

京都市地中熱利用可能性調査業務

報告書

平成 30 年 3 月

京都市

目次

第1章	はじめに.....	1
1	調査の目的.....	1
2	位置付け.....	1
3	地中熱の概要.....	2
第2章	本市の地域特性.....	5
1	自然環境.....	5
2	社会特性.....	5
3	気象.....	5
4	地形・地質・地盤.....	6
5	地下水と地中の温度.....	7
第3章	地中熱に関する現状.....	8
1	国内の状況.....	8
2	全国の導入事例（表1）.....	10
3	市内の導入事例（表2）.....	12
第4章	導入シミュレーションによる効果検証.....	14
1	導入シミュレーション手順.....	14
2	条件の設定.....	14
3	対象施設の選定（規模別・用途別）.....	16
4	導入シミュレーションによる効果検証.....	18
第5章	導入可能性の評価.....	30
1	シミュレーション結果からの考察.....	30
2	本市における地中熱利用システムの導入可能性.....	31
	用語集.....	33

第1章 はじめに

1 調査の目的

京都市地中熱利用可能性調査業務では、「京都市地球温暖化対策計画」(平成29年3月改定)及び「京都市エネルギー政策推進のための戦略」(平成25年12月策定)を踏まえ、本市における地中熱の利用可能性についての調査を実施します。

地中熱に関する情報から、地中熱を利用する建築物への導入シミュレーションによる効果検証を行い、本市における利用可能性について評価することを目的とします。

2 位置付け

図1に本市の環境分関連の計画の体系を示します。

地中熱の利用については、「京都市地球温暖化対策計画」では、目指すべき姿として掲げる6つの低炭素社会像3として“エネルギー創出・地域循環のまち”を掲げており、その具体的取組のひとつとして、地中熱利用の導入の推進が挙げられています。

また、「京都市エネルギー政策推進のための戦略」では、再生可能エネルギーの飛躍的な普及拡大を掲げており、地中熱も含め、あらゆる導入可能性を追求することとしています。

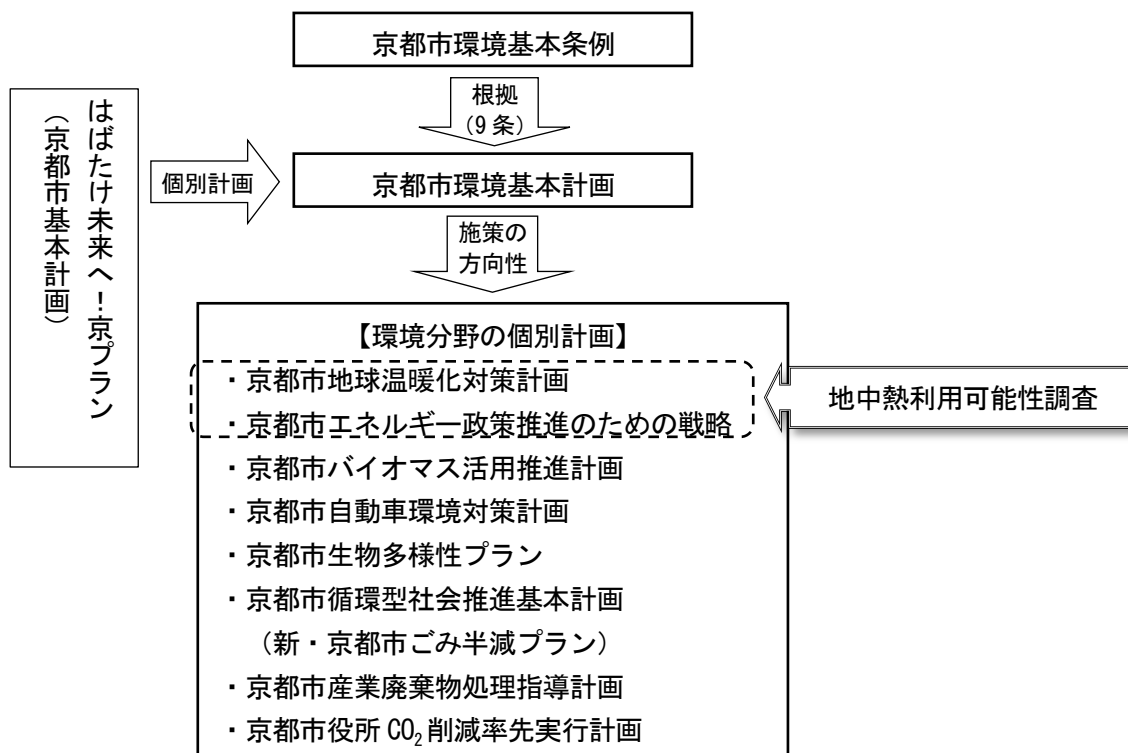


図1 京都市の上位関連計画

3 地中熱の概要

(1) 地中熱とは

地中の温度は年間を通して一定の温度を保持しており、冬は暖かく、夏は冷たい地下水や地盤と熱のやり取りをすることで、天候に左右されない、季節・昼夜を問わない利用可能な熱源となります。

具体的には建物の冷暖房・給湯、プール・温浴施設の給湯、道路等の融雪、農業ハウスの冷暖房などに利用されています。

一般的なエアコンは屋外の空気を熱源にしているため夏は暑い外気から室温を下げ、冬は冷たい外気から室温を上げるために稼働しています。地中熱を利用すると、夏も冬も一定のほどよい温度を熱源とするため温度差が減り、少ない電力で快適さを維持することができるようになります(図 2)。

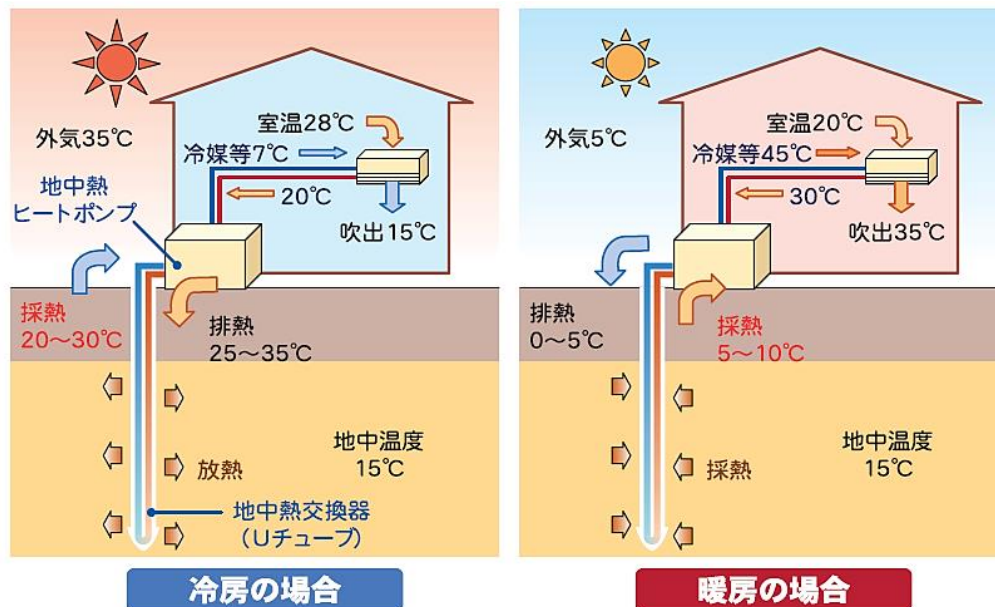


図 2 地中温度を利用するイメージ

出典：環境省 地中熱利用システム

(2) 地中熱の利用

地中熱の利用には、ヒートポンプを利用するもののほか、空気や水を循環させる、熱を伝えるなどの方法があり、用途に合わせて選定します（図 3）。

ヒートポンプシステム		空気循環
クローズドループ方式	オープンループ方式	
<p>ヒートポンプの熱源として空気熱の代わりに地中熱を利用する方法。 クローズドループ方式：深度 100m 程度までの地中熱交換機に不凍液等を循環させ、ヒートポンプで熱交換させる。 オープンループ方式：井戸から揚水した地下水をヒートポンプで熱交換させる。</p>		<p>地中に埋設した熱交換パイプ、あるいはダクトに外気を導入・通気し、熱交換された空気を室内に取り込む。</p>
<p>住宅、ビル等の冷暖房・給湯 プール・温浴施設の加温 農業施設の空調 路面の融雪・凍結防止</p>		<p>住宅、ビル等の保温、換気</p>
熱伝導	水循環	ヒートパイプ
<p>土間床を介した利用方法で、地中から伝わる熱によって住宅の保温を行う。 一般的にエアコンを併用して空調を行うことが多い。</p>	<p>クローズドループ（地中熱交換）方式：地中熱交換機に熱交換機を挿入し、これと路面に埋設した放熱管との間に不凍液を循環させる。 オープンループ（地下水循環）方式：地下水を揚水し、それを路面に埋設した放熱管に通過させ、その地下水の持つ熱により路面の融雪・凍結防止を行う。 いずれも放射冷房棟、融雪以外の利用例もある。</p>	<p>冷媒との蒸発と凝縮で熱を移流させるシステムで、深さ 15～20m の熱交換井に冷媒が封入されたヒートパイプを数本挿入し、その上部を路面下に放熱管として埋設する。 降雪時など路面が低下すると冷媒が自然に液化と蒸発を繰り返し、地中熱が路面へ運ばれ融雪・凍結防止が行われる。</p>
<p>住宅の保温</p>	<p>住宅、ビル等の冷房 路面の融雪・凍結防止</p>	<p>路面の融雪・凍結防止</p>

図 3 地中熱のさまざまな利用方法
 環境省「地中熱利用システム」を基に作成

(3) 地中熱のメリット・デメリット

地中熱のメリットは、設置した場合の電気料金や燃料などのランニングコストが低減できることです。現在、建物の電力使用において、空調設備は大きな割合を占めているため、月々の電力料金が削減できることが大きなメリットとなります。

これらの経済的効果とともに、環境負荷低減効果として化石燃料の削減による温室効果ガス(CO₂)削減や、冷房時に室外機から排熱を出さないため、ヒートアイランド現象の緩和に貢献できます。

また、太陽光や風力発電と異なり天候による影響を受けず、年間昼夜を通して安定した自然エネルギーとして利用ができます。

デメリットとしては、地中からの熱を得るために、井戸または杭のための掘削が必要となるため、初期設置時の費用が割高となること、掘削場所の確保や工事期間が長くなることもあります。

還元井を設置し、利用後の水を地下へ還元する場合や公共用水等へ放流する場合は放流先の排水基準等の規制状況を確認しておく必要があります。

第2章 本市の地域特性

1 自然環境

本市は、京都府の南部に当たる山城盆地の北側を占めており、南北にかけて細長く帯状に広がっています。

東、北、西の三方を山に囲まれた盆地となっており、市内を鴨川と桂川が貫流しています。市街地は、盆地の平野部に連なって広がり、北山の奥深くまで市域がのびていますが、山林原野が広く、約73.5%（約4分の3）が森林となっています。更に、市域の3.9%は農耕地が占めるため、市街地の面積は20%程度となっています。

2 社会特性

人口は約148万人（平成27年国勢調査）になります。特性は、観光客による交流人口の増加があります。平成28年中に本市を訪れた観光客は5,522万人で一日平均すると約15万人にもものぼります。

