

地中熱 読本 2021



はじめに

地中熱は私たちの足元にある再生可能エネルギーです。

地中の温度は一定であり、夏は気温より低く、冬は気温より高いという特徴があります。

この特徴を利用して効率的な冷暖房を行うことが可能です。

また、排熱を大気中に放出しないためヒートアイランド現象の緩和にも役立ちます。

既に普及が進んだ国に比べると、日本での本格的な普及はまだこれからですが、

これからますますの普及が期待されています。

はじめに	1
目次	2
数字で見る地球温暖化	3
再生可能エネルギー	5
地中熱とは何か?	7
暮らしの近くにある地中熱	9
地中熱の特徴	10
地中熱の利活用	11
潜入!! 地中熱!!	13
導入事例	15
特別インタビュー	25
有識者インタビュー	27
海外での取り組み	28
新技術の紹介	29
最後に	30



数字で見る地球温暖化

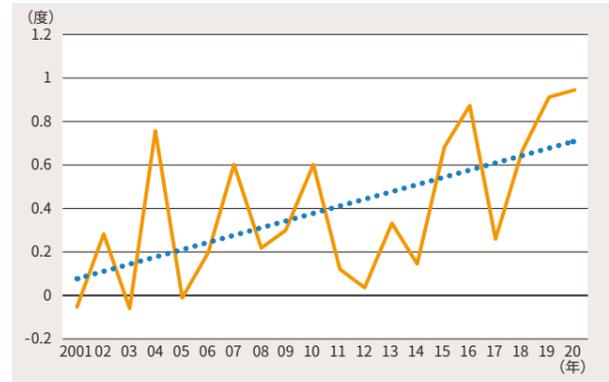
日本の気温は上昇している

現在の地球は、過去1400年の間で最も暖かくなっています。気象庁の統計によると、2020年は統計開始以降最も平均気温が高い年になりました。この20年間をみても日本の年平均気温が上昇していることがわかります。日本の年平均気温は年毎にみると細かな変化はありますが、長期的にみると上昇しています。

このままのペースで温暖化が進行すると、気温の上昇による作物の品質の低下や生態系への影響、大雨による土砂災害の被害の拡大等、私たちの生活にも大きな影響を及ぼします。

(出典) 参考文献1, 2, 3

● 近年の日本の気温変化



気象庁統計 — 各年の平均気温の基準値からの差 — 2001~2020年の変化傾向

温暖化の主な原因は二酸化炭素

国連のもとで活動している「気候変動に関する政府間パネル」IPCCは、“地球温暖化は人間活動の影響が主な要因である可能性が極めて高い”と示しています。

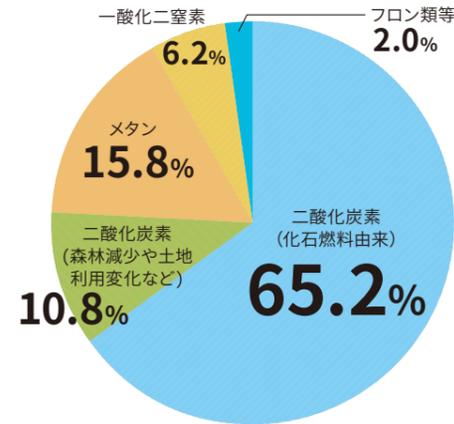
人間活動の影響とは、化石燃料を燃やしたり森林伐採を行うことで温室効果ガスが増えてしまうことを指します。

温室効果ガスのうち、地球温暖化に最も大きな影響を及ぼすのが二酸化炭素です。石炭や石油の消費、また森林が減少することによって大気中の二酸化炭素は年々増加しています。

温室効果ガスの総排出量に占める二酸化炭素の割合はおよそ75%です。

(出典) 参考文献5

● 温室効果ガスの種類と主な排出源



出典: 気象庁

コラム 自然災害の増加、農作物にまで影響

地球温暖化による気候変動で農作物の品質低下が懸念されています。

気温が上昇することで、コメの品質低下が全国で確認されています。また、一部では収穫量の減少も報告されています。さらに夏期の高温は、日焼け果の発生や果実の着色不良を発生させます。ぶどう、りんごなどでこのような影響が報告されています。(出典) 参考文献5

高温によるリンゴの着色障害 (出典: 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト)



