

第 18 章 地中熱源ヒートポンプシステム・プランニング実習

演習テーマ

津波被災地集団高台移転先住宅団地での
集中熱供給センター向け
地中熱ヒートポンプシステム（HP）導入プランを設計する

演習の狙い：津波被災地の復興事業として注目を浴びる高台
集団移転に際して、再生可能エネルギーにより
冷暖房費の削減を可能にする地中熱源HPシステ
ムの仕組みや経済性評価法を演習によって習得
する。

ソフト利用ブラックボックスで推計するのでは
なく、地中熱賦存量から段階を踏んで推測し、
基本的な仕組みを演習で習得する。

演習の方法：数人一組で設計プランニングにあたる。
ワークシートの空欄を埋める形で進める。
講師によるオリエンテーション1時間
講師はナビゲータ役。

このような試みのプランはまだ実現していない。技術的にはもちろん制度的にも課
題が多いと思われるので、あくまで机上のプランとしてシンプルな形でシステムを構
成した。

I. 与件の提示（前日配布）

1. 住宅団地等の概要

・所在地：

福島県浜通り地域の津波被災地の高台、およそ 15 h a

・施設の規模：

住宅団地は居住面積 100 m²、世帯当たりの居住人口平均 3 人、全部で 150 戸

町営の公共施設として、新設の住宅団地周辺の既存町民にも開放される公民館、
温浴施設、診療所などが配置され、人口約 500 人、利用人口 1000 人規模の小地域社
会が形成される。

2. 町役場の要望

- ・復興事業のモデルとして注目されるようなプランを作成してほしい。
- ・当地域が、石油系燃料の調達上、不利な立地条件のもとにあるので、できるだけ石油系燃料に依存しないエネルギー供給システムをプランしてほしい。
- ・再生可能エネルギーからの電力供給システムは、初期投資の大きさから新たに入居する住民には荷が重く、また経済性の面での即効性が乏しい点を考慮してほしい。
- ・新設される住宅に入居する人々のためだけではなく、周辺住民の生活上の利便性にも配慮してほしい。
- ・新たなエネルギーシステムは、運用の安定性、容易性、安全性においてすぐれたシステムであってほしい。
- ・外部電源が喪失した場合にどう対応するべきかを事前に検討してもらいたい。
- ・なによりも優れた実績のあるシステムをプランしてほしいが、プランニングにあたっては、可能な限り地域の有識者に参画してもらい、ブラックボックス化は避けてもらいたい。
- ・そして最も重要なのは、経済性である。システムの事業費は施設の施主が町であるので、居住者の事業費負担はほとんどないが、居住者はエネルギー利用コストを負担する。従来石油系燃料費、電力利用料金を下回るようなエネルギーコスト料金体系を設定しても、町は事業費が回収できなければならない。

II. 演習用参照資料の配布（前日配布）

1. 再生可能エネルギー用語解説資料
2. 一般的プロジェクトエンジニアリングの全工程図
3. NEDO地球熱利用システム（パンフレット）
4. NPO地中熱利用促進協会（パンフレット、Q&A）
5. ヒートポンプの仕組み（HP蓄熱センター「新時代の選択」p-6のコピー）
6. 地中熱HPシステムの導入事例（ZHPの納入実績から2例）
7. 地中熱HPシステムの仕様書例

III. 事業プランニングの手順の解説と工程表作成

立案から事業性評価までの『前工程』

1. 導入から保守までの全工程（参考）
2. 立案から企画設計～事業性評価
 - (1) 導入理由、目的の確認
 - (2) 構想の立案（WBS展開の順序）
 - ①対象施設、場所の想定
 - ②熱供給集中システムの想定

- ③類似の事例の確認
 - ④地中熱、地下水脈の想定
 - ⑤地中熱二つの方法
 - ⑥地中熱源HPシステム利用の全体像の想定
 - ⑦事業資金確保の構想
 - ⑧周辺環境との調和
- (3) 現地調査と確認
- 【今回省略、コメントのみ】
- (4) 企画設計（WBS 展開の順序）
- ①住宅団地の熱エネルギー季節別需要量の想定
 - ②地中熱交換方式利用か地下水還元方式利用かの選択
（実習では地下水還元方式を採用）
 - ③各戸、各施設への熱供給網（配管網）の想定
 - ④非常用電源の確保
 - ⑤熱供給センターのシステム構成
 - ⑥熱供給センターからの温熱、冷熱供給量、加熱容量等
 - ⑦対応機種を選定
 - ⑧地下水還元方式HPシステム導入の全体像
 - ⑨概略レイアウトの作成
- 〔付〕地中熱交換方式を採用した場合の全体像
- (5) 事業性検証
- ①概算事業費の想定
 - ②事業資金源の確認
 - ③HP導入なしの場合のエネルギー消費量と事業資金
 - ④導入メリットの計算
 - ⑤事業性向上のためのエンジニアリング検討
 - ⑥環境効果の検証

演習

以上の作業項目を配布する時間軸工程表上に配置する

WBSの展開

IV. プロジェクトエンジニアリングの手順の解説と工程表作成

基本設計から竣工検査までの『後工程』

1. 基本設計、実施設計の段階

(企画設計段階で基本設計まで済ませる場合もあれば、基本設計と実施設計を同時に行う場合もある)

(1) 入札～発注先選定まで (WBS 展開の順序)

- ・ 入札先の選定
- ・ 入札仕様書の作成、入札
- ・ プロポーザル協議 (金額と仕様書との最終調整)
- ・ 発注先の決定

(2) 発注先による基本設計、実施設計

- ・ H P システムの設計と施工法
- ・ 地中熱利用の設計と施工法
- ・ 需要家への配管工事の設計と施工法
- ・ 周辺機器の設計と施工法
- ・ 非常用電源の設計と施工法
- ・ 全体制御システムの設計と施工法
- ・ プロジェクト全体を俯瞰した単線結線図