本市は大きな戦災を免れたことから、伝統的な木造建築物の占める割合が特に高くなっており、京町家の存在がまちなみの景観形成に大きな役割を果たしています。

市街地は、都心部や伏見の中心部など古くから市街地であったところを中心に拡大してきましたが、早くからの風致地区の指定などの取組によりその拡大は限定されています。

埋蔵文化財が多く、市内にはおよそ800箇所の遺跡があり、遺跡の範囲内で開発工事や掘削工事を行う場合は届出が義務付けられています。

3 気象

本市の気象は盆地形状であることから、夏と冬や朝晩の気温差が大きいという特徴があります。冬は「京の底冷え」と言われるほど寒さが厳しく、夏は最高気温が30℃を超える日も珍しくありません。また、北部の北山には「北山しぐれ」と呼ばれるようにたくさんの雨が降り、水源地となっています。

図4～図5は気象庁の過去のデータを基に気温や降水量の推移を表したものです。

市街地の過去10年間の夏季の最高気温は31.6～39.1℃、冬季の最低気温は0.6～-4.1℃となっています。真夏日の平均日数は79.2日、猛暑日の平均日数は20.9日、真冬日は20.6日となります。

本市の過去10年間における年平均降水量は1,530mmとなります。降水量は6月・7月・9月が多く、11月から2月にかけて少なくなります。

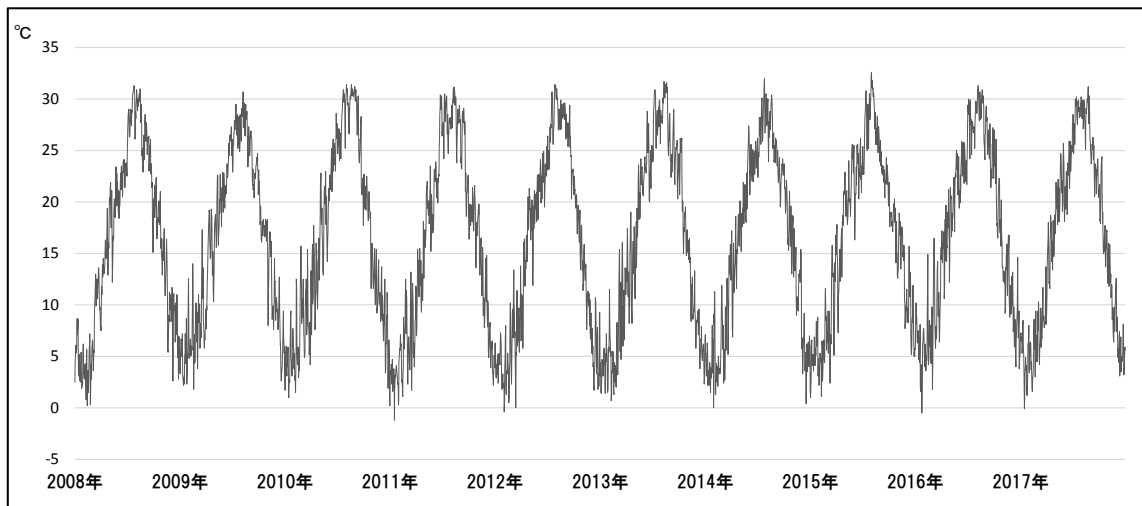


図 4 京都市の過去 10 年間の平均気温
気象庁データを基に作成

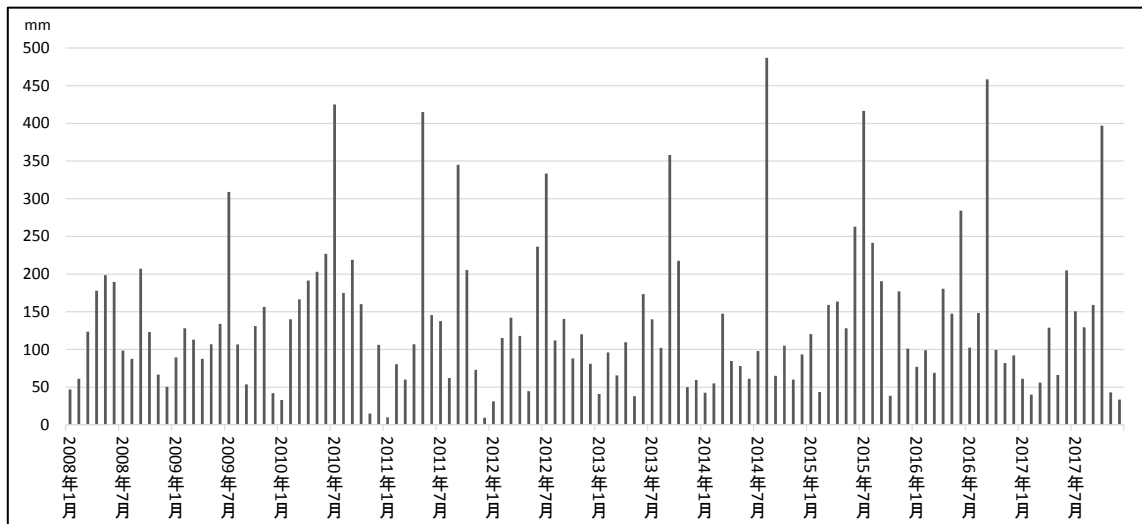


図 5 京都市の過去 20 年間の年間降水量
気象庁データを基に作成

4 地形・地質・地盤

本市は三方を北山，東山，西山に囲まれており，山地，丘陵，段丘，低地の順に雛壇状に配列されています。京都盆地と山科盆地に市街地が形成されています。市内を流れる主要な河川は桂川，宇治川，鴨川であり，市の南部で合流し，淀川となります。

京都市街地では沖積層が洪積層を覆っています。洪積層は北部では砂礫，南部では泥土が多く含まれています。山科盆地（東山区）では古生層の岩盤迄の深さは浅く，伏見区においては 230m で基盤に達していません。京都盆地の周辺には，山麓に沿って古生層を基盤とする大阪層群（下部洪積層）の堆積物が見られます。

5 地下水と地中の温度

本市の地下水温は、「全国地下水(深井戸)資料台帳「近畿編」(昭和39年編)」によると、一般に16～17℃となっています。

また、「自然地下水調査法(日本国内863箇所の地下水温)」(竹内篤雄著、平成29年発行)によると、本市の地下水温は17～19℃との調査結果を得ています。

一方、気象庁の農業気象資料によると本市の地中温度は、深度5mにおいて年間を通して13.3～18.7℃でなだらかに推移しています。この資料の調査期間は1931～1948年であり、当時の平均気温と過去10年の平均気温を図6に表しています。

京都市庁舎敷地内の測定データによると深度30mで16.3～17.6℃、深度100mで15.6～17.3℃と安定した地中温度となっています(図7)。

地下水温は地表面温度の影響を受けるため、平均気温が上昇すると共に地下水温も上昇しています。地下水温は地中温度と平衡状態にあり、深度10～20mで年変化がほとんどなくなり、安定した温度を保っています。

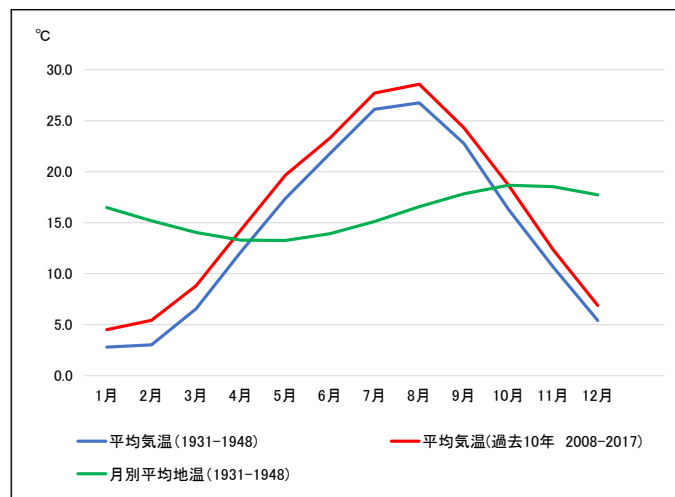


図6 京都の平均気温と平均地温

「地中温度等に関する資料」(農業気象資料第3号, 1982)を基に作成

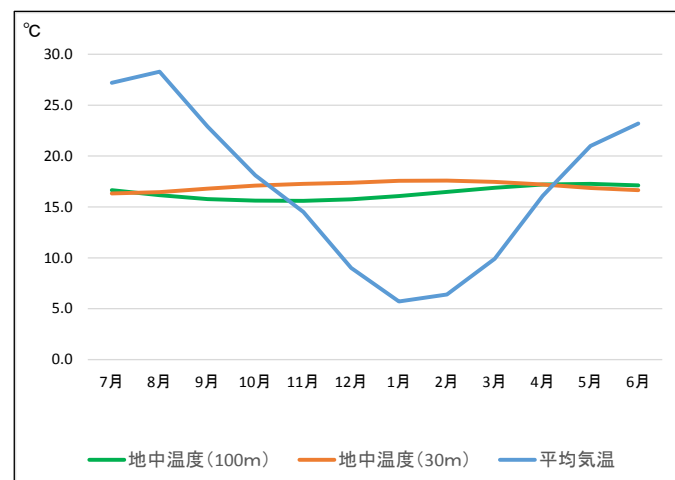


図7 京都市庁舎敷地内の地中温度

(期間: 2015.7～2016.6)

第3章 地中熱に関する現状

地中熱の利用は、気象の影響を受けず自然界のエネルギーを利用できる優れた再生可能エネルギーですが、国内では太陽光や風力と比較し普及が進んでいないのが現状です。

前章で本市の地域特性を整理しましたが、地形や気象条件から地下水の豊富な地域であることが分かっており、古来より町なかに井戸が多く産業にも活用されており、地中の恩恵を活用してきた土地柄となっています。盆地のため、気温の高低差が大きく空調に使用するエネルギーも多いことから、今後、地中熱の導入を図ることは再生可能エネルギーの導入に有効な手段の一つと言えます。

1 国内の状況

地中熱の利用状況については環境省が継続的な調査を行っており、2016年3月までの地中熱利用設備の設置件数は6,877件で、方式別に見るとヒートポンプシステムが2,230件(32.4%)、空気循環システムが1,919件(27.9%)、水循環システムが1,781件(25.9%)となっており、この3方式が全体の86.2%を占めています(図8)。

ヒートポンプシステムの設置件数を地域別でみると、北海道が598件と最も多く、本州では、秋田県、東京都、岩手県、長野県、青森県、新潟県等、主に寒冷地域での導入件数が多くなっています(図9)。

用途別では、ヒートポンプの導入先の種類を見ると、住宅が最も多く次いで事務所や公共施設で利用されています。その他、道路や農業施設の温室などにも幅広く利用されています(図10)。

日本では、昭和48年のオイルショックを契機に立ち上がったサンシャイン計画が、地中熱より地熱エネルギーに重点を置いた計画となったため、これが地中熱の普及開発が遅れた原因となっています。平成22年にエネルギー基本計画に位置付けられ、地中熱利用設備は「エネルギー環境適合製品の開発及び製造を行う事業の促進に関する法律」(低炭素投資促進法)においてエネルギー環境適合製品の支援対象に指定されました。また、翌平成23年より地中熱に関する研究開発に対して助成制度が始まったことにより、設置件数が徐々に伸びています。

