

平成10年度調査報告書

N E D O - P - 9 8 0 2

都市型多目的地熱利用技術の 開発、導入、促進に関する調査

平成11年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先 地熱エンジニアリング株式会社



010013367-7

「都市型多目的地熱利用技術の開発、導入、促進に関する調査」

地熱エンジニアリング株式会社
平成 11 年 3 月（133 頁）

目的

従来の地熱開発は、地熱発電所の設置を前提として議論がなされてきた。地熱発電に適用可能な地熱資源は高エンタルピーの地熱資源に限られ、低エンタルピー地熱資源はほとんど活用されてこなかった。しかしながら、温度差エネルギーを中心とした低エンタルピー地熱資源は広く、大量に分布することから、資源量としては膨大に存在している。従って、この未利用資源を活用することにより、近年問題となっている地球温暖化の主原因といわれている CO₂ 排出量の削減に大きく寄与することが期待されている。

本調査の目的は、エネルギー需要の大きな都市部を中心に、地温勾配の温度差を利用した地熱ヒートポンプシステムの導入・普及の可能性を明らかにし、今後のプロジェクトにつなげるものである。

平成10年度調査報告書

NEDO-P-9802

都市型多目的地熱利用技術の 開発、導入、促進に関する調査

平成11年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先 地熱エンジニアリング株式会社

まえがき

本報告書は、地熱エンジニアリング株式会社が、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託を受けて実施した「都市型多目的地熱利用技術の開発・導入・促進に関する調査」の調査結果を取りまとめたものであります。

本調査の実施に当たっては、通商産業省ニューサンシャイン計画推進本部、新エネルギー・産業技術総合開発機構、並びに委託先に設置した、都市型多目的地熱利用技術調査委員会の各位にご指導、ご協力を賜りました。また、調査に当たって学識経験者からのご協力も頂きました。

これらの方々に対して心から感謝を申し上げる次第であります。

平成11年3月

地熱エンジニアリング株式会社
代表取締役社長 稲月 勝哉

[Outline]

Low enthalpy geothermal resources has not been utilized in the past. However, since vast tracts of low enthalpy geothermal resources exist as energy in the form of differential temperatures, the reserves are estimated to be enormous. As a result, there is growing interest in the utilization of this untapped energy in order to reduce carbon dioxide emissions which is the main cause for global warming, one of today's most serious issues.

The purpose of this feasibility study is to investigate the different aspects of problems in relation to cost, technology and measures affecting the introduction and widespread acceptance of geothermal heat pump (GHP) systems. Specifically, the investigation was conducted by collecting information from relevant literature, random surveys, discussion forums and expert groups.

(1) Present situation

Currently geothermal heat pump (GHP) installations number 300,000 in the United States and 50,000 in Switzerland and are increasing at an annual rate of 10%. With even more favorable temperature conditions, the introduction of these systems in Japan has been found to be feasible. The geothermal heat pump (GHP) with vertical ground heat exchanger (Fig.1) is considered to suit the requirements in Japan from both topographical and environmental viewpoints.

(2) Costs and widespread acceptance of geothermal system

Cost evaluations have shown that if the drilling cost for the underground heat exchanger can be reduced with wider acceptance of the system, the additional installation costs (the difference between a conventional heating system and a geothermal heat pump (GHP) system) of the geothermal heat pump (GHP) system can be recovered by the average residential in two years with a cost subsidy of 50%, and 10 years for 30% (assuming that the subsidies are available during the initial stages of GHP introduction). (Table 1) When the costs are viewed over the operating life of the system (typically 24 years), a saving of 2,050,000 - 3,490,000 yen can be achieved with a 30% subsidy (Table 2).

When the system is evaluated in relation to an installation at an elderly

people's home, the additional initial costs of the GHP system is recoverable in 9.5 years by applying the existing subsidies currently available (a subsidy of 2/3 of the home construction cost), and recoverable in 5 years when the subsidy is increased by additional 7%, (Table 3). When the operating life is extended to 50 years, it can be shown that savings of 46 million yen as life cycle cost are possible even without subsidies (Table 4).

It can be shown that if all of the residential in Japan install a geothermal heat pump (GHP) as an overall acceptance of the system, a reduction of 52 million tons in carbon dioxide can be realized (a reduction of 4.3%) (Table 1). In addition, as almost no waste heat is exhausted into the air, the system is expected to contribute in holding down the heat build-up effect and reduce peak consumption of electric power.

(3) Technological problems

Although there are no specific technical or technological problems, several aspects remain including the development of small scale drilling rigs specialized for the installation of geothermal heat pumps (GHP's) and for drilling into soft rock formations as well as the preparation of drilling manuals.

(4) Methods for the introduction, promotion and widespread acceptance of geothermal heat pumps (GHP's)

Methods for the introduction, promotion and widespread acceptance of the system include the gathering of geological data, system standardization, preparation of manuals, demonstrations, establishment of a distribution network, and the provision of a system of subsidies. Proposals relating to systems in Japan have been based upon examples in Europe and the United States.

Table 1 Comparison of initial installation costs, operating costs and carbon dioxide reduction effect for the average residential

| | Conventional system | | GHP system | | Cost difference | | Number of years required to recovery costs | | Subsidy (%) | Carbon dioxide reduction effect Note 1) | |
|----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--|------------------|-------------|---|-----|
| | Initial costs | Operating costs (annual cost), | Initial costs | Operating costs (annual cost), | Initial costs | Operating costs (annual cost), | Without subsidy | With 1/2 subsidy | | (Ten thousands tons/year) | (%) |
| Hokkaido | 1.1million yen | 225thousand yen | 2.7million yen | 102thousand yen | 1.6million yen | 123thousand yen | 13.0 | 2.0 | 14 | 490 | 0.4 |
| Tohoku | 1.1million yen | 169thousand yen | 2.7million yen | 70thousand yen | 1.6million yen | 99thousand yen | 16.2 | 2.5 | 23 | 380 | 0.3 |
| Hokuriku | 1.1million yen | 189thousand yen | 2.7million yen | 77thousand yen | 1.6million yen | 112thousand yen | 14.3 | 2.2 | 18 | 310 | 0.3 |
| Northern Kanto | 1.1million yen | 156thousand yen | 2.7million yen | 63thousand yen | 1.6million yen | 93thousand yen | 17.2 | 1.5 | 25 | 510 | 0.4 |
| Southern Kanto | 1.1million yen | 154thousand yen | 2.7million yen | 64thousandyen | 1.6million yen | 90thousand yen | 17.8 | 1.4 | 26 | 1100 | 0.9 |
| Tokai | 1.1million yen | 159thousand yen | 2.7million yen | 64thousandyen | 1.6million yen | 95thousand yen | 16.8 | 1.5 | 24 | 580 | 0.5 |
| Kansai | 1.1million yen | 160thousand yen | 2.7million yen | 64thousandyen | 1.6million yen | 96thousand yen | 16.7 | 1.5 | 24 | 980 | 0.8 |
| Chugoku | 1.1million yen | 133thousand yen | 2.7million yen | 54thousand yen | 1.6million yen | 79thousand yen | 20.3 | 1.2 | 30 | 280 | 0.2 |
| Shikoku | 1.1million yen | 133thousand yen | 2.7million yen | 54thousand yen | 1.6million yen | 79thousand yen | 20.3 | 1.2 | 30 | 150 | 0.1 |
| Kyushu | 1.1million yen | 107thousand yen | 2.7million yen | 44thousand yen | 1.6million yen | 63thousand yen | 25.4 | 1.0 | 36 | 430 | 0.4 |
| Average・total | 1.1million yen | 159thousand yen | 2.7million yen | 66thousand yen | 1.6million yen | 93thousand yen | 17.8 | 1.6 | 25 | 5210 | 4.3 |

Note 1) Carbon dioxide reduction effect, all households installed

Table 2 Life cycle costs (LCC) per residential for a GHP system (30% subsidy)

| Area | Total LCC of an assumed system installation (Ten thousand yen/24 years) | Total LCC of the GHP system facilities (ten thousand yen/24 years) | Operating costs (ten thousand yen/year) | Number of years for the evaluation note1) | Total LCC (ten thousand yen/24 years) | Cost reductions relating to expenses for fuel, electricity and heating following introduction of a GHP system (ten thousand yen/24 years) |
|----------------|---|--|---|---|---------------------------------------|---|
| Hokkaido | 881 | 287 | 10.2 | 24 | 532 | 349 |
| Tohoku | 747 | | 7.0 | | 455 | 292 |
| Hokuriku | 795 | | 7.7 | | 472 | 323 |
| Northern Kanto | 715 | | 6.3 | | 438 | 277 |
| Southern Kanto | 711 | | 6.4 | | 441 | 270 |
| Tokai area | 723 | | 6.4 | | 441 | 282 |
| Kansai | 725 | | 6.4 | | 441 | 284 |
| Chugoku | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| Shikoku | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| Kyushu | 598 | | 4.4 | | 393 | 205 |

Note 1) Legal service life of a residential (wooden house) has been estimated at 24 years

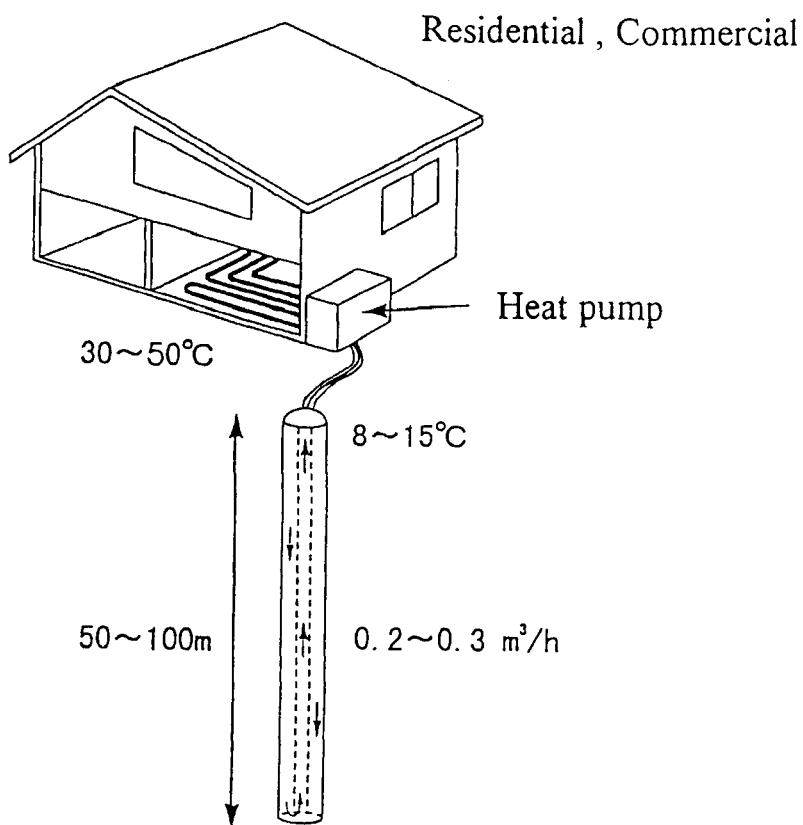


Fig 1

General layout of Geothermal heat pump (GHP)
with vertical ground heat exchanger

Table 3

The initial costs and operating costs of the existing heating, cooling system and hot water supply system, compared with the GHP heating, cooling and hot water system for an elderly people's home, cost of investment for facilities required for reducing carbon dioxide emissions, and the carbon dioxide reduction effect when GHP systems

| | | Existing system | GHP system | Cost difference | Number of years required for recovery of costs | Necessary subsidy rate for the assumed time of recovery (%) | Carbon dioxide reduction (ten thousand tons/year), Facilities investment | Facilities investment |
|--|---|---|---|---------------------|--|---|--|------------------------|
| Construction costs of an elderly people's home | Heating, cooling and hot water supply systems | Direct oil combustion/absorption type water heater/cooler (two units) (Capacity: 181,440Kcal/h) | Heat pump (60 refrigeration tons capacity: 2sets) (Underground heat exchanger (200m: 17 sets) (inclusive of the drilling cost) | | | For 10 years | (ten thousand yen/ton) | (ten thousand yen/ton) |
| Construction costs of an elderly people's home | Initial costs | 20.05million yen | Without new subsidy | 37.2million yen | 17.15million yen | 28 | 30 | 80 |
| | | | With new subsidy | 18.6million yen | -1.45million yen | 0 | | |
| | Operating costs | 2.9million yen/year | | 2.3million yen/year | 0.6million yen/year | — | | 0.07 |
| 2/3 subsidy available | Initial costs | 6.68million yen | Without new subsidy | 12.4million yen | 5.72million yen | 9.5 | 0 | 30 |
| | | | With new subsidy | 6.2million yen | -0.48million yen | 0 | | |
| | Operating costs | 2.9million yen/year | | 2.3million yen/year | 0.6million yen/year | — | | 18 |

Table 4 Comparison of the life cycle costs (LCC) of the existing system indicated in Table 4 and the GHP system (for 50 years of the evaluation)

| | | 1) Unit cost (ten thousand yen) | Life of the system | Number of systems | Number of years for the evaluation | Number of system replacements | LCC Note 3 (ten thousand-yen/ 50 years) | Total (a hundred million yen/50 years) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|--|
| 3) Existing system | 2) Oil supply facilities | 265 | 10 | 1 | 50 | 5 | 1325 | 2.45 |
| | Boilers | 775 | 10 | 2 | 50 | 5 | 7750 | |
| | Piping | 190 | 10 | 1 | 50 | 5 | 950 | |
| | Operating cost | 290 | — | — | 50 | — | 14500 | |
| 4) GHP system | Heat pump | 490 | 10 | 2 | 50 | 5 | 4900 | 1.99 |
| | ground heat exchanger | 2550 | 50 | 1 | 50 | 1 | 2550 | |
| | Plumbing system | 190 | 10 | 1 | 50 | 5 | 950 | |
| | Operating cost | 230 | — | — | 50 | — | 11500 | |

目 次

| | 頁 |
|---------------------------------|----|
| I . 総 説 | |
| 1 . 調査計画 | 1 |
| 1 . 1 調査目的 | 1 |
| 1 . 2 調査内容 | 1 |
| 2 . 調査体制及び実施方法 | 2 |
| 2 . 1 調査体制 | 2 |
| 3 . 調査経過 | 4 |
| 3 . 1 調査実施期間 | 4 |
| 3 . 2 調査実施日程 | 4 |
| 3 . 3 委員会開催日程 | 4 |
| 4 . 調査結果 | 5 |
| 4 . 1 GHPシステムの現状 | 5 |
| 4 . 2 GHPシステムの経済性評価 | 5 |
| 4 . 3 GHPシステムの技術的課題 | 10 |
| 4 . 4 GHPシステムの導入・促進・普及の方策 | 10 |
| 4 . 5 GHPシステムの普及効果 | 10 |
| II . 調査内容 | |
| 1 . GHPシステムの現状 | 11 |
| 1 . 1 GHPシステムの概要 | 11 |
| 1 . 2 GHPの地中熱変換器 | 25 |
| 1 . 3 海外における利用の現状 | 30 |
| 2 . GHPシステムの経済性評価 | 48 |
| 2 . 1 日本における利用の現状 | 48 |
| 2 . 2 研究・開発状況 | 48 |
| 2 . 3 利用状況 | 51 |
| 2 . 4 海外との経済性評価比較（スイスの例） | 53 |
| 2 . 5 日本における経済性評価（一般家庭） | 55 |
| 2 . 6 日本における経済性評価（老人ホーム） | 66 |
| 2 . 7 普及への阻害要因 | 71 |

| | |
|--|-----|
| 3 . G H P システムの技術的課題 | 72 |
| 3 . 1 戸別住宅用 G H P の性能アップ | 72 |
| 3 . 2 G H P システムのとベストマッチな冷暖房システム | 77 |
| 3 . 3 高効率地下熱交換器の開発 | 79 |
| 3 . 4 掘削のマニュアル化 | 85 |
| 3 . 5 掘削費低減への技術的提案 | 91 |
| 4 . G H P システムの導入・促進・普及の方策 | 98 |
| 4 . 1 地温分布図・地下水分布図・地質図 | 98 |
| 4 . 2 G H P システムの標準化 | 106 |
| 4 . 3 デモンストレーション | 107 |
| 4 . 4 普及促進センター | 108 |
| 4 . 5 補助制度 | 113 |
| 5 . G H P システムの普及効果 | 121 |
| 5 . 1 二酸化炭素排出量削減効果 | 121 |
| 5 . 2 ヒートアイランド現象の抑制 | 124 |
| 5 . 3 ピーク電力需要低減効果 | 125 |
| 参考文献 | 126 |
| 文献検索及び関連ホームページ | 129 |

(概要)

従来の地熱開発では、低エンタルピー地熱資源はほとんど活用されてこなかった。しかしながら、温度差エネルギーを中心とした低エンタルピー地熱資源は広く、大量に分布することから、資源量としては膨大に存在している。従って、CO₂の排出のない、この未利用資源を活用することにより、近年問題となっている地球温暖化の主原因といわれているCO₂排出量の削減に大きく寄与することが期待されている。

本「都市型多目的地熱利用技術の開発、導入、促進に関する調査」は、エネルギー需要の大きな都市部を中心に、温度勾配の温度差を利用した地熱ヒートポンプシステムの導入・普及の可能性を明らかにするために、その経済的及び技術的な諸課題、有効な施策について検討することを目的としている。具体的には、文献調査、聞き取り調査を実施し、さらに学識経験者、専門家等による委員会で審議、検討を実施した。

(1) 地熱ヒートポンプの現状

現状調査の結果、既にアメリカで30万台、スイスや北欧で5万台強が導入されており、毎年10%強の割合で増えていることが判明した。さらに、欧米より温度条件の良い日本への導入が可能であることを確認し、立地条件や環境保護の観点から日本への導入に適する坑内埋設型の地中熱交換型ヒートポンプシステムを選出した。

(2) 地熱ヒートポンプの経済性ならびに普及効果

経済性評価では、既存の冷暖房システムに比べ初期コストが増額となる地下熱交換器用の掘削費が普及に伴い低減すれば、一般家庭の場合、地熱ヒートポンプ導入費の50%補助（導入促進策として補助制度を想定）で約2年間、30%補助で10年以内に増額分（既存システムと地熱ヒートポンプシステムの建設費コスト差）を回収できることが分った。ライフサイクルコスト（24年間）的には、30%補助で205～349万円の節減が可能となる。老人ホームの場合、既存の補助制度（老人ホームに対する建設コストの2／3補助）を適用するだけで9.5年間、さらに7%補助（導入促進策として補助制度を想定）を実施すれば5年間で初期コスト増額分を回収できる。また、ライフサイクルコスト（50年間）的には、新たに補助を施行しない場合でも4600万円を節減できることが明らかとなった。

普及効果としては、全世帯に地熱ヒートポンプが普及すれば年間約5,200万トン（削減効果4.3%）のCO₂削減効果が期待できることが分った。さらに、大気中への廃熱がほとんどないことから、ヒートアイランド現象の抑制、ピーク電力消費の低減にも貢献するものと期待できる。

(3) 地熱ヒートポンプの技術的課題

技術的な大きな課題はないが、掘削費低減策として、機動性に優れ、掘削対象を軟岩に限定した地熱ヒートポンプ専用の小型掘削機の開発、掘削のマニュアル化が最重要課題であろう。

(4) 地熱ヒートポンプの導入・促進・普及の方策

導入・促進・普及の方策としては、地下情報整備、システムの標準化、マニュアルの整備、デモンストレーションによる実証、普及センターの設立、補助金制度の確立が必要と考えられ、欧米での実例を基に日本における実施方法を提案した。

I . 総 説

1. 調査計画

1. 1 調査目的

従来の地熱開発は、地熱発電所の設置を前提として議論がなされてきた。地熱発電に適用可能な地熱資源は高エンタルピーの地熱資源に限られ、低エンタルピー地熱資源はほとんど活用されてこなかった。しかしながら、温度差エネルギーを中心とした低エンタルピー地熱資源は広く、大量に分布することから、資源量としては膨大に存在している。従って、CO₂の排出のない、この未利用資源を活用することにより、近年問題となっている地球温暖化の主原因といわれているCO₂排出量の削減に大きく寄与することが期待されている。

本調査の目的は、エネルギー需要の大きな都市部を中心に、地温勾配の温度差を利用した地熱ヒートポンプシステムの導入・普及の可能性を明らかにし、今後のプロジェクトにつなげるものである。

1. 2 調査内容

低エンタルピー地熱資源の利用・促進を図るため、最近欧米を中心に普及しつつある地温勾配（地熱）の温度差を利用した地熱ヒートポンプシステム（G H P : Geothermal Heat Pump）の動向・普及の現状等に関する文献調査を実施する。また、国内関係者との面談による聞き取り調査を実施し、本システムを国内普及させる場合の経済的及び技術的な諸課題を明らかにすると共に、有効な施策等について検討する。さらに、国内の専門家による検討委員会を設置し、技術的検討を行う。

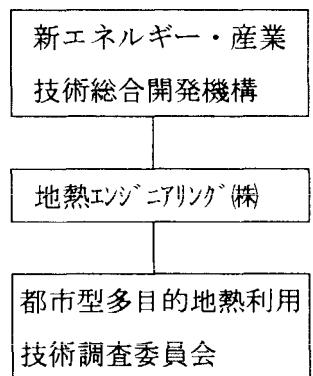
本調査は地熱ヒートポンプの使用に関する文献調査を実施する。また、促進普及策の検討を主眼点とすることから、住宅産業、ゼネコン、電力会社、地方公共団体、メーカー等からの聞き取り調査を行う。さらに、学識経験者、専門家等で構成する委員会を設置し、地熱ヒートポンプの促進・普及等について審議、検討を行うものとする。

2. 調査体制及び実施方法

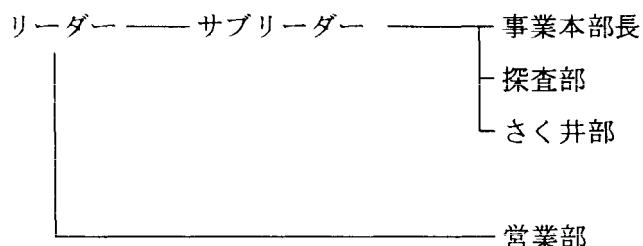
2. 1 調査体制

(1) 調査組織及び管理体制

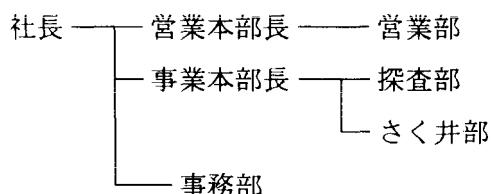
(イ) 調査組織



地熱エンジニアリング（株）



(ロ) 管理体制



(2) 調査研究者氏名及び人員

(イ) 都市型多目的地熱利用技術調査委員会

| | | |
|-------|--------------|----------------------|
| 木村建一 | 早稲田大学 | 理工学部 教授 |
| 伊香賀俊治 | 東京大学 | 生産技術研究第5部助教授 |
| 石井武政 | 地質調査所 | 環境地質部水文地質研究室長 |
| 石川 修 | ㈱ミサワホーム総合研究所 | 取締役技術開発部担当部長 |
| 石野久弥 | 東京都立大学 | 工学部建築工学科教授 |
| 大橋健治 | 東京都 | 環境保全局環境管理部環境計画室課長 |
| 西野宗武 | ㈱インターフィニティ | 代表取締役社長 |
| 針ヶ谷純吉 | 新日本空調㈱ | 技術本部本部長 |
| 日野俊之 | 鹿島建設㈱ | 技術研究所第5研究部第2研究室主幹研究員 |
| 山口 勉 | 資源環境研究所 | 地殻工学部地殻エネルギー研究室長 |

(ロ) 地熱エンジニアリング株式会社

| 氏 名 | 所属および役職名 | 担 当 |
|-------|--------------------------------|--------|
| 高杉 真司 | 地熱エンジニアリング㈱営業本部 技師長 | リーダー |
| 花野 峰行 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 取締役部長 | サブリーダー |
| 吉田 裕 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 専務取締役事業本部長 | 調査検討 |
| 高橋 昌宏 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 部長代理 | " |
| 赤澤 司史 | 地熱エンジニアリング㈱営業本部 営業部 課長 | " |
| 池内 研 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 プロジェクト室 課長 | " |
| 館野 正之 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 物理グループ 課長 | " |
| 奥村 貴史 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 物理グループ 技師 | " |
| 桑野 恭 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 探査部 物理グループ 技師 | " |
| 佐久間澄夫 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 さく井部 技術担当部長 | " |
| 菊地 隆行 | 地熱エンジニアリング㈱事業本部 さく井部 課長 | " |

3. 調査経過

3. 1 調査実施期間

自 平成 10 年 12 月 4 日

至 平成 11 年 3 月 31 日

3. 2 調査実施日程

| 項目 年月 | 平成 10 年 | | 平成 11 年 | |
|----------|---------|-----|---------|-----|
| | 12 月 | 1 月 | 2 月 | 3 月 |
| 委員会 | | ○ | | ○ |
| ①技術動向調査 | — | — | | |
| ②聞き取り調査 | | — | | |
| ③とりまとめ | | | — | |
| ④報告書作成 | | | | — |

3. 3 委員会開催日程

平成 11 年 1 月 11 日 第 1 回都市型多目的地熱利用技術調査委員会

平成 11 年 3 月 9 日 第 2 回都市型多目的地熱利用技術調査委員会

4. 調査結果

4. 1 GHPシステムの現状

GHPシステムは、熱抽出対象及び熱抽出方式により以下の4種類に分類される。

- ①地中熱交換型ヒートポンプシステム
- ②地下水を直接利用するヒートポンプシステム
- ③地表水（湖沼・河川等）を直接利用、または熱源とするヒートポンプシステム
- ④直膨型ヒートポンプシステム

上記の4種類のうち、本調査で検討するシステムは、地中熱交換型ヒートポンプを用いたシステム（第4. 1-1図）である。

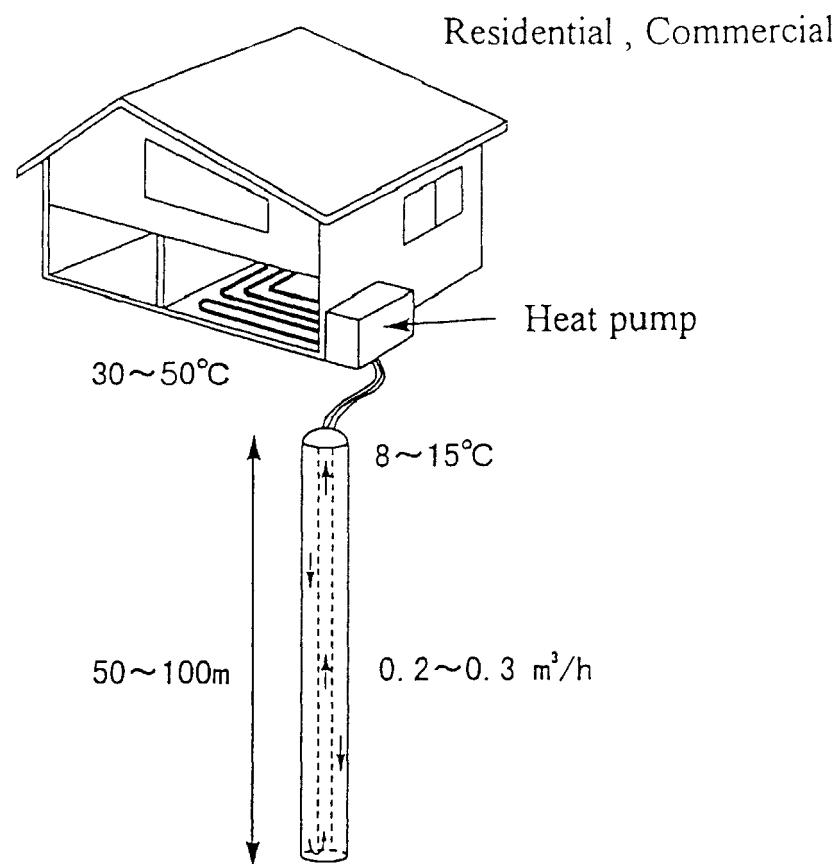
熱交換器の形体による分類としては、熱交換器の設置形体から、水平設置（水平埋設）と内埋設（垂直埋設）に大別される。

海外、特にアメリカ、スイス、北欧においてGHPシステムを用いた冷暖房は数多く実用されている。導入台数は、アメリカ30万台、スイス2万台、北欧3万台強である。しかし、スイス・北欧が住宅に数多く導入されているのに対し、アメリカでは、ビルなどの大建造物に導入されており、また、冷暖房スペース1カ所に対してヒートポンプ1台を設置している場合があり、ビル1つにヒートポンプが数十台取り付けられていることもあります、アメリカの場合、導入台数がGHPシステムの利用者数には必ずしも対応しないと考えられる。

4. 2 GHPシステムの経済性評価

日本での研究・開発、および利用の状況を調査した。また、スイスにおけるGHPシステムと他の空調設備とのコスト比較、日本におけるGHPシステムと現状の空調設備とのコスト比較を行った。

その結果、既存の冷暖房システムに比べ初期コストが増額となる地下熱交換器用の掘削費が普及に伴い低減すれば、一般家庭の場合、地熱ヒートポンプ導入費の50%補助（導入促進策として補助制度を想定）で約2年間、30%補助で10年以内に増額分（既存システムと地熱ヒートポンプシステムの建設費コスト差）を回収できることが分った（第4. 2-1表）。ライフサイクルコスト（24年間）的には、30%補助で205～349万円の節減が可能となる（第4. 2-2表）。老人ホームの場合、既存の補助制度（老人ホームに対する建設コストの2/3補助）を適用するだけで9.5年間、さらに7%補助（導入促進策として補助制度を想定）を実施すれば5年間で初期コスト増額分を回収できる（第4. 2-3表）。また、ライフサイクルコスト（50年間）的には、新たに補



第4. 1-1図 坑井内熱交換／ヒートポンプ方式

第4. 2-1表 地域別初期コスト・ランニングコストおよび二酸化炭素削減効果一覧(要約)

| | 仮定したシステム | GHPシステム | | コスト差 | | 回収年数を想定した場合の必要補助率(%) ^{注2)} | | | | 二酸化炭素削減効果 ^{注3)} (万ton/年) | 二酸化炭素削減効率(%) | | |
|-------|----------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|-------|-----|-----|-----------------------------------|--------------|------|-----|
| | | 初期コスト (年間費用) | ランニングコスト ^{注1)} (年間費用) | 初期コスト (年間費用) | ランニングコスト (年間費用) | 補助なし | 1/2補助 | 5年間 | 8年間 | 10年間 | | | |
| 北海道 | 110万円 | 22.5万円 | 270万円 | 10.2万円 | 160万円 | 12.3万円 | 13.0 | 2.0 | 36 | 23 | 14 | 490 | 0.4 |
| 東北 | 110万円 | 16.9万円 | 270万円 | 7万円 | 160万円 | 9.9万円 | 16.2 | 2.5 | 40 | 30 | 23 | 380 | 0.3 |
| 北陸 | 110万円 | 18.9万円 | 270万円 | 7.7万円 | 160万円 | 11.2万円 | 14.3 | 2.2 | 38 | 26 | 18 | 310 | 0.3 |
| 北関東 | 110万円 | 15.6万円 | 270万円 | 6.3万円 | 160万円 | 9.3万円 | 17.2 | 1.5 | 42 | 32 | 25 | 510 | 0.4 |
| 南関東 | 110万円 | 15.4万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9万円 | 17.8 | 1.4 | 43 | 33 | 26 | 1100 | 0.9 |
| 東海 | 110万円 | 15.9万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9.5万円 | 16.8 | 1.5 | 42 | 31 | 24 | 580 | 0.5 |
| 関西 | 110万円 | 16.0万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9.6万円 | 16.7 | 1.5 | 41 | 40 | 24 | 980 | 0.8 |
| 中国 | 110万円 | 13.3万円 | 270万円 | 5.4万円 | 160万円 | 7.9万円 | 20.3 | 1.2 | 45 | 36 | 30 | 280 | 0.2 |
| 四国 | 110万円 | 13.3万円 | 270万円 | 5.4万円 | 160万円 | 7.9万円 | 20.3 | 1.2 | 45 | 36 | 30 | 150 | 0.1 |
| 九州 | 110万円 | 10.7万円 | 270万円 | 4.4万円 | 160万円 | 6.3万円 | 25.4 | 1.0 | 48 | 41 | 36 | 430 | 0.4 |
| 平均・合計 | 110万円 | 15.9万円 | 270万円 | 6.6万円 | 160万円 | 9.3万円 | 17.8 | 1.6 | 42 | 33 | 25 | 5210 | 4.3 |

注1): GHPシステムの初期コストは、上段が現状での見積価格、下段が普及後の掘削費用での想定価格。

注2): 回収年数は、購入意欲を想定して設定した。

注3): 全世帯に普及させた場合の二酸化炭素排出量削減効果。

第4. 2-2表 GHPシステム(30%補助)を導入した場合のライフサイクルコスト(LCC)(一世帯あたり)

| 地域 | 想定システム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注1)} | GHPシステム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注2)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注3)} | 合計LCC (万円/24年) | GHPシステム採用による光熱経費軽減額 (万円/24年) |
|-----|--|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| 北海道 | 881 | 287 | 10.2 | 24 | 532 | 349 |
| 東北 | 747 | | 7.0 | | 455 | 292 |
| 北陸 | 795 | | 7.7 | | 472 | 323 |
| 北関東 | 715 | | 6.3 | | 438 | 277 |
| 南関東 | 711 | | 6.4 | | 441 | 270 |
| 東海 | 723 | | 6.4 | | 441 | 282 |
| 関西 | 725 | | 6.4 | | 441 | 284 |
| 中国 | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| 四国 | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| 九州 | 598 | | 4.4 | | 393 | 205 |