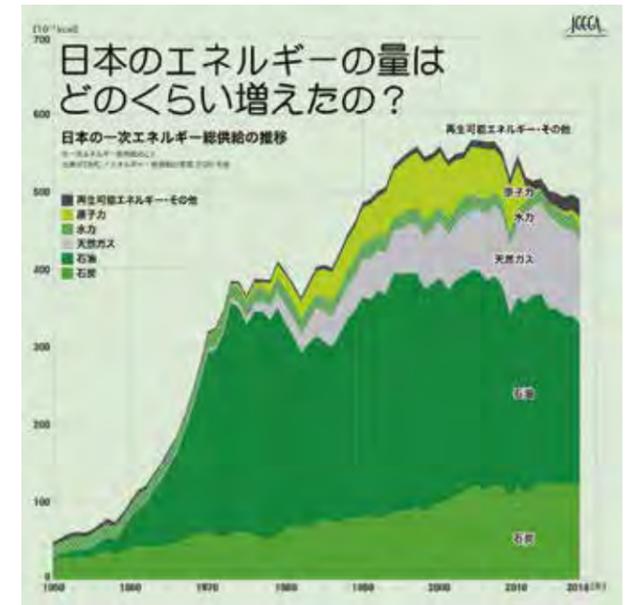
化石燃料への依存度は高いまま

日本のエネルギー供給源は、化石燃料に大きく依存しています。日本の高度経済成長期をエネルギー供給の面で支えていたのが、中東地域などで大量に生産されている石油でした。

石油の多くを輸入に頼っていた日本でしたが、1970年代にオイルショックが発生しエネルギーの安定的な供給を確保することが最重要課題であると認識されます。そこでエネルギー源の分散が進みました。しかし、2011年に東日本大震災が発生。国内の原子力発電所が停止し、再びエネルギー源として化石燃料が用いられるようになりました。

2018年度の化石燃料への依存度は85%となっています。

(出典) 参考文献6



出典: EDMC / エネルギー・経済統計要覧2020年版
全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト

このままでは気温がさらに上昇

IPCC第5次評価報告書によると、2081年から2100年の世界の平均地上気温は1986年から2005年の平均よりも最小で0.3°C、最大で4.8°C上昇するとされています。

21世紀末に温室効果ガスの排出量が2倍になり最も温暖化が進行した場合(「RCP※8.5」シナリオ)では、2.6~4.8°Cの気温上昇が見込まれています。一方で21世紀末に温室効果ガスの排出をほぼゼロにした場合(「RCP2.6」シナリオ)、気温上昇は0.3~1.7°Cまで抑えることができます。

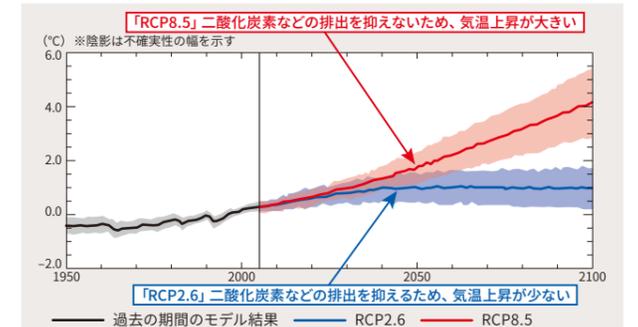
(出典) 参考文献7

※RCP: Representative Concentration Pathways 代表的濃度経路の略称

温度上昇を抑える動きが必要

地球温暖化に対する対策は大きく分けて2つあります。1つは、原因となる温室効果ガスの排出を抑制する「緩和」、もう1つは、既に起こりつつある、あるいは起こりうる温暖化の影響に対して、自然や社会のあり方を調整する「適応」です。私たちはまず、温暖化の原因に直接働きかける「緩和」を進める必要があります。一方で、最善の緩和の努力を行ったとしても、世界の温室効果ガスの濃度が下がるには時間がかかります。したがって、「緩和」と同時に差し迫った影響への対処として、「適応」の取組も不可欠となるのです。(出典) 参考文献8

● 1986~2005年平均に対する世界平均地上気温の変化



出典: 環境省 STOP THE 温暖化2017

● 2つの温暖化対策: 緩和と適応



出典: 環境省 地球温暖化から日本を守る 適応への挑戦2012

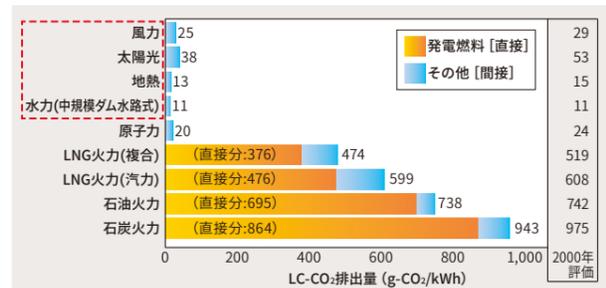
再生可能エネルギー

二酸化炭素排出が圧倒的に少ない再生可能エネルギー

再生可能エネルギーは、化石燃料と異なり、利用時に温室効果ガスである二酸化炭素を排出しないため、化石燃料代替による温室効果ガス削減に大きく貢献します。再生可能エネルギーで発電を行う場合、設備の建設・廃棄等を含めたライフサイクル全体でも、化石燃料発電に比べて二酸化炭素排出を大幅に削減できます。IEAの試算では、世界の2050年の温室効果ガス排出量を2005年比で半減させる際、再生可能エネルギーの寄与度は17%と推計されています。

