点はない。住友重機械(株)が試算した経済性の検討結果³³⁾によれば、原料として35,000頭分の豚糞尿、1,500頭分の牛糞尿、豚300頭/日の屠場廃棄物及び90t/日のミカンジュース粕を想定しての経済計算は表2-3-17のようにになっている。ガス製

表2-3-16 農畜産廃棄物のガス化ポテンシャル³²⁾

原 料	加水分解	ガ ス 化 率 (ℓ/kg-V S)
稲 ワ ラ	無	320 ~ 330
〃	有	380 ~ 400
も み ガ ラ	無	100 ~ 130
〃	有	260 ~ 300
オ ガ 屑	無	30
〃	有	70 ~ 80
木 皮	無	90 ~ 110
〃	有	150 ~ 160
ミカン搾汁粕	無	600 ~ 700
豚 糞 尿	無	300 ~ 340
牛 糞 尿	無	160 ~ 170
豚 胃 腸	無	1,000
豚 肺 臓	無	560
豚 肝 臓	無	620

表2-3-17 農畜産廃棄物処理経済計算³³⁾

	項 目	単 位	単 価	使 用 量	金 額 (千円/d)
支 出	人 件 費	人	10,000	8	80
	ポ リ マ ー	kg/d	1,500	25	37.5
	用 水	m ³ /d	10	750	7.5
	塩 (as Pure) 酸	kg/d	150	1,050	57.5
	苛 性 ソ ー ダ (as Pure)	kg/d	100	1,200	120.0
	硫 (as Pure) 酸	kg/d	20	3,379	67.6
	維 持 管 理 費				21.9
	償 却 金 利				438.4
	計				930.4
回 収	豚 糞 処 理 費	頭/d	5	35,000	175
	牛 糞 処 理 費	頭/d	20	1,500	30
	搾 汁 粕 処 理 費	t/d	2,000	45	90
	屠 場 廃 物 処 理 費	t/d	5,000	18	90
	乾 燥 肥 料	t/d	10,000	18	180
	硫 (as Pure) 安	kg/d	35	4,275	150
	計				715
収 支	715 - 930.4 = ⊖ 215.4 千円/d				
ガス製造コスト	215,400 / 3,800 = 56.7 円/Nm ³				

造コストは56.7円/Nm³, LPG換算では230円/kgとなり, 現在の末端価格250円/kgとほぼ同等であるという。しかし, この数値は処理量の規模が大きい場合を前提としていることを考慮する必要がある。すなわち, メタン発酵プロセスの維持には発酵槽の保温にかなりのエネルギー消費を必要とし, これが発酵槽の表面積に比例するものとするれば, 槽容積の2/3乗に比例することになる。したがって, 畜産農家単位で考えられる程度の規模では保温エネルギーの占める割合は多くなり, 正味の利用可能エネルギー量が少なくなって, 前述の試算価格の達成は困難である。また, メタン発酵の正味のエネルギー生産量を考えるためには, このほかに運転動力, 廃水, 廃棄物処理の関連エネルギー, などもマイナス要因として考慮に入れなければならない。

特に, 道内のような寒冷地では冬期における加温エネルギーの増加が問題で, エネルギー生産手段としてのメタン発酵法の実現には, 低温でも発酵速度の低下しないメタン発酵菌の探索及び省エネルギー型発酵装置の開発²⁰⁾が前提となる。その一つとして太陽熱利用による槽内液の加温が考えられ, 電力中央研究所と民間企業が共同で図2・3-4のような装置を試作した。1m³の発酵液に対し1m²の太陽集熱パネルを用い, 外気温度0℃での装置内温度変化を図2・3-5に示す。温度35℃をほぼ維持し, 目的量のガスを回収している。太陽熱集熱システムが安価になり, 日照のない場合に備えた蓄熱システムができると実用化に近づくであろう。図2・3-6は, バイオガス発酵機作の概念図であるが, 第一ステップで発生する熱の利用, 発生するCO₂の槽内フィードバックと汚泥の接触循環などの化学工学的な改良及び地域に特有な熱エ

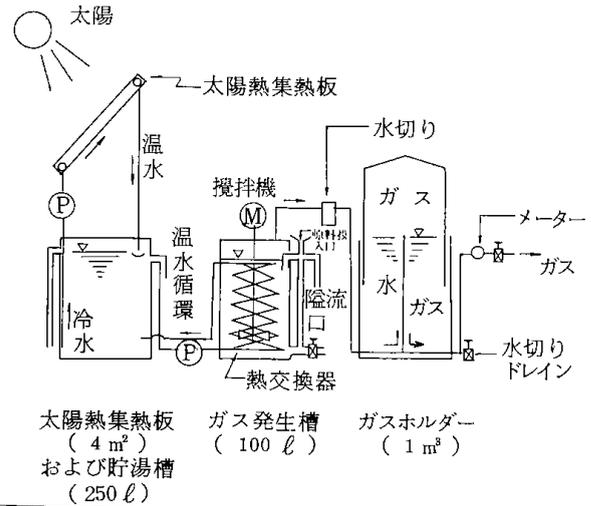


図2・3-5 太陽熱加温によるメタンガス発生装置の概念図³⁴⁾

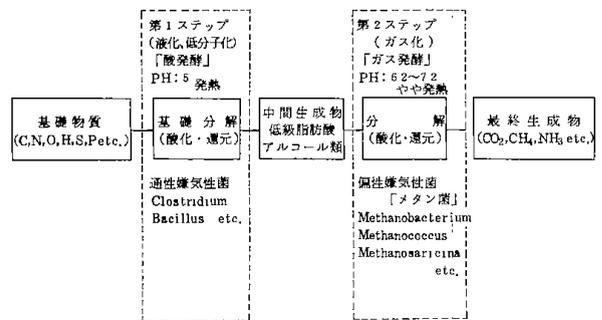


図2・3-6 メタン発酵機作の模式図³⁵⁾

ネルギーの利用も考えたシステムの開発が必要である。いずれにしても, 現段階では寒冷地におけるバイオガスとしてのメタンガス利用は, 正味のエネルギー生産手段としてよりも廃水または廃棄物を処理する際に得られる副生物を利用するという考え方に立つのが現実的であろう。メタン発酵で処理した後の廃水または廃棄物を土地散布またはコンポストとして土地に還元できるような場所においては, 所要エネルギーを減らす意味でも自然のサイクルを維持するうえでも理にかなっているといえる。

(4) 都市ごみの熱分解ガス

2・3・1 節4) - (1)で触れたが都市ごみの熱分解ガス化は, 工業技術院の「スターダスト」計画により, 荏原製作所^(株)と月島機械^(株)の二塔循環流動層によるガス化が行われた。月島機械のガス, タール, チャーの生成割合と温度との関係を図2・3-7に示す³⁶⁾。生成ガスはH₂, COが多く, 発熱量は4,000kcal/Nm³の中カロリーガスで, 都市ガス用原料としての利用が考えられる。

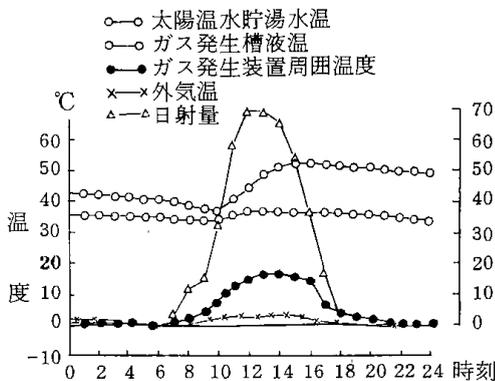


図2・3-4 太陽熱加温によるメタンガス発生装置の各部温度経過の一例³⁴⁾

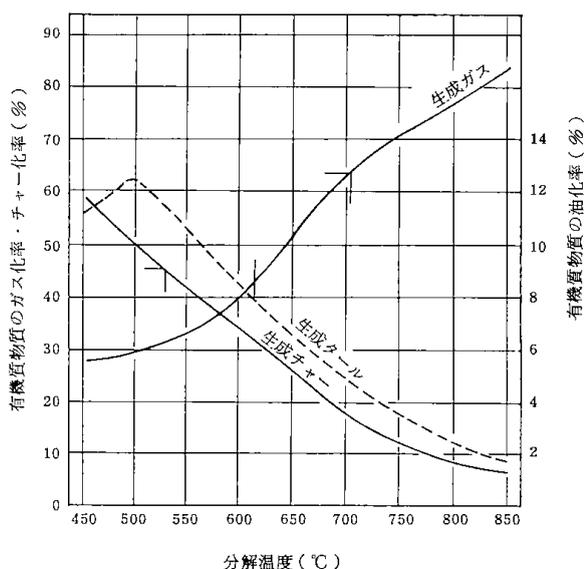


図2-3-7 都市ごみの熱分解平衡データ³⁶⁾

(5) 木質系廃棄物のガス化^{12,13)}

間伐材等木質系廃棄物をガス化し、ガス燃料の供給システム及びガス燃料の利用技術の開発を図ってコミュニティエネルギーシステムを確立しようとするものである。モデルケースとして、木質物のガス化発電システムの開発を採り上げ、①木質物のガス化プラント、②ガスエンジン発電プラント及び③未利用資源の集荷システムの3つのサブシステムについて検討している。木材ガス化技術については国内、国外にわたる詳細な調査^{37)~38)}が行われているが、地域の実情に適し、かつ、経済性のある熱分解ガス化技術、ガス精製タール等副生物の利用・処理、廃水処理等一連のシステムの開発を図ることが今後の課題である。これらのシステムで得られる低カロリーガスを使って効率よく運転できるガスエンジンの開発も今後の課題である。なお、集荷システムの合理化により、木質物の原料費が1万円/t程度になれば実用化の可能性がでてくるといわれている¹³⁾。

2.3.2 暖房用燃焼設備

暖房用燃焼器には、容器内で燃料を燃焼して器壁からの放射と対流によって伝熱するストーブと、燃焼熱を温水または水蒸気などの熱媒体を介して利用するいわゆる暖房用ボイラーがある。

1) ストーブ

各燃料について様々なストーブが工夫、製作され、使用されている。北海道消費者協会が調査した家庭用暖房器具の種類別使用割合を2.2節の表

2.2-3に示した。それによれば、灯油を使用するものが最も多く、78.8%を占めている。次に使用数が多いのは電気ストーブで、これは補助暖房用が大部分である。薪、コークスストーブその他は3.5%、石炭ストーブは3.1%、ガスストーブは2.0%である。これらの暖房器具の61.9%が主暖房用として使用されており、補助暖房用としてはポータブル式の灯油ストーブ、電気ストーブ、ガスストーブが全体の31.8%使用されていると推定されている。

一般に、ストーブの要件として次のようなことがあげられる。

- ① 経済性：安価であること。
- ② 簡便性：燃料への着火がしやすく、燃焼の立ち上りが早いこと。火力の調節がしやすく、火の立ち消えがなく、火持性が良いこと、さらに消火がしやすく、自動運転が可能であること。
- ③ 高燃焼効率：未燃損失が少なく完全燃焼できること。
- ④ 無公害性：ばい煙、 NO_x 、 SO_x 、COの発生がなく、灰の処理などが手軽で清浄であること。
- ⑤ 安全性：火災防止機能を持っており、やけどなどの危険性がないこと。また、安全な無人運転が可能であること。

各種ストーブの性能を表2.3-18に示す。

今後のストーブは、上記の要件を満たし、使用する燃料の特性に適合したものを開発する必要がある。ガスストーブと灯油ストーブの技術開発については、上記の要件をほぼ満足する段階にあるが、固体燃料用のストーブには解決すべき要件が多い。一般に鋼板製の固体燃料用ストーブは安価であるが、耐熱、耐久性に欠ける。一方、鋳物製のものは高価で重い、耐熱、耐久性はよい。最近、高気密性で強制通風型の自動化された石炭ストーブが開発されている³⁹⁾。しかし、性能を高級化すれば高価格にならざるを得ない。北海道の現状から考えると、ストーブは構造が簡単で安価なものと高性能で高価なものが、当分の間は併せて使用されてゆくものと思われる。

2) 暖房用ボイラー

暖房用ボイラーは、大別して温水ボイラーと蒸気ボイラーがある。温水ボイラーは、圧力と温度が比較的低いので取り扱いが簡単であり、一般家庭でも手軽に使用できる。また、断熱性のよい建物がますます普及してきているので、従来の高温

表2・3-18 各種ストーブの性能

ストーブ	暖房効率 (%)	放熱量 (Mcal/h)	用途	摘要
薪ストーブ	40 ~ 75	3 ~ 8	農家用	手数がかかる
石炭ストーブ				
投込式	65 ~ 70	3 ~ 8	広い	手数がかかる
貯炭式	78 ~ 83	3 ~ 8	広い	手数が少ない
ルンペン式	80 ~ 88	3 ~ 8	広い	簡便
コークスストーブ	80 ~ 90	3 ~ 6	広い	簡便
灯油ストーブ	85	2 ~ 2.5	広い	簡便
ガスストーブ	95	2 ~ 4	都市用	換気が必要
電気ストーブ	100	0.86	広い	経費が高い

暖房よりも低温暖房(60~80℃)が広く使用されるようになり、今後は温水ボイラーによる暖房が増加するものと考えられる。蒸気ボイラーは、従来から学校、病院などの中規模の蒸気暖房用として使用されており、今後は地域暖房用としても用いられるものと考えられる。

(1) 気体及び液体燃料用ボイラー

都市ガス等の高カロリーの気体燃料及び液体燃料を使用する暖房用ボイラーの燃焼装置については、技術的にほぼ完成の段階にある。今後、各種の低カロリーガス(1,000~2,000 kcal/Nm³程度)を利用することになれば、これらを高負荷で安定燃焼させるための燃焼炉の開発が必要であり、そのための研究開発が行われている⁴⁰⁾。

熱交換技術の発達によって、最近では、従来小型ボイラーに付設しなかったエコマイザーを小型のものにも付設するようになり、一段と省エネルギー効果が向上している。

(2) スラリー燃料用ボイラー

石炭を含むスラリー燃料であるCOM, CWM, CMMについては、発電用大型燃焼装置が開発されつつある。しかし、暖房用の中小規模燃焼装置の技術開発はあまり行われていない。北海道炭によるCOMの小型ボイラーについて、昭和54年以来、北海道立工業試験場が研究している⁴¹⁾。粘度を低く調整したCOM処理量10~15kg/hの実験装置を使用した燃焼試験結果によれば、COMは重油と同様にバーナー燃焼が可能で、ばい煙の発生が認められず、2段燃焼法によってNO_xの低減化も可能であった。しかし、排ガス中の微細な灰を捕集する必要があり、小形のバグフィルターな

どの技術開発の必要性が指摘されている。また、低灰分の原料炭を得ること、COMの製造技術及び燃焼技術がトータルシステムとして完成する必要性も指摘されている。

一方、発電用CWMの燃焼試験を電源開発(株)が行っている⁴²⁾。小型燃焼炉による燃焼量2t/hと4t/hの結果によれば、空気アトマイズによる2流体噴霧バーナーでCWMを良好に燃焼でき、NO_x, COの排出も微粉炭燃焼と同じレベルに抑制できると報告している。しかし、COMの場合よりもバーナーの摩耗性は格段に大きく、バーナーの技術開発が必要である。

技術開発が緒についたCMMについては、暖房用燃料としての技術的な資料は発表されていない。

(3) 固体燃料用ボイラー

暖房用ボイラーに使用される固体燃料の燃焼方式は、火格子燃焼、微粉炭燃焼及び流動燃焼がある。火格子燃焼では塊状の固体燃料を使用し、蒸発量50t/h以下で、特に小型のボイラーに使用されている。火格子燃焼ボイラーの特長として、

- ①多様な固体燃料を使用できる。
- ②建設費、所要動力費、補修費、維持費が比較的安い。
- ③除じん装置が簡単でよい。

などがある。欠点としては、ボイラー効率が低く、負荷変動への追従性が悪く、低発熱量の燃料の燃焼が難しい。これらの特長を生かし、欠点を改良する工夫がなされており、低品位炭を燃焼するU型燃焼ストーカーの開発研究が行われている⁴³⁾。

微粉炭燃焼は、蒸発量50~100t/hの大型発電用、

産業用ボイラーに使用されている。小規模なボイラーとしては、ほとんど使用されていない。

流動燃焼，特に石炭を流動燃焼する技術は，高効率，低公害で石炭を熱エネルギー化する技術として注目され，世界各国で研究開発されている⁴⁴⁾。我が国における石炭の流動燃焼技術の開発研究は，昭和52年頃から行われてきており，現在では実用化の段階にある。最初の実用装置は，昭和55年に選炭スラッジを燃焼する蒸発量10 t/hの暖房用流動燃焼ボイラーとして，住友石炭(株)赤平鉱業所に設置されたものである。また，電源開発(株)若松火力発電所内に発電用大形ボイラー開発のためのパイロットプラントとして，蒸発量20 t/h流動燃焼ボイラーが建設され，運転・研究されている。次に，三井東圧化学北海道工業所に蒸発量30 t/hの産業用流動燃焼ボイラーが建設されている。さらに，暖房用としては釧路熱供給公社に蒸発量11 t/hの流動燃焼ボイラーと，(株)石炭の歴史村観光に4 t/hと8 t/hの傾斜波動式火格子燃焼ボイラーが59年に設置された。

このように実用化が行われる中で，石炭の流動燃焼ボイラーは，ますます重要視されるものと考えられる。特に北海道は，わが国最大の産炭地であり，立地上有利なので，流動燃焼ボイラーは様々な目的に使用されるであろう。このためには，学校，病院，店舗，オフィスなどの暖房用として広く使用される中小形のパッケージ型流動燃焼ボイラーの開発が必要である⁴⁵⁾。

また，流動燃焼技術は石炭の燃焼だけでなく，従来の技術では燃焼が困難なものも燃焼できることから，石炭ズリ，スラッジ，都市及び産業廃棄物，石炭液化・ガス化の残渣物などからの低公害で効率のよいエネルギー回収及び焼却処理技術として広く使用されるものと考えられる。

2.3.3 代替の可能性

現在，石油は暖房用燃料として種々の長所をもつため主流を占めている。しかし，消費量のほとんどを輸入に依存し，安定供給に不安があることから，他の燃料，特に国産燃料による代替が求められている。

石油系燃料を他の燃料によって代替する場合，まず考慮しなければならない点は経済性であり，代替燃料の単位熱量当りの価格が石油より安いことが必要条件である。しかし，経済的優位性が必

ずしも充分条件にはならない。灯油の価格が石炭の1.5~1.6倍でありながら，なお主流の座を保っているのは，灯油の利便性が石炭に比べて極めてよいからである。したがって，代替の必要かつ充分な条件を整えるには，経済性，利便性のほか，社会システムを含めた総合的優位性を確保しなければならない。具体的には，代替燃料の規格化，流通機構の整備，燃焼器の開発，公害対策，行政面からの適切な施策などである。本調査では，技術的観点から定性的に検討した結果を述べる。

1) 代替の必要条件

(1) 燃料

一般家庭用の石油代替燃料は今後，石油に勝る経済性が要求されることは勿論であるが，品質の規格化，燃焼が清浄で無公害であること，取り扱いが容易であること，燃料に適合した燃焼器の開発が併行して行われること，安定供給体制が整備されることが必要である。家庭用の固体燃料としては，粒径が均一で燃料の自動供給に適したもので，発熱量，揮発分，着火温度，粉碎性等の表示が望ましい。また，灰の回収システムの確立も重要である。現在のところ，我が国では家庭用固体燃料の評価法は確立されていない。

中・大規模用の燃料としては，品質の規格化，安定供給体制，貯蔵，輸送体制等流通システムの整備が必要である。また，公害対策が重要であり，特に固体燃料の場合には灰の回収・処理体制，防じんを含めた対策が必要である。

(2) 燃焼設備

暖房設備は使用燃料と切り放して考えることはできないので，それぞれの燃料に適した燃焼機器が必要である。一般家庭用のストーブは2.3.2節1)に記した要件を満たすことが望ましい。特に，今後燃焼器に燃料との適合性を表示することが不可欠の条件となる。

中・大規模用の暖房用ボイラーとしては低質燃料の使用においても，燃焼効率が高く，熱負荷の変動に十分対応できること，また，流動燃焼ボイラーのように，硫酸化物，窒素酸化物などの公害対策が比較的容易であるものが望ましい。

(3) ヨーロッパにおける固体燃料と燃焼器の規格

最近の調査⁴⁶⁾によれば，日本とエネルギー事情の異なるドイツ，フランスにおいて，固体燃料を主な暖房燃料としている家庭は，最近では10%以

下に低下してきている。しかし、イギリスでは現在でも家庭用燃料として全体の20%、年間1,000万tの固体燃料が使用され、石炭の利用拡大に努めている。イギリスでは、人工密集地域で有煙の石炭使用が規制されているため、加工無煙燃料として①粘結炭を原料とする高温コークス、②無煙炭のピッチブリケットを脱煙処理したもの、③低温乾留コークス、④非粘結炭を熱間成型したものなどが現在、年間220万t製造されている。これらは揮発分が少なく、灰分も8%以下であるため、発熱量が8,000 kcal/kgと高い。その上、燃料の種類に応じて粒度範囲を細かく区分して販売され、後述するストーブの工業規格においても使用燃料を表示している。

表2・3-19に、ヨーロッパ各国のストーブの規格の概要を示す。イギリスでは西ドイツとともに、ストーブの工業規格を制定し、性能を保障している。以下に主な点を列挙する。

①使用燃料の表示：適性燃料の品質とサイズを指定して、ストーブの性能が十分に発揮されるようにしている。

②熱効率：北海道のストーブの熱効率は50～60%といわれている。イギリスでは60%以上(ルームヒーター、ボイラーなし)、65%以上(ルームヒーター、ボイラーつき)と高い水準を保障している。

③ばい煙発生量：西ドイツ、スイスなどでは燃料自体が無煙か、低ばい煙性なので、燃焼器具としての規制はない。イギリスでは、1969年にばい煙発生基準が定められ、この基準に合格したストーブの出現により、従来有煙炭の使用が規制されているばい煙規制地域でも、安価な石炭の使用が可能になっている。

④気密性：北海道のストーブの場合、火止め操作後も燃焼量が低下し難いが、これは気密性が悪いためである。イギリスはじめヨーロッパでは

表2・3-19 ヨーロッパ各国のストーブ規格の概要⁴⁶⁾

項目	イギリス	西ドイツ	スイス	ポット式石油ストーブ	優良道産品	
使用燃料表示	表示	表示(無煙炭など)	同左(まきなど)	表示(白灯油)	なし	
安全性	操作つまみ等	金属：35℃以下 陶器：45℃ " プラスチック： 60℃ "	80℃以下	金属：25℃以下 プラスチック： 35℃ "	室温との温度差	なし
	壁面温度等	なし		前・後部床面、側面、背面から200mmの位置：室温との温度差60℃以下		背面・側面：80℃以下 底面：60℃ " 前面：400℃ "
	排ガス温度	なし	400℃以下	500℃以下(?)	なし	なし
燃焼生成物	CO, CO ₂	なし	COによる危険のない構造とする	CO ₂ ：8%以上 CO：2%以下	CO/CO ₂ ≤ 0.02	なし
	ばい煙	B.S.で規定せず、実施規則で指針として規定	なし	なし	スモークスケール6以下	2g/kg燃料
熱効率	貯炭式 ボイラーなし 65% ボイラー付 70% その他 ボイラーなし 60% ボイラー付 65%	70% (定格値の1/4の負荷時も70%を維持)	同左	最大値 60%以上 最小値 50%	50%	
燃焼調節性	10hr以上の連続燃焼可能(1回の給炭で)	16hr以上の連続燃焼可能			燃焼空気口全閉とし火止めの難易により評価	

注) スウェーデンにもまきストーブ規格あり、発ガン性物質であるベンツピレンに対する規制措置としてタール量が規定されている。 10mg/MJ (≒ 180mg/kgまき)

火止め時の燃焼量に対する基準があり、給炭口、灰出扉の部分にアスベストを使用するなど、気密性を保つ工夫がなされている。

2) 可能性

(1) 小規模用燃料

北海道における暖厨房用の石炭は年間45万t使用されており、表2・3-20に示すように発熱量あたりの価格は石炭がもっとも安く、石油の約6割強であることから一般家庭用燃料として根強い需要がある。しかし、現状では都市部における利用の拡大は難しく、2・3・2節-1)及び本節1)で述べたような燃料及びストーブの改良・開発が石炭の利用拡大にとって不可欠の条件である。

コークスは、ばい煙の発生が極めて少なく、大気汚染防止の点で優れているが、着火及び燃焼の制御、さらに、灰分が多いなどの難点があり、これらの問題点の克服が必要である。石炭の低温乾留によって得られるコーライトは、着火性の点でコークスよりも優れており、固体燃料としての石炭利用の方向と考えられるが、生産に伴う副生タール及び発生ガスを含めた総合的利用を図らなければならない。副生されるタールはCOMの原料として、また、低温乾留ガスは都市ガス等への利用も考えられる。しかし、現状ではコーライトの製造を目的とした企業化は経済的に無理である。

石炭の持つ欠点を木質材との複合によって克服しようとするバイオコールは、ばい煙の発生量も少なく、着火性にも優れ、均一の粒度に成型されているので取り扱いも容易であるなど優れた特徴を持っており、今後普及する可能性が大きい。残された課題としては、燃料の特性に適した専用の燃焼器の開発、燃料の供給と燃焼灰の回収を含む民生用エネルギーシステムの開発、原料の集荷・供給体制の整備による生産コストの低減等が挙げられる。

製材工場等の木質系廃棄物から製造される成型燃料も今後普及する可能性がある。しかし、原料の確保に限度があるため、生産地に比較的近い地域のローカルエネルギーとして定着しうものと思われる。なお、北海道北東部の林産地において、林産業高度化事業の一環として今後、木質系排出物からの成型固体燃料及びガス化が行われることになれば、単に暖房用燃料としてだけでなく、地場産業用を目的に、より広範囲の地域エネルギーとして普及する可能性を秘めている。

メタン発酵によりエネルギーを回収しようとする場合、原料中の水分が少なく、自然性のあるものはメタン発酵を行う利点はない。北海道においては養豚等の家畜の糞尿、屠場廃棄物などが原料と考えられるが、北海道のような寒冷地では冬期

表2・3-20 各種燃料の経済性の比較

燃 料	石 炭	コークス	灯 油	都市ガス	L P G	電 気
発 熱 量 (A)	7,400 kcal/kg	6,800 kcal/kg	8,690 kcal/ℓ	5,000 kcal/m ³	11,800 kcal/kg	860.1 kcal/kWh
単 価 [*] (B)	34.8円/kg	52.6円/kg	75円/ℓ	105円/m ³	275円/kg	30円/kWh
ス ト ー ブ 型 式	貯炭式	コークス	ポット式	ガ ス	ガ ス	電 気
暖房効率 ^{**} (C), %	75	85	85	95	95	100
有効熱量当りの単価 (D), 円/kcal	0.00627	0.00910	0.01015	0.0221	0.0245	0.0349
比率, %	62	90	100	221	245	344
燃料消費量(E)	3.01 t/年	2.89 t/年	2.27kℓ/年	3.51m ³ /年	1.49 t/年	19.4kWh/年
暖房費(F), 万円/年	10.5	15.2	17.0	36.9	40.9	58.3

$$D=B/(A \times C), E=F/B, F=H+D$$

Hは北海道内における1世帯当りの灯油消費量1,923ℓ/年から求めた暖房用消費熱量, kcal/年

$$H=1,923(\ell/\text{年}) \times 8,690(\text{kcal}/\ell) = 16.71 \times 10^6 \text{kcal}/\text{年}$$

* 札幌市内販売価格(聞き取り調査)

** 暖房炭サービスセンター; 「ストーブ販売技術研修会テキスト, 昭和44年度版」によった。

57

における加温エネルギーが必要であるため、エネルギー生産手段としてのメタン発酵法を実現するには、活性の高い低温メタン発酵菌の探索及び省エネルギー型の発酵装置の開発が必要である。

(2) 中・大規模用燃料

集合住宅、大型ビル、公共施設あるいは地域暖房の燃料として、石炭、選炭スラッジ、炭鉱ズリ、建設廃木材(木屑)、都市ゴミ及び石炭の流体化燃料(COM, CWM, CMM)の他、石炭の中低温乾留ガス、汚泥ケーキ、泥炭などが挙げられる。固体燃料の燃焼には未燃分を出さず、熱回収の優れた高効率燃焼に加えて、硫黄酸化物、窒素酸化物、粉じん、灰などに対する環境問題への対策が重要であり、特に低品位の固体燃料の燃焼においては低い発熱量に由来する燃焼効率の低下と環境問題をいかに同時に解決していくかが、燃焼装置の開発のポイントになっている⁴⁰⁾。

集合住宅用の暖房用エネルギーとしては、建設廃木材の利用が考えられる。これを一次加工して木屑ボイラーに使用することができる。

大型ビル、公共施設用としては選炭スラッジや炭鉱ズリからの回収炭の利用が可能である。選炭スラッジは、炭鉱の操業によって常時発生し、野外堆積場所の確保や降雨、融雪時期の泥流など保安上の問題もなしとしないので、産炭地に近い地域で、既に、流動燃焼ボイラーを用いて利用されている。石炭の供給及び灰の輸送のために石炭のカートリッジ・システムが検討されている⁴⁷⁾。現在の都市部においては、冬期間に使用する固体燃料を貯蔵するスペースの確保は一般に難しい。このため、上記のシステムは消費量に合わせて常時安定に石炭を供給し、かつ、灰の回収も行う流通システムの確立を図ろうとするものである。泥炭の暖房用エネルギー源として、利用の可能性の大きい泥炭地域は、熱需要の多い都市部に隣接した石狩川流域と考えられる。泥炭は、含有水分が65～95%と高いので、エネルギー化する際は、単に固体燃料としてだけでなく、ある程度の水分をそのまま活用し得るガス化も含めて、その活用を図るべきである。採掘後の埋めもどしと土地の整備は不可欠の条件であり、また、環境の管理も必要となろう。

地域暖房用の燃料として、都市ごみ焼却熱の利用があげられる。既に、札幌市では焼却場の近くの団地の暖房に利用している。他の都市での利用の可能性は、人口の規模と密度及びごみ収集の度合