注1):想定システム設備に関するLCCは第2. 4-8表参照。

注2):GHPシステム設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注3)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|------------------------------------|--------------|----|------|---------------------|--------|--------------|
| ヒートポンプ本体 ^{注4)} | 70 (49) | 1 | 10 | 24 | 3 | 210 (147) |
| 地下熱交換器 ^{注5)} (掘削費用を含む) | 200 (140) | 1 | 50 | 24 | 1 | 200 (140) |
| 合計 | | | | | | 410 (287) |

上段は補助なし、下段括弧は30%補助あり。

注3):戸建住宅(木造)の法定耐用年数(24年)とした。

注4):GHPシステムに使用するヒートポンプの耐用年数は、
ヒートポンプに使用されているコンプレッサーの耐用年数(10年)とした。

注5):地下熱交換器の耐用年数は、地下熱交換器の材質(ポリエチレン)の
耐用年数(50年)とした。また、掘削費用は、普及10年後の掘削費用での想定価格。

注6):GHPの補助率は、第2. 5-2表で大部分の地域で10年回収が可能となる補助率(30%)とした。

第4. 2-3表 一世帯あたりの冷暖房・給湯設備に関するライフサイクルコスト(LCC)

| | 設備に関するLCC (万円/24年) ^{注1)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注2)} | ランニングコストに関するLCC (万円/24年) | 合計LCC (万円/24年) |
|-----|--------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|
| 北海道 | 22.5 | | | 540 | 881 |
| | 16.9 | | | 406 | 747 |
| | 18.9 | | | 454 | 795 |
| | 15.6 | | | 374 | 715 |
| | 15.4 | 24 | | 370 | 711 |
| | 15.9 | | | 382 | 723 |
| | 16.0 | | | 384 | 725 |
| | 13.3 | | | 319 | 660 |
| | 13.3 | | | 319 | 660 |
| 九州 | 10.7 | | | 257 | 598 |
| | | | | | 154 |

第4. 2-4表 GHPシステム(補助なし)を導入した場合のライフサイクルコスト(LCC)(一世帯あたり)

| 地域 | 設備に関するLCC (万円/24年) ^{注1)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注2)} | ランニングコストに関するLCC (万円/24年) | 合計LCC (万円/24年) | GHPシステム採用による光熱経費軽減額 (万円/24年) |
|-----|--------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 北海道 | 10.2 | | | 245 | 655 | 226 |
| | 7.0 | | | 168 | 578 | 169 |
| | 7.7 | | | 185 | 595 | 200 |
| | 6.3 | | | 151 | 561 | 154 |
| | 6.4 | 24 | | 154 | 564 | 147 |
| | 6.4 | | | 154 | 564 | 159 |
| | 6.4 | | | 154 | 564 | 161 |
| | 5.4 | | | 130 | 540 | 121 |
| | 5.4 | | | 130 | 540 | 121 |
| 九州 | 4.4 | | | 106 | 516 | 82 |
| | | | | | | 154 |

注1):設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 使用台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注2)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|---------|----------|------|------|---------------------|--------|-------------|
| エアコン | 15 | 4 | 10 | 24 | 3 | 180 |
| ファンヒーター | 3.5 | 4 | 6 | 24 | 4 | 56 |
| ガス給湯器 | 35 | 1 | 10 | 24 | 3 | 105 |
| 合計 | | | | | | 341 |

注2):戸建住宅(木造)の法定耐用年数(24年)とした。

注3):設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 使用台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注2)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|------------------------------------|----------|------|------|---------------------|--------|-------------|
| ヒートポンプ 本体 ^{注4)} | 70 | 1 | 10 | 24 | 3 | 210 |
| 地下熱交換器 ^{注5)} (掘削費用を含む) | 200 | 1 | 50 | 24 | 1 | 200 |
| 合計 | | | | | | 410 |

注4):GHPシステムに使用するヒートポンプの耐用年数は、ヒートポンプに使用されているコンプレッサーの耐用年数(10年)とした。

注5):地下熱交換器の耐用年数は、地下熱交換器の材質(ポリエチレン)の耐用年数(50年)とした。また、掘削費用は普及10年後の価格競争時に想定される価格(現状の半額)とした。

曾の鉛筆化を算數考古学の上期待される。

特征、二維化辰泰推出量販機器人系列、全國各 GHP 分公司專人巡視指導、 CO_2 排出量削減效果初期待見效。至 5 月，年關 5200 萬 KWh (削減效果 4.3%) CO_2 排出量削減效果初期待見效。至 5 月，大處中減少電能耗費及降低溫室氣體排放、進一步減少溫室氣體的抑制、進一步電力消

- ①二輪化服務業非出售型訓練効果
 - ②セーフティマーケティング効果
 - ③セーフティマーケティング効果

CHP 之大字也算人所嘗及頗果訖於此、以期主刀者之公私考究為已矣。

4.5 GHBによる音及効果

算大・促進・普及の方策を乞うたが、地下構造整備、立子山の標準化、一二二二年九月に纏められた
整備、元々は大日本工場の実験、普及を目的とし、輔助金制度の確立が、必ずも実現された。

4.4 GHP之太子方案 - 優選 - 普及方案

乃最重要課題(本文五)。

- ④螺旋副螺旋副減小①技術的複雜
⑤螺旋副螺旋副減小②技術的複雜

17.01.2024 18:16:16 | Page 21 of 26 | IWD ©

- ① JHD 用電阻測量儀

⁹ 同上。王力《现代汉语词典》(1980年)对“幽默”一词的释义是：“有趣而意味深长。”

4.3 GPUによる映像認識

微光之真誠才子書的日期得乞鑒。

助农金融工具综合运用4600万用于金融创新工具5项，帮助农民增收46亿元（第4、2—4表）。普惠及效果达7.1%、全世界带地膜达1.1亿亩以上。新增农机装备年翻番5,200万台（助农金融及效果4.3%）⑩ CO₂ 减碳效果如期待已久之节能减排（第4、2—1表）。这之后，大旱效果43%）⑪ 落实节能减排之决心、每一个人都可以“观察”机制、每一个重大节能减排项目

II . 調査内容

1. GHPシステムの現状

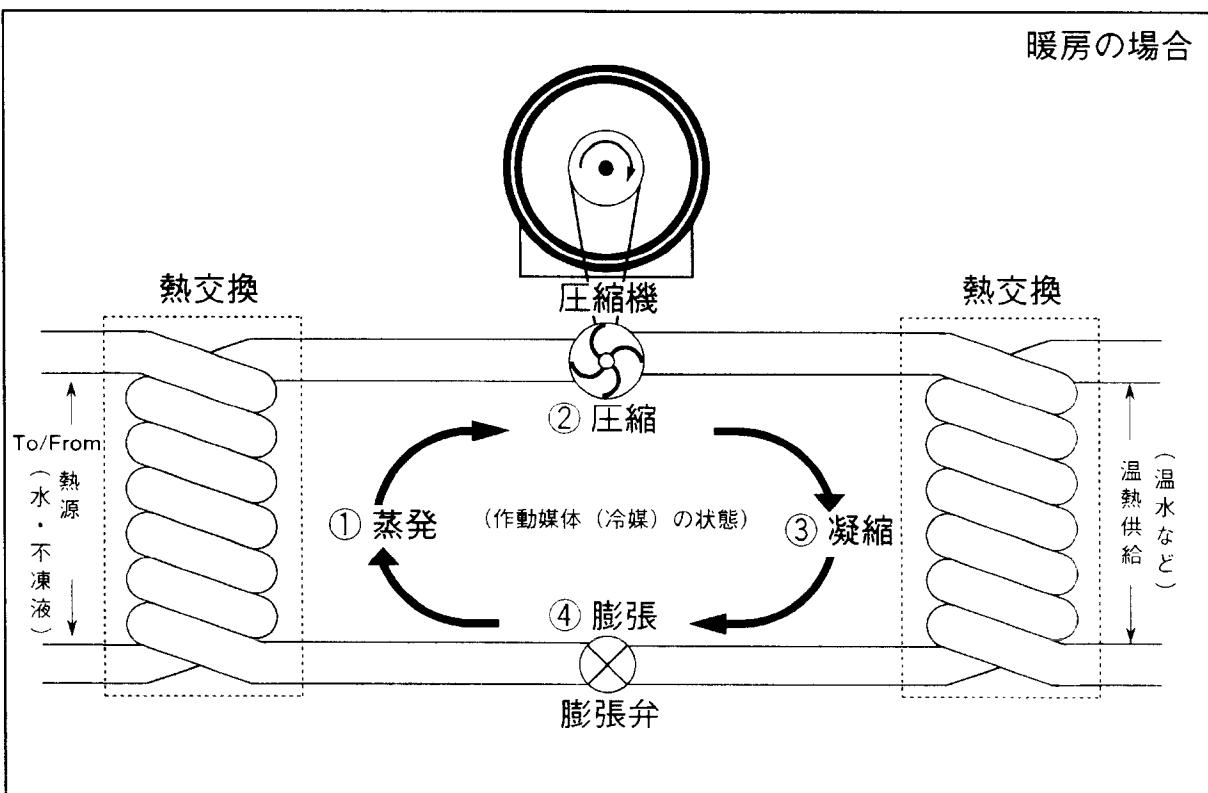
1. 1 GHPシステムの概要

ヒートポンプとは、熱を温度の低いところから高いところにくみ上げ、その熱を利用するためのものである。一般に普及しているヒートポンプとしては、エアコン等で使われている、熱源を空気とした空気熱源ヒートポンプである。空気熱源ヒートポンプは、熱源をヒートポンプ周辺の空気とするので、寒冷地では、冬季の外気温低下に伴う暖房能力の低下や熱交換器への霜の付着等の問題があり、広範囲には普及できない状況にある。また、外気温が-15°C以下になる地域では空気熱源ヒートポンプは利用できない。

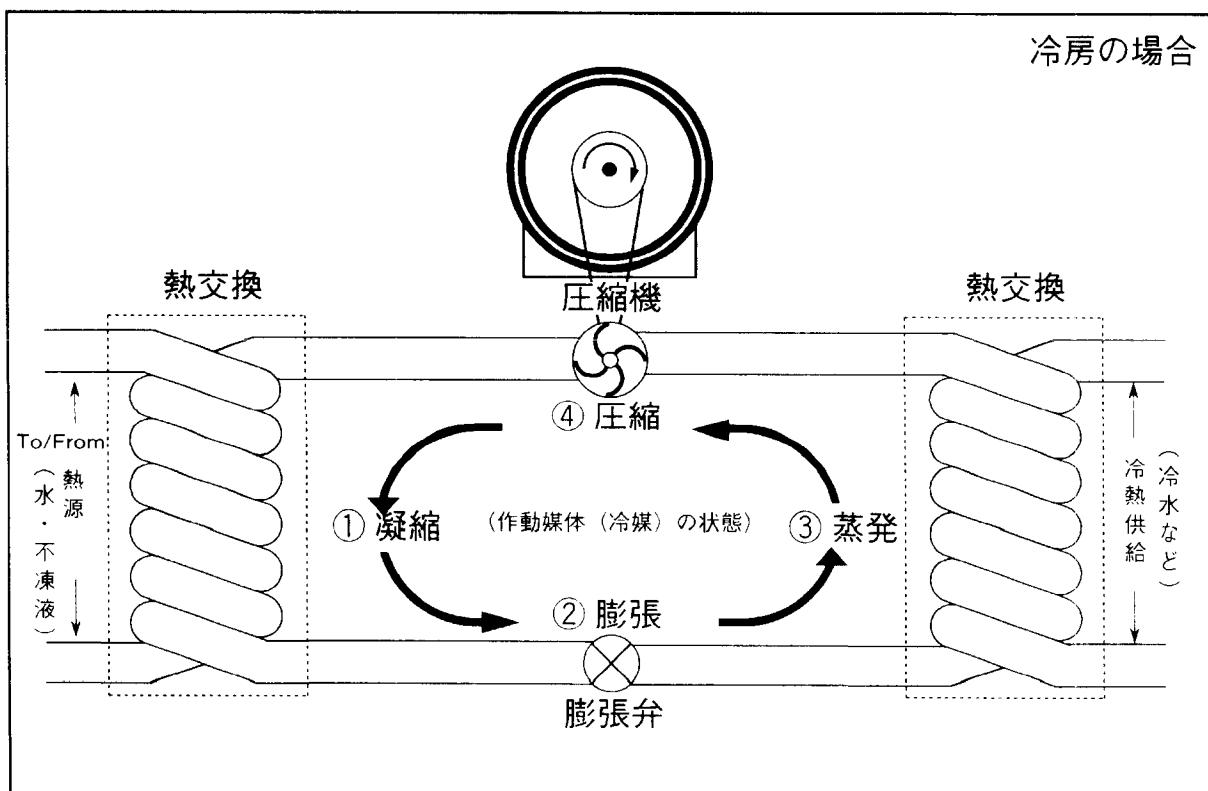
一方、GHPシステム（第1. 1-1図）は、地下水・地層等を温熱源（ヒートソース）とみなして熱エネルギーを取り出し、暖房や融雪などへの温熱供給を行ったり、逆に冷熱源（ヒートシンク）とみなして熱を放出し、冷房や冷却などへの冷熱供給を行うシステムである。熱源を地下水や地層等とするため、空気熱源ヒートポンプと違い、年間を通して熱源の温度の大きな変化はなく、安定した熱エネルギーを取り出すことができ、広範囲での利用が可能であると考えられる。

一般的に、大多数のヒートポンプは蒸気圧縮サイクルの原理で動く（第1. 1-2図）。GHPシステムで用いられるヒートポンプも同じ原理である。このようなヒートポンプシステムの主要コンポーネントは圧縮機、膨張弁、及び蒸発器と凝縮器と呼ばれる2つの熱交換器である。これらは密閉系システムをなしている。その密閉システム内を、作動媒体（冷媒）である揮発性の液体がこの4つのコンポーネントを通じて循環し熱を運ぶ。暖房サイクルの場合、蒸発器においては、液体の作動媒体の温度は熱源温度よりも低く保たれる。その結果、熱は熱源から液体の方に流れ、作動媒体は蒸発する。圧縮機においては、蒸発器からの蒸気はより高温高圧になるように圧縮される。次に、高温の蒸気は凝縮器に入り、そこで凝縮して有効熱を発生させる。最後に、高圧の作動媒体は膨張弁中で蒸発器圧力・温度まで膨張される。作動媒体は元の状態に戻り、再び蒸発器に入る。冷房サイクルの場合は、蒸発器においては、液体の作動媒体の温度は熱源温度よりも高く保たれる。その結果、熱は流体から熱源の方に流れ、作動媒体は凝縮する。凝縮した流体は膨張弁中にて膨張されてさらに低温となる。次に、低温の流体は蒸発器に入り、そこで蒸発して冷熱を供給する。最後に、蒸発した作動媒体は凝縮器圧力・温度まで圧縮される。作動媒体は元の状態に戻り、再び凝縮器に入る。

暖房の場合



冷房の場合



第1. 1-2図 密閉蒸気圧縮サイクルのヒートポンプ概念図

蒸気圧縮サイクルによるヒートポンプ内の作動媒体の状態を理論的に表したのが第1. 1－3図（モリエ線図）である。5→1が蒸発、1→2が圧縮、2→4が凝縮、4→5が膨張を表している。よって、作動媒体の状態は、暖房サイクルの場合、5→1→2→4→5と変化し、冷房サイクルの場合は、2→4→5→1→2と変化していく。

ヒートポンプを用いる際に重要な要素としてCOP (Coefficient of Performance : 成績係数) と昇温幅がある。COPの定義は

$$COP =$$

$$(ヒートポンプから得られるエネルギー) / (ヒートポンプに必要な動力エネルギー)$$

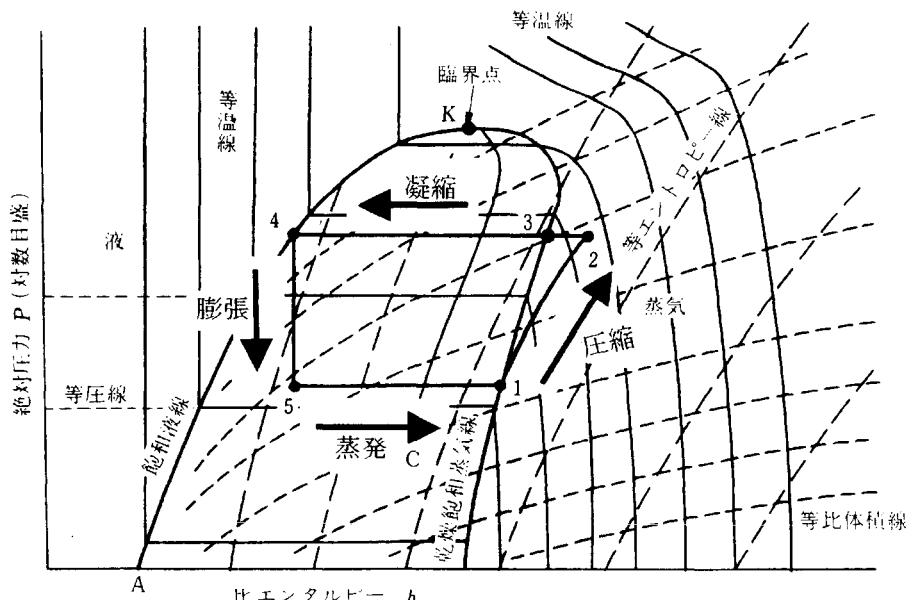
である。昇温幅とは、利用しようとする温度と熱をくみ上げてくる吸熱熱源との温度差をいう。COPと昇温幅は密接な関係にある（第1. 1－4図）。なぜなら、昇温幅が大きいほど、ヒートポンプに必要な動力、すなわち圧縮機への動力がより大きくなり、COPは小さくなる。

空気熱源ヒートポンプでは、空気を熱源とするため、昇温幅が外気温に大きく左右されるので、安定したCOPを得られない。しかし、GHPは地下水や地層等を熱源としているので、年間を通じて熱源の温度の大きな変化はないので、安定したCOPが得られる。このような点からも、GHPシステムの利用の可能性が考えられる。したがって、空気熱源ヒートポンプとGHPとの性能比較は、COPによって単純に行うのではなく、SPF (Seasonal Performance Factor : 季節成績係数 (年間を通した全冷暖房期間でのCOP平均値)) によって、行う必要があると考えられる。従来このような比較は行われていないようであるので、今後はデータを収集して、SPFによる評価を行う必要があると考える。

GHPシステムは、熱抽出対象及び熱抽出方式により以下の4種類に分類される。

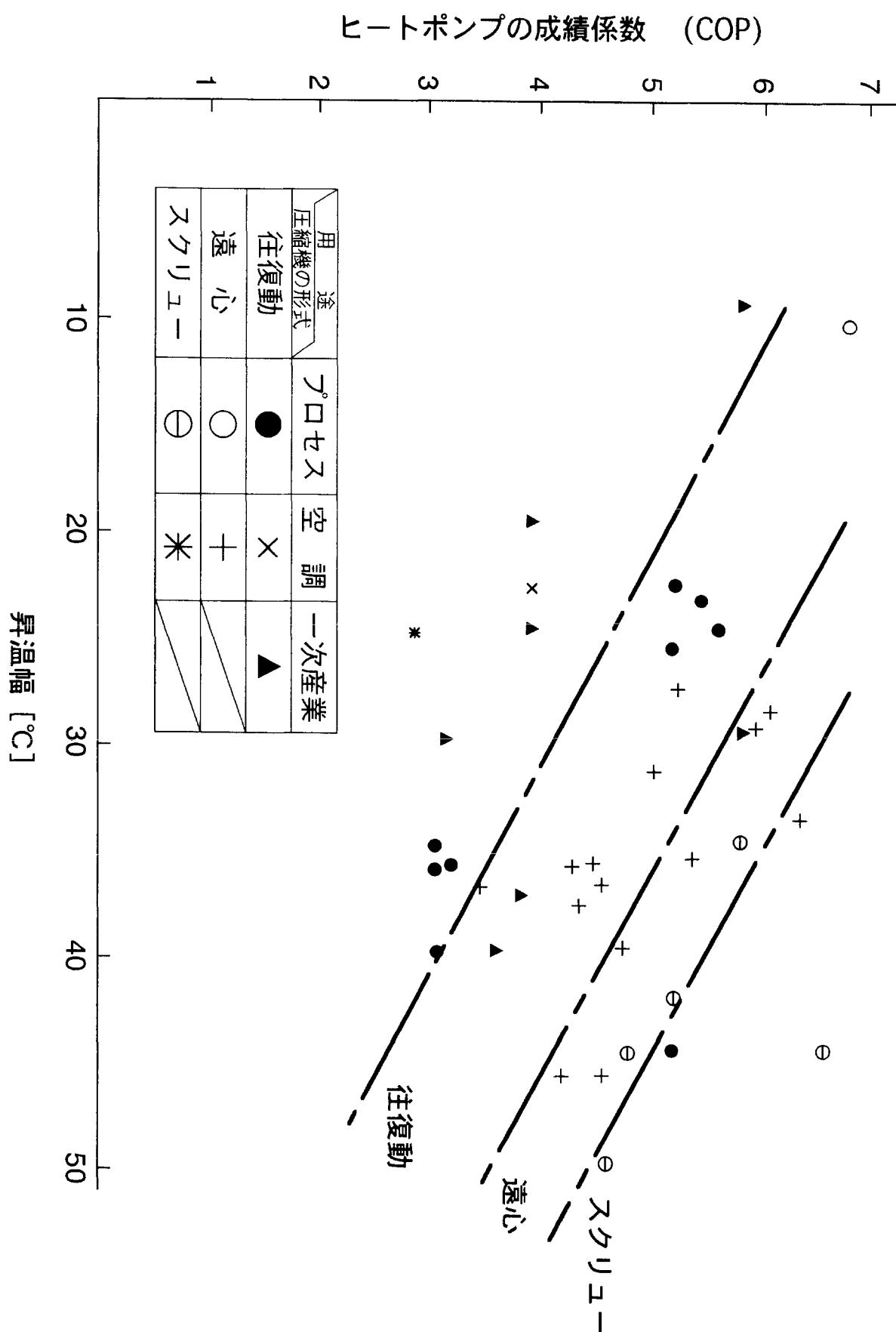
- ①地中熱交換型ヒートポンプシステム
- ②地下水を直接利用するヒートポンプシステム
- ③地表水（湖沼・河川等）を直接利用、または熱源とするヒートポンプシステム
- ④直膨型ヒートポンプシステム

上記の4種類のうち、本調査で検討するシステムは、地中熱交換型ヒートポンプを用いたシステムである。



注) KC曲線は等乾き度曲線

第1. 1-3図 モリエ線図上のヒートポンプサイクル（高田・黒田（1991）より）



第1. 1-4図 昇温幅とヒートポンプの成績係数 (COP) の関係 (高田・黒田 (1991) より)

①地中熱交換型ヒートポンプシステム（第1. 1－1図）

地層・大地及び地下水等の地中の熱を熱源として、地中に設置した熱交換器と地上のヒートポンプとを結ぶパイプ内に水・ブライン等を循環させて、地中から熱を取り出したり、地中に熱を放出する。パイプ内の水・ブライン等を媒体として得られた熱源からの熱を、ヒートポンプ内を循環する作動媒体との間で熱交換するシステムである。

地中に設置した熱交換器は密閉であり、地中との物質の移動を伴わないので、環境を汚染しないシステムである。

このシステムにおける技術的問題点は、地中と地中に設置された熱交換器間、熱交換器とヒートポンプ間の2カ所で熱交換が行われているので、熱交換効率が低くなることである。

②地下水を直接利用するヒートポンプシステム（第1. 1－5図）

地下水を直接くみ上げ、地下水とヒートポンプ内を循環する作動媒体の間で熱交換を行うシステムである。熱交換後の地下水は、河川等へ放流または地下に還元される。地下水を直接利用するシステムは、日本でも過去に数多くの実績例があるが、現在では、地下水のくみ上げ規制により、一部の地域を除いてほとんど採用することが出来ない状況である。

③地表水（湖沼・河川等）を直接利用、または熱源とするヒートポンプシステム （第1. 1－6図）

湖沼、河川や海水等の地表水を熱源として利用するシステムである。このシステムは、地表水を直接利用するタイプと間接的に利用するタイプに分けられる。

地表水を直接利用するタイプは、地下水を直接利用するヒートポンプシステムが地下水をくみ上げるのに対し、湖沼や河川の水をくみ上げてヒートポンプ内を循環する媒体と熱交換を行い、熱交換後の水を環流するものである。このタイプは、地表水を直接利用するため、熱源となる地表水が気候的影響を受けやすいので、空気熱源ヒートポンプほどでないにしろ、熱源の温度変化が比較的大きく、安定した熱効率が得られるとは限らない。

地表水を間接的に利用するタイプは、地中熱交換型ヒートポンプシステムが地中に熱交換器を設置するのに対し、湖沼や河川の水中に熱交換器を設置し、水中の熱交換器とヒートポンプを結ぶパイプ内に水やブラインを循環させて、廃熱や抽熱を行う

ものである。地中熱交換型ヒートポンプシステム同様、水中に設置した熱交換器は密閉なので、地表水との物質の移動を伴わないから環境を汚染しない。

④直膨型ヒートポンプシステム（第1. 1-7図）

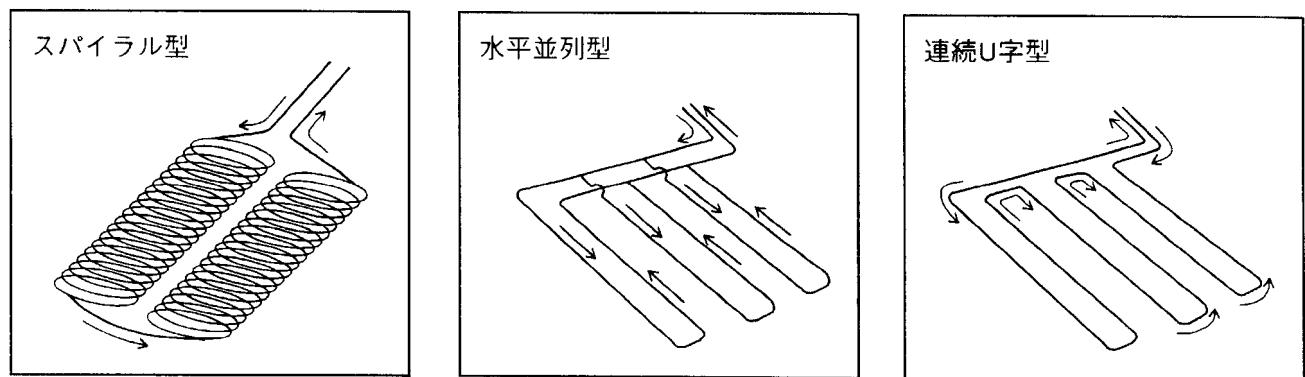
地中熱交換型ヒートポンプシステム同様、地中に熱交換器を設置して、熱を取り出したり、熱を放出するシステムであるが、このシステムは、地中熱交換型ヒートポンプシステムでヒートポンプ内を循環していた作動媒体を、直接地中に設置された熱交換器に循環させるものである。よって、地中熱交換型ヒートポンプシステムでは、地中と熱交換器間、および熱交換器とヒートポンプ間の2カ所で熱交換が行われていたが、直膨型ヒートポンプシステムでは、地中と地中に設置された熱交換器との間の熱交換だけになり、熱交換効率は、地中熱交換型ヒートポンプシステムより良いと考えられるが、熱交換器内に冷媒（フロンなど）を循環させるため、熱交換器やそれに接続されているパイプの破損による作動流体（冷媒）漏洩の危険性の問題がある。

1. 2 GHPの地中熱交換器

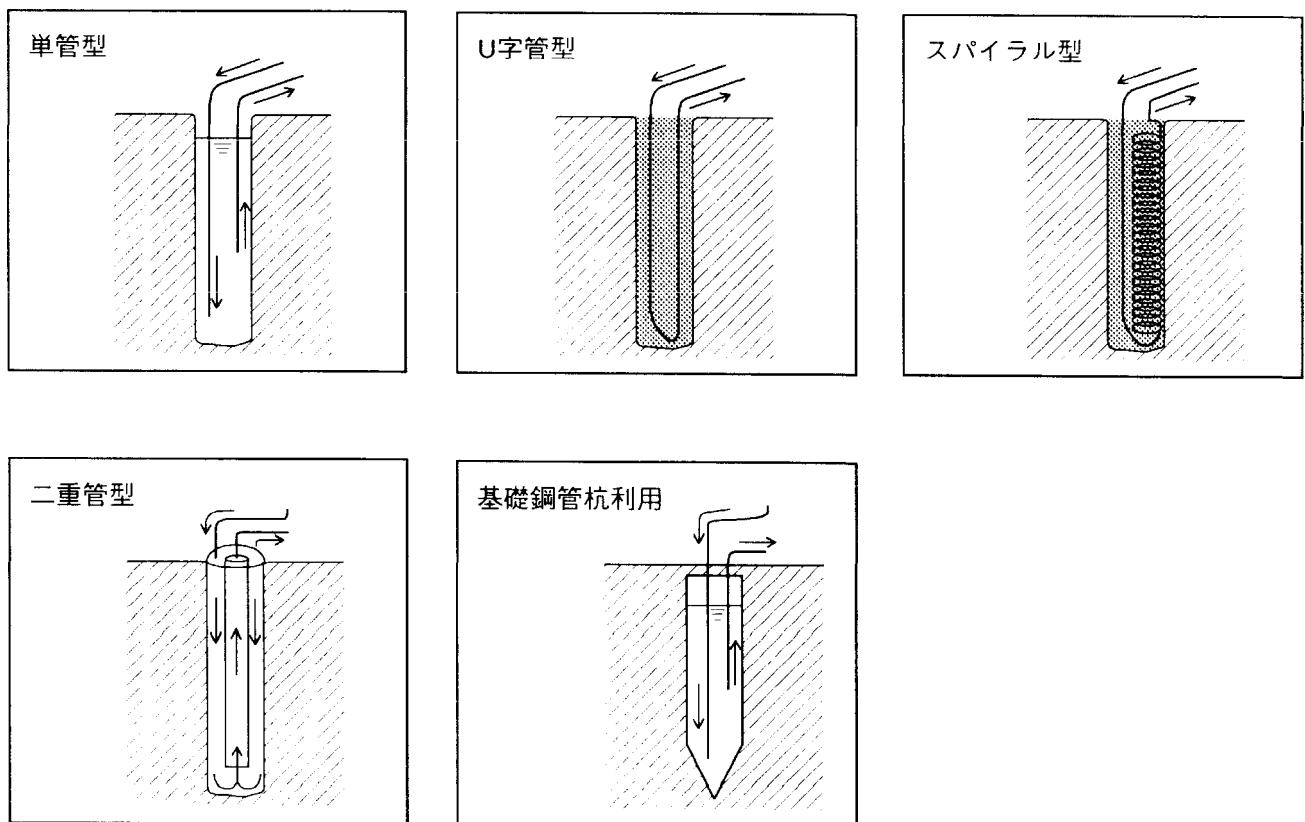
1. 1. 1で述べたGHPシステムのうち、地下水を直接利用するヒートポンプシステムと地表水を直接利用するシステム以外のGHPシステムでは、熱源との熱のやりとりに、地中もしくは水中に熱交換器が必要となる。熱交換器の形体は、地中熱交換型ヒートポンプシステムと直膨型ヒートポンプシステムがあり多く提案されている。熱交換器の形体による分類としては、熱交換器の設置形体から、水平設置（水平埋設）と坑内埋設（垂直埋設）に大別される。地表水を間接的に利用するヒートポンプシステムは水平設置のみの設置形態である。

（1） 水平設置（水平埋設）（第1. 2-1図）

坑内埋設に比べて、広い設置（埋設）面積を必要とするが、地中に埋設する場合では、坑内埋設より設置深度が浅いため施工が簡単であり施工費用も安くすむ。寒冷地住宅用など小規模なシステムに使用されることが多い。熱交換面積を広くするために熱交換器のパイプ長を長くしたり、一定の施工面積内の熱交換面積を広くするために様々な形状を考えられている。代表的なものは、スパイラル型、水平並列型、および連続U字型である。また、パイプを2～4本並列して埋設する方法も提案されている。パイプに使用されている材料としては、熱伝導効率の観点では金属が有利である



水平埋設方式の例



坑内埋設方式の例

第1. 2-1図 地下熱交換器の埋設方式

が、耐食性・長尺化の容易さ・施工の容易さ等の利点から、架橋ポリエチレン等の高分子材料が一般に使用されている。

(2) 坑内埋設（垂直埋設）（第1. 2-1図）

熱交換器の埋設に必要な施工面積が小さくてすむため、比較的大規模な用途に適している。また、日本の住宅のように、広い施工面積が確保できない場合に適している。しかし、埋設深度が、一般的に約100m程度必要となり、掘削費用がかかる点が問題である。

施工性と熱伝導効率の面から様々な形状が考えられており、代表的なものとしては、単管型、U字管型（単独または複数）、スパイラル型、二重管型などがあり、鋼管基礎杭・鋼基礎連壁等に水を循環させて熱交換を行う等、他目的で設置されたものを利用する方法も提案されている。

熱交換器に使用するパイプの材料としては、土壤中は腐食速度が遅いため、金属（钢管）が使用される場合もあるが、アメリカやスイスの例で、単管型、U字管型やスパイラル型等では、水平埋設と同様、架橋ポリエチレン等の高分子材料が用いられている。

U字管型やスパイラル型等では、地中に埋設されたパイプの表面で直接熱交換を行う。パイプは坑内設置後埋め戻し（バックフィル）てしまうので、熱交換効率の点からもバックフィル材は重要であり、様々な検討がなされている。