(出典) 参考文献9

● 発電によるライフサイクル二酸化炭素排出量の比較



出典：今村・長野（電力中央研究所）「日本の発電技術のライフサイクル二酸化炭素排出量評価—2009年に得られたデータを用いた再推計—」

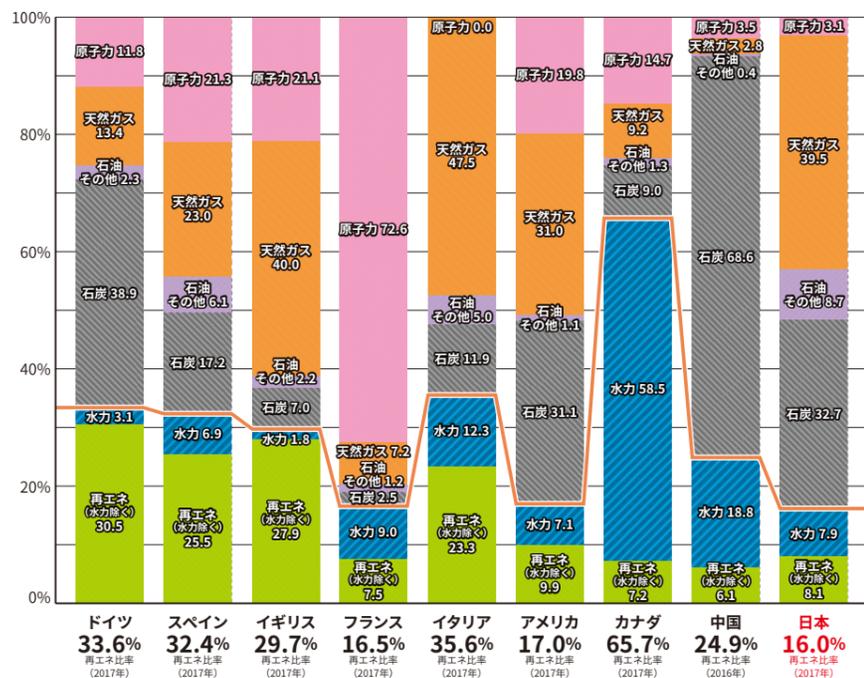
日本におけるの再生可能エネルギーの割合は16%

2017年度の我が国の電源構成に占める再生可能エネルギー比率は約16%となっており、ドイツやイギリスといった諸外国と比べて、低い水準にあります。世界では、再エネの発電コストは急速に低下しており、その他の電源と比べても、コスト競争力のある電源となってきています。

しかし、日本では、再エネの発電コストは低減してはいるものの、国際水準と比べれば依然として高いままです。日本で再エネ大量導入を実現するためには、このコストの問題を避けて通ることはできません。

(出典) 参考文献6

● 発電電力量に占める割合



出典：資源エネルギー庁

再生可能エネルギーの種類と利用

太陽光・風力・地熱・中小水力・バイオマスといった再生可能エネルギーは、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源です。

再生可能エネルギーには、発電に利用できるものの他に、地中熱のように熱として利用できる再生可能エネルギー熱があります。我が国の最終エネルギー消費の現状において、熱は電力より大きな比率を占めています。したがって熱利用の脱炭素化はとても重要になります。そこで再生可能エネルギー熱が注目されています。

● 再生可能エネルギーの種類

再生可能エネルギー発電等設備

太陽光発電

風力発電

地熱発電

小水力発電

蓄電池

バイオマス発電

再生可能エネルギー熱利用設備

地中熱利用

温度差熱

バイオマス熱利用

太陽熱利用

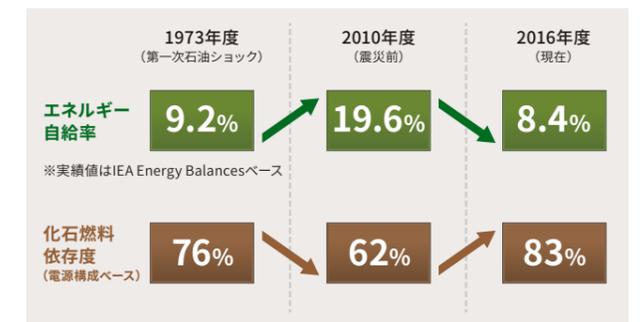
バイオマス燃料製造メタン発酵、それ以外

身近になる再生可能エネルギー

資源に乏しい我が国は、エネルギーの供給のうち、石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料が8割以上を占めており、そのほとんどを海外に依存しています。特に東日本大震災後、エネルギー自給率は10%を下回っており、エネルギー安定供給の観点から、この改善を図っていくことが重要です。再生可能エネルギーは身近にある国産のエネルギー源であり、エネルギー自給率の改善にも寄与することができます。2030年度のエネルギーミックスにおいては、再生可能エネルギー比率を13~14%とすることを目標にしており、この中には発電だけでなく熱利用としての再生可能エネルギーも含まれています。