いによって左右される。一般には、人口30万人以上の都市では地域暖房への利用の可能性が高い。都市ごみの焼却に伴う環境問題として、残灰やフライアッシュ中にダイオキシンが検出され、昭和59年5月に「ダイオキシン等専門家会議」の報告書が厚生省でまとめられている。それによれば、住民や作業員への影響は「現段階では考えられない程度」であるとしているが、同時に、今後、調査研究すべき課題が挙げられており、早期の検討結果が待たれる。

石炭を粉砕し、水、石油系油など他の流体と混合し、安定させた石炭流体化燃料は、長距離、大量輸送に伴う輸送コストの低減、貯蔵等の取り扱い上の長所を最大限に生かそうとして開発が行われている。流通体系の整備と経済性の問題が克服できるようになれば、地域暖房用の大型ボイラーへの利用が考えられる。

含炭汚泥ケーキは下水処理場の汚泥の滷過、脱水に0.3～0.5mmの石炭を用いて下水処理場の工程の合理化をはかったあとに残渣として排出されるものである。汚泥ケーキの運搬費の軽減のため、処理場の近くに、大型焼却施設と余熱利用の需要があれば、周辺の地域暖冷房用への実用化が可能と見られている。北海道の都市部においては利用の可能性があると考えられるが、夏期の熱需要が少ないので、電力への変換などを図ることによって、年間を通した熱利用効率の向上が必要となろう。

参考文献

- 1) 日本熱エネルギー協会編：「熱管理技術講義」, P.36, 丸善(株)(昭和51年3月)
- 2) 前掲書, P. 37
- 3) 北海道商工観光部資源エネルギー課・北海道立工業試験場：「低品位炭利用可能性調査(中間報告)」(昭和58年3月)
- 4) 北海道商工観光部資源エネルギー課・北海道立工業試験場：「低品位炭利用可能性調査(中間報告)」(昭和59年3月)
- 5) 神谷佳男：「燃料と燃焼の化学」, 日本化学会編, 産業化学シリーズ, P.110, 大日本図書(株)(昭和47年3月)
- 6) 日本熱エネルギー協会編：「熱管理技術講義」, P.41 丸善(株)(昭和51年3月)
- 7) 無煙燃料研究グループ：北海道工業開発試験所報

- 告, 第3号(昭和46年3月)
- 8) 前掲書, P. 8
 - 9) 森本茂樹, 丸山敏彦, 榎本泰彦, 藤原達郎, 村山敏博, 古屋信子: 燃料協会誌, **60**, (656), 1001 (1981)
 - 10) 神谷佳男:「燃料と燃焼の化学」, 日本化学会編, 産業化学シリーズ, P.109, 大日本図書(株)(昭和47年3月)
 - 11) (財)クリーン・ジャパンセンター:「再資源化技術の地域適用性に関する調査研究報告書」(昭和58年3月)
 - 12) 中小企業事業団・中小企業大学校・中小企業研究所:「地域振興と地域開発に関する研究(通巻番号838号)」, P. 123 (昭和58年3月)
 - 13) 中小企業事業団・中小企業大学校・中小企業研究所:「地域技術振興と地域開発に関する研究(通巻番号875号)」, P. 85 (昭和59年3月)
 - 14) (財)クリーン・ジャパンセンター:「再資源化技術の地域適用性に関する調査研究報告書」, P.77, (昭和58年3月)
 - 15) 前掲書, P.82
 - 16) 北海道町村清掃協議会:「昭和57年度,北海道一般廃棄物処理事業概要」, 北海道衛生部衛生施設課監修(昭和59年4月)
 - 17) 産業技術審議会大型技術開発部会評価分科会, 資源再生小委員会:「資源再生利用技術システムの研究開発(第二期)に関する評価報告書」(昭和58年8月)
 - 18) (財)クリーン・ジャパンセンター:「再資源化技術(建設廃材)」, P. 151 (昭和57年7月)
 - 19) 前掲書, P.152
 - 20) 前掲書, P.153
 - 21) 北海道商工観光部・(株)北海道環境保全エンジニアリング:「地域エネルギー開発利用調査報告書」, P. 197 (昭和56年3月)
 - 22) 大阪市(財)石炭技術研究所:「石炭を利用した下水処理技術の実用化試験」(昭和56年3月)
 - 23) (株)サイエンスフォーラム:「石炭利用発電プラント技術総合資料集」, P. 711 (昭和55年5月)
 - 24) 前掲書, P. 727
 - 25) 泉 重雄: コンサルタンツ北海道, **34**, (6), 22 (1981)
 - 26) D. V. Punwani, S. A. Weil, E. J. Pyrcioch and S. P. Nandi: Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf, Vol. 15, No2, P.964 (1980)
 - 27) D. V. Punwani: Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf., Vol. 16, No.3, P.2172 (1981)
 - 28) 科学技術庁資源調査所:「石炭・液体混合燃料の利用に関する調査」, 資源調査会編, 資料第119号(昭和59年3月)
 - 29) 釜尾 貢: 第5回石炭利用技術研究発表会講演集 P. 47, (財)石炭技術研究所(昭和58年8月)
 - 30) 釜尾 貢: 前掲書, P. 59
 - 31) 札幌通商産業局石炭調整課: 北海道通産情報, **38** (8), P. 28 (1983)
 - 32) 三本 昇:「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集成」, P. 134, フジ・テクノシステム(1981)
 - 33) 三本 昇: 前掲書, P. 136
 - 34) 水原一瓢: 前掲書, P. 70
 - 35) 水原一瓢: 前掲書, P. 71
 - 36) 西崎寛樹, 吉田邦夫: 前掲書, P. 91
 - 37) (財)エンジニアリング振興協会:「昭和56年度,木材のガス化による燃料油生産に関する調査報告書(国内外の資源量の調査及びトータルシステムの検討)」(昭和57年3月)
 - 38) (財)エンジニアリング振興協会・(株)荏原製作所:「昭和56年度,木材のガス化による燃料油生産に関する調査報告書(国内外のガス化技術の総合調査)」(昭和57年3月)
 - 39) ホクダ(株): 製品カタログ, 温風ストーブAC-1
 - 40) 新井紀男: 化学工学, **46**, (5), P. 282, (1982)
 - 41) 榎本泰彦, 森本茂樹, 石山栄三, 松原睦哉: 北海道立工業試験場報告, No. 281, P. 243 (1982)
 - 42) 釜尾 貢: 第5回石炭利用技術研究発表会講演集 P. 46, (財)石炭技術研究所(昭和58年8月)
 - 43) 谷口 博, 田中辰雄, 水口 清: 日本伝熱研究会北海道研究グループ研究会資料(1981年2月, 札幌)
 - 44) 千葉忠俊, 堀尾正毅, 古沢健彦, 森 滋勝: 化学工学, **42**, (12), P. 652 (1978)
 - 45) 富田 稔: 技術と情報, **9**, (2), P. 19 北海道情報調査会(1982)
 - 46) 森本茂樹:「ヨーロッパにおける家庭用固体燃焼ストーブ」, 北海道立工業試験場資料(昭和59年3月)
 - 47) 日本産業機械工業会:「コールカートリッジシステム(CCS)の研究開発」, C C S 研究開発委員会報告書(昭和57年5月)
 - 48) 飯田貞一:「暖房炭とストーブについて」, P. 6, 暖房炭サービスセンター, (昭和43年7月)

2.4 建築構造物の省エネルギー

2.4.1 断熱

暖房の目標は過剰な暖かさではなく、寒さが除かれたさわやかさにあり、その中心となるのは建物の断熱である¹⁾といわれている。また、建物を断熱・気密化すると暖房負荷は小さくなり、エネルギーが節約される。

最近、一般住宅や公共施設を含めた建築構造物の断熱技術には、めざましい進歩がみられる。特に、石油危機以降の断熱材料の性能、施工法の改良及び工夫はかなり進んでいる。

北方圏での住宅構造、特に北海道における省エネルギー型断熱構造住宅では、建物全体を断熱材で完全に覆うことで、十分な暖房効果を発揮できることが明らかになった。しかし、経済性などの問題があって、一般に普及していないのが実情である。

1) 住宅の断熱構造化

(1) 断熱性

表 2.4-1 に示すように、断熱なしの木造二階建住宅の場合、天井、外壁、床から約70%の熱損失があるとされている。建築構造物の断熱化は、おおよそ、次の2つに分けられる。1つは、建物の平面の取り方や構造計画によって断熱を図る。もう1つは、熱伝導率の小さい材料を使用することである。第1の点については後でも触れるが、通常、南側採光とし、単純な外形とし、厚い壁で熱を遮

断し、通気防止のため壁内の空気層を作らず、また出入口を2重構造にすることである。

(2) 断熱建材の種類と特徴

表 2.4-2 に、現在建材として使用されている主な材料の熱伝導率 λ を示した²⁾。現在市販されている断熱材は、一般に熱伝導率が0.1 kcal/m \cdot h \cdot °C以下であり、およそ6種類に分類される^{2,3)}。これらの材料名、一般性状及び将来の技術課題について簡単なコメントを付して表 2.4-3 に示した。

表 2.4-2 主な木材の熱伝導率

(λ : kcal/m \cdot h \cdot °C)

アルミニウム板	180	石綿セメント板	0.25
鉄板	38	気泡 コンクリート	0.14
大理石	2.4	石膏ボード	0.17
コンクリート	1.3	合板	0.14
モルタル	1.2	木毛セメント板	0.13
ガラス	0.7	軟質繊維板	0.05
タイル	1.1	ロックウール	0.04
プラスター	0.4	グラスウール	0.04
水	0.5	スチレンフォーム	0.03
土(乾燥)	0.5	ウレタンフォーム	0.026
木材	0.12	アルミ箔: 空気層10cm	0.04
畳	0.06	空気(静止)	0.026

表 2.4-1 建物の外周部から逃げる熱量 (kcal/h) とその比率 (%)

(条件: 外気温 5°C, 室温 18°C)

部 位	75m ² の平屋建て		101m ² の2階建て		120m ² の2階建て	
	熱損失量	比 率	熱損失量	比 率	熱損失量	比 率
屋 根 ・ 天 井	2,493	28.1	1,775	15.1	2,053	16.0
外 壁	2,506	28.2	5,521	46.9	5,685	44.2
床	1,777	20.0	1,504	12.8	1,668	13.0
窓	951	10.7	1,406	11.9	1,614	12.5
ド ア	102	1.2	113	1.0	113	0.9
隙間風・換気	1,048	11.8	1,448	12.3	1,720	13.4
合 計	8,877	100.0	11,767	100.0	12,853	100.0

建物の外周で一番熱が逃げやすいのは外壁で、次が屋根・天井、そして床あるいは隙間風の順になる。(断熱材・どんな厚さがお得でしょうか。硝子繊維協会・省エネルギー住宅促進委員会編)

表2・4-3 断熱材の種類

材 料 名	一 般 性 状	技 術 課 題	
無 機 質 織 維 材	ロックウール (岩 綿)	岩石を高熱で融かし、綿状に繊維化したもの。価格が安いのが利点だが、吸水性があるので、防水紙などを張って、マット状にしたり板状に成形した製品が出ている。	吸 水 性
	グラスウール (ガラス繊維)	ガラスを溶かして細い繊維状にしたもので軽くて断熱性にすぐれている。 ガラスは不燃性だが、繊維接着に合成樹脂を使用しているの で、安全使用温度は300℃以下である。繊維の間の空気層は 吸水性がある。	吸 水 性
	石 綿	石綿をフェルト状または吹き付けして使用する。ガラス繊維 よりも施工が容易で、コンクリート壁などにも直接加工でき る。	吸 水 性
	パーライト	断熱、吸音、防火性があり、パーライトモルタルなどとして 使用されることが多い。	吸 水 性
合 成 樹 脂 発 泡 体	発泡スチロール (フォームスチレン)	水や湿気を吸収しないのが利点であるが、熱に弱い(70℃以 内)のと、重量物に対して変形するのが欠点である。	耐 炎 化 性
	ウレタンフォーム	液状の原液の注入、あるいは吹き付けによって施工し、現場 発泡させる長所をもっている。 耐熱性は高いが、湿気と熱で黄変する場合がある。	耐 候 性 耐 炎 化 性 の 向 上
	ユリアフォーム	現場発泡、スプレー吹き付けができるのが特色である。収縮 率が大きいのが欠点である。	収 縮 率 耐 炎 化 性 の 向 上
軟 質 織 維 板	インシュレー ションボード	A級は木材パルプでつくられたもの。B級はわら、おがくず などで作られたものである。 一般にA級はインシュレーションボードと呼ばれ吸水性が少 なく、B級はソフトテックスと呼び水に弱い。 天井仕上材にいろいろな製品が出ている。	耐 炎 化 性 の 向 上 耐 湿 性 の 向 上
	シージングボード	インシュレーションボードにアスファルトを浸させたもの で、耐水、耐腐朽性を必要とする屋根、床、壁下地に用いら れる。	耐 炎 化 性 の 向 上
気泡コンクリート	普通ALC版と呼ばれ、外壁、屋根などに使用される加工の 容易性や耐火性などが利点としてあげられる。断熱性はプラ スチック発泡体の3分の1程度で吸水率が大きい。	断 熱 性 の 向 上 吸 水 性	
断 熱 パ ネ ル 材	サンドイッチパネルともいい、両面あるいは片面が仕上げを 兼ねている。中身が空気や断熱材ではさまれた複合材である。 断熱性は高いが高価なのが欠点である。	安 価 な 材 料 の 開 発	
そ の 他 の 断 熱 材	アルミ箔	アルミ箔の単板か、アスファルトルーフィングなどと併用し たものがある。 外壁、天井裏、屋根下地などに用いられ、放射熱を防ぎ防湿 の役目を果たす。	他 の 断 熱 材 と の 組 み 合 わ せ
	木毛セメント板	木細片にセメントを加えて圧縮成型したものである。壁や屋 根の下地に使われているが、これのみで所要の断熱性能を得 ることは困難である。	
	石膏ボード	穴のない平石膏ボードで、防火・遮音性のよい断熱材として、 天井、内壁、屋根下地に広く使用されている。単独では所要 の断熱性能は得られないので、性能の高い断熱材と組み合わ せる必要がある。	

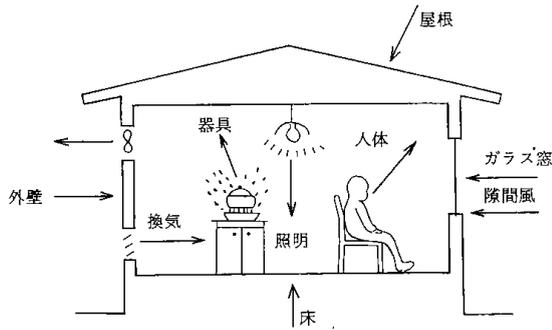
(3) 断熱工法

i) 断熱工法の動向

図2・4-1(a)及び(b)に、建築構造物の熱移動

と熱損失の概要を示した²⁾。先に述べたように南の日射を取り入れ、熱損失を防ぐためには建築構造物の外形の凸凹をできるだけ少なくして表面積を

●冷房負荷経路



●暖房負荷経路

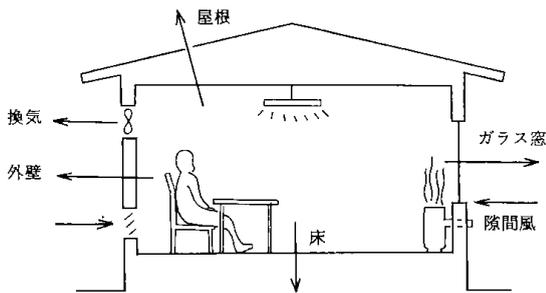


図2・4-1 (a) 熱の移動と損失

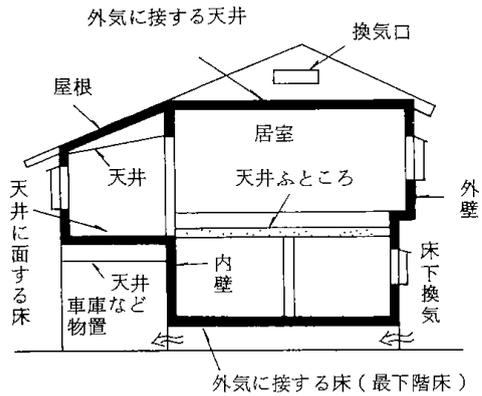
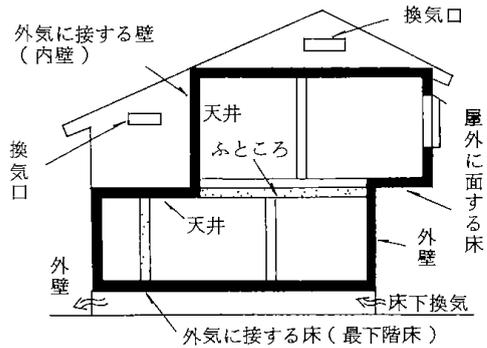
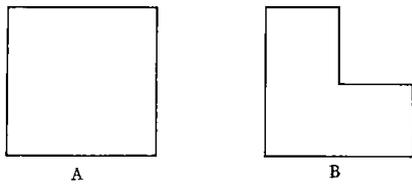


図2・4-2 断熱の必須部位

●単純な外形



BはAの4/3の面積しかないのに外周の長さは同じ。従ってBの方が面積当たり熱損失が大きい。

●中空通気壁による対流

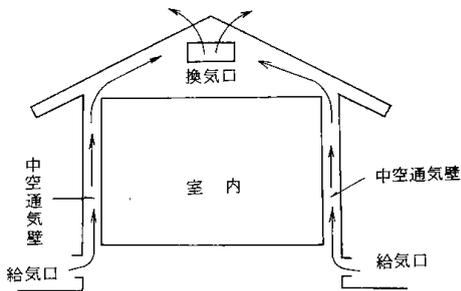


図2・4-1 (b) 熱の移動と損失

小さくする単純な外形が望ましい。天井の高さも必要以上に高くしないことも重要である。断熱の必須部位は 図2・4-2 に示した黒枠部であるといわれている²⁾。これらの細部の工法の概要、断熱材を使用する場合の留意点ならびに、技術課題に

ついて簡単なコメントを付して 表2・4-4 に示した⁴⁾。これらは主として、木造住宅を基準にしたものである。同表から、断熱工法では各部位とも断熱層の内部を通過する気流防止のため、隙間を作らないこと、また、建物全体をすっぽりと覆うことが望ましい。現在、北海道における木造住宅(簡易耐火住宅を含む)では断熱材の厚さがグラスウールで100 mm程度、高断熱住宅では 表2・4-5 に示すように、外壁でグラスウール150 mm以上と考えられている。最近では、現在の北海道における断熱基準で示された断熱材の厚さ以上の高断熱住宅が研究されており⁵⁾、 図2・4-3 に示すように、1985年以降にはグラスウール基準で300 mm位の厚さになるのではないかと予測されている⁴⁾。既に、北欧諸国では高断熱化は定着しており、例えば、 図2・4-4 に示すように、外壁で200~300 mmのグラスウールを使用し、細部についても良く工夫がされている。表2・4-6 に寒地住宅の性能による区分と断熱仕様の概要を示した。高断熱化の目的が寒さを除き、居住性を向上させることにあるのはいうまでもないが、工事費が高くなることや、断熱性能を十分に発揮させる正しい施工法が必須の条件となる⁴⁾ ことにも留意すべきである。

表2・4-4 各部位に対する断熱材の使用法

断熱部 留意点	床	外 壁	天 井	屋 根	間仕切壁	基 礎
概 要	床は外気が流入し易いので、床下空気が室内に流入しないようにする。	外気に接触する部分であるから、外壁の厚さは、できるだけ厚くする。外壁と床の取り合せ部位及び外壁と天井の取り合わせが重要である。	天井は熱が放出し易い部位であるから施工に注意する。	屋根の断熱は2つに大別される。 1.屋根と天井が一体の場合の断熱 2.小屋気積が小さく、かつ換気が少ない場合 両者の相違点は使用する断熱材の種類、厚さ、断熱部の位置が重要。	間仕切壁は断熱しない例が多い。 間仕切りに空間があると放熱が多く、気流止めが必要である。	床下空間の温度差は地域によって異なる。基礎部を30～50mm厚さの断熱をすると、床下空間の温度が上昇し床下からの熱損失は小さくなる。さらに、給水、給湯管の凍結が防止できる。
使用時の留意点	グラスウールなど通気性のある断熱材を使用する場合には、断熱材と受材の間には透気性のある建築紙、クラフト紙を入れる。	グラスウール、ポリスチレン、ウレタン系の断熱材など、いずれも隙間には小片を充填する。断熱材は耐火性が望ましい。	M型、落雪型の屋根では勾配がゆるく、小屋裏空間の狭い場合は、ブローイング工法、無落雪は板状、いずれも耐火性のものが望ましい。	断熱材の厚さは20～30mmで良い。断熱材は透気性、吸湿性の小さい押し発泡ポリスチレンが望ましいが、さらに耐火性も兼ね備えた素材が必要である。	特に指摘するような留意点はなく、市販品で良い。しかし、防火上から耐火性のものが望ましい。	吸湿性の小さい発泡ポリスチレンが望ましい。ただし、床下温風暖房では、耐火性のものが必要であるが、適当なものを使用した例は少ない。

表2・4-5 北海道の高断熱基準による木造住宅の部位別断熱材の厚さ (mm)

地域	部 位	工 法	グラスウール (10kg/m ²)	グラスウール (16kg/m ²)	ロックウール 押し発泡 ポリスチレン フォーム ポリスチレン ユリアフォーム	硬質ウレタン フォーム	
全 道	屋根又は天井	天井に断熱材を施工したもの	200	200	175	120	
	壁	裏壁造で断熱材を施工したもの	/	グラスウール 50+押し発泡 ポリスチレン 50	100	75	
		大壁造で断熱材を施工したもの	グラスウール 100+押し発泡 ポリスチレン 30	グラスウール 100+押し発泡 ポリスチレン 25	100	75	
	床	外気に接する床	たたみの下に断熱材を施工したもの	150	100	100	75
			板張の下に断熱材を施工したもの	150	150	125	100
		その他の床	たたみの下に断熱材を施工したもの	100	100	75	50
			板張の下に断熱材を施工したもの	150	100	100	75

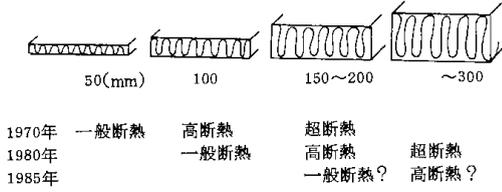


図2-4-3 高断熱の概念

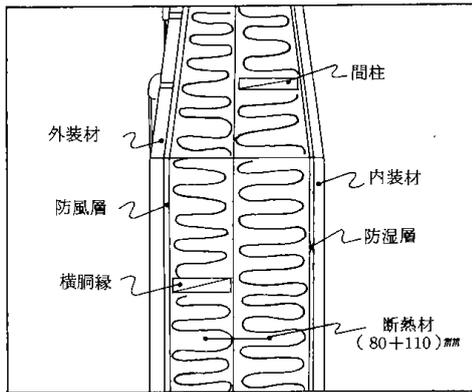


図2-4-4 スウェーデンの外壁の例

ii) 外断熱⁶⁾

建築構造物の高断熱を図る方法の1つとして、外断熱工法が注目されている。工法別には、モルタルを使う湿式工法、表面仕上材と断熱材の複合パネル使用する乾式工法、また、表面仕上材をチャンネルなどで固定し、断熱材と仕上材との間に空気層を設ける外断熱通気工法の3種類があげられる。これらの方法は、建築構造体の熱容量を生かすものであり、木造住宅に関する従来工法に適用する場合には効果が大きい。外断熱を行うに当たっては、①室内側の防湿工事をできるだけ気密化し、漏れる水蒸気は外気側に開放して外気に逃げ易くするなどの内部露防止対策、②間欠暖房方式は不向きで、全屋連続暖房に適していること、③工法と断熱材の選定にあたっては、経済的で長期の気象条件に耐えるほか、地震、火災、風圧等に対する安全性に注意することが必要である。外断熱は、従来工法に比べて施工費が割高になるといわれているが、①室温が安定すること、②構造体の保護による耐久性の向上、③内断熱に比べて、室

表2-4-6 寒地住宅の性能ランクと断熱仕様⁵⁾

(寒地住宅開口部研究会)

ラ ン ク	建 物 の 性 能	断 熱 仕 様											
		注1 熱損失 係数K (kcal/m ² ·hr·°C)	自 然 換 気 回 数 (回/hr)	注2 灯 油 消 費 量 (ℓ/m ² 年間)	暖房方法	床 方 式			断 熱 方 式 (例)				
						総 地 下	土 間 床	一 部 土 間 床	床 下 有	断熱材 断熱 部位	(a) 押出し発泡ポ リスチレン板 (スタイロフ フォームなど)	(b) フェルト 状断熱材 (グラスウ ールなど)	(c) (a)と(b)の 併用工法
A	北 欧 カナダ並	<1.5	<0.5	<10	全室全日 暖房(微 小・短時 間燃焼で 可)	○	○			屋根又は 天井 >150mm (屋根)	>300mm (天井)		
B	AとCの 中 間	1.5~2.0	0.5~1.0	10~20	全室全日 暖房(微 小・短時 間燃焼で 可)	○	○	○		屋根又は 天井 >100mm (屋根)	>300mm (天井)	(a)>100mm(屋)又 は(b)>300mm(天)	
C	北海道の 高断熱 基 準	2.0~2.5	1.0~1.5	20~30	間欠暖房 または 部分暖房				○	○	屋根又は 天井 >100mm (屋根)	>300mm (天井)	(a)>100mm(屋)又 は(b)200mm(天)
D	国の省エ ネルギー 基 準	2.5~3.0	1.5~2.0	30~50	部分かつ 間欠暖房 以外は困 難				○		屋根又は 天井 >100mm (屋根)	200mm(天井)	(a)25mm(屋)+ (b)100mm(天)
E	D以下 [既存住 宅の大 部分]	>3.0	>2.0	>50	部分かつ 間欠暖房 以外は困 難				○		天 井	<100mm	
											壁	<100mm	
											床	<100mm	

注1. 建物全体に対する熱損失係数
2. 給湯は別、暖房面積1m²当りの年間消費量

内の面積や気積に関係なく、断熱層を厚く施工することができるなど多くの利点がある。しかし、断熱材、外装材の改良及び開発や細部にわたる施工法等について、なお検討すべき課題が残されているといわれており、今後、より一層の進歩が期待される。

戸建住宅の外断熱については特別の規制はないが、事業所ビル等の大型の建築構造物に対する外断熱工法については、防火対策上の外装材及び断熱材の耐火性に関する建築基準法が未整備のため、暫定的な規制が行われている。すなわち、耐火構造とした外壁に施す外断熱工法を基本とし、①外装材が防火構造で、断熱材が自己消火性のある場合、地階を除く階数5以下、②外装材が不燃材料で、断熱材が自己消火性の場合、地階を除く階数2以下の範囲で施工が可能である。③その他、外壁の開口廻りと外装材継目の処理、外断熱工法の緊結等について、北海道では59年4月1日より行政指導が行われている。

2) 断熱化の課題

断熱材の種類、断熱住宅工法等を概観した結果、高断熱化を図ることによって、建物の熱損失係数を $2.0\text{kcal/m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ 以下にすることが可能と思われる。しかし、そのためには安価で性能の優れた断熱材、外装材等の材料の開発が必要である。

現在、使用されている断熱材は天然高分子や合成高分子系など多岐にわたっているが、断熱工法上のまずさによって効果が半減する⁴⁾ので、施工法の細部にわたる標準化や施工技術者の教育及び訓練も大切である。

現状の断熱材は、断熱性が優れていても吸湿性があったり、疎水性の大きいものは耐熱性が悪いなど長所短所を合わせ持つものが大部分である。北海道における寒地住宅用の材料を考えると、北海道内に林生する木材の活用が挙げられよう。木材は熱伝導率が小さく、風土に合った優れた素材でもあり、これを加工した構造材料、例えば窓枠を含めた材料の開発は急務であると思われる。

建物が高断熱化するにつれて、窓の部分からの熱損失量が相対的に増加し、大きな割合を占めるようになるため、窓枠を含めた窓の材料の開発も大切である。窓枠材として、アルミニウム材に合成樹脂をコーティングしたものは、耐候性の点で長年の使用に耐え難い。これらの改善も必要である。

今後の断熱材料の開発の目標は、対流の生じない

密閉された静止空気層以下の熱伝導率を持つ材料といえよう。その一つとして、伝熱機構の異なる材料を組み合わせた複合断熱材などが考えられよう。

参考文献

- 1) 日本建築学会北海道支部編：「寒地建築教材，概論編」，P.72，(昭和57年)
- 2) サンケイ出版：「住まいづくり百科」，1980年版，P.242～250，(昭和54年12月)
- 3) 北海道マイホームセンター：「パンフレット」，(昭和58年)
- 4) 北海道立寒地建築研究所：「普及資料」，82-3，昭和57年，83-5，昭和58年，83-16，昭和58年
- 5) 北海道建築士会監修，(株)日本建設新聞社：「北国の住宅百科」，33集，P.52～57，(昭和58年9月)
- 6) 北海道立寒地建築研究所：「普及資料」，84-1，昭和59年

2.4.2 廃熱回収

廃熱には、火力発電所、プラント、一般ビルの冷却塔での潜熱の放出、空調及び換気など種々のものがある。しかるに、我が国ではこれらの廃熱はビル空調などごく限られた例を除いて、一般に暖房に積極的に利用されていないのが実情である。その理由は、プラントを例にとると廃熱側と熱利用者側の距離が離れていることが多く、廃熱搬送の設備投資費の回収ができないこと、将来の環境汚染に関する認識が薄いなどである¹⁾。

都市の人口増加は、無効エネルギーの増加や都市のエントロピーの増加をもたらし、河川の水質汚濁など社会問題を引き起こしている。設備システムを計画するとき、系のクローズドシステム化を可能な限り実現し、廃熱の有効利用を図ることが重要である¹⁾。

1) 建築物の廃熱¹⁾

廃熱にはボイラー廃熱($\sim 300^\circ\text{C}$)、排気熱($20\sim 23^\circ\text{C}$)、室温より温度の低い排水熱($15\sim 20^\circ\text{C}$)などがある。このうち約 80°C 以上の廃熱は、水、空気とも直接もしくは熱交換を行い産業あるいは生活に利用できるため、それを廃熱として取り扱わない。ここでは、空気系(換気)と建物の熱回収で得られた低温水、ボイラー廃熱の有効利用について述べる。