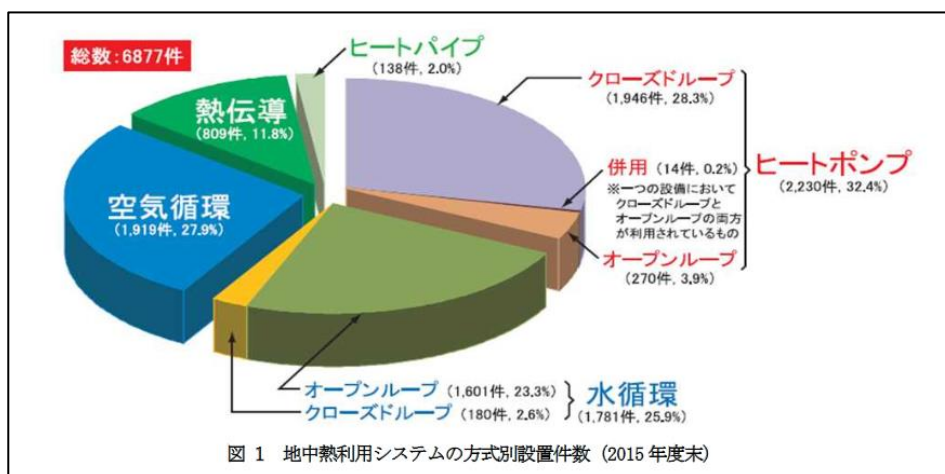


図8 地中熱利用システムの方式別設置件数(2015年度末)

出典：環境省 平成28年度地中熱利用状況調査の集計結果

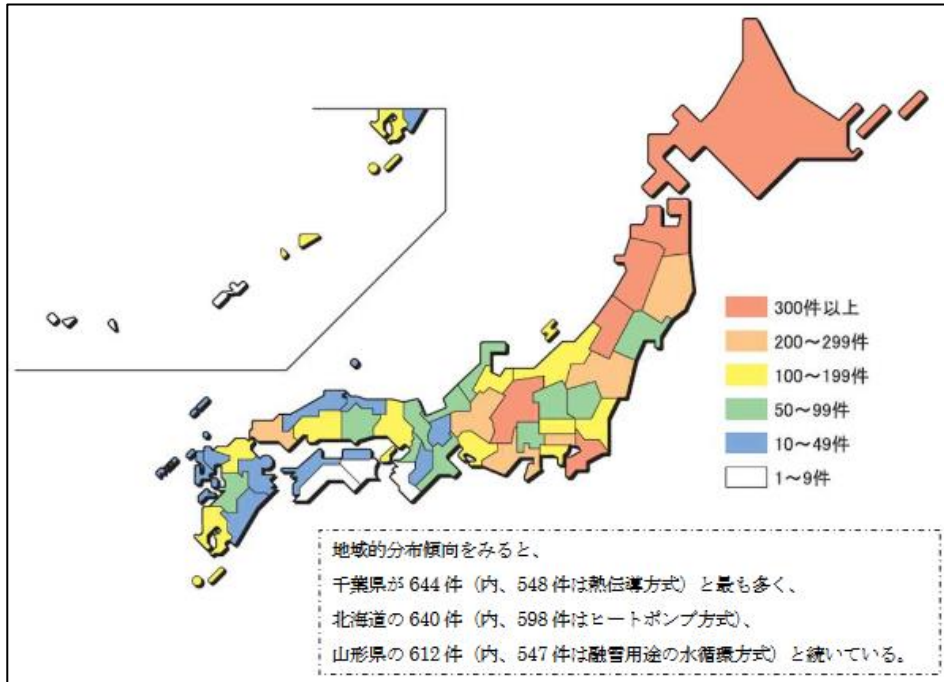


図 9 地中熱利用システムの都道府県別分布（2015 年度末）

出典：環境省 平成 28 年度地中熱利用状況調査の集計結果

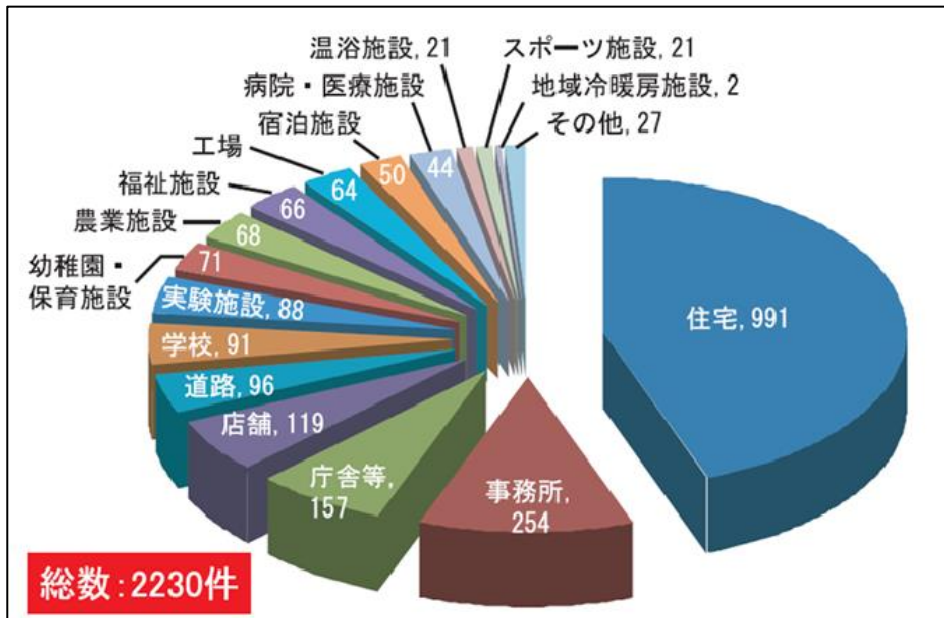


図 10 地中熱ヒートポンプシステムの導入箇所別設置件数（2015 年度末）


出典：環境省 平成 28 年度地中熱利用状況調査の集計結果

2 全国の導入事例（表1）

表1 導入施設例（全国）

住宅		住宅用鋼管杭を利用して地中熱交換機を設置。冷媒で地中熱をと熱交換するので浅層利用，狭隘地でも施工可	
		稼働時期	平成16年
		場所	埼玉県浦和市
		施設用途	住宅（モデルハウス）
		建物規模等	地上2階
		使用用途	空調，給湯
		熱媒体	空気
		設備	冷房：6.8kW 暖房：8.8kW
		水・空気温度	12～13℃

住宅		地中の空気を取込み，換気と循環により室内の温度調整	
		稼働時期	平成22年
		場所	埼玉県越谷市
		施設用途	住宅（モデルハウス）
		建物規模等	地上2階
		使用用途	空調
		熱媒体	空気
		設備	ファン 230W程度
		水・空気温度	17～19℃

事務所ビル 	未利用の既存井戸の地下水を媒体として空調利用	
	稼働時期	平成 24 年
	場所	岐阜県岐阜市
	施設用途	事務所ビル
	建物規模等	地上 3 階 延べ床面積約 400 m ²
	使用用途	空調
	熱媒体	水
	設備	暖房能力 73kW 冷房能力 68kW
	水・空気温度	13°C程度

融雪設備 	駐車場路面下に埋設したヒートパイプで雪を融かす。	
	稼働時期	平成 3 年
	場所	福井県福井市
	施設用途	教職員住宅駐車場
	建物規模等	400 m ² (融雪範囲)
	使用用途	融雪
	熱媒体	水
	設備	水循環無散水式
	水・空気温度	16°C程度

保育園 	2 系統の地中熱利用がされ, 1 系統は地中熱+空気式のハイブリッド設備	
	稼働時期	平成 27 年
	場所	福井県福井市
	施設用途	保育園
	建物規模等	270 m ² (地中熱範囲)
	使用用途	空調, 床暖房, 給湯
	熱媒体	水
	設備 (2 系統)	暖房能力 8.0kW/5 kW 冷房能力 7.5 kW/4 kW
	水・空気温度	16°C程度

3 市内の導入事例（表2）

本市施設では「京都市公共建築物低炭素仕様」（平成26年度3月改定）に基づき、公共建築物の新築，増築及び改修時には，再生可能エネルギー利用設備を積極的に採用することとしており，地中熱利用についても計画段階において導入の検討を行っています。

表2 導入施設例（市内）

<p>京都市庁舎</p> 	<p>地下水を空調の熱源とし，利用した後の地下水は雑用水として多目的に活用する計画</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>稼働時期</td> <td>平成31年度から段階的に稼働</td> </tr> <tr> <td>場所</td> <td>京都市中京区</td> </tr> <tr> <td>施設用途</td> <td>庁舎</td> </tr> <tr> <td>建物規模等</td> <td>58,200 m²</td> </tr> <tr> <td>使用用途</td> <td>空調</td> </tr> <tr> <td>熱媒体</td> <td>水</td> </tr> <tr> <td>設備</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>水・空気温度</td> <td>16～17°C程度</td> </tr> </tbody> </table>	稼働時期	平成31年度から段階的に稼働	場所	京都市中京区	施設用途	庁舎	建物規模等	58,200 m ²	使用用途	空調	熱媒体	水	設備	—	水・空気温度	16～17°C程度
稼働時期	平成31年度から段階的に稼働																
場所	京都市中京区																
施設用途	庁舎																
建物規模等	58,200 m ²																
使用用途	空調																
熱媒体	水																
設備	—																
水・空気温度	16～17°C程度																
<p>京エコロジーセンター</p> 	<p>地中熱と太陽熱を空気熱源として，アンモニア式ヒートポンプで館内の冷暖房を実施</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>稼働時期</td> <td>平成14年</td> </tr> <tr> <td>施設用途</td> <td>公共教育施設</td> </tr> <tr> <td>場所</td> <td>京都市伏見区</td> </tr> <tr> <td>建物規模等</td> <td>2,704 m²</td> </tr> <tr> <td>使用用途</td> <td>空調</td> </tr> <tr> <td>熱媒体</td> <td>空気</td> </tr> <tr> <td>設備</td> <td>冷房：282kW 暖房：275kW (両設備ソーラー込)</td> </tr> <tr> <td>水・空気温度</td> <td>20°C程度</td> </tr> </tbody> </table>	稼働時期	平成14年	施設用途	公共教育施設	場所	京都市伏見区	建物規模等	2,704 m ²	使用用途	空調	熱媒体	空気	設備	冷房：282kW 暖房：275kW (両設備ソーラー込)	水・空気温度	20°C程度
稼働時期	平成14年																
施設用途	公共教育施設																
場所	京都市伏見区																
建物規模等	2,704 m ²																
使用用途	空調																
熱媒体	空気																
設備	冷房：282kW 暖房：275kW (両設備ソーラー込)																
水・空気温度	20°C程度																

<p>伏見区総合庁舎</p> 	オープンループ方式の地中熱を使用し、空調用熱源として使用	
	稼働時期	平成 20 年
	場所	京都市伏見区
	施設用途	庁舎
	建物規模等	14,773 m ²
	使用用途	空調
	熱媒体	水
	設備	冷房：305kW 暖房：341kW
	水・空気温度	15°C程度

<p>京都動物愛護センター</p> 	動物棟の床暖房設備と管理棟の空調に地中熱利用	
	稼働時期	平成 27 年
	場所	京都市南区
	施設用途	京都府・京都市共同運営施設
	建物規模等	地上 1 階 1,273 m ²
	使用用途	床暖房, 空調
	熱媒体	水・空気 (2 系統)
	設備	冷房：33kW 暖房：36kW
	水・空気温度	20°C程度

<p>株式会社鼓月</p> 	食品を扱うため安定した温度管理を必要とし、24 時間稼働の工場棟の空調設備に利用	
	稼働時期	平成 25 年
	施設用途	銘菓工場
	場所	京都市伏見区
	建物規模等	地上 2 階 2,880 m ²
	使用用途	空調
	熱媒体	水
	設備	冷房：559kW 暖房：504kW
	水・空気温度	14~15°C

第4章 導入シミュレーションによる効果検証

1 導入シミュレーション手順

本市域における建築物を対象に、地中熱利用システムの導入シミュレーションを実施します。設備導入に係る初期コストや設備費用の回収期間の長さ等を明らかにするとともに、省エネ効果やCO₂排出量削減効果を算定し、効果を検証します。