(出典) 参考文献6

● エネルギー自給率、化石燃料依存度の推移



出典：資源エネルギー庁

地中熱とは何か？

夏は冷たく、冬は温かい地中熱

深さ10mくらいのところの地温は、年平均気温にほぼ等しくなっています。四国九州の南部で20℃、北海道で10℃、東京や大阪では17℃程度です。もちろん深くなれば地温は上昇しますが、100m程度の深さでは温度の上昇は2～4℃程度です。一方、四季のある日本では、冬と夏に地上と地中との間で10℃から15℃もの温度差が生じています。つまり、温度が一定である地中は冬には温かく夏は冷たい。地中熱の利用ではこの温度差に着目して、効率的に熱エネルギーの利用を行っています。

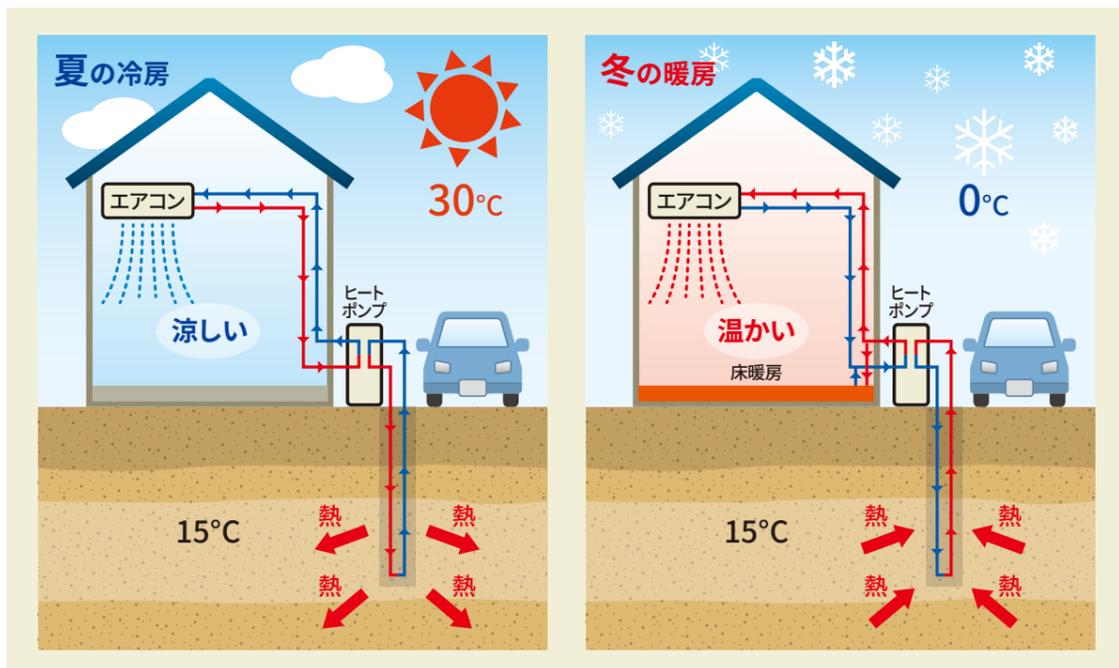
(出典) 参考文献10



地中熱ヒートポンプを使って、夏涼しく冬温かい家へ

地中熱利用ヒートポンプとは、大地とヒートポンプを組み合わせた冷暖房・給湯システムです。年間を通して温度が一定の地中を利用し、夏は外気より温度の低い地中に熱を放熱し、冬は外気より温度の高い地中から熱を採熱します。ヒートポンプとは、熱を温度の低い所から高い所に移動させる機械です。