(3) 基本設計書、実施計画書の点検、確認

2. 施工監理～竣工検査の段階

- (1) 工事計画書
- (2) 検査実施計画書
- (3) 所管官庁等への届け出
- (4) 電力会社との契約締結

3. 維持管理の段階

- (1) 日常点検実施計画書
- (2) 定期点検実施計画書

演習

以上の作業項目を配布する時間軸工程表上に配置する

WBSの展開

V. 事業プランの作成実習

この作成例は、ワークシート方式で、随所が空欄になっており、実習の中で空欄を埋めていく。

1. 導入から保守までの全工程

配布する「プロジェクトプランニングから建設までの全工程図」から、本テーマに係わる領域をマーキングで示すことにより、フロー図作成に代える。

演習参加者がどのような業種に所属しているかにより関心の置き方が変わるが、ここでは前工程の前半に絞ることで条件を統一する。

2. 立案から企画設計～事業性評価

(1) 導入理由、目的の確認

福島県浜通りのA町は津波の被害で沿岸部の多くの住宅が流された。町は住宅復興の方針として、町の後背の高台にある町有地に数十戸単位の町営住宅団地を数か所建設し、入居してもらうことになった。

住宅団地の集積地には、新たに建設される住宅に入居する町民のほか、周辺の既存居住地の町民のために、町役場の支所、公民館、体育館、小中学校分校、保育園、幼稚園、医院、その他福祉施設なども新たに立地することにしており、日常の管理運営面では効率のよい配置になると考えられている。

しかし、A町の悩みは急騰する燃料価格である。すでに灯油は1Lあたり100円を突破し、町民の経費は大幅にアップ、エネルギー消費削減運動を大々的に進めているが経費の増加はそれをはるかに上回っている「まちのエネルギー危機問題」であった。既存の公共施設のエネルギー設備は整備した年次差の関係から完全な個別分散型で、ほとんどが設備費の安価な石油系・LPG系の暖房給湯システムを採用していたが、今回の被災で多くが損傷し、移設利用はできなくなった。

新たに開発される住宅団地はゼロベースで取り組まなければならない。どのようなエネルギー対策が必要であるかの議論が延々と続いた。そして辿りついたのが以下の結論である。

問題1. 施設が全てエネルギー経費の急騰に直面しており、省エネ化の優先順位はすべてが“最優先”である。

問題2. 全ての施設がどちらかといえば小規模であり、小規模分散型で経済効率のよい、当地域に合う個別省エネシステムは見当たらない。

問題3. 自然エネルギーの導入環境はよいとは言えず、まず何よりもコストが高く導入は困難である。

問題4. 石油系燃料の調達価格は、都会の流通基地から離れた不利な条件下で割高を強いられている。

問題5. 価格に地域差がない電気を利用する空気熱源ヒートポンプシステムも検討

されたが、冬季の低温、夏季の高温でCOP（成績係数）が低く、経済効果は小さい。

これらの問題を解決するために登場した策が、「地中熱源を利用した地域エネルギー供給システムの構築」であり、そして石油系燃料への依存度の大幅削減であった。

その骨子はつぎのようなものであった。

[解決策の骨子]

- 解決策 1. この地域の地下には大きな水脈があり、水温は1年中を通してほぼ13℃に保たれており、これを熱源にするヒートポンプシステムを導入して冷暖房給湯システムを導入する。
- 解決策 2. 地域のほぼ中央の未利用町有地に「A町地中熱源地域熱供給センター」を整備し各施設にエネルギーを供給する。
- 解決策 3. システムは地域全体で共同利用することで小規模のハンディを克服し、大型化によるメリットを得て経済性を確保する。
- 解決策 4. エネルギーシステムの管理運営は新たに創設する事業体に委託し、事業費は公的資金はもちろん、できるだけ多くを入居者の公募債引き受けによって賄い、初期投資の負担分を軽減させる。
- 解決策 5. 各施設が必要とする熱需要量はセンターから供給するが、各施設にはできれば最小限の予備の熱源機器を配置する。

(2) 構想の立案

①対象施設、場所の想定

住宅団地等の概要を町役場の企画担当職のもとで確認し、冷暖房給湯のエネルギーを戸別分散型で導入するのではなく、地域の中央に集中熱供給センターを建設していくことを確認した。対象地域は全体で約4ヘクタール、すべて町有地である。

熱供給対象施設としては、150戸の新規住宅団地のほか、町民室内体育館、防災拠点を兼ねた公民館、診療所、高齢者向け福祉関係施設で、合わせて6施設がコンパクトにレイアウトされた形でこの地で再建、新設される。

津波の被害から免れた既存の居住地域とは1～2km程度なので、ここに新たな地域社会がつくられるといった感じである。

②熱供給集中システムの想定

この地域社会が必要とする熱エネルギー、すなわち暖房用エネルギー、冷房用エネルギー、給湯用エネルギーはすべて熱供給センターから配管を通じて供給される。配管は65℃の暖房用温水供給と15℃前後の空調用冷水供給を兼ねた暖冷

房系と、給湯系の二本立てで地域に限なく配置される。

各戸や施設では、熱交換機や貯湯槽、冷水用ピットなどを通して、45℃程度の給湯用温水を利用したり冷暖房用ファンコイルによる空調を行う。

また6施設の夫々の貯湯槽には加温用追いだき装置を設け、気象条件による温度低下に対応するほか、住宅棟の各戸には瞬間湯沸かし器を設け、熱不足が生じた場合に備える。

冷温水の供給はヒートポンプシステムであるが、空気熱源式ではなく、地中熱源を利用し、エネルギー効率を高める。

地中熱の採取方法については⑤で述べる。

熱供給システムには電源が必要であるので、緊急時に備えて予備電源を配備することが考えられたが、供給センターを駆動させても一般需要先の電源が消失したままでは熱供給の効果がほとんど得られない。