一般に、ビルの下水の大部分はトイレの洗浄水で

ある。この水は汚濁がひどく、そこから集熱を行うための性能のよい熱交換器がないため、ほとんど利用されていない。また、ホテルの風呂の下水の熱回収についても実験段階であるので、ここでは触れない。

北海道における建築物からの廃熱の特色は、ボイラー廃熱が極めて大きいことである。また、地下鉄排熱の利用が計画されていることも特色としてあげられる。

2) 空気系の低温廃熱回収¹⁾

排気された空気を持つ熱を回収して、給気を冷却または加熱することによって省エネルギー化を図るものである。一般ビルにおいて給排気口が接近している場合には、全熱交換器による方法が採られている。

空気-空気系の全熱交換器は、空気中の顕熱(温度交換)及び潜熱(水蒸気)を回収できるため全熱交換器と呼ばれ、全エンタルピー交換効率は80%にも達する。全熱交換器による水蒸気の回収は、吸放湿剤として塩化リチウムをクラフト紙などに含浸させたものを用いる。全熱交換器には2つの方式がある。

(1) ロータ式

繊維、クラフト紙などで作られたロータが給気管・排気管を連絡しモータで回転し、ロータが排気の顕熱・潜熱を吸収して給気側に放出する。温度と湿度に対する効率が近似的に等しく、熱交換効率が低い。ちりやごみが機内に堆積しにくい特徴があり一般に数多く設置されている(図2・4-5, a)。

(2) 透過式

隔膜がハニカム構造になっており、熱交換効率を高めている。吸気と排気が完全に分離しているので、排気中の臭気、バクテリア、ガスなどが移行しない。可動部分がないので、取付け位置が比

較的自由であるという特徴があるが、ロータ式に比べ設置数は少ない(図2・4-5, b)。

全熱交換器では外気温0℃、交換効率80%、空気比を1:1と仮定すると、集熱回収コイルを用い、全熱交換器を通して空気は3~4℃位まで温度を下げ、熱回収を行って排気される。

その他の低温廃熱回収方式として、空気-水あるいは空気-冷媒熱交換方式の冷却コイルがある。これは、水の流れるコイルに空気を通過させるものであり、温度の高い空気に対しても使用可能である。水蒸気の回収は、空気を冷却コイルを用いて露点温度以下に下げ、空気中の水蒸気を凝縮して凝縮熱を得る方法である。冷却コイルを用いる場合は、熱媒の温度以下には空気の温度を下げる事ができない。冷却コイル及び全熱交換器のいずれにも熱効率、結露など種々の問題があるが、両者の長所を有効に利用することによって、有効なシステムを組み立てることができる。

3) 熱回収ヒートポンプ

建物の熱回収の一つに、蓄熱槽(水槽)と組み合わせられたヒートポンプ空調システムがある²⁾。熱回収空調方式は、セントラル方式とユニット方式に分類できる。それらの特徴は次の通りである。

(1) セントラル方式³⁾

建物内の熱移動をヒートポンプ二次側の冷温水管によって行うものである。主なヒートポンプは一台である。したがって、建物の部分部分で冷暖房を単独に行うことはできない。

空調系統の冷水コイル、排気系統の熱回収コイルは熱の汲み上げ側で、ヒートポンプの熱源となる。排熱側で放出された熱はペリメータ(建物の外周部分、インテリアと区分される)など暖房負荷のある系統に流れ、釣り合い温度以上では冷却塔からも放熱し熱バランスを保つ。釣り合い温度以下では、冷却塔からの放熱はゼロとしても熱が不足となり排気からの熱回収、ボイラーなどで不足熱量を補う。

密閉式回路では密閉式蓄熱槽を用いることもあり、開放式回路では、冷房系統側と暖房系統側に2つの蓄熱槽を有する(図2・4-6, a及びb)。ヒートポンプは、温水温度が低いので蓄熱槽の水量が多くなり開放式の蓄熱槽が実用的であるが、ボイラーなどの補助熱源を併用し蓄熱温度を高くとれば密閉式蓄熱槽も使用できる。補助熱源に、他の熱源を使わずに蓄熱槽のみによることも可能である。

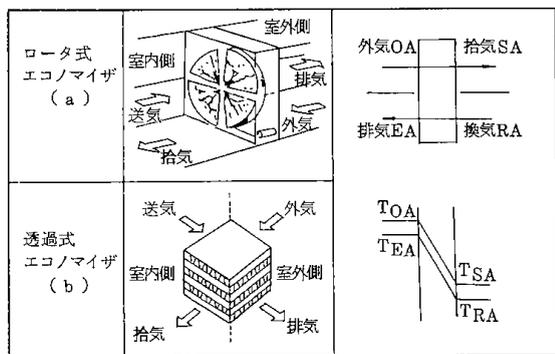


図2・4-5 空気系の低温廃熱回収方式¹⁾

その場合は槽は一槽で、蓄熱時には温水側に、吸熱時には冷水側に槽の水を伝えるように切替弁を設ける(図2・4-6, c)。配管系統が密閉回路の時は、配管系統と槽の間に熱交換器を設ければ開放式蓄熱槽が使用できる。

(2) ユニット方式

建物内の熱移動をヒートポンプ一次側の熱源水配管,または熱源空気ダクトによって行う。この場合,熱源としての水または空気が共通配管されていないものは,極めて不完全な熱回収しか行うことができない。冷暖房は個別のヒートポンプユニッ

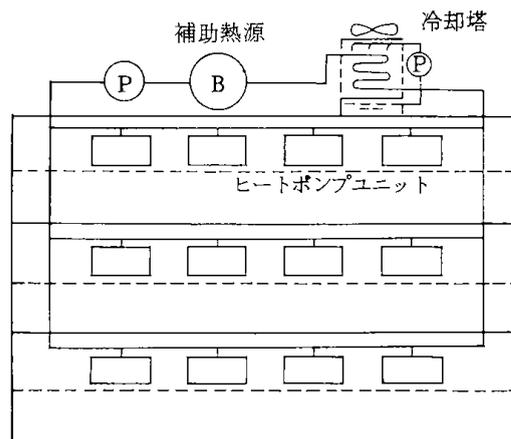


図2・4-7 ハイドロ・エレクトリック・システム⁵⁾

ト(部屋の数)の制御による⁴⁾。

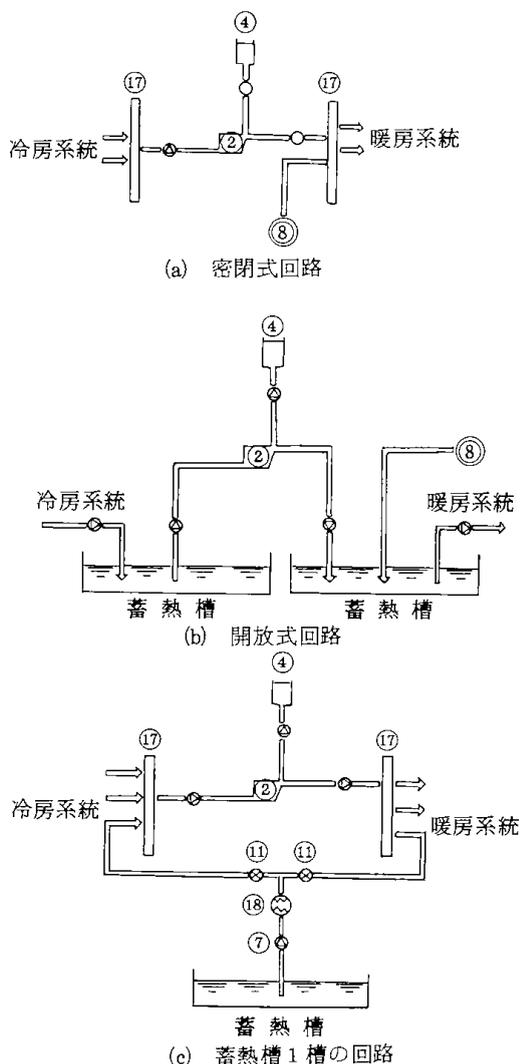
ここでは,ハイドロ・エレクトリック・システムと呼ばれるヒートポンプの特徴を生かした熱回収システムについて述べる(図2・4-7)。各ヒートポンプユニットは,その部分の熱要求に応じて,自動的に冷房,暖房,停止を行う。その結果,吸熱,放熱の差分は各ヒートポンプユニットを共通に結ぶ循環水の水温変化となって現われるから(20~40℃),必要に応じて補助熱源で加熱または冷却塔で放熱して,循環水の温度を一定に保つ⁵⁾。

建物の大型化に伴い一般部分の暖房時間に,南側の日射を受ける部分や,内部空間の電算機室など機器発熱の大きい部分で冷房が必要となるという。いわゆる冷温の複熱源が要求されてきた。しかるにこの方式は,建物内の余剰熱を利用して暖房できるばかりでなく,個別のヒートポンプユニットの制御により,きめ細かく空間の使用状態に応じて冷暖房の発停ができる長所がある⁴⁾。

4) ボイラー廃熱

変電室,ボイラー室などの排気は,例えばビル内の駐車場の暖房に利用できる。ボイラー煙道排熱は約300℃で,この熱はボイラーの約20%に相当する。廃熱回収装置によりこれを温水で回収し,温水は廃熱タンクに貯められ給湯,空調,床暖房,融雪などに使用されている。また,ボイラーの排熱をヒートパイプで回収して,ボイラーの吸入空気の加熱に利用することもできる。

その他,工場などではコンプレッサーなど機械からの発生熱,各種冷却水,プールの廃熱及び地温,温泉水などの自然エネルギーを利用するヒートポンプが数多く稼動している。



- ①: 電動ターボ冷凍機
- ②: ダブルバンドルヒートポンプ
- ③: ダブルバンドルヒートポンプ (蒸発器もダブル)
- ④: 冷却塔
- ⑤: 冷却水ポンプ
- ⑥: 冷水ポンプ
- ⑦: 温水ポンプ
- ⑧: 電気ボイラ
- ⑨: 高温水蓄熱タンク
- ⑩: 膨張タンク
- ⑪: 切換え装置
- ⑫: ヘッド
- ⑬: 空気熱源ヒートポンプ
- ⑭: 冷温水ポンプ
- ⑮: 高温水ポンプ
- ⑯: 二重効用吸収冷凍機
- ⑰: 炉筒煙管蒸気ボイラ
- ⑱: 熱交換器

図2・4-6 セントラル方式ヒートポンプ³⁾

6.7

参考文献

- 1) 佐野：空気調和衛生工学，**54**，725(1980)
- 2) 空気調和衛生工学：**56**，487(1982)
- 3) 新：'72セミナーテキスト熱回収空調方式について，空気調和衛生工学会，(1972)
- 4) 石福：ibid
- 5) 成田：省エネルギー，**30**，(11)，39(1978)

2・4・3 蓄熱

廃熱を一時貯蔵し，必要に応じて取り出す蓄熱技術が今後のエネルギー技術の一つとして注目されている。また，この技術は無限の太陽熱の活用にもつながり，日中の気温を夜間に使用するシステムも可能とする。

蓄熱方法には，大別して顕熱，潜熱及び化学蓄熱がある。顕熱を利用する方法は蓄熱材の温度上昇で熱エネルギーを蓄えようとするものであり，潜熱による方法は蓄熱材の転移（結晶形の変化）や融解，凝固に伴って大きな熱の吸収，放熱が起こることを利用したものである。化学蓄熱は，熱エネルギーを化学現象，特に化学反応を利用して化学エネルギーとして貯蔵する方法である¹⁾。

現在，使用されている蓄熱システムの大部分は，顕熱利用のものである。これは，顕熱利用蓄熱器の経済性に負うところが大きい。いかに熱の特性が高い蓄熱システムといえども，その製造及び運転コストが高ければ，熱のような付加価値の低いものを貯蔵する手段としては，失格である²⁾。蓄熱システムは，夜間及び朝の暖房ピークロードを軽減させるために有効である。

1) 水蓄熱

温水はシステム循環熱媒体を兼ね，またそのまま生活に用い得る比熱の大きい液体であり，空調，衛生分野では蓄熱材として極めて多くの実例がある³⁾。

集熱器と組み合わせた蓄熱水槽の形成は，大別して自然循環式と強制循環式がある。自然循環式の場合は，蓄熱水槽は集熱器の上に位置し，集熱器で温まった水は上昇し水槽に入り，水槽からは冷たい水が自然に下り集熱器に入る。こうして熱サイフォン作用により温水で蓄熱される。一方，強制循環式では水槽の位置はどこでもよく，ポンプを用い，水槽と集熱器との間に水を強制的に循環させる。この場合，注意しなければならないことは，集熱器の温度が低いときにはポンプを作動させな

いことである⁴⁾。

太陽熱集熱器の場合，水槽容量は，集熱面積 1 m^2 当り 40 l を標準としている。保温のための断熱材は最低 100 mm は必要で，底部の保温も必ずしなければならない。その他ビルなどでは，**2・4・2・(3)** で述べたヒートポンプと組み合わせた水蓄熱槽があり普及しつつある。

2) 固体蓄熱

碎石，砂利，煉瓦，コンクリートブロックなどの熱容量を利用し，空気を媒介として熱の輸送を行う。碎石蓄熱槽は一般に床下埋込みにされ，保温が必要である。空気を循環させるには送風機が必要であり，送風機は集熱系統と暖房系統との両方別々に設けるのがよいと考えられている。集熱器からの温風は碎石槽に入り，石はその熱を吸収して温まっていく。熱を取り出して使うときは逆で，室内の冷たい空気を入れると，その空気は石から熱を奪って温風となり室内へ出てくる⁴⁾。

固体蓄熱の他の方法はパッシブタイプで，ビルでは当然のことであるが，熱容量の大きいコンクリートなどの壁や床に蓄熱することが一般化しており，特殊な例として太陽熱を利用するトロンプ壁が有名である（**図 2・4-8**）⁴⁾。**表 2・4-7** に，顕熱蓄熱材の熱物性値を示した²⁾。

3) 潜熱蓄熱

蓄熱材の融解潜熱を用いる方法の例として，芒硝 ($\text{NaSO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$) を用いる場合について述べる。この物質は 32°C になると溶けて，やがて全部液体になる。その間，温度は 32°C 転移点で変わらず芒硝は熱を吸収し， 1 kg 当たり 60 kcal の熱を蓄える。逆に温度が下ると 32°C で液体は固体となり，その間，熱を放出する⁴⁾。また， $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$ も試験的に使用されており潜熱蓄熱の実用化も近いと思われる。

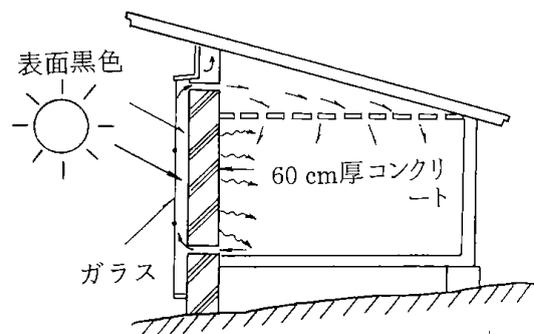


図 2・4-8 オデイヨのソーラーハウスの断面⁴⁾

表2-4-7 各種顕熱利用蓄熱材の熱物性値²⁾

蓄熱材	比熱	比重	容積比熱	熱伝導率	熱拡散率($\times 10^8$)
単位	kcal/kg $^{\circ}$ C	kg/m 3	kcal/m 3 $^{\circ}$ C	kcal/mh $^{\circ}$ C	m 2 /h
水	1.0	1,000	1,000	0.5	50
不凍液	0.86	1,068	910	0.42	46
砂	0.22	1,850	407	0.29~0.32	75
砂	0.22	1,500	330	0.26~0.28	82
土(乾燥)	0.22	1,300	286	0.45	157
土(湿潤)	0.26	1,400	364	1.1	302
コンクリート	0.21	2,400	504	1.4	278
コンクリートブロック	0.21	1,620	340	—	—
レンガ	0.22	1,850	407	0.35	86
木材	0.3	550	165	0.31	188
鋼	0.115	7,800	897	53	50,908
アルミニウム	0.211	2,700	570	175	30,700
銅	0.092	8,840	813	330	40,590

4) 化学蓄熱

顕熱、潜熱蓄熱に比べ化学蓄熱は次の特徴を持っている。①蓄熱密度が大きい。②エネルギーが貯蔵中に放散することがない。③そのために、常温で長期間の蓄熱が可能である。さらに、2つの反応を利用するケミカルヒートポンプへの応用が可能なることから、最近このシステムが注目されている。化学蓄熱の原理は、吸熱反応によって熱を貯蔵し、必要に応じて逆(発熱)反応を行わせて熱を取り出すというものである。それらの例は次の通りである¹⁾。

1) 水和物 $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{S}) = \text{Na}_2\text{S}(\text{S}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 75 \text{ kcal/mol}$

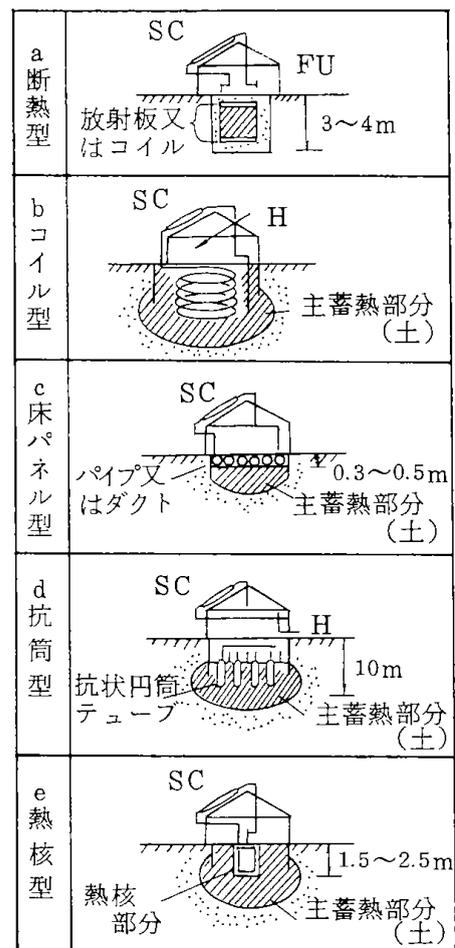
2) 水酸化物 $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{S}) = \text{CaO}(\text{S}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 25 \text{ kcal/mol}$

3) ゼオライトによる H_2O の吸収、吸着熱 16 kcal/mol

5) 長期蓄熱

土中蓄熱、地下滞水槽蓄熱、ソーラーポンドなどが長期蓄熱法として実用化されつつある。また、水槽蓄熱の一例としてデンマークのゼロエネルギーハウスでは、膨大な大きさの水槽を用いて夏の間に水に熱を蓄え、冬になって少しずつこの熱を取り出して暖房に利用している。

土中蓄熱には2つの考え方があり、1つは有限断熱槽とするもの、他は半無限半断熱槽とするものである。前者は、熱損失が少ない割には大地本来の



SC:蓄熱器 FU:ファンコイルユニット

I:断熱材 H:ヒートポンプ

b~eは半断熱型

図2-4-9 土中蓄熱槽の分類³⁾

もつ自然エネルギーを回収することはできない。後者はその逆で、熱損失の大きい外乱面（地表面等）のみを断熱する。いずれの方式も設計法と評価法の確立は今後に残されている³⁾。

地下滞水層蓄熱は、季節間の蓄熱に用いるほか中間期太陽熱の蓄熱にも利用されるが、実用としては数が少ない²⁾。それに対し土中蓄熱は最も太陽熱利用に密着し、実用例も多い。図2・4-9に土中蓄熱システムを示す³⁾。地下4mに埋めた、表面積300㎡のラジエーター(パイプの代り)での、季節蓄熱シュミレーションによれば、当初蓄熱した熱量の45%が地表から空中へ、31%が伝熱で土中へ逃げ、残る24%が回収できるという²⁾。

参考文献

- 1) 化学工業日報, 7月25日号(1983)
- 2) 朝比奈, 小坂: サンシャインジャーナル, 4,(6), 7, (1983)
- 3) 中原: 化学工学, 47, 629(1983)
- 4) 木村: ソーラハウス入門, P.77, オーム社(1982)

2・4・4 暖房

1) 建物の省エネルギー

昭和55年2月に「エネルギー使用の合理化に関する法律」に基づく技術基準が告示され、ビル建物は本格的な省エネルギー化の段階にある。その内容はCEC(空調エネルギー消費係数)1.6以下, PAL(年間熱負荷係数)80Mcal/㎡年以下である。(ただし, CEC: 空調機器エネルギーcal/仮想空調負荷cal, PAL: 建物外壁部(ペリメーター)単位面積当たりの年間空調負荷。)

省エネルギーの建築計画で考慮される項目は次の通りである。すなわち床面積, 階数, たてよこ比, コア(非空調部)タイプ, 窓面積比, 外型K値(熱貫流率), ガラスの種類, ブラインド, 外部日除け, 方位, 断熱仕様, 庇構造などである。機械設備計画では, 暖房方法, 排熱回収, 空調, 全熱交換器, パネルラジエーター(窓下部のペリメーター), 室内空気清浄器, 太陽熱回収, 電気設備などである¹⁾。以下に, 主として住宅の暖房方法について述べる。

ストーブのように, 独立した発熱源を暖房する部屋に直接置く暖房の方式を各個暖房というのに対し, 発熱体を住宅の中の一箇所に集中し, そこでできた熱を, 温水, 温風として, 各部屋に供給す

る暖房の方式を中央暖房(セントラル・ヒーティング)という。現在, ストーブ類について普及しているペチカ, オンドルなどは, 各個暖房設備に属してはいるが, 各個暖房, 中央暖房の中間的な暖房性能をもっているとも考えられる。表2・4-8に各種暖房設備の特色を示した^{2,3)}。

2) ストーブ暖房

煙突のない石油ストーブ, ガスストーブなどは, 発熱量も少なく, 室内の環境衛生上好ましくない燃焼ガス, 水蒸気を多量に発生するので, 発熱量を多く必要とし, かつ閉め切りがちな寒冷地の住宅における主暖房に適した設備とはいえない。電気ストーブも電力費ががかり過ぎるので, 同じく主暖房設備としては適さない。したがって, 主暖房設備として用いられるストーブは, 以上のストーブを除いて考えなければならない。貯炭式ストーブ, 貯コークスストーブ, ルンペン式ストーブ, 煙突付きの石油ストーブなどは, 持続的で緩やかな燃焼をさせ易いので, 保温的な住宅で安定した暖房を行なうのに適している²⁾。しかし, 高気密住宅では酸素欠損を起こし, ストーブが消えることがあるので, 注意が必要である。

2階の部屋の暖房を, ストーブで暖房する1階の部屋の温気を送って行く場合がある。この際, 普通は2階の床と1階の天井との間に温気の通路を設ける。2階床面から1階床面近くまで達するダクトを設けると, 1, 2階間の温気の循環がよくなり, 2階の暖房効果を高めるのに役立つ。温気の通路は, なるべくストーブに近い位置に, また, ダクトはストーブから遠い位置に設けるようにすれば良い結果が得られる²⁾。この方式は床暖房とともに, 省エネルギー住宅暖房の一つの方向を示すものである(図2・4-10)⁴⁾。

3) ペチカ及びオンドル暖房²⁾

ペチカは, そのかまどで燃やした燃料から出る高温の燃焼ガスが, 熱容量の大きいレンガ製の壁体内の煙道を通る間にその壁体を暖め, いったん暖まった壁体(70~120℃)から除々に熱を室内に放散する設備である。ペチカ付き住宅を計画するには, まず, ペチカに適する間取りを作ること, またペチカ付き住宅の断熱度はできるだけ高いものにすることが大切である。ペチカは無理焚きができないため, その単位表面積からの放熱量も, 自ずから決まってしまう。

一方, オンドルは, 床下に設けたコンクリート

表2・4-8 各種の暖房設備特性²⁾

①	②	③	④	⑤	⑥	
	暖房設備の種類	※ 熱効率%	放熱特性・暖房効果 (保温的につくられた建物) 内における特性と効果	室内空気汚染の有無	取扱の難易	
各 個 暖 房 設 備	薪ストーブ	60～65	<ul style="list-style-type: none"> 着火後、室温上昇迅速。 持続燃焼困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 煙突があるので、室内空気を汚すおそれがない。 	<ul style="list-style-type: none"> 薪の投入手間繁離。 煙突の掃除回数少なし。 	
	石炭ストーブ	投入式	60～70	<ul style="list-style-type: none"> 着火後、室温上昇に若干時間を要す。 接続的に燃焼し、保温的な住宅内において安定で、快適な室温を保ちやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 石炭ストーブでは、投炭時に炭塵、灰取時に灰が、室内に若干溢出することがある。 煙突の継目に隙間があると、燃焼ガスが溢出するおそれがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 投込式は、燃料供給手間が繁離。 石炭ストーブは、全部灰取手間必要。 投込式は、煙突掃除回数多し。
		貯炭式	70～75			
		ルンペン式	75～80			
	コークスストーブ	投込式	65～70	貯炭式ストーブの場合に略々準ずる。		<ul style="list-style-type: none"> 着火の手間が繁離(ガス着火のものもあり)。 灰取操作必要。 煙突掃除回数は極く少なし。
		貯コークス式	75～80			
	ガスストーブ	石炭ガス(無煙突)	95	<ul style="list-style-type: none"> 放熱方式には、対流式と放射式とがあるが、一般に発熱量が少なく、主暖房設備に不向。 	<ul style="list-style-type: none"> 発熱量1,000kcal当り、約160gの水蒸気及び約0.14m³のCO₂が放散される。 不完全燃焼でCO発生。 	<ul style="list-style-type: none"> 着火、消火操作は簡便。 燃料補給手間少なし、石油ストーブの時は大型タンクを用意すれば手間軽減。
		プロパンガス(無煙突)				
	石油ストーブ	有煙突	65～70	貯炭式、ルンペン式ストーブの場合に略々準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 無煙突の場合、発熱量1,000kcal当り、約100gの水蒸気及び約0.14m³のCO₂が放散される。 不完全燃焼でCOと石油臭発生。 	
		無煙突	95	ガスストーブの場合に略々準ずる。		
	電気ストーブ	100	ガスストーブの場合に略々準ずる。	室内空気汚染の原因が全くない。	至便。	
	ペチカ	75～85	<ul style="list-style-type: none"> 温和な暖房効果、良好な室内温度分布が得やすい。 外気温の変動に応ずる室温調節やや困難 	<ul style="list-style-type: none"> 投炭時に炭塵、灰取時に灰が室内に若干溢出することがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ダンパー操作必要。 投炭回数は、日に3回位。 灰取り必要。 煙突掃除回数は年1回以上。 	
	オンドル	65～75	ペチカの場合に略々準ずる	ペチカの場合に略々準ずる	同上	
中央暖房設備	温水暖房設備		<ul style="list-style-type: none"> 全屋暖房可能。 温和な暖房効果を得やすい ボイラーの火を消しても、室温低下は緩慢。 	室内空気汚染の原因が全くない。	<ul style="list-style-type: none"> 石炭焚の場合には、投炭、灰取りの手間が必要。 油焚、石炭焚何れの場合も、自動燃焼装置付のものは、燃焼調節容易。 	
	温風暖房設備		<ul style="list-style-type: none"> 全屋暖房可能。 着火後、室温の上昇比較的迅速。 良好な室内温度分布が得やすく、室温調 	積極的な室内空気の濾過、加湿も可能。		

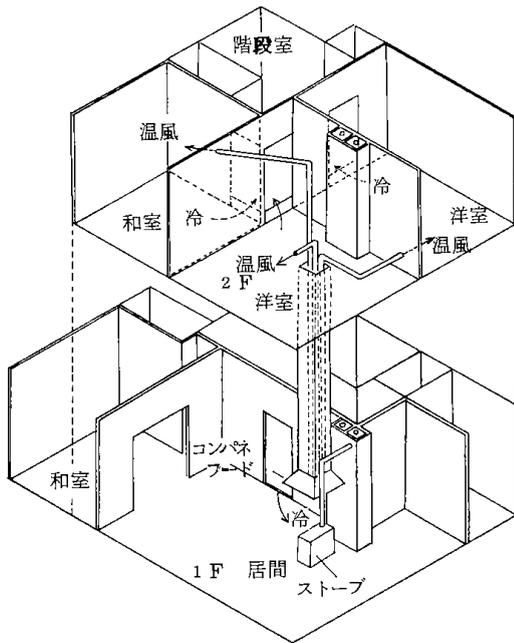


図2-4-10 石油ストーブによる暖房システムスケッチ⁴⁾

製の版を敷き並べた構造のもので、かまども有しペチカを水平にしたものと考えればよい。オンドルは、20～50℃の表面温度をもつ低温遠赤外線放射暖房設備で、これによれば、室内の上下水平方向の温度分布は、あらゆる暖房設備のうちで最も平均化され、快適な暖房が作られる。

4) 床暖房

床暖房の歴史は古く、前述のオンドル、中国のフオンカン、ドイツのカシンなど最少の燃料で快適な暖房として、注目され普及の兆しが見られる。本格的な床暖房には、負荷面積によって熱源となる機器を選ばねばならないが、従来のセントラルヒーティングのような80℃以上の温水を循環させ、放熱器によりその熱を間接的に温風に換えて、室内に伝える方式とは異なる。直接、床パイプに50～60℃の温水を一畳当たり2ℓ弱の必要量だけ循環させるので、5,000 kcal/h程度で8畳間4室位には充分間に合うことになる。それだけに現行のストーブ暖房で消費する灯油量をはるかに減少できると考えられる⁵⁾。

本格的な床暖房は2つの方法がある。温水パイプを床埋込みにする方法と、床パネルを必要なだけ組み合わせ、工事の軽減を図る方法である。床パネルには銅管または樹脂管が用いられ、荷重に耐えるように表面を0.6mm程度の鋼板仕上げにしてある⁵⁾。

床暖房の普及を阻む問題点は、価格が高いこと、

工事内容の不備で性能が十分に発揮できない、窓からの冷気流を防止できないことなどである。しかし床暖房を採用すると、頭寒足熱で通常の室温が22～23℃とすれば、それより5℃低い18℃位で暖かく感じられる。この室温差5℃を暖房エネルギーに換算すると室温を1℃上昇させるのに灯油5%多く必要とするというデータがあり、灯油量で25%節約できるという⁶⁾。また最近では、ストーブの廃熱を利用した簡易型床暖房もある。