(出典) 参考文献10

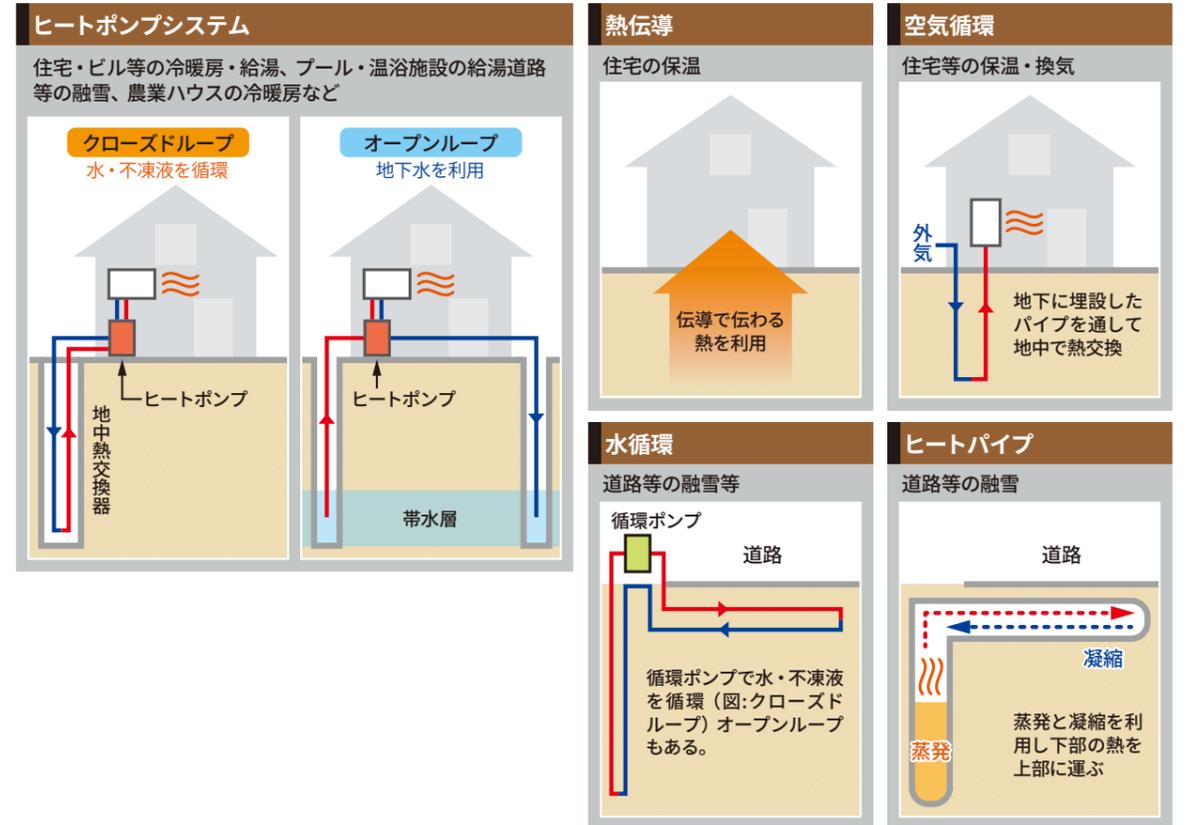


場所や利用方法に合わせて選択できるシステム

大地と熱を交換する方法は数種類あります。最も一般的なものは、地中にパイプをループ状に挿入し、その中で不凍液等を循環させるクローズドループです。そのほかにも、地下水の熱を直接利用するオープンループ等があります。

(出典) 参考文献10

● 地中熱利用の形態



実は身近な地中熱

地中熱は、実は昔から日本では利用されています。地中熱交換器を使った地中熱利用は、1980年代からですので新しい技術といえますが、温度変化の小さい地中の特性は、野菜を保存する室(むろ)ですとか、食品の貯蔵に地中の空間が使われてきています。さらに、私たちの先祖にあたる縄文人の竪穴式住居も地中熱を巧みに生活空間に取り入れたものといえます。

(出典) 参考文献10

コラム 地中熱の魅力と、他の再生可能エネルギーとの違い

自然エネルギーというと天候に左右されたり、利用できる時間帯が限られていると見られがちですが、地中熱は安定的にいつでも利用できる自然エネルギーです。また、地中熱の場合、日本中どこでも利用できることも大きな利点です。

(出典) 参考文献10

	地中熱	地熱	太陽熱	太陽光	風力	小水力	バイオマス	雪氷
場所の制約	なし	火山・温泉の近傍	なし	なし	風況調査が必要	落差のある河川	(要搬送)	積雪地近傍(要搬送)
時間の制約	なし	なし	昼間	昼間	風の吹く時間帯	湛水期以外	(要搬送)	(要搬送)
エネルギー利用形態	電気	主に事業用発電	主に事業用発電	自家発電 事業用発電	事業用発電 自家発電	主に事業用発電	主に事業用発電	-
	熱	冷暖房 給湯 融雪	暖房 給湯 融雪	給湯 (冷)暖房	-	-	暖房 給湯	冷蔵 冷房

暮らしの近くにある地中熱

■地中熱は昔から利用されていた



竪穴住居の熱源として使われた地中熱
温度変化が小さいという地中の特性は、私たちの先祖である縄文人が生活に取り入れています。竪穴式住居がその例です。
(出典) 参考文献10



風穴で利用されていた地中熱 写真:下仁田町歴史館より提供
群馬県にある荒船風穴は、自然によって生まれた冷風を利用し、蚕の卵を貯蔵したことで、生糸産業の発展に貢献しました。

■今でも使われ続ける地中熱

夏は冷たく、冬には温かい地中熱は今でも利用されています。ワインの保管のため温度を一定にする必要のあるワインセラーや、野菜を保存する室など、食品の保存に地中熱が使われています。
(出典) 参考文献10