しかし地域の重要なライフラインであるので、公共施設での利用機器用の蓄電池を併設し緊急時に対応できるようにする。

③類似の事例の確認

地中熱利用ヒートポンプの導入事例は参照資料に掲載したように大変多い。しかし、この構想のような内容の実例は現時点では見当たらないが、地域住民に安心してもらえるよう、参考となる成功事例を調査し、実際に現場を見学することが必要である。

とくに大切なのは、技術的に見て成功した例だけではなく、経済性の面で優れた効果があった例をみて、成功の要因は何であったのかを調べることである。

実際に調べた結果、成功の要因は次のとおりであった。

- ・外気よりも温度が安定している熱源（地中熱源、地下水熱源）が利用できた。
- ・寒冷地にも対応できるヒートポンプを採用し、機器の選定が成功した。
- ・保守管理が容易なシステムであった。
- ・中心なる熱供給システムと需要先の利用システムの整合性が取れていた。
- ・省エネルギー関連の補助金が受けやすかった。
- ・従来方式に比べてランニングコストの大幅削減だけではなく、システム耐用年数到達以前に投資額の回収ができる見込みになった。

④地中熱、地下水脈の想定

予め熱供給全体の大まかな熱収支を算定し、それを示しつつ地中熱調査専門の企業に委託して調査をすることになる。地中と地上とで熱の授受を行うことがどの程度可能かを調べるので、試掘井を掘り、その場所の地質や地下水の状況から、地中熱交換方式を採用するのか、地下水還元方式を採用するのかを判断するに必要なデータを取り、解析をして結論を出す。

ただ結論を出すにあたっては、二つの方式の費用が大きな問題になるので、事

業費の見積もり比較は非常に重要である。

調査の結果では、当地は両方式とも採用可能であり、採否の判断は事業費が比較的安い地下水還元方式に落ち着いた。

ただし以下の解説では両方式について述べる。

⑤地中熱二つの方法

ヒートポンプについては、エコキュートのPRで「空気の熱でお湯を沸かす」というように一般には空気熱源ヒートポンプを指す。お湯よりも温度が低い空気の熱をお湯の温度まで高めるには、蒸発～圧縮～凝縮～膨張のサイクルを利用するがこのプロセスの中で電動またはエンジン駆動コンプレッサを使い、この際に消費する駆動エネルギー以上にお湯のエネルギーが得られることから、省エネシステムとして普及が進んでいる。ヒートポンプのプロセスの説明は用語集にゆずることとし、ここではなぜ地中熱利用なのかを説明する。

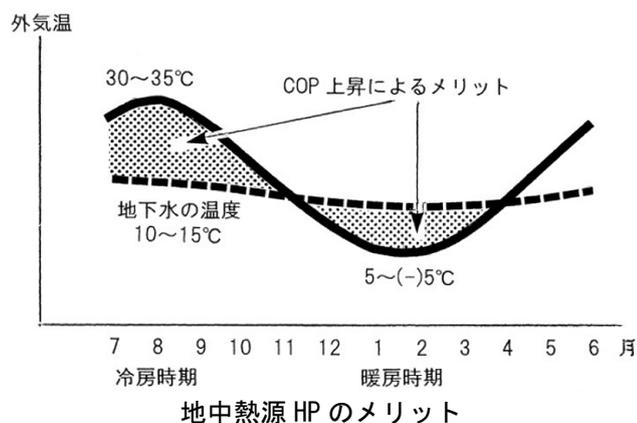
空気熱源ヒートポンプシステムでは空気の熱源で冷温水をつくるので、冬季の低温時に空気からの熱を利用して温水をつくらうとすると、エネルギー効率（ここでは例えば電動コンプレッサでの消費電力と作られた熱エネルギーの割合：COP＝成績係数）は悪くなり、また夏季の高温時に外気を利用して冷水をつくらうとしても効率は悪くなる。

業務用の空気熱源HPの場合、20℃程度の外気温のもとで冷水や温水をつくる場合のCOPは3.5前後であるが、外気温がマイナスの状態で温水をつくる場合のCOPは2.0前後に下がり70%以上も電力を余計に消費することもある。逆に25℃以上で温水をつくとCOPは4.0以上になる。冷水の場合はその逆になる。

ところで、地中の温度は地表の温度とは異なる分布を示す。地中でも地表に近いと地表と地中の温度差は小さいが、地中深くなると温度の絶対値が地域によってあまり変わらなくなる傾向がある。

書物によれば、地中10mでは札幌や仙台では地中の温度（具体的には地下水）が8℃～10℃でほぼ安定しており、東北沿岸や本州内陸地域でも15～17℃でほぼ安定している。北海道道東の寒冷地でも年中ほぼ7～8℃である。