5) セントラルヒーティング

この方式暖房を行う場合には、ストーブによる各個暖房の場合よりも、間取りが自由であり、かつ各室を独立に24時間にわたり、完全に暖房できるほか、燃焼設備の維持、管理の容易なものが多いなど、数々の特徴をもち、現在のところ、理想的な暖房環境を作ることができる。このような利点をもつ反面、設備費、燃料費が各個暖房の場合に比べて高くなるきらいがある²⁾。セントラルヒーティングとストーブ暖房を単純に比較すると、1戸当たりの灯油消費量は、およそ1.4～1.8倍といえるが、寒地住宅研究委員会の試設住宅(日本建築学会北海道支部)では、1,700～1,470ℓ/シーズンとストーブ暖房なみの灯油消費量で賄われている⁷⁾。

温水暖房では、ボイラーで作る80℃前後の温水を各室に配置されている放熱器とボイラーとの間を、重力あるいはポンプで循環させ、放熱器表面から、室内に熱を放散させて暖房を行うことになる。この場合の熱は、対流と放射の形で、放熱器から放散される。放射による熱は、放熱器の種類にもよるが、全放熱量の30～50%にも及び、ストーブ暖房の場合よりもその比率は一般に大きい。したがって、室分布も優れ、よい温感が得られやすい。温水暖房の一種に、床あるいは天井に、温水の通るパイプを埋め込み、その表面全体を温めて放射熱を放散させる放射暖房あるいは、パネル・ヒーティングによる暖房方法もある²⁾。

温風暖房では、温風炉で50～60℃に暖めた空気を、送風機で炉と各室との間に設けてあるダクトを介し、循環させ、各室の暖房を行うことになる。この際温度、湿度の調節、換気、空気の浄化を含め、室内環境を制御できることが、大きな特色となる。しかし、暖房の快適さは温水暖房の方が優れているようである²⁾。

6) 太陽熱

建物の熱損失係数を大まかにみて2.8以下ではストーブ暖房が、2.4以下ではセントラルヒーティングが望ましく、また2.0以下の高断熱住宅ではソーラーハウスの可能性が出てくる⁸⁾。ソーラーハウスには集熱部と蓄熱部があることがその特徴で、大きく分けてアクティブソーラーハウス(機械的)とパッシブソーラーハウス(自然的)の2種類がある。

アクティブ型は、集熱器、蓄熱槽、配管、ポンプなどの機械を使って太陽熱を集めるという機械システムが建物の中に組み込まれたものをいう。一方パッシブ型は、機械を使わず自然の力、例えば暖い空気は上昇し、冷えた空気は下降するというような性質を利用して家を設計するもので、建物自身が集熱体であり蓄熱体として働く。

一般にアクティブ型は、断熱などをした上で太陽熱設備を設けなければならず、高価である。また、最も進んだシステムとしてソーラーヒートポンプなどがある。パッシブ型では南面に大きなガラス窓をとり、そこから取り入れた太陽南面に大きなガラス窓をとり、そこから取り入れた太陽エネルギーをできるだけ逃がさない工夫をするものであるから、建築費は普通の家と大きくは変わらない⁹⁾。ソーラーエネルギー利用の実例については別章で述べる。

参考文献

- 1) 札幌市交通局, 札幌市交通局庁舎省エネルギー対策の概要, (1982)
- 2) 北海道住宅都市部寒地建築研究所, 北海道建築士

会, 第24回寒地建築技術講習テキスト(1981)

- 3) 寒地建築研究所, 第11回寒地建築技術講習テキスト, 寒地住宅の設計と製図別冊(1968)
- 4) 飯田, 築地: 北国の住宅百科28集, 北海道建築士会監修, 56(1982)
- 5) 須郷: 北国の住宅百科29集, 北海道建築士会, 132(1982)
- 6) 本樽: ibid, 205
- 7) 省エネルギー住宅の暖房, 北海道寒地建築研究所普及資料82-8(1982)
- 8) 鎌田, 北海道寒地建築研究所資料(1984)
- 9) 木村: ソーラーハウス入門, P.43, オーム社, (1982)

2.4.5 換 気

住宅の換気の主目的は、①生活によって発生する熱、水蒸気、臭気、じんあい、細菌、有毒ガスを除く、②暖房や炊事などに使用する燃焼器のために必要な給気、排気を行う、③室内、床下、小屋裏などの結露、腐朽を防ぐことである¹⁾。普通の生活に必要な、また結露が発生しない換気量は $20\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{h}$ である。また、暖房器などの燃焼に必要な空気量を表2.4-9に示す。多くの燃料では、大体 $1,000\text{kcal}$ あたりの理論空気量はほぼ 1.1m^3 位である。燃焼を持続するために必要な空気量は、それに器具特有の空気比を乗じて算出される²⁾。

木造住宅は、一般に開口部などの隙間から必要換気量が確保されているため、台所、トイレなどを除いては、特に換気設備を設ける必要が少ない。換気には、風力や室内外の温度差を利用する自然

表2.4-9 燃焼に必要な空気量²⁾

燃 料	理 論 空 気 量		空 気 比 (m)	総 発 熱 量 (kcal)	実 際 に 必 要 な 空 気 量
	単 位 燃 量 あ た り	総 発 熱 量 1,000 kcal あ た り			単 位 熱 量 あ た り (m^3)
石 炭	$6\sim 9\text{ Nm}^3/\text{kg}$	1.1 m^3	$1.5\sim 1.8$	$5,000\sim 8,000\text{ kcal/kg}$	$9\sim 16\text{ Nm}^3/\text{kg}$
灯 油	$11\text{ Nm}^3/\text{kg}$	1.03 m^3	$1.1\sim 1.4$	$11,000\text{ kcal/kg}$ (真発 $8,240\text{ kcal/l}$)	$15\sim 19\text{ Nm}^3/\text{kg}$
都市ガス (北ガス)	$4.5\text{ Nm}^3/\text{kg}$	0.86 m^3	$1.1\sim 1.3$	$5,000\text{ kcal/Nm}^3$	$5\sim 6\text{ Nm}^3/\text{kg}$
プロパン	$24\text{ Nm}^3/\text{kg}$	1.02 m^3	$1.1\sim 1.3$	$23,673\text{ kcal/Nm}^3$	$26\sim 31\text{ Nm}^3/\text{kg}$

表2・4-10 建物の自然換気回数¹⁾

構造別	回数
鉄筋コンクリート・組積造	0.5～1.2
高断熱の木造	0.8～1.2
普通の断熱の木造	1.2～1.5
在来木造（真壁）	2.5以上

注) 室内の空気が1時間で外気と入れ換える回数

換気と、高断熱で気密な住宅などで必要な換気量が得られないときの、強制的な機械換気の方法がある¹⁾。また寒冷地にあつては、壁の厚さを増せば増すほど、全熱損失における換気負荷の占める割合は相対的に増大してくるので、換気の衛生面や結露防止のみならず熱損失の側面を忘れてはならない³⁾。表2・4-10に、建物の自然換気回数を示した¹⁾。

1) 防湿

室内の湿った空気が壁体内に入り込み、冷えた所に露を結ぶ現象を内部結露といい、腐朽の一番の原因となる。それを防ぐために設けるのが防湿層で、ポリエチレンフィルム、はり合わせアルミニウムはくが一般に用いられる。冬期間、室内は屋外に比べ絶対湿度が高いため、防湿層は高温側、すなわち断熱材の室内側に設ける⁴⁾。

一方、表面結露は壁表面に起こる結露で室内で発生された水蒸気のうち開口部や間仕切りを通して外部や他の室に漏れる分と、周壁に吸湿される分を差し引いた正味の加湿量によって決まる⁵⁾。最近の建物では、平面壁部分での表面結露はほとんどみられなくなっているが、隅角部や冷橋(他の部分より著しく熱抵抗の小さな部分)による結露は、断熱強化に伴い発生が増加している。また、部分暖房で建物内に温度差のある空間があると、非暖房室全体が飽和状態に近くなり、わずかな温度低下でも結露を発生しやすい⁶⁾。

結露を防ぐには温度が下がらないようにするか、水蒸気圧を下げるかのいずれかをとればよい。そのために換気を良くすること、除湿器を設けることなどの方策があるが、温度の面からこれを極力防止するためには全室暖房を行って建物に低温な所を残さないということが必要である。

2) 湿度調節

調湿する、いわゆる呼吸する内装壁材が開発されている。これは、けい酸カルシウムなどを主成分とするもので、空気中の湿度が高いと吸湿し、そ

れが低くなると放湿することのできる材料である。しかし、調湿性能はまだ木材ほどには高くないといわれている。

伐採したての木材は、含水率が60～100%であるが、大気中に長時間放置しておく、大気の湿度とバランスのとれた状態になり、含水率は15%程度になる(気乾状態)。この気乾状態の含水率は常に一定ではなく、木材は水分を吸放出して大気とバランスをとる。しかし、木材の最大の欠点は可燃性材料ということで、そのための建築材料として制限されている一面もある⁷⁾。

空気調和における調湿は次の通りである。加湿には、水噴霧あるいは蒸発皿に水を入れた自然蒸発による方式などがある。減湿には、空気の一部を露点温度まで下げることによる冷却法、空気を圧縮することにより含まれる湿分を凝縮させて除く圧縮法、吸湿性のある固体または液体(五酸化リンなど)に空気を接触させる吸収法、固体吸着剤(シリカゲルなど)を使用して湿分を吸着させる吸着法がある⁸⁾。北海道のビルにおいては、暖房期間に空気が乾燥するため加湿が主体となる。なお、ビル管理法により空調の湿度は40～70%と規定されている。

3) 熱交換換気

住居の気密性が増すと、換気の熱交換による熱回収が可能となる。外気との給排気口が明確化し、必要換気量の供給が集中的になるため、その部分で熱交換が行えるからである。それによって、排気からの顕熱回収のほかに、結露水の凝結熱回収と、除湿効果も期待できる。この熱交換換気の場合、換気量の増大が熱負荷の増加とはならないので、思いどおりの換気量を確保して除湿と衛生面の保持の双方を満たすことが可能となる。図2・4-11

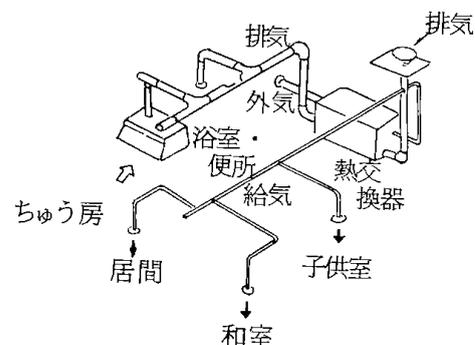


図2・4-11 熱交換換気の住宅への適用例³⁾

に西ドイツの住宅への適用例を示した³⁾。

4) 炭酸ガス制御

全熱交換器では、空気の顕熱と水蒸気が回収され、炭酸ガスは排出される。一般ビルにおいては、空気を循環して用いる場合に炭酸ガスは濃縮されてくる。ビル管理法では、室内の炭酸ガス濃縮度は1,000 ppm以下とされている。

札幌時計台ビルを例にとると、ビル内には暖房負荷と冷房負荷が存在し、6フロアを南北に分けて2ユニット、全体で4ユニットの空調が働いており、炭酸ガスはリターンダクト中に設置されたセンサーにより濃度測定がなされ、外気取り入れは炭酸ガス濃度が700 ppmになるような最低限の量で行っている。また、室内の温度調節は送風温度ではなく、送風量の調節で行っている⁹⁾。

上記の方式は高性能なガスセンサー、湿度センサーが普及したことにより実施できるようになったものである。さらに、炭酸ガス及び湿分の選択透過膜が開発されると、より熱効率の高い空気調和が行われるであろう。

参考文献

- 1) 寒地住宅の構法(その4 換気関係)・北海道立寒地建築研究所普及資料,83-7 (1983)
- 2) 北海道住宅都市部寒地建築研究所・北海道建築士会, 第24回寒地建築技術講習テキスト, 53, (1981)
- 3) 佐々木, 絵内: 空気調和衛生工学, 54, (11), 1083, (1980)
- 4) 寒地住宅の構法(その3 防湿・防露関係), 北海道立寒地建築研究所普及資料,83-6 (1983)
- 5) 土屋: 空気調和衛生工学, 54, (11), 1069 (1980)
- 6) 寒地建築教材概論編, 日本建築学会北海道支部編, 彰国社刊, 68, (1982)
- 7) 飯田: 北の住宅百科32集, 北海道建築士会監修, P.93, (1958)
- 8) 建築大辞典, 彰国社, P.383, (1981)
- 9) 清水建設資料 (1981)

2・5 暖房のシステム化による省エネルギー

前節においては、単一の建築構造物を単数の熱源(多くの場合、燃焼熱)で暖房する時の省エネルギーについて論じた。本節では、さらにエネルギー消費を削減するため、暖房をシステム化する方法を考察する。

暖房のシステム化には、次の4つの基本的パターンがある。

① 在来の機器を用いて徹底した合理性の追求を行い、効率の高い暖房システムを構成する。この方式は、大規模ビルの空調に採用されている。

② ヒートポンプ、太陽熱などを補助熱源として、在来の燃焼型熱源と組み合わせて、暖房の最適化を図る。場合によっては、補助熱源でなく主熱源とし、さらにヒートポンプで燃焼型熱源を代替しようとの試みもある。いずれにせよ、この方式は実用化前の試用段階にあるといえる。

③ 地域暖房ないし冷暖房といわれるもので、特定地域の複数の熱需要に熱エネルギーを供給するシステムである。すでに、ヨーロッパでは長い経験があり、我が国でも実用化が始まっている。

④ 上記の方式の混合型で、特に①及び②の併用が多い。大型ビルの省エネルギーを目的とした実験が行われている。

いずれの方式にせよ、システム化の目的は暖房エネルギーの節約にある。エネルギー費の高値が定着した現在、システム化によるエネルギー消費の削減は大いに魅力のあるものであるが、暖房系統が複雑になり、設備費の増加を招くことも多い。したがって、システム化に際しては省エネルギーによる暖房運転費の低下と設備費の増加を勘案し、さらに信頼性、快適性などの諸条件を総合的に判断しなければならない。もし、行政的要請で省エネルギーを優先させる場合は、設備費に対する財政的援助を行い、受益者の経済的負担を軽減する方策が採用される。

以下、本節では、第1の方式によるシステム化の例について述べ、ついで第2方式の基礎となるヒートポンプ及び太陽熱の寒冷地における可能性を論ずる。さらに、第3方式の地域暖房用熱源の地熱、ごみ焼却ならびにシステムについて検討する。また、地域暖房の新しい試みとして、札幌市が計画中の“地下鉄廃熱利用による省エネルギー型地域冷暖房”を紹介する。

2・5・1 暖房システムの合理化

大型事業所ビルにおいては、従来より経済的空調システムの追求が行われてきた。しかし、石油危機以後は、エネルギー消費の削減が経済性の重要項目となり、空調システムの設計思想にも変化が起こっている。さらに、昭和54年10月に、“エネ

ルギーの使用の合理化に関する法律⁶が施行され、省エネルギーの推進が義務付けられた。したがって、事務所ビルの省エネルギー化は企業のセールスポイントにさえなるような状況である。寒冷地においては、当然このような傾向が強まっている。寒冷地向け省エネルギー型事務所ビルの暖房シ

ステム合理化の例として、札幌市に建設された札幌時計台ビルを紹介する。

札幌時計台ビルは、札幌市中央区北1条西2丁目(時計台に隣接)にあり、昭和55年に起工し、昭和57年7月に完成した。表2・5-1はその概要である¹⁾。完成後、エネルギー消費量の測定を行っ

表2・5-1 札幌時計台ビル概要

<建築概要>		<衛生設備>	
敷地面積	3,587 m ²	給水設備	市水引込み 上水…重力式, 受水槽FRP製 70 m ³ , 高架水槽 15 m ³ 雑用水…重力式(一部圧力式), 受水槽コンクリート製 100 m ³ , 高架水槽 15 m ³
建築面積	1,931 m ²	給湯設備	中央式 ストレージタンク ステンレス 製 4 m ³ × 2基, 1 m ³ × 1基
延床面積	31,287 m ²	太陽熱利用	給湯用及び融雪用 平板型ソーラーパネル 105枚
構造・階数	鉄骨造及び鉄筋コンクリート造, 地下2階, 地上14階, 塔屋2階	排水設備	合流式
最高高さ	60m100	ガス設備	都市ガス
軒高	53m600	消火設備	屋内消火栓, スプリンクラー設 備, 粉末消火, ハロン消火
基準階階高	3m700	その他	非常放送設備, 非常電話設備, 自動火災報知設備, 防煙防火制 御設備, ロードヒーティング設備
基準階天井高	2m550	<電気設備>	
駐車場	92台(自走式39台, 機械式53台)	変電設備	引込み 6kV
<仕上げ>		変圧器	電灯用 500kVA × 2台 電灯動力用 200kVA × 1台 動力用 500kVA × 2台 コンデンサー 200kVA × 3台
外壁	2丁掛磁器タイル打込みPC版 断熱サッシュ二重ガラスブライ ンド内蔵型	発電機	500kVA
窓	磁器変形タイル貼(外部, ロビー) カーペット敷込(事務室)	幹線設備	ラック式Cu-CVTケーブル, Cu -CVQケーブル
床	外国産代理石貼(ロビー) 石膏ボードペンキ仕上(事務室)	<エレベーター>	乗用(15人乗)6基, 非常用 (17人乗)2基
内壁	成型岩綿吸音板(ロビー) 岩綿吸音板システム天井(事務室)	<中央監視設備>	コンピューターによる環境制御 及び管理システム
天井			
<空気調和設備>			
熱源	二重効用吸収式冷凍機 367RT × 1基, 189RT × 1基 炉筒煙管式蒸気ボイラー 2.4 T/H × 2缶		
空調方式	事務所系統 6層1ユニット単一ダクト+ VAV+ペリメーターラジエー ター方式 店舗系統 単一ダクト方式		
換気設備	給気ファン 11台 排気ファン 20台		
排煙設備	排煙ファン 5台		
自動制御	空気式		

ており、現在までの所、設計値とほぼ同じ値が得られている。すなわち、通常の事務所ビルに比較し、約半分のエネルギー消費量を実現した。部分的に新技術を採用しているものの、従来の暖房法を合理化することにより驚異的な省エネルギーが達成された。以下、設計法を概説する²⁾。

当ビルの設計に際し、基本方針を、

- ① 寒冷地に適した省エネルギー建物とするが、貸室の環境条件は悪化させない。
- ② 自然エネルギーを有効に利用する。
- ③ アベイラビリティの高いものとする。

とし、実用ビルに耐える信頼性と経済性のあるものとした。したがって、過去に実績のあるものの組み合わせでシミュレーションを行い、最適値を求めた。

まず、札幌市内の事務所ビル10例について調査し、年間エネルギー消費量の平均値が451Mcal/m²であることを明らかにした。これは全国平均値450 Mcal/m²と一致し、寒冷地でもエネルギー消費が増減しないことを示す。

次に、エネルギー消費量の要因である階数、方位、外壁開口面の数、窓面積率、窓材料、断熱材及び照明の分析を行った。また、建築物に要求される機能、設備とのマッチングを行うため、建物の省エネルギー要求品質/特性展開表を作成して検討した。

図2・5-1は、省エネルギー技術検討のフローを示す。まず、冷暖房負荷に影響の大きい7要因に2水準を設定し、熱特性の評価を行った。さらに分散分析により、各要因の最適組み合わせを14階、南北向き、窓2面、20%、断熱サッシ、100t、20W/m²とした。断熱材はコストと施工技術の両面から50mmとした。

このようにして設計された札幌時計台ビルの消費エネルギーを試算した結果、年間のエネルギー消費量は222Mcal/m²となり、一般事務所ビルに比べ51%の省エネルギー率となった。事実、消費エネルギーの実測値も前述した通り、ほぼ設計値に近い。

以上は、冷暖房システムの合理化が省エネルギーに寄与した具体例であり、このような方法が極めて有効であることを示している。なお、担当者によれば、さらに木目細かい設計により一層の省エネルギーが可能とのことであり、熱発生器、分配系統、放熱器、断熱材などハード面はもとよりソ

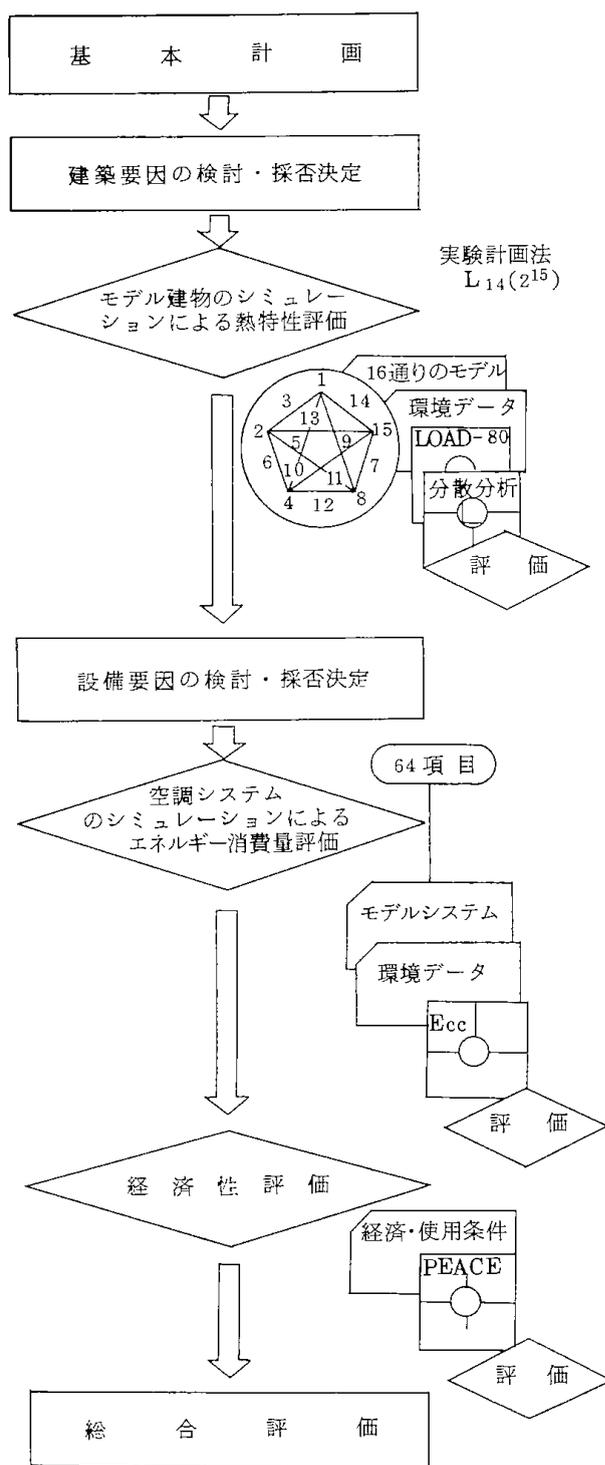


図2・5-1 省エネルギー技術検討のフロー

フト面での技術開発が望まれる。

2・5・2 補助熱源

1) ヒートポンプ

ヒートポンプは比較的温度の低い熱源から熱を吸い上げ、熱源より高い温度の熱エネルギーを出力する装置である。ヒートポンプには圧縮式、吸

吸式、化学式及び電子式(ペルチエ効果の利用)などがある。これらのうち、圧縮式及び吸式が実用化されている。化学式は今後の発展が予想され、世界各国で鋭意開発が進められている。

寒冷地の暖房に利用可能なヒートポンプは、現在圧縮式に限定されている。吸式は臭化リチウム-水系を用いる限り、0℃近くの操作に問題がある。化学式及び電子式は開発途上にあり、十分な資料が揃っていない。したがって、本調査では、主として圧縮式について考察する。

図2-5-2は、圧縮式ヒートポンプの原理図である。図2-5-2において、蒸発器中の液状作動媒体

放熱量 $Q_2 = Q_1 + q (q = AL)$ 揚水量 G

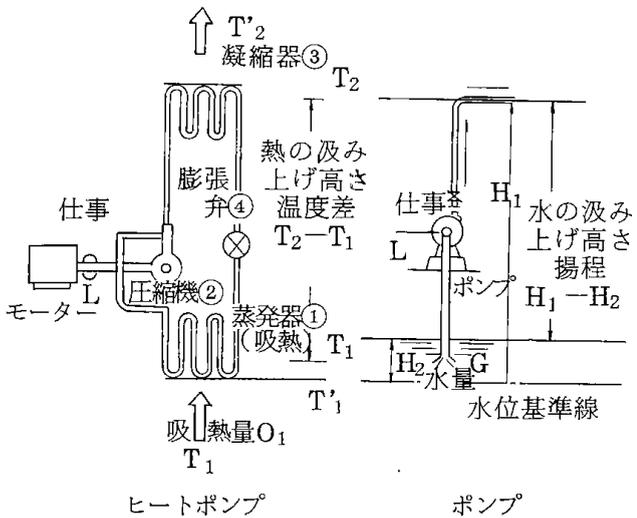


図2-5-2 ヒートポンプの原理

を蒸発させる蒸発潜熱が熱源から供給される必要がある。熱源として最も入手しやすいものは空気であり、ついで井水、河川水、排気、排水、さらに太陽熱、地熱などがある。

空気熱源は、温暖な地方では冬季でも使用できる。しかし、寒冷地では蒸発器の表面に霜や氷が付着し、熱交換能力を低下させるので、著しく成績係数(ヒートポンプが出力する熱量と運転のため入力するエネルギーとの比)を下げる。そのため、除霜を行う必要があるが、現在の所、寒冷地での空気熱源利用は困難とされている。井水のように適当な温度を持つ水熱源が最も使いやすい。表2-5-2は、ヒートポンプ用各種熱源の一般的性質を示している³⁾。寒冷地向けヒートポンプにおいては、良好な熱源の確保が経済的にも技術的にも最も重要である。

次に、寒冷地向けヒートポンプの問題点として、出力温度がある。圧縮式ヒートポンプを考える場合、出力温度と熱源との温度差、すなわち昇温幅を増加させると、成績係数が急速に低下する。図2-5-3⁴⁾は凝縮温度、蒸発温度とも寒冷地向けには高すぎるが、現在の圧縮式ヒートポンプの昇温幅と成績係数のおよその関係を知る上で参考になる。また、図2-5-4はディーゼルエンジン駆動のヒートポンプの例であり、熱源は10℃の水である⁵⁾。表2-5-3は、空気熱源及び水熱源の暖房用ヒートポンプの実績を示す³⁾。

火力発電所の発電効率(送電損失を含む)を35%とすると、電動機駆動ヒートポンプの成績係数が

表2-5-2 ヒートポンプの各種熱源

項目 \ 熱源	空 気	市 水	井 水	河 川 水	沼 湖 水	排 水	排 気	地 熱	太 陽 熱
熱源としての 適当さ	良好	良好	良好	良好	良好	状況により変わる	通常あまり良くない	空気に熱をうばわれることがある	
利用方法	主熱源として可	主熱源又は補助熱源として可	主熱源として可	主熱源として可	主熱源として可	主熱源又は補助熱源として可	補助熱源として可	主熱源又は補助熱源として可	
問題点	暖房要求の大なる時に利用熱量が小となるデフロスト対策が必要	冬期市水の温度も低下するので要検討工業用水等でメリットあり	コイルのスケールと腐食に注意(水質による)井水、湧水量の検討地盤沈下	コイルのスケールと腐食に注意藻の発生冬期に温度下がると温度差がとれなくなるので多量の水を必要とする	コイルのスケールと腐食に注意藻の発生冬期に温度下がると温度差がとれなくなるので多量の水を必要とする	水質をチェック温度レベルと量の不安定さスケールと腐食量的にしばしば不十分	設備費の推定が困難地盤面積が多くいるリーク等の補修が困難	蓄熱が必要	

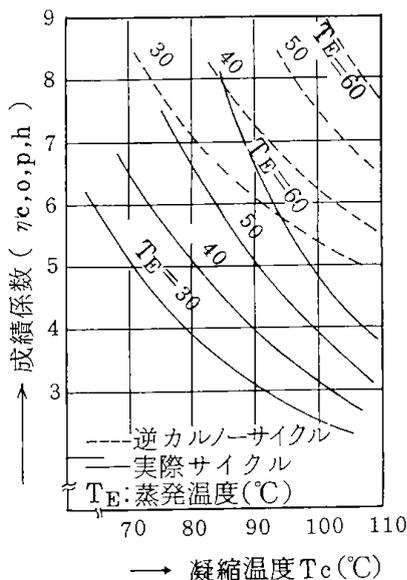


図2-5-3 圧縮式ヒートポンプの蒸発温度、凝縮温度と成績係数との関係

3以上でなければ、全体として省エネルギーにならない。逆にいえば、暖房期間中の成績係数の平均値が3以上であることが要求される。一方、暖房負荷は気温によって変化する。したがって、ヒートポンプを使用する暖房システムは部分負荷特性がよくなければならない。そのために、蓄熱に

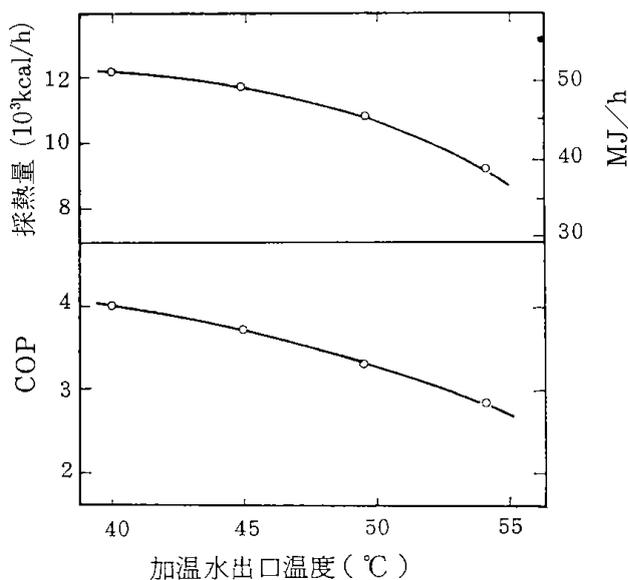


図2-5-4 加温水温度と低温熱源採熱量, COP

よる負荷の平滑化は極めて有効であり、安価で効率のよい蓄熱法の開発が望まれる。また、ヒートポンプ自身の部分負荷特性の改善も重要な研究課題であり、圧縮機の制御法及び作動媒体の選択に検討が必要である。