1. 3 海外における利用状況

海外、特にアメリカ、スイス、北欧においてGHPシステムを用いた冷暖房は数多く実用されている。導入台数は、アメリカ30万台、スイス2万台、北欧3万台強である。しかし、スイス・北欧が住宅に数多く導入されているのに対し、アメリカでは、ビルなどの大建造物に導入されており、また、冷暖房スペース1カ所に対してヒートポンプ1台を設置している場合があり、ビル1つにヒートポンプが数十台取り付けられていることもあります。アメリカの場合、導入台数がGHPシステムの利用者数には必ずしも対応しないと考えられる。

以下に、海外でのGHPの現状を示す。

(1) GHPシステムの最初の報告例（直膨型）

GHPシステムは、1954年にアメリカで報告されたインディアナポリスの例が最

初と考えられている。それを第1. 3-1図に示す。このシステムは、ヒートポンプ内の冷媒を直接地下熱交換器に循環させる直膨型と考えられる。また、ヒートポンプからの温熱・冷熱供給は、ファンコイルユニットを用いて行われている。

(2) オクラホマシティー・TEXACOのガソリンスタンドの冷暖房、冷凍機、および洗車・融雪システム（地中熱交換型）

本ガソリンスタンドはガソリンスタンドとコンビニエンスストアが同一敷地内に建てられたものである。使用されているシステムは地中熱交換型ヒートポンプシステムである。冷熱供給、温熱供給ともヒートポンプによって行われている。設備は、U字型熱交換器を埋設している井戸20本、ヒートポンプ数台である。井戸は、地下水の流れを考慮してL字型に配置されている。コンビニエンスストアに関しては、店内の冷暖房、冷蔵庫、製氷器に使用されている。また、ガソリンスタンドに関しては、冷熱供給による温排水を利用して、洗車用温水供給とガソリンスタンドの路面の融雪を行っている（第1. 3-2図参照）。

(3) スイスにおける地中熱交換器による抽熱実験

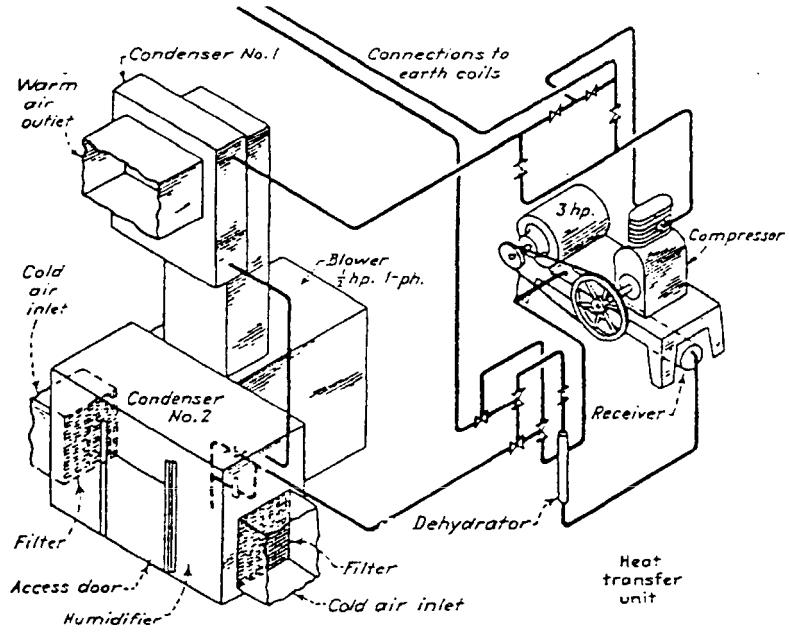
スイスでは、日本とほぼ同じ地殻熱流量の地熱環境下において、GHPシステムが約2万台普及しており（第1. 3-3図、第1. 3-4図）、毎年約2千台が新設され続けている。

チューリッヒ連邦工科大学地球物理学研究所のProf. Rybachは、地中熱交換器を設置した時の地下温度分布の経時変化の研究を行っている。Prof. Rybachは、45W/m² (100m坑なので全体で約4.5kW,) の熱抽出を行った場合の地中熱交換器近傍の地下温度分布を測定し、地中熱交換器近傍の地下温度は抽熱開始後急激に下がる（約0.8°C）ものの、約1年を経過した後は抽熱を継続しても、温度低下はないことを明らかにした（第1. 3-5図上）。

また、スイスの場合、冬季間に暖房・給湯のために抽熱を行っても、夏季間はGHPは使用されないので、冬季間の抽熱による地下温度の低下を回復できるため、十分長期安定な利用が可能であることを示した（第1. 3-5図下）。

(4) スイスでの導入状況と諸規制・普及促進策

① スイスの現在の総導入数は2万を越え、抽熱孔の総延長は4百万メートルを越えている。スイスでは現在、年に2千システム以上のGHPが施工されてい



第1. 3-1図 GHPシステムの最初の報告例（直膨型）(Indianapolis, USA (1954))
(コンプレッサー: 2.2kW)

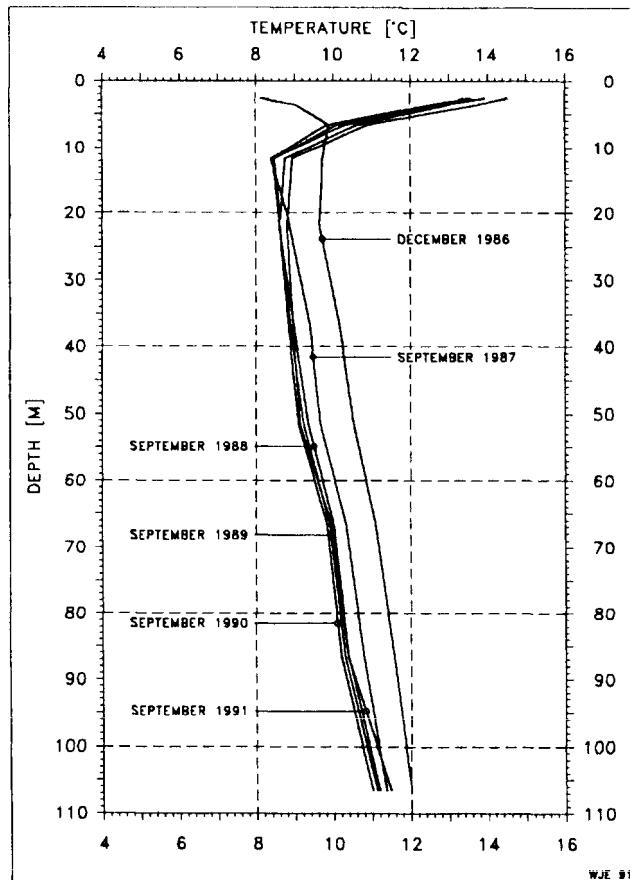


Fig. 3: Ground temperature profiles at a distance of 0.5 m from the BHE in Elgg/ZH. For detail see text.

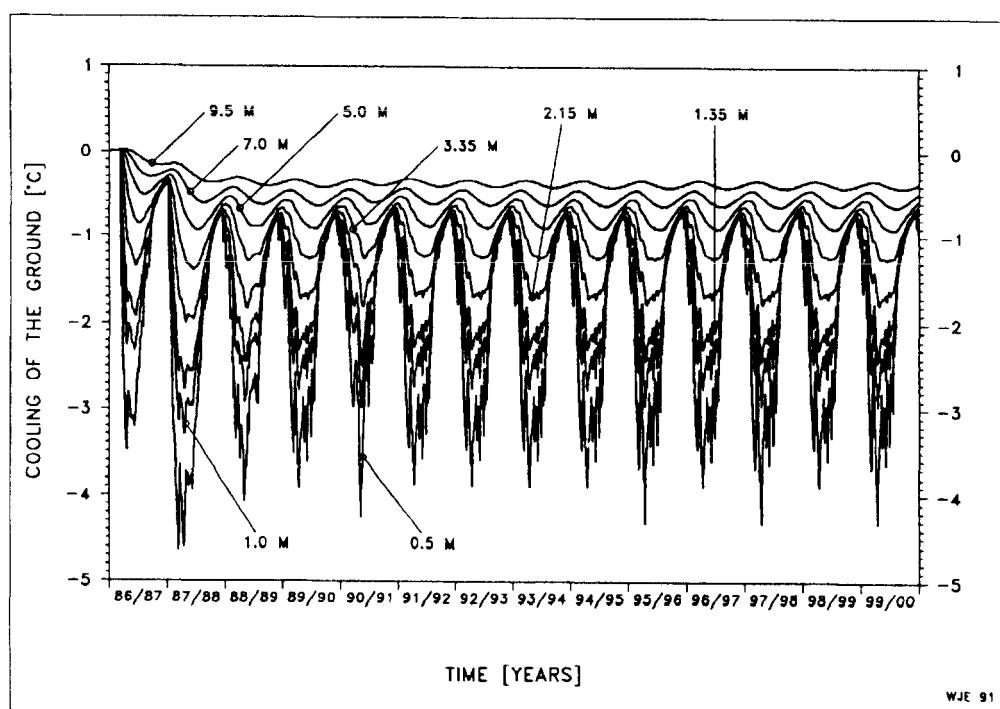


Fig. 5: Modelled ground temperature changes (relative to the undisturbed case) from 1986 to 2000 for a 103 m long BHE at different horizontal distances at 50 m depth.

第1. 3-5図 スイスでの抽熱実験結果例 (Rybäch et al., 1992より)

る。

- ② GHPの導入率は地方によって差がある。チューリッヒ地方では「再生可能エネルギー」の利用が義務づけられており、新築住宅のエネルギー源の20%以上は再生可能エネルギーでないと建築許可が下りない。従って、チューリッヒ地方では、新築住宅の約3割から4割がGHPを採用している。
- ③ 現在は、暖房システムのコストの問題より対環境性の問題によりGHPが選択される場合が多くなっている。すなわち、スイスではGHPは大気汚染に与える影響がない（動力に電気を使うが、スイスの電源は水力と原子力で火力はないとのこと）ので好まれており、普及が急速に進んでいる。
- ④ 現在は、グリーンな熱源を利用しないと課税される（炭素税ではないらしい）。従って、GHPを入れるか、家の断熱性能を従来以上にさらに強化するかのいずれかをしないといけない。この点で、GHPの方が割安感があるのでGHPの普及が進んでいる。石油の場合、炭素税がいずれ導入されると一般に考えられているため、心理的に、今石油が安いからと言って、導入は進まない。スイスの場合、国民の環境保護の意識が高い点も普及を早めている。
- ⑤ スイスでは飲料水の保護の観点から地下水は厳しく守られている。このため、飲料用の地下水脈が発達しているエリアには、GHP用の抽熱孔などの孔井の掘削が禁止されている。これは、オーストリアやドイツでも同じはず。しかし、その区域内に住む住民がどうしてもGHPを導入したい場合、州政府に直接申請すれば許可になる場合がある。これは、掘削が小規模で問題ないと判断される場合である。
- ⑥ 一般家庭1世帯の場合、スイスでは、6.5kWtのGHP熱源があれば、暖房と給湯の両方がまかなえる。これが、一つの標準的なサイズになっている。
- ⑦ スイスにおける抽熱孔の掘削は、もはや高価ではない。5年前は120SF/m（約9600円/m）であったが、現在は、65（約5,200円）～55（約4,400円）（最も安いケース）SF/mである（BHE、バックフィル込み）。掘削会社が数社あり、各社が技術開発にしのぎを削っているからである。スイスにはBHE孔掘削業者は大手が5社、小さい業者まで入れると十数社ある。最もシェアの大きな会社で20～25%程度である。
- ⑧ GHP普及促進のための補助金等に関しては、1980年代に熱源のkWtあたり200（約16,000円）～300SF（約24,000円）の補助金があったが、これは、90年代になって終了した。しかし、一部の電力会社はGHPの動力用電力1kWe

あたり 250SF（約 20,000 円）の補助金を出している。これは、石油ではなく GHP を熱源とした場合、動力用の電力が売れるからである。さらに、一部の電力会社では、GHP を導入している家庭に 25 ~ 30 % 程度の割引料金を適用している場合がある。他の国の状況は後述する。

⑨ 地下に埋設された BHE の寿命は 50 年以上と考えられている。BHE に用いられるポリエチレンパイプの寿命は理論的にはこれ以上である。ヒートポンプの主要部品であるコンプレッサは平均すれば 8 年ほどの寿命である。システム全体では、これが最初に悪くなる。スイスにおける最初の GHP システムは 1978 年に導入されたが、全てのシステムが現在まで何の問題もなく稼働している。

(5) スイス ルッフィング村での事例

チューリッヒ郊外のルッフィング村での事例を第 1. 3-1 表に示す。この例は、約 30 世帯用の集合住宅で、253m 深の孔井 7 本にダブル U チューブ型の孔内熱交換器 (BHE) を設置し、合計 77.8kW の熱出力（地下からの抽熱量）を得る予定である。なお、この住宅で予定される熱需要の合計は年間 384.8kWh であり、このうち、給湯分が 175.0kWh である。

掘削は、Grundag 社が開発したトラック搭載型の掘削機で行われていた。これは、機動力が高く、短時間で準備・撤収が可能である。また、能力も十分であるようであり、見学していた間に、15 分あまりで 6m ほどを掘進していた。この地点では各孔井の予定深度が 253m であるので、単純に考えれば 10 時間強の実掘削時間で 1 孔を掘削できることになる。従って、準備解体や堀管の付け替え作業等の時間を考慮しても 2 ~ 3 日ほどの作業で 1 孔井を掘削することができるうことになる。これは、我が国の現状の掘削技術から考えて驚異的な早さである。このくらいの掘進率を確保できるような掘削技術の開発が GHP システム普及の鍵になると言えよう。

チューリッヒ連邦工科大学の Prof.Rybach によれば、スイスは地質的な面で GHP に適した条件を備えていたとのことであった。スイスは、人口の 80% 以上が谷間の地域に住んでいるが、この地帯は、地質的に見て GHP の導入に特に適している。すなわち、谷間の地域は、表層付近の沖積層を除けば、その下位に砂岩や石灰岩などの岩盤が出現する。しかし岩盤といつても所詮第三系なので硬さには限界があるため、掘削しやすいといえる。これが幸いしたことである。

Technical description of the BHE/HP system at Lufingen

BHE : Borehole Heat Exchanger

HP : Heat pump

| | |
|-------------------|--|
| Object | 4 multi-family houses |
| BHE | GRUNDAG-DUPLEX (polyethylene double U tube, 40 mm outer diameter, 3.7 mm thickness) |
| No. of drillholes | 7 |
| Depth (length) | 253 m |
| Contractor | EKZ (Electric Utility Co. of Canton(=Prefecture) Zurich) Dreikoenigstrasse 18 CH-8002 Zurich, Switzerland Contact person: Mr. Christoph Wehrli, Tel. 004171/2075365 |
| Speciality | Energy contracting (heat and warm water will be delivered to the flat tenants and sold at a prefixed price) |

Object data

Input for dimensioning

| | |
|--|--|
| Heating demand | 77.8 kW (according to the Swiss norm SIA384/2) |
| Delivery temperature of heating system | 45 oC |
| Warm water supply | 9000 liter/day |
| Warm water temperature | 55 oC |
| Operating mode of HP | monovalent |

Energy balance

| | |
|--------------------------|--------------------|
| Heating demand total | 384.8 MWh per year |
| of which for warm water | 175.0 MWh per year |
| Heat produced by HP | 384.8 MWh per year |
| Geothermal heat from BHE | 239.2 MWh per year |

BHE dimensioning results (option B)

HP:

| | |
|------------------------------|------------|
| Heating power (B0W35) | 130 kW |
| Geothermal power | 91.8 KW |
| HP running hours | 2587 hours |
| Longest running time per day | 17.4 hours |

BHE:

| | |
|----------------------------------|---|
| BHE operating temperature | 0 °C out, -3 °C in |
| Simulation period | 25 years |
| Rate of fluid circulation in BHE | 23700 liter per hour (in all BHE's) |
| Fluid composition | water with 20 % ethanol (to prevent freezing) |
| BHE type | 40 mm Grundag Duplex |
| BHE number | 7 |
| BHE length | 253 m |
| Average distance between BHE's | 15 m |
| Deviated boreholes | yes (tilted with about 20 degrees from the vertical direction, drilled to the side) |
| Pressure drop per loop | 116.5 kPa |
| Reynolds number of flow in loops | 4931 (=turbulent flow) |
| Total pressure drop | 16.2 mWs |

(6) スイスでの不凍液等漏洩事例

地下熱交換器に循環する不凍液等の漏洩事例については、公表例は全くなく、問題になったことはない。IEA ヒートポンプセンターでもこのような事故の発生は把握していない。業界関係者のみならず、EU等行政等の関係者の間でも、一般に、GHPはシンプルで、安全性の高いグリーンなシステムであると認識されている。そこで、スイスで最大手（シェア 25～30%）のGHP用抽熱孔掘削業者である Grundag 社（GR社）の関係者にこの事故例について聞いた。

BHEからの不凍液の漏洩事故は、GR社に関連する事例で過去に2、3ケースあった。若干のリークを含めると5ケースくらいである。しかし、これは、BHEの破損や劣化による漏洩ではなく、配管・設備業社のBHEとの接続の不備（接続が不十分で隙間があった、あるいは接続作業時に傷を付けた）が原因である。これは、GR社のBHEの施工総数約6,000件、総延長80万メートルの中での数であり、事故の少なさには自信を持っている。

これらの事故例での不凍液等の漏洩量は、最大でもコップ一杯程度である。これは、不凍液の循環系統の圧力がモニターされており、圧力低下があれば循環を自動停止するシステムになっているためである。また、不凍液は普通濃度20%程度のエタノールであるので毒性に問題はない。

(7) イギリス GeoScience 社事務所の例

GeoScience 社（GS社）は、地質コンサルタント会社であるが、近年イギリスにおいて熱心にGHPの普及に務めている。同社の事務所は実験をかねて種々の形態のGHPの利用が行われている。この一部では、各々の部屋に小型のヒートポンプを内蔵したファンコイルユニットが置かれており、これらは、抽熱孔からの循環パイプで一連のシステムとして連結されている。例えば、大人数でOHP等を使って会議を行っている会議室は「冷房」モードで運転し、隣の社長室は「暖房」モードで運転する場合、会議室からの「排熱」は社長室の「熱源」として利用され、結局、事務所全体で不足する熱エネルギーを地下から抽熱している。従って、各部屋間で熱の融通をしていることになるため、地下からの抽熱量は、各部屋での冷暖房に必要なエネルギー量の総合計よりもはるかに少ない量で済む。このような運転方法は省エネ効果が非常に高いため、将来の有望な利用形態であると考えられる。

(8) 各国でのGHPの補助金等助成策 (IEAヒートポンプセンターでの情報による)

| 国名 | 助成策 |
|----------------------|---|
| オランダ | 行政系のものはないが、一部の電力会社（5社）が独自に行っている。 |
| スイス | 行政、電力会社（ただし一部の会社のみ）両方が行っている（なお、スイスで入手した情報によれば、前述の通り、現在は行政による補助金はなくなつた）。 |
| オーストリア | 行政系はないが、一部の電力会社のものがある。 |
| カナダ | 行政系はないが、レギュレーションによって促進を図っている。一部の電力会社は独自に補助金を行っている例がある。 |
| デンマーク | 行政による補助金がある。 |
| フランス | 行政系はないが、一部の電力会社のものがある。 |
| ドイツ | 行政（国、地方）、電力会社からのものがある。 |
| イタリア | 行政からの補助金は、電熱器型の暖房システムを置換する場合にのみ得られる。また、電力会社からの特別電力料金制度がある。 |
| アメリカ | 行政からはないが、コンソーシアムと一部の電力会社からある。 |
| ギリシア、ノルウェー、スペイン、イギリス | 全くない。 |

一般論として、補助金を出すと導入数は上がるが補助金をやめると下がるものの中にはならない。導入数を上げるも下げるも、初期投資コストが他のシステムと競合できるかどうかにかかっている。

ところが、ノルウェーの場合は、補助金をやめても導入数が増え続けた（ノルウェーには以前は補助金制度があった）。これは、ノルウェー国民が環境により注意を払うようになったためである。このような国民気質は、ノルウェーのほかにスイスがある。

以下の例は、本調査で検討する地中熱交換型GHPシステムの利用例ではないが、その他のGHPシステムの利用例として述べる。

(9) スウェーデン・マルメ市の地域冷暖房（地下水直接利用）

マルメ市はスウェーデンの南端にあり人口約10万人である。この市には住宅団地を中心に数カ所の地域暖房施設があるが、例として取り上げたのは、都心の建物に対する地域冷暖房である。

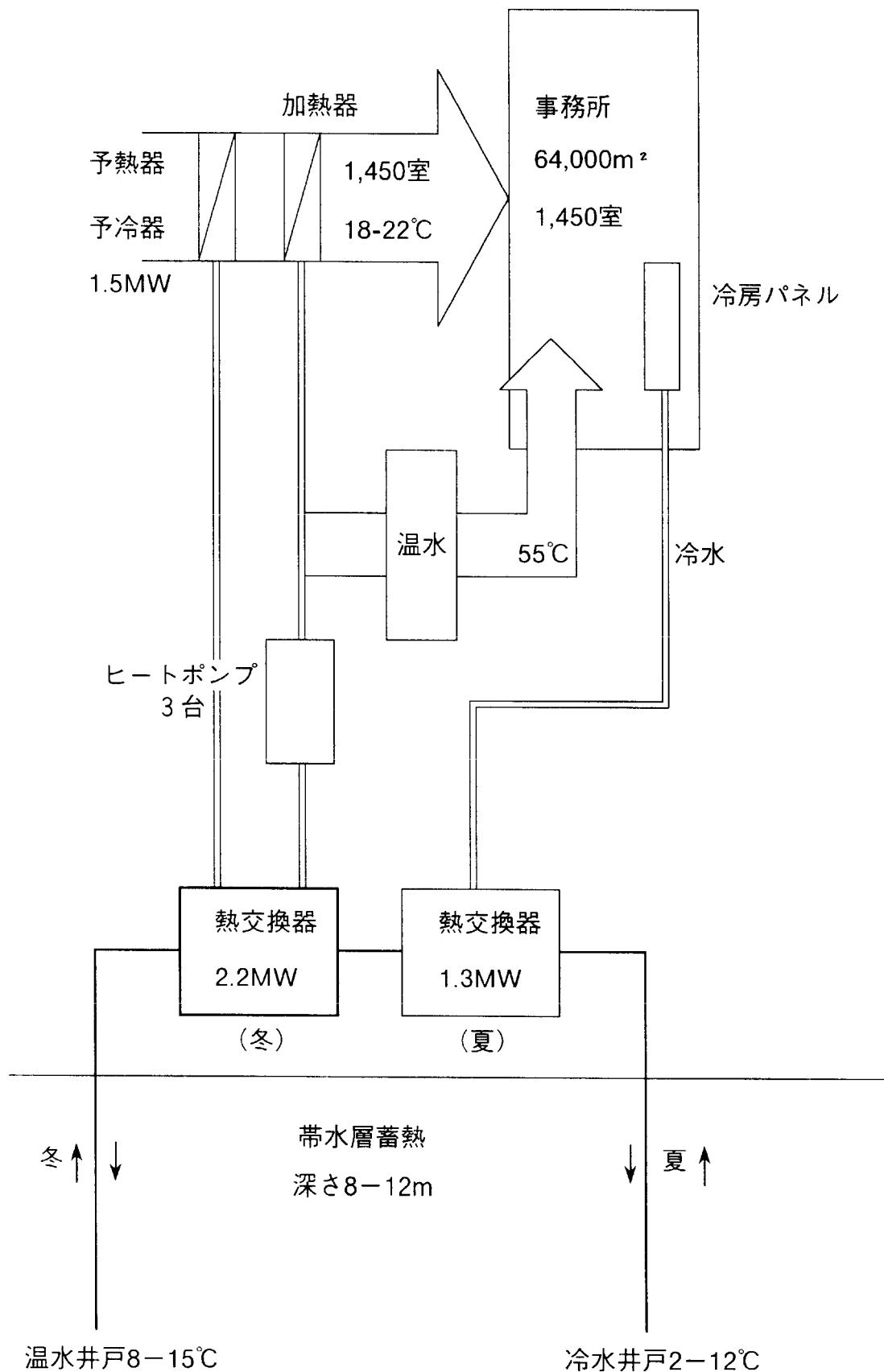
マルメ市で行われているGHPシステムは、帶水層の地下水をくみ上げて、冬季はその地下水を熱源としてヒートポンプ暖房、夏季はくみ上げた地下水による直接冷房である。

施設は、ヒートポンプ数台、帶水層への井戸、地域配管から成り立っている。冷房負荷は最大1500kW、暖房負荷は最大2000kWである。冷房用井戸8本、暖房用井戸8本で、予想冷水温度5℃、温水温度11℃である。地下水のくみ上げ流量は1400m³/日である。帶水層は50~70mの深さにあり、4~6mの厚さがある。本システムの償却年数は3~5年であるとされている。

(10) スカンジナビアン航空 (SAS) 本社の冷暖房システム（地下水直接利用）

スウェーデン・ソルナ市にスカンジナビアン航空本社はある。こここのシステムも、マルメ市同様、帶水層の地下水を用いたヒートポンプによる暖房と、地下水を直接利用した冷房である。建物の総床面積は64000m²で、冷房負荷は1500kW程度である。

設備は、ヒートポンプ3台、温水井戸2本、冷水井戸3本で井戸は2~28mの深さで掘られている。温水井戸の水温は14~17℃、冷水井戸の水温は6~8℃である。暖房には、約11℃の帶水層の地下水をヒートポンプにて約55℃に昇温して用いている。第1. 3~6図に系統図を示す。



第1. 3-6図 SAS建物の帯水層による冷暖房の系統図

(落藤・谷口(1995)より)

～深熱～自然放置反復化³各地中の熱的回復等の基本熱特性を定量化⁴した。
蓄・深熱熱ひ汲み装置を行い、連続深熱時の熱量の減衰特性・地温変化・蓄熱
钢管内部に熱電偶温度計等を挿入し二重管型熱交換器⁵で、長期連續深熱、

3) 北海道電力(株)総合研究所

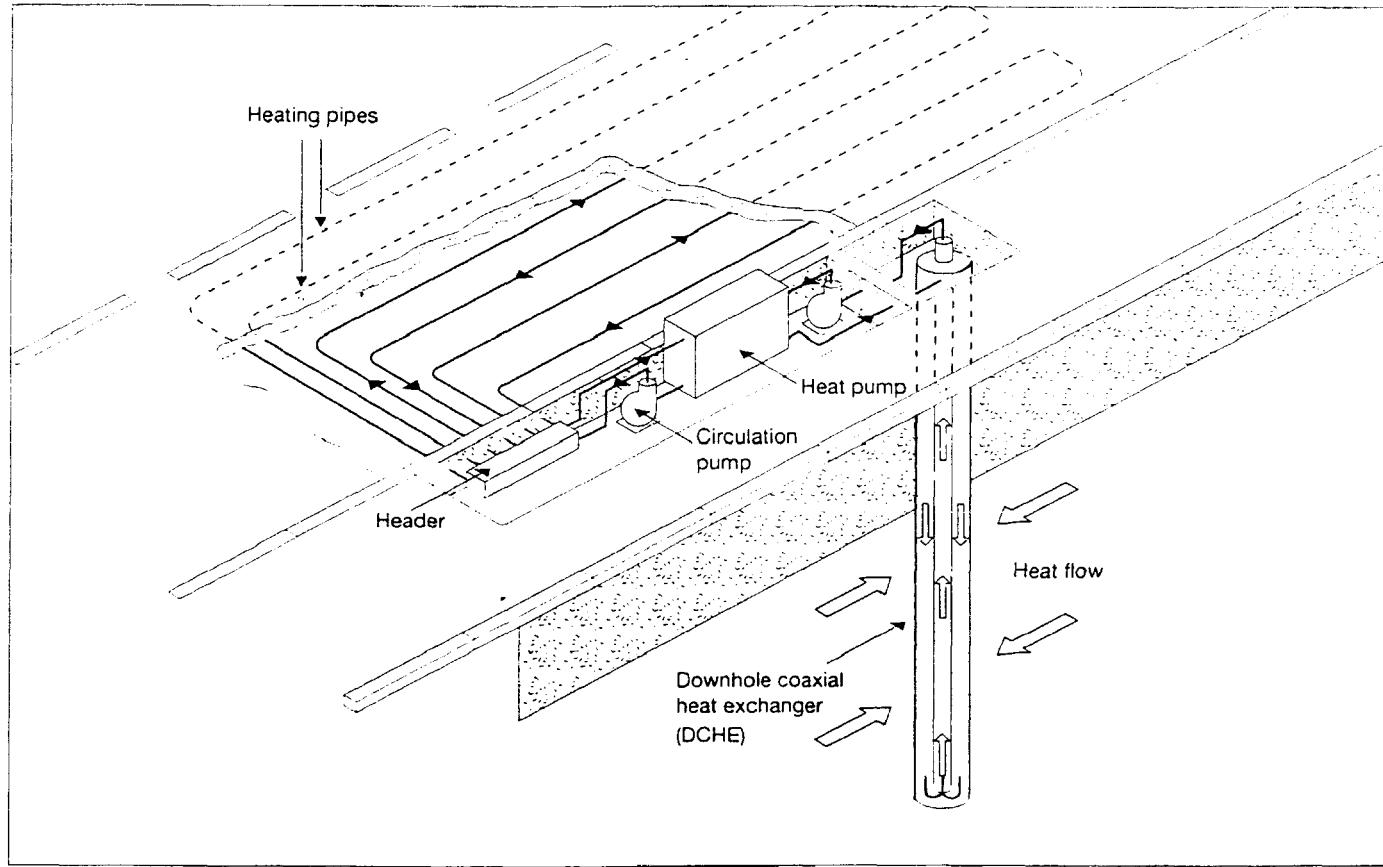
実験設備⁶にて⁷実用手段⁸と⁹設備¹⁰と¹¹建設¹²を行った。
これらは、このように世界の電気新エネルギー開拓¹³として貢献¹⁴する方針、
開発¹⁵、地中の熱エネルギー¹⁶を主熱源、夏季DCHEを介して地中の蓄熱¹⁷が大
な点¹⁸、地中の熱エネルギー¹⁹を主熱源、夏季DCHEを介して地中の蓄熱²⁰が大
きな点²¹。最初の開拓²²は1995年1月²³。器具²⁴は市販²⁵された。
DCHE)を用いた方式²⁶と²⁷開拓²⁸と²⁹は(第2、2-1図)を開発³⁰した。このように
民間会社と共に、同軸型地中熱交換器(Downdhole Coaxial Heat Exchanger,
2) 遠隔省エネルギー技術資源技術会議会議所

色々な実験及³¹解析を行った。
の利用³²を目的とした、地中熱交換器の水平・垂直設置、及び直膨型³³と³⁴
地中の実験解析方法³⁵を³⁶開拓³⁷した。森繁・長野ら(1990)は暖房用熱³⁸を
1980年頃から研究を開始し、学内に試験設備を構築した、以下に循環方式
1) 北海道大学

1. < GHP 制御示す。
型³⁹は一般的に地下に埋設する形態⁴⁰、開発⁴¹も同じく地盤⁴²に埋設⁴³する。以下に、
T字型⁴⁴が本格的に使用⁴⁵されたのが1980年代⁴⁶である。日本での地中熱交換
GHP⁴⁷は1954年にT字型⁴⁸が開発⁴⁹され最も早く⁵⁰実用化⁵¹した。これが
2. 2 地元・開発状況

日本におけるGHPの利用⁵²、先述したとおり、地下水直接利用⁵³が⁵⁴一つ⁵⁵。
地下水⁵⁶に対する付帯⁵⁷は、多くの利用⁵⁸が実績付帯⁵⁹である。しかし、本開発⁶⁰はGHP⁶¹以
下の水⁶²に対する付帯⁶³が多⁶⁴。実績例⁶⁵を示す。LHL、本開発⁶⁶はGHP⁶⁷以
上本開発⁶⁸がGHP⁶⁹以下の利用⁷⁰、先述したとおり、地下水直接利用⁷¹が⁷²一つ⁷³。
2. 1 日本における利用の状況

2. GHPによる経済性評価



第2. 2-1図 ガイア融雪システム

1987～1993年には、効率改善を目的とした直膨型垂直埋設方式の研究を、北海道大学の協力を得て実施し、熱挙動解析とともに二重管型地中熱交換器を使用した実証システムを設置し、性能確認試験を実施した。また、1988年から2年間、国際研究プロジェクト”である直膨式地中コイルを持つヒートポンプシステム”に我が国の主要メンバーとして参加している。

4) 清水建設（株）技術研究所

建設基礎に用いられる鋼管杭を地中熱交換器として利用し、建設コストを低減するための研究を行っている。

5) 福井県建設技術センター

比較的温暖な積雪地域での融雪システムへの適用を念頭に、建築基礎杭として使用されるコンクリートパイルに水を充填・循環させて熱交換する実験を行った（ただし、ヒートポンプは使用していない）。これらの実験・研究をもとに、職員宿舎の基礎杭を地中熱交換器とする駐車場の融雪システムを建設し、順調な稼働が報告されている。

6) 神戸大学

鋼管を地中熱交換器とした長期の蓄熱・採熱実験の性能解析を行い、実験結果による検証、地中熱利用の技術的有効性、最大負荷振幅の概念等を報告している。

7) 工学院大学

建物の地下外壁をヒートポンプの凝縮器とする土壤放熱システムを提案し、シミュレーションによる可能性の検討を行っている。また、土壤の含水率と熱伝導率及び比熱との関係、土壤密度と熱伝導率との関係等の基礎的データをまとめている。