空気熱源に代えてこの地中の熱源を利用するヒートポンプであれば冷温水をつくる場合のエネルギー効率（COP）は相対的に高まり、省エネルギー効果が大



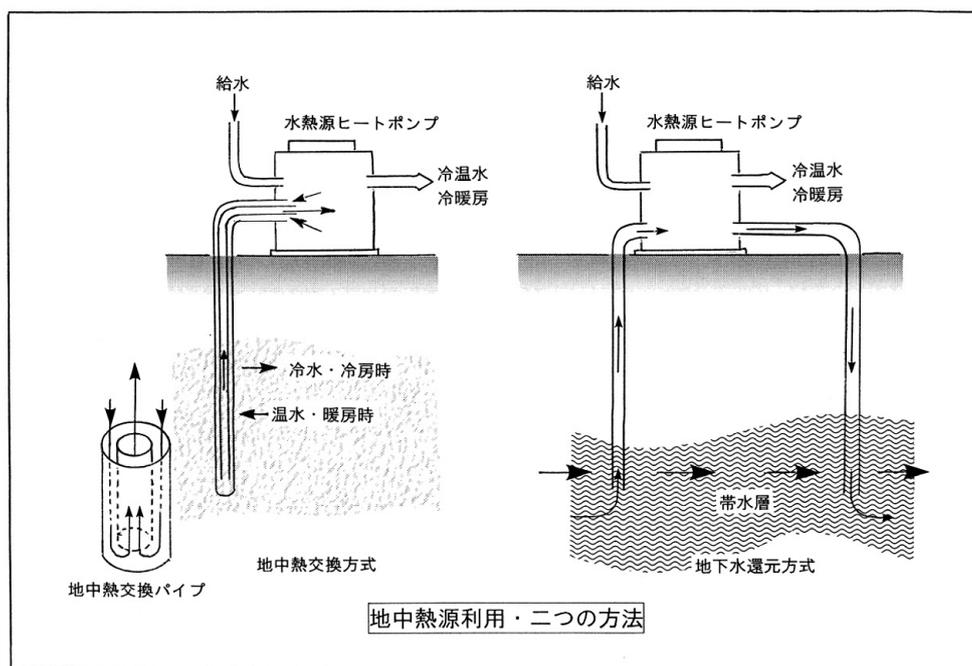
きくなるだろうというのが地中熱源HPシステムの狙いである。

さて、地中熱が持っているエネルギーを地表に取り出す方法には二通りがある。ひとつは「地中熱交換方式」とよばれるもので、地中に熱交換パイプ（U字型熱交換器）を差込み、パイプ中に不凍液（または水）を循環させて地中の熱を地上のHPにまで持ってくる方式、もう一つは「地下水還元方式」とよばれるもので、地下水を直接ポンプで汲み上げ、地上または地下のピットで貯めて熱を回収しHPで利用した後、地中に戻す方式である。

一般的な傾向として両方式ともランニングコストの差はあまりなく、わずかに地下水還元方式が安い傾向にあり、設備費は地中熱交換方式が地下水還元方式の1.5倍程度になり、トータルとしてはコスト面では地下水還元方式に軍配が上るとされているが、あくまで比較の問題である。地質条件によっては一方の採用が困難な場合が多いからである。

⑥地中熱源HPシステム利用の全体像の想定

二つの方式のイメージおよび、地中熱回収とヒートポンプによる熱供給のイメージを以下に図示する。



この段階で、参照資料：地中熱利用促進協会の資料をもとに自由討議を行う

⑦事業資金確保の構想

町は当初、全体を復興事業と位置付け、全額を国庫補助で実施する考えであったが、「真水 100%」は期待しにくいことから、総事業費を3つに分け、国庫補助で賄う部分、熱供給会社を設立して町の公募債発行で賄う部分、町独自の予算の公共事業で賄う部分に区分した。

⑧周辺環境との調和

地中熱交換方式は地下水の汲み上げがないので環境問題は生じないが、地下水還元方式は、地下水汲み上げによる地盤沈下の可能性もある。HPで採熱済みの地下水は地中の水脈に戻すので大きな問題は生じないと考えられる。ただ給湯用の水は戻りのない給水の形になるので水源の調査は必要である。

(3) 現地調査と確認

【今回省略 コメントのみ】

(4) 企画設計

①住宅団地＋公共施設の熱エネルギーの季節別需要量の想定

集中立地する住宅団地と6つの公共施設の季節別エネルギー需要量を、温水、暖房、冷房の3区分に分けて設定する。ここでは需要量のモデルを設定することになるが、基礎データとしては、

- ・福島県の一般家庭の月別灯油消費量統計（石油情報センター）

夏季 84 L 冬季 338 L 中間季 398 L 年間計 820 L

30,094 MJ/年 = 8,560 kWh/年

冷房は電力利用

- ・福島県の一般世帯の住居延べ面積、世帯当たりの人数

延べ面積 110 m²、世帯人数 2.9人

をベースに一般家庭用を想定し、公共施設については別途推計したデータで想定した。

想定値は以下のとおりである。

なお、元々の単位はMJであるが、計数展開の都合上、kWhにて表示した。

施設別季節別エネルギー需要量

(kWh)

施設名	用途	夏季 (2ヶ月)	冬季 (4ヶ月)	中間季 (6ヶ月)	年間計
住宅団地	暖房	0	556,000	190,000	746,000
150世帯	冷房	220,000	0	0	220,000
	給湯	120,000	180,000	238,000	538,000
	計	340,000	736,000	428,000	1,504,000
公共施設	暖房	0	1,252,000	248,000	1,500,000
6施設	冷房	314,000	0	0	314,000
	給湯	39,800	247,600	309,400	596,800
	計	353,800	1,519,600	557,400	2,410,800

地域合計	暖房	0	1,808,000	438,000	2,246,000
	冷房	534,000	0	0	543,000
	給湯	159,800	427,600	547,400	1,134,800
	総計				3,923,800
(給湯中LPGによる分)	(LPG給湯)	(5,800)	(19,600)	(25,400)	(50,800)

この表から、もしこの地域団地のエネルギー供給を、既存のシステムで導入した場合のエネルギー消費量（石油系燃料や冷房用電力）の年間消費量を求めることができる。経済性比較の際に有用である。