その他、ヒートポンプの利用法についても考慮

表2-5-3 ヒートポンプの成績係数の例

温 度 条 件	成 績 係 数	
	実 数 値	期 間 平 均 値
1. 空気熱源		
(1) 加熱媒体が空気の場合		
外気 蒸発温度 凝縮温度 室温		
5°C -5°C 45°C 20°C	3.7	4.5
0°C -15°C 45°C 20°C	3.0	3.6
(2) 加熱媒体が水の場合		
外気 蒸発温度 凝縮温度 水温 室温		
0°C -15°C 50°C 40°C 20°C	2.9	3.6
(3) 不凍液を中間液媒として使用する場合		
外気 不凍液 蒸発温度 凝縮温度 水温 室温		
0°C -8°C -15°C 50°C 40°C 20°C	2.9	3.6
2. 水熱源		
(1) 加熱媒体が空気の場合		
水温 蒸発温度 凝縮温度 室温		
12°C 2°C 45°C 20°C	4.3	4.7
(2) 加熱媒体が水の場合		
水温 蒸発温度 凝縮温度 水温 室温		
12°C 2°C 50°C 40°C 20°C	3.8	4.2

すべき事項がある。例えば、北ヨーロッパでは暖房にヒートポンプとボイラーとの組み合わせが考えられている⁶⁾。ある気温、例えば0℃以上ではヒートポンプによる暖房を行い、それ以下の温度ではボイラーに切り換えて成績係数の低下を避ける。北ヨーロッパはヒートポンプ使用の経験が豊富で、使用法で参考になる点が多い。

スーパーマーケットのエネルギー費は、経営収支の上で最も重要なコストダウン対象になっているといわれる。特に、食品売場では冬期でも冷凍及び冷蔵のための負荷があり、ヒートポンプの効率的組み合わせが重視される。冷凍ショーケース下部のいわゆるコールドエールの冷気の回収と凝縮器排熱の利用は省エネルギー効果が大きい⁷⁾。

2) 太陽熱

日本における太陽熱暖房の適地は図2・5-5のようであるといわれる⁸⁾。この図によれば、北関東から東北東部及び北海道東南部の各地域で日射量が多く、太陽熱暖房が普及する可能性がある。さらに、2月の月平均水平面全天日射量を北海道について詳しく示したのが、図2・5-6である⁹⁾。

図2・5-6によると帯広、十勝地方は冬期でも

- 冬の日射が少なく寒冷な地域
- 冬の日射が少ない地域
- ▨ 日射は平均的だが寒冷な地域
- 日射が多く太陽熱暖房に適する地域
- ▨ 日射が多く温暖で簡易暖房に適する地域
- 暖房不要地域



図2・5-5 太陽熱暖房の実効性を中心とした建築気候図(木村)

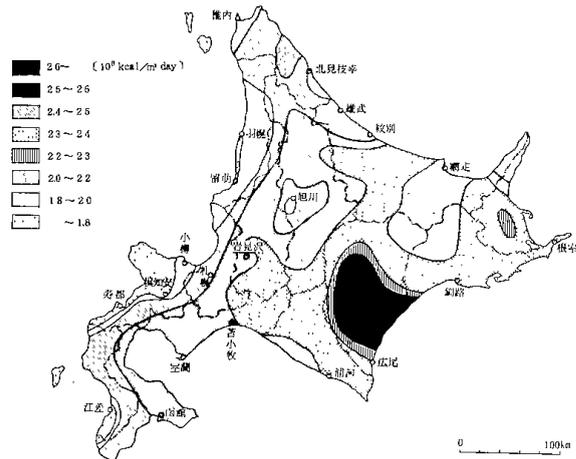


図2・5-6 月平均水平面全天日射量(2月)

システム名称	システム系統図例
A. 太陽熱給湯システム	<p>(a) 密閉浸漬式温水器 (b) 自然循環式温水器 (c) 強制循環式給湯装置</p>
B. 太陽熱暖房システム 水式 (空気式)	
C. 太陽熱ヒートポンプ (冷)暖房システム 水式 (空気式)	
D. 太陽熱冷暖房 システム	

図2・5-7 太陽熱冷暖房・給湯システムの種類と特性

2,500kcal/m² 日以上の日射量を有し、最も太陽熱暖房に適した地域ということが出来る。また、2,300kcal/m² 日以上の日射量の地域が道東南部にかなりの広範囲にわたって広がっていることが分かる。

太陽熱利用による冷暖房・給湯システムの種類には、図2・5-7のようなものがある⁸⁾。図2・5-7で用いられている集熱器の大部分は平板型で、一部真空ガラス管断熱式もある。集光型は、特殊な場合を除き利用されていない。図2・5-8は、標準的平板型集熱器の効率を示したものである⁸⁾。

蓄熱槽は、水集熱について熱蓄水槽(あるいは不凍液)、空気集熱では砕石が一般的である。なお、空気集熱で床暖房をコンクリートブロックで行おうとする試みもある。

北海道における太陽熱利用の経済性を論じたものに、前掲の地域エネルギー開発利用調査報告書(北海道商工観光部、昭和56年3月)がある⁹⁾。この報告書によれば、太陽熱利用設備による利用熱量と設備費の概算を検討した結果、他の熱源と比較した単位熱量当たりの費用対効果は、期待されるほどではない。特に太陽熱暖房を想定した場合、設備の集熱能力に比べて、年間を通じた需要量の変動が大きく、現在の灯油価格では相当割高であると推定される(報告書、P.87)。その根拠として、同報告書は、北海道の平均的家庭における暖房、給湯負荷を年間12×10⁶ kcalと見積り、これを燃焼効率65%で灯油に換算した値を算出した。一方、平板型集熱器の集熱率を40%、システム効率を90%と仮定し、各月毎の燃料消費量及び集熱量から、太陽熱利用設備の利用率を推定した。その結果、夏期には集熱される太陽熱の大部分が利用されず、年間を通じての設備利用率が小さいことを

あげている(札幌、函館、帯広及び旭川で検討)。暖房をストーブ、給湯を別の湯沸器で行う場合と比較し、太陽熱暖房・給湯設備は、今後の石油価格上昇の年率を8%とした10年後でも経済性は相当劣ると考えられる。しかし、既にセントラルヒーティングを設備しており、さらに太陽熱利用設備を付加する場合は、LPG利用から変換し、8年後に導入を図るならば、北海道の各地で経済的に有利になるとしている。また、都市ガスでは10年後の導入で、大部分の地域で優位になるが、安い灯油では困難であると予想している(報告書P.102)。

以上のような検討結果を踏まえて、北海道における太陽熱利用暖房を考えると、次のような普及対策が浮び上がってくる。まず、設備費の小さいパッシブ・ソーラーシステムの技術開発である。建物の南側面で、できるだけ太陽熱を吸収し、それを暖房の補助熱源とする方法が考えられる。この際、簡易な蓄熱法が必要で、日射量の変動を吸収しなければならない。戸建住宅の南面にサンルームのような空間を作り、ここで太陽熱により温められた空気を循環させる方法が試みられているが、上記のパッシブ型と考えることができる。

もし、季節間蓄熱法が開発されれば、太陽熱利用設備の年間利用率が向上する。このような場合は、アクティブ型でも経済的になる可能性がある。

2・5・3 ヒートポンプ及び太陽熱を利用した寒冷地向け暖房

北海道東北開発公庫北海道支店では、地域エネルギー利用の事例研究として、札幌市内のビジネスホテルでヒートポンプを冷暖房に使用した場合の経済性を調査した¹¹⁾。対象となったホテルの概要及びケースについて表2・5-4に示した。また、表2・5-5はヒートポンプに変えた場合の年間の冷暖房費の比較であり、かなりの費用の低減が予想される。しかし、建築費も割高になり(表2・5-6)、これらを考慮した経済効果は表2・5-7のようになる。いずれにせよ、札幌市内でのヒートポンプ使用の可能性を示すものである。ついでながら、北海道での暖房・給湯に使われている加熱専用型ヒートポンプは120~130施設とみられる¹²⁾。

次に、太陽熱を寒冷地向個人住宅用に利用しようとする試みも行われている。例えば、北海道立寒地建築研究所では、実験用住宅の南壁に空気

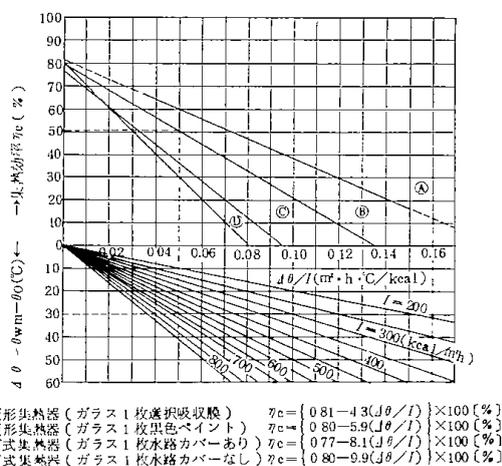


図2・5・8 平板型集熱器の効率

表2・5-4 ビジネスホテル向けヒートポンプの事例

- (ホテルオーク)
- 鉄筋鉄骨コンクリート造 地下1階地上9階
 - 延面積 約33,000㎡
 - 部屋数 120室
 - 暖房 ボイラー(58年度よりヒートポンプに転換予定)
- 冷房・給湯 ヒートポンプ
- (水熱源方式)
- (ケース分類)
- ボイラー方式…暖房は重油ボイラー, 冷房は業務用電力(昼間電力)による電気冷房
 - ケース1…暖・冷房・給湯の全てに業務用電力利用
 - ケース2…給湯のみ深夜電力利用
 - ケース3…暖・冷房・給湯全てに深夜電力利用

表2・5-5 年間冷暖房費比較

(千円/年)

(A) ボイラー方式	(B) ヒートポンプ	(B)-(A) 差額
7,910	ケース1	6,463 △1,448
	ケース2	5,885 △2,026
	ケース3	4,834 △3,230

(現状) ボイラー+電気冷房

表2・5-6 ホテル建設費比較

(千円)

ボイラー方式	ヒートポンプ	増加分
650,000	ケース1	663,700 13,700
	ケース2	676,600 26,600
	ケース3	691,600 41,600

加熱用の平板型集熱器を垂直に立て、加熱された空気を床下のコンクリートブロックを通して床暖房を行う方式について実験している。上記のコンクリートブロックは、蓄熱を兼ねている。今までに得られた結果では、最も過酷な冬季の日射が不十分な時でさえ、札幌郊外の実験用住宅内の最低温度が11℃、通常13~17℃で急激な室温の変化も

表2・5-7 経済効果の検討

(千円/年)

	ケース1	ケース2	ケース3	
費用の減少	冷暖房費	1,448	2,026	3,230
	水道料	824	824	824
	計	2,272	2,850	4,054
費用の増加	支払利息	610	1,183	1,851
	減価償却費	675	1,302	2,067
	計	1,285	2,485	3,918
投資利益	987	365	136	
(利払前投資利益)	(1,597)	(1,548)	(1,897)	

注) ケース1はホテルオークの実績に基づき設備費を抑えたため利幅が大きくなっている。

なく、コタツ程度の補助暖房器で生活できるといわれる¹³⁾。なお、平均集熱効率は約40%であるが、実用住宅としては、まだ解決すべき要素もあるように思われる。

地下水を熱源とするヒートポンプを太陽熱と組み合わせ、完全冷暖房システムを完成させている例が札幌市にある¹⁴⁾。16.8℃の地下水を150ℓ/分汲み上げ、42,000 kcal出力のヒートポンプで32℃の床暖房用温水を作る。揚水ポンプを含む総合

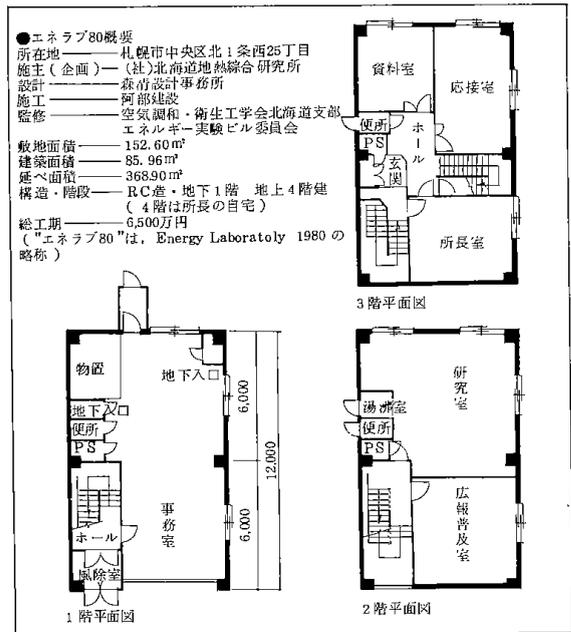


図2・5-9 ヒートポンプと太陽熱の組み合わせの事例

表2・5-8 ヒートポンプ及び集熱器の仕様

●設備概要		所要動力	11 kW
地下水		実用成績係数(揚水ポンプ動力を含む)	4.5
生産井深度	150 m	一次側温度・流量	16.8~10℃, 150 l/分
揚水ポンプ定格	2.2 kW	二次側温度・流量	28~32℃, 60 l/分
水温	16.8℃	メーカー	日阪製作所
還元井深度	45 m	太陽熱集熱器	
還元方式	重力により2~35mに全量還元	型式・本数・台数	真空管式・8本・8台
井戸間隔	4.4 m	有効集熱面積	$1.81 \times 8 = 14.48 \text{ m}^2$
ヒートポンプ		メーカー	富士電機製造
熱出力	42,000 kcal/h		

成績係数は4.5である。太陽熱は南側の壁に垂直に取り付けた真空断熱型集熱器で35~40℃の温度を得る。建物は外断熱工法を採用しており、コンクリート壁体自身が蓄熱材となる。ビルの概要を図2・5-9に示す。昭和57年1月の厳寒期でも床及び室内の温度は20℃に保たれている。なお、ヒートポンプ及び集熱器の仕様を表2・5-8に示す。

2・5・4 地域暖房の熱源

地域暖房は、比較的大容量の熱源を必要とする(10~120 Gcal/h程度)。熱源は通常、石油ボイラーであるが、地熱あるいはごみ焼却による場合もある。ここでは、北海道における地熱及びごみ焼却の可能性を検討する。

1) 地 熱

地熱エネルギーとしては、天然熱水、高温岩体、熔融マグマなどがあるが、一般的に利用できるのは、水または水蒸気の形態で採取可能なものだけである。したがって、エネルギー密度も水の有するエンタルピーで規制される。しかし、水は安価で安定であり、蒸発熱、比熱ともに大きく、かつ安全性もよいので、熱媒体として最も望ましいものの一つである。

地熱エネルギーは石油、石炭のように燃焼ガスを発生することもなければ、原子力のように放射性廃棄物を大量に捨てる必要もない。場合によっては硫化水素、砒素などが地熱水に含まれることもあるが、若干の配慮をすれば、環境に与える影響が少なく、クリーンなエネルギーとみなせる。また、自然エネルギーとして、太陽、風力などと比較してエネルギー密度が高く、安定している。

一方、地熱流体である水は地下の高温高压下で岩石中の成分、例えば硫酸塩や炭酸塩を溶解し、地上で放出するので、地熱利用機器にスケール析出が起こりやすい。現在、地熱利用の最も重要な技術課題はスケール析出対策に関するものである。この他、地熱水は遠距離輸送に適さない。熱水のエネルギー密度が小さいためである。地熱エネルギーは生産地付近での利用に限定される。

北海道における火山性地熱エネルギーの賦存量は図2・5-10に示され、これらの地域で確認されている主な温泉からの放熱量は年間 4.37×10^{12} kcalとみられている¹⁰⁾。また、北海道で最も開発及び調査の進んでいる濁川地区のデータを基に、熱水温度80℃以上、最深井深500m以内の温泉地を対象にすれば、期待採熱量は 96×10^7 kcal/分、発電量にして40~70万kWと推定される¹⁵⁾。さらに、昭和51年に行われた「白水沢地区熱水多目的利

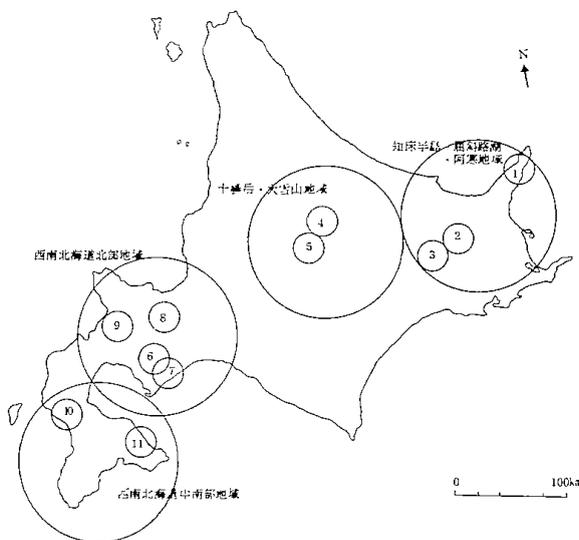


図2・5-10 火山性地熱エネルギー賦存量調査図

用計画基礎調査報告書」の施設費、運転費を現在価格に評価換えて、需要家へ供給される単位熱量当たりの費用を算出した。その結果、灯油及びA重油の単位熱量価格と比較し、充分競争力があるという結論が出ている¹⁶⁾。ここで特記すべきは、輸送距離を25kmまで考えていることであり、地熱エネルギーの恩恵を受ける範囲が、かなり広いことに留意する必要がある。しかし、詳細な技術資料がないので、遠距離輸送の技術課題については不明である。

北海道の深層熱水の期待可採熱量は表2・5-9のように考えられる¹⁷⁾。ここで、期待可採熱量は循環的に利用できる深層熱水の熱エネルギーとした。すなわち、対象地区の地殻熱流量から正常熱流量(平均値)を差し引き、加熱面積を乗じたものであ

る。報告書では、150ℓ/分、60℃の温水井が1回の掘削で得られた場合、それを90戸の家庭の暖房及び給湯に利用することを想定している。そして、年率8%の石油価格の上昇で4年後には1,000及び1,500mの温水井でも灯油に対して経済的優位性があるとしている。

2) ごみ焼却

都市ごみは1,000~2,000 kcal/kgの燃料と考えることができるので、ごみ焼却炉は特定地区ないし集合住宅の暖房に利用可能である。しかも、人口密集地ほど都市ごみの排出量が多く、収集距離が短かくてすむ。

表2・5-10は、北海道における昭和53年度の都市ごみの排出量とその処理法の状況を示したものであり、図2・5-11は可燃ごみの処理規模と焼

表2・5-9 深層熱水の期待可採量

地 区 名	H F U	Heating Area km ²	期待可採量 10 ⁹ kcal
1 根釧原野地区	1.0	1,600	252
2 網走周辺地区	2.0	900	142
3 斜里地区	2.0	200	32
4 十勝平野	1.0	5,000	780
5-1 中軸帯西縁部天北地区	1.9	1,500	189
5-2 中軸帯西縁部石狩地区	0.6	5,000	1,180
5-3 中軸帯西縁部苫小牧地区	0.6		
6 長万部地区	2.5	200	63
7 大野平野地区	2.0	100	15
計			2,653

表2・5-10 北海道における都市ごみの処理状況(昭和53年度)

(t/年)

		焼 却		埋 立		そ の 他		計	
			%		%		%		%
収 集 ご み	ご み (粗大ごみを除く)	570,415 (33.3)	86.8	1,129,346 (66.0)	44.1	12,255 (0.7)	77.1	1,712,016 (100.0)	53.0
	粗 大 ご み	5,397 (5.1)	0.8	98,299 (93.4)	3.8	1,531 (1.5)	9.6	105,227 (100.0)	3.3
	小 計	575,812 (31.7)	87.6	1,227,645 (67.6)	47.9	13,786 (0.7)	86.7	1,817,243 (100.0)	56.3
直 接 搬 入 ご み		81,704 (5.8)	12.4	1,331,921 (94.1)	52.1	2,105 (0.1)	13.3	1,415,730 (100.0)	43.7
計		657,516 (20.3)	100.0	2,559,566 (79.2)	100.0	15,891 (0.5)	100.0	3,232,973 (100.0)	100.0

(北海道衛生部「廃棄物処理事業実態調査」により作成)

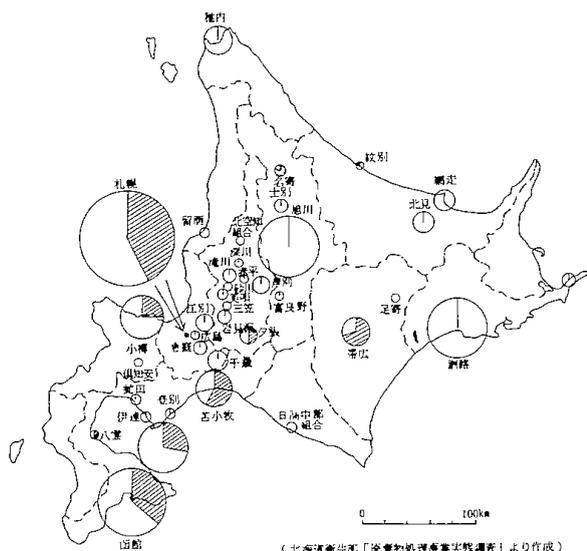


図2・5-11 可燃ごみの処理規模と焼却割合

却割合を各地について円グラフに表わしたものである¹⁸⁾。現在では、焼却炉の数が増加しているの、これらの図表と若干状況は異なる。しかし、いずれにしても都市ごみのエネルギー回収が充分進んでいるとはいえない。これは、まだごみ投棄の用地があり、焼却炉を建設するに至っていない事情もあると思われる。今後は、ごみ焼却の費用低減と長寿命で保守管理の容易な焼却技術の開発が望まれる。また、焼却炉の一層の熱効率及び発電効率の向上が要望されている。

2・5・5 地域暖房の事例

地域暖房の利点として次のような事項があげられる。

- ① 大容量機器の採用による設備費の低減と運転

効率の向上

- ② 燃料、電力など用役費の大量購入による単価低減

- ③ 大型機器採用による燃焼廃棄物の集中処理及び大気汚染防止

また、地域暖房が成立する要因として、次のような条件が必要である。

- ① 熱需要が安定しており、期間が長いこと。寒冷地はこのような条件を満足している。

- ② 熱負荷密度が高いこと。一般に設備投資が大きく、特に配管費がかなりの部分を占めるので、熱負荷密度が経済性に大きく影響する。

- ③ 地域住民、地方自治体の支持が得られること。公共事業的性格が強いので積極的参加が望ましい。

- ④ 熱エネルギーや電力などのユーティリティが安価に得られること。

第4項の条件は地熱水やごみ焼却によって満足される。特に、都市ごみは人口の集中した所に発生し、人口密集地は熱需要が大きく、上記第1及び2の項の条件に適合する。このような例として、札幌市のごみ焼却がある。

札幌市の発寒清掃工場(300t/日のごみ焼却)は昭和46年から隣接する鉄工団地の福利厚生施設へ、昭和49年から稼働の厚別清掃工場(600t/日のごみ焼却)は北海道地域暖房(株)へ蒸気を送っている。さらに、昭和55年に完成した篠路清掃工場(600t/日のごみ焼却)は付近の施設園芸団地へ熱水を供給している¹⁹⁾。

厚別清掃工場の地域暖房の熱利用状況は表2・5-11のようである。この表によれば、昭和54年度の

表2・5-11 厚別清掃工場における地域暖房余熱利用状況

(札幌市清掃部調)

年次	地域暖房会社 の熱需要量 (Gcal)	地域暖房会社の熱供給量			余熱利用率 (%)	清掃工場の 売熱収入 (百万円)	需要対象戸数 (戸) (2DK換算)
		清掃工場の 余熱利用量 (Gcal)	地暖ボイラー補給量				
			重油使用量 (kℓ)	補給熱量 (Gcal)			
50	36,779	32,893	593	3,886	89.4	20.3	2,500
51	53,896	50,722	502	3,174	94.1	31.5	3,600
52	67,099	57,329	1,375	9,770	85.4	35.5	5,000
53	88,107	68,381	2,920	19,726	77.6	42.5	6,300
54	88,667	72,129	2,385	16,539	81.3	44.7	7,000

需要対象戸数7,000戸の総需要発熱量, 88,000 Gcalの81.3%を厚別清掃工場が供給し, 7,200 klの重油を節約したことになる。

以上の例にみられるように, 都市ごみの焼却は発生量が多いので, 地域暖房に適しており, 比較的人口密度の高い地域での普及が考えられる。なお, 住宅用地への熱供給の場合, 1戸の暖房用熱量を賄うのに30~50戸分のごみを必要とするといわれる。

地熱エネルギーも局地性の制限はあるものの, 地域暖房の有力な熱源である。すでに札幌市郊外の定山溪温泉では, 道路の融雪に温水を使用している。また, 昭和56年度に北海道庁は資源エネルギー庁の補助金を受けて, 阿寒町阿寒湖畔地区及び弟子屈町本町地区の地熱水有効利用について調査を行った²⁰⁾。

阿寒湖畔地区は, 地熱資源の面でも全国有数の温泉地であり, 利用されている地熱水も多い。しかし, 現在の利用は観光宿泊施設を中心とした浴用が主体であり, 部分的に床暖房が行われているにすぎない。阿寒湖畔の地熱水は平均50~60℃であるが, 浴用では42~43℃を中心にわずかに5℃程度の範囲での利用にとどまっている。したがって, 使用後の熱量は廃棄されている。そこで, 当実施計画では, ヒートポンプを導入し, 通常の温水暖房に必要な80℃前後の温水を得るとともに給湯を行う。また, ヒートポンプで熱を奪われて温度の低くなった温水の一部を混合して55℃の浴用に適した温泉水を得る。残りは32℃前後で温水プー

ルへ供給し, 温水プールからの排湯は農水産にカスケード利用する。経済試算の結果, 収支面から充分事業成立の可能性が高いことが認められる。

弟子屈本町地区で対象としている泉源は100℃2本, 87℃1本と温度が高く, 熱交換だけで暖房利用が可能である。したがって, 熱交換で75℃の温水を得て暖房給湯用循環ラインに供給する一方, 温度低下した地熱水(60℃)を浴用のほか, 床暖房, 温水プール, ティラピア養殖施設へ送るなど, 多目的利用を図る。また, 夏季には吸収式冷却器で冷水を製造し, 低温倉庫への利用を図る。

以上, 阿寒湖畔地区及び弟子屈本町地区の地熱水の地域暖房への利用は安価な熱源を用いるもので, 経済的にも充分可能性のあるものである。図2・5-12及び2・5-13に尚用システムの概要を示した。技術的課題としては泉源の探査法, 生産

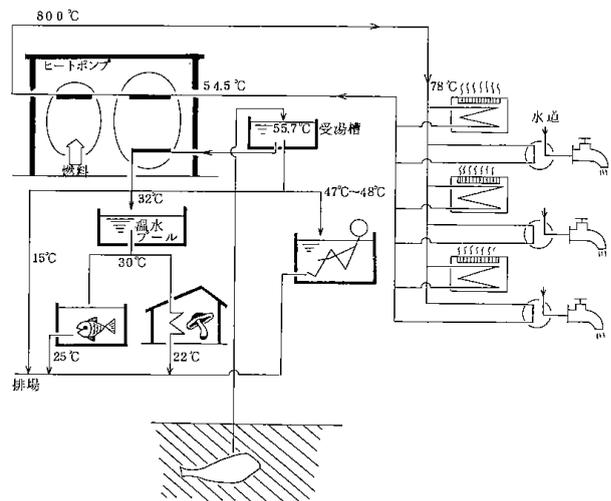


図2・5-12 阿寒湖畔地区地熱水有効利用概念図

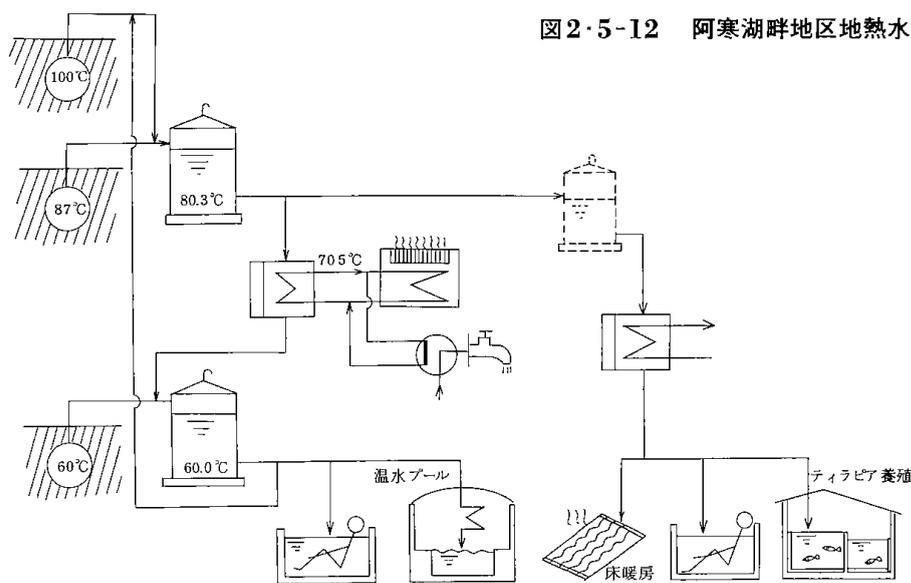


図2・5-13 弟子屈本町地区地熱水有効利用概念図

井及び還元井のシステム化，熱交換，スケール対策，熱汚染防止などがあげられる。

一般に地域暖房は投資額が大きく，設備費の低減が強く要望されている。昭和58年4月から運転開始した東京都光が丘団地の地域冷暖房システムはユニークな発想で注目されている²¹⁾。すなわち，従来エネルギーセンターに設置するのが普通であったヒートポンプを需要先のサブセンターに移すことで，以下のような利点を生み出している。

① 地域配管内を流れる熱源水は20～25℃であり，地中温度と同じレベルのため，熱損失が小さい。

② 配管の保温が不要になり，かつ往復2管でよくなったため，地域配管費が大幅に削減された。

図 2・5-14 はシステムの概要である。このように，地域暖房システムでは各要素技術の特性を把握し，システムを最適化することが経済性に大きく影響する。

札幌市の地下鉄の温度は冬期10℃，夏期30℃前後であるが，この廃熱を地域冷暖房の熱源に利用することが計画されている。すなわち，上記の地下鉄の排気を熱源としてヒートポンプにより45℃の温水を作る。次に，この温水を第2次ヒートポンプの熱源に使い，冬期は100℃前後の熱水を地域暖房に，夏期は熱水を吸収式冷凍機に供給して地域冷房を行う。試算によると7年目から黒字に