導入シミュレーションによる効果検証については、次のガイドライン等を参考にしながら、一般的な導入シミュレーション手順で実施します（図11）。

- ・環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂版」（平成27年3月）
- ・国土交通省「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）」
（平成25年10月）

2 条件の設定

導入シミュレーションの実施にあたっては、対象となる施設の敷地・地中の条件や法的規制を把握したうえで、施設の種類、規模、用途に合った地中熱利用システムを選定する必要があります。

選定した地中熱利用システムごとに設備の導入費用、使用エネルギー及び施設の用途に合わせた稼働時間から投資回収年数、省エネ効果、CO₂排出量削減効果を算定します。

本章では、稼働時間を算定するための冷暖房運転期間を第2章3 気象における市街地の過去10年間の気温データに基づき設定しています。

なお、本市域における北部の山間部は、市街地と比べ気温が低く、外気と地中の温度差から得られるエネルギー量は市街地よりも大きいと言えますが、暖房の長時間使用によるエネルギー使用量の大きさを考慮すると、中長期的なエネルギー収支は、市街地と大きく変わらないと考えられることから、導入シミュレーションとしては、汎用性のある市街地を採用しています。

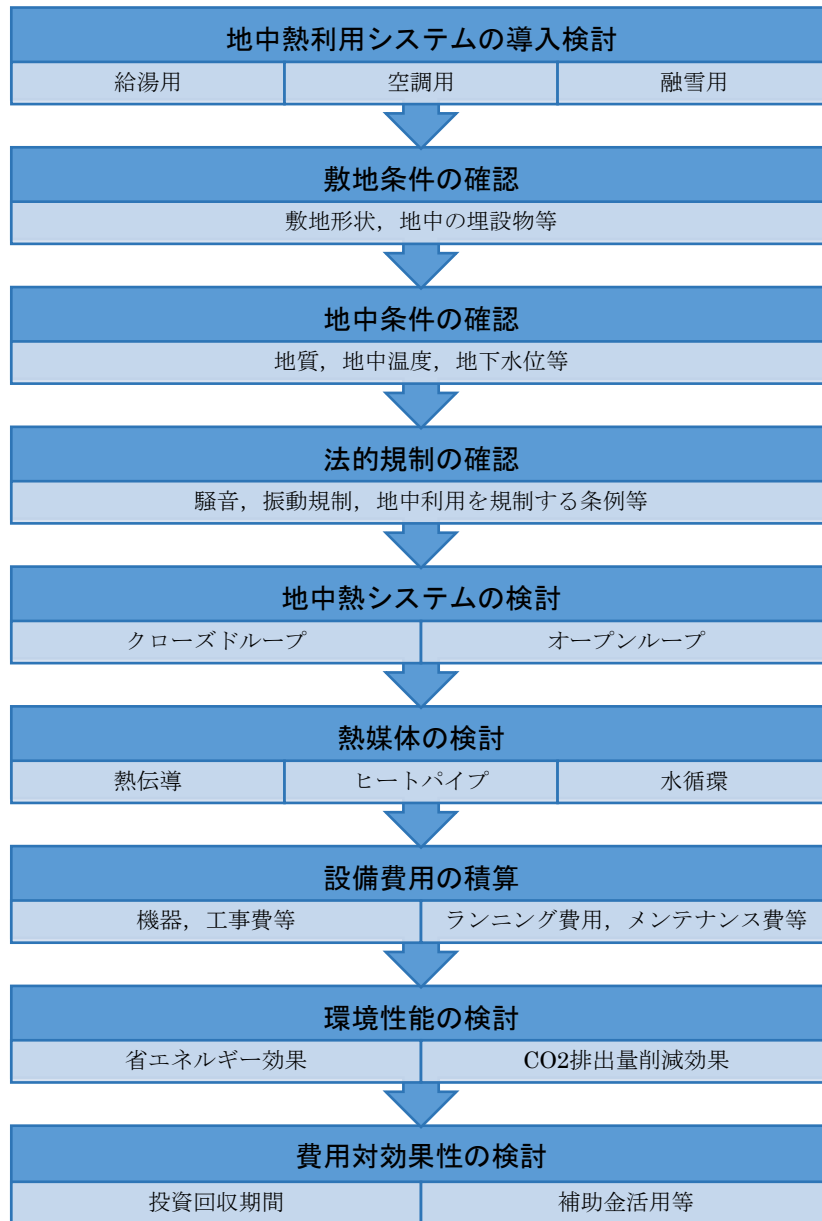


図 11 一般的な導入シミュレーション手順

3 対象施設の選定（規模別・用途別）

本市域での地中熱利用の対象施設を検討するに当たり、規模別・用途別に、汎用性のある一般的な導入シミュレーションのパターンを選定します。

最も小規模な地中熱利用システムとしては住宅用が考えられます（図 12）。市内の都市部においては、住宅が密集しており、地中熱利用の普及促進の観点から、一般住宅への導入可能性を効果検証することは重要と言えます。

(1) パターン① 住宅用（地中熱利用 空気循環式；エコライフ型）

一般的な住宅において、4人家族を想定し、空気を循環させるファンを使用する場合の空調用熱源として、地中熱利用の可能性を検討します。

導入システムは、住宅用で最も普及の進んでいる空気循環式の地中熱利用システムを選定します。

(2) パターン② 住宅用（地中熱利用 空気循環式；快適ライフ型）

パターン①と同様に一般的な住宅の4人家族を対象にしますが、従来型エアコン（ヒートポンプ）を使用する場合の空調用熱源として、地中熱利用の可能性を検討します。

導入システムは、パターン①と同じ空気循環式の地中熱利用システムを選定します。

(3) パターン③ 業務施設 事務所ビル（地中熱利用 クローズドループ方式）

中規模なシステムとして、一般的な業務施設を想定し、建物面積が750㎡程度の4階建ての事務所ビルを想定し、空調用熱源として、地中熱利用の可能性を検討します（図 12）。

導入システムは、本市内の都市部への導入を想定しているため、既存の地下水への影響も考慮して、地中熱を利用したクローズドループ方式を選定します。

(4) パターン④ 業務施設 スポーツジム（地中熱利用 クローズドループ方式）

パターン③と同規模である建物面積が750㎡程度の4階建ての業務施設としますが、地中熱利用システムは、空調以外の熱需要が高く、施設の稼働時間が長いほど、導入効果が高く現れる傾向があります。よって対象設備として、スポーツジムの温水プール用、浴室用及び空調用の熱源として、地中熱利用の可能性を検討します。

導入システムは、パターン③と同じ地中熱を利用したクローズドループ方式を選定します。

(5) パターン⑤ 農業施設 温室（地下水利用 オープンループ方式）

地中熱利用の新たな用途として期待される農業施設を想定し、空調用熱源として、地中熱利用の可能性を検討します（図 12）。本市域の郊外地区では、京野菜農園をはじめ、農業用の施設が多数存在するため、地中熱の普及拡大に向けて、新たな導入可能性を検討する意義があると考えられます。

導入システムは、クローズドループ方式よりも経済性に優れる、地下水を利用したオープンループ方式を選定します。汲み上げた地下水は、農業施設での利用等を想定し、既存の地下水への影響を与えないことに配慮します。

以上を踏まえ、規模別・用途別に導入シミュレーションを実施するパターンを示します(表 3)。

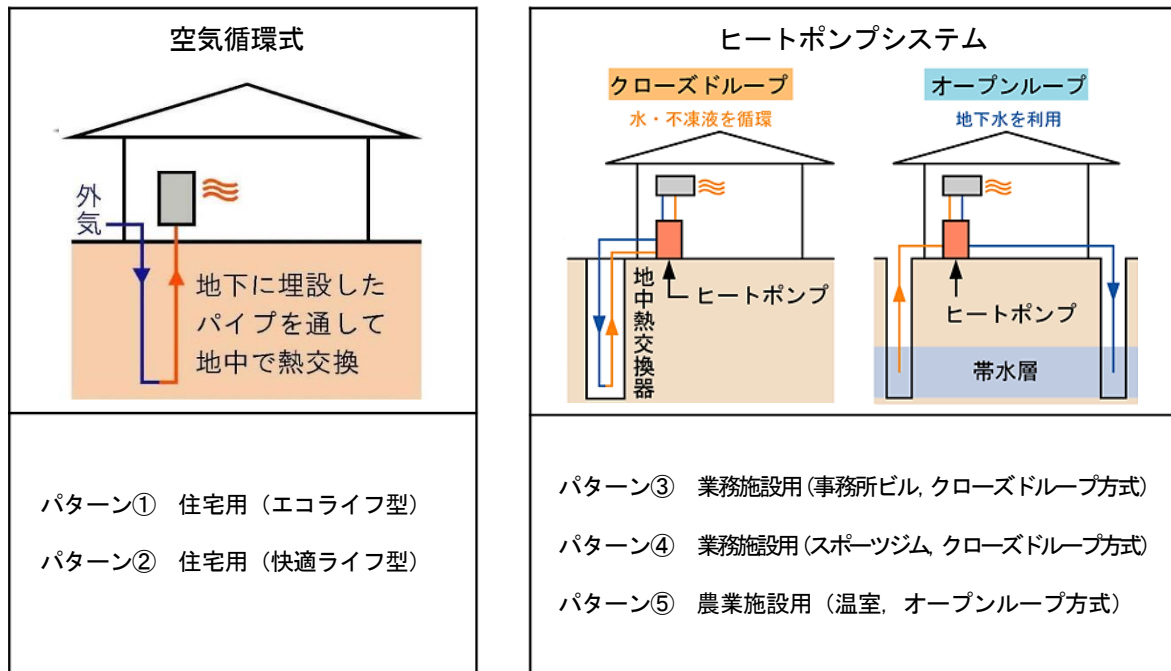


図 12 導入シミュレーションパターン

出典：地中熱利用にあたってのガイドラインを使用して作成

表 3 パターン別検討条件

パターン	対象施設	延床面積	導入用途	導入方式	熱源
パターン① エコライフ型	住宅 (新設)	250m ²	空調用	空気循環式	地中熱
パターン② 快適ライフ型					地中熱
パターン③	業務施設 (事務所ビル) (新設)	3,000m ²	空調用	クローズド ループ方式	地中熱
パターン④	業務施設 (スポーツジム) (新設)		空調用 温水プール 浴室		地中熱
パターン⑤	農業施設 温室 (既設)	2,000m ²	空調用	オープン ループ方式	地下水

4 導入シミュレーションによる効果検証

(1) パターン① 住宅用（地中熱利用 空気循環式；エコライフ型）

本市内の都市部での一般的な住宅を対象とし、大人2人と子供2人の4人家族居室空調用熱源としての地中熱利用の導入効果を検証します。

一般的な住宅のように、空調用として電気式エアコンを使用せず、エコライフ型として、地中熱交換パイプを通じてファンにより空気循環して得られた20℃程度の空気を空調用熱源に使用します（表4）。

電気式エアコンでは外気を熱源とするため、消費動力は1kW程度必要ですが、地中から得た空気を循環させるパターン①の地中熱利用システムでは、一定温度の地中熱を熱源とするためファン消費動力の0.3kWで賄うことができます。1年間のエネルギー使用量を比較すると、電気式エアコンでは3,600kWh必要ですが、パターン①の地中熱利用システムの場合は、1,080kWhで賄うことができます。電気料金を25円/kWhとして、電気式エアコンの場合には、年間の電気料金が9万円必要であるのに比較して、パターン①の地中熱利用システムを導入した場合には、年間の電気料金を2.7万円に抑えることが可能です。よって、年間の省エネ効果は2,520kWh、年間削減メリットは6.3万円得られます（表5）。

電気式エアコンとパターン①の地中熱利用システムとの価格差は150万円であり、価格差と年間電気削減費用から単純投資回収年数を算定すると23.9年となります（図15）。つまり、耐用年