いずれもボイラ効率 0.85 として、

暖房用灯油：2,246,000 kWh × 3.6 MJ/kWh ÷ 36.7 MJ/L ÷ 0.85 = 259,195 L/年

給湯用灯油：1,084,000 kWh × 3.6 MJ/kWh ÷ 36.7 MJ/L ÷ 0.85 = 125,097 L/年

灯油計 = 384,292 L/年

給湯用LPG：50,800kWh × 3.6 MJ/kWh ÷ 100.5MJ/Nm³ ÷ 0.85 = 2,141 Nm³/年

冷房用電力：543,000 kWh ÷ COP2.0 として = 271,500 kWh/年

②地中熱交換方式か、地下水還元方式かの選択

事前の大まかな推計によると、集中熱供給センターのHPの最大加熱能力は2,000kW前後になると考えられ、kWあたり3L/minといわれる地下水量で計算すると2,000kWのHP駆動に必要な最大揚水量は毎分3tになる。あくまで最大負荷であり、通常はピットに貯水する等負荷の平準化を図るのでこのようにはならないだろう。

問題はサイトの地下水脈がこの揚水負荷に耐えられるかどうかである。耐えられなければ工事費は1.5倍以上高くなる（※）が地中熱交換方式を採用せざるを得ない。この演習では、両社に比較経緯は割愛し、地下水還元方式の採用がまったことからプランニングを再開する。

※建物の基礎工事に並行して地中熱交換パイプを埋設する場合は、工事の面でかなり安くなると言われている。

この問題に関し自由討議

③各戸、各施設への熱供給網の想定

地中埋設配管か、架空配管かの問題である。前者は工事費が非常に高くなるが熱損失は小さく、後者は、工事費は前者の半分以下であるが熱輸送中の熱損失が大きい。この地域全体のインフラ整備作業に便乗できるほか、景観上は地中埋設が有利であるので、メインは地中埋設にし、末端では架空配管方式を採用することも考えられる。

④非常用電源の確保

ここで考えられているHPは電動HPである。HPには圧縮機駆動源として電動のほかガスエンジン（GHP）、灯油エンジン（KHP）があり、ガス業界や石油業界がシステムの販売を行っている。

電動HPは電源が喪失した場合は運転が止まるので、蓄電池などの予備電源でHP本体は駆動させることができる。しかし地下水循環ポンプや需要サイトへの熱輸送用ポンプ動力等は、予備電源での対応は難しい。

動力源を都市ガス、LPG、灯油に依存し、脱電力で対応しても同じような問題が起こるだろう。電気料金には管内での地域格差はないが、LPGや石油燃料には地域格差があるので、ここでは電動式を採用する。

この問題に関し自由討議

⑤熱供給センターのシステム構成

地中熱HP利用熱供給センターの仕組みは、地中熱採熱二つの方式により異なる形をとる。ここでは、研修カリキュラム「概論コース」で講演をされたゼネラルヒートポンプ工業㈱のパフレットから二つの事例でシステム構成の代表例を見てみることにする。

例1. 地下水還元方式採用、金沢市の医療法人

例2. 地中熱交換方式採用、秋田県八峰町役場

参照資料で説明&自由討議

⑥熱供給センターからの温熱、冷熱供給量、加熱容量等

集中熱供給方式を採用した場合には熱の配送中に熱ロスが問題になる。

個別分散型熱供給の場合と異なり、集中熱供給方式を採用した場合には、熱供給パイプラインの断熱仕様や距離、更には気温の高低に応じて熱ロスが発生する。このモデルでは熱供給センターから居住区域と6箇所の施設までのパイプラインの長さを支線も含めた総延長で1,200mとした。ここでは標準的な断熱仕様の配管工事を行なうことを前提に、発生する熱ロスをHPからの出口熱量の5%程度として熱供給量を以下のように計算する。

$$\text{熱供給量} = 3,923,800\text{kWh} \div (1 - 0.05) \approx 4,130,000\text{kWh}$$

$$\therefore \text{熱ロス} = 4,130,000 - 3,923,800 = 206,200\text{kWh}$$

このロス分を施設の需要量に加えて供給量を再計算する。

熱供給センターからの要供給量

(kWh)

		需要量	熱配送ロス	供給量
施設合計	暖房	2,246,000	118,000	2,364,000
	冷房	543,000	28,000	571,000
	給湯	1,134,800	60,200	1,195,000
	合計	3,923,800	206,200	4,130,000

		夏季	冬季	中間季	年間計
施設合計	暖房	0	1,903,000	461,000	2,364,000
	冷房	571,000	0	0	571,000
	給湯	168,300	450,300	576,400	1,195,000
	合計				4,130,000

つぎに用途別エネルギーのピーク負荷と設備容量を求める。

上の表から1日あたりの平均供給量を整理してみると：

季節別1日平均エネルギー需要量

(kWh)

	用途	夏季 (62日)	冬季 (120日)	中間季 (183日)
1日当たり平均	暖房	0	15,858	2,519
	冷房	9,210	0	0
	給湯	2,715	3,753	3,150

となり、1日の運転時間を9時間とした場合のエネルギー供給量のピーク値は：

季節別のエネルギー供給ピーク負荷

(kW)

	用途	夏季	冬季	中間季
ピーク負荷量	暖房			
	冷房			
	給湯			

となる。

以上の数値から、新たな熱供給設備を導入する場合の熱供給設備の容量は、それぞれのピーク値から、

暖房設備： _____ (加熱能力)

冷房設備： _____ (冷却能力)

給湯設備： _____ (加熱能力)