なるとして，1,000kcal当たり30～35円と推定される²²⁾。

参考文献

- 1) 清水建設㈱，「技術資料」，(昭和57年)
- 2) 植田：品質管理，**34**，(5月臨時増刊号)，733，(1983)
- 3) 成田：省エネルギー，**30**，(11)，39，(1978)
- 4) 古川，平野：Ibid，**34**，(4)，65，(1982)
- 5) 三上，岡，石山：道工試報，(279)，165，(1980)
- 6) 成田：省エネルギー，**35**，(10)，19，(1983)
- 7) 渡辺：「冷凍空調便覧，応用編，新版・第4版，(財)日本冷凍協会編」，P.203，廣済堂(1981)
- 8) 田中：Ibid，P.259，(1981)
- 9) 北海道商工観光部：「地域エネルギー開発利用調査報告書」，P.82，(1981)
- 10) 同上，P.139，(1981)
- 11) 北海道東北開発公庫北海道支店：「北海道の経済自立化のための地域エネルギー利用の事例研究」，5，昭和58年7月
- 12) 三上：省エネルギー，**35**，(12)，4，(1983)
- 13) 釜田ほか：「北海道立寒地建築研究所調査報告集」P.22，北海道立寒地建築研究所，(1983)
- 14) 河野：日経アーキテクチャー，(1983年6月6日号)，P.142，(1983)
- 15) 北海道商工観光部：「地域エネルギー開発利用調査報告書」，P.163，(1981)
- 16) 同上，P.164，(1981)

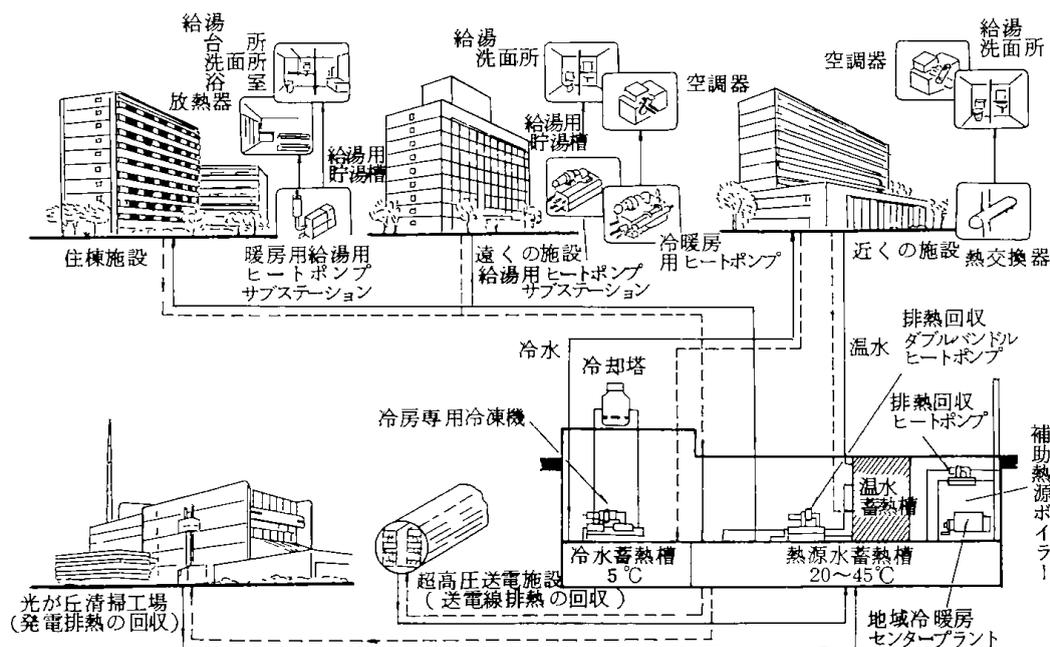


図 2・5-14 光が丘団地の地域冷暖房・給湯システム

84

- 17) 同上, P.153, (1981)
- 18) 同上, P.211~12, (1981)
- 19) 北海道熱供給公社:「地域暖房事業の現状と問題点」, (昭和56年1月) P.18~21 (1981)
- 20) 北海道商工観光部:「北海道地域エネルギー開発利用事業化可能調査報告書」, (昭和57年3月), P. 1 及びP.101, (1982)
- 21) 前川, 鎌倉: 省エネルギー, **35**, (12), 25, (1983)
- 22) ㈱エセック:「地下鉄廃熱利用による省エネルギー型地域冷暖房システムに関する基礎調査報告書」, P.42, 昭和57年9月

2・6 モデルケース

本節の目的は、寒冷地における理想の省エネ建築物のモデルケースを想定することにあるが、具体的には多様な要素が絡むことと、モデルに対する考え方が一様でないことから作成は困難であった。したがって、本調査の目的である開発すべき暖房システムを検討するために必要な現状の寒地住宅の性能を把握するとともに、数年後の予測に調査の重点を置いた。調査は主として建築業者に対する聞き込みを中心に行った。

2・6・1 省エネルギー型個人住宅

住宅の省エネルギー対策としては、住宅自体をエネルギー的に無駄の少ない構造とすること(断熱化)、住宅内で使用される設備機器の効率向上を図ること、太陽エネルギー源等を活用することなどが主として考えられる。このうち、断熱構造化は最も基本的なエネルギー対策として位置づけられている。

昭和54年に施行された「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づいて「住宅に係るエネルギー

の使用の合理化に関する設計及び施行の指針(昭和55年建設省告示)」が示され、住宅金融公庫の断熱構造化工事割増貸付制度や北海道独自の断熱住宅に対する割増貸付制度等により、道内新築住宅の断熱性能は年々向上してきている。

1) 現状の北海道内寒地住宅の性能¹⁾

北海道内における昭和57年の住宅の新築戸数は、約7万1千戸で前年比の4%増となっており、防寒性能は国や道の施策、研究機関、民間業者などの努力によって着々と向上しつつあるのは確かである。

表2・6-1は、各断熱基準の部位ごとの熱貫流率を示したものである。過去に建てられた既存住宅の大多数は国の省エネルギー基準以下、すなわち、建物全体に対する熱損失係数が3.0 kcal/m²・hr・℃以上であるのに対し、現在の新築住宅の大多数は北海道の高断熱基準(熱損失係数2.4kcal/m²・hr・℃程度)に近いものが設計されていると考えられる。

標準的な建物で壁に100mm、床と天井に200mmの断熱材(主にグラスウール)が入れられており、窓も気密性の高い材質(現在は主にプラスチック枠で二重ガラスの窓が主流)のものが使われ、以前のように体に感じる隙間風はないといわれている。

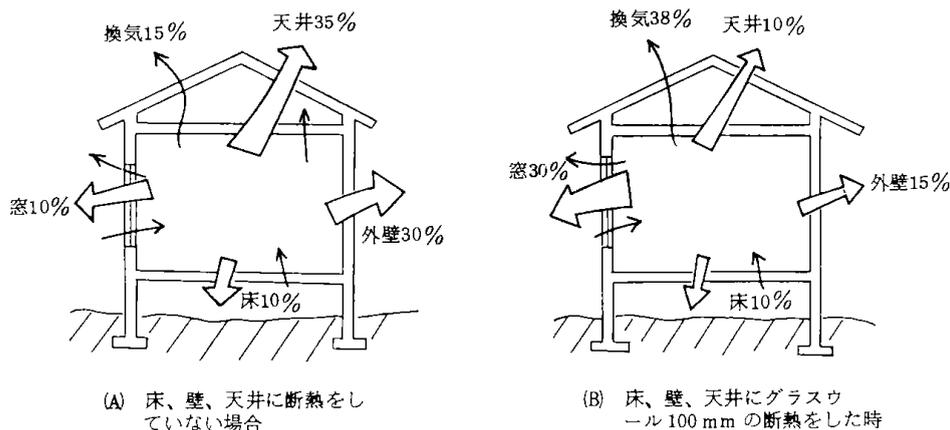
この程度になると、建物全体に対する熱損失係数は理論的には2.4kcal/m²・hr・℃位のようなのであるが、実際に使用されている状態での断熱性能は比較的条件の良い場合で20~30%の性能低下、条件の悪い場合には $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ になっている例もあるといわれている。

暖房方式の主流は石油ストーブであり、特にポット式が大部分を占めている。機能の面では、燃料を少しでも節約できる省エネタイプということから微小燃焼付のストーブに人気があり、最近で

表2・6-1 各断熱基準の部位ごとの熱貫流率

(単位 kcal/h・m²・℃)

断熱基準	住宅の建設地域 住宅の部位	北海道の高断熱住宅基準		寒住法基準		省エネルギー法による住宅金融公庫の基準			
		A 石狩支庁, 渡島支庁, 松山支庁, 後志支庁, 空知支庁, 留萌支庁, 胆振支庁, 日高支庁管内(市を含む)	B 左記以外の地域	A (道南・道央)	B (道北・道東)	I 北海道	II 秋田 青森・岩手	III	
以下鉄外造筋及びコンクリート組積構造	屋根・天井	0.25	0.2	0.5	0.4	0.3	0.6	0.6	
	壁	0.35	0.3	0.5	0.4	0.35	0.7	0.7	
	床	一般の床	0.35	0.35	0.6	0.5	0.35	0.8	0.8
		外気に接する床	0.25	0.2	0.5	0.4	0.3	0.7	0.9
	開口部	2.5	2.5	3.5	3.5	3.0	3.5	6.0	



(A) 床、壁、天井に断熱をしていない場合

(B) 床、壁、天井にグラスウール100mmの断熱をした時

熱損失量 kcal/h		換	気	窓	床	外	壁	天	井	貫流 ← 換気
A	A. 16,000	15%	10%	10%	30%	35%	16,000 kcal/h			
B	B. 7,000	38%	30%	7%	15%	10%	7,000 kcal/h			
		換気	窓	床	外	壁	天	井		

約30坪の住宅

(道立寒地建築研究所の資料より) 北国の住宅百科33集

図2・6-1 各部位の熱貫流熱損失の比較

タイプ	熱貫流率 K (kcal/m ² ·h·deg)
① 一重建具窓	5.5
② 二重窓 (外アルミ+内木製)	3.3
③ 二重窓 (外ペアガラス)	2.4
④ 三重窓 (内プラスチック)	2.2
⑤ 三重窓 (外ペアガラス)	1.6
⑥ 四重窓	1.4
⑦ 二重窓+反膜	1.6
⑧ 二重窓+断熱戸	0.9
⑨ 同上+反膜	0.7

(黒色: 実測値, 白色: 計算値)

等価熱抵抗 (m ² ·h·deg/kcal)
0.33
0.25

(道立寒地建築研究所調査研究データによる。普及資料82-86)

図2・6-2 窓タイプ別の熱貫流率の比較

は最小流量が0.15l/hrまで絞り込めるものも販売されている。

既存住宅も含めた平均年間灯油消費量は、30坪前後の住宅でドラム缶9本程度という数字が出されている。これは、住宅の気密性向上に係るところが大きいのは当然であるが、居住者側の経済的観点から、必要な部分のみの暖房で他は寒いままで我慢するという節約の生活による結果であることも無視できない。

図2・6-1に、各部位の熱貫流熱損失の比較を示した。住宅の断熱化が進み床、壁、天井からの熱損

失が少なくなっている現在、熱損失の点で換気と窓が今後に残された重要な課題と考えてよい。

寒冷地の住宅では、窓からの熱損失は壁の4倍(3重窓で外壁200mm断熱の場合)から約8倍(普通の2重窓で外壁100mm断熱の場合)位の量になるといわれ、現状では特に断熱性能は天井、壁、床等に比べて1ランク落ちたものとなっている。一般に2重窓の熱貫流率は図2・6-2に示すように3kcal/m²·hr·°C前後となっている。これをグラスウールに換算すると、厚さ20~15mm程度にすぎない。

建築基準法によると、地域の特殊性を考慮することなく窓に関しては、例えば居室の採光面積は一律床面積の1/2以上の面積で設けるように定められている。これについては、地域の特性に合った運用を図るべきだという指摘もされているが、実際には日射による熱取得と損失を合せた熱収支を考えなければならない。

以上が、北海道の住宅の現状における断熱性能の概要であるが、防寒に対して配慮して建てた住宅であっても、まだいろいろな面で性能の良くない不満足な家が多い。したがって、居住者は少くとも寒くても仕方がないというように我慢した生活を送っているのが現実ではないかと考えられる。

2) 今後の寒地住宅の性能と課題

寒地住宅はまず第一に、建てられる地域の気象条件を考え、寒さに対する防御が満足すべき内容でなければならない。人間が生活する上で、暑さや寒さを意識せず、快適に過ごすことのできる温度は20℃前後とされている。住居内の温度が、いつでもどこでも一様にこの快適温度を保つことができ、かつ燃料消費量の少なくすむ住宅であれば理想といえるであろう。

寒い冬でも快適な室内環境を作るためには、屋外に面するあらゆる部分を高断熱化し、屋外と屋内の区別を明確につけることが必要である。すなわち、快適な環境作りには、従来の暖房方式の改善に重点が置かれてきたのに対し、建物自体の性能に重点を移さなければならないということになる。

建物自体の性能が向上すると、何らかの目的に使ったエネルギーや日中の日射によるエネルギーでも有効な暖房熱源として利用できることになり、これを暖房エネルギーの中心とすることも可能となってくる。したがって、燃料を燃やすのは補助的なもので、少しずつ逃げる熱を補給するだけであることから、暖房機器に対する要求も従来とは異なったものとなる。

これまでの北海道内の居住環境推移から考えると、数年後の住宅の断熱性能は新築住宅の大多数が北海道の高断熱基準(建物全体に対しての熱損失係数2.0~2.5kcal/m²・hr・℃)にランクされるものと推定される。しかし、北海道での好ましい灯油消費量として、全室終日暖房で10ℓ/m²・年以下が提唱されていることから、熱損失係数が2.4kcal/m²・hr・℃以下を目指す必要がある。

今後、理想の寒地住宅に近づくためには次のような課題があると考えられる。

(1) 断熱材

現在、最も一般的に使われている断熱材はグラスウールと押出発泡ポリスチレンであるが、改善が必要であるといわれている。

グラスウールについては水を吸いやすく、湿気を通しやすいので実際に使用されている状態での断熱性能は水分や湿気、対流の影響などで低下する。通常16kg/m³程度の密度のものが使われているが、性能保持のためには密度の高い方がよく、北欧などでは24~30kg/m³のものが使われている。

押出発泡ポリスチレンについては、通常30kg/m³の密度のものが使われており、断熱性能はほぼ計

算通りのものが得られるとされているが、耐候性、耐火性の面に問題がある。

断熱性、透湿抵抗、気密性、耐候性、耐火性を兼ね備えた安価な断熱材の開発が必要である。

(2) 開口部

窓からの熱損失は伝導、換気ならびに輻射によって生ずる。壁、天井、床などの断熱性能が向上すると建物からの総熱損失量は少なくなるが、**図2・6-1**に示したように開口部からの熱損失が全体の1/3以上にも及んでいる。

窓の熱貫流率は2.0kcal/m²・hr・℃以下、できれば1.5以下にすることが望ましいとされている。従来の外窓+内窓では、この値は達成できない。今後は3層ガラスとか、特殊複層ガラスにすることが考えられているが、窓の断熱には限界がある。したがって、夜間の熱損失を減らす断熱戸や断熱カーテンの併用、日射の期待できない窓は必要最小限の大きさに留める工夫が大切とされている。しかし、窓からは熱が逃げるだけでなく、日射による熱取得も考慮する必要がある(**図2・6-3**参照)。

道立寒地建築研究所の試算²⁾によると、延床面積150m²の住宅で窓面積を30m²とすると、札幌では1日当り南窓からの取得熱量は約27,720kcal/日となり、暖房機器の実働熱効率を80%と想定して灯油に換算すると、約4.2ℓ/日に相当する。断熱性もよく、日当たりもよい住宅であれば、暖房に必要な熱量の約30%ぐらいを窓からの日射によって賄うことができるはずとしている。

(3) 換気

在来木造住宅の換気回数は、冬期あまり施工のよくない住宅で1.5回/hr以上、最近の一般的な住宅で1.2~1.5回/hrといわれている。

高断熱、高气密化が進むほど換気による熱損失の比率が大きくなり全体の30~40%を占める。換気回数が1.5回/hrから0.5回/hrに減ると灯油消費量が半分近くに減るという例もある。また、断熱厚さが100mmで換気回数が1.5回/hrの住宅の気密化を図って1.0回/hrにすると150mmの断熱厚さにした場合と同等以上の効果が得られるともいわれている。

したがって、今後は断熱の強化、高气密化とともに換気回数の減少を図る方向に進んでくるものと考えられるが、普通の状態では1人当り1時間に必要とする新鮮空気量は20~30m³であることから新鮮空気の取り入れ及び汚染空気の排出について

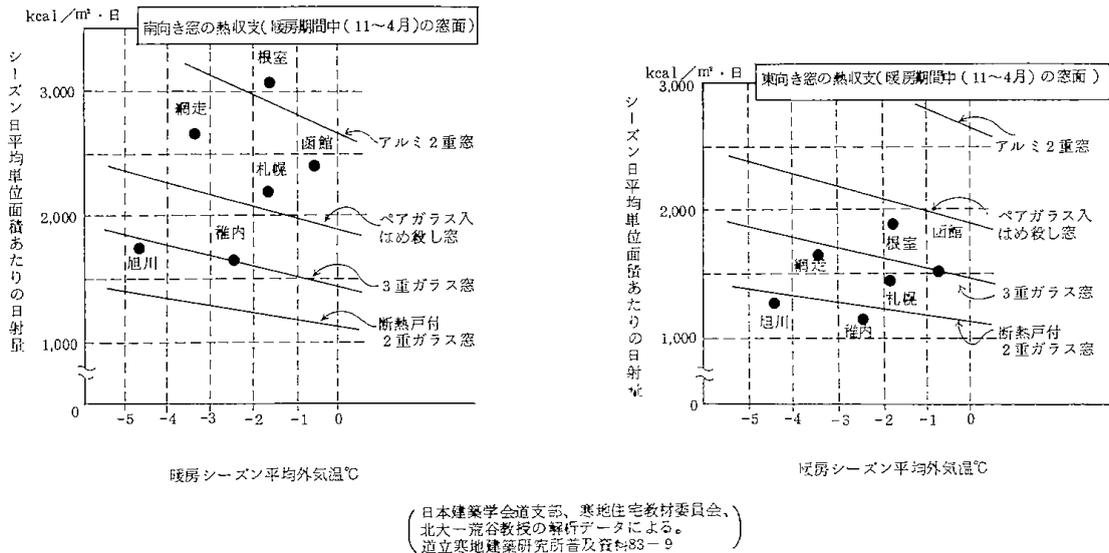


図2・6-3 日射取得熱と熱損失の関係

考えなければならない。

最近、暖かい空気を逃がさず、また冷たい空気を直接室内に入れないという熱交換換気が話題になっているが、適切な換気経路を検討する必要がある。

また、現在最も問題とされているのは、台所の換気・排気で、油分、湿気の点から直接外へ排出せざるを得ないことから断熱的に弱点となっている。したがって、これを解決できる排気ファンの開発が望まれている。

(4) 暖房

断熱性能が不十分で、家のあちこちに寒い場所がある場合には暖房、すなわち部屋を暖めることと考えられてきたが、建物の断熱性能が向上すると暖房とは家全体の温度が下がらぬように建物から逃げる熱を補給するものと考えなければならない。

断熱性能が向上し屋内はどこでも20℃前後という温度環境を考えると、限られた個所から高温度で熱を供給するという方式は適当ではない。したがって、できるだけ広い面積から、低温度で熱を供給する床暖房や、低温輻射型の放熱器によるパネルヒーターなどが望ましいと考えられる。

現状の熱源は、明らかに石油が主流であるが、住宅の性能が向上すると小さな熱量ですむことになるから、周辺を取り巻いている日射、風、空気、水等の無償エネルギーも今後は暖房用エネルギーとして扱う必要がある。

(5) 建築費

高断熱、高気密の防寒性能のある住宅を建築すると、従来の建築費より高くなることは明らかである。

我が国の住宅産業を支えている資材原料の大半は輸入で成り立っているが、個人住宅に関しては個人の投資により建てられることから北海道の資源による建築用資材の開発を進め、建築費の低減を図ることが最も重要と考えられる。

2・6・2 省エネルギー型ビル

ビルの省エネルギー手法は大きく分けて、①建築のプランニングに関するもの、②建築の断熱、③設備的手段による熱負荷の低減、④搬送動力の低減、⑤換気動力の低減、⑥衛生動力の低減、⑦照明用動力の低減、⑧電力の低減等が上げられる。

これらの手法は建築計画に関するものと、設備計画に関するものとに分けられるが、相互に密接で複雑な関係を持っている。建築物が要求される機能に、設備の特性が対応するとともに、気象条件や使用条件に応じた適切な運転管理を行うことで、はじめて省エネルギー計画が実現できる。したがって、省エネルギー型ビルは竣工後、数年運転した後にその省エネ性が立証されるものである。すなわち、過去に実績あるものの組み合わせで効果を上げるとともに、新しい試みを取り入れたものが次回の設計にフィードバックされ、さらに省エネ性の高い建物の実現につながる。

表2・6-2は、数年前の日米両国の代表的省エネルギー型ビルを示したものであるが、現時点で

表2・6-2 代表的な省エネルギービル

建物名称 竣工・所在地	規 模	省 エ ネ ル ギ ー 策	エ ネ ル ギ ー 消 費 量	備 考
Aビル 昭 54. 東 京	地下1階・地上4階 延面積 5,477 m ²	・ソーラーシステム ・蓄熱システム ・熱回収システム ・VAVシステム ・VWVシステム ・外気冷房 ・CO ₂ コントロール ・コンピュータ コントロール等	○ 241Mcal/ m ² ・年	空気調和・衛生工学 Vol.55, No.2, 1981
Bビル 昭 54. 愛 知	地下1階・地上7階 延面積 11,402 m ²	・ソーラーシステム ・蓄熱システム ・熱回収システム ・VWVシステム ・CO ₂ コントロール ・昼光利用 ・照明スケジュール 制御 ・コンピュータコン トロール等	○ 243Mcal/ m ² ・年	空気調和・衛生工学 Vol.55, No.2, 1981
Cビル 昭 55. 広 島	地上3階 延面積 1,361 m ²	・ソーラーシステム ・蓄熱システム ・幅射天井 ・昼光利用 ・照明スケジュー ル制御	△ 147Mcal/ m ² ・年	Cビル技術資料
マンチェスタービル 昭 51. ニューハ ンプシャー州(※)	地下2階・地上7階 延面積 15,792 m ²	・ソーラーシステム ・蓄熱システム ・熱回収システム ・VAVシステム ・外気冷房 ・タスク/アンビュ ン トライティング ・コンピューターコン トロール等	○ 364Mcal/ m ² ・年	Thermal Perform- ance of the Norris Cottn Federal Office Building in Man- chester, New Ham- pshire, NBS.
トペカ連邦ビル 昭 52. カンサス州(※)	地下2階・地上4階 延面積 31,170 m ²	・熱回収システム ・VAVシステム ・外気冷房 ・コンピューターコン トロール	○ 408Mcal/ m ² ・年	An instructional case study based on the Topcka Federal Building, Courthous and Parking facility. GSA
カリフォルニア州 政府ビル 未定 カリフォル ニア州(※)	大部分地下 一部地上6階 延面積 23,250 m ²	・ソーラーシステム ・VAVシステム ・VWVシステム ・ナイトパージ ・氷蓄熱システム	△ 121Mcal/ m ² ・年	ASHRAE Journal, Nov. 1979
ファームビューロ ービル 昭 54. カリフォル ニア州(※)		・ソーラーシステム ・蓄熱システム ・熱回収システム ・VWVシステム ・ナイトパージ ・外気冷房 ・昼光利用 ・土による断熱	△ 323Mcal/ m ² ・年	Speciflying Engi- neer, July, 1980
TVAチャタヌー ガビル 第一次昭 55. 第二次昭 57. テネシー州(※)	延面積 186,000 m ² コンピューターセンター + オフィス	・熱回収システム ・VAVシステム ・外気冷房 ・自然換気 ・昼光利用 ・地下水利用	△ 242Mcal/ m ² ・年	同 上

*エネルギー消費量は一次エネルギー換算値である。

○印：実績値

△印：設計値

エネルギー・資源Vol. 4, No.4より

は更に省エネ性の高いビルが誕生している。

2・6・3 現状における省エネルギー型建築物の事例

1) 省エネルギー型個人住宅

事例(1): スウェーデン住宅^{3,4)}

スウェーデンは、北緯60度で北海道よりも北に位置し、氷点下25℃以下になることも度々あるという。したがって、スウェーデンハウスの耐寒性は実証済みと考えられる。

今後、北海道に理想の寒地住宅を育成させていくには、北欧、カナダ等の断熱基準が一つの目安となるものと考えられるので、本例を取り上げた。

石狩管内当別町高岡に、スウェーデンから輸入した寒地住宅2棟がサンプルハウスとして一般に公開されている。工法面からいえば、一種の木製プレハブ建築方式で天井、床、側面などの部材は工場で作されたものを使用している。寒地住宅として不可欠の断熱性は、壁の断熱材を165mm、天井と床は200mm、密度は24kg/m³となっている。

窓は、通常太陽の当たる側を広くとり、太陽エネルギーを吸収するように配慮し、太陽の当たらない側は採光程度にしている。窓枠は木製で、内側に空間をとったペアガラス、外側が単板ガラスの三重窓となっている。また、内側に片開きするドア形式で、閉じる場所はゴムパッキンでシールされており、隙間風が入らないように配慮されている。

この窓の熱貫流率は1.3~1.7kcal/m²・hr・℃で、2重サッシの約2倍の効果があるとされている。

建物の部材と部材の接続部は、ゴムパッキンで気密化を図っているため、屋根裏に強制熱交換換気装置を置き、強制的に換気をしている。

暖房には、室内温度ならびに外気温度によって自動調節される小型低温ボイラー(スウェーデン製)により、温水ラジエーターで24時間全室暖房を行っている。

なお、このサンプルハウスについては、いろいろな角度から耐寒性、省エネルギー性などに関する実験が行われている。延床面積152m²(46坪)の平家について、居間の上下温度差が2~3℃、熱交換換気停止時の換気回数が0.84回/hr、建物全体の熱損失係数が1.5kcal/m²・hr・℃前後という値が得られている。また、燃料消費量は24時間全室暖房で1冬灯油5ドラム缶とのことである。

本例は、あくまでも実験住宅として建てられたもので、日本の建築基準法上でいくつか問題になる点があるという。現在は、実験結果を基に北海道に適した寒地住宅に仕様変更され、札幌の森林公園パークタウンと小樽の望洋パークタウンで売られている。

事例(2): 省エネコンクール入賞住宅⁵⁾

本例は、全国規模の省エネ住宅コンクールで一位に入賞した旭川市の建築業者による住宅である。

建物の構造は、コンクリートブロックの耐火構造で、断熱は厚みが増すとコスト高になることから、壁100mm、天井100mm、床75mmと普通の断熱仕様であるが、コンクリートブロックの蓄熱効果と、特に窓の断熱に留意して断熱効果を上げるようにしたとのことである。

窓は、外側が2重、数cmの空間をはさんだ内側は3重で一枚のガラスの厚さは3~5mm、全体の幅は約20cmの5重窓とし、窓枠には断熱効果を考えて木製を使っている。つまり、これは100mm断熱でコストを下げ、しかも高断熱住宅とした実例といってもよいであろう。

暖房は、温水床暖房方式で、40℃程度の温水を送り24時間全室暖房をしている。外気温が氷点下20℃の時の室温は21℃を保っているということである。

換気は、熱交換型換気扇により室温と換気を自動調整している。なお、文献⁵⁾によると燃料消費量は、年間灯油ドラム缶で3本の節約になるとされている。

2) 省エネルギー型ビル

事例(1): 札幌時計台ビル⁶⁾

札幌時計台ビルは、寒冷地に適した省エネルギービルとして建てられ、しかも実験的要素の入り込む余地のない全くの実用型貸ビルであることから、本例を取り上げた。

このビルは札幌の名所、時計台に隣接する鉄骨及び鉄筋コンクリート造りで地下2階、地上14階、延床面積3万1,000m²という大規模な貸事務所ビルである。

建築計画に当たっては、まず建物モデルの選定が行われ、対象モデルについて年間熱負荷計算を大型コンピューターを使ったシュミレーションプログラムで行い、エネルギー必要量最少の建物が決定的された。なお、年間熱負荷が最も小さな建物モデルと最も大きな建物モデルとでは、前者の年間熱

負荷は後者の約55%と大きな違いがあったとのことである。このことは、建築の計画段階に行う定量的評価が、建築物の省エネルギー化にいかにか重要であるかを示しているといえよう。

その他、各種の詳細設計の検討も行われ、階数は14階、平面形はセンターコアタイプで東西面の窓をなくし、さらに非常用エレベーター、特別避難階段を東西面に配置、窓は断熱サッシ、ブラインド内蔵型を採用し、2重ガラス内への室内空気の流入を極力減らし、結露を防ぐ工夫を加えた。外壁は、タイル打ち込みPC板を用い、断熱材は硬質発泡ポリエチレン50mmを採用している。

また、設備計画については建築計画と同様に、まず設備システムのエネルギー消費量に影響する要因を洗い出し、設備検討項目の中から75項目を選定し数種のモデルシステムについて、空調エネルギー消費量計算プログラムによる評価を行ったとのことである。

これらのシュミレーションの結果を参考に、経済性、実現可能性等の評価基準に従って、70項目の省エネ手法が採用されているが、その中の主なものは、次のようになっている。

①搬送能力の低減

- ① 空調方式は方位別、用途別に区別されており、室温コントロールを送風温度でなく、送風量で行う可変風量方式が採用され、送風機動力の節減を図っている。窓際に、ペリウォーマー方式の温水ラジエーターを配置し、コールドドラフト防止と室温の均一化を行っている。
- ② ポンプ等の台数制御を採用し、低負荷における高効率運転を可能にしている。
- ③ 冷温水の搬送温度差を大きくとる方式を

採用し、搬送動力の節減を行っている。

②外気の有効利用と外気取入量制御

① 夏季、札幌での平均外気温が低いことから、外気を有効に利用する外気冷房システムを採用している。

② 冬期の暖房負荷低減のために、炭酸ガス濃度を指標とした外気取入量制御を採用し、早朝の暖房開始時には温水ラジエーターによる暖房のみとし、空調機を止めて外気取入を停止するシステムである。