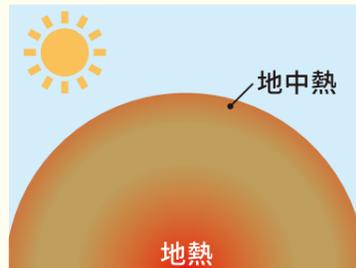
地中熱を利用しているワイナリー



食品を保存するための空間を地中に作る

コラム 地熱と地中熱の違い

火山や温泉の熱や、高温の地球中心部から伝わってくる熱を地熱といいます。高温の地熱は発電等に利用されています。一方、地中熱は地中の浅いところにある年間を通して温度が一定のエネルギーです。日本では100m程度の深さまでの熱が、夏は冷熱、冬は温熱として利用されています。一方、ヨーロッパでは近年300m程度の深さまでの地中熱が利用されるようになってきました。
(出典) 参考文献10

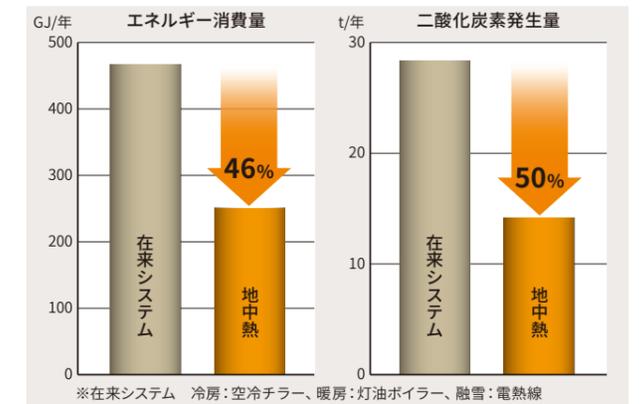


地中熱の特徴

■効率的な運転で大きな省エネ・二酸化炭素削減が可能

地中熱利用システムは、年間を通して温度が一定の地中の熱を利用するので空気熱を利用するよりも高い効率で稼働します。そのため、高い省エネ・二酸化炭素削減効果をもたらします。建物の冷暖房のほか歩道の融雪に地中熱を利用している青森県弘前市の施設で、地中熱と従来型のエネルギー利用を比較したときの、一次エネルギー消費量と二酸化炭素発生量を示しています。ここではエネルギー消費量は在来システムとの比較で、46%減となっており、また二酸化炭素発生量は50%減となっています。
(出典) 参考文献10

●青森県の施設におけるエネルギー利用の比較

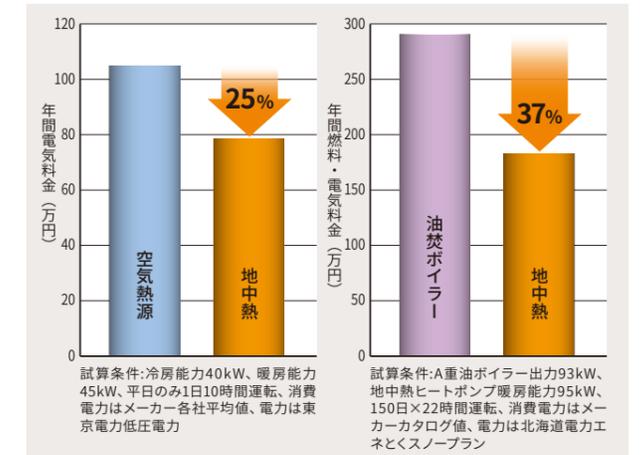


出典: 地中熱利用協会ホームページ

■省エネが電気代の削減にもつながる

地中の熱の温度は年間を通して一定で、夏は外気より冷たく冬は外気より温かいです。そのため地中熱ヒートポンプは、同じ温度の熱を作り出すのに空気熱源ヒートポンプよりも少ない電力で済みます。空気熱源ヒートポンプを地中熱ヒートポンプシステムに切り替えた場合のランニングコストについて、オフィスビルを例に試算すると年間の電気料金は25%の削減が見込まれます。また、地中熱の利用は燃料代の削減にも寄与します。暖房や融雪利用における油焚ボイラーの場合は、燃料代と電気料金の合計で37%の削減が見込まれます。
(出典) 参考文献11

●ランニングコストの試算例



出典: 環境省 地中熱利用システムパンフレット

■地中熱はヒートアイランド対策にも

空気熱源ヒートポンプは、冷房時に発生する熱を大気へ放出します。そのため都市部で問題となっているヒートアイランド現象の一因として考えられています。一方で地中熱ヒートポンプは地中で熱交換を行い、温排気を大気へ放出しません。したがってその普及はヒートアイランド現象の緩和に寄与し、夏期の気温上昇を抑制する効果が期待されています。
(出典) 参考文献11