と計算される。

⑦対応機種の確認

HPメーカーは多いが、ここでも「概論コース」で講演されたGHP社の代表的な仕様書を参照しながら、機種構成を考えてみたい。

加熱能力、冷却能力別にどのような機種が市場にでているか、このプランではどのような機種をどう組み合わせたらよいかなどを概略的にグループで検討する

選択例としては、大容量の機種で加熱能力 250kW 前後、8 台となる。

⑧地下水還元方式HPシステム利用の全体像

二通りある地中熱源HPシステムのうち、このモデルでは経済性の面で比較的有利と考えられる『地下水還元方式』を採用する。地下にそれだけの水源＝帯水層があることが前提である。

全体の姿を定量的に描く場合の前提条件を次のように設定する。

帯水層からの採熱	13℃で汲み上げ8℃で戻す
HP熱源利用温度差	5℃
井戸の深さ	帯水層の条件、水脈的環境問題を考慮し100 mとする
温水入口温度（戻り）	40℃
温水出口温度（利用温度）	45℃
HPの加熱時のCOP	先端機種で3.6とする
HPの冷却時のCOP	先端機種で3.4とする

全施設に供給すべき1日あたりの熱量のピークは上の表から、冬季暖房用 15,858kWh + 冬季温水用 3,753kWh = 19,611kWh/日である。これが確保できれば夏季も中間季も冷房用も確保できる。

しかしHPをCOP 3.6で機能させると、HPにより付加される電力エネルギー量が、

$$19,611\text{kWh} \div 3.6 = 5,448\text{kWh}$$

あるので、地中からは、1日あたりピーク時で

$$19,611\text{kWh} - 5,448\text{kWh} = 14,163\text{kWh}$$

の採熱量を確保すればよいことになる。

5℃の温度差で14,163kWhの熱量を得るには、ピーク時でみて

$$14,163\text{kWh/日} \times 860\text{kcal/kWh} \div 5^\circ\text{C} = 2,436,036\text{L} = 2,436\text{ m}^3/\text{日}$$

の地下水を汲み上げる必要がある。

またヒートポンプのAPF(実稼働COP)を3.5とすれば、熱需要量4,300,000 kWh/年を得るにあたって地中から採取すべき年間エネルギー量は、

$4,300,000\text{kWh} - (4,300,000 \div 3.5) = 2,950,000\text{kWh/年}$
 となり、汲み上げるべき年間の地下水の量は、
 1kWhの熱量を汲み上げるに要する地下水量は
 $2,436\text{ m}^3 \div 14,163\text{kWh}$ であるから
 $2,950,000\text{kWh} \times (2,436\text{ m}^3 \div 14,163\text{kWh}) = 513,016\text{ m}^3/\text{年}$
 となる。

井水主管の口径が250 A (※) の場合、100mの深さの井戸から26kWのポンプを使うと毎分約3 m³ = 180 m³/hの揚水ができるという設計例がある。この場合のポンプ効率は0.55になっている。

揚水の原単位は、 $26 \div 180 = 0.144\text{kWh}/\text{m}^3$ になるが、ここでは圧力損失をやや多く見込み、揚水の電力原単位を0.200kWh/m³に設定する。

仮に26kWのポンプを10時間稼働させると1日1,300 m³の揚水ができる計算であるが、ポンプ1台では足りない。設備に十分な余裕を持たせて口径250 A × 2本を敷設して対応させることにする。

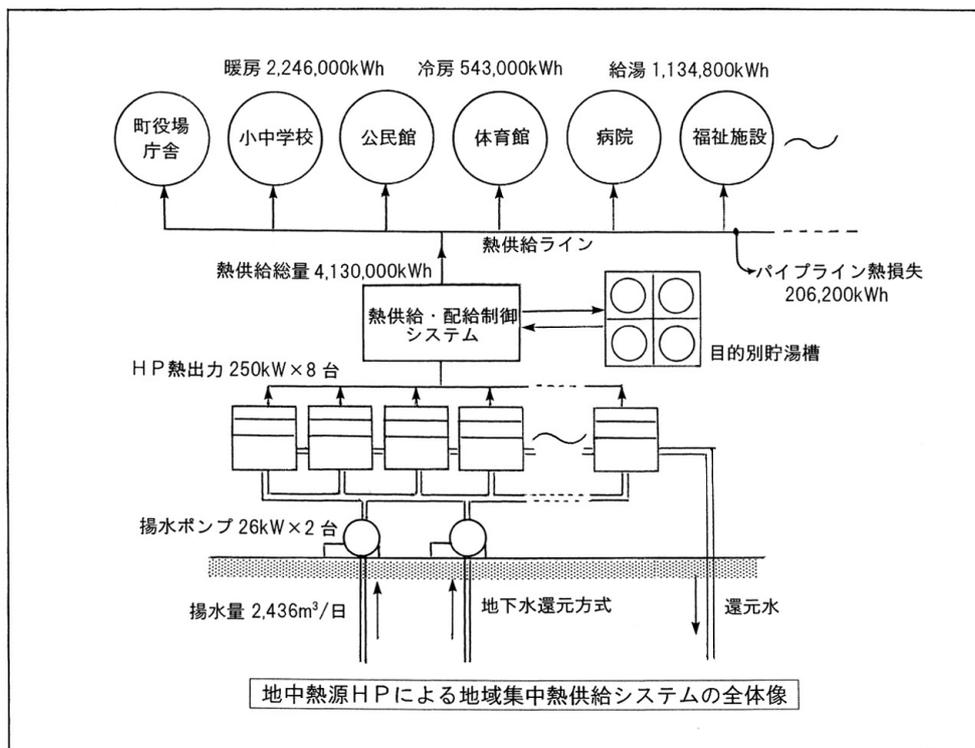
※ Aは「呼び径」で250Aはほぼ250mm程度である。

揚水ポンプは2台52kWになるが、年間消費電力量は、年間揚水量が513,016 m³であるから、揚水用電力消費量は

$$513,016\text{ m}^3 \times 0.200\text{kWh}/\text{m}^3 = 102,606\text{kWh}$$

になる。

⑨概略レイアウトの作成



(5) 事業性の検証

①概算事業費の想定

HPの機種は『水熱源ヒートポンプ』である。HPの設備容量については、年間のピーク時 19,611kWh/日を9時間の稼働（揚水は10時間）で供給できる容量になるので、設備容量は、 $19611\text{kWh} \div 9\text{時間} = 2,179\text{kW}$ の加熱能力ということになる。稼働時間にアローワンス（9～10時間）をみれば約2,000kW、250kW×8台で可能になる。