③ 太陽熱による給湯と融雪

太陽熱利用システムを洗面所と地階テナント用の給湯に使い、さらに融雪にも利用している。集熱パネルは平板型105枚を使い、屋上床より1mの高さに60度の傾斜角で設置されている。

その他、変電室、ボイラー室の排熱を駐車場の暖房に利用するとか、高効率型照明器具による照明用電力の節減等が取り入れられている。

これらをみると、採用された省エネ手法そのものに目新しさはないが、個々の手法を詳細に検討しそれらを組み合わせたものである。

また、建築の省エネルギーはきめ細かな運転管理が一体となって達成できるものであることから、当ビルの運転管理、運用にはコンピューターによるビル制御システムが採用され、最適化運転管理が行われている。

このように設計、施行、管理を一体とした省エネ化を図ることにより、このビルの年間エネルギー消費量は図2・6-4に示すように222Mcal/m²年となり、同規模一般ビルの年間エネルギー消費量450Mcal/m²年に比べて51%の省エネルギー効果が

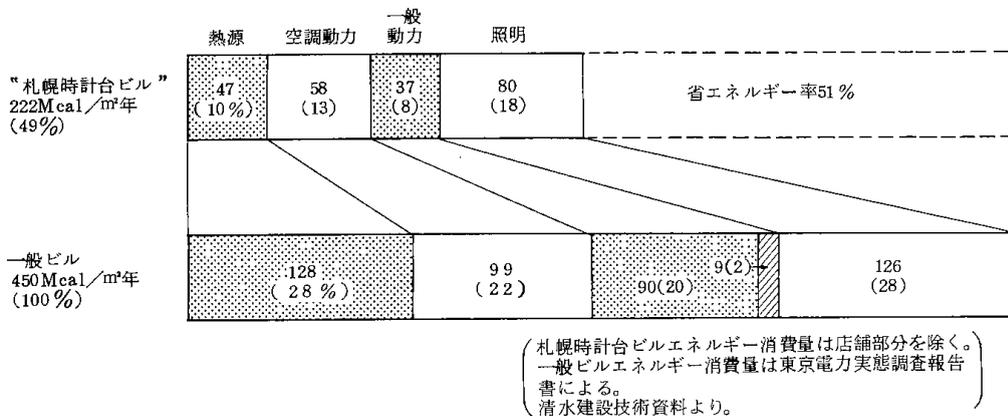


図2・6-4 “札幌時計台ビル”と“一般ビル”のエネルギー消費量比較

達成できたとのことである。

事例(2): 大林組技術研究所本館⁷⁾

本事例は、寒地向けに設計されたものではないが、寒冷地におけるビルの省エネルギー化にも大いに参考になるものと思われる。

大林組技術研究所本館は、東京都清瀬市にあり、延床面積3,776㎡、地下1階、地上3階の研究所として1982年4月に竣工した建物である。

この建物は、事務所ビルの省エネルギーを、居住性と機能性を低下させることなく、かつ経済的にも成立しうる範囲で徹底して行うことを試みたとのことで、多くの省エネ手法が採用されており、その中には全く新しい試みのものもある。

採用されている省エネ手法は、建築計画に関するものが31項目、設備計画に関するもの67項目と多数にわたっている。これらの多くは、今建設されている省エネビルで常識的に採用されているものであるが、全く新しい試みについていくつか挙げてみる。

①ダブルスキン

図 2・6-5 に示したように、建物の南側に総ガラス貼りの温室風空間を設け、日射によって温められた空気を、冬期の室内暖房に利用し、夏期には空間の上下を開放し、熱気を自然対流によって排除している。更に、この空間内には、室内設置形のブラインドと、冬期夜間に自動閉鎖する断熱戸を併設し、全体としての熱負荷を大幅に低下させている。

②無梁板構造

建物の外表面積をできる限り縮小することは、建築省エネ手法の一つである。この建物では、床面にピアノ線を挿入し、これを両端で強く引張ることによって床の梁をなくしている。このような構造形式で階高を節減することにより外表面積の縮小、垂直方向の空気や水の輸送用エネルギーの縮小を図っている。

③タスク/アンビエント照明

研究室と事務室部分に、作業面を局部的に照明するタスク照明と作業面以外をほんのりと照明し、省エネを計りながら目の疲れをなくするアンビエント照明が採用されている。この両者を組み合わせることによって、室全体を均一に照明する方式に比べて、照明用設備電力容量は30%程度減少するとのことである。

④ソーラーシステム

太陽熱で冷暖房することは、目新しいものではないが、この建物では 図 2・6-6 に示すようにソーラーシステムに太陽電池、土中蓄熱、温度成層型蓄熱槽等を組み込んでいる。土中蓄熱は、太陽熱コレクターによる秋期の余剰集熱分を一時的に建物下部の土中に蓄熱し、厳冬期にとり出して暖房に利用するものである。これを大型建物に採用するに当たっては、種々検討を要するため広く普及するには至っていないとのことであるが、今後寒冷地での利用が期待されている。また、蓄熱槽としては、建物内に組み込んだ水深13mの温度成

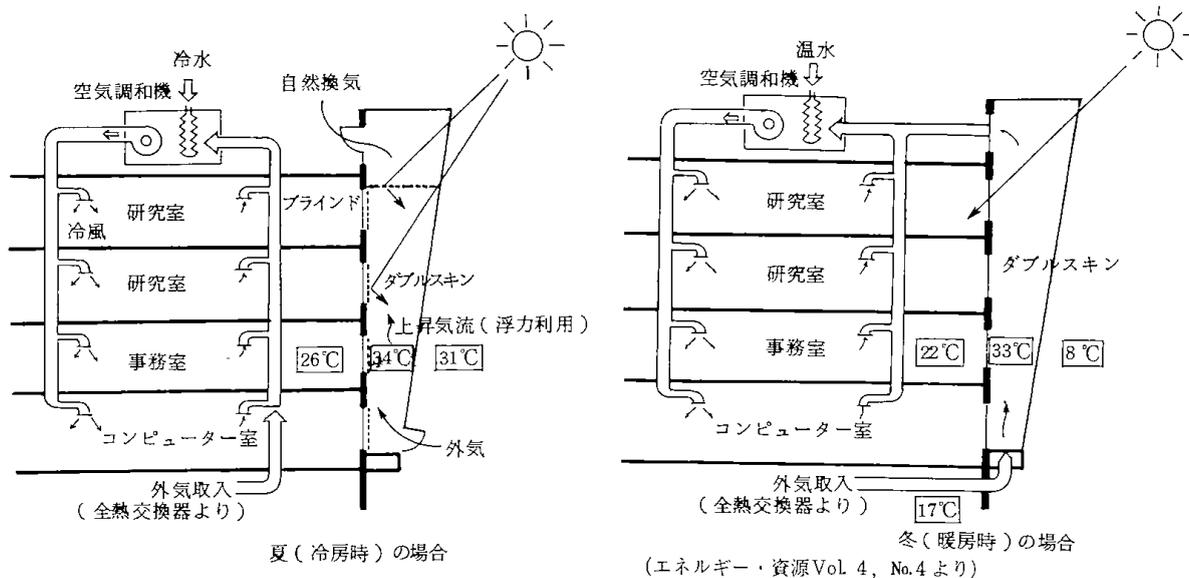


図 2・6-5 ダブルスキンの効果

97

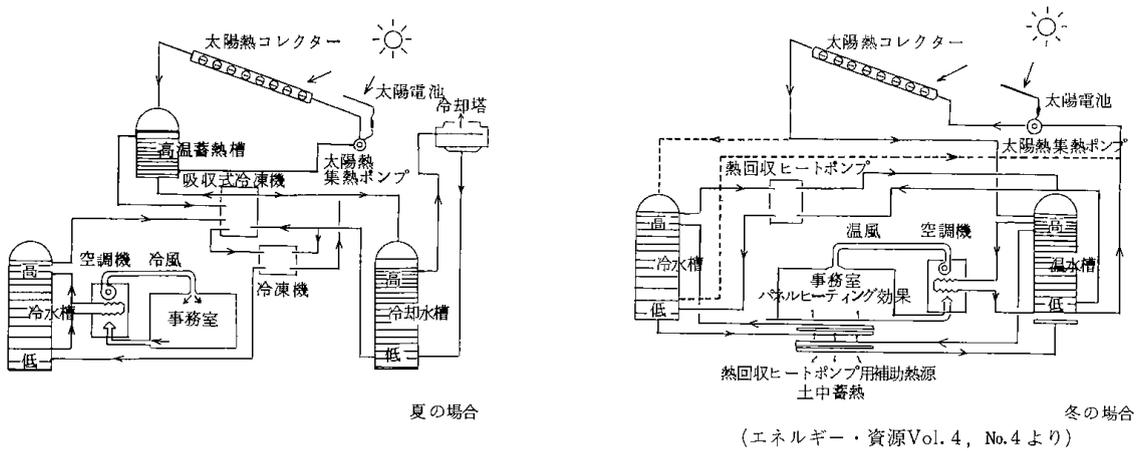


図2・6-6 ソーラーシステムの作動図

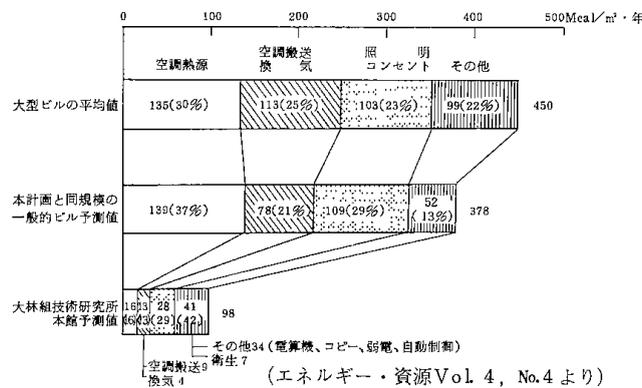


図2・6-7 事務所ビル消費エネルギー量比較

層型を採用しており、効率の良い運用が可能とのことである。

このビルの計画段階で予測した年間エネルギー消費量は、図2・6-7に示すように在来の一般事務の1/4~1/3に相当する98Mcal/m²・年を見込んだとのことであるが、竣工後1年経過時点で当初予測値の90%ぐらいの実績値が得られたとしている。

参考文献

1) 日本建設新聞社：「北国の住宅百科」, 33, P.52~77, P.110~112, 昭和58年9月

2) 北海道立寒地建築研究所：「普及資料」, 82-26, 昭和57年, 83-9, 昭和58年

3) トウモク株式会社, 株式会社グリーンタウン：「スウェーデンハウス資料」

4) 北海道立寒地建築研究所：「スウェーデンサンプルハウス調査報告書」, 昭和56年5月

5) 北方圏センター：「北方圏」, 34, P.88~90, 44, P.13~19, 昭和58年7月

6) 清水建設(株)：「技術資料」, 昭和57年

7) 酒井：「エネルギー・資源」, 4, (4), P.97~103, (1983年7月)

第3章 開発すべき暖房システムへの提言

3.1 開発すべき技術課題

第2章において、暖房という観点から北海道の気象の特徴及び石油代替用資源の把握、暖房に関する内外の現状、非石油系燃料の可能性、建築構造物の省エネルギー、暖房のシステム化による省エネルギーなどを調査した。その結果、今後開発すべき暖房システムの技術課題が明らかになった。これらの技術課題は、北海道のような寒冷地

で合理的暖房システムを確立するために必要であり、開発を促進すべきと考える。ただ、問題が多岐にわたっており、相互に関連している部分もあるので、単純な分類はできないが、一応表にまとめてみた。もちろん、これ以外にも開発すべき技術課題があり、挙げられたものの中でも重要度に差があると考えられる。しかし、暖房システムの技術課題を大まかに把握する上で役に立つであろう。

表3.1-1 北海道の暖房システムにおける技術開発課題

開発すべき技術課題	概 要	備 考
1. 局地気象観測技術	<p>暖房システムの最適設計や自然エネルギーを利用する上で、北海道各地域の木目細かな気象観測を行い、寒冷環境を精度よく把握しなければならない。ロボットを用いた簡易な観測システムと系統的なデータの蓄積が望まれる。そのためには、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 気温、降雪、積雪、日射量、降雨、風向、風力等の無人観測技術 2. 降雪強度、雪質、積雪分布等を測定するセンサーなどが必要である。 	
2. 非石油系資源の燃料化技術	<p>石油代替燃料として気体、液体、固体状のものが考えられるが、燃料として共通的に具備すべき条件には、1)カロリー当りの価格が安いこと、2)取り扱いが容易であること、3)利用に当たって公害を出さないこと、4)品質が規格化されていること、5)安定供給が可能であること、6)貯蔵、輸送体制が整備されていること、7)燃料に適した燃焼設備(ストーブ及び中・大規模用燃焼装置)があることが挙げられる。</p> <p>固体燃料の場合、上記の条件の他に、一般家庭用のストーブならびに小型ボイラーにおいては、1)燃焼の自動化、特に燃料の自動供給方法の確立のための粒径の均一化、2)袋づめなどの包装による防じん対策、3)灰の回収と処理体制、また、中・大規模の利用においては、1)専用コンテナ等による運搬・供給体制、2)SOx、NOx、煤じん対策、さらに、石炭の流体化燃料においては、石炭の脱灰技術などについても考慮する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 小規模用燃料 <ol style="list-style-type: none"> 1) 石炭 <p>石炭は、単位発熱量当りの価格が灯油に比べて安いのが、防じんを含めた公害対策、原料の供給と灰の回収・処理体制の整備が必要である。</p> 2) バイオコール <p>石炭に比べて、ばいじんが少なく、取り扱いが容易であるが、製造面では効率のよい木質廃材専用粉碎機の開</p> 	

開発すべき技術課題	概	要	備 考
	<p>発、使用に際してはバイオコールの燃焼特性に適した専用燃焼器の開発が望まれる。実用化に向けては地域の特性を考慮した集荷・供給体制や燃焼灰の回収システムを組み込んだ民生用エネルギーシステムの開発が必要である。</p> <p>3) メタン発酵ガス</p> <p>下水処理場の余剰汚泥や家畜糞尿をメタン発酵させて、これをガスエンジンによる発電や熱源として利用することが試みられているが、北海道においては、メタン発酵プロセスのヒートバランスを考慮すると、低温で活性の高い酸生成菌とメタン発酵菌の探索が重要である。また、メタン発酵はガス発生装置としての経済性が良くないため、メタン発酵菌の高濃度固定化及び効率的なバイオリクターの開発等、発酵槽滞留時間の短縮化、メタン発酵脱離液の処理の合理化等の観点から研究開発が必要である。</p> <p>2. 中・大規模用燃料(集合住宅・大型ビル等)</p> <p>1) 木質系廃棄物</p> <p>(1) 建設廃木材</p> <p>北海道では建設廃木材80万t/年の90%以上が廃棄されている。これをチップ等に一次加工することによって、ボイラーの燃料に利用しうる。そのためには流通機構の確立と安定供給が必要である。</p> <p>(2) 林地残材</p> <p>北海道北東部の林産地においては、林地残材等を木質ペレットに加工し、地場産業へのエネルギー供給を含めた地域暖房エネルギー源とすることによって、石油代替燃料になる可能性が大きい。そのためには、林業高度化の総合的な事業の一環として伐木等伐採作業の機械化、集材・搬送作業の合理化などが前提となる。</p> <p>2) 炭鉱ズリ・選炭スラッジ</p> <p>炭鉱ズリを選炭することによって、燃料として使用することが可能となる。未選の炭鉱ズリ、選炭スラッジは流動燃焼ボイラーを使用すれば産炭地のエネルギーとして利用が可能である。選炭スラッジの場合、効率的な脱水方法と燃焼装置への燃料の供給方法が重要である。</p> <p>3) 泥炭</p> <p>泥炭地の埋め戻し等による環境復元が可能であれば、効率的な脱水技術、又は脱水・成型技術の開発、あるいは、ガス化技術の開発によって利用の可能性がでてくる。固体燃料化の場合には専用の燃焼装置の開発が望まれる。</p> <p>4) 木質系廃棄物のガス化</p> <p>北海道北東部における林産地域の技術振興のため木質系廃棄物をガス化し、これを地元地域や産業用のエネルギー源として利用しようとする調査研究が行われている。これは、コミュニティエネルギーシステムのサブシステムを構築しようとするものであるが、そのためには以下のような課題が挙げられる。</p> <p>(1) ガス化原料の集荷体制の確立(除間伐作業の機械化、木材の集荷・輸送技術の近代化、廃棄物の簡易分別技術の開発)</p>		

開発すべき技術課題	概	要	備考
	<p>(2) 熱分解ガス化技術の開発（分解温度，加熱速度，原料粒径等ガス化条件と生成ガスの性状の把握，及び効率の良いガス化炉の開発とスケールアップ）</p> <p>(3) ガス精製技術の確立（ダスト，タール状生成物の除去，ジエン等によるガム生成トラブルの防止対策，塩化水素等の除去）</p> <p>(4) 排水処理対策（ガス洗浄水中に含まれる有機物質の処理技術，木質原料の種類・ガス化条件と排水の性状の把握等）</p> <p>(5) 低カロリーガスを用いて効率よく運転できるガスインジンの開発</p> <p>(6) 地域の実情に適し，かつ，経済性のあるガス利用総合システムの開発</p> <p>3. 地域暖房等</p> <p>1) 石炭</p> <p>暖房の熱需要の確保と流通システムの確立に基づく大量供給の見通しがないと，都市部において石油系燃料に置き換わるのは難しい。今後の一層の技術開発と体制の整備が必要である。</p> <p>2) 石炭の流体化燃料（COM CWM CMM）</p> <p>石炭を流体化することによって，輸送，貯蔵等のハンドリング上の利点を最大限に活用し，大量使用を前提とした効率的，経済的なシステムを構築しようとの考えで日本も含め各国で流体化の研究開発が行われている。このような技術を地域暖房用ボイラー，中小規模ボイラーに適用する場合，以下の点について検討する必要がある。</p> <p>(1) 高濃度スラリー製造技術</p> <p>① 炭種，油種の組み合わせによるレオロジー特性の把握</p> <p>② 石炭の高濃度化に伴う粘度上昇の抑制と添加剤コストの引き下げ</p> <p>③ 静的及び動的安定性及び寒冷地環境下における安定性と信頼性，特にCWMにおいては凍結防止対策が大切である。</p> <p>(2) 燃焼技術及び燃焼制御技術</p> <p>① 噴霧方法</p> <p>② バーナーの摩耗対策</p> <p>③ ボイラー効率の低下に対する対策，特にCWMでは排ガス中の潜熱回収が必要である。</p> <p>④ CMMにおいては，メタノール分離技術の確立及び脱メタノールの石炭燃焼技術の確立</p> <p>(3) 製造と輸送システム</p> <p>3) 都市廃棄物</p> <p>北海道ではごみ発生量は夏期に多く，冬期の約2倍であり，熱需要の傾向とごみの発生量は逆の傾向にある。冬期に安定した熱供給を行うために，夏期にごみを安定した形で貯蔵（例えば，プラスチック，紙類を熱分解してチャー，油の形で蓄える）し，ごみ処理の規模，熱の需要量と密度等を考慮した寒冷地型エネルギー回収システムの確立が望まれる。</p>		

開発すべき技術課題	概 要	備 考
	<p>4) 石炭を利用した余剰汚泥の燃焼 下水処理場の余剰汚泥の処理対策として、汚泥に石炭（粒径 0.5 mm 以下）を混ぜて汙過、脱水してスラッジ炭（含水率 45%，発熱量 4,500 kcal/kg）とし、これを燃焼して、そのエネルギーを周辺地域の暖房用熱源に利用することが検討されている。これを実現するためには効率的な燃焼炉の開発の他に、夏期の熱需要が少ないので、電力への変換を図るなど、年間を通した熱利用効率の向上が必要である。産炭地である北海道においては、今後検討に値する問題であろう。</p>	
<p>3. 燃焼設備及び燃焼技術</p>	<p>燃焼設備としては、一般家庭用の燃焼機器と規模の比較的大きい燃焼装置に分けられる。</p> <p>燃焼機器の具備すべき条件としては、1)操作が簡便であること、2)未燃分を出さない高燃焼効率であること、3)ばい煙などの公害を発生させないこと、4)安全であること、5)使用燃料の特性に合致していることが挙げられる。</p> <p>1. 燃焼機器</p> <p>1) 石油ストーブでは住宅の高断熱化に伴い、微小燃焼領域での燃焼制御技術が必要である。また、燃焼排ガスからの露点温度以下での熱回収においては、材料の腐食対策も必要である。</p> <p>2) 石油の中間 3 品の 1 つの A 重油燃焼器の開発においては、硫黄分が灯油の 10～100 倍になるため、燃焼器等の腐食対策、排ガスの公害対策ならびに低温下での高い粘度に対する対策が必要である。</p> <p>3) 非石油系の固体燃料用燃焼器では、以下の点に着目した開発が必要である。</p> <p>(1) 燃料の供給及び灰の取り出し方式 (2) 燃焼効率 (3) 暖房負荷に対応した燃焼の制御法 (4) 着火及び消火の自動化 (5) 燃焼器の気密性 (6) 清浄性及び無公害性</p> <p>また、使用しやすい燃焼器の開発のためには、固体燃料の発熱量、灰分含量、形状などの規格化が必要である。</p> <p>2. 燃焼装置</p> <p>1) 流動燃焼装置</p> <p>流動燃焼技術は比較的炭種を選ばず、水分・灰分の多い低品位炭でも粗粒のまま安定に燃焼でき、脱硫及び脱硝も同時に行いするので、エネルギー多様化の上で果す役割は大きい。しかし、完成した技術ではないので、以下のような課題が残されている。</p> <p>(1) 高効率燃焼技術 (2) 均一に燃焼させるための炭粒供給法 (3) 起動及び停止技術 (4) 負荷変動範囲の拡大 (5) 再生の容易な脱硫剤の開発と再生を含めた脱硫プロセスのシステム開発 (6) 排ガスの脱塵</p>	

開発すべき技術課題	概要	備考
	<p>(7) 灰及び廃脱硫剤の処理と有効利用法の開発 (8) 伝熱管などの摩耗対策</p> <p>環境公害対策においては処理コストの面から、小規模の装置よりも規模の大きい燃焼装置の方が有利となる。規模の小さいパッケージボイラーを学校、病院など公共的施設の暖房に使用する場合には、上記(3), (4), (6)の他に、使用燃料の特性に応じた燃焼の制御システムの確立や公害対策に十分留意する必要がある。</p> <p>2) 低発熱量ガス燃料の燃焼技術</p> <p>ガス燃料・空気混合気には、可燃濃度範囲がガス燃料の種類によって存在することが知られているが、最近の研究によって、1,000 kcal/Nm³程度の低発熱量ガスであっても混合気の温度、圧力などを変えることによって可燃範囲が広がることが明らかにされている。石炭低カロリーガス化ガスや木質系廃棄物のガス化ガス等について高負荷で安定燃焼させるための基礎的燃焼特性と実用燃焼器の開発の両面からの研究が必要である。</p>	
4. 地熱利用技術	<p>北海道は、比較的多くの地熱資源に恵まれているが、地熱水を地域暖房等に利用するためには、以下の諸点について検討する必要がある。</p> <p>1. 地熱水の探索法</p> <p>現状では地熱水を掘り当てる確率が低く、生産井を掘る費用も高いので、探索技術の改良が望まれる。</p> <p>2. 地熱水の採取及び還元技術</p> <p>1) 地熱水は高温でスケール成分あるいは腐食成分を含むので、時間の経過につれて取水量の減少を伴う。そのため、生産井のスケール及び腐食の防止法の開発が必要である。特に、地熱水の水質は場所により異なるので、それらに応じた対策が考慮されねばならない。</p> <p>2) 地熱水をそのまま利用することもあるが、地域暖房では一度、暖房用熱媒体と熱交換する必要がある。したがって、上記スケールリング及び腐食防止の熱交換技術の開発、あるいはスケールの付着し難い材質の熱交換器（たとえば熱伝導性樹脂）、ならびにスケールの付着防止方法を開発しなければならない。</p> <p>3) 利用済みの地熱水を地下に還元する際に、シリカなどの含有物質が還元井の目づまりの原因となり、地熱水の採取に大きな影響を与える。そのため、化学的な処理による安全で効果的な還元技術の開発が必要である。</p> <p>4) 地熱水が有害物質、たとえば砒素を含む時、そのまま捨てられないので、除去する技術の開発が必要である。</p> <p>3. 熱水の有効利用</p> <p>熱水を持つエネルギーを常時利用できる地場産業分野にも活用し、熱需要の季節変動をできるだけ防止し、熱水コストの安定化を図ることも必要である。</p> <p>4. 深層熱水</p> <p>深層熱水は、ほとんどが需要地に近い平野部に賦存するので、輸送設備は軽減されるが、その経済性は源泉の湧出量と温度などの性能と、生産及び還元両設備費のバランスに</p>	

開発すべき技術課題	概 要	備 考
	<p>関連する。したがって、熱水源の性能の把握ならびに地域の特性に対応した利用方法の検討が重要となる。特に、札幌では大気汚染防止対策も兼ねた地域暖房の熱源として、深層熱水の具体的な調査が期待される。</p>	
5. 地下水利用技術	<p>地下水は暖房・給湯用のヒートポンプの熱源として最も利用しやすいものの1つである。地下水の利用に際しては、以下の点を考慮する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 無制限に汲み上げると地盤沈下を起こすので、利用可能な範囲を測定する技術、あるいは地下に還元する安価な技術を開発する必要がある。特に、札幌、旭川などの都市でヒートポンプを普及させるためには早急に解決すべき問題である。 2. 地下水は通常、水質が良好とされるが、場合によっては若干の硬度、鉄分を含むことがある。ヒートポンプの蒸発器の汚れを水質との関連で予測し、予防する技術が必要となる場合がある。 	
6. 太陽熱利用技術	<p>太陽熱は、暖房用補助熱源として一部に使用されており、高断熱住宅へのソーラハウスの可能性を秘めている。寒冷地向けの太陽集熱器は冬期の低い気温で効率よく作動し、寒冷地の風雪など過酷な条件に十分な耐久性を持つことも必要である。そのため、以下の点について改良する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 低温（$-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$）における集熱の優れた選択吸収膜 2. 低温における集熱器の保温性 3. -20°Cの耐寒性材料の使用 4. 雪面反射の紫外線に対する耐久性 5. 低温で作動する集熱器の制御法 6. これらの試験方法と評価方法 <p>なお、熱需要と日射量は一致しないことが多いので、太陽エネルギーの蓄熱法の開発が不可欠となる。</p>	
7. ヒートポンプ技術	<p>暖房用の補助熱源として低質の熱を利用する場合に寒冷地に適したヒートポンプの開発・改良が必要である。寒冷地では冷房負荷が小さく、暖房負荷が大きい。また、熱源の温度が低いので成績係数が低くなりやすく、経済性が悪化する。これらを解決するため、以下の諸点について開発する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 寒冷地向けヒートポンプの最適仕様 2. $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$での効率的な暖房専用作動媒体 3. 部分負荷でも効率の低下しない媒体圧縮法 4. 低い温度、特に$-10\sim 0^{\circ}\text{C}$の空気を熱源とし得る蒸発器 5. 地中採熱では地中の土壌の性状と採熱容量の関係、最適な採熱速度を得るための熱交換法 6. ヒートポンプの最適使用法 7. 作動媒体との共存性の優れた潤滑油の探索、また、無給油の自己潤滑性軸受の可能性の検討 <p>これらの開発課題は事業所用大型機及び民生用小型機のいずれにも共通しており、派生的に種々の開発課題を生ずる。例えば、</p>	

開発すべき技術課題	概 要	備 考
	1) 空気採熱において、表面に付着する霜及び氷雪を容易に落しうる熱交換器、さらに、 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ においてもそれらが付着しない空気-液体熱交換法 2) 低温での高効率熱交換器及び熱交換器のスケール防止法 3) 部分負荷でも効率の低下しないガス圧縮機、あるいは圧縮システム 4) 数日間程度の暖房用熱エネルギーの貯蔵法 5) 暖房用熱エネルギーの季節間蓄熱法などがある。	
8. 蓄熱技術	<p>太陽熱利用やヒートポンプ利用の暖房システムにおいては、蓄熱技術は不可欠である。蓄熱には顕熱、潜熱及び化学エネルギーを利用する方法に大別できる。従来から水、碎石、レンガなどの顕熱が利用されている。しかし、蓄熱密度、取り出し温度の平滑化などの点から相変化を利用した潜熱蓄熱や、熱損失がなく蓄熱密度が大きいために蓄熱槽の小型化と大幅な搬送動力の軽減が可能な化学蓄熱が注目されている。そのため、</p> <ol style="list-style-type: none"> 安全で耐久性があり、過冷却や相分離を起さず、蓄熱密度の高い潜熱蓄熱材及び反応速度が速く、副反応がなく、反応の繰り返しが可能で蓄熱密度の高い化学蓄熱材。 効率の良い伝熱管の開発が必要である。 従来型の暖房、給湯には$80\sim 90^{\circ}\text{C}$の熱エネルギーの蓄熱、床暖房には$30\sim 40^{\circ}\text{C}$の蓄熱が求められている。1週間程度の蓄熱が経済的に可能になれば、太陽熱及びヒートポンプの利用範囲はかなり拡大されることになる。 夏期の太陽熱、余剰熱の季節間蓄熱についても検討する必要がある。 	
9. 断熱技術	<p>建築構造物の断熱は暖房の省エネルギー上、非常に重要な要素である。断熱施工法と断熱材については、次のような課題が挙げられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 断熱工法 優れた断熱材を用いても施工に問題があれば目的を達成することができない。したがって、 <ol style="list-style-type: none"> コールドブリッジの防止を含めた断熱施工法の標準化 窓の高断熱化対策 壁等の建物部位の断熱性能を測る簡便な測定器（携帯用熱貫流率測定器）などが必要である。 断熱材 <ol style="list-style-type: none"> 断熱性（熱伝導 $0.01\sim 0.03\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$）、透湿抵抗等優れた断熱材 耐久性、耐候性、断熱性の優れた窓枠材（アルミサッシコーティング材あるいは塗料など） 複層ガラス 伝熱機能の組み合わせによる断熱材 耐久性及び強度の優れた有機系発泡断熱材 建築部材 <ol style="list-style-type: none"> 耐熱、耐久性、遮音性、蓄熱性で軽量の強度のある複合壁材 	