8) (株) 大林組技術研究所

水平コイル式地中熱交換器を利用した土壤蓄熱および地下水槽式蓄熱システムについて検討し、熱交換効率等について報告している。このシステムは、同社技術研究所で実用化されている。

2. 3 利用状況

日本において、地中熱交換型ヒートポンプシステムの実施例はまだ少なく、試用的なところの他に他の冷暖房システムとの併用もみられる。

1) ルーブル富士（マンション：札幌市） アクア冷熱社施工

- ①100m坑井10本にて熱交換している。
- ②40馬力のヒートポンプにて18戸に使用。
- ③建設費は、坑井掘削に1200万円、ヒートポンプなどに2000万円。

2) 世羅西青少年旅行村クアハウス（宿舎冷暖房：広島） ミサワ建設技術施工

- ①200m³の温泉の加温、室内の暖房として使用。
- ②100m坑井15本を使用。

3) 国道54号線橋梁凍結防止（広島） ミサワ建設技術施工

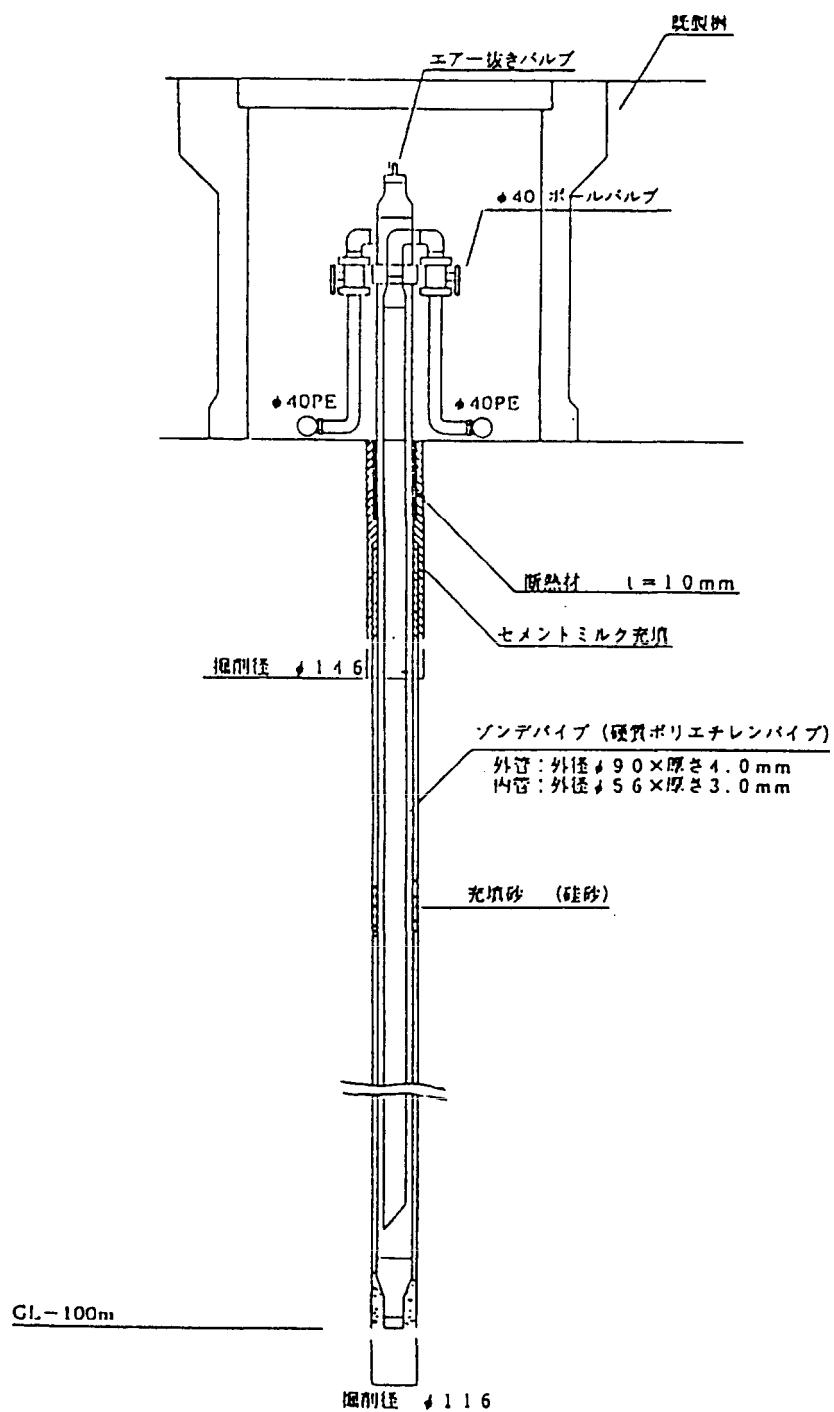
- ①100m坑井23本を使用。
- ②約1700m²（約200m区間）の凍結防止に使用。
- ③ヒートポンプは、4系統8台（1系統当たり1台は予備）。

4) 布野村保健福祉センタープール（広島） ミサワ建設技術施工

- ①温水プール設備、室内暖房として使用。
- ②100m坑井11本を使用。
- ③硬質ポリエチレンを用いた2重管同軸熱交換器（第2. 3-1図）を使用。

5) リゾートピア久美浜（ホテル：京都府）

- ①日本最大級のGHPシステム。
- ②13m坑井152本を使用している。
- ③熱交換器にはステンレス製U字管を1坑井当たり2組ずつ設置（ダブルU字管）。
U字管の総延長は7904m。
- ④導入理由
 - a)多雪地帯のため、冬期の燃料補給に不安があった。
 - b)カキの養殖場が近く、排水に制限があった。
 - c)機械室が清潔で管理がしやすく、特別な資格者の必要がない。



第2. 3-1図 布野村保健福祉センターで使用されている2重管同軸熱交換器

6) ガイア融雪システム（岩手県二戸市）

通産省工業技術院資源環境技術総合研究所と民間会社数社で開発した坑井内同軸熱交換方式(DCHE)を用いた道路融雪システム（第2. 2-1図）である。二戸市に設置されたシステムは、深さ150mのDCHE 3基、ヒートポンプ1台で構成されている。融雪対象部は、平均幅4m、延長65m、面積266m²である。

2. 4 海外との経済性評価比較（スイスの例）

スイスにおける空気熱源ヒートポンプ、GHP、及びボイラーシステムの能力、およびコスト面での比較を第2. 4-1表～第2. 4-4表に示す。なお、空気熱源ヒートポンプは、経済性評価比較のために列記したが、厳寒地のスイスでは適用できる地域が少ないのが実状である。

第2. 4-1表をみると、空気熱源ヒートポンプとGHPでの二酸化炭素排出量が0である。これは、スイスでは発電は水力と原子力のみなので、電力を使用することによる二酸化炭素排出はないためである。スイスにおいては、GHPの方が空気熱源ヒートポンプよりSPFが高いので、GHPの方が省エネ効果があると考えられる。また、システムに必要な設置場所もGHPの方が小さくてすむ。

第2. 4-1表 一般家庭一世帯の暖房での比較（スイスでの例）

(Warmeepumpen Expo' 98資料より)

| | 空気熱源HP | GHP | ボイラー |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| 熱需要（暖房のみ）(MJ/年) | 48,960 | 48,960 | 48,960 |
| 効率（%） | 95 | 95 | 80 |
| SPF（季節成績係数） | 2.9 | 3.5 | -- |
| HPに必要なエネルギー(MJ/年) | 17,771 | 14,725 | 61,200 |
| 燃料(L/年) | -- | -- | 1,703 |
| 全システム設置用スペース(m ³) | 6.5 | 2.6 | 23 |
| CO ₂ 発生量(トン/年) | -- | -- | 3.8 |

第2. 4-2表では、空気熱源HPが一番安く、ボイラーが一番高くなっているが、システム設置用スペースの価格は、実際には建物の中に含まれてしまうので、システム導入に際して、100%必要な費用というわけではないと考えられる。この費用を除くと、空気熱源HPが一番安く、GHPが一番高いことになり、初期設備費としては、GHPは他の2つと比べると約8000SFr（約64万円）高いことになる。

第2. 4-2表 設備コストでの比較（スイスでの例）(WärmePumpen Expo'98資料より)

| | 空気熱源HP | GHP | ボイラー |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 全システム価格 (SFr) | 16,090 (¥1,287,200) | 12,730 (¥1,018,400) | 16,300 (¥1,304,000) |
| 地下熱交換器価格 (SFr) | -- | 11,010 (¥880,800) | -- |
| システム設置場所価格 (400SFr/m ³) | 2,600 (¥208,000) | 1,040 (¥83,200) | 9,200 (¥736,000) |
| 付属設備価格 (SFr) | 1,470 (¥117,600) | 1,620 (¥129,600) | 1,600 (¥128,000) |
| 合計 (SFr) | 20,160 (¥1,612,800) | 26,400 (¥2,112,000) | 27,100 (¥2,168,000) |

注：表の（）内の数字は、日本円を表す。（但し、換算レートは1SFr=約80円（1999年2月24日現在））

第2. 4-3表 エネルギーコスト（ランニングコスト、メンテナンスコスト）での比較（スイスでの例）

(WärmePumpen Expo'98資料より)

| ランニングコスト | 空気熱源HP | GHP | ボイラー |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 電気代（昼間）(SFr/年) | 407.55 (¥32,604) | 337.40 (¥26,992) | 49 (¥3,920) |
| 電気代（夜間）(SFr/年) | 271.70 (¥21,736) | 224.95 (¥17,996) | 22 (¥1,760) |
| 基本料金 (SFr/年) | 102 (¥8,160) | 102 (¥8,160) | 8 (¥640) |
| 燃料価格 ((33.35SFr/100L) /年) | -- | -- | 568 (45,440) |
| 合計 (SFr/年) | 781.25 (¥62,500) | 664.35 (¥53,148) | 647 (¥51,760) |
| メンテナンスコスト | 空気熱源HP | GHP | ボイラー |
| 修繕・点検費用 (SFr/年) | 150 (¥12,000) | 150 (¥12,000) | 370 (¥29,600) |
| SO ₂ 等の排出物の処理費用 (SFr/年) | -- | -- | 180 (¥14,400) |
| 合計 (SFr/年) | 150 (¥12,000) | 150 (¥12,000) | 550 (¥44,000) |

注：表の（）内の数字は、日本円を表す。（但し、換算レートは1SFr=約80円（1999年2月24日現在））

第2. 4-3表をみると、空気熱源HPとGHPのコスト格差は、両システムのSPFの差が、そのままエネルギーコスト（ランニングコスト）の差として現れていると考えられる。また、ボイラーのメンテナンス費用が、他の2つのシステムと比較して、3、7倍高い。

第2. 4-4表 スイスにおける経済性評価とりまとめ

| | 空気熱源HP | GHP | ボイラー |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 設備コスト | 1,612,800 | 2,112,000 | 2,168,000 |
| ランニングコスト (円/年) | 62,500 | 59,148 | 51,760 |
| メンテナンスコスト (円/年) | 12,000 | 12,000 | 44,000 |
| 10年後総コスト (円/10年) | 2,357,800 | 2,763,480 | 3,125,600 |
| 二酸化炭素消費量 (ton/10年) | — | — | 38 |

第2. 4-4表でスイスでの経済性評価のとりまとめを行う。設備コストは、空気熱源HPがもっとも低い。ランニングコストはボイラーがもっとも安いが、メンテナンスはもっとも高い。設備コストを含む10年間の総コストは、空気熱源HPが低いが、前述したように、スイスのような厳寒地では、適用できない。更に、二酸化炭素排出量は空気熱源HP及びGHPの場合はゼロである。

以上より、スイスでは、GHPが広く適用でき、かつコスト及び二酸化炭素排出量削減が可能であることがわかる。すなわち、経済性並びに環境性の観点からもGHPは優れている。これが、新築住宅の80%がGHPを導入している理由と考えられる。

2. 5 日本における経済性評価（一般家庭）

次に、日本の一般家庭における現状の冷暖房・給湯システムとGHPによる冷暖房・給湯システムの比較を行った。

第2. 5-1表に、現状の冷暖房・給湯設備とGHPによる冷暖房・給湯設備の地

第2 5-1表 現状の冷暖房・給湯システムとGHPによる冷暖房・給湯システムの地域別初期コスト・ランニングコスト比較

| | | 暖房 | 冷房 | 給湯 | 合計 | 暖房+冷房+給湯 | 二酸化炭素削減量 (万トン) ^{注1)} | 二酸化炭素排出量 削減効果(%) ^{注1)} |
|--------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | 仮定したシステム | エアコン(4) +ファンヒーター(4) | エアコン(4) | ボイラー(ガス) | | GHP | | |
| 北海道 | 初期コスト ^{注2)} 、 ^{注3)} | 75万円 | (60万円) | 35万円 | 110万円 | 470万円 270万円 | 490 | 0.4 |
| エネルギーコスト | 電気代 石油代 ガス代 | 9.8万円 4.1万円 — | 1000円 — — | 5000円 — — | 10.3万円 4.1万円 7.1万円 | 9.2万円 — — | | |
| メンテナンスコスト | — | — | — | 1万円 | 1万円 | 1万円 | 1万円 | |
| ランニングコスト(合計) | | | | | 22.5万円 | 10.2万円 | | |
| | 仮定したシステム +ファンヒーター(4) | エアコン(4) | エアコン(4) | ボイラー(ガス) | | GHP 3.4万円 | | |
| 四国 | 初期コスト ^{注2)} 、 ^{注3)} | 75万円 | (60万円) | 35万円 | 110万円 | 470万円 270万円 | 150 | 0.1 |
| エネルギーコスト | 電気代 石油代 ガス代 | 2.2万円 900円 — | 2.4万円 — — | 5000円 — — | 5.1万円 9000円 6.3万円 | 4.4万円 — — | | |
| メンテナンスコスト | — | — | — | 1万円 | 1万円 | 1万円 | 1万円 | |
| ランニングコスト(合計) | | | | | 13.3万円 | 5.4万円 | | |
| | 仮定したシステム +ファンヒーター(4) | エアコン(4) | エアコン(4) | ボイラー(ガス) | | GHP | | |
| 九州 | 初期コスト ^{注2)} 、 ^{注3)} | 75万円 | (60万円) | 35万円 | 110万円 | 470万円 270万円 | 430 | 0.4 |
| エネルギーコスト | 電気代 石油代 ガス代 | 1.6万円 7000円 — | 2万円 — — | 5000円 — — | 4.1万円 7000円 4.9万円 | 3.4万円 — — | | |
| メンテナンスコスト | — | — | — | 1万円 | 1万円 | 1万円 | 1万円 | |
| ランニングコスト(合計) | | | | | 10.7万円 | 4.4万円 | | |
| 合計 | | | | | | 5210 | 4.3 | |

注1) 全世帯に普及させた場合の二酸化炭素排出量削減効果。

注2) 冷房(エアコン)の初期コスト(60万円)は、暖房(エアコン)の初期コストに含まれるので、合計には加算されない。

注3) GHP・システムの初期コストは、上段が現状での見積価格、下段が普及10年後に想定される価格。

域別初期コストおよびランニングコストの比較結果を示す。第2. 5-1表には、第5. 1章で述べる二酸化炭素排出量削減効果も併せて示す。また、第2. 5-1表の要約および回収年数、必要補助率を列記したものを第2. 5-2表に示す。なお、第2. 5-2表のGHPシステムの初期コストは、同システムが普及し、価格競争が活発となる10年後の想定価格（現状の掘削価格の1/2）を記載している。

第2. 5-1表を作成するにあたっては、幾つかの仮定をした。仮定および算出方法を以下に示す。

①現在一般的に使用されている冷暖房・給湯システムは、冷暖房はエアコン4台と石油ファンヒーター4台、給湯はガス給湯器一式と仮定し、全国すべてこのシステムであると仮定した。

②エアコンは15万円/台（耐用年数10年）、石油ファンヒーターは3.5万円/台（耐用年数6年）、ガス給湯器は35万円/一式（耐用年数10年、配管含む）とした。

③暖房による一次エネルギー消費量は、石田（1997）の暖房による一次エネルギー消費量と二次エネルギー消費量の差を、電気によるエネルギー消費量を二次エネルギーから一次エネルギーに変換したことによる增加分、それ以外は石油（灯油）ファンヒーターによるエネルギー消費と仮定して、灯油を多用する地域（北海道、東北、北陸）以外の平均値を求める。

$$\text{石油（灯油）ファンヒーター : エアコン（電気）} = 2 : 1$$

となったので、とりあえず、暖房による一次エネルギー消費量を上記の割合と仮定した。

④冷房はエアコンのみ、給湯はガスのみでエネルギーを消費したと仮定した。

また、ガスは都市ガスのみ利用と仮定した。

⑤現状でのエネルギーコストは、石田（1997）の地域別一次エネルギー消費量より算出した。算出方法は、

電気の場合：（一次エネルギー消費量）×（電力単価：17円/kWh）

石油、ガスの場合：（一次エネルギー消費量）×（燃料単価）/（発熱量）

発熱量は、石油（灯油）：10.35kWh/L

ガス（都市ガス）：9.01 kWh/m³ (5.23～12.79kWh/m³ の平均)

燃料単価は、石油（灯油）：45円/L

ガス（都市ガス）：127円/m³

とした。また、ガス給湯器の電気代は、出力の約1%（約5000円）、石油ファンヒーターの電気代は、ファンヒーターによる一次エネルギー消費量の20%（約

第2.5-2表 地域別初期コスト・ランニングコストおよび二酸化炭素削減効果一覧(要約)

| 仮定したシステム | | GHPシステム | | コスト差 | | 回収年数 | | 回収年数を想定した場合の必要補助率(%) 注2) | | 二酸化炭素削減効果 ^{注3)} (万ton/年) | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|-------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|-----|------|-----|
| 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 初期コスト (ランニングコスト (年間費用)) | 補助なし | 1/2補助 | 5年間 | 8年間 | 10年間 | (%) | | |
| 北海道 | 110万円 | 22.5万円 | 270万円 | 10.2万円 | 160万円 | 12.3万円 | 13.0 | 2.0 | 36 | 23 | 14 | 490 | 0.4 |
| 東北 | 110万円 | 16.9万円 | 270万円 | 7万円 | 160万円 | 9.9万円 | 16.2 | 2.5 | 40 | 30 | 23 | 380 | 0.3 |
| 北陸 | 110万円 | 18.9万円 | 270万円 | 7.7万円 | 160万円 | 11.2万円 | 14.3 | 2.2 | 38 | 26 | 18 | 310 | 0.3 |
| 北関東 | 110万円 | 15.6万円 | 270万円 | 6.3万円 | 160万円 | 9.3万円 | 17.2 | 1.5 | 42 | 32 | 25 | 510 | 0.4 |
| 南関東 | 110万円 | 15.4万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9万円 | 17.8 | 1.4 | 43 | 33 | 26 | 1100 | 0.9 |
| 東海 | 110万円 | 15.9万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9.5万円 | 16.8 | 1.5 | 42 | 31 | 24 | 580 | 0.5 |
| 関西 | 110万円 | 16.0万円 | 270万円 | 6.4万円 | 160万円 | 9.6万円 | 16.7 | 1.5 | 41 | 40 | 24 | 980 | 0.8 |
| 中国 | 110万円 | 13.3万円 | 270万円 | 5.4万円 | 160万円 | 7.9万円 | 20.3 | 1.2 | 45 | 36 | 30 | 280 | 0.2 |
| 四国 | 110万円 | 13.3万円 | 270万円 | 5.4万円 | 160万円 | 7.9万円 | 20.3 | 1.2 | 45 | 36 | 30 | 150 | 0.1 |
| 九州 | 110万円 | 10.7万円 | 270万円 | 4.4万円 | 160万円 | 6.3万円 | 25.4 | 1.0 | 48 | 41 | 36 | 430 | 0.4 |
| 平均・合計 | 110万円 | 15.9万円 | 270万円 | 6.6万円 | 160万円 | 9.3万円 | 17.8 | 1.6 | 42 | 33 | 25 | 5210 | 4.3 |

注1) GHPシステムの初期コストは、上段が現状での見積価格、下段が普及10年後の掘削費用での想定価格。

注2)回収年数は、購入意欲を想定して設定した。

注3)全世界に普及させた場合の二酸化炭素排出量削減効果。

3000 円～2万円)と仮定した。

⑥メンテナンスコストは、GHP に関してはスイスの事例(第2. 4-3表)を参考値とした。また、ガス給湯器に関しては GHP と同じとした。

⑦GHP の初期コストは、ヒートポンプ本体 70 万円(配管含む)、地下熱交換器設置費用 400 万円(100m 坑井×2本)を現状価格と仮定して、現状での見積価格(上段)、普及し価格競争が活発になる 10 年後の想定価格(掘削費 1/2 : 下段)を示した。

⑧GHP の SPF(季節成績係数)は 3.5(スイスの例: 第2. 4-1 表参照)とした。

⑨(GHP のエネルギーコスト) =

$$\begin{aligned} & \text{(石田 (1997) の暖房・冷房・給湯の一次エネルギー消費量の合計)} \\ & \times \text{(電力単価: 17 円/kWh) / (GHP の SPF: 3.5)} \end{aligned}$$

第2. 5-1 表を見ると、初期コストにおいて、現状の冷暖房・給湯設備と GHP による冷暖房・給湯設備では、現状の見積価格で約 360 万円、価格競争が活発になる 10 年後の想定価格で約 160 万円の格差が生じている。これは、現状では、GHP システムの地下熱交換器を設置するための掘削費用が高いためである。しかし、ランニングコストについて見てみると、GHP システムの方が平均約 9 万円/年程度安くなると予想される。特に、大きな温熱需要がある地域、北海道や北陸などでは 10 万円/年以上安くなると予想される。

第2. 5-1 表より、初期コストに関しては現状の設備の方が安いが、ランニングコストでは GHP の方が安くなると予想される。

第2. 5-2 表の回収年数は、GHP システムを設置・稼働させた場合に、何年で現状の設備を設置・稼働させた場合に比べトータルコスト(初期コストとランニングコストの積算額)が安くなるかを示したものである。回収年数の算出は、

(回収年数) =

$$\begin{aligned} & \{(GHP \text{ システムの初期コスト}) - (\text{現状の設備の初期コスト})\} \\ & / \{(\text{現状の設備のランニングコスト}) - (GHP \text{ システムのランニングコスト})\} \end{aligned}$$

である。

これによると、回収年数は補助制度が無い場合で 13.0 ～ 25.4 年となる。また、1/2 補助を受けると GHP システムの初期コストと現状設備の初期コスト差が 25 万

円となることから、回収年数は 1.0 ~ 2.5 年となる。つまり、2 ~ 3 年後には、ランニングコスト差によるメリットを活用できることを意味している。

また、第 2. 5 - 2 表に示した回収年数を想定した場合の必要補助率は、5 年回収で 36 ~ 48 %、10 年回収で 14 ~ 36 %となる。つまり、ランニングコスト差の小さい九州地区以外では、目安として 30 % 補助を実施すれば、10 年以内で回収可能であり、かつ二酸化炭素削減効果にも貢献できる。

さらに、両システムについてライフサイクルコスト（以後 LCC とする）を試算した。第 2. 5 - 3 表に現状設備の LCC（評価年数：24 年）、第 2. 5 - 4 表に GHP システムの補助なしの場合の LCC（評価年数：24 年）を、第 2. 5 - 5 表に GHP システムの 30 % 補助ありの場合の LCC（評価年数：24 年）を、第 2. 5 - 6 表に GHP システムの 1/2 補助ありの場合の LCC（評価年数：24 年）を示す。補助率は、第 2. 5 - 2 表の必要補助率の値を参考に 30 %、1/2 の 2 通りを設定した。

LCC の算出方法は、

$$(\text{ライフサイクルコスト : LCC}) = (\text{設備の単価}) \times (\text{必要台数}) \times (\text{設備更新回数})$$

である。設備更新回数は、評価年数期間内で設備を何回取り替えるかである。例えば、評価年数が 24 年であれば、耐用年数 10 年の設備は初回設置も含めて 3 回取り替えることとなる。

第 2. 5 - 3 表～第 2. 5 - 6 表を見てみると、地下熱交換器の掘削費用が普及 10 年後の想定価格となれば、GHP システム設備の方が現状のシステムより、24 年間の LCC が安くなっている。例えば北海道では、現状システムの LCC が 881 万円であるのに対し、GHP システムの LCC が 655 万円と、24 年間で 226 万円（年平均約 9.4 万円）の光熱経費の軽減が図られることになる。また、補助を実施すれば、光熱経費の軽減額が 30 % 補助で 349 万円（年平均約 14.5 万円）、1/2 補助で 396 万円（年平均約 16.5 万円）となる。

第2.5-3表 一世帯あたりの冷暖房・給湯設備に関するライフサイクルコスト(LCC)

| 地域 | 設備に関するLCC (万円/24年) ^{注1)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注2)} | ランニングコストに 関するLCC (万円/24年) | 合計LCC (万円/24年) |
|-----|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------|
| 北海道 | 341 | 22.5 | | 540 | 881 |
| 東北 | | 16.9 | | 406 | 747 |
| 北陸 | | 18.9 | | 454 | 795 |
| 北関東 | | 15.6 | | 374 | 715 |
| 南関東 | | 15.4 | 24 | 370 | 711 |
| 東海 | | 15.9 | | 382 | 723 |
| 関西 | | 16.0 | | 384 | 725 |
| 中国 | | 13.3 | | 319 | 660 |
| 四国 | | 13.3 | | 319 | 660 |
| 九州 | | 10.7 | | 257 | 598 |

第2.5-4表 GHPシステム(補助なし)を導入した場合のライフサイクルコスト(LCC)(一世帯あたり)

| 地域 | 設備に関するLCC (万円/24年) ^{注1)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注2)} | ランニングコストに 関するLCC (万円/24年) | 合計LCC (万円/24年) | GHPシステム採用 による光熱経費軽 減額 (万円/24年) |
|-----|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------|---|
| 北海道 | 410 | 10.2 | | 245 | 655 | 226 |
| 東北 | | 7.0 | | 168 | 578 | 169 |
| 北陸 | | 7.7 | | 185 | 595 | 200 |
| 北関東 | | 6.3 | | 151 | 561 | 154 |
| 南関東 | | 6.4 | 24 | 154 | 564 | 147 |
| 東海 | | 6.4 | | 154 | 564 | 159 |
| 関西 | | 6.4 | | 154 | 564 | 161 |
| 中国 | | 5.4 | | 130 | 540 | 121 |
| 四国 | | 5.4 | | 130 | 540 | 121 |
| 九州 | | 4.4 | | 106 | 516 | 82 |

注1):設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 使用台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注2)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|---------|----------|------|------|---------------------|--------|-------------|
| エアコン | 15 | 4 | 10 | 24 | 3 | 180 |
| ファンヒーター | 3.5 | 4 | 6 | 24 | 4 | 56 |
| ガス給湯器 | 35 | 1 | 10 | 24 | 3 | 105 |
| 合計 | — | — | — | — | 341 | 410 |

注2):戸建住宅(木造)の法定耐用年数(24年)とした。

注3):設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 使用台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注2)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|------------------------------------|----------|------|------|---------------------|--------|-------------|
| ヒートポンプ 本体 ^{注4)} | 70 | 1 | 10 | 24 | 3 | 210 |
| 地下熱交換器 ^{注5)} (掘削費用を含む) | 200 | 1 | 50 | 24 | 1 | 200 |
| 合計 | — | — | — | — | — | 410 |

注4):GHPシステムに使用するヒートポンプの耐用年数は、ヒートポンプに使用されているコンプレッサーの耐用年数(10年)とした。

注5):地下熱交換器の耐用年数は、地下熱交換器の材質(ポリエチレン)の耐用年数(50年)とした。また、掘削費用は普及10年後の価格競争時に想定される価格(現状の半額)とした。

第2. 5—5表 GHPシステム(30%補助)を導入した場合のライフサイクルコスト(LCC)(一世帯あたり)

| 地域 | 想定システム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注1)} | GHPシステム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注2)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注3)} | 合計LCC (万円/24年) | GHPシステム採用による光熱経費軽減額 (万円/24年) |
|-----|--|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| 北海道 | 881 | | 10.2 | | 532 | 349 |
| 東北 | 747 | | 7.0 | | 455 | 292 |
| 北陸 | 795 | | 7.7 | | 472 | 323 |
| 北関東 | 715 | | 6.3 | | 438 | 277 |
| 南関東 | 711 | 287 | 6.4 | 24 | 441 | 270 |
| 東海 | 723 | | 6.4 | | 441 | 282 |
| 関西 | 725 | | 6.4 | | 441 | 284 |
| 中国 | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| 四国 | 660 | | 5.4 | | 417 | 244 |
| 九州 | 598 | | 4.4 | | 393 | 205 |

注1):想定システム設備に関するLCCは第2. 4—8表参照。

注2):GHPシステム設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価(万円/台) | 台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注3)} | 設備更新回数 | LCC(万円/24年) |
|------------------------------------|--------------|----|------|---------------------|--------|--------------|
| ヒートポンプ 本体 ^{注4)} | 70 (49) | 1 | 10 | 24 | 3 | 210 (147) |
| 地下熱交換器 ^{注5)} (掘削費用を含む) | 200 (140) | 1 | 50 | 24 | 1 | 200 (140) |
| 合計 | | — | | | — | 410 (287) |

上段は補助なし、下段括弧は30%補助あり。

注3):戸建住宅(木造)の法定耐用年数(24年)とした。

注4):GHPシステムに使用するヒートポンプの耐用年数は、ヒートポンプに使用しているコンプレッサーの耐用年数(10年)とした。

注5):地下熱交換器の耐用年数は、地下熱交換器の材質(ポリエチレン)の耐用年数(50年)とした。また、掘削費用は、普及10年後の掘削費用での想定価格。

注6):GHPの補助率は、第2. 5—2表で大部分の地域で10年回収が可能となる補助率(30%)とした。

第2. 5-6表 GHPシステム(1/2補助)を導入した場合のライフサイクルコスト(LCC)(一世帯あたり)

| 地域 | 想定システム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注1)} | GHPシステム設備に関する合計LCC (万円/24年) ^{注2)} | ランニングコスト (万円/年) | 評価年数 ^{注3)} | 合計LCC (万円/24年) | GHPシステム採用による光熱経費軽減額 (万円/24年) |
|-----|--|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| 北海道 | 881 | 240 | 10.2 | 24 | 485 | 396 |
| 東北 | 747 | | 7.0 | | 408 | 339 |
| 北陸 | 795 | | 7.7 | | 425 | 370 |
| 北関東 | 715 | | 6.3 | | 391 | 324 |
| 南関東 | 711 | | 6.4 | | 394 | 317 |
| 東海 | 723 | | 6.4 | | 394 | 329 |
| 関西 | 725 | | 6.4 | | 394 | 331 |
| 中国 | 660 | | 5.4 | | 370 | 291 |
| 四国 | 660 | | 5.4 | | 370 | 291 |
| 九州 | 598 | | 4.4 | | 346 | 252 |

注1):想定システム設備に関するLCCは第2. 4-8表参照。

注2):GHPシステム設備に関するLCCは以下の様に仮定した。

| | 単価 (万円/台) | 台数 | 耐用年数 | 評価年数 ^{注3)} | 設備更新回数 | LCC (万円/24年) |
|------------------------------------|--------------|----|------|---------------------|--------|-----------------|
| ヒートポンプ本体 ^{注4)} | 70 (35) | 1 | 10 | 24 | 3 | 210 (105) |
| 地下熱交換器 ^{注5)} (掘削費用を含む) | 200 (100) | 1 | 50 | 24 | 1 | 200 (100) |
| 合計 | | — | | | — | 410 (205) |

上段は補助なし、下段括弧は1/2補助あり。

注3):戸建住宅(木造)の法定耐用年数(24年)とした。

注4):GHPシステムに使用するヒートポンプの耐用年数は、ヒートポンプに使用されているコンプレッサーの耐用年数(10年)とした。

注5):地下熱交換器の耐用年数は、地下熱交換器の材質(ポリエチレン)の耐用年数(50年)とした。また、掘削費用は、普及10年後の掘削費用での想定価格。

注6):GHPの補助率は1/2補助とした。

2. 6 日本における経済性評価（老人ホーム）

今回入手できた既存の老人ホーム（第2. 6-1図）について、第2. 6-1表に既存の冷暖房・給湯システムと GHP システムによる初期コスト、ランニングコストの比較を示す。また、既存の冷暖房・給湯設備と、その設備を GHP システムに置き換えた場合の比較（初期コスト、ランニングコスト、回収年数、回収年数を想定した場合の必要補助率、二酸化炭素排出量削減効果（仮定した GHP システムを老人ホーム 1 万棟が導入した場合）、および二酸化炭素排出量削減に伴う設備投資を第2. 6-2 表に示す。

第2. 6-1 表を見ると、老人ホームではヒートポンプが 2 台、200m 坑が 17 本と、戸建住宅に比べ初期コストが高い。反面、ランニングコストは GHP システムの方が年平均 60 万円程安い。既存の給湯設備とボイラー設備費の合計額と GHP ヒートポンプ本体 2 台分の金額がほぼ等しいことから、GHP システムを普及推進させるためには、GHP 地下熱交換器の掘削費用をいかに低減できるかにかかっている。

第2. 6-2 表を見ると、現状での初期コストに関しては、第2. 5-1 表同様、地下熱交換器設置に伴う掘削費用によって、GHP システムの方が既存設備に比べて 1715 万円高くなると予想される。しかし、GHP システムの方がランニングコストが約 60 万円安いことから、補助なしの場合で約 28 年で回収できることになる。また、1/2 補助の場合には、GHP システムの初期コストが既存システムより安価になるので、ランニングコスト差によるメリットを使用開始時から活用できる。なお、本表の坑井掘削費用は、普及 10 年後の掘削費用による想定価格（現状の半額）で設定している。