数以内に経済性を成立させるためには、設備費用の低減等によるコストダウンが必要と言えます。

なお、電気式エアコンとパターン①の地中熱利用システムを比較した場合の年間CO₂排出量削減効果は1.2t-CO₂です。

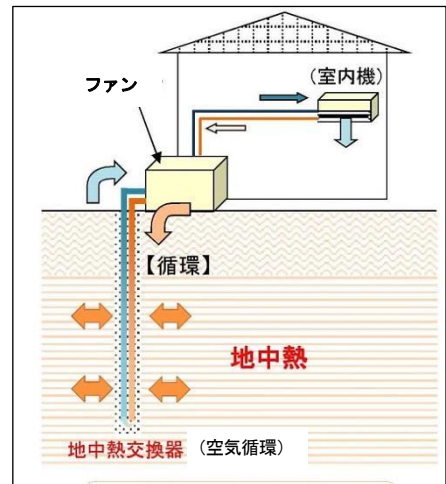


図 13 地中熱システム

地中熱利用促進協会オープンループ
導入ガイドラインを基に作成

【導入効果のまとめ】

省エネ効果

2,520kWh/年

6.3万円/年

単純投資回収年数

23.9年

CO₂排出量削減効果

1.2t-CO₂/年

図 14 パターン①結果

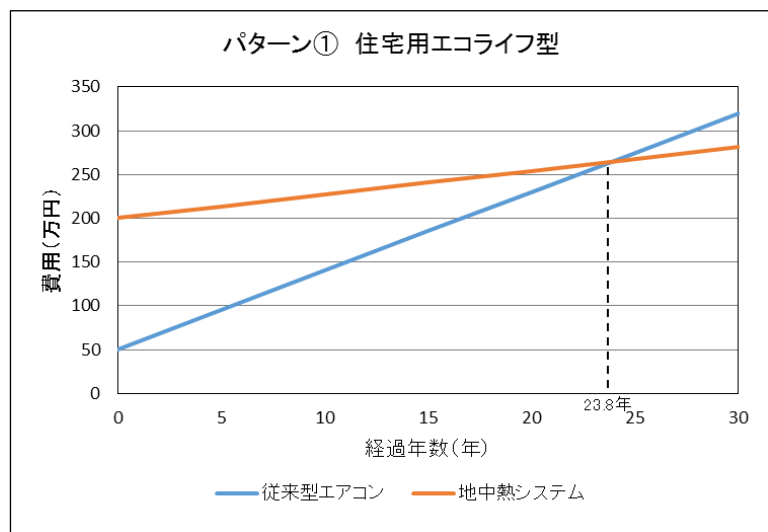


図 15 パターン①単純投資回収年数

表 4 パターン①検討条件

パターン ①	
1 設定	エコライフ型 冷暖房の熱を補助するヒートポンプは使用せず、空気を媒体にして地中から採取した熱をファンにより居住空間に循環させ居室の空調を行う。住人は、気温の状況に合わせて衣類の着用等により温度調節をしながら生活する(クールビズ、ウォームビズ)。
2 施設	
地域	住宅地域
種類	新築一戸建て(大人2人, 子供2人)
規模	建築面積100㎡(延床面積150㎡)
3 地中熱利用	
方式	空気循環式 地中熱交換パイプに外気を導入・通気し、熱交換させた空気を室内に循環させる。
用途	居室空調用(居間, 寝室, 子供部屋2室)
熱媒体	空気
熱媒体温度	20°C
空調対象面積	100㎡
ヒートポンプ	なし
機材	空気循環用ファン 1台, 室内機 4台
規模	5kW(消費電力0.3kW)
設備費	200万円(機材費, 機材設置費, 掘削費等)
地中熱交換機	方式:アルミ製熱交換パイプ 長さ・本数:10m×2本
4 運転状況	
時間	3,600時間/年 内訳 冷房 4ヶ月間(6月~9月), 12時間/日(1,440時間) 2ヶ月間(5月・10月), 6時間/日(360時間) 暖房 5ヶ月間(11月~3月), 12時間/日(1,800時間)

表 5 パターン①効果算定結果

パターン①	住宅用 エコライフ型		(空気循環式)	
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	200 万円	使用エネルギー	ファン	0.3 kW
従来型システム				
設備費用	50 万円	使用エネルギー	エアコン	1 kW
稼働時間	3,600 h	電気料金	25 円/kWh	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	$0.3 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$			1,080 kWh/年
	$1,080 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	=	2.7 万円/年
③従来型システム エネルギー使用量				
	$1 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$			3,600 kWh/年
	$3,600 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	=	9.0 万円/年
④省エネ効果				
	$3,600 \text{ kWh/年} -$	1,080 kWh/年	=	2,520 kWh/年
	$2,520 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	=	6.3 万円/年
⑤単純投資回収年数				
	150 万円 ÷	6.3 万円/年	=	23.9 年
⑥CO2排出量削減効果				
	$2,520 \text{ kWh/年} \times$	0.493 kg-CO ₂ /kWh	=	1.2 t-CO ₂ /年
	(関西電力2016年度CO2排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)			

(2) パターン② 住宅用（地中熱利用 空気循環式；快適ライフ型）

パターン①と同様に、本市内の都市部での一般的な住宅を対象とし、大人2人と子供2人の4人家族の居室空調用熱源としての地中熱利用の導入効果を検証します。

快適ライフ型として、電気式エアコンを使用しますが、使用する空気を外気ではなく、地中熱交換パイプを通じて空気循環して得られた 20℃程度の空気を更にヒートポンプで冷却・加熱して空調用の熱源に使用します（表 6）。

電気式エアコンでは外気を熱源とするため、消費動力は1kW程度必要ですが、地中の空気を外気の代わりにするパターン②の地中熱利用システムでは、一定温度の地中熱を熱源とするため、ヒートポンプ（ファンも含む）の消費動力の0.6kWで賄うことができます。

1年間のエネルギー使用量を比較すると、電気式エアコンでは3,600kWh必要ですが、パターン②の地中熱利用システムの場合は、2,160kWhで賄うことができます。電気料金を25円/kWhとして、電気式エアコンの場合には、年間の電気料金が9万円必要であるのに比較して、パターン②の地中熱利用システムを導入した場合には、年間の電気料金を5.4万円に抑えることが可能です。よって、年間の省エネ効果は1,440kWh、年間削減メリットは3.6万円得られます。（表 7）

電気式エアコンとパターン②の地中熱利用システムとの価格差は200万円であり、価格差と年間電気削減費用から単純投資回収年数を算定すると55.6年となります（図 18）。なお、電気式エアコンとパターン②の地中熱利用システムを比較した場合の年間CO₂排出量削減効果は0.7t-CO₂程度と想定されます。

パターン①とパターン②を比較した結果、「エコライフ型」は単純投資回収年数が23.8年であることに対して、「快適ライフ型」は、省エネ効果も小さく設備費用も高くなるため、単純投資回収年数が55.6年と長く、「エコライフ型」よりも経済性が劣ります。

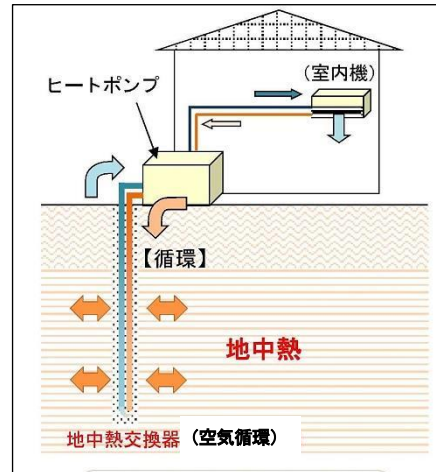


図 16 地中熱システム

出典：地中熱利用促進協会オープン
ループ導入ガイドライン

【導入効果のまとめ】

省エネ効果
1,440kWh/年
3.6万円/年
単純投資回収年数
55.6年
CO₂排出量削減効果
0.7t-CO₂/年

図 17 パターン②結果

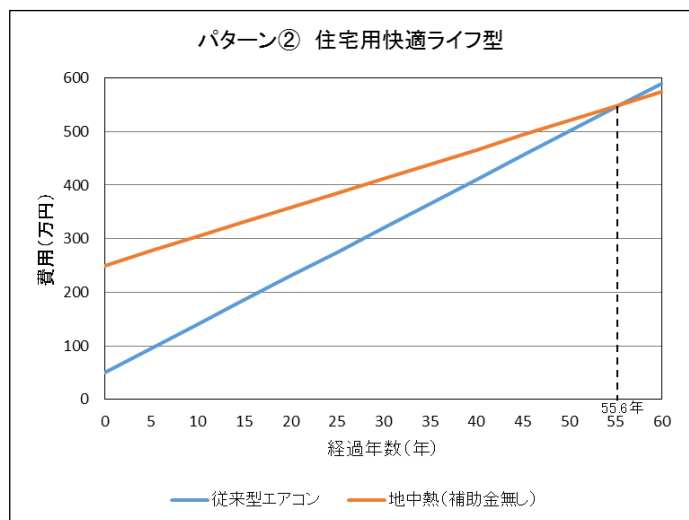


図 18 パターン②単純投資回収年数

表 6 パターン②検討条件

パターン ②	
1 設定	快適ライフ型 空気を媒体にしてファンにより採取した地中熱を熱源として、地中熱ヒートポンプを追従運転することより、居住空間の居室の空調を行う。住人は、従来型のエアコンと同等の空調機能により快適に生活する。
2 施設	
地域	住宅地域
種類	新築一戸建て(大人2人、子供2人)
規模	建築面積100㎡(延床面積150㎡)
3 地中熱利用	
方式	空気循環式 地中熱交換パイプに外気を導入・通気し、ヒートポンプで追従運転して室内を空調する。
用途	居室空調用(居間、寝室、子供部屋2室)
熱媒体	空気
熱媒体温度	20℃
空調対象面積	100㎡
ヒートポンプ	あり
機材	空気循環用ファン 1台、地中熱ヒートポンプ 1台、室内機 4台
規模	5kW(消費電力0.6kW)
設備費	250万円(機材費、機材設置費、掘削費等)
地中熱交換機	方式:アルミ製熱交換パイプ 長さ・本数:10m×2本
4 運転状況	
時間	3,600時間/年 内訳 冷房 4ヶ月間(6月~9月), 12時間/日(1,440時間) 2ヶ月間(5月・10月), 6時間/日(360時間) 暖房 5ヶ月間(11月~3月), 12時間/日(1,800時間)

表 7 パターン②効果算定結果

地中熱システム シミュレーション効果算定結果				
パターン②	住宅用 快適ライフ型		(空気循環式)	
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	250 万円	使用エネルギー	ファン	0.3 kW
			ヒートポンプ	0.3 kW
従来型システム				
設備費用	50 万円	使用エネルギー	エアコン	1 kW
稼働時間	3,600 h	電気料金	25 円/kWh	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	$0.6 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$		$2,160 \text{ kWh/年}$	
	$2,160 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	$=$	5.4 万円/年
③比較検討 エネルギー使用量				
	$1 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$		$3,600 \text{ kWh/年}$	
	$3,600 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	$=$	9.0 万円/年
④省エネ効果				
	$3,600 \text{ kWh/年} -$	$2,160 \text{ kWh/年}$	$=$	$1,440 \text{ kWh/年}$
	$1,440 \text{ kWh/年} \times$	25 円/kWh	$=$	3.6 万円/年
⑤単純投資回収年数				
	$200 \text{ 万円} \div$	3.6 万円/年	$=$	55.6 年
⑥CO ₂ 排出量削減効果				
	$1,440 \text{ kWh/年} \times$	$0.493 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$	$=$	$0.7 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
	(関西電力2016年度CO ₂ 排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)			