開発すべき技術課題	概 要	備 考
	2) 北海道産の資源を活用した断熱建材（カラマツ間伐材などを用いた調湿，遮音，断熱性の内壁材など） 3) 不燃性で軽量の断熱戸，断熱カーテン	
10. 廃熱回収技術	<p>寒冷地においては，できる限り廃熱エネルギーを回収し，暖房エネルギーとして利用することが望まれる。量的に多い低温廃熱としては，以下のものが挙げられる。</p> <p>1. 下水排水 ビル，ホテル排水の温度は20℃程度である。一般家庭の生活排水を含めると量的に多いが，排水温度は10℃位までが熱回収の対象となり得る。例えば，札幌市の下水処理場の場合，処理場からの終沈流出水の平均温度は融雪期の3～4月を除けば10℃よりもわずかに高くなっている。排水量は1日の間で時間的に変化し，排水温度もそれに伴って変化するが，量的に膨大（昭和51年度で年間7,882万m³）であり，地域暖房の熱源として今後，検討する余地がある。下水排水からの採熱にあたっては熱交換などを含めた熱回収法の開発が課題となる。</p> <p>2. 工場廃熱，河川系火力発電所の温排水 廃熱量が多く，しかも廃熱源の近くに熱利用の負荷密度の高い地域がある場合には，熱回収の対象となりうる。廃熱の性状に適した熱回収法が必要となる。</p>	
11. 暖房法	<p>戸建住宅，集合住宅の暖房を暖房方式，暖房システムの制御，空調に分けるならば，次のような課題が挙げられる。</p> <p>1. 暖房方式</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ペチカ，床暖房などの低温放射方式の暖房技術の確立 2) 各種暖房法の評価法の確立 3) 燃焼機器の熱効率の向上 酸素富化膜などの利用 <p>2. 暖房システムの制御</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 空調機器制御用の信頼性のあるガスセンサーの開発 2) 部分負荷特性の優れた暖房機器 <p>3. 空 調</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 家庭用の安価な除霜つき全熱交換器，とくに台所換気用 2) 水蒸気，炭酸ガスの選択的透過膜 3) 湿度調節壁材 <p>4. 暖房設計法の見直し</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 従来の暖房負荷は過大に見積られており（内部発熱の無視），設計法を見直す必要がある。 2) さらに，床暖房だけでなく，パネルヒーター温水暖房でも30～40℃の低温放射暖房を目指すべきである。 	
12. 暖房システムの合理化	<p>札幌の事業所ビルは，本州に比べて暖房負荷は大きく，冷房負荷は小さいと考えられるが，エネルギー消費量の内容まで詳細な解析がなされていない。したがって，寒冷地向きの事業所ビルについて，</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. エネルギー消費量の要因 2. 建物に要求される機能を最適条件でマッチングさせる設 	

開発すべき技術課題	概 要	備 考
	<p>計法の標準化及び評価法を確立する必要がある。</p> <p>上記の課題はまだ試行的に行われ、省エネルギーの方法が次第に明らかになりつつある。しかし、標準的設計法の確立により、行政的指導と都市計画への繰り入れが国の施策として重要である。</p>	
13. 地域暖房	<p>エネルギーコストの上昇に伴い、地域暖房においても今後以下に示すような点について検討し、より一層の効率改善が望まれる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 蓄熱技術 <p>各機器の負荷を平滑化し、システムの効率を向上するには蓄熱技術の開発が不可欠である。現在、熱水型のアキュムレータがヨーロッパで実用化されており、わが国でも中型ボイラーに併設されて省エネルギーに貢献してきた。今後は、地域暖房用に大型の蓄熱器が開発される必要がある。</p> 2. 熱輸送法の改良 <p>現在、地域冷暖房及び給湯に使用する熱輸送媒体としてはスチームあるいは熱水が用いられている。しかし、配管費が高く、熱輸送費を高くする要因となっている。したがって、例えば、ケミカルヒートパイプのような画期的熱輸送法が開発が要望されている。その他、配管の保守管理技術などが挙げられる。</p> 3. 地下鉄廃熱の回収 <p>地下鉄構内の温かい排気から熱を効率よく回収する熱交換器の開発が必要である。</p> 4. 都市ごみのエネルギー回収 <p>現在、都市ごみは各地で焼却され、特に札幌市では発電及び熱回収が行われている。しかし、今後は小規模焼却炉での熱回収や発電が望まれる。</p> 5. 最適システムの設計 <p>わが国は地域暖房の歴史が浅く、利用技術の蓄積も少ない。需要者の種類、季節などにより需要が変動するので、最適システムの設計には、それらも予測することが必要である。また、設置後、状況が変化した場合の対応にもある程度の柔軟性が必要である。</p> <p>対象地域内には、使用済み温水(浴用)など利用可能な熱源が棄てられている。これらの熱回収技術も必要である。</p> 6. ヒートポンプの利用 <p>中央のエネルギーセンターに大容量のヒートポンプを設置するか、サブステーションに中容量のものを置いた方がよいか、温廃水、生活排水の熱の利用など、利用技術の向上が望まれる。</p> 	

3.2 提言

今まで寒冷地、主として北海道の暖房システムの現状と問題点を調査した。その結果、それらの概要が明らかになり、開発すべき技術課題も前節にまとめられた。本節では、これらの基礎に立っ

て合理的暖房システム確立のため、若干の提言を試みる。

暖房の目的は居住者に快適な温度、湿度などを持つ空気を建築構造物内に供給し、維持することである。暖房システムの合理化は、この目的をできるだけ無駄なく行うことであり、本調査の結

果によれば、省エネルギーと燃料の多様化が重要である。省エネルギーは、さらに暖房負荷の軽減及び他の熱源の有効利用に分けられる。また、燃料多様化は、非石油系燃料の開発が最重要課題である。以下、各項目について本調査での議論を中心にまとめた。

暖房システムは、規模により考え方を異にする必要がある。ある建設企業の調査によれば、札幌市の大型事務所用ビルは本州に比較して暖房負荷が大きく、冷房負荷が小さいものの年間のエネルギー消費量に差異はなく、約450Mcal/m²である。また、使用している空調用機器も類似のものである。しかし、戸建住宅の暖房は本州、特に関東以南と北海道とで大きく異なっている。集合住宅や大型店舗は、大型事務所ビルと戸建住宅の中間的性格を持つと考えられている。そこで、本調査では戸建住宅に重点をおき、事務所ビルや集合住宅をも考慮することにした。

3・2・1 省エネルギー

前にも述べた通り、暖房の省エネルギーは暖房負荷の軽減と補助熱源の有効利用に分かれる。

1) 暖房負荷の軽減

(1) 高断熱化

暖房負荷の軽減で第一に考慮しなければならないのは、建築構造物を高断熱化して熱損失係数を低下させることである。熱損失係数は、現在の北海道の戸建住宅で高断熱基準が2.0~2.5kcal/hm²°Cであるが、今後は2以下、できれば1.5kcal/hm²°C程度が望ましい。

壁の高断熱化がかなり進んだ現在、さらに建物の熱損失係数を小さくするには、窓の高断熱化が必要である。2・6節で述べたとおり、窓の断熱性能は壁の断熱性能に比較して劣っている。

窓ガラス自身の熱伝導率は0.7kcal/mh°℃と大きく、あまり厚くすることもできないので複層にして断熱性能を向上させることが行われている。さらに、窓を2重ないし3重とし、最近では5重にする例もみられる。しかし、窓の断熱性能はガラスとサッシの組み合わせで決まるので、窓の設計には、両者の材質と構造を考えた総合的配慮が必要である。

建物が外界と接している面積で最も大きいのが壁である以上、壁の高断熱化は常に重要な課題である。現在、0.03~0.04kcal/mh°℃の熱伝導率を

持つ断熱材にグラスウールや発泡ポリスチレンがある。しかし、前者は透湿性があり、後者は熱に弱く耐久性に問題がある。経済性に優れ、上記の欠点のない断熱材の開発が期待される。

大型ビルでの高断熱化は、外部断熱施工法と鉄骨など熱の良導体を通じて起こる熱流束の防止対策が主なものである。しかし、最近建設されるビルでは、これらの点についてかなりの注意が払われている。窓からの熱損失ではガラス窓の断熱化、窓面積比の見直しなどがある。

(2) 廃熱利用

建築物には人が居住し、種々の排出物が外に出される。これらの排出物の多くは外気より高い温度を持っている。例えば、排気は居住空間と同じ温度の汚れた空気である。したがって、排気で建物に取り入れる空気を予熱すると、その分だけ暖房負荷を減少させることができる。また、排気は一般に湿度が高いから、湿分の潜熱も回収する全熱交換器を使用すれば、さらに熱エネルギーを節約することができる。現在、全熱交換器の全エンタルピー交換効率は80%に達するといわれている。しかし、全熱交換器は大型ビルで使用されているだけで、戸建住宅や集合住宅ではほとんど普及していない。費用をかけて設備をしても、それに見合う経済的メリットを得られないからであろうと考えられる。今後、建物の高断熱化及び気密化が進めば、排気熱の回収は重要になると予想される。手軽な排気系の熱交換技術の開発が期待される。排気と同様、排水も熱エネルギーを持っている。事務所用ビルの排水は1,000m²当り6ないし16m³/日で、通常10m³/日と考えられる。排水で最も大きい比率を占めるのが水洗トイレ用水で、30から80%、通常50%とみられる。その他、機器類の冷却水も25%程度ある。また、ホテルでは風呂の排水が高い温度を持っている。現在、これらの排水は一般に熱回収が行われていない。熱交換器を汚し、経済的に引き合わないからである。しかし、スウェーデンとデンマークでは下水を熱源とするヒートポンプで地域暖房をしている実例があるという。寒冷地のヒートポンプでは、熱源探しが最重要課題であり、排水からの熱エネルギー回収法の開発が望まれる。工業技術院のムーンライト計画の研究開発の中で、汚れた温水からの熱回収にフラッシュ蒸発を利用したケースがある。また、スチームタービンの復水器のソフトスケール除去

にスポンジボール法が開発され、海水淡水化装置の蒸発器中の汚れ除去にも応用されている。事務所ビルや集合住宅でも配管を別にして、排水中の固形分を少なくすれば、一考の価値はある。

(3) 暖房法

石油危機以前の暖房法は、エネルギー消費より快適性を優先した。したがって、大型事務所ビルでは、高い温度を必要とする空間へは強制的に温風を送り、冷却を必要とする所へは冷風を送り、冷房と暖房が共存することも珍しくなかった。現在は、冷暖房システムを合理化し、できるだけ自然条件を利用しつつ、快適性を損なわないようきめ細かく制御する方式が開発されつつある。このような冷暖房システムの合理化は、コンピューターによる冷暖房負荷の計算、センサーの利用及び空調機器の制御技術があいまって始めて可能になる。しかし、現状はまだ不十分であり、安価で信頼性のあるセンサーや部分負荷特性の優れた冷暖房機器の開発が期待されている。

温風の強制循環による暖房法を戸建住宅や集合住宅に適用した場合、快適性に欠け、エネルギー消費量も多くなる傾向がある。したがって、最近では、ペチカや床暖房などの低温放射方式が注目されている。北海道の住宅は開拓の当初、本州の高温多湿に適する開放型が持ち込まれ、暖房法も気候風土に適したものではなかった。その後、幾多の試行錯誤を通して、ようやく最近、北海道独自の住宅及び暖房方法といえるものが芽生えつつある。その結果が、上記の高断熱住宅と低温放射型暖房の組み合わせである。しかし、住宅は単に省エネルギーであればよいだけではない。長期間にわたる居住性、利便性のほか、各自の趣向など複雑な多くの因子で評価される。豊富なデータの積み重ねと系統的解析による各種暖房法の正当な評価法の確立が望まれる。

最近、暖房の設計において、従来の暖房負荷が過大に見積られており、省エネルギーの観点より見直しが必要であるとの意見がある。また、北海道の室内温度は一般に高すぎるとの批判もある。現状を十分に把握し、適正な暖房負荷を求めるべきであろう。

建物の高断熱化に伴い、ファンコイルや温水を用いるパネルヒーターでも30ないし40℃の低温暖房を可能にする条件が整いつつある。もし、これが実現されれば、暖房用熱源の拡大になるばかり

でなく、ヒートポンプも使用可能になり、大幅な省エネルギーが期待できる。

2) 他の熱源の有効利用

暖房の省エネルギーを達成する方法として、燃料の消費量を削減するだけでなく、積極的に他の熱源、例えば自然エネルギーを利用する方法がある。大気あるいは地下水を熱源に使用するのがヒートポンプであり、太陽エネルギーを熱に変換して収集するのが太陽集熱器であり、冷暖房の熱源となる。さらに局地的ではあるが、地熱、ごみ焼却も暖房に利用できる。寒冷地における太陽エネルギーは補助熱源にしかなりえないが、ヒートポンプ、地熱、ごみ焼却などは投資金額が大きいので、暖房の主熱源とした方がよいと考えられる。

(1) ヒートポンプ

寒冷地でのヒートポンプは暖房が主で、冷房は従である。したがって、冬期の暖房を中心に設計する必要がある。

寒冷地用ヒートポンプの最重要課題は熱源の問題である。最も得やすく普遍性のあるのが大気である。しかし、寒冷地の大気は0℃以下になることが多い。一方、暖房に適している圧縮式ヒートポンプの蒸発器の伝熱面は大気から熱を吸収し、温度が低下する。このため、たとえ大気が0℃以上でも表面が0℃以下になり、霜が付着し、伝熱係数を下げる。札幌の場合、0～-2℃付近の気温の時、最も霜が付着しやすく、それより低い気温では絶対湿度が下がって、かえって霜が付着しにくいとの指摘もある。いずれにせよ、0℃以下の大気から熱交換して熱を吸収できる圧縮式ヒートポンプの蒸発器の開発が強く望まれている。もし、このような蒸発器が開発されれば、日本だけでなく、北ヨーロッパ、北アメリカ、カナダなど膨大な暖房用ヒートポンプの市場が開けると予想される。札幌市で計画している地下鉄の構内排気を熱源とする方式は、大気熱源の新しい方式として注目される。

寒冷地向け大気熱源の蒸発器に次いで重要なのが、圧縮機である。特に、戸建住宅用は大型ビルあるいは集合住宅用と異なり、台数制御ができず、1台で季節変化による暖房負荷変動を吸収する必要がある。広い幅の負荷変動で、できるだけ効率の低下のない圧縮機ないし制御法の開発が望まれる。

その他、作動媒体の選択は成績係数に影響を与

える。使用条件に適した作動媒体の選択法の確立とともに、高性能作動媒体の開発が必要である。そのためには、単一媒体だけでなく、混合媒体にも注目しなければならない。また、各種作動媒体を種々の条件下で使用した場合のヒートポンプのシミュレーションを行う必要がある。

水をヒートポンプの熱源とする場合も、蒸発器の汚れ防止が成績係数に大きな影響を与える。比較的清澄な地下水を熱源とすれば問題は少ない。しかし、スケール成分や鉄分の多い水源もあり、地熱水はこの傾向が強い。また、廃熱回収の項で述べたようにビル排水や生活廃水は、現在熱回収されることなく捨てられている。もし、これらをヒートポンプの熱源として利用できるようなれば、かなりの省エネルギーが可能になるであろう。温度が低くて、そのままでは暖房に使えない水が我々の周囲にはかなりある。これらの熱を回収し、ヒートポンプ用熱源にするには、蒸発器の伝熱係数の維持が重要な技術課題である。

(2) 太陽熱

これまで太陽熱は、関東以南の太平洋側の地域での利用が主として考えられ、太陽集熱器もそれらに向くように開発が行われてきた。しかし、積雪・寒冷地用には、耐寒性と積雪に対する考慮が必要であり、現状は必ずしも満足すべき状態ではない。また、集熱器の性能評価法も雪の反射があるので、積雪のない場合と異なることが予想される。

本州で使用される集熱器の大部分は液体(水)を加熱する。寒冷地においては、不凍液を加熱する場合のほか、直接空気を温めることも考えられ、当然異なった集熱器が開発されなければならない。

太陽エネルギーの利用で重要な技術課題は蓄熱である。日射量は昼夜及び天候で変動し、暖房負荷と一致しないからである。蓄熱温度は、40~50℃で充分であり、建築物自体で固体蓄熱をすれば、さらに低くてもよい。通常、水、碎石、コンクリートブロックなどの顕熱蓄熱が行われているが、放熱の際に取り出し温度が変化するほか蓄熱密度も大きくない。したがって、物質の相変化を利用する蓄熱、例えば融解潜熱による方法で蓄熱密度を大きくし、取り出し温度を一定にする試みもなされている。しかし、蓄熱物質が固化した時の熱交換が問題で、熱交換器を考慮した蓄熱密度は期待したほどの値にならないといわれている。

(3) 地熱

地熱は熱量が大きく、単に戸建住宅や集合住宅の主熱源となるだけでなく、むしろ地域暖房を考えた方がよい。

地熱利用で、まず問題になるのは確度の高い地熱探索法の確立である。生産井の掘削費用はかなり高いので、地熱を掘り当てる確率が経済性を大きく左右する。次に、井戸の維持管理技術、特にスケール析出及び腐食防止が重要な技術課題である。地熱水の化学成分は地質構造により変化し、スケール成分もシリカを主成分とするものからアルカリスケールまで、さまざまである。したがって、その対策もそれぞれの条件に応じて行う必要がある。

スケール析出防止に関連し、熱水の熱交換技術も重要である。伝熱面へのスケール付着は、熱交換能力を大幅に低下させる。熱水を一定時間滞留槽へ入れてスケール成分の過飽和度を下げたり、フラッシュ蒸発で発生するスチームで熱交換を行う方法が考えられる。

深層熱水も暖房熱源として注目すべきである。石狩西部の深層熱水は、平均温度65℃の地熱水が年間330,000 m³/km²、33.5℃のものが250,000 m³/km²採水可能といわれ、札幌市の暖房を賄うには充分と推察される。したがって、さらに詳しい調査と利用技術の検討を行う必要がある。

(4) 燃料電池

燃料電池は、従来の発電方式を根本的に見直す要素を持っている。すなわち、大型の水力及び火力発電所にかわり、小規模分散型の燃料電池発電所が電力需要地に隣接して建設されるようになると、燃料電池からの廃熱利用が問題となる。一種の熱併給発電所であり、寒冷地では貴重な暖房用熱源になる可能性がある。現在、開発が行われているりん酸型で作動温度は150ないし200℃であり、低圧スチームあるいは熱水の形で排熱が取り出されれば、冷暖房に利用可能である。ただ、電力と熱の需要が通常の住宅ではアンバランスで、熱の方が不足する(発電効率を40%、総合熱効率を80%と想定)。しかし、逆にいえば、高い発電効率でなくてもよいということになり、エネルギーのトータルシステムからみれば、寒冷地特有の燃料電池発電の方式があるのかもしれない。

最近、エンジン駆動ヒートポンプが注目されている。特に小型ガスエンジンが進歩し、家庭用冷

暖房給湯システムも開発された。エンジン駆動ヒートポンプでは、圧縮式ヒートポンプの圧縮機をエンジン駆動とし、排気中の熱を回収して総合熱効率を向上させようとするものである。騒音と振動もかなり軽減され、実用例もあるので、寒冷地での特性を充分把握する必要がある。

3・2・2 燃料の多様化

新しい燃料の利用は、それに適した燃焼器の存在が前提条件となる。したがって、燃料と燃焼器の開発は不可分の関係にあり、両者が並行して行われる必要がある。

1) 石炭系燃料

石油代替燃料の本命は石炭と考えられている。かつて石炭は、我が国の1次エネルギーの主流を占め、暖房用燃料も石炭が中心であった。しかし、燃焼に伴う公害(ばいじん、酸化硫黄及び酸化窒素)の発生、固体であることに由来するハンドリングの不便さ、灰処理の必要性などから石油に替えられた。したがって、再び石炭を暖房用燃料に戻すには、上記の問題を解決しなければならない。

ばいじんの発生は、石炭の無煙化処理あるいは燃焼器の改良で対処できる可能性があるが、経済性を無視しては実用にはならない。酸化硫黄及び酸化窒素対策は、燃料排ガスからの除去で可能であろう。ハンドリングの不便さや灰の処理はカートリッジシステムで対応しようとの提案がある。昭和58年現在で1,000 kcal当りの暖房用石炭4.40円に対し、灯油は8.43円で1.9倍である。しかし、公害対策費やハンドリング上の不便さが、この優位性をかなり減殺している。事実、石油危機以後の石炭による石油の代替は主として産業用C重油の分野で起こっており、暖房分野では少ない。今後、暖房分野でのシェアを拡大するには相当の努力が必要であろう。

石炭を粉碎し、水あるいは石油を加えて流体化し、ハンドリングの不便さを解消しようとの試みがあり、産業用ボイラーで実用化試験が行われている。この技術は大規模燃焼装置を前提にしているが、暖房用ボイラーにも適用できると考えられる。しかし、流体化された石炭の流通体系の整備と経済性が問題である。また、寒冷地では、冬期に水スラリー燃料(CWM; Coal Water Mixture)の凍結が起こるので、その対策も考えなければならない。本調査では、水に凍結防止液を混合する

ことが提案された。しかし、スラリーの安定性および粘性に問題があり、引き続き検討が必要である。

石炭コークスは石炭と異なり、ばい煙は出ないが、着火性、燃焼の制御など利便性に欠けるきらいがある。

北海道立工業試験場で開発したバイオコールは、木粉を20ないし25%含んだペレット状石炭燃料で、優れた燃焼性を示す。今後、実用化に向けての問題解決が必要であろう。

2) 木質系燃料

木質系廃棄物、特に建設関係の廃材は産業廃棄物に指定され、処理体制が整備されつつある。廃材の一次加工品は単なる破砕で、これを対象とした木屑焚きボイラーはすでに実用化されている。施設スペースは重油焚きボイラーの3倍必要で、その約2/3が木屑貯蔵ヤード(3日分)である。しかし、1次加工のチップ材で市場価格が8,000~9,000円/t(低品位発熱量3,000kcal/kg; 1,000kcal/当り2.7~3円)で安価なことから、重質油燃料の代替として十分なメリットを有している。もし、燃料の安定供給が可能ならば、土地の安い寒冷地では大規模暖房施設に適用できると考えられる。

燃料として成型加工した木質系燃料、例えばオガライト、ウーデックスなどは、すでに燃焼器の開発も行われており、石油代替燃料として部分的に使われている。(財)クリーンジャパンセンターが昭和57年度に行った「再資源化技術の地域適用性に関する調査研究報告書」によると、オホーツク海に面した佐呂間町のカラマツ間伐材をウーデックスに加工した場合、製造費は1,000 kcal当り4~6円となり、石油代替燃料としての可能性が示された。ローカルエネルギー利用、地場産業育成の観点から、さらに詳細な調査が望まれる。

3) 石油系燃料

最近、A重油を灯油と同様、家庭用暖房に用いるために燃焼器の開発が行われている。A重油も石油系ではあるが、灯油とほぼ同価格であり、燃料の多様化につながる。また、石油精製業者としても灯油とともに生産されるA重油の市場が開拓されることになる。A重油は灯油に比較し硫黄が多いので、十分な対策を施す必要がある。

オイルコークスも燃料としての見直しが行われているが、硫黄が濃縮されており、燃焼器の腐食や排ガスの公害が問題である。

3・2・3 その他

1) 蓄熱

蓄熱は熱の発生と需要とが時間的に異なる場合、両者を結びつける手段であり、熱の有効利用に極めて強力な武器となる。暖房においても例外ではない。例えば、暖房機器は最大負荷で運転される期間は短く、大部分が部分負荷運転である。一般に部分負荷運転は効率が悪く、もし適正負荷運転が許されれば、暖房期間を通じての効率が大幅に向上する。ヒートポンプの普及を防げている原因の一つも部分負荷運転にある。その他の暖房機器においても、24時間、48時間あるいは1週間程度の蓄熱ができれば、飛躍的な省エネルギーの達成が予想される。また、太陽熱の項で述べたように、太陽熱を暖房に使用する場合、蓄熱は極めて重要な技術課題である。

最近、蓄熱密度を上げるため、潜熱蓄熱及び化学蓄熱に関心が集まっている。潜熱蓄熱については、硫酸ナトリウム水和物など無機塩類の水和物の融解熱を利用するものが多い。これらの化合物は、一般に融解熱が大きく、高い蓄熱密度が期待される。しかし、過冷却や不可逆現象が現われたり、凝固の際の熱交換が困難であるなど、解決すべき技術課題も少なくない。

最近、表面を架橋処理して融点を上げたポリエチレンに直接接触したエチレングリコールで熱交換する蓄熱装置が注目されている。直径4 mm、長さ450 mmの丸棒ポリエチレンの束をハニカムで区分し、円筒形の蓄熱器に収納する。エチレングリコールを熱媒体としてポリエチレンを軟化させるが、表面は架橋されて互いに付着しないで、内部だけが柔らかくなり、熱を吸収する。エチレングリコールはポリエチレンに直接接触して熱交換を行うため、伝熱がよく蓄熱密度も大きい。使用しているポリエチレンの融点が127℃付近にあるため、暖房用蓄熱材としては高すぎるが、考え方は参考になる。

化学蓄熱は、顕熱及び潜熱の蓄熱に比較して、物質の単位質量当りの蓄熱量が大きい。また、化学反応を利用しているので、反応物質を接触させな

ければ、熱損失なく永久に熱を貯蔵できる利点がある。しかし、現在開発途上にあり、実用化されたものはない。本調査で検討した結果、暖房用の蓄熱を100℃以下と考え、分解して水を生成する反応ないし水の脱吸着を利用する方式が有望と考えられた。周知のように水の蒸発潜熱は100℃で、540 kcal/kgと大きく、水の脱吸着に要する熱量は潜熱の数10%増である。すなわち、水1 kg当りの蓄熱量は、600ないし1,000 kcalが期待される。化学反応では、さらに大きな蓄熱量になると予想される。その他、水は最も使用しやすい熱媒体である。

水の関与する化学反応を利用する蓄熱は、最近注目されているケミカルヒートポンプの開発につながる。圧縮式及び吸収式ヒートポンプの基本技術は、ほぼ完成しており今後飛躍的な発展が期待できるのは、ケミカルヒートポンプといわれている。寒冷地向きケミカルヒートポンプについて、さらに詳細な調査が必要である。

2) 観測システム

寒冷地の環境を定量的に把握するためには、気温、降雪、積雪など寒冷地気象を無人観測し、これらの情報を解析するシステムの開発が必要である。

3・2・4 開発体制

今まで見てきたように暖房システムの開発は、単に技術的検討にとどまらず行政の果す役割も大きい。したがって、国政レベルでのエネルギー政策にかかわる地方通商産業局及び地域の住民に密着した都道府県商工部の指導が不可欠である。これら行政機関の情報と技術情報との結合が合理的暖房システムの実用化につながる。

暖房システムの技術情報は建築工学、化学工学、材料科学、機械工学、地質学、気象学など広い分野にまたがっている。本調査では、できるだけ多くの専門家を集め、討論を繰り返しながら研究を進めた。しかし、短い期間でもあり、暖房システムの概要を調査したにすぎない。本調査をベースに分科会を構成し、具体的研究開発課題についてさらに詳しい調査をすることが望まれる。

第4章 む す び

日本の積雪寒冷地、特に北海道における暖房が、今後いかにあるべきかを探るため、調査研究を行った。

まず、北海道の特徴を気象及び資源の点から明らかにすることを試みた。その結果、北海道は日本海側で積雪量が多いものの、北ヨーロッパ、北アメリカ、カナダなどいわゆる北方文化圏の寒冷地と類似する気候であることが分かった。また、石油以外の燃料、例えば石炭、バイオマス、泥炭などに恵まれ、更に地域によっては地熱、地下水、太陽エネルギーなどの自然エネルギーが利用可能であることも判明した。

一方、暖房方法の現状を国の内外にわたって調査し、将来の在り方を考える一助とした。各地域の暖房法は、それぞれの文化と伝統に深く関連しており、長い経験の下に独自の発達をしてきている。

例えば、北ヨーロッパでは早くから地域暖房が普及しており、北アメリカやカナダではセントラルヒーティングが多い。北海道においては、開拓以来、本州の南方系開放型住宅が持ち込まれ、局所暖房で長い間、耐え忍んできた。第2次大戦後、耐寒住宅が普及し始め、所得水準の向上に伴って、ようやく寒冷地にふさわしい高断熱住宅が建てられるようになった。しかし、合理的暖房システムという観点からみる場合、北海道の住宅は必ずしも満足すべきものではない。例えば、地域資源及びエネルギーを十分に活用しているとはいえない。

本調査では、北海道に恵まれた上記の条件を活かして、暖房用熱源とする可能性を技術的側面から検討し、開発すべき課題を抽出した。また、一度発生したエネルギーをできるだけ逃がさないよう

にするための建物の高断熱化、エネルギーの再利用を図る熱回収、更にこれらを含む暖房システムの合理化について考察を加えた。また、省エネルギー型建築のモデルケースをケーススタディとして調査した。以上の調査結果に基づき、合理的暖房システムを確立するために必要な技術課題を取りまとめた。

およそ暖房の目的は、居住空間に快適な温度、湿度などを持つ空気を供給し、これを維持・管理することにある。暖房システムの合理化は、この目的をできるだけ無駄なく行うことであり、そのためには燃料の多様化と省エネルギー化が重要である。

一方、居住空間の性質は建築構造物に由来し、その地域の生活様式に規定される。そして、省エネルギーの方式は建築構造物に大きく依存する。

ある地域の暖房法が地域の文化及び自然条件に左右されるゆえんである。しかし、科学技術の発達により、合理的暖房システムには、地域の差異を超えた共通点があることも事実である。

本調査で提案された開発すべき技術課題及び開発体制は、我が国の積雪寒冷地、特に北海道を念頭においてまとめられたものである。したがって、地域固有の問題も含んでいる。しかし、多くの点で日本国内の多積雪地帯や準寒冷地帯はもとより、世界の寒冷地に共通した課題が提案されていると考えられる。

すぐれた暖房システムとは、その地域の特徴を最大限に活用し、最少のエネルギー消費で快適な居住空間を維持する技術体系である——これが本調査研究で得られた我々の結論である。

北海道工業開発試験所技術資料

第10号

昭和59年10月1日 発行

発行所 工業技術院北海道工業開発試験所
札幌市豊平区月寒東2条17丁目2番1号
電話 (011) 851-0151

印刷所 富士プリント株式会社
札幌市中央区南16条西9丁目
電話 (011) 531-4711