熱供給センターは、6施設の熱需要に対する供給を請け負うことから、負荷は一定せず絶えず変動すると考えられるので、HP8台をマルチ制御することによって設備の運転効率を上げることができよう。

以下に事業費の一例を示す。

事業費の一例		金額：千円
項目	積算基礎	金額
地中熱源関係		
取水及び還元井	250A×100 m×2本	10,000
井水配管工事	一式	16,000
揚水ポンプ等	26 kW×2台ほか付属機器共	7,800
ヒートポンプ関係	加熱容量 250 kW×8台 @48,000 円/kW	96,000
電気設備	一式	4,000
その他雑工事費	建屋を含め一式	12,000
地中熱源関係計		145,800
熱供給利用関係		
各施設への配管工事	延 1,200 m 共通費@55,000	66,000
施設内改良工事	別途、受益者負担	—
熱供給関係計		66,000
事業費合計		211,800
公的資金への期待額	補助率 67%程度を期待	142,000
事業者負担額		69,800

※実際の事業費はケースバイケースであり、標準事業費というものもない。この数値は複数の情報に基づくひとつの目安である。導入サイトの条件、設備販売の取り扱いマージンや、一括請負させた場合のマージンをどうみるかでも金額は変動する。また国の補助制度は年々変わることが多いので、プラン策定にあたってはその都度確認する必要がある。

②事業資金源の確保

上記試算例では、公的資金への期待額を事業費の2/3と仮定したが、再生エネを利用した省エネルギーシステムの代表格である地中熱HPシステム導入に際しては多くの助成措置が用意されている。ここでは（社）新エネルギー導入促進協議会の平成23年度、再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業から導入事例集を参照しながら実情を俯瞰する。

再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業からの
導入事例集に基づき自由討議

- ③HPなし＝従来型熱源機器利用の場合のエネルギー消費量と事業資金
(4) ⑥に記載した熱エネルギー消費量を再掲する。

季節別1日平均エネルギー需要量 (kWh)

	用途	夏季 (62日)	冬季 (120日)	中間季 (183日)
1日当たり平均	暖房	0	15,858	2,519
	冷房	9,210	0	0
	給湯	2,715	3,753	3,150

1日の運転時間を9時間とした場合のエネルギー供給量のピーク値は：

季節別のエネルギー供給ピーク負荷 (kW)

	用途	夏季	冬季	中間季
ピーク負荷量	暖房		1,762	280
	冷房	1,023		
	給湯	302	417	350

給湯を兼ねた灯油ボイラの設備費は以下のように推計した。

- ・集合住宅では灯油ボイラも集中式でいわゆる給湯セントラル方式を採用
- ・集合住宅150戸は5つのブロックに分かれる。
- ・公共施設は6か所すべてに導入
- ・最大加熱負荷の1施設平均は： $(1,762 + 417) \div (5 + 7) = 182\text{kW}$
- ・設備単価@1,600千円として12台で19,200千円
- ・設置工事費、灯油タンク、貯湯タンクなど付帯設備が12か所で、23,000千円、あわせて42,200千円
- ・室内工事費は比較対象外とする

冷房設備は電気式エアコンとし、以下のように機器費本体のみ推計した。

- ・家庭用エアコンは300台、冷房能力は4kW/台とすると合計出力は1,200kW
- ・ピーク分散率を30%とするとピーク時負荷は70%の840kW
- ・業務用パッケージ型エアコンは6施設×平均5台＝30台、冷房能力は10kW/台とすると、合計出力は300kW
- ・ピーク分散率を40%とすると、ピーク時負荷は60%の180kW
- ・総合計では1,020kWになり、想定値の値と一致する。
- ・家庭用エアコンは@140,000円、300台で42,000千円
- ・業務用パッケージエアコンは本体@300,000円、30台で9,000千円

- ・合わせて 51,000 千円
- ・室内工事費は比較対象外とする

④導入メリットの計算

これまでのデータをもとに、システム導入前後の比較の形での経済計算を行なう。
地域の立地条件から、灯油の価格は 100 円 /L、L P G は 600 円 /Nm³ とする。また電力は増減分だけを対象とした。

比較経済計算の一例 (消費税抜き、補助金は 2/3)

金額：千円

項 目	計 算 基 礎	金 額
<u>システム導入前</u>		
灯 油 代 金		
L P G 代 金		
家庭用基本料金	導入前後で不変のため計上省略	—
業務用基本料金	導入後に純増分計上のため計上省略	—
冷房用電力量料金		
メンテナンス費用	熱需要量あたり 1 円/kWh(分散的)	3,900
導入前コスト計		
<u>システム導入後</u>		
<u>比例費</u>		
揚水用電力量料金	(注 1)	
HP用電力量料金	(注 2)	
電力基本料金純増	(注 3)	
メンテナンス費用	集中管理。月額 200,000 円	2,400
比例費計		
<u>固定費</u>		
減 価 償 却 費	(注 4)機器 10 年。構築物 20 年	5,268
固 定 資 産 税	準公共施設として免除	—
損 害 保 険 料	機器費 107,800×0.5%	539
センター管理費	既存の担当者により共同管理	—
公 募 債 利 子	69,800 千円×2%	1,396
固定費計		7,203
導入後コスト計		
導入前後のコスト差		
ランニングコストメリット		
資金回収年限	補助額控除後 = 6.6	年
	補助なし = 19.9	年