(3) パターン③ 業務施設 事務所ビル (地中熱利用 クローズドループ方式)

本市内の都市部の業務施設を対象とします。750 m²程度の事務所ビル (4 階建て延床面積 3,000 m²程度) を想定し、空調用熱源として、地中熱利用の導入効果を検証します。

一般的な業務ビルでは、空調用として電気式エアコンを使用しているため、熱を伝える媒体を循環させて得られた 20℃程度の熱媒を空調用熱源に使用します (表 8)。

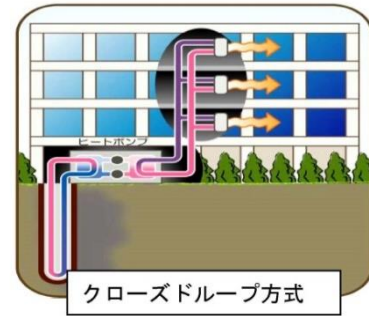


図 21 地中熱システム

出典：環境省 地中熱利用にあたってのガイドライン

電気式エアコンでは外気を熱源とするため、消費動力は 50kW 必要ですが、クローズドループ方式であるパターン③の地中熱利用システムでは、一定温度の地中熱を熱源とするため、ヒートポンプ消費動力の 35kW で賄うことができます。1 年間のエネルギー使用量を比較すると、電気式エアコンでは 180,000kWh 必要ですが、パターン③の地中熱利用システムの場合は、126,000kWh で賄うことができます。電気料金を 25 円/kWh とし、電気式エアコンの場合には、年間の電気料金が 450 万円必要であるのに比較して、パターン③の地中熱利用システムを導入した場合には、年間の電気料金を 315 万円に抑えることが可能です。よって、年間の省エネ効果は 54,000kWh、年間削減メリットは 135 万円得られます (表 9)。

電気式エアコンとパターン③の地中熱利用システムとの価格差は 8,000 万円であり、価格差と年間電気削減費用から単純投資回収年数を算定すると 59.3 年と想定されます。補助金を活用した場合には、価格差が 4,000 万円となるため、単純投資回収年数を 29.7 年に短縮することが可能です (図 19)。

ただし、事務所ビルへの地中熱導入は、地中熱の使用用途が空調に限られることや、商業施設などと比較して稼働時間が短い傾向があることもあり、経済性に劣ると言えます。

なお、電気式エアコンとパターン③の地中熱利用システムを比較した場合の年間 CO₂ 排出量削減効果は 26.6t-CO₂ 程度と想定されます。

【導入効果のまとめ】	
省エネ効果	54,000kWh/年
	135 万円/年
単純投資回収年数	59.3 年
	(補助金活用の場合)
	29.7 年
CO ₂ 排出量削減効果	26.6t-CO ₂ /年

図 20 パターン③結果

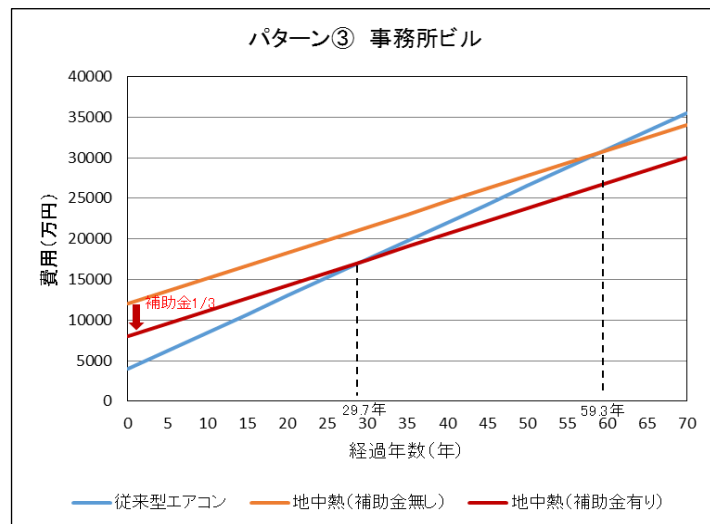


図 19 パターン③単純投資回収年数

表 8 パターン③検討条件

パターン ③	
1 設定	地中熱を循環させて得られた熱媒を使用して、地中熱ヒートポンプを運転することより、事務所ビルの居室の空調を行う。
2 施設	
地域	市街地の業務施設
種類	一般的な事務所ビル
規模	建築面積750㎡(延床面積3,000㎡)
3 地中熱利用	
方式	クローズドループ方式 地中熱交換パイプを循環させた熱媒を熱源として、地中熱ヒートポンプを運転して室内を空調する。
用途	居室空調用
熱媒体	熱媒
熱媒体温度	20℃
空調対象面積	1,500㎡
ヒートポンプ	あり
機材	地中熱ヒートポンプ 1台
規模	200kW(消費電力35kW)
設備費	12,000万円(機材費、機材設置費、掘削費等)
地中熱交換機	方式:ボアホール方式 長さ・本数:10m×30本
4 運転状況	
時間	3,600時間/年 内訳 冷房 4ヶ月間(6月～9月), 12時間/日(1,440時間) 2ヶ月間(5月・10月), 6時間/日(360時間) 暖房 5ヶ月間(11月～3月), 12時間/日(1,800時間)

表 9 パターン③効果算定結果

地中熱システム シミュレーション効果算定結果				
パターン③	業務ビル		(地中熱 クローズドループ方式)	
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	12,000 万円	使用エネルギー	ヒートポンプ	35 kW
補助金	4,000 万円			
従来型システム				
設備費用	4,000 万円	使用エネルギー	エアコン	50 kW
稼働時間	3,600 h	電気料金	25 円/kWh	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	$35 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$		$126,000 \text{ kWh/年}$	
	$126,000 \text{ kWh/年} \times$	$25 \text{ 円/kWh} =$		315 万円/年
③従来型システム エネルギー使用量				
	$50 \text{ kW} \times 3,600 \text{ h} =$		$180,000 \text{ kWh/年}$	
	$180,000 \text{ kWh/年} \times$	$25 \text{ 円/kWh} =$		450.0 万円/年
④省エネ効果				
	$180,000 \text{ kWh/年} -$	$126,000 \text{ kWh/年} =$		$54,000 \text{ kWh/年}$
	$54,000 \text{ kWh/年} \times$	$25 \text{ 円/kWh} =$		135 万円/年
⑤単純投資回収年数				
補助金無し	$8,000 \text{ 万円} \div$	$135.0 \text{ 万円/年} =$		59.3 年
補助金有り	$4,000 \text{ 万円} \div$	$135.0 \text{ 万円/年} =$		29.7 年
⑥CO ₂ 排出量削減効果				
	$54,000 \text{ kWh/年} \times$	$0.493 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} =$		$26.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
	(関西電力2016年度CO ₂ 排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)			

(4) パターン④ 業務施設 スポーツジム (地中熱利用 クローズドループ方式)

本市内の都市部の民間施設を対象とします。パターン③と同等の 750 m²程度のスポーツジム (4 階建て延床面積 3,000 m²程度) を想定し、温水プール用、浴室用及び空調用熱源として、地中熱利用の導入効果を検証します。

一般的な従来型のシステムでは、温水プール用及び浴室用として都市ガスを燃料とするボイラーを使用するとともに空調用として電気式エアコンを使用しており、熱を伝える媒体を循環させて得られた 20℃程度の熱媒をそれぞれの熱源に使用します (表 10)。

電気式エアコンでは外気を熱源とするため、消費動力は 50kW 必要です。また、ボイラーの都市ガス使用量は 25m³/h 必要です。一方、クローズドループ方式であるパターン④の地中熱利用システムでは、一定温度の地中熱を熱源とするため、ヒートポンプ消費動力の 70kW で賄うことができます。1 年間のエネルギー使用量を比較すると、電気式エアコンでは 216,000kWh 必要であり、都市ガスボイラーは 108,000m³ 必要です。一方、パターン④の地中熱利用システムの場合は、302,400kWh で賄うことができます。電気料金を 25 円/kWh、都市ガス料金を 70 円/m³ として、従来型システムの場合には、年間のエネルギー料金が 1,296 万円必要であるのに対して、パターン④の地中熱利用システムを導入した場合には、年間の電気料金を 756 万円に抑えることが可能です。よって、省エネ効果は、電気の 86,400kWh 増加分と都市ガスの 302,400m³ 減少分の差分になります。年間削減メリットは 540 万円です (表 11)。

従来型のシステムとパターン④の地中熱利用システムとの価格差は 16,000 万円であり、価格差と年間電気削減費用から単純投資回収年数を算定すると 29.7 年と想定されます。

補助金を活用した場合には、価格差が 8,000 万円となるため、単純投資回収年数を 14.9 年に短縮することが可能です (図 24)。つまり、耐用年数以内に経済性を成立させるためには、更なる補助金の活用や設備費用の低減等によるコストダウンが必要と想定されます。

なお、従来型のシステムとパターン④の地中熱利用システムを比較した場合の年間 CO₂ 排出量削減効果は 98.3t-CO₂ 程度と想定されます。

パターン③とパターン④を比較した結果、同規模の施設の場合、事務所ビルよりも熱需要が高く稼働時間の長いスポーツジムに地中熱を導入した方が、経済性が優れます。



図 22 スポーツジム

出典：環境省 地中熱利用にあたってのガイドライン

【導入効果のまとめ】	
省エネ効果	540 万円/年
単純投資回収年数	29.7 年
(補助金活用の場合)	14.9 年
CO ₂ 排出量削減効果	98.3t-CO ₂ /年

図 23 パターン④結果

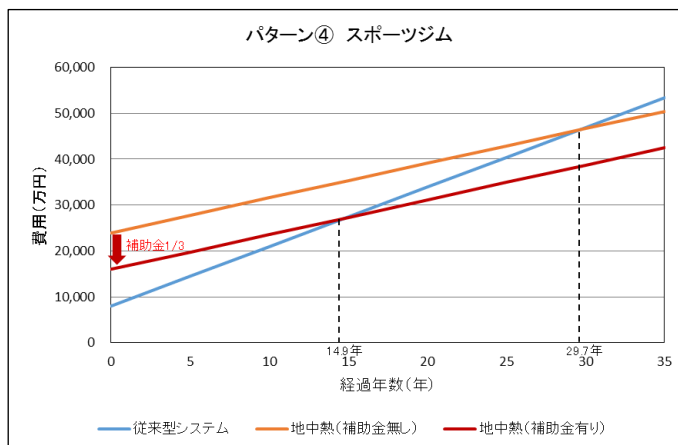


図 24 パターン④単純投資回収年数

表 10 パターン④検討条件

パターン ④	
1 設定	地中熱を循環させて得られた熱媒を使用して、地中熱ヒートポンプを運転することより、スポーツジムの空調および温水プール・浴室用の熱源に使用する。
2 施設	
地域	市街地の民間施設
種類	スポーツジム
規模	建築面積750㎡(延床面積3,000㎡)
3 地中熱利用	
方式	クローズドループ方式 地中熱交換パイプを循環させた熱媒を熱源として、地中熱ヒートポンプを運転して室内を空調する。
用途	居室空調用、温水プール・浴室用の熱源。
熱媒体	熱媒
熱媒体温度	20℃
対象設備	空調面積1,500㎡、温水プール25m×4コース、浴室10㎡
ヒートポンプ	あり
機材	地中熱ヒートポンプ 1台
規模	400kW(消費電力70kW)
設備費	24,000万円(機材費、機材設置費、掘削費等)
地中熱交換機	方式:ポアホール方式 長さ・本数:10m×60本
4 運転状況	
時間	4,320時間/年 内訳 冷房 7ヶ月間(6月～9月), 12時間/日(2,520時間) 暖房 5ヶ月間(11月～3月), 12時間/日(1,800時間)