大気中に熱を放出する空気熱源ヒートポンプ

地中熱の利活用

■地中熱の利用は多岐にわたります。

地中熱は住宅、事務所、庁舎など、さまざまな場所で利用されています。日本でも設置件数が伸びており、これからの普及が期待されています。

(出典) 参考文献10, 11



農業用途

地中熱を利用した冷暖房を行うことで、光熱費の削減だけでなく作物としての新しい付加価値を生む可能性もあることから、農業に地中熱利用システムを導入する事例が増えています。

東京スカイツリー®
地域



東京スカイツリー地域では、日本の地域冷暖房では初めて地中熱利用システムを採用しました。基礎杭とボアホールに設置されたチューブを使って地中熱と熱交換します。その熱を利用して夏は冷水、冬は温水を作って地域の冷暖房の一部として利用します。

東京国際空港(羽田空港)
第3ターミナル



羽田空港第3ターミナルでは、土地の特徴に合わせた地中熱利用を行っています。羽田空港では、地中約50mまで杭を打ち建物を安定させています。この杭に熱交換器を取り付けて地中熱を回収することで、冷暖房として利用しています。



一般家庭の冷暖房



学校

地中熱ヒートポンプは地中で熱交換を行うため、建物の外観を損なうことがありません。そのため、景観保護の観点からも評価されています。

オフィスビルの冷暖房



融雪

道路の下に配管を埋め、地中の熱を循環させることで舗装を温め融雪及び凍結防止を行います。地下水の汲み上げによる地盤沈下の障害発生の抑制も可能です。

潜入!! 地中熱!!

東京スカイツリー®地域の地中熱システムを探る

地中熱はたくさんの施設に導入されています。

その中でも、地域冷暖房※としてはじめて地中熱を導入した東京スカイツリータウン®のシステムを紹介します。

※ 空調用熱源の冷温水・蒸気などをプラントと呼ばれる施設でまとめて製造し、それらを複数の建物へ供給すること。



1 地中から熱を採るチューブ

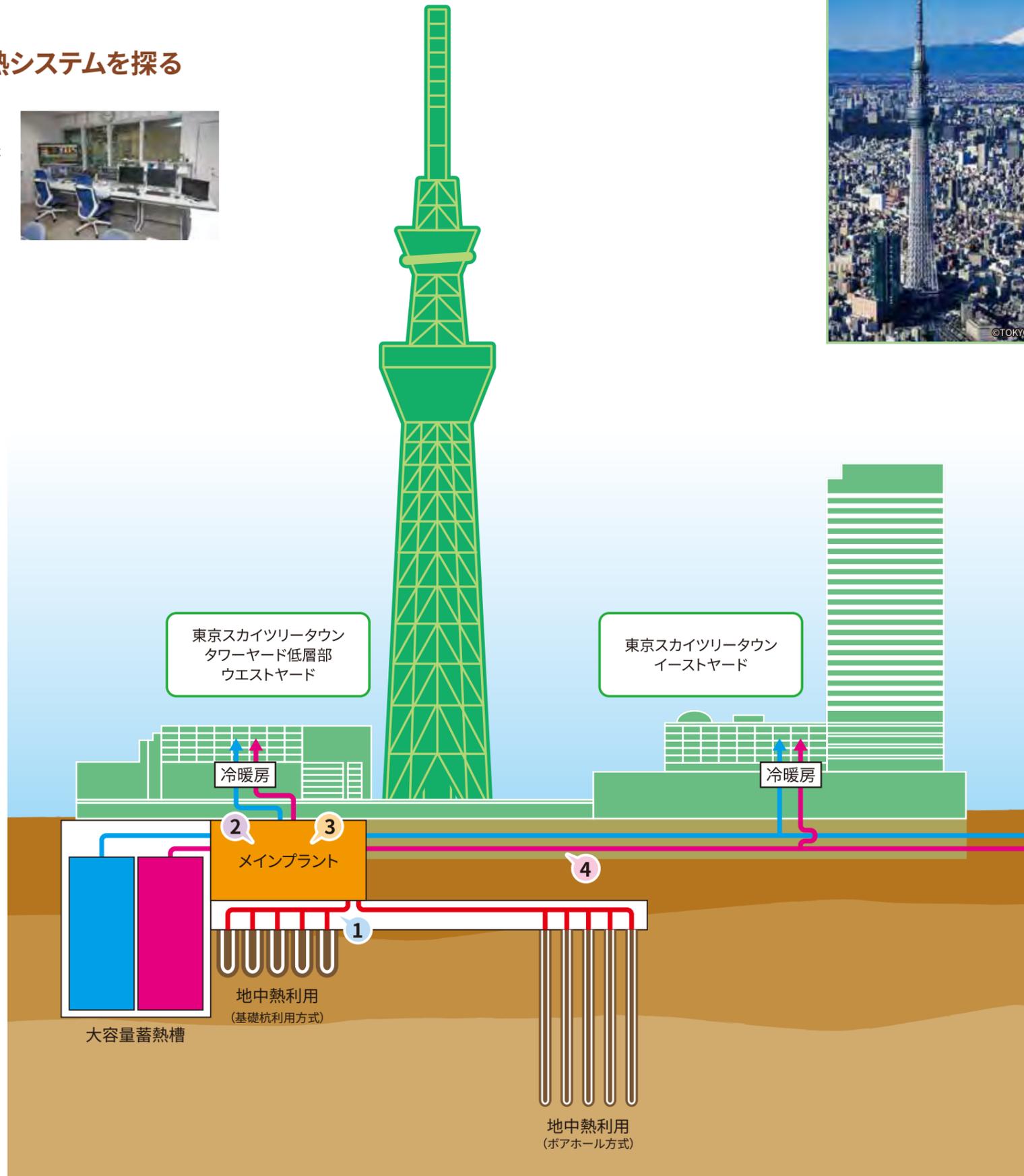
チューブが、いたるところに埋め込まれています。このチューブはボアホール方式では地下約120メートル、基礎杭利用方式では地下約18メートルまで伸びています。チューブの中には熱源水が流れ、地中の熱と熱交換します。