さらに第2. 6-2 表に示すように、老人ホーム建設にあたっては、補助金が建設初期コスト（諸設備含む）の 2/3 出る。それを考慮すると、補助なしの場合でも初期コスト格差が 572 万円になり、回収年数も 28 年から約 3 分の 1 の 9.5 年まで短縮できる。

二酸化炭素削減効果に関しては、老人ホーム 1 万棟が GHP システムを導入する場合、約 80 万トン/年（削減効果：0.07%）の削減効果が期待される。二酸化炭素排出量削減に伴う設備投資費用は、補助なしの場合で約 30 万円/トン、補助ありの場合で約 18 万円/トンとなる。これらの費用は、第5. 1-5 表（第5. 1 章 二酸化炭素排出量削減効果参照）と比べると約 1/3 ~ 1/5 程度と安価である。

第2. 6-1表 現状の冷暖房・給湯システムとGHPによる冷暖房・給湯システムの老人ホーム1棟あたりの初期コスト・ランニングコスト比較

| 既存の冷暖房・給湯システム | | | | GHPシステム(暖房+冷房+給湯) | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|-------|-------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------|--|
| | 給湯設備 | ボイラー設備 | 配管設備 | 合計 | GHPヒートポンプ本体 (2台) | GHP地下熱交換器 (200m坑17本 掘削費用含む*) | GHP配管設備 (^{†1)}) | 合計 | |
| 初期コスト ^(‡2) | 265万円 | 775万円 | 190万円 | 1230万円 | 980万円／2台 | 5100万円 2550万円 | 190万円 | 6270万円 3720万円 | |
| ランニングコスト(合計) | | | | 290万円 | | | | 230万円 | |

注1) GHP配管設備費は、既存の配管設備費と同額とした。

注2) GHPシステムの地下熱交換器の初期コストは、現状での見積価格を上段、普及10年後に想定される価格を下段に示した。

第2. 6-2表 老人ホーム1棟あたりの既存冷暖房・給湯システムとGHP冷暖房・給湯システム導入の場合の初期コスト・ランニングコストの比較、二酸化炭素排出量削減率に伴う設備投資費用及び老人ホーム1万棟がGHPシステム導入の場合の二酸化炭素排出量削減効果

| | 既存システム | GHPシステム | コスト差 | 回収年数 | 回収年数を想定した場合の必要補助率(%) ^(注3) | | 二酸化炭素削減量(万トン/年) | (%) ^(注4) | 設備投資費用(万円/トン) |
|----------|---|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | | | | | 5年間 | 8年間 | | | |
| 厚生省補助なし | 冷暖房・給湯システム 油直焚吸式 冷温水機(2台) (能力:181,440kcal/h) | ヒートポンプ(60冷凍ton:2台) 地下熱交換器(200m:17本) (坑井掘削費含む) ^(注1) | | | | | | | |
| 初期コスト | 2005万円 | 3720万円 1860万円 | 1715万円 -145万円 ^(注2) | 28 0 ^(注2) | 38 | 33 | 30 | 80 | 0.07 |
| ランニングコスト | 290万円/年 | 230万円/年 | 60万円/年 | | | | | | 30 |
| 2/3補助あり | 初期コスト 668万円 | 1240万円 620万円 | 572万円 -48万円 ^(注2) | 9.5 0 ^(注2) | 7.3 ^(注5) | 2.5 ^(注5) | 0 ^(注5) | | 18 |
| | ランニングコスト 290万円/年 | 230万円/年 | 60万円/年 | | | | | | |

注1):ヒートポンプ地下熱交換器の掘削費用は、普及10年後の想定される価格とした。また、上段は補助なし、下段は1/2補助ありの金額。

注2):1/2補助を適用するとGHPシステムの初期コストが仮定したシステムより安くなり、ランニングコスト差によるメリットが使用開始時から活用できる。

注3):回収年数は、購入意欲を想定して設定した。

注4):日本の二酸化炭素総排出量は、12.2億トン(1995)とした。

注5):GHPシステムの補助なし初期コスト(3720万円)に対する割合。

第2. 6-3表 第2. 6-2表で示した既存システムとGHPシステムのライフサイクルコスト(LCC)の比較(評価年数50年)

| | 単価(万円) | 耐用年数 ^(注1) | 台数 | 評価年数 | 設備更新回数 | LCC ^(注3) (万円/50年) | 合計(億円/50年) |
|-------------------------|--|---------------------------------------|---------------------|------------------|----------------------|------------------------------|--|
| | | | | | | | |
| 既存システム | 給油設備 ボイラー設備 配管設備 ランニングコスト | 265 775 190 290 | 10 10 10 - | 1 2 1 - | 50 50 50 50 | 5 5 5 - | 1325 7750 950 14500 |
| GHPシステム ^(注4) | ヒートポンプ 本体 地下熱交換器 配管設備 ランニングコスト | 490 (245) (1275) (95) 230 | 10 50 10 - | 2 1 1 - | 50 50 50 50 | 5 5 5 - | 4900 (2450) (1275) (475) 11500 |

注1):給油設備・配管設備はボイラの耐用年数(10年)と同じと仮定した。ヒートポンプ本体の耐用年数は、地下熱交換器に使われている材質(ポリエチレン)の耐用年数(50年)とした。

注2):GHPシステムの配管設備は、既存システムの配管設備と同じとした。

注3):今回の試算では、設備の耐用年数になつたら新しい物と取り替えると仮定した。

注4):GHPシステムの下段の括弧内は1/2補助を受けた金額。

第2. 6-2表で示した既存設備とGHPシステムのライフサイクルコスト(LCC)の試算を第2. 6-3表に示す。LCCの算出方法は第2. 5-3表、第2. 5-4表と同様である。評価年数は50年と仮定した。その結果、既存設備に比べて、GHPシステムの方が補助なしでも約4600万円程度(年平均約92万円)安くなると予想される。ただし、今回のLCCの計算は、設備の耐用年数になったら新しい物を取り替えると仮定した場合での試算である。今回の老人ホームのような大規模な設備の場合、修理等で耐用年数以上使用すると考えられるが、今回得られたデータでは、修理等により設備を耐用年数以上使用した場合を含めたLCCの試算はできなかつたので、設備を取り替えた場合を目安としてLCCの試算を行つた。

老人ホームのように、何かしらの補助金、例えば、第5. 1-5表(二酸化炭素排出量削減に伴う設備投資)等を参考にした補助金を導入することによって、回収年数は、さらに短期間化できると期待される。

2. 7 普及への阻害要因

欧米、特に米国では、年率25%程度の伸び率で普及が増進しており、97年で5万台/年のGHPが設置されている。しかしながら、我が国ではほとんど普及していないのが実状である。

普及が遅れている原因については、これまでの国内外の調査結果によれば、以下のように大別される。

- ①設計者、施工業者がGHPシステムへの共通の理解が低い(標準化・マニュアル化)
- ②GHP設計の最適化の為の情報が少ない(設計の最適化)
- ③GHPを普及・促進する母胎が無く、教宣活動が定常的になされていない
(普及活動)
- ④GHPの長所が広く知られていない(デモンストレーション)
- ⑤掘削コストが高いことが主因で、初期コストが高い(コスト縮減、負担軽減)

特に⑤に関しては、先のスイスの事例においても地下熱交換器設置費用分だけコスト高になっている。スイスでGHPが普及した背景には、政府からの補助金制度があつたからである。このような点を、日本でも取り入れれば、GHPシステムの普及の可能性も考えられる。

3. GHPシステムの技術的課題

3. 1 戸別住宅用GHPの性能アップ

現在、戸別住宅用に開発されている日本製の空気一空気ヒートポンプシステム（エアコン）は、高性能、小型化、低価格を実現している。この空気熱源ヒートポンプの技術を GHP システム用のヒートポンプに適用することにより、GHP も高性能、小型化、低価格を実現できると考えられる。

現在の日本における空気一空気ヒートポンプの性能は $COP=3 \sim 5$ 程度 (JIS 規格試験値 (外気温 7 °C、室温 20 °Cで運転した場合) : 第 3. 1 - 1 表参照) である。海外で使用されている GHP システムの液体一液体ヒートポンプは $COP=4 \sim 5$ (第 3. 1 - 2 表) である。海外では、エアコンの性能は日本よりはるかに低く、液体一液体ヒートポンプの性能が $COP=4 \sim 5$ でも、従来のエアコンシステムより性能が良い。しかし、日本のエアコンは、海外の液体一液体ヒートポンプの性能と同等もしくはそれ以上の性能なので、海外のヒートポンプをそのまま利用してもコストがかかるのみで、GHP を取り入れるメリットがあまり出ない。また、ヒートポンプの大きさも、現在、海外で使われている液体一液体ヒートポンプは、日本の空気熱源ヒートポンプ（エアコンの室外機）より大きい（第 3. 1 - 1 図）。

GHP システムに使われる液体一液体ヒートポンプの開発は、日本ではまだ一般的ではないが、技術的には、すでに空気熱源ヒートポンプで開発された技術を GHP に適用することになるので、それほど大きな開発要素とはならないと考えられる。これにより、熱源を地中の熱とすることで、空気熱源より熱交換効率が上がり、また、GHP 用ヒートポンプそのものの性能も空気熱源ヒートポンプと同様になるので、システム全体として大幅な冷暖房効率アップが実現される。また、空気熱源ヒートポンプシステムより GHP システムのほうがランニングコストが低く、二酸化炭素排出量削減に寄与するなど、大きなメリットが出ると考えられる。なお、空気熱源ヒートポンプの性能は外気温に左右されるので、年間を通してでは安定した COP が得られないが、GHP は地中が熱源なので、安定した COP が得られる。よって、空気熱源ヒートポンプと GHP の性能比較及びランニングコストの試算においては、今後は、COP ではなく、SPF[Seasonal Performance Factor : 季節成績係数 (年間を通した全冷暖房期間での COP 平均値)]で比較する必要があると考えられる。

また、冷暖房システム全体の性能アップとして、氷蓄熱システムとの併用なども、今後検討していく必要があると考えられる。

仕様表

(注) ①上の表はJIS条件による測定値です。②この仕様は平成10年9月現在のものです。改良にともない予告なく一部変更することがあります。③東芝エアコンを製造している東芝富士工場はJIS日本工業規格表示工場です。(通商産業大臣許可第372042号)(※1)は室外ユニットの形名です。(※2)1時間あたりの電気代について:エアコン以外の消費電力量を含め、月間合計280kWhを使用した時の単価を23円／kWhとして、定格運転運転時間で計算したもので、月間の純消費電力量により電気代は異なります。三相機種については、低圧電力の新規契約時の料金を適応し、冷房時12円／kWh、暖房時11円／kWhで算出したものの、基本料金は含まれていません。(※3)除湿能力は冷房時の値です。(※4)運転料金はJIS条件(C9612)による測定した室内・室外とも強制運転時の運転料金です。運転料金は反響の少ない無騒音室で測定した数値です。実際に据付けた状態で測定すると、周囲の騒音や反響等の影響を受け、表示数値より大きくなるのが普通です。(※5)接続配管は断熱処理が必要です。(※6)「エネルギー消費効率」の成績係数(COP)は消費電力1kWhあたりの冷房能力。暖房標準能力を表わしたものです。(※7)室外機は長配管仕様です。(※8)室外機は耐塩害仕様です。

●待機時に電力を消費しますので、長時間使用しない時には電源プラグをコンセントから抜いてください。

第3.1-1表 空気熱源ヒートポンプシステム（エアコン）の特性表（東芝の例）

3. 2 GHPシステムとベストマッチな冷暖房システム

GHP システムのヒートポンプとして、液体一液体、または液体一空気タイプが考えられるが、GHP システムの効率 (COP) を高くするためには、暖房用のお湯または温風、冷房用の冷水または冷風の温度を可能な限り低く、もしくは高くした方がよい。これは、前に述べたように、昇温幅が大きくなると COP が低くなるからである（資料 4 の第 4 図）。第 3. 2-1 図に、吸熱源とヒートポンプ出力温度の関係を示す。GHP システムに使用する熱源の温度（地中の温度）は約 10 ~ 20 ℃ であるので、第 3. 2-1 図より、ヒートポンプからの供給温度は 20 ~ 60 ℃ ぐらいが現状のヒートポンプにとって最適であると考えられる。

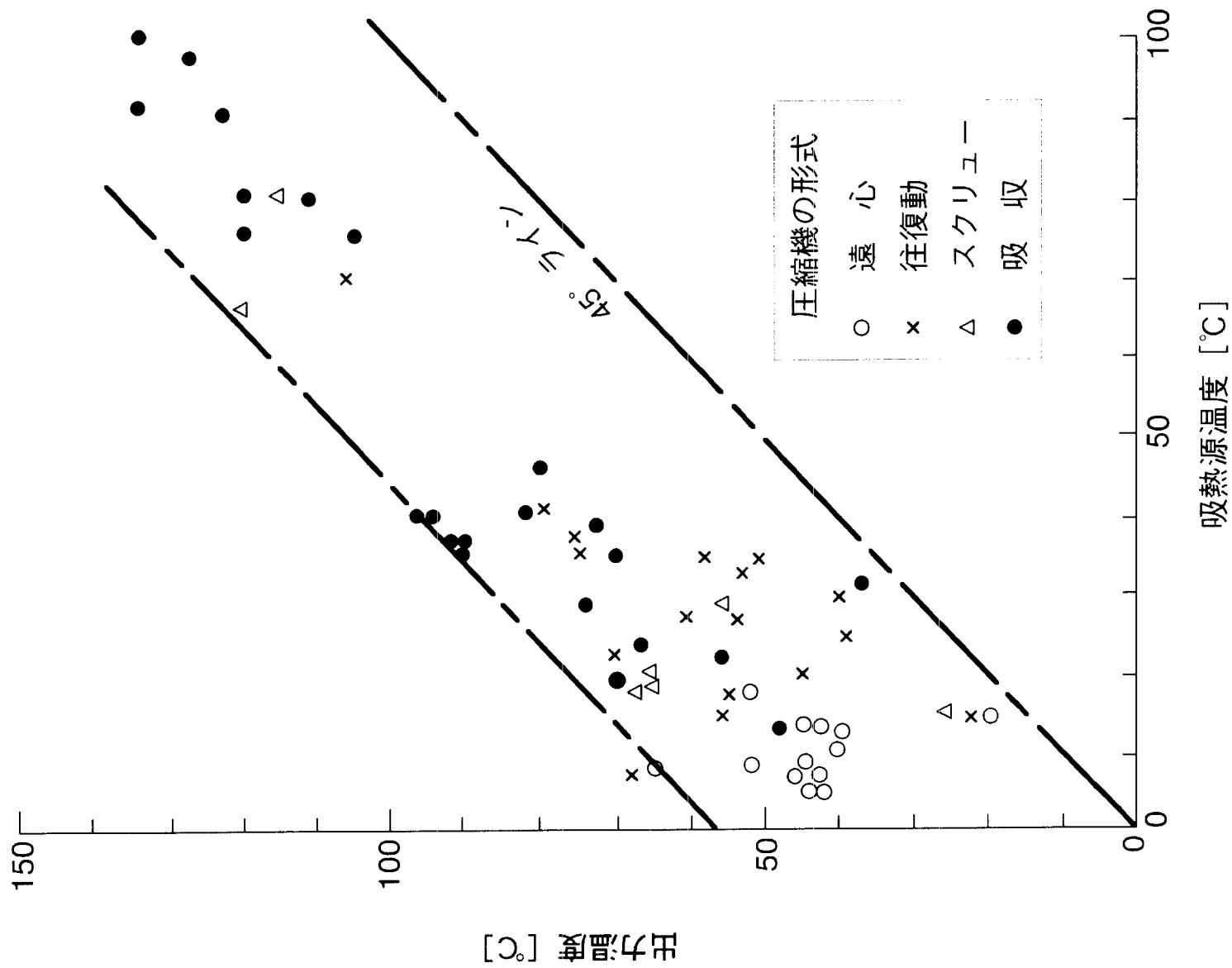
第 3. 2-1 表よって、GHP システムでの冷暖房を考えた場合、20 ~ 60 ℃ で効率良く効果的に冷暖房が行えるシステムと組み合わせることが最適であると考えられる。そのシステムとして、水または空気を利用した床冷暖房システムやファンコイルシステムなどが考えられる。第 3. 2-2 表に各種冷温熱供給システムの一般的供給温度を示す。

第 3. 2-2 表 各種冷温熱供給システムの一般的供給温度

(IEA ヒートポンプセンター (1994))

| 冷温熱供給システム | 用途 | 供給温度 (℃) |
|-----------|------------|-----------|
| 空気供給 | 空気加熱 | 30 ~ 50 |
| 循環水式システム | 床暖房 | 30 ~ 45 |
| | 低温（最新型）放熱器 | 45 ~ 55 |
| | 高温（従来型）放熱器 | 60 ~ 90 |
| 地域暖房 | 地域暖房－温水 | 70 ~ 100 |
| | 地域暖房－温水／蒸気 | 100 ~ 180 |
| 冷房 | 冷却空気 | 10 ~ 15 |
| | 冷却水 | 5 ~ 15 |
| | 地域冷房 | 5 ~ 8 |

例えば、最近普及し始めている高断熱・高気密住宅などでは、暖房の場合、温熱供給温度が比較的低温であっても十分暖房効果が期待できるので、ファンコイルシステムの様な従来から取り入れられている空調設備でも昇温幅を低く押さえることができるために、COP を下げることなく十分効果が得られると考えられる。



第3. 2-1図 吸熱減温度に対するヒートポンプの出力温度の実績値（高田・黒田（1991）より）

また、最近は温冷水式床冷暖房システムの研究や開発も行われている（石島他,）。以前から温水式床暖房は普及していたが、立ち上がりの遅さが、また冷水式床冷房は結露の発生や床からの冷気の放射が問題となっていた。そこで、強制対流を併用することにより、より快適性の改善、向上を図ることが試みられている。（株）インターベントラルでは、同様の考え方によるセントラルサーモシステムという床冷暖房システムを開発している（第3. 2-2図）。セントラルサーモシステムとは、床に埋設するパイピングプレートに冷温水パイプを敷設し、プレート下部に通気層を設け、パイプ内に冷温水を通すことによって、床表面からの冷温輻射効果とプレート下部で熱交換された空調エアにより、冷暖房と空調が同時に可能なシステムである。このシステムに必要な冷温水の温度は、冷房時 16～22℃、暖房時 25～30℃である。この場合、GHP システムの熱源温度は約 10～20℃程度で大きな昇温幅にはならないので、COP を高く維持した上で十分省エネ効果が得られると考えられる。また、従来の床暖房では、熱の一部が下方に逃げて地下に吸収されていたが、床下面に空気を強制循環することにより、この熱を回収できるようになるため、さらに省エネ効果が得られるとのことである。

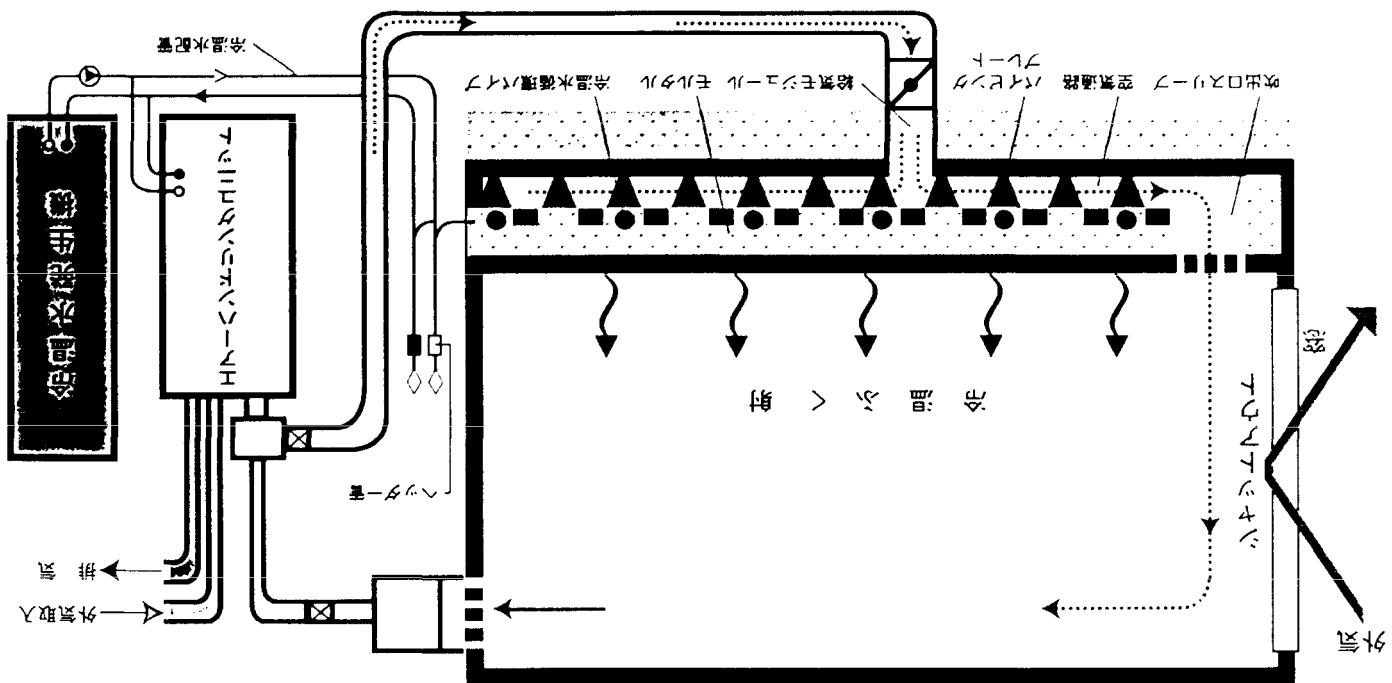
このように、GHP システムの特徴を生かすシステムとの組み合わせの検討も今後の課題である。それぞれの冷暖房装置はすでに開発されているので、GHP システムとのベストマッチングとするためのマニュアル化が今後の開発課題となる。これにより、GHP システムの特徴を生かした効率的で効果的なシステムを誰でも設計できるようになり、正しい普及が可能となる。また、現在の省エネ法は、北国の方が厳しく、南国の方が緩やかである。今後、北国での厳しい省エネ法が南国でも求められてくる。そのため、そのような省エネ法に対応することを前提とした冷暖房設備のあるべき姿も検討していく必要があると考えられる。

3. 3 高効率地下熱交換器の開発

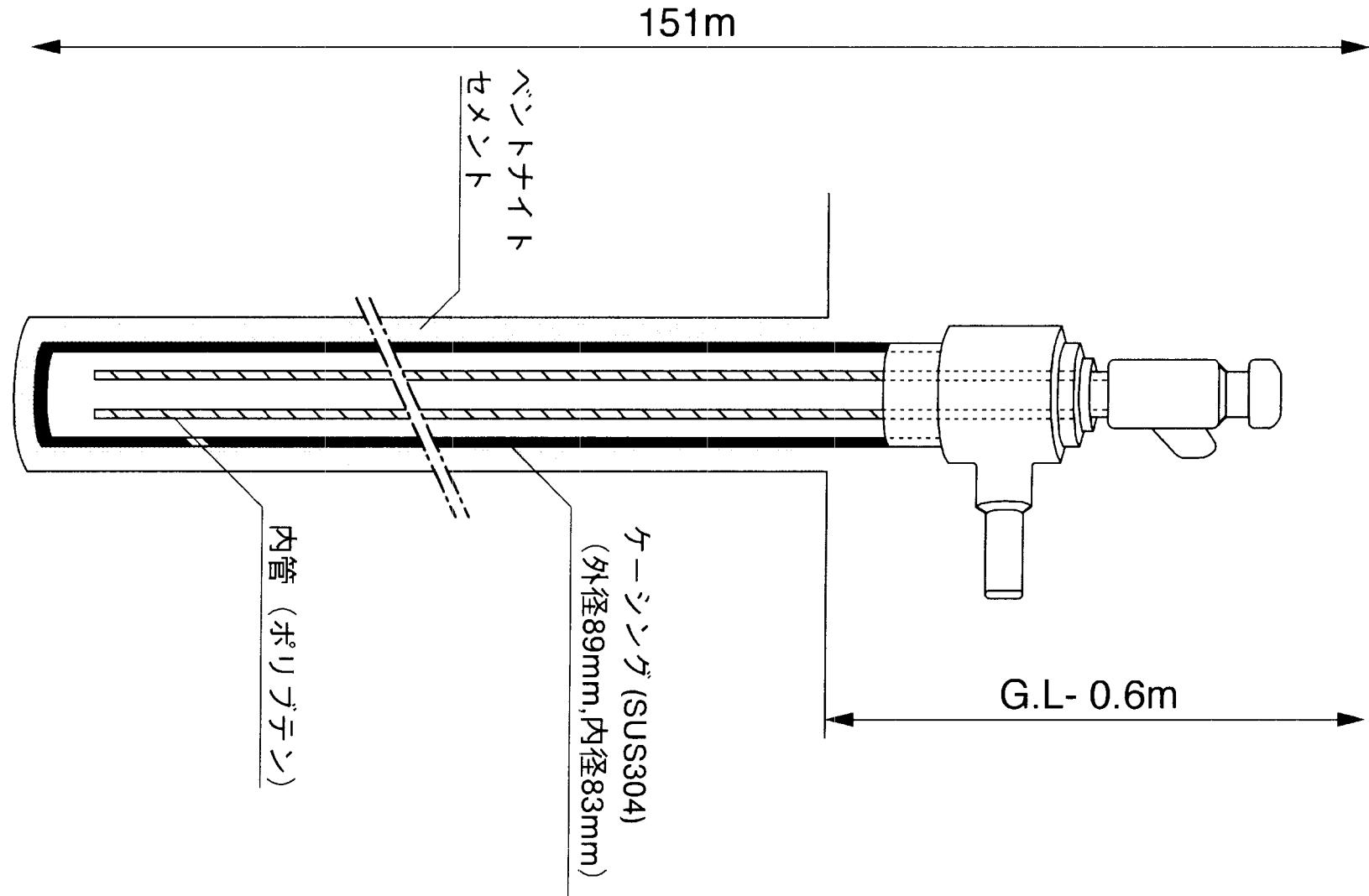
ガイア融雪システムに利用されている同軸熱交換器（第3. 3-1図）は、外管は伝熱パイプ、内管は断熱パイプが使われているので、一般的に用いるには高価である。また、ケーシングパイプを挿入することから設置工事も大がかりとなる（第3. 3-2図）。また、布野村保健福祉センターで使用されている同軸熱交換器は硬質ポリエチレン2重管（内管径 56mm、外管径 90mm、深さ 100m：）11 本を使用している。リゾートピア久美浜では、深さ 13 m × 152 本の坑井に熱交換器としてステンレス製ダブルU字管を用いている。U字管総延長 7904 mである。

第三章 第二節 地圖的圖例和地圖的編製 (一) 地圖的圖例 (1998)

床室温度を<財>、空調は太陽光の組合せが
低成本でT、不快な気流や騒音の作動音に悩まされ
ない。また、室内全体効率一時遮熱装置を採用す
ることで、室内温度を高く保つ。また、室内温



卷之三



第3. 3-1図 ガイアシステムに使われている同軸地中熱交換器の構造

以上のように、現在使われているシステムは、熱交換器の設置費用がかなりかかっていると考えられる。

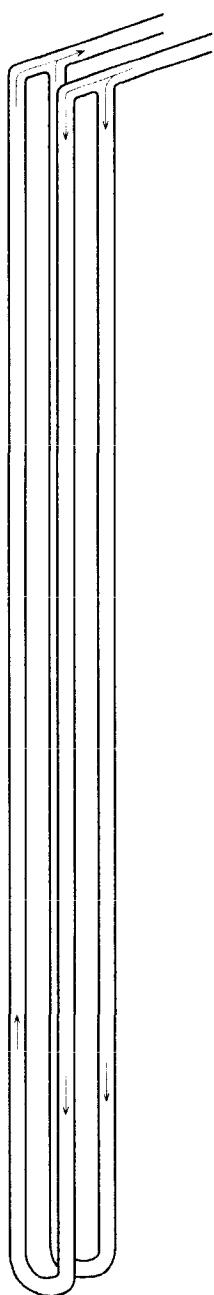
GHP システムを導入するに当たって、最大の問題点は地下熱交換器の設置にともなう費用である。これをいかに低く押さえることが出来るようになるかが、GHP システム普及の成否を決めるといつても過言ではない。掘削メートル数を減らすことが出来れば、掘削コストの低減に直結する。このために、地中熱交換器の効率アップを目指すことが必要である。ただし、熱交換器の価格が熱交換器の効率アップに伴う掘削費の低減以上になったのでは意味がない。従って、現在使われているU字型地中熱交換器（第3. 3-3図）よりも若干のコストアップで大幅な熱交換効率が得られる熱交換器の開発が今後の開発目標となってくる。具体的には、安価な同軸熱交換器、ダブルU字管（第3. 3-3図）、パイプの材質として金属／ポリエチレンタイプ（同軸熱交換器）等が考えられるが、熱交換効率の他に、施工が容易なことも重要である。U字管と同様に、ケーシングパイプが不必要、コイルチューブタイプでドラムに巻き付けて設置することで短時間にインストールできること等が開発条件となる。

以上の開発により、熱交換器設置に必要な掘削深度を減らすことができ GHP システム全体のコスト低減が期待される。

そのほかに、GHP システムでは、熱交換器を地中に埋設することから、熱交換器内を循環する液体（水・不凍液等）の漏洩が懸念される。そこで、循環する流体の漏洩を検知するシステム、例えば第3. 3-4図の様な圧力・温度測定装置を GHP システムに組み込むことも必要であると考えられる。

3. 4 堀削のマニュアル化

あらゆる場所で掘削可能な方式で掘削しようとすると、ある地質条件では極めて掘削コストの高い坑井となってしまう。このようなことがないためにも、地質条件・地下水条件・地下温度条件などにより、最適な掘削方法のマニュアル化が今後の課題である。このマニュアルは参考にすることにより、最適な地下熱交換器の設計が可能となるように数値化されている。したがって、この様なマニュアルが整備されることにより、導入される GHP システムに必要な地下熱交換器を最低のコストで作成する事ができるようになる。例えば、岩盤が浅く出現する地点では、あえて岩盤を掘り進まず、深い坑井を数多くすることで対処する、地下水の流速がある程度ある地点では熱交換面積を減らす等がある程度具体的に数値としてマニュアル化さ



第3. 3-4図 ダブルU字管

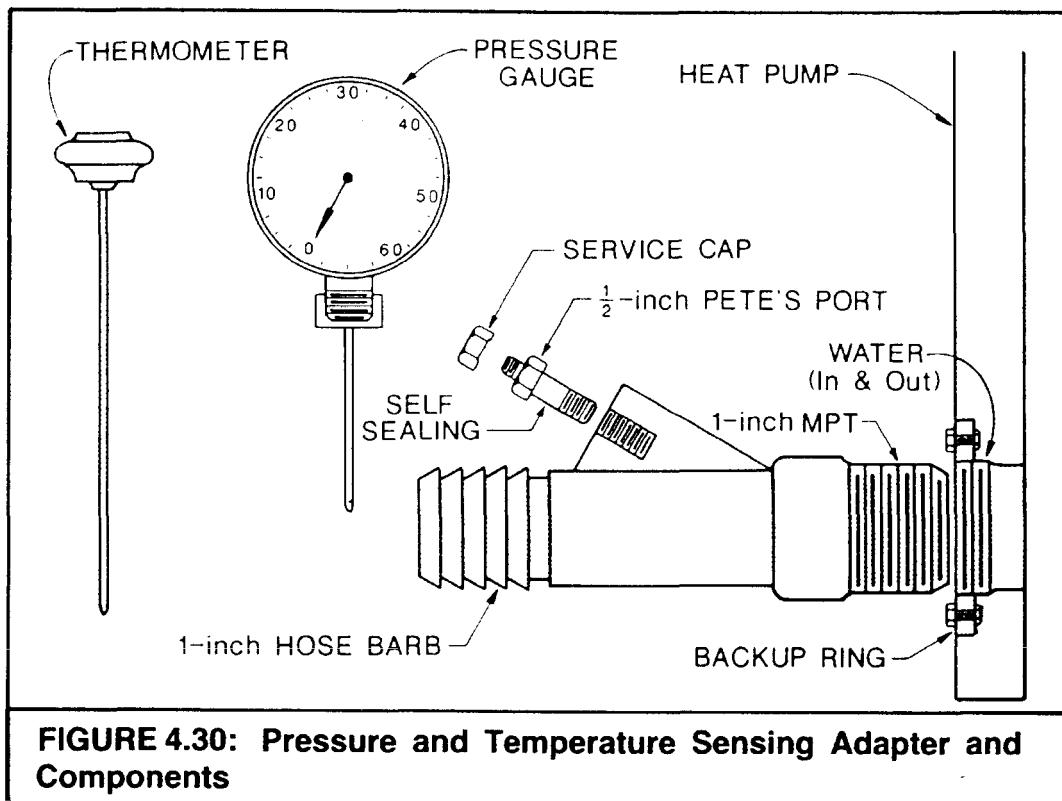


FIGURE 4.30: Pressure and Temperature Sensing Adapter and Components

第3. 3-5図 壓力・温度測定装置

れていれば、岩盤を無理して掘り進むことによるコスト高、必要能力以上の熱交換器の作成などを防ぐことができ、結果的にコスト低減につながると考えられる。

例えば、スイスでは、第3.4-1図のように、必要坑井数、掘削長等がチャート化されており、地点と熱需要量とが決まれば、坑井数と掘削長の標準値を直ちに推定できるようになっているため、事前の見積もり時のみならず、予想外の掘削状況の場合においても、掘削長、本数を現場で直ちに調整して、所定の熱抽出量を確保できるようにしてある。今後は、我が国に適合したこのようなチャート（マニュアル）の作成も必要であろう。