表 11 パターン④効果算定結果

地中熱システム シミュレーション効果算定結果				
パターン④	スポーツジム		(地中熱 クローズドループ方式)	
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	24,000 万円	使用エネルギー	ヒートポンプ	70 kW
補助金	8,000 万円			
従来型システム				
設備費用	8,000 万円	使用エネルギー	エアコン	50 kW
			ガスボイラー	25 m ³ /h
稼働時間	4,320 h	電気料金	25 円/kWh	
		ガス料金	70 円/m ³	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	70 kW ×	4,320 h =	302,400 kWh/年	
	302,400 kWh/年 ×	25 円/kWh	=	756 万円/年
③従来型システム エネルギー使用量				
	50 kW ×	4,320 h =	216,000 kWh/年	
	216,000 kWh/年 ×	25 円/kWh	=	540.0 万円/年
	25 m ³ /h ×	4,320 h =	108,000 m ³ /年	
	108,000 m ³ /年 ×	70 円/m ³	=	756.0 万円/年
			合計	1,296.0 万円/年
④省エネ効果				
	1,296.0 万円/年 -	756 万円/年	=	540.0 万円/年
⑤単純投資回収年数				
補助金無し	16,000 万円 ÷	540.0 万円/年	=	29.7 年
補助金有り	8,000 万円 ÷	540.0 万円/年	=	14.9 年
⑥CO ₂ 排出量削減効果				
	108,000 m ³ /年 ×	2.291 kg-CO ₂ /m ³	=	247.3 t-CO ₂ /年
	216,000 kWh/年 ×	0.493 kg-CO ₂ /kWh	=	106.4 t-CO ₂ /年
	-302,400 kWh/年 ×	0.493 kg-CO ₂ /kWh	=	-149 t-CO ₂ /年
			合計	98.3 t-CO ₂ /年
(関西電力2016年度CO ₂ 排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)				
(都市ガスCO ₂ 排出係数 2.291kg-CO ₂ /m ³ を使用)				

(5) パターン⑤ 農業施設 温室（地下水利用 オープンループ方式）

本市域の郊外地区の既設の農業施設を対象とします。
1,000 m²程度の植物用温室の空調用熱源として、地中熱利用の導入効果を検証します。

一般的な温室では、空調用として、冬期は灯油ヒーターを夏期は電気式エアコンを使用していますが、既設の空調を地中熱が利用できる設備に改修したうえ、揚水ポンプでくみ上げた地下水を更にヒートポンプで冷却・加熱して空調用の熱源に使用します（表 12）。

電気式エアコンでは外気を熱源とするため、消費動力は 50kW 程度必要です。また、灯油ヒーターの使用量は 10L/h 程度必要です。一方、オープンループ方式のパターン⑤の地中熱利用システムでは、一定温度の地下水を熱源とするため、ヒートポンプ消費動力の 35kW で賄うことができます。1 年間のエネルギー使用量を比較すると、電気式エアコンでは 219,000kWh 必要であり、灯油ヒーターは 43,800L 必要です。一方、パターン⑤の地中熱利用システムの場合は、306,600kWh で賄うことができます。電気料金を 25 円/kWh、灯油料金を 80 円/L として、従来型システムの場合には、年間のエネルギー料金が 897.9 万円必要であるのに比較して、パターン⑤の地中熱利用システムを導入した場合には、年間の電気料金を 766.5 万円に抑えることが可能です。よって、省エネ効果は、電気の 87.600kWh 増加分と灯油の 43,800L 減少分の差分になります。年間削減メリットは 131.4 万円です（表 13）。



図 25 農業用施設

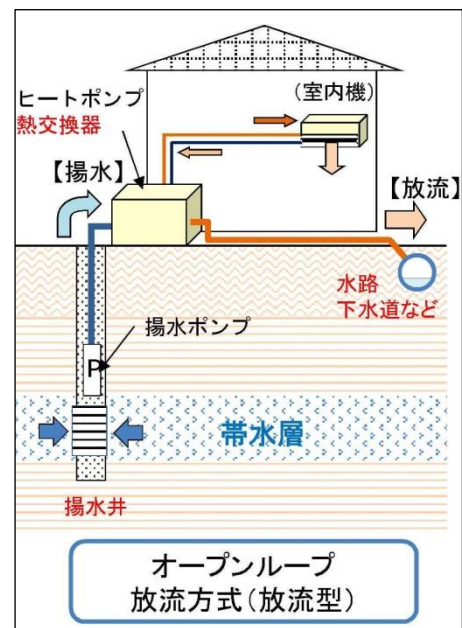


図 26 オープンループ方式

出典：地中熱利用促進協会オープンループ導入ガイドライン

パターン⑤の地中熱利用システムの設備費用は 4,500 万円であり、設備費用と年間エネルギー削減費用から単純投資回収年数を算定すると 34.3 年と想定されます。既設の井戸を流用した場合は、設備費用を 3,000 万円に抑えることができるため、単純投資回収を 22.9 年に短縮することが可能です。

補助金を活用した場合には、設備費用が 2,000 万円となるため、単純投資回収年数を 15.3 年に短縮することが可能です（図 28）。

なお、従来型システムとパターン⑤の地中熱利用システムを比較した場合の年間 CO₂ 排出量削減効果は 65.8t-CO₂ 程度と想定されます。

他のパターンでは、新設の施設を対象として、従来型システムと地中熱利用システムの設備価格差を省エネ効果で回収する考え方としていることに対し

【導入効果のまとめ】	
省エネ効果	131.4 万円/年
単純投資回収年数	34.3 年
(補助金活用の場合)	22.9 年
CO ₂ 排出量削減効果	65.8t-CO ₂ /年

図 27 パターン⑤結果

て、パターン⑤の場合、既設の農業施設を対象としており、地中熱利用システムの設備費用自体を省エネ効果で回収する考え方としているため、経済性の評価は厳しいと言えます。

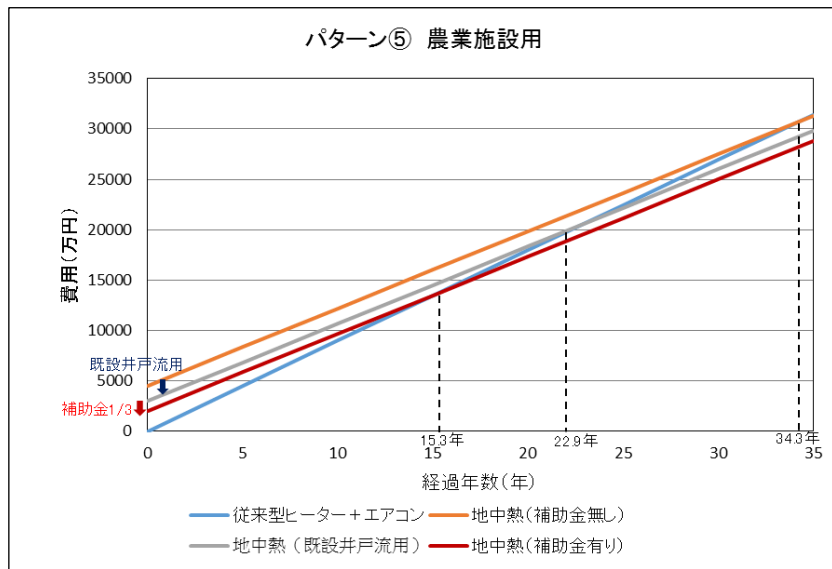


図 28 パターン⑤効果算定結果

表 12 パターン⑤検討条件

パターン ⑤	
1 設定	地中熱利用として、地下水を汲み上げた熱源を使用して、地中熱ヒートポンプを運転することより、既設の農業施設の空調用に使用する。
2 施設	
地域	郊外の既設の農業施設
種類	温室
規模	敷地面積2,000㎡(温室面積1,000㎡)
3 地中熱利用	
方式	オープンループ方式 地下水を熱源として、地中熱ヒートポンプを運転して温室を空調する。
用途	温室空調用
熱媒体	地下水
熱媒体温度	16℃
対象設備	空調面積1,000㎡
ヒートポンプ	あり
機材	地中熱ヒートポンプ 1台
規模	200kW(消費電力35kW)
設備費	4,500万円(機材費, 機材設置費, 掘削費等)
地中熱交換機	方式:オープンループ放流方式 長さ・本数:10m×1本
4 運転状況	
時間	8,760時間/年(通年)

表 13 パターン⑤効果算定結果

地中熱システム シミュレーション効果算定結果				
パターン⑤		農業施設用(既設) (地下水 オープンループ方式)		
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	4,500 万円	使用エネルギー	ヒートポンプ	35 kW
既設井戸流用	3,000 万円			
補助金	1,000 万円			
従来型システム				
設備費用	0 万円	使用エネルギー	灯油ヒーター	10 L/h
			エアコン	50 kW
稼働時間	8,760 h	電気料金	25 円/kWh	
		灯油料金	80 円/L	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	35 kW ×	8,760 h =	306,600 kWh/年	
	306,600 kWh/年 ×	25 円/kWh =	766.5 万円/年	
③従来型システム エネルギー使用量				
	50 kW ×	4,380 h =	219,000 kWh/年	
	219,000 kWh/年 ×	25 円/kWh =	547.5 万円/年	
	10 L/h ×	4,380 h =	43,800 L/年	
	43,800 L/年 ×	80 円/kWh =	350.4 万円/年	
			合計	897.9 万円/年
④省エネ効果				
	897.9 万円/年 -	766.5 万円/年 =	131.4 万円/年	
⑤単純投資回収年数				
補助金無し	4,500 万円 ÷	131.4 万円/年 =	34.3 年	
既設井戸流用	3,000 万円 ÷	131.4 万円/年 =	22.9 年	
補助金有り	2,000 万円 ÷	131.4 万円/年 =	15.3 年	
⑥CO ₂ 排出量削減効果				
	43,800 L/年 ×	2.489 kg-CO ₂ /L =	109 t-CO ₂ /年	
	219,000 kWh/年 ×	0.493 kgt-CO ₂ /kWh =	107.9 t-CO ₂ /年	
	-306,600 kWh/年 ×	0.493 kgt-CO ₂ /kWh =	-151.1 t-CO ₂ /年	
		合計	65.8 t-CO ₂ /年	
(関西電力2016年度CO ₂ 排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)				
(灯油CO ₂ 排出係数 2.489kg-CO ₂ /Lを使用)				

(6) 導入シミュレーションによる効果検証のまとめ

住宅用（パターン①およびパターン②）については、地中熱利用システムのみを使用したエコライフ型とした場合（パターン①）、省エネ効果が小さいため、耐用年数以内に投資回収することは厳しいと言えます。また、快適性を求めて電気式エアコンを導入する快適ライフ型の場合（パターン②）には、省エネ効果も小さいうえ、設備費用も高くなるため、更に経済性が劣ります。

中規模の業務施設（パターン③およびパターン④）については、一般的な事務所ビルに地中熱利用システムを導入する場合（パターン③）、使用用途が空調に限られることや、商業施設などと比較して稼働時間が短い傾向があることもあり、耐用年数以内に投資回収することは厳しいと言えます。

スポーツジムに地中熱利用システムを導入する場合（パターン④）には、使用用途が、空調に加えて温水プールや浴室などの熱需要にも適用可能であり、また施設の稼働時間も長いため、省エネ効果が大きく、パターン③と比較すると、地中熱利用システム導入可能性が高いと言えますが、やはり、耐用年数以内に投資回収することが厳しい状況は変わりません。