注 1. (4) ⑧から

注 2. 暖冷房給湯計 4,130,000 kWh ÷ COP3.5 (平均) = 1,180,000 kWh

注 3. 揚水用：26 kW × 2 = 52 kW、HP用：2,179 kW ÷ COP 3.5 = 623 kW
計 675 kW、余裕率 15%として ≃ 770 kW

エアコン分がなくなるので最終的に増分は 700kW とした。

注 4. 減価償却費は補助金分を圧縮記帳で計算。

ポンプ+HP+電気設備：107,800 × (1-0.67) = 35,574 千円は 10 年償却。

残り 69,800-35,574 = 34,226 千円は 20 年償却

総事業費 211,800 千円に対する公的補助が 2/3 付与されるという前提のもとでの計算であるが、初期投資額の中の事業者負担分 69,800 千円はランニングコストメリット 10,617 千円により 6.6 年で回収ができるという結果になっている。仮に事業者負担分が 50%であったとしても 10 年程度での回収が可能であろう。

特に、現状の分散型熱源システムを集中型にして新たなシステムを導入する点にメリットが生まれていることを読み取ることができよう。

公共施設であることから、経常経費削減率をみると、

$$10,617 \text{ 千円} \div 44,972 \text{ 千円} = 23.6\%$$

という削減効果が現れており、優れた省エネ案件となろう。

地中熱源 HP システムと空気熱源 HP システムとはサイトにおいて常時比較されるが、夏季と冬季の COP の差が両者の優劣を左右するものであるため、地中熱源 HP システムがいつもこのモデルのような良好な経済性を示すとは考え難い。

このモデルでは地中の熱源を利用するものであるが、都会においては河川の熱（地表の温度の変化率より小さい）を利用した地域冷暖房給湯システムの例が多々あり、大規模化と負荷の平準化によるメリットで事業性を確立している。

なお、このプランの公的補助が仮に 50%であったとしても投資の回収期間は

$$211,800 \times 1/2 \div 10,617 = 9.97 \text{ 年}$$

で、10 年程度での回収ができる計算である。

また、このプランを、HP システム導入の場合と、在来方式の場合とで比較し、投資額の増加分が何年で回収できるか、という計算をしてみると、

$$\text{投資額増加分} = 211,800 - (42,200 + 51,000) = 118,600 \text{ 千円}$$

になって、これをランニングコストメリットでは、

$$118,600 \div 10,617 = 11.2 \text{ 年}$$

で回収できる計算になる。しかしこのような考え方は管理会計的な考え方であり、地方公共団体等で採用している財務会計とは相容れないものである。

以上の点について自由討議を行う

⑤事業性向上のためのエンジニアリング検討

テーマ	課題と対策
1. 熱供給センター	熱供給センターは集合住宅と6つの公共施設への熱供給を集中的に一元管理する形になっているが、これらの負荷は不安定で絶えず変動する。集合住宅と公共施設は熱消費パターンが相互補完的なのか、それとも逆補完てきなのか、その辺の分析次第では熱供給センターを2か所にするという選択肢も出てくるだろう。シミュレーションプログラムを組んで代替案の創造的検討が望まれる。
2. HPのマルチ制御システム	このプロジェクトは見方を変えると、『熱のスマートグリッド』構築を狙うものと見ることもできる。そうであれば、熱の最終需要家と熱供給センターとの間で情報のやり取りを行い、HPのマルチ制御システムによって熱供給を効果的に行うシステム作りが課題になる。
3. 熱の搬送システム	地中搬送か架空搬送かはひとつの大きな検討テーマである。工事費と熱損失率との関係からレイアウトをふくめた最適解を見出す必要があるだろう。
4. 工事費	地中熱HPプロジェクトの成否は工事費にあるといわれている。大幅削減を習熟度の高いシビルエンジニアリングに期待することで工事費の大幅削減も可能になるだろう。

⑥環境効果

プランから期待される環境効果をCO₂排出量削減量と原油換算削減量によって試算した。電力のCO₂排出係数は平成18年3月発表の環境省「改正地球温暖化対策推進に関する法律施行令」に基づく0.555kg/kWhを採用した。その他エネルギーの排出係数を含め詳細は用語集参照。また、CO₂1t(年ベース)削減に要する初期投資額をも試算した。

環境効果

エネルギー消費量		CO ₂ 削減効果		原油換算削減効果	
		排出原単位	CO ₂ 排出量	消費原単位	原油消費量
現状ベース					
電力	271,500kWh	0.555kg/kWh	150.7 t	0.254L/kWh	69.0 kL
灯油	384,292 L	2.514kg/L	966.1 t	0.961L/L	369.3 kL
LPG	2,141Nm ³	5.89kg/Nm ³	12.6 t	2.63L/Nm ³	5.6 kL
計			1,129.4 t		443.9 kL
地中熱源HP導入					
電力	1,282,606kWh	0.555kg/kWh	711.8 t	0.254L/kWh	325.8 kL
計			711.8 t		325.8 kL
差引削減量			417.6 t		118.1 kL
削減率			37.0 %		26.6 %

CO ₂ 削減量	初期投資額	CO ₂ 1t削減に要する投資額
417.6 t/年	211,800 千円	507 千円/t

付記：電力はシステム導入に関わる増減分を対象にしており、照明などの既存分（導入前後で変動しない）は対象にしていない。

[演習の最後に再確認]

次の工程表により、演習のプロセスをフォローし確認する
(工程表はコピーを配布)