また、準備・解体に要する時間短縮のための掘削設備のコンパクト化、掘削自体の高速化など、掘削自体にかかる費用を低減するための技術開発も同時に行っていく必要がある。

3.5 掘削費低減への技術的提案

(1) 地質条件による推奨既存掘削方法

① 軟岩 I (一軸圧縮強度 150 kg/cm^2 以下, 凝灰岩, 砂岩, 泥岩相当)

- ・掘削方法：オーガー+トリコンビット, 条件によってはエアハンマー
- ・問題点：崩壊, 出水 (廃泥処理)
- ・崩壊等の坑井障害がなければ最も安価で掘削可能

② 軟岩 II (一軸圧縮強度 $150 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$, 軟岩 I と中硬岩の中間)

- ・掘削方法：トリコンビット or エアハンマー
- ・問題点：崩壊, 出水 (廃泥処理)
- ・崩壊等の坑井障害がなければ最も安価で掘削可能

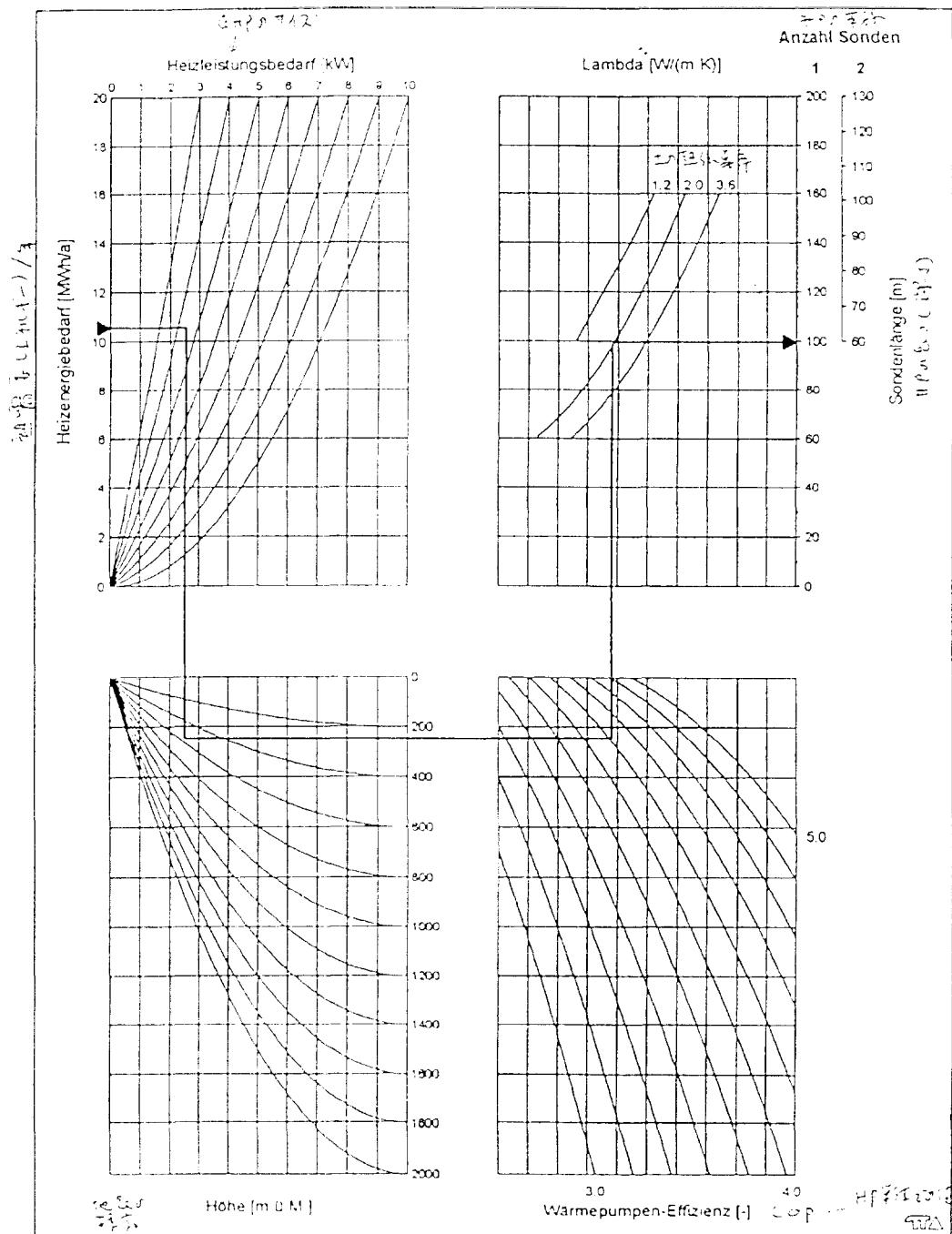
③ 中硬岩 (一軸圧縮強度 $300 \sim 800 \text{ kg/cm}^2$ 以上, 石灰岩・安山岩相当)

- ・掘削方法：エアハンマー掘削 or トリコンビット
- ・問題点：低掘進率, 騒音対策
- ・崩壊の懸念はほぼないので掘進率がよければ比較的安価に掘削可能

④ 硬岩 (一軸圧縮強度 800 kg/cm^2 以上, 花崗岩相当)

- ・掘削方法：エアハンマー掘削
- ・問題点 低掘進率, 騒音対策, ビット摩耗
- ・安価な掘削は困難？

5.2. NOMOGRAMM ZUR BESTIMMUNG DER ERFORDERLICHEN SONDENLÄNGE



Figur 12: Nomogramm zur Bestimmung der erforderlichen Sondenlänge. Zu beachten sind die Einschränkungen in Kapitel 5.3. auf Seite 36.

第3. 4 – 1 図 地中熱交換器設計のためのチャート図（イススでの例）

⑤ 砂礫

- ・掘削方法（オーガー or ダブルオーガー）
- ・問題点：崩壊、出水（廃泥処理）
- ・崩壊が激しいと予想されるがダブルオーガー式で掘削すればケーシングは不要になる可能性あり

⑥ 玉石転石

- ・掘削方法：エアハンマー
- ・問題点：崩壊、出水（廃泥処理）、低掘進率
- ・安価な掘削は困難？

（2）既存掘削方法特徴

① エアハンマー掘削

- ・空気駆動のハンマーにより掘削、空気で掘屑排除
- ・地質条件がよく、かつ、空気量を多くすれば数百mまで掘削可能
- ・硬岩での掘進率が他の掘削法と比較してよい
- ・騒音と振動が最も大きい

② トリコンビット掘削（ロータリー式 or スピンドル式掘削）

- ・ビットに荷重と回転を与えて掘削、泥水もしくは空気で掘屑排除
- ・約1万mまで掘削可能
- ・泥水使用の場合様々な地質に対応可能、空気使用の場合は軟弱地層不可
- ・泥水使用時は廃泥処理費が最も高い

③ オーガー掘削

- ・ブレードビットおよびスクリューロッドで掘削、スクリューで掘屑排除
- ・地質条件がよければ50～100mの掘削実績あり
- ・軟岩I～II程度まで使用可能
- ・掘削深度実績が浅い

④ ダブルオーガー掘削

- ・オーガー掘削法のスクリューロッド内にもう一段小さなオーガーを組合せて掘削、スクリューで掘屑排除

- ・50 m以浅の掘削実績しかない
- ・坑径が数百mmと大きい

(3) 掘削法改良案

① ダブルオーガー法

- ・HP 径に対応した小口径のものを製作する
- ・スクリューロッド強度および掘削機の能力に検討を要す

② ハイブリッド法

- ・オーガーの先端にトリコンビットを装着し、中硬岩までの対応と掘屑排除の効率化、廃泥処理費低減や崩壊に対処する。
- ・掘削機の検討（土木式またはボーリング式の選択等）

③ エアハンマーの低騒音・振動化

(4) 掘削機の設計

比較的広大かつ平坦な敷地で多数の HP 坑を掘削する場合と既存住宅地で数本の HP 坑を掘削する場合では、最もコストダウンが図れる掘削機の設計が異なる。すなわち前者は、自走式で自動化された大型（10 t 車～トレーラー程度をイメージ）掘削機であるのに対し、後者はスキッド式でかつ分解可能な小型（4 t 車×2台程度をイメージ）掘削機が望ましいと思われる。このように、HP 坑掘削専用リグの設計にはターゲットの選定が重要である。

(5) 掘削費低減への技術的提案

① 地質条件による推奨既存掘削方法

- i) 軟岩 I （一軸圧縮強度 150 kg/cm² 以下、凝灰岩、砂岩、泥岩相当）
 - ・掘削方法：オーガー+トリコンビット、条件によってはエアハンマー
 - ・問題点：崩壊、出水（廃泥処理）
 - ・崩壊等の坑井障害がなければ最も安価で掘削可能
- ii) 軟岩 II （一軸圧縮強度 150～300 kg/cm²、軟岩 I と中硬岩の中間）
 - ・掘削方法：トリコンビット or エアハンマー

- ・問題点：崩壊，出水（廃泥処理）
- ・崩壊等の坑井障害がなければ最も安価で掘削可能

iii) 中硬岩（一軸圧縮強度 300～800 kg/cm² 以上，石灰岩・安山岩相当）

- ・掘削方法：エアハンマー掘削 or トリコンビット
- ・問題点：低掘進率，騒音対策
- ・崩壊の懸念はほぼないので掘進率がよければ比較的安価に掘削可能

iv) 硬岩（一軸圧縮強度 800 kg/cm² 以上，花崗岩相当）

- ・掘削方法：エアハンマー掘削
- ・問題点 低掘進率，騒音対策，ビット摩耗
- ・安価な掘削は困難？

v) 砂礫

- ・掘削方法（オーガー or ダブルオーガー）
- ・問題点：崩壊，出水（廃泥処理）
- ・崩壊が激しいと予想されるがダブルオーガー式で掘削すればケーシングは不要になる可能性あり

vi) 玉石転石

- ・掘削方法：エアハンマー
- ・問題点：崩壊，出水（廃泥処理），低掘進率
- ・安価な掘削は困難？

(6) 既存掘削方法特徴

① エアハンマー掘削

- ・空気駆動のハンマーにより掘削，空気で掘屑排除
- ・地質条件がよく，かつ，空気量を多くすれば数百mまで掘削可能
- ・硬岩での掘進率が他の掘削法と比較してよい
- ・騒音と振動が最も大きい

② トリコンビット掘削（ロータリー式 or スピンドル式掘削）

- ・ビットに荷重と回転を与えて掘削、泥水もしくは空気で掘屑排除
- ・約1万mまで掘削可能
- ・泥水使用の場合様々な地質に対応可能、空気使用の場合は軟弱地層不可
- ・泥水使用時は廃泥処理費が最も高い

③ オーガー掘削

- ・ブレードビットおよびスクリューロッドで掘削、スクリューで掘屑排除
- ・地質条件がよければ50～100mの掘削実績あり
- ・軟岩I～II程度まで使用可能
- ・掘削深度実績が浅い

④ ダブルオーガー掘削

- ・オーガー掘削法のスクリューロッド内にもう一段小さなオーガーを組合せて掘削、スクリューで掘屑排除
- ・50m以浅の掘削実績しかない
- ・坑径が数百mmと大きい

(7) 掘削法改良案

① ダブルオーガー法

- ・HP径に対応した小口径のものを製作する
- ・スクリューロッド強度および掘削機の能力に検討を要す

② ハイブリッド法

- ・オーガーの先端にトリコンビットを装着し、中硬岩までの対応と掘屑排除の効率化、廃泥処理費低減や崩壊に対処する。
- ・掘削機の検討（土木式またはボーリング式の選択等）

③ エアハンマーの低騒音・振動化

(8) 堀削機の設計

比較的広大かつ平坦な敷地で多数の HP 坑を掘削する場合と既存住宅地で数本の HP 坑を掘削する場合では、最もコストダウンが図れる堀削機の設計が異なる。すなわち前者は、自走式で自動化された大型（10 t 車～トレーラー程度をイメージ）堀削機であるのに対し、後者はスキッド式でかつ分解可能な小型（4 t 車×2台程度をイメージ）堀削機が望ましいと思われる。このように、HP 坑掘削専用リグの設計にはターゲットの選定が重要である。

4. GHPシステムの導入・促進・普及の方策

GHPシステム普及促進へのエンジン（支援体制）の確立が重要である。支援体制は主に

- a) 基礎研究
- b) 実用化研究
- c) 普及活動

に分類される。

a) 更なる効率向上に向けて、世界的にも今後研究は継続されると思われるが、基礎研究は欧米で既にほぼ終了している。特に我が国の現状では、地下熱交換器を設定する地下に関する情報が整備されていないことが普及のブレーキとなる可能性があり、整備を急ぐ必要があると思われる。

b) 実用化研究も、欧米ではほぼ終了しており、普及活動にメインが移行している。しかしながら、我が国では、システムの標準化、マニュアルの整備、デモンストレーションによる実証などが急務である。

c) 普及活動としては、GHPの普及活動・トラブル対応等を行うセンター設立、補助金制度の確立が必要となろう。

本節では、導入・促進・普及の方策をとりまとめる。

4. 1 地温分布図・地下水分布図・地質図

(1) 基礎研究： 設計最適化の為の地下温度、地下水位、地質マップ

GHPシステム独特の設計は地下での熱交換である。地上に関しては、通常の冷暖房システムと同じである。従って、GHPシステム独特の地下の熱交換システムの設計・見積もりに必要な情報を整備しておくことが肝要である。

熱交換器システムの設計には、地下100m程度までの温度勾配（第4. 1-1図参照）が必要であるほか、地下水の水位、出来れば流向・流速も有れば設計に有効な情報となる。これらの情報を示したマップが整備されれば、容易に地下熱交換器の設計が可能になるだけでなく、情報がないためにオーバースペックの設計となってしまうと言う無駄が省ける。

また、掘削コストの見積もりの観点からは、地下熱交換器を設置する範囲（100m以浅）の地質状況が判れば掘削コストに関しても適切な価格を無理なく作成できるようになる。掘削コストの算出に必要な情報があるので、礫岩層の有無、断層の有無、基盤岩の有無等が情報として極めて大切である。

① 水位

一般的に言って大都市では、工業用水法が制定されて以来、地下水の汲み上げが禁止されたため水位は昔の水位に戻りつつある。また、基本的に日本の大都市は沖積層の上に位置しているので、地下水があると考えて良い。全国の井戸のデータを地質調査所（GSJ）でコンパイルしつつあり、そのデータ

タベースを「いどじびき」として公表する予定である（丸井敦尚、1998）。従って、水位に関しては、この「いどじびき」を索引すれば概ね判るようになると思われる。そこで、現状の「いどじびき」について、丸井敦尚（1998）に従い紹介する。

「いどじびき」を起動すると第4. 1-2図の画面が現れる。ここでズームサイズを提案し、任意の場所にポジション設定枠をドラッグすると目的エリアが指定できる。次に、目的エリア内の表示項目を表示モードの中から選択する。表示レイヤーとしては現在の所、海岸線位置・湖沼位置・河川位置・行政界位置・活断層図がデフォルトで用意されている。これらの中から任意のものを選択し（第4. 1-3図）、更に井戸データ表示方法について、温度色別表示・深度色別表示・デフォルト色表示の中からひとつを選択すると、第4. 1-4図の画面が表示される。温度色別表示・深度色別表示については、詳細設定ウィンドウを使って数値の大きさや色調を自由に変更できる（第4. 1-5, 6図）。

地図上に示された任意の井戸についての情報が必要であれば、画面上の井戸位置をクリックすると、井戸データトピックウィンドウが現れ、同一地域に何本の井戸が存在し、それぞれについての詳細なデータを表示するかどうか問われる（第4. 1-4図）。井戸データのトピックウィンドウで井戸データについての詳細表示や地層表示を選択すると各々の井戸についてのデータが表示される（第4. 1-7図）。

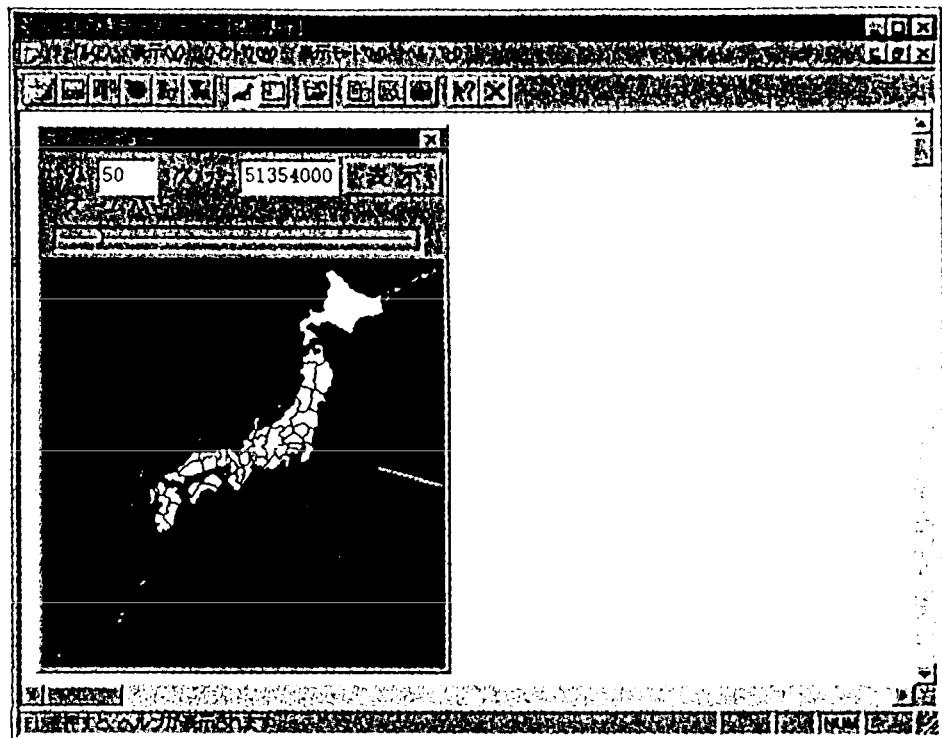
「いどじびき」は、将来的にはWeb化する事も検討されているので、誰でもいつでも利用できようになるにもそう遠くないようである。

② 温度

地下温度は、概念的に、北ほど低く、南ほど高いが、ある盆地（平野）の中でも、温度分布は思った以上に変化がある。内田（1998）は、濃尾平野内の41ヶ所の観測井で測定を行った（第4. 1-8図）。計測時の温度の揺らぎがないこと、複数回の時期に測定した結果でもほとんど温度変化が認められないことから、井戸内の各深度の水温を周辺の地中温度と見なした。また、浅層部の地下温度分布には、気温の季節変動による影響が現れる。一般に、地表面温度の季節変化は、地下20mあたりまで影響を及ぼす。温度変化が0.1度C以下になる深さを恒温層として取り扱い、季節変動の現れない恒温層以深の温度分布について検討した。濃尾平野における恒温層深度は、場所によって多少の違いはあるが約20mであった。

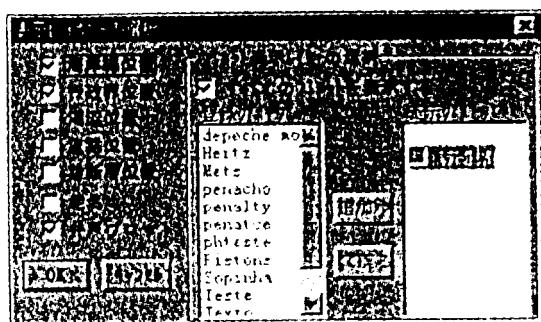
第4-1-9図は、地下-100mにおける平面温度分布図である。地下温度分布は、平野北西部がもっとも低く（14度C以下）、南下するに従い、温度は上昇し、平野のほぼ中心部で温度は、21度C以上になる。これは、地下水が平野の北部で涵養され、平野中心部、及び伊勢湾方面へ流動していると考えられる。それに伴い、地下温度は涵養域で低く、中心部で高くなることがわかった。

同様な測定を各都市が位置している平野・盆地で行う必要がある。通産省の環境立地局・地方通産局が観測井を管理しており、調べれば各都市でどのくらいの観測井があるかを調べられる。更に観測



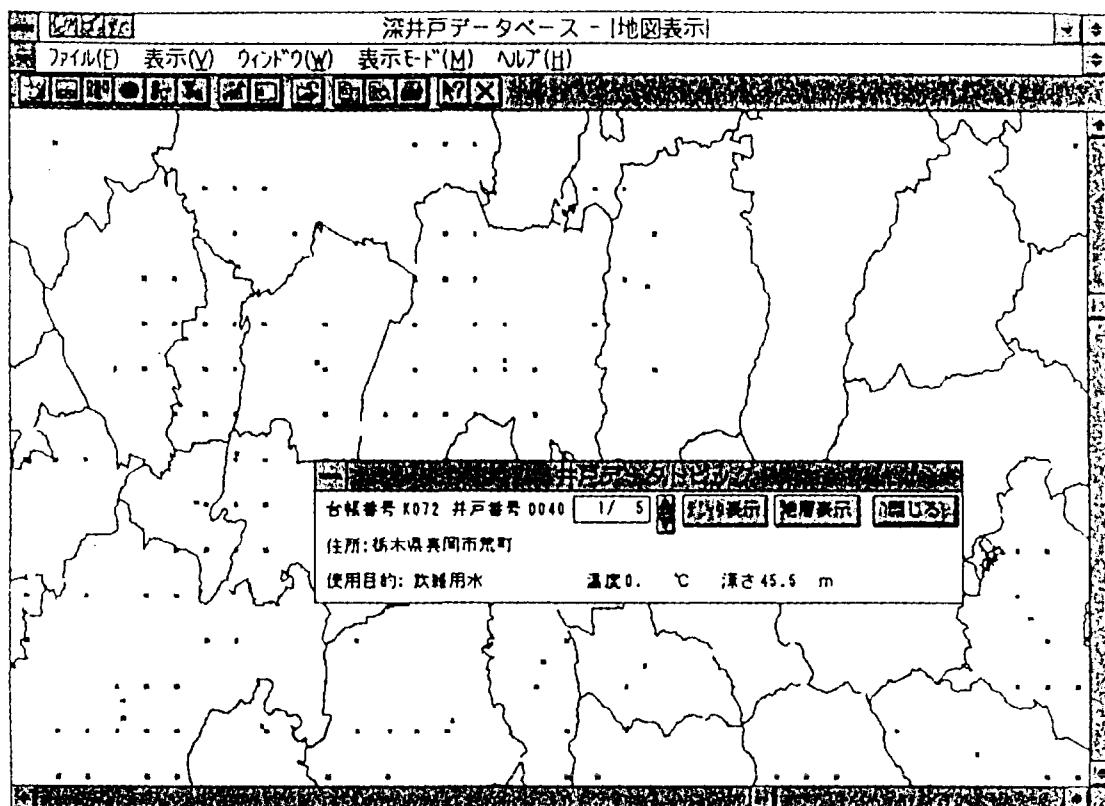
第4. 1-2図 初期画面(ポジションビュー・ウインドウで地域を選択し、地図表示ウインドウに井戸分布の詳細を表示する)

Fig. 1 Initial window (destinated area is selected in the position-view window, well distribution will be shown in the map window)



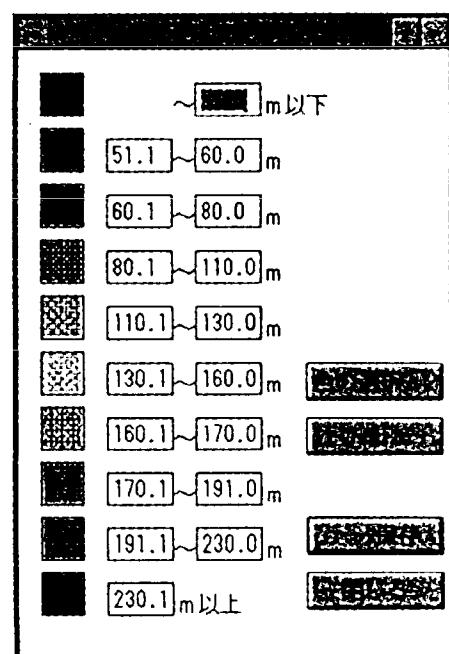
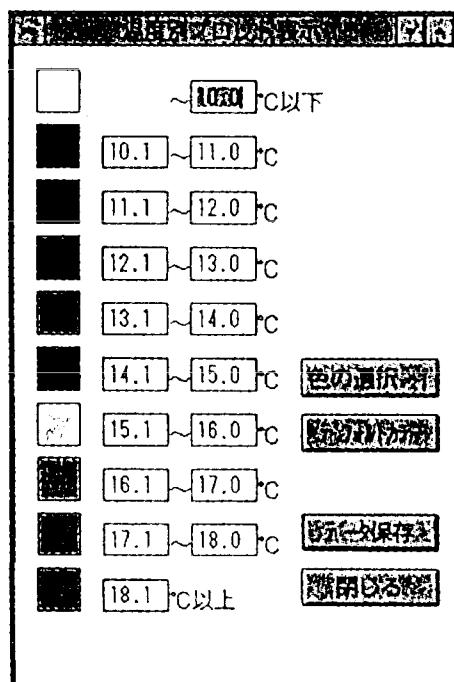
第4. 1-3図 表示レイヤーの選択ウインドウ、これによって井戸プロットとオーバーレイさせる地図レイヤーを選択する。通常、行政界は緑、水域は青、活断層は赤で表示される。

Fig. 2 Select window of the showing layer, you can select the kinds of over-layered map. Green line shows the boundary of the cities, blue indicates rivers and waters and red is active faults in the map.



第4. 1-4図 地図表示出力の例、ここでは行政界位置の上に井戸の位置を表示させた(図中の点が井戸位置を示す、どれか一つの井戸を指定すると井戸データトピックウインドウが開かれる)。

Fig. 3 Sample of the output of map including wells, dots indicate the well points. If you click one dot, you can see the data topic window of the dot point.



第4. 1-5図 温度別プロット表示ウインドウの例、区分や表示する色調を自由に変更できる。

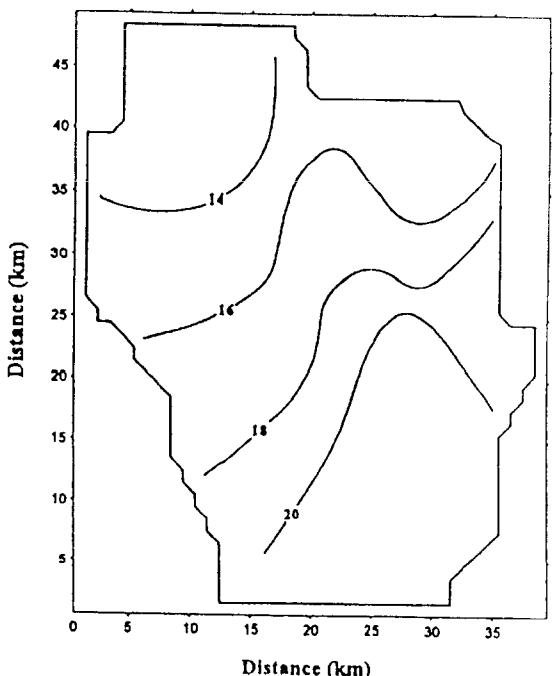
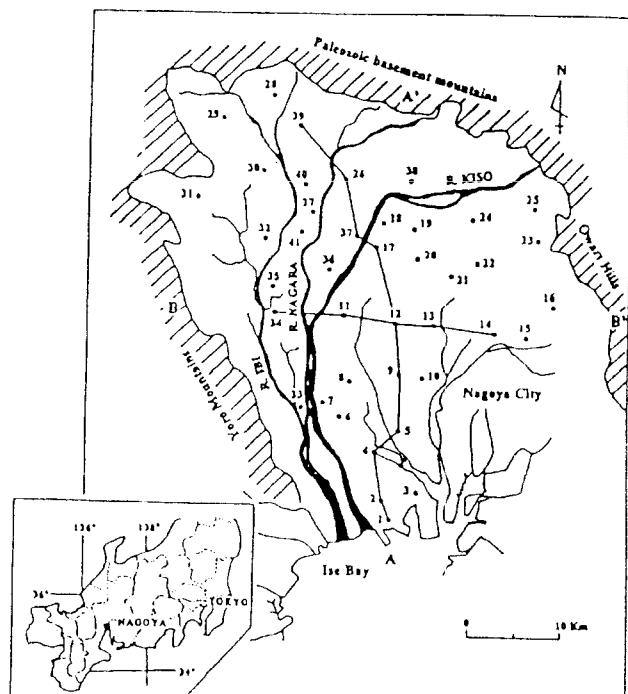
Fig. 4 Sample output of the mapping according to water temperature. Range of the tone will be arranged by your needs.

第4. 1-6図 井戸データトピックウインドウの例、一ヶ所に複数の井戸がある場合には(工場など)、同一地点の井戸本数を表示し、それについてデータの詳細表示や地層表示を行えるようになっている。

Fig. 5 Sample output of the data topic window. If there are some wells in a point (e.g. factory), the window shows how many wells in the point, and after the selection, you can see the detail data and log data of each well.

第4. 1-7図 データ表示ウインドウの例、このウインドウがデータ入力にも利用できる。また、地層のグラフィック表示ボタンが付けられており、地質及び井戸の状況(ストレーナ位置など)を可視化できる。

Fig. 6 Sample output of the detail data window of each well, this window is also useful for data input. This window have button link to log data.



第4. 1-9図 Horizontal distribution of subsurface temperature(°C) at an altitude of 100 m below sea level.

第4. 1-8図 Location of study area and observation wells.