なお、中規模の業務施設には、補助金の適用が可能であり、この場合、単純投資回収年数の短縮が期待できます。

農業施設（パターン⑤）については、既設の温室設備への地中熱システム導入を効果検証しました。他のパターンと異なり、地中熱利用システムの設備費用自体を省エネ効果で回収する厳しい経済性の評価をしましたが、耐用年数以内に投資回収することは厳しいと言えます。

既設の井戸を流用できた場合には、地中熱利用システムの導入費用のコストダウンが可能となります。なお、中規模の農業施設にも、補助金の適用が可能であり、単純投資回収年数の短縮が期待できます。

表 14 パターン別検討結果

パターン	対象施設	年間省エネメリット	年間 CO ₂ 排出量削減効果	単純投資回収年数
パターン①	住宅	6.3 万円	1.2 t -CO ₂	23.8 年
パターン②		3.6 万円	0.7 t -CO ₂	55.6 年
パターン③	業務施設 (事務所ビル)	135 万円	26.6 t -CO ₂	59.3 年 (補助金活用の場合 29.7 年)
パターン④	業務施設 (スポーツジム)	540.0 万円	98.3 t -CO ₂	29.7 年 (補助金活用の場合 14.9 年)
パターン⑤	農業施設 (温室)	131.4 万円	65.8 t -CO ₂	34.3 年 (補助金活用の場合 15.3 年)

第5章 導入可能性の評価

1 シミュレーション結果からの考察

第4章 導入シミュレーションによる効果検証により、以下のことが考察できます。

住宅への地中熱利用システムの導入については、本市の都市部に住宅が密集していることから、普及促進への期待はあるものの、設備費用も高く省エネ効果も小さいため、経済性に課題があります。よって、導入する場合は、環境への負荷低減やエコライフを目指して、地中熱利用を図ることとなります。

具体的な導入効果としては、住宅の断熱機能を充実させることと同じく、居室全体の空調負荷を低減させることが可能です。また、他の再生可能エネルギーとの併用も非常に重要なポイントであり、普及促進が目覚ましい太陽光発電の導入や太陽光照明の採用など、住宅全体の使用エネルギーを最小化することにも貢献します。

国の施策としても、ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）への取組みが強化されています。そのため、住宅用のゼロエミッション化を進めるなかで、地中熱利用も重要な再生可能エネルギーの1つとして位置づけることが、結果的に地中熱の普及促進につながります。

中規模の業務施設への地中熱利用システム導入については、最も地中熱利用が進んでいる分野であり、本市域においても、今後の地中熱利用システムの導入可能性が期待できます。経済的な課題はありますが、補助金の活用ができれば、導入可能性はあると言えます。

スポーツジムのように、温水プールや浴室など熱需要が高く稼働時間の長い施設は、省エネ効果が高いため、地中熱利用システム導入可能性がより高いと言えます。同種の施設として、温浴施設などへの導入も期待出来ます。

一方、中規模施設の多くを占める事務所ビルについては、ほぼ、電気式のエアコンの普及が進んでいるため、既設の空調を改修して地中熱利用システムを導入することは採算面で厳しいと言えます。よって、新たに中規模施設が建設される際に、地中熱利用システムの導入を図っていくことが普及促進には重要と言えます。

国の施策としても、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）への取組みが強化されています。よって、住宅と同様に、民間施設のゼロエミッション化を進めるなかで、地中熱利用も重要な再生可能エネルギーの1つとして位置づけることが、結果的に地中熱の普及促進につながります。

農業施設については、全国的にも農業施設への導入事例が広がっているところであり、経済的な課題はありますが、補助金の活用ができれば、導入可能性はあると言えます。

本市の郊外などでは、京野菜の菜園など多数の農業施設があるため、今後の地中熱利用システム導入が進むことが期待されます。

また、安全安心な食品へのニーズの高まりや、昨今の地球温暖化の影響による野菜の収穫量減少や価格高騰の状況からも、地中熱温度が1年を通して一定である特性を活かして、既設設備への導入のみならず、新設の植物工場への導入など、積極的に農業用施設への地中熱導入が進むことも期待されます。



図 29 温水プール

出典：環境省地中熱利用にあたってのガイドライン



図 30 農業施設



図 31 京野菜

2 本市における地中熱利用システムの導入可能性

(1) 導入コストの低減

第4章の結果から、地中熱利用の経済性を向上させるためには、地中熱利用システムのコストの低減が必要です。

地中熱利用システムを検討する上で、クローズドループ方式は周囲の地下水への影響には配慮できるものの、地中熱交換井などに費用が掛かるため、オープンループ方式を採用できる場合の方が、コストダウンが可能と言えます。しかしながら、オープンループ方式とする場合でも、設置場所周辺の地下水状況により掘削費用が多く掛かることも懸念されます。

例えば、岐阜県の地中熱導入事例では、もともと工場のプロセスラインに既設の井戸水を使用していました。既設の井戸水システムの排熱を活用して熱回収し、新たにヒートポンプ用熱源として使用することにより、工場内の冷暖房に使用しています。つまり、既設の井戸水をエネルギー利用することにより、オープンループ方式のヒートポンプシステムに改修されています。この事例のように、本市域においても、既に井戸など地下水を使用している各種工場や酒造会社などにおいて、新たに地中熱利用システムを追加導入する場合には、オープンループ方式を採用し設備費用をコストダウンすることも可能と考えられます。

また、各種の補助金を活用できた場合には、設備費用のコストダウンが可能となります。ただし、その場合には費用対効果の十分な検証が必要です。

地中熱利用システムを導入する際は、導入コストの低減を図ることで、経済性を向上させることができますが、中長期的な視点で採算性に注意しながら慎重に進める必要があります。

(2) 省エネルギー技術との複合化

地中熱利用システムのみでは、経済性の面で普及促進が厳しいとも言えます。再生可能エネルギーの要素として、太陽光発電や太陽熱システムなどに加えて、地中熱利用システムも付加することにより、施設毎に最適な再生可能エネルギーの普及促進につなげていくことも重要です。さらに、CO₂排出量削減効果の高い再生可能エネルギーに加えて、経済性の高い省エネルギー技術との複合化により、住宅や建築物のゼロエミッション化を推進しながら、地中熱利用システムの普及促進を図っていくことも現実的な対策と考えられます。

さらに、国策として推進されている ZEH や ZEB においては、ZEH ビルダーや ZEB プランナーとして、地域の建築業者や工務店が活躍することにより、地域経済の活性化に繋がる可能性もあります。

(3) 京都らしい地中熱利用の追求

本調査業務で実施した地中熱利用可能性の調査に加味して、京都らしい地中熱利用を追求できる可能性もあります。京都には銭湯が多数存在しており、地中熱利用システムとして井

戸水を上手に活用して、銭湯や足湯の熱源として利用したり、床暖房として利用したり、地域の老若男女が集う憩いの場や地域住民と観光客との交流の場を提供できる可能性もあります。京都らしい地中熱利用の追求により、市民にも親しみ易い地中熱利用の普及に繋げていく視点も重要と考えられます。



図 32 井戸



図 33 銭湯

また、本市では「新景観政策」を平成 19 年から実施し、京都市景観計画やデザイン基準を定めており、エアコンの室外機や給湯器などを道路等の空地から見える位置に設置する場合は、景観に違和感を与えないよう、建築物の外観意匠と調和した目隠し等の修景を行うこととしています。

室外機（地中熱ヒートポンプ）から廃熱を出さない地中熱利用システムは、電気式エアコンのように室外機の排風を阻害するような囲い方をした場合でも運転効率が下がることがないため、建築設計において設備を設置する場所や目隠し等の選択肢が増え、より質の高い修景が検討できるようになると考えられます。

(4) 知名度の向上

地中熱利用システムは、高い省エネルギー性、環境負荷低減効果を有する技術であることから、地中熱利用の普及促進への期待はあるものの、全国的な傾向からも、まだ地中熱利用に対する理解が進んでいない段階と思われる。

そのため、他の再生可能エネルギーと併せた普及啓発の取組を進めるなど、あらゆる機会をとらえて、地中熱利用システム自体の知名度向上を図る施策も重要と考えられます。

用語集

用語	用語解説
イニシャルコスト	初期費用。新規に導入する機器や設備などにかかる費用（コスト）のこと。設置費用・導入費用と表現されることもあります。対義語はランニングコスト。
大阪層群	大阪平野とその周辺に分布する地層で泥層と砂礫層の互層となります。
（地下水の）還元	汲み上げて利用した地下水を元の層へ戻すこと。
洪積層	約 170 万年～1 万年前までに形成され、主に砂れき層や粘土層となります。傾斜の緩やかな高台によく見られます。
古生層	約 4 億 4000 万～1 億 4300 万年前の地層となり、岩やチャートなどで構成されています。
COP	エネルギーの消費効率を示す値で消費電力 1kW 当たりの冷却・加熱能力を表します。「Coefficient Of Performance」（成績係数）の頭文字をとって「COP」と略しています。COP の数値が大きいほど省エネ効果が高くなります。
再生可能エネルギー	法律（エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律）でエネルギー源として持続的に利用することができるものと認められるものとされています。主に、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存在する熱、バイオマスが挙げられています。
地中熱	地熱の一種ですが、地下 200m より浅い地盤にある数十度以下の低温の熱エネルギーを指します。
地熱	地球内部のマグマに起因する熱エネルギーを指し、火山活動に伴い発生する熱を温泉や発電などで利用しています。
沖積層	最も新しい地層であり、河川や海の働きによって主に泥や砂、石から成り、低地に堆積された地層となります。
熱媒体	熱を伝える仲介または移動させる物質を指し、空調設備では蒸気・温水・温風・油などが用いられています。
ヒートポンプ	空気中の熱をポンプのように汲み上げて、移動させる仕組みです。液体から気体に気化する際に周囲から熱を奪い、気体から液体に凝固する際には周囲に放熱する自然現象を利用して、冷媒により空気熱を効率よく汲み上げ、加熱・冷却することでエネルギーを効率的に利用し、冷暖房や給湯など 100℃以下の熱需要に用いることができます。
ヒートアイランド現象	都市部の気温が周辺郊外に比べて高温となること。気温分布図の等高線が島のような形となることからこの名称となっています。緑化や水面の減少や地表の人工化など都市化に伴い、特に夏の気温上昇が問題となっています。ゲリラ豪雨及び熱中症の増加や大気汚染物質濃度の上昇、越冬による生態系のバランスの崩れなどの影響が見られています。

用語	用語解説
ファン	送風機の1種。送風機の吐き出し圧力により、9.8kPa未満はファン、9.8以上98kPa未満はブローア、98kPa以上は圧縮機に分類されます。
真夏日	最高気温が30℃以上の日
真冬日	最低気温が0℃未満の日
猛暑日	最高気温が35℃以上の日
ランニングコスト	運転費用、維持管理費。設備や機器などを維持するために必要となる費用のこと。光熱費や消耗品、保守点検サービス料などがこれに当たります。対義語はイニシャルコスト
ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）	ZEHは、快適な室内環境を保ちながら、住宅の高断熱化と高効率設備によりできる限りの省エネルギーに努め、太陽光発電等によりエネルギーを創ることで、1年間で消費する住宅のエネルギー量が正味（ネット）で概ねゼロ以下となる住宅。
ZEHビルダー	2020年度までに提供する新築住宅の過半数をZEH化することを宣言した工務店・ハウスメーカー・設計事務所などをZEBビルダーとして登録。
ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）	建築物の外皮の高断熱化、省エネルギー設備導入、再生可能エネルギー導入などにより、年間の一次エネルギー消費量が正味（ネット）ゼロまたはマイナスの建築物。
ZEBプランナー	ZEBを設計するための技術や設計知見を有する、設計会社、設計施工会社、コンサルティング企業等をZEBプランナーとして登録。