井の数を増やし測定精度を向上させるために、建設省・農林水産省の井戸も利用可能である。測定結果をわかりやすくとりまとめ、広く活用できるように、例えばWeb化する事も検討する必要がある。

地下水の流向・流速データがあれば、地下水の流れを、地下熱交換器の設計に活用でき、効率的な地下熱交換器の設計に有効である。地下水の流速は、1～1000cm／日であるとされている。しかしながら、遅い流速の部分は測定が極めて難しいことから、地下水流の中でも測定時間がかからず精度良く流向・流速を測定できる部分を対象に測定するのが現実的であろう。

③ 地質

対象とする地域が、都市圏（平野、盆地）であることから、地質的には急激な変化はほとんど無いと思われる。概ねの地質は、図幅を見れば判るはずなので、地温と違って、特に改めて調査する必要はないであろう。但し、これを如何に一般の人々にわかりやすく提供するようにするかは課題である。

この地質情報より、掘削の能率を推定しようとする場合、N値が必要となる。これをとりまとめたマップは今のところ存在しない。N値調査は、土木工事に際してかならず実施される項目であることから、図幅の地層に対応させて、N値をとりまとめることは極めて重要である。

また、この地質情報に関しても、他の情報と同様に、Web化する等して広く活用が出来るように、公開することが肝要である。

4. 2 GHPシステムの標準化

② 実用化研究： システムの標準化とマニュアル整備

GHPシステムの普及のためには、設計者、施工業者等のGHPに係わる関係者全体が共通の認識・理解を持つ必要がある。その為には、システムの標準化を行うと共に、マニュアルを整備する必要がある。このマニュアルに従い設計・施工することにより、GHPシステムの品質管理が十分に行われるようになり、信頼性が向上する。

① 國際土壤熱源ヒートポンプ協会

(International Ground Source Heat Pump Association; IGSHPA)

IGSHPAは、1987年にオクラホマ州立大学、エンジニアリング技術部門長のJim Bose 教授により始められた。

米国では、IGSHPAを中心となり、マニュアルを作成（参考資料参照）しており、このマニュアルを元に、トレーニングセンターが各所に開設（参考資料参照）されている。トレーニングセンターで一定の教育を受け試験に合格した者には、資格も授与（参考資料参照）している。

この他、コンピュータソフトの販売、セミナー及び展示会の主催、パンフレット・ニュースレターの作成・頒布等を行っている。

② 大学、国立研究所

米国の大学（リチャード・ストックトン大学、アラバマ州立大学等）、国立研究所（サンディア国立研究所等）も基礎・応用研究及び、現状技術の改良を行っている。これらの組織もテキスト（参考資料参照）の作成・シンポジウムの開催などにより技術の普及に努めている。

その他、米国空調学会(ASHARE)、米国地下水学会(National Ground Water Association Inc.)も、GHPに関連する書籍を出版している。

③ 我が国における取り組み

我が国においても、標準化、マニュアルの整備を急ぐ必要がある。米国では、IGSHPAを中心に、大学、学会、国立研究所等が協力して標準化、マニュアルの整備等に取り組んでいる。

欧米で既に完成されているマニュアルについては、それを導入することにより、我が国の取り組みが早くなるものと思われる。したがって、当面は、海外技術を取り込み、その中で、我が国特有の特殊事情を見極め、その部分について、追加・訂正を行って行くべきであろう。

4. 3 デモンストレーション

GHPの長所や優れた点を広く認識してもらうために、デモンストレーションが極めて有効である。また、デモンストレーションの結果を取りまとめケーススタディー（参考資料参照）として普及活動に使用する事も重要である。

当調査では、当面普及を目指すターゲットとして各種の「老人ホーム」を選定した。「老人ホーム」は、

- ・ 今後多くの新築が期待される。
- ・ 初期投資の若干の高さより、ランニングコストの低さがより重要である。
- ・ 2~4時間冷暖房が必要で、かつお湯を含めた熱使用量が多い施設である。
- ・ 静かで快適な設備であることが要求される公共性の高い施設である。
- ・ 限られた運営経費であり、冷暖房の専門技師を雇えない。

等の理由により、当面GHPシステム導入・促進を目指すことが可能な有望なターゲットであると思われる。

老人ホームへのGHPの導入・促進のためにインセンティブ（誘因）を与え、モティベーション（動機）をアップするために、地下熱交換器の作成費の補助が有効であろう。この様にして出来た施設をデモンストレーション設備として活用するほか、モニタリングを行い、それらを成果としてまとめ、ケーススタディーとして、その成果を公表する。

4.4 普及促進センター

GHPシステムが普及することは、環境的にも、電力の平準化にも、ヒートアイランド現象の低減にも効果的である。この様な観点から、米国では、環境庁、エネルギー省、電力会社等が官民一体となって普及活動を繰り広げている（長野克則、1998）。

① Energy Star 認定

米国環境保護局（EPA）は、1993年4月に、「Space Conditioning: The Next Frontier- The Potential of Advanced Residential Space Heating Technologies for Reduction Poluution and Saving Consumers Money」を取りまとめ、公表した。住宅用の空調設備に関してイニシャルコスト、年間エネルギー消費量と使用コスト、そして、環境負荷との対価について、全米6都市（第4.4-1図）において発電システムの構成も加味して検討を行ったものである（資料-1）。その結果、「場所や発電システムにもよるが、将来現れる高効率の土壤熱源（地熱）ヒートポンプシステム（Geothermal Heat Pump System, GHPシステム）がもっとも年間エネルギー効率が高く環境負荷が低いシステムである」と結論づけた。さらに、将来的市場についても検討を行っており、GHPシステムはかなりのポテンシャルを持っていると推測した（第4.4-2, 3図）。

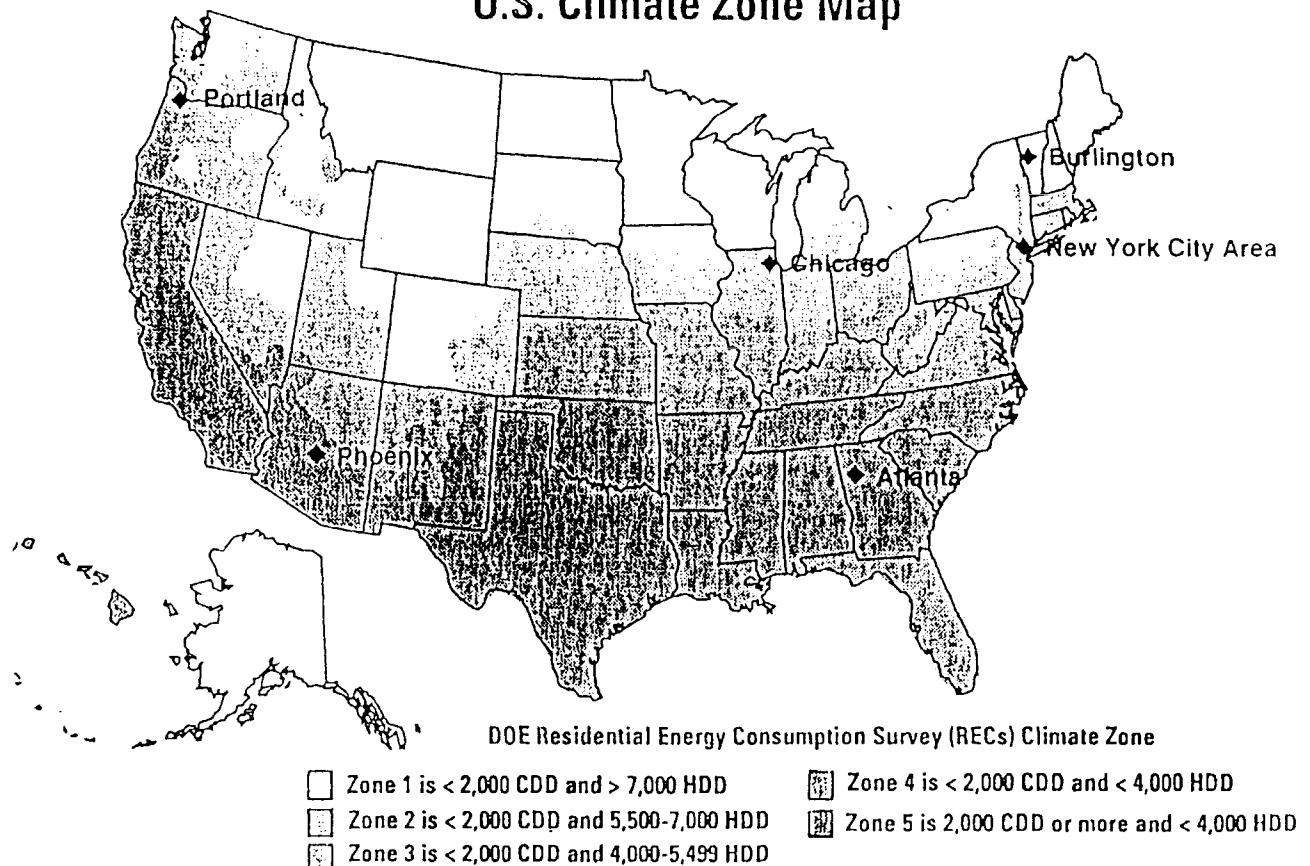
上記報告書を受けて、EPAはGHPシステムをEnergy Star 認定対象（省エネ製品の認証）とした。認定されたGHPを製造するメーカー名・製品名もホームページで見ることが出来る。

② GeoExchange

米国エネルギー省（DOE）は、土壤熱源ヒートポンプ組合（The Geothermal Heat Pump Consortium, Inc., 以下G H P C）の提案していた「土壤熱源ヒートポンプのデモンストレーション市場のプログラム（Geothermal Heat Pump Demonstration Market Mobilization Program）」を1995年に大統領の気候変動行動計画（The President's Climate Change Action Plan）の一つであるDOEの「行動計画26番：再生可能エネルギーの市場促進—土壤熱源ヒートポンプ（Action No. 26: Renewable Energy Commercialization- Geothermal Heat Pump）」として採用した。気候変動行動計画は、温室ガス排出量の削減、住宅や業務用の冷暖房・空調費用の削減、そして電力のピーク負荷の低下や負荷の平準化の為に計画された共同作業やプロジェクトからなる。必要な費用を政府と工業界が分担しあう。実施計画によれば、1995年～2000年までの6年間で予算は、総額1億ドル（約120億円）である。この内、G H P Cが6500万ドルをDOEが3500万ドルを負担することになっている。初期段階の年次計画によれば、2000年までに40万台にまで拡大しようとする計画である。この計画が実現すれば、年間炭酸ガス排出量を150万トン削減することが可能であり、また、電力のピーク負荷を3000MW削減可能であると推測している。

G H P Cは、電力会社、GHP製造業者、流通業者、環境団体、政府機関（DOE、EPAなど）等から

Exhibit 3.1 U.S. Climate Zone Map



第4. 4-1図 EPA報告書で比較した6都市

居住空間エーコンディショナー：次世代フロンティア
汚染削減並びに費用削減を目的とした先進的居住空間エーコンディショナーの将来性

目 次

| | ページ |
|---|-----|
| I . 報告書の主な調査結果 | |
| 1 . 先進的居住空間エーコンディショナーにより消費者の費用削減ができる | 1 |
| 2 . 住居用最新型設備によりかなりの放出物を減らすことができる | 1 |
| 3 . 最新居住空間コンディショナーは公益事業節約計画にとって非常に費用効率的である | 1 |
| 4 . 戦略的な共同事業が最新の居住空間コンディショナーを促進するのに最善の方法である | 2 |
| II . 報告書概説 | 6 |
| 1 . 背景 | 6 |
| 2 . 代替エーコンディショナーに比較分析 | 10 |
| 3 . 性能と費用 | 19 |
| 4 . 公益事業の費用効率性 | 34 |
| 5 . 環境的影响と社会的費用 | 37 |
| 6 . 最新型エーコンディショナーの市場可能性 | 44 |
| 7 . 最新型エーコンディショナー市場の拡大可能性 | 51 |
| 8 . 制度上の可能性 | 53 |

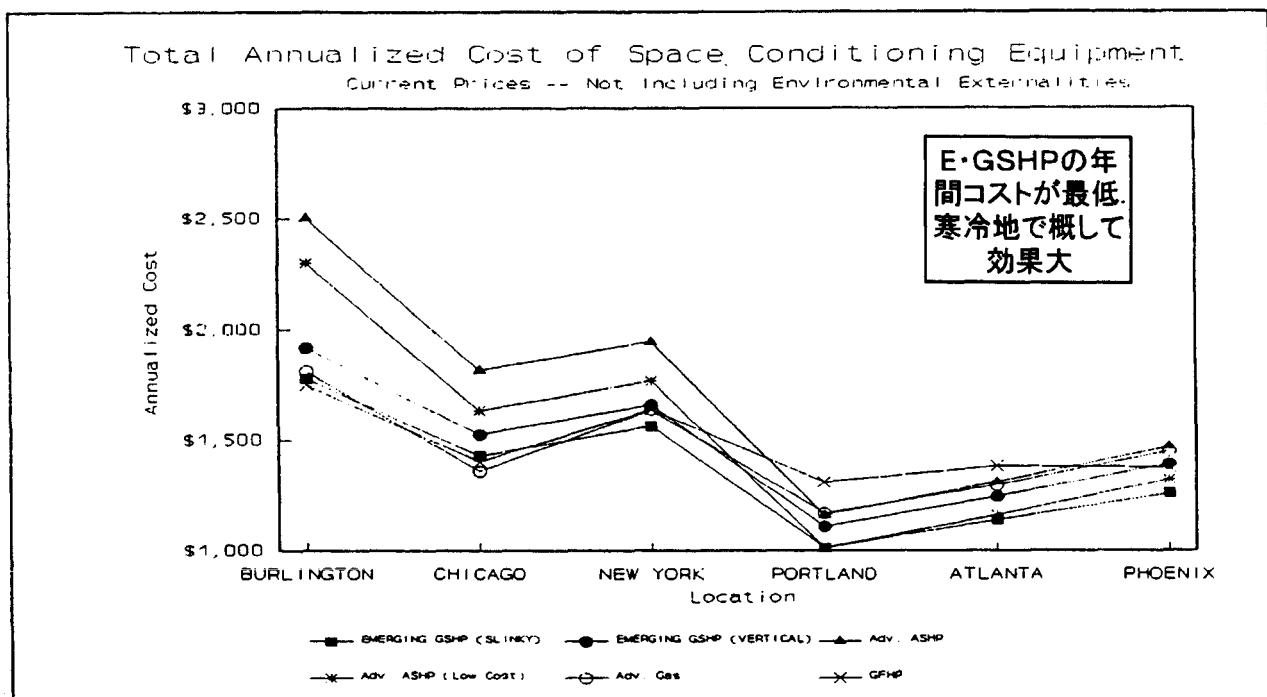
United States Environmental Protection Agency

EPA 430-R-93-004

April 1993

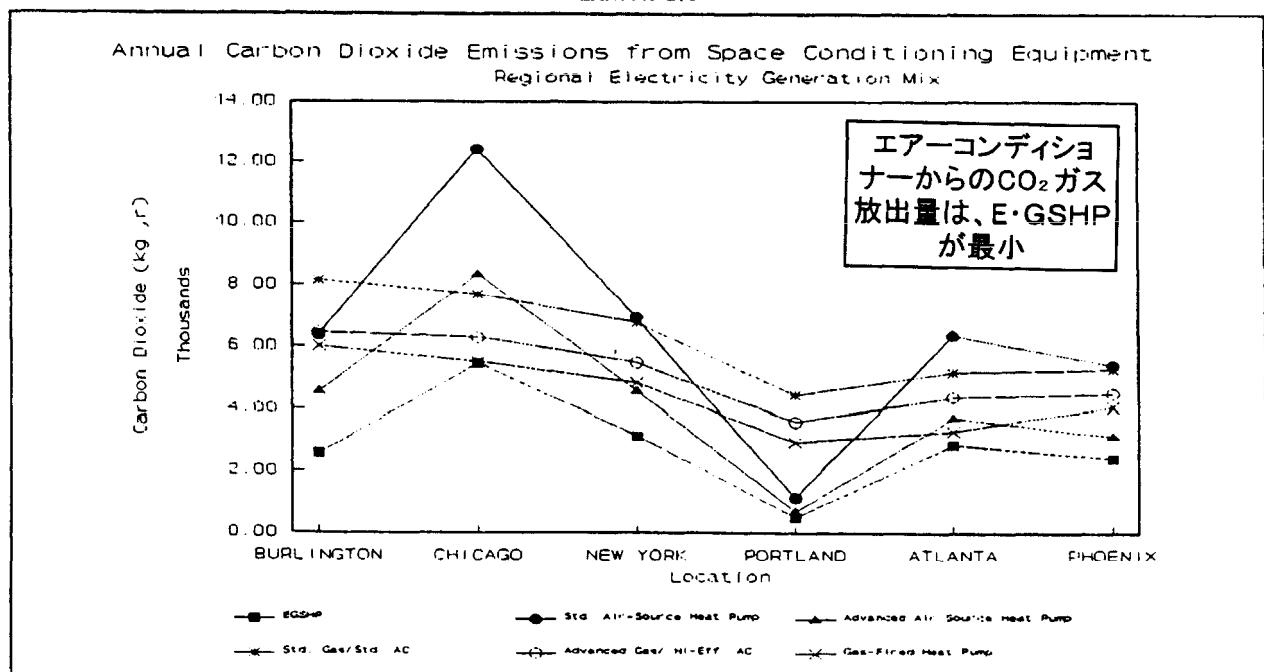
資料一 E P A 報告書の目次

Exhibit 3.8



第4. 4-2図 コスト比較

Exhibit 3.9



第4. 4-3図 CO₂ガス放出量比較

なる。現在では、37以上の団体、500以上の企業が加盟している。GHPは、GHPシステムをGeoExchangeと銘打ち啓蒙・普及活動を繰り広げている。

③ 日本における普及活動

GHPシステムは、日本のほとんどの地域で適用可能であり、かつ、欧米での急速な普及を追い風として、我が国においても普及拠点を適切に作ることにより、欧米以上に急激な普及が期待される。

1996年の米国での実績は、5万台／年とされている。その後、年率22%の成長率である。GHPの提案した目標を下回っているものの、急激な成長を遂げている。しかしながら、我が国の現状としては、消費者、建築設計者、建設者、メーカー等、直接携わる可能性のある人々または、組織でほとんど認識されていないのが現状である。

黎明期である我が国の現状を考えると当面は、NEDOが普及活動の拠点となり、徐々に日本型の普及拠点を作り上げることが肝要と思われる。その際には、米国及び欧州での同様のシステムを良く研究し、最適なシステムを建立すべきであるし、普及の目標を策定することが大切と思われる。

4. 5 補助制度

GHPシステムを普及促進させるためには、エネルギー供給の平準化や地球環境保全の観点と併せて、経済的なアピールも必要不可欠である。GHPシステムの経済的優位性をアピールするためには、最もコストのかかる初期設置コストを如何に縮減できるかが最も重要な課題であるが、負担軽減を図り、その経済的優位性を拡大させる補助金制度の活用も重要な施策と考えられる。特に普及が遅れている現状において、補助金制度は、導入促進を図り、初期需要を創出するのに即効的な効果を示すものとして期待される。

ここでは、実用段階の新エネルギー形態にある太陽エネルギー、風力エネルギーの補助制度について取りまとめ、今後の地熱ヒートポンプシステムの導入普及の補助制度の指針とする。

1) 太陽エネルギー

太陽エネルギー利用として研究・開発された形態は、太陽熱発電、太陽熱冷房、パッシブシステム、太陽熱給湯及び太陽光発電である。以下に現在開発・研究が進められている、太陽光発電と太陽熱給湯の補助制度について記述する。

a. 太陽光発電

世界の総太陽光発電設備容量は1994年末で約15万kWである。また日本では、1992年に約0.4万kWであったものが、補助制度の活用等により1996年時点で約3.5万kWにまで増加している。この太陽光エネルギー発電の導入促進を目的とした補助制度は、以下の通りである。

| | 助成制度 | 助成内容 | 実施機関 |
|------|--------------------------------|-----------------|---------|
| 設備設置 | ①住宅用太陽光発電導入基盤整備事業、 | 1/3補助 | N E F |
| | ②産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 (共同研究) | 50%補助 | N E D O |
| | ③地域新エネルギー導入促進対策事業 | 50%補助 | N E D O |
| | ④地域エネルギー開発利用発電モデル事業 | 30%未満補助 | 所轄通産局 |
| | ⑤先導的高効率エネルギー利用型建築モデル事業 | 1/3補助 | 所轄通産局 |
| | ⑥環境共生住宅市街地整備事業 | 50%補助 | 建設省 |
| | ⑦地球温暖化対策地域事業実施計画策定 | 50%補助 | 環境庁 |
| 融資 | ⑧地域エネルギー開発利用発電事業利子補給事業 | 4億円以下 利子補給3% | N E F |
| | ⑨環境共生住宅融資 | 150万円 | 住宅金融公庫 |
| | ⑩環境共生都市総合整備事業 | 利率2.9% 融資40% | 日本開発銀行 |
| 優遇税制 | ⑪エネルギー需給構造改革投資促進税制 | 税額控除7% | 税務署 |
| | ⑫ローカルエネルギー利用設備の固定資産税 | 課税控除1/6 | 税務署 |

太陽光発電の導入促進は、計画策定、事前調査（基本設計、実施設計）、設備設置（施工）、運転開始の手順で進められる。

現在の太陽エネルギー補助制度は、他のエネルギーに比べ地域特性の影響割合が少ないため、計画策定、事前調査段階ではなく、設備設置（施工）段階の制度からなる。

これらの補助制度の中で太陽光発電設備容量の増加に大きく寄与した制度は、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業（新エネルギー発電フィールドテスト事業）」と「住宅用太陽光発電導入基盤整備事業」である（第4.5-1図）。産業等用太陽光発電フィールドテスト事業とは、一般住宅や住宅用団地などの出力10kW以上の太陽光発電設備を、また住宅等用太陽光発電導入基盤整備事業は出力10kW未満を補助対象としている。なお、一般住宅で必要となる平均的な太陽光発電容量は3kW程度である。

太陽光発電システムは、充実した補助制度により発電設備容量が増加傾向にあるが、飛躍的な普及には至っていない。これは、設置コストが1993年度の430万円／kWから1997年度で150万円／kWまで低減しているが、発電コストが120円／kWhと、購入電気料金の約4倍以上と高額であることが原因である。

太陽光発電導入の補助制度は、地熱ヒートポンプシステムと同様に一般住宅を対象としていることから、補助制度を検討する上で参考できる点が多いと思われる。具体的に地熱ヒートポンプシステム導入に適用できそうな補助制度としては、①、②、⑨～⑫が挙げられる。

b. 太陽熱給湯

太陽熱給湯の中でも太陽温水器は、日本でも1980年度に10軒に1軒程度まで普及した。補助制度は、以下のものが挙げられる。

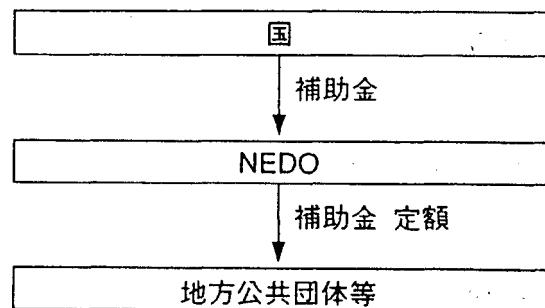
| | 助成制度 | 助成内容 | 実施機関 |
|------|---------------------------|----------------------|--------|
| 設備設置 | ①特定公共設備用ソーラーシステム設置事業 | 1/2補助 | 所轄通産局 |
| | ②展示用ソーラーハウス設置事業 | 購入設置啓蒙 | 所轄通産局 |
| | ③地域新エネルギー導入促進対策事業 | 1/2補助 | NEDO |
| | ④新エネルギー事業者支援事業 | 1/3補助 | NEDO |
| 融資 | ⑤住宅金融公庫のリフォームローン | 利率2.75～4% 融資530万円 | 住宅金融公庫 |
| | ⑥環境共生住宅融資 | 150万円 | 住宅金融公庫 |
| | ⑦環境共生都市総合整備事業 | 利率2.9% 融資40% | 日本開発銀行 |
| 優遇税制 | ⑧エネルギー需給構造改革投資促進税制 | 税額控除7% | 税務署 |
| | ⑨地域エネルギー利用設備固定資産税課税標準特例制度 | 課税控除1/6 | 税務署 |

●地域新エネルギービジョン策定等事業

平成10～13年度、10年度事業費 8.0億円

新エネルギーの導入に当たっては、需要地に近い分散型エネルギーとしての特性を活かすため、自然環境・エネルギー賦存状況・経済活動の相違等の地域特性を踏まえてその導入を進める必要があります。

本事業は、地域レベルで新エネルギーを導入するに当たって、各地方公共団体等の取り組みを円滑化し、地方公共団体が当該地域における新エネルギーの導入や省エネルギーの推進に必要となる「ビジョン」策定等に要する費用を補助します。

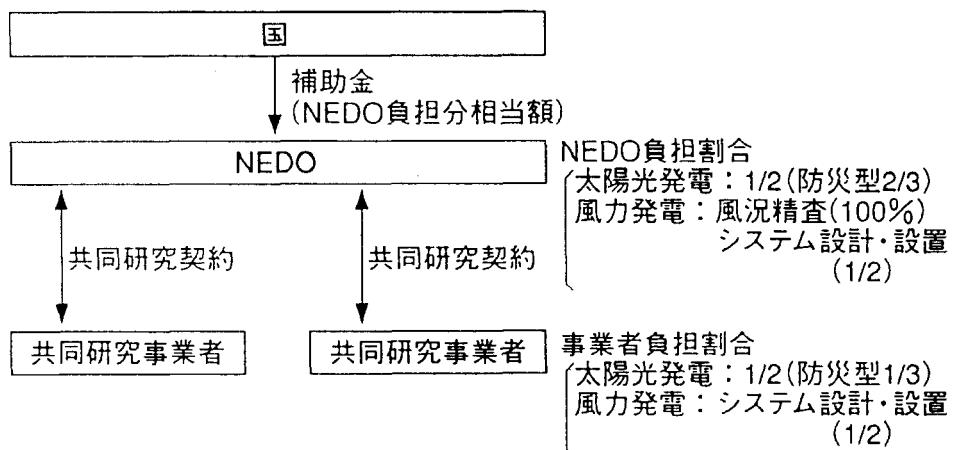


●新エネルギー発電フィールドテスト事業

平成4年度～、10年度事業費 太陽光発電 1.7億円

風力開発 15.3億円

当事業は、新エネルギー発電の一般普及の素地を形成するため、最終普及形態である各種施設等に太陽光発電及び風力発電を試験的に設置(太陽光発電の設置については、9年度で終了)し、長期運転を行い、各種データを収集・分析するもので、国からの補助金をもとに、NEDOと設置者(共同研究事業者)とがスキーム図にある負担割合に基づき共同研究の形で実施します。



第4.5-1図 補助金制度のスキームの一例

推進母体には、この他にソーラーシステム振興協会、地方自治体が挙げられる。ソーラーシステム振興協会は、当初補助金制度の実施機関となっているが、現在は隔月機関誌の発行、全国に10ヶ所の無料相談センターを設け、普及促進のための広報活動等を担当している。自治体毎に助成内容が異なるが、新エネルギー事業者支援事業の対象にならない必要経費の2／3を対象に、その1／3補助するものが多い。

2) 風力エネルギー

1995年末における世界の風力発電総設備容量は約490万kWで、日本の風力発電設備容量は約1万kW程度である。風力エネルギーの助成制度は、以下の通りである。

| | 助成制度 | 助成内容 | 実施機関 |
|------|--------------------------------|---------------------|------|
| 計画策定 | ①地域新エネルギービジョン策定等事業 | 100%補助 | NEDO |
| 事前調査 | ②風力開発フィールドテスト事業 (風況精査) | 100%補助 | NEDO |
| | ③風力開発フィールドテスト事業 (システム設計) | 50%補助 | NEDO |
| 設備設置 | ④風力開発フィールドテスト事業 (設置・運転) | 50%補助 | NEDO |
| | ⑤地域新エネルギー導入促進対策事業 | 50%補助 100%補助(広報) | NEDO |
| | ⑥新エネルギー事業者支援事業 | 1/3 補助 債務保証 | NEDO |
| 融資 | ⑦地域エネルギー開発利用発電事業普及 促進利子補給制度 | 利子補給3% | NEF |
| | | | |
| 優遇税制 | ⑧エネルギー需給構造改革投資促進税制 | 税額控除7% | 税務署 |
| | ⑨ローカルエネルギー税制 | 課税控除1/6 | 税務署 |

計画策定段階の地域新エネルギービジョン策定等事業補助金は、地方公共団体及び同出資法人が交付対象である。対象地域の潜在的なエネルギー賦存状況を把握し、新エネルギー、省エネルギーの可能性を検討するものである。つまり、風力に限定せず、太陽光、廃棄物発電、コジェネ等の広範囲のエネルギー形態が対象となる。

事前調査の風力開発フィールドテスト事業（風況精査、システム設計）補助金は、地方自治体、民間団体、企業等が交付対象である。具体的には、風力発電立地有望地点について風況観測、風力エネ

ルギー取得量、環境影響等を調査し、その結果を基に発電設備の容量・仕様等の検討及び発電所の具体的な設計を行うものである。また、同事業（設置・運転）補助金は、風力発電設備の設置及び運転研究を行い、運転データの収集及び評価を行うものである。

地域新エネルギー導入促進対策事業補助金は、地方公共団体、第3セクターの事業者が交付対象で、風力発電設備1200 kW以上である。現在の1ユニットの風力発電能力は50～1000 kWで、500～600 kWが主体である。

新エネルギー事業者支援事業補助金は、風力発電規模800 kW以上の新エネルギー導入事業者が交付対象である。

地域エネルギー開発利用発電事業普及促進利子補給制度は、太陽光、風力、地熱、廃熱利用及び廃棄物利用の各発電事業者を対象とする。風力発電では、融資額1億円以下、複合利用で5億円以下の事業が対象で、償還期限が10年以内、利率が長期貸出最優遇金利に年0.5%を加えた利率の1/2以下というものである。

優遇税制のエネルギー需給構造改革投資促進税制は、投資税額控除として取得価格の7%相当額を当期税額から控除でき、かつ初年度普通償却のほかに取得価格の30%相当の特別償却が認められる。

ローカルエネルギー税制では、固定資産税が、課税標準価格の5/6の額となる。

以上のように、風力エネルギー発電導入のための補助制度は、計画策定（立地調査）、事前調査（風況調査、基本設計、実施設計）、関係機関等手続き、設備設置（建設工事）、融資、優遇税制（運転・保守）の各検討段階に合わせて制定されている。

風力発電については、電気事業法関連法令の改正による設置手続き等の簡素化、電力会社による余剰電力購入制度、マニュアル整備などを背景として、地方自治団体等による導入など事業化が進んでいる。

風力エネルギー発電導入の補助制度で、地熱ヒートポンプシステムに適用できそうな制度としては、⑦～⑨が挙げられる。

3) 地熱ヒートポンプシステムの導入・普及の補助制度の指針

地熱ヒートポンプシステムを導入・普及させるためには、①本システムを個別住宅に設備設置する個人を対象とする補助、②本システムを製造・設置販売するメーカーや業者を対象とした補助制度が考えられる。この他にインフラ整備、マニュアル整備、教宣活動などのように公共・公益性が高くかつ計画策定や事前調査の推進母体として必要な普及促進センターを対象とする補助制度も考えられる。

①の導入個人を対象とする補助としては、太陽光発電の導入促進補助制度の①、②のように、地熱ヒートポンプシステムを設備設置した場合、設置費用に一定割合を補助する案、本システム設置費用から一般的な空気熱源ヒートポンプの設置費用の差額を対象に補助する案が考えられる。さらに風力発電の導入促進補助制度の⑦～⑨のような、融資・税制面での優遇制度も重要である。

②のメーカーや設置業者を対象とした補助制度には、氷蓄熱式空調システム設置補助制度（第4.

5-2図)のように、ピークシフトkW当たり2~5万円をメーカーに支払う、電力会社主導の普及奨励金制度の適応が期待される(第4、5-3図)。メーカーや設置業者の補助制度は、導入利用者が装置寿命等での改修等ができなくなるようなことのないよう、導入技術の商業性を見極めながら施策を進める必要がある。

また、地熱ヒートポンプシステムの圧縮機で消費する電力を太陽エネルギーや風力エネルギーによる発電で賄うことを考えれば、より一層の省エネルギー効果が期待されると共に、補助制度の更なる活用も可能になると期待できる。

さらに、地熱ヒートポンプシステムの経済性・性能が検証できれば、国連気象変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)で採択された京都議定書に準じ現在実施されている環境円借款の一環として、近隣アジア諸国を対象に、本システムを普及させることも考えられる。

なお、補助制度については、地熱ヒートポンプシステムの経済性がある程度明らかになった時点で、更に補助率、利率等の定量的検討が必要である。

4) 地熱ヒートポンプシステムの導入・普及時の地下開発に係わる法的規制について

GHPシステムの導入・促進を実践した場合の法的規制に関して、地下開発関連を管理・監督している東京都の環境保全局水質規制課、衛生局環境指導課にヒアリングを実施した。

東京都環境保全局水質規制課は、地下水汲み上げによる地盤沈下の防止を管理監督している。水井戸の掘削深度は、断面積 6cm^2 以下、 $6\sim21\text{cm}^2$ 、 21cm^2 以上の3段階別に掘削深度を各区で規制(条例化)している。例えば、GHPシステムで想定している100mの水井戸であれば、断面積 6cm^2 以上の井戸を掘削できない。なお、各区分に深度規制を変えているのは、地下地質条件の違いに併せて設定しているためである。対象となる水井戸の定義が”揚水ポンプをセットした掘削坑”であることから、揚水ポンプのかわりに熱交換U字管をセットするGHPシステム用の掘削坑は水井戸の定義に当てはまらない。つまり水質規制課の規制を受けない掘削坑のことであった。また、U字管内を循環する熱媒体を水とすれば、水質汚染の観点からも問題ないことである。

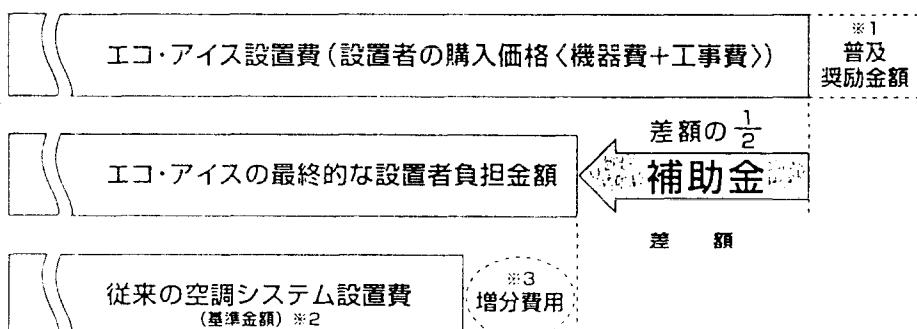
東京都衛生局環境指導課は揚湯規制を管理・監督している。同課の水道係の担当者によると、GHPシステムでは地下水を汲み上げないので、水道法による抵触はないとのことであった。

エコ・アイス導入時の経費をぐんと軽減。 従来の空調システムとの差額の1/2を 補助金としてお支払いします。



エコ・アイスと従来の空調システムとの差額の1/2

(エコ・アイス設置費+普及奨励金額^{*1}-従来の空調システム設置費^{*2})×1/2



※1 エコ・アイスを製造・販売するメーカーに対して電力会社が普及奨励金を払い、合理化や研究努力を促し、コストダウンを奨励する制度がもうけられています。
(普及奨励金額一覧表参照)

※2 非蓄熱式空調システム機器能力別基準金額表に定めた金額。

※3 増分費用は電気代の軽減により、2~3年で回収できます。

ただし、上記の金額が次の①②の額を超えてしまう場合は、
①②どちらかの低位な金額となります。

① エコ・アイスの機器能力に応じた上限額

馬力別、タイプ別に設定されます。(補助金機器能力別上限値表をご参考ください。)

② エコ・アイス設置費 - 従来の空調システム設置費



たとえばウチの場合、どのぐらいの額になるんだろう。

建物延床面積が2,000m²のビルのオーナー・Aさんが、13馬力の冷暖房蓄熱型のエコ・アイスを5台導入される場合。

エコ・アイス設置費を1,450万円、普及奨励金額を180万円、従来の空調システム設置費を900万円とします。

(エコ・アイス設置費+普及奨励金額-従来の空調システム設置費)×1/2

$$(1,450\text{万円} + 180\text{万円} - 900\text{万円}) \times 1/2 = \mathbf{365\text{万円}}$$

①では…13馬力冷暖房蓄熱型なので **375万円** (75万円×5台)

②では…
エコ・アイス設置費 - 従来の空調システム設置費
 $1,450\text{万円} - 900\text{万円} = \mathbf{550\text{万円}}$

よって、補助金額は**365万円**となります。

(注) 最終的な補助金額は消費税相当額が加算されます。

電力会社の
普及奨励金額一覧表
(平成10年度)

| 電力会社 | 普及奨励金額（個別分散型空調機器） |
|-----------|---|
| 北海道電力 | エコ・アイスの認定ピークシフトkW (表面参照)に応じて、 ○ 冷房蓄熱型は、ピークシフトkW あたり2万円 ○ 冷暖房蓄熱型は、ピークシフトkW あたり5万円 |
| 東北電力・東京電力 | エコ・アイスの認定ピークシフトkW |
| 中部電力・北陸電力 | (表面参照)に応じて、 |
| 関西電力・中国電力 | ○ 冷房蓄熱型は、ピークシフトkW あたり3万円 |
| 四国電力・九州電力 | |
| 沖縄電力 | ○ 冷暖房蓄熱型は、ピークシフトkW あたり5万円 |

なお、上記基準は、各電力会社ごとに設定されています。

非蓄熱式空調システム
機器能力別基準金額表
(平成10年度)

| | 能 力 | 金 額 |
|---------------|------|----------|
| パッケージ エアコン | 5馬力 | 560千円/台 |
| | 6馬力 | 590千円/台 |
| | 7馬力 | 660千円/台 |
| | 10馬力 | 870千円/台 |
| ビル用 | 13馬力 | 1800千円/台 |
| | 16馬力 | 2100千円/台 |
| エアコン | 20馬力 | 2420千円/台 |

ただし、圧縮機が室内機に内蔵されているタイプについては、

| | 10馬力 | 1910千円/台 |
|---------------|------|----------|
| パッケージ エアコン | 15馬力 | 2460千円/台 |
| | 20馬力 | 3130千円/台 |

エコ・アイス 補助金機器能力別上限値表

(平成10年度)

| 能 力 | 金 颗 (1台あたり) | | |
|---------------|-------------|--------|--------|
| | 冷房蓄熱型 | 冷暖房蓄熱型 | |
| | | 定速機 | インバータ機 |
| パッケージ エアコン | 5馬力相当 | 130千円 | 160千円 |
| | 6馬力相当 | 130千円 | 160千円 |
| | 7馬力相当 | 130千円 | 160千円 |
| | 10馬力相当 | 470千円 | — |
| ビル用 | 13馬力相当 | 450千円 | 750千円 |
| | 16馬力相当 | 620千円 | 850千円 |
| | 20馬力相当 | — | 930千円 |
| マルチ エアコン | 10馬力相当 | — | — |
| | 15馬力相当 | — | — |
| | 20馬力相当 | — | — |

ただし、圧縮機が室内機に内蔵されているタイプについては、

| | | |
|--------|---|-------|
| 10馬力相当 | — | 430千円 |
| 15馬力相当 | — | 570千円 |
| 20馬力相当 | — | 790千円 |

H.10.8版

第4.5-3図 氷蓄熱（エコアイス）式空調システムの普及奨励制度

5. GHPシステムの普及効果

5. 1 二酸化炭素排出量削減効果

GHPによるCO₂排出量の削減については、GHP運転用に使用する電力の発電プロセスで発生するCO₂は増加するが、GHPでは、得たいエネルギーの1/3～1/4の動力エネルギーしか必要としない。よって、灯油ボイラー等の代替としてGHPを導入することによって大幅な石油消費量の節減が可能であると考えられる。この石油節減分がGHPによるCO₂排出量の削減につながる。

そこで、石田（1997）の冷暖房および給湯による一次エネルギー消費量から、既存の冷暖房設備をGHPシステムに換えることによって、どの程度二酸化炭素排出量を削減できるかを試算してみた。

第5. 1-1表に、石田（1997）による地域別一世帯あたりの一次エネルギー一年間消費量・二酸化炭素排出量（炭素換算値）、および二酸化炭素排出量（二酸化炭素換算値）を示す。ただし、石田（1997）には、中国・四国地方のデータがないため、中国・四国地方は関西と九州の平均値を用いた。

二酸化炭素排出量（炭素換算値）は石田（1997）の数値をそのまま用いた。ただし、石田（1997）には炭素換算値による二酸化炭素排出量のみが示されているので、第5. 1-1表には、二酸化炭素換算値（（石田（1997）の二酸化炭素排出量）×44/12）による二酸化炭素排出量も併せて示す。100kg未満は四捨五入した。これ以降の二酸化炭素排出量や削減量の結果も100kg未満は四捨五入した。

第5. 1-1表を見ると、温熱需要（暖房・給湯）が多い地域（北海道・北陸）で二酸化炭素排出量が多い。日本では、電力などに比べて灯油単価が安い。そのため、大きな温熱需要には灯油が多く使用されている。灯油は二酸化炭素排出原単位（第5. 1-2表参照）が大きいので、二酸化炭素排出量が多くなる。

第5. 1-2表 各エネルギーの二酸化炭素排出原単位（二酸化炭素換算値）

| | |
|--------------|------------------------|
| 電力(発電端：全国平均) | 0.33 kg/kWh |
| 電力(需要端：全国平均) | 0.36 kg/kWh |
| 灯油 | 2.53 kg/L |
| 都市ガス | 2.35 kg/m ³ |

次に、第5. 1-3表に、第5. 1-1表のエネルギー需要をGHPシステムで供給

第5. 1-1表 1世帯あたりの一次エネルギー一年間消費量および二酸化炭素排出量(石田(1997)より)

| 地域 | 給湯 (MJ/年) | 暖房 (MJ/年) | 冷房 (MJ/年) | 合計 (MJ/年) | 二酸化炭素 排出量(kg)* (kg)*2 | 二酸化炭素 排出量(kg)* (kg)*2 |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 北海道 | 18,072 | 50,256 | 36 | 68,364 | 1,213 | 4,400 |
| 東北 | 24,336 | 19,260 | 468 | 44,064 | 726 | 2,700 |
| 北陸 | 28,980 | 18,360 | 1,692 | 49,032 | 974 | 3,800 |
| 東北 | 24,660 | 12,672 | 1,548 | 38,880 | 700 | 2,600 |
| 南関東 | 22,068 | 13,752 | 2,556 | 38,376 | 681 | 2,500 |
| 東海 | 21,780 | 13,500 | 4,140 | 39,420 | 761 | 2,800 |
| 関西 | 19,692 | 13,824 | 5,868 | 39,384 | 765 | 2,800 |
| 中国*3 | 16,056 | 10,926 | 4,968 | 31,950 | 611 | 2,200 |
| 四国*3 | 16,056 | 10,926 | 4,968 | 31,950 | 611 | 2,200 |
| 九州 | 12,420 | 8,028 | 4,068 | 24,516 | 457 | 1,700 |
| 全国平均 | 22,320 | 16,560 | 2,520 | 41,400 | 749 | 2,700 |

注)給湯・暖房・冷房および二酸化炭素排出量(炭素換算)は石田(1997)の値を使用。

*1:炭素換算値

*2:二酸化炭素換算値

*3:石田(1997)には中国・四国地方のデータは示されていないので、今回は関西と九州の平均とした。

第5. 1-3表 冷暖房十給湯をGHPシステムで供給した場合の一
世帯当たりの二酸化炭素排出量および二酸化炭素削減量

| 地域 | 一次エネルギー 消費量合計 (MJ/年) | GHPによる一次 エネルギー消費量 (MJ/年) (SPF=3.5と仮定) | 二酸化炭素 排出量 (kg)*1 (kg)*1 | 二酸化炭素 排出削減量 (kg)*1 (kg)*1 |
|------|----------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|
| 北海道 | 68,364 | 19,533 | 2,300 | 2,100 |
| 東北 | 44,064 | 12,590 | 1,500 | 1,200 |
| 北陸 | 49,032 | 14,009 | 1,600 | 2,200 |
| 東北 | 38,880 | 11,109 | 1,300 | 1,300 |
| 南関東 | 38,376 | 10,965 | 1,300 | 1,200 |
| 東海 | 39,420 | 11,263 | 1,300 | 1,500 |
| 関西 | 39,384 | 11,253 | 1,300 | 1,500 |
| 中国 | 31,950 | 9,129 | 1,100 | 1,100 |
| 四国 | 31,950 | 9,129 | 1,100 | 1,100 |
| 九州 | 24,516 | 7,005 | 800 | 900 |
| 全国平均 | 41,400 | 11,829 | 1,400 | 1,300 |

注)電力消費による二酸化炭素排出原単位は0.11537kg-C/kWh(0.03205kg-C/MJ).石田(1997)を使用。

*1:二酸化炭素換算値

第5. 1-4表 全国にGHPシステムが導入された場合の二酸化炭素削減効果

| | 世帯数(万世帯) | 削減効果(万トン) | 削減効果(%) |
|-----|----------|-----------|---------|
| 北海道 | 232 | 490 | 0.4 |
| 東北 | 320 | 380 | 0.3 |
| 北陸 | 162 | 310 | 0.3 |
| 北関東 | 406 | 510 | 0.4 |
| 南関東 | 945 | 1100 | 0.9 |
| 東海 | 384 | 580 | 0.5 |
| 関西 | 654 | 980 | 0.8 |
| 中国 | 254 | 280 | 0.2 |
| 四国 | 139 | 150 | 0.1 |
| 九州 | 475 | 430 | 0.4 |
| 合計 | | 5210 | 4.3 |

注)日本の二酸化炭素総排出量[は12.2億トン(1995年)を使用。

した場合の二酸化炭素排出量（二酸化炭素換算値）、およびGHPシステムに置き換えることによる二酸化炭素排出削減量を示す。GHPシステムによる二酸化炭素排出量、および二酸化炭素排出削減量は以下の方法で計算した。

$$\begin{aligned} & (\text{GHP による一次エネルギー消費量}) = \\ & \quad (\text{一次エネルギー消費量合計}) / (\text{GHP の SPF : 3.5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\text{二酸化炭素排出量}) = (\text{GHP による一次エネルギー消費量}) \\ & \quad \times (\text{電力使用による二酸化炭素排出原単位 : } 0.11537\text{kg-C/kWh} \text{ (石田 (1997))}) \\ & \quad \times 44 / 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\text{二酸化炭素排出削減量}) = \\ & \quad (\text{石田 (1997) による二酸化炭素排出量 : 二酸化炭素換算値}) \\ & \quad - (\text{GHP システムによる二酸化炭素排出量 : 二酸化炭素換算値}) \end{aligned}$$

第5. 1-3表を見ると、温熱需要（暖房・給湯）が多い地域（北海道・北陸）で、大きな二酸化炭素排出量削減効果があると考えられる。これは、第5. 1-1表と同様、灯油は二酸化炭素排出原単位（第5. 1-2表参照）が大きいので、灯油を多用している地域では、大きな二酸化炭素排出量削減効果が期待できると考えられる。

第5. 1-4表に、日本全国にGHPシステムが導入された場合の二酸化炭素排出量削減効果の試算を示す。二酸化炭素排出量削減効果（%）は以下のように算出した。

$$\begin{aligned} & (\text{二酸化炭素排出量削減効果 : \%}) = (\text{二酸化炭素排出削減量}) \\ & \quad / (\text{日本の二酸化炭素総排出量 : } 12.2 \text{ 億トン (1995)}) \times 100 \end{aligned}$$

第5. 1-4表を見ると、一世帯あたりでは、北海道や北陸地方で大きな効果が期待されたが、全世帯にGHPシステムが導入された場合、人口が多い都市部（関東、関西）で大きな削減効果が期待できると考えられる。また、全国にGHPシステムが普及した場合、年間約5,200万トン（削減効果4.3%）の二酸化炭素排出量削減効果が期待できると考えられる。

第5. 1-5表に、二酸化炭素排出量削減に伴う設備投資を示す。設備投資は以下のように算出した。

アリスの現象を抑制する方法を考究します。この現象は、アリスの体力と大気中の露点によって発生する現象で、アリスがGHPの管路を通じて熱を奪うことで、アリスの体温が下がります。また、アリスの体温が下がると、アリスの体温が下がるときに露点が下がり、露点が下がると、アリスの体温が下がります。この現象は、アリスの体温が下がると、アリスの体温が下がります。

5.2 アリスの現象の抑制

以下の方法です。

第5.1～5表を見ると、二酸化炭素排出量削減目標と設備投資額平均約122万

*1：初期工事費（90万円）時点、第2.4～5表によるGHPによる初期工事費（上段：270万円）と仮定した場合の初期工事費（110万円）の差額です。

| 初期工事費 （万円） | CO ₂ 削減量 （t/a） | 設備投資 額（万円/a） | 全国平均 122.1 |
|--|------------------------------|-----------------|---------------|
| 九州 | 160万円 | 0.9 | 177.8 |
| 四国 | 160万円 | 1.1 | 145.5 |
| 中国 | 160万円 | 1.1 | 145.5 |
| 関西 | 160万円 | 1.5 | 106.7 |
| 東海 | 160万円 | 1.5 | 106.7 |
| 南関東 | 160万円 | 1.2 | 133.3 |
| 北関東 | 160万円 | 1.3 | 123.1 |
| 北陸 | 160万円 | 2.2 | 72.7 |
| 東北 | 160万円 | 1.2 | 133.3 |
| 北海道 | 160万円 | 2.1 | 76.1 |
| *1：初期工事費（90万円）時点、第2.4～5表によるGHPによる初期工事費（上段：270万円）と仮定した場合の初期工事費（110万円）の差額です。 | | | |

第5.1～5表 二酸化炭素排出量削減目標と設備投資額

／（二酸化炭素排出量削減目標）

{（既存の工事の初期工事費） - （GHPによる工事の初期工事費）}

（二酸化炭素排出量削減目標と設備投資額） =

5. 3 ピーク電力需要低減効果

空気熱源のエアコンよりもGHPシステムの方がエネルギー消費効率が良いため、同じ冷暖房能力を得るのに必要な電力エネルギーが少なく済む可能性がある。それが昼間のピーク電力消費を押さえることに寄与すると期待される。また、5. 2で述べたように、GHPを導入することで、ヒートアイランド現象の抑制も期待される。それにより、夏季のピーク電力消費の低減が期待される。

参考資料

本調査で使用した文献および資料を以下に示す。

IGSHPA : Closed Loop / Ground-Source Heat Pump Systems - Installation Guide -, p.236

IEA ヒートポンプセンター (1994) : 世界のヒートポンプの現状と政策レビュー,

IEA ヒートポンプセンター分析レポート, p.141

(株) インターセントラル (1998) : セントラルサーモシステムカタログ

石田健一 (1997) : 戸建住宅のエネルギー消費, 日本建築学会計画論文集, 第 501 号, 29-36

建設総合調査会 (1998) : 1999 年版 設備編 積算ポケット手帳, 建築資料研究社, p.1007

建築工事研究会 (1998) : 積算資料ポケット版 '99 年前期編, (財) 経済調査会

丸井敦尚 (1998) 全国井戸・水文データベースと管理ソフト「いどじびき」の概要,

地下水学会誌, 第 40 卷第 4 号, p. 501-508

Medici, F. and Rybach, L. (1995) : Geothermal Map of Switzerland 1995(Heat Flow Density),

Studentendruckerei, Zurich

長野克則 (1998) : アメリカの土壤熱源ヒートポンプ,

地下蓄熱と地下熱利用セミナー資料集, (財) ヒートポンプ・蓄熱センター,

p. 39-61

落藤 澄・谷口孚幸 (1995) : 地域暖房とエネルギーの有効利用 – 北ヨーロッパを例と

して-, p.179

Rybäch, L., and Eugster, W.J. (1997) : Borehole Heat Exchangers to Tap Shallow Geothermal

Resource : The Swiss Success Story. Proc. 19th NZ Geothermal Workshop 1997.

p.63-68

Rybäch, L., Eugster, W.J., Hopkirk, R.J., and Kaelin, B. (1992) : Borehole Heat Exchangers : Longterm Operational Characteristics of a Decentral Geothermal Heating System. Geothermics. 21. 5/6. p.861-867.

SATAG THERMOTECNIK 社 : ヒートポンプ製品カタログ

高田秋一・黒田章一 (1991) : 産業用ヒートポンプ - 計画・導入と産業システムへの適用例 -, p.256

新エネルギー・産業技術総合開発機構(1998) : 風力発電導入ガイドブック, p.122

新エネルギー・産業技術開発機構(1998) : 産業等用太陽光発電フィールドテスト事業
公募説明会資料, p.68

(財) 新エネルギー財団(1998) : 住宅用太陽光発電導入基盤整備事業に係る規程集 p.16

(社) ソーラーシステム振興協会(1998) : '98 ソーラーシステム・データブック, p.43

(社) ソーラーシステム振興協会(1998) : 平成 10 年度地方自治体のソーラーシステム・
太陽熱温水器及び太陽光発電に係る助成制度一覧表, p.24

(社) ソーラーシステム振興協会(1988) : 10 年のあゆみ, p.92

東芝エアコン総合カタログ '98-10

内田洋平 (1998) : 濃尾平野における揚水の地下温度場に与える影響について,
日本水文科学会誌, 第28巻, 第2号, p. 45-60

Warmpumpen Expo' 98 資料パンフレット

(財) 新エネルギー財団 (1998) : 地熱エネルギー, 23, 3,

山中唯義 (1998) : CO₂・リサイクル対策総覧 (技術編) , (株) 通算資料調査会, p.1088

(財) 矢野恒太記念会 (1998) : データで見る県勢 1998 年版 国勢社, p.510

文献検索およびホームページ

JICST および STN 文献検索システムにより、地下熱利用ヒートポンプシステムおよび地下熱交換に関する文献検索を行った。

第1表に地下熱利用ヒートポンプについて (keyword : Heatpump & Ground & Source, 地下熱利用 & ヒートポンプ)、第2表に地下熱交換に関する (keyword : Borehole & Heat & Exchanger、地下 & 熱交換器)、第3表に地下蓄熱に関する (keyword : 地下蓄熱 & ヒートポンプ) 検索結果を示す。

また、地下熱を利用したヒートポンプシステムについての情報は、以下のようなホームページからも得ることができる。

1) IEA (International Energy Agency) ヒートポンプセンター (オランダ)

<http://www.heatpumpcentre.org/>

2) IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association) (USA)

<http://www.igshpa.okstate.edu/default.htm>

3) GeoExchange Information Center (USA)

<http://www.ghpc.org/>

4) Richard Stockton Collage (オンラインジャーナル) (USA)

<http://www.geo-journal.stockton.edu/>

5) Geoscience 社 (イギリス)

<http://www.earthenergy.co.uk>

6) Oregon Institute of Technology (Geo-Heat Center) (USA)

<http://www.oit.edu/~geoheat/>

第1表 地下熱利用ヒートポンプに関する文献検索結果

| | |
|----|---|
| 1 | エネルギー循環利用を考慮した冷暖房のための中・長期蓄熱システムに関する研究 平成7年度（文部省S） |
| 2 | サンシャイン計画による長期地中蓄熱の研究 1 |
| 3 | 合衆国以外の、ヒートポンプを備えた地域冷暖房 |
| 4 | 実用パッケージ形地熱ヒートポンプ装置の熱分析 |
| 5 | 住宅用冷暖房／給湯用接地ヒートポンプ |
| 6 | 小形木材エネルギー・システムの設計に組込み形システムと全エネルギーの考え方の適用 |
| 7 | 地域冷暖房に再生可能エネルギー源と非汚染燃料・技術を使用した環境改善 |
| 8 | 地中熱を熱源とするヒートポンプシステム 集合住宅における実施例 |
| 9 | 地中螺旋コイルを持つ直膨式地中熱源ヒートポンプ 暖房モード |
| 10 | 地熱、水熱源ヒートポンプの概観 |
| 11 | 地熱エネルギー 使用が限定されているが地熱ヒートポンプとして有望 |
| 12 | 地熱による水ループヒートポンプシステムの熱性能と省エネルギー効果 |
| 13 | 地熱熱機関駆動ヒートポンプシステムの最適性能 |
| 14 | 地熱利用のための高冷却効率水-空気ヒートポンプのテスト結果 |
| 15 | 南アフリカの条件の下で大気熱源空気調和装置と対比した 垂直地熱源ヒートポンプの経済的可能性 |
| 16 | 熱エネルギー貯蔵技術進行状況報告 1982年4月～1983年3月 (film) |
| 17 | 米国で、地熱ヒートポンプが学校冷暖房用として長所を發揮 |
| 18 | Registration of Hanford Site Class V underground injection wells. Revision 1. |
| 19 | Quarterly Reports of Railway Technical Research Institute, Vol.30 No.3, August |
| 20 | Need for Research into Environmental Problems Related to Energy Storage in and Energy Extraction from the Ground and Ground Water |
| 21 | Groundwater as a Heat Source for Space Heating Using a Heatpump |
| 22 | Lakes as a Heat Source for Residential Heating: A Survey of Costs in Comparison with Different Systems and Ecological Consequences. (RE-ANNOUNCEMENT - see notes field for explanation) |
| 23 | Two well Storage Systems for Combined Heating and Airconditioning by Groundwater Heatpumps in Shallow Aquifers. |
| 24 | Solar Collector - Heat Pump System with Energy Storage in a Ground Water Reservoir: Study for a School in Boraas, Sweden. |

第2表 地下熱交換に関する文献検索結果(その 1)

| | |
|----|---|
| 1 | A study on the thermal output characteristics of a downhole coaxial heat exchanger - Studies on the downhole coaxial heat exchanger. (2nd report). |
| 2 | A study on the thermal output characteristics of a downhole coaxial heat exchanger. |
| 3 | An Experiment for Proof of Concept of the Downhole Coaxial Heat Exchanger. International Cooperative Experiment in Hawaii. |
| 4 | Apparatus for separating salt from mineralized water |
| 5 | Arrangement for effecting an energy exchange between earth soil and an energy exchanger |
| 6 | Artificial Geothermal Reservoirs in Hot Volcanic Rock. |
| 7 | Basic Study on Silica Scale Inhibition Study for Direct Use of Geothermal Brine in Kazuno, Akita Pref. |
| 8 | Soil physics, engineering and hydro-geological investigations of the storage and extraction of low temperature heat in the soil zone unsaturated by water, with vertical heat exchangers. (Diss.) |
| 9 | Borehole heat exchangers: longterm operational characteristics of a stand-alone geothermal heating system |
| 10 | Coaxial Heat Exchanger (DCHE) system. |
| 11 | Control of road surface temperature and thermal energy storage using a bore-hole heat exchange system. |
| 12 | Corrosion Tests in the Marchwood Geothermal Borehole. |
| 13 | Deep well utilized automatic roadbed snow melting system. |
| 14 | Determining effective soil formation thermal properties from field data using a parameter estimation technique. |
| 15 | Development of a snow-melting system using heat source of well water which is to be returned to the ground depth from which it is taken. |
| 16 | Development of an equivalent diameter expression for vertical U-tubes used in ground-coupled heat pumps |
| 17 | Development of insulated inner pipe for the downhole coaxial heat exchanger (2nd Report). Materials and welding conditions. (I). |
| 18 | Development of insulated inner pipe for the downhole coaxial heat exchanger (3rd Report). Materials and welding conditions. (II). |
| 19 | Development of Insulated Inner Pipe for the Downhole Coaxial Heat Exchanger. (4th Report). Second Test Production and Performance Evaluation. |
| 20 | Effective and environmentally benign utilization technology of natural energy. Development of "Gaia" snowmelt system by ground and solar heat source. |
| 21 | Energy underground storage project of the Netherlands. |
| 22 | Construction and development of a high pressure drilling equipment for installation of vertical heat exchangers. Final report. |
| 23 | Exchanger (DCHE) System. |
| 24 | Field tests and life time studies one-family house heat pumps 1982-1989. |
| 25 | Fluid Conductors; (2) Heat Transfer Effects in Forced Geoheat Recovery Systems. Reporting Period: July 1, 1976—December 31, 1977. |
| 26 | Foundation design to no splinking snow melting. |
| 27 | FROM THE BOREHOLE TO THE TREATMENT ROOM - A NEW PROCESS FOR MINERAL-WATER DISTRIBUTION IN |
| 28 | Geothermal heat exchanger |
| 29 | Geothermal R and D Project Report for Period April 1, 1975—June 30, 1975. |
| 30 | Geothermal R and D Project Report for Period July 16, 1974—September 30, 1974. |
| 31 | Geothermal utilization at Rotorua public hospital. |
| 32 | Ground heat storage. Thermal analyses of duct storage systems. Theory. (Diss. (TeknD).) |
| 33 | Natural Convection Heat Transfer Models for Downhole Heat Exchanger Applications in Shallow Geothermal Systems. |
| 34 | Properties and application of duplex stainless steels. |
| 35 | Prototype insulated inner pipe and evaluation of its insulation performance. Development of insulated inner pipe for the downhole coaxial heat exchanger. |
| 36 | Required snow removing and melting facilities responding to multiple purposes. Development of a snowmelting system using the thermal capability of the earth. Exploiting bless of the earth and the sun for melting snow. |
| 37 | Research on a Novel Geothermal Energy Extraction Method the Downhole Coaxial Heat |
| 38 | Research report on the development of geothermal gathering technology by coaxial heat exchange using thermal insulation double-pipes.Fiscal year 1991. (Sponsor : Engineering Advancement Assoc. of Japan) |
| 39 | Research report on the development of the geothermal energy extraction technology based on the coaxial heat exchange system using a thermal insulation double pipe. (Spnsor :Engineering Advancement Assoc. of Japan). |

第2表 地下熱交換に関する文献検索結果(その 2)

| | |
|----|--|
| 40 | Secondary Recovery Method for the Extraction of Geothermal Energy. Final Report Consisting of Two Sections: (1) Short Review of the Technique of Forced Geoheat Recovery from Sheet-Like |
| 41 | Semiannual Progress Report for the Idaho Geothermal Program, April 1-September 30, 1979. |
| 42 | Snow Melting and Control of Surface Temperature at Car Park Using Borehole Heat Exchanger System(BHES). |
| 43 | Snow-melting without sprinkling water in Yokotani. |
| 44 | Studies on the Downhole Coaxial Heat Exchanger(4th Report). Preliminary Considerations for Power Generation Using a Downhole Coaxial Heat Exchanger System(II). |
| 45 | Studies on the Downhole Coaxial Heat Exchanger(5th Report). Analysis of the Results from the Proof of Concept Experiment in Hawaii. |
| 46 | Study and research on the development of geotherm gathering technology to adopt a coaxial heat exchange system using thermal insulation double-pipes. (Sponsor : Engineering Advancement Assoc. of Japan). |
| 47 | Study on the optimum design of a coaxial heat exchanger in geothermal well. |
| 48 | Targeting Heat Extraction from Magma. Development of the Downhole Coaxial Heat Exchanger (DCHE) system. |
| 49 | The effect of major design parameters on the performance of a downhole coaxial heat exchanger - Studies on the downhole coaxial heat exchanger (1st report) |
| 50 | The groundwater return type snow melting system. |
| 51 | The snow melting system utilizing groundwater heat. |
| 52 | The Swiss Experience Indicates Another Possibility for Geothermal Energy. Utilization of Shallow and Low-Grade Geothermal Resources (I). |
| 53 | Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. (Doctoral diss. (Tekn D)) |
| 54 | Thermal enhancement of bentonite grouts for vertical GSHP systems |
| 55 | Time-continuous dynamic models for heat exchangers. |
| 56 | Utilization of geothermal energy. |
| 57 | Working Performance of Shallow Downhole Heat Exchanger System. |
| 58 | 蓄熱地下水ヒートポンプに関する研究 |
| 59 | 地熱利用熱交換器(DCHE)による道路融雪 |
| 60 | 地熱エネルギー利用のための設備の計画、建設および運転-北東ドイツの例 |
| 61 | ドイツにおける地表地熱利用 |
| 62 | ろう付式プレートフィン型コンパクト熱交換器の用途開発 |
| 63 | 垂直熱交換器管による長期地下蓄熱システム |
| 64 | 自然熱利用による屋根消雪の省エネルギー化 |
| 65 | 自然熱利用屋根消雪システムの開発とフィールド試験 |
| 66 | 垂直地中熱交換器の設計と長期性能特性 |
| 67 | 地中熱源ヒートポンプの開発 |
| 68 | ホテル紅やバブリックゾーンの空調設備 |
| 69 | 太陽熱利用地中蓄熱ヒートポンプシステム |
| 70 | 直接膨張ヒートポンプシステムの性能試験 |
| 71 | 湿式電気集塵機によるエンジンヒートポンプの排ガスの浄化と熱回収 |
| 72 | ヒートポンプと組合せた地中蓄熱システムによる体育館暖房の実験結果 |
| 73 | NHK放送センター |
| 74 | 太陽は地下へ SERIの地中熱利用パッケージヒートポンプ |
| 75 | 地中結合式パッケージ型ヒートポンプシステムの熱解析 (film) |
| 76 | 満水廐坑に落し込んだ熱交換器から採熱する低温地域冷暖房方式 |
| 77 | 分離式地中調節 |
| 78 | 住宅用ヒートポンプの熱源/ヒートシンクとしての地下配水管の評価 (film) |
| 79 | 大規模ヒートポンプによる太陽熱の季節間貯蔵 |
| 80 | 地中接続ヒートポンプの実証試験 (film) |
| 81 | 注目される実用研究 エネルギーの蓄熱・増熱技術 |
| 82 | 地面に垂直に置かれた平板状熱交換器の3次元の熱流に関する理論的検討 |
| 83 | 太陽熱補助の地下コイルの設計とフィールド試験 (film) |

第3表 地下蓄熱とヒートポンプに関する文献検索結果一覧

| | |
|----|---|
| 1 | 蓄熱地下水ヒートポンプに関する研究 |
| 2 | ショッピングモールにおける熱エネルギー貯蔵 |
| 3 | 大温度差蓄熱空調システム |
| 4 | 地下帯水層の蓄熱利用に関するシミュレーション |
| 5 | 大地と結び付いたヒートポンプ熱源 |
| 6 | 蓄熱システムと省エネルギー 3. 蓄熱システムの実施例(7) 水蓄熱と氷蓄熱を組み合わせたインテリジェントビルの空調システム |
| 7 | 株式会社電気ビル新小倉ビル新館納入 水蓄熱と氷蓄熱を組み合わせた空調システム (ヒートポンプ技術開発センターS) |
| 8 | エネルギー節約を意図した“再生エネルギー”の経験 |
| 9 | 垂直熱交換器管による長期地下蓄熱システム |
| 10 | 自然熱利用による屋根消雪の省エネルギー化 |
| 11 | 球型地下季節間太陽蓄熱システムの長期間性能の推定 |
| 12 | 中央にアトリウムのある学校の逆ケーブ設計 逆ケーブの概念を用いた 中央にアトリウムのある学校の設計の実際的形態とフィージビリティ |
| 13 | 蓄熱式ヒートポンプシステム |
| 14 | 自然熱利用屋根消雪システムの開発とフィールド試験 |
| 15 | 地下帯水層を利用した水熱源ヒートポンプシステムの年間利用に関する数値解析 |
| 16 | 特集／蓄熱式ヒートポンプ空調システムの事例研究 印刷工場 報知新聞社芝浦社屋 |
| 17 | 特集／蓄熱式ヒートポンプ空調システムの事例研究 ゴルフ場 エーデルワイスG.C. クラブハウス |
| 18 | 地下利用都市複合エネルギー供給システムに関する調査研究報告書 (エンジニアリング振興協会S) |
| 19 | 氷蓄熱特集 その2 新型ソルエアヒートポンプ氷蓄熱システム TEPIA |
| 20 | 地域冷暖房における結晶状製氷の応用 |
| 21 | エネルギー貯蔵および地熱利用に関する国際会議に出席して |
| 22 | 太陽熱利用地中蓄熱ヒートポンプシステム |
| 23 | ノンスにおける熱貯蔵 調査、展望 |
| 24 | ヒートポンプ及び季節的貯蔵を備えた太陽熱エネルギー・システムの動的最適化 |
| 25 | 季節貯蔵を行う太陽利用ヒートポンプのエネルギー及び有効エネルギー分析の比較 |
| 26 | 湿式電気集塵機によるエンジンヒートポンプの排ガスの浄化と熱回収 |
| 27 | 地域向けヒートポンプ 日本における運転経験 |
| 28 | カナダの帯水層蓄熱式CSHPSSシステムの解析 |
| 29 | 太陽など3種のエネルギー源と地中蓄熱、水素化合金など5種の蓄エネの最適化を実証 東京・国分寺市の工学院大学5号館 |
| 30 | 地下帯水層蓄熱法によるヒートポンプシステムの経済評価 |
| 31 | ヒートポンプと組合せた地中蓄熱システムによる体育館暖房の実験結果 |
| 32 | 小型ヒートポンプシステム用エネルギー井の太陽熱蓄熱 |
| 33 | 暖房に環境熱を結合 |
| 34 | 二重管サーモサイフォンを用いたヒートポンプの特性 |
| 35 | 蓄熱技術の最近の動向 |
| 36 | 業務用調理場の暖冷房の解決は正に地下に在り |
| 37 | 自然熱源を利用した線路融雪システムの熱的および経済性評価 |
| 38 | 自然熱利用軌道融雪システムの評価 |
| 39 | 大規模ヒートポンプによる太陽熱の季節間貯蔵 |
| 40 | 季節間蓄熱式太陽熱集中暖房プラント 帯水層蓄熱を基礎としたシステム概念の評価 (film) |
| 41 | スウェーデンの現存資源利用技術の開発 |
| 42 | フランスの地熱 現状と見通し |
| 43 | ボストンのチャールストン海軍工場国立歴史公園向けの 季節熱貯蔵を使った太陽熱地域暖房システム |
| 44 | スウェーデンのエネルギー計画に基づく地下熱貯蔵によるエネルギー保存 |
| 45 | トロンブ壁、地下換気、補助ヒートポンプなどを備えたハイブリッド冷暖房システム (film) |
| 46 | スウェーデンにおける太陽熱地下貯蔵 |
| 47 | 太陽地熱組合せ |
| 48 | 生物学的ソーラーハウス WolfhausenのBubikon地区に建つ4とうの集合住宅 |
| 49 | 太陽熱利用ヒートポンプシステムにおける地中埋設タンクの利用 |
| 50 | 物理的、化学的エネルギー貯蔵プログラム 1981年3月 (film) |
| 51 | 注目される実用研究 エネルギーの蓄熱・増熱技術 |
| 52 | ヒートポンプシステムのための砂利式蓄熱そう |

本報告書の内容を公表する際はあらかじめ
新エネルギー・産業技術総合開発機構企画
部の許可を受けて下さい。

電話 03-3987-9402