写真は基礎杭利用方式

2 地中熱ヒートポンプ

メインプラント内には地中熱ヒートポンプが設置され、東京スカイツリー地域の地域冷暖房を支えています。



東京スカイツリー® 地域冷暖房システムとは
東京スカイツリータウン®とその周辺の施設へ冷暖房用の冷温水供給を行っています。一部は地中熱利用システムで作られた冷温水も活用されています。

3 メインプラント

メインプラントには大容量の熱源機械が設置されています。これらの機械で冷暖房用の冷水と温水を作っています。



4 熱を街に供給するパイプ

この大きなパイプを通して、冷温水が東京スカイツリー地域の各施設に運ばれます。パイプの全長は往復でおよそ3kmもあります。



導入事例

東京スカイツリー®
地域



新しい施設ならではの挑戦 日本初、地中熱を利用した地域冷暖房



株式会社
東武エネルギー・マネジメント
常務取締役
佐藤 清さん(右)
技術部 課長補佐
佐藤 智一さん(左)

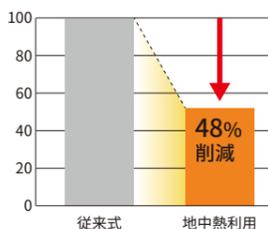
【導入概要】

場所: 東京都墨田区
用途: 東京スカイツリータウン®とその周辺の建物、施設の冷暖房の熱源に地中熱を利用
供給開始: サブプラント 平成21年10月26日
メインプラント 平成24年4月1日

【導入効果】

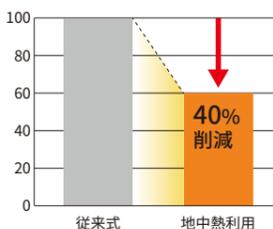
●省エネ効果

同規模の従来システムと比べ、エネルギー消費量を年間48%削減



●省CO2効果

同規模の従来システムと比べ、二酸化炭素排出量を年間40%削減



●ヒートアイランド抑制効果

従来システムの場合の待機放熱量7,176MJ/日を0に削減

新しい施設だからこそ検討できた地中熱

計画当初、東京スカイツリータウンは新しい施設でしたから、エネルギー供給という面でも新しいことができないかと考えていました。そこで検討していたのが再生可能エネルギーや未利用エネルギーの活用です。

東京スカイツリータウンのすぐ横を通る北十間川を熱交換で利用できないか、近くにある工業用水路を使って熱交換できないか、また隅田川を使うことはできないかなど、さまざまな手法を検討しましたがどれも実現は難しそうでした。そこで、地中熱であれば小規模ながらも実現の可能性があることから検討を開始しました。地中熱で東京スカイツリー



東京スカイツリー地域の熱供給範囲

地域全体への冷暖房を行うことはできませんが、少しでも再生可能エネルギーを活用して環境面から社会に貢献できればとの思いからです。

地域冷暖房としては我々が初めての地中熱利用だったのですが、小規模なものは北海道や東北で既に利用されていたので導入に不安はありませんでした。また、導入に向けた事前調査は念入りに行い、採熱に問題が無いことを確認しておりましたので、導入はスムーズに進みました。



東京スカイツリータウン®地下のメインプラント

学生、海外関係者など国内外から反響多数

地中熱を利用したプラントができたということは、関係者でも話題になりました。

地中熱利用促進協会様が地中熱を使ったプラントの一例として展示会などで紹介していただきました。そのおかげもあり、国内外のさまざまな方から見学したいという声を頂きました。

さらに工業高校に通う高校生や、東京の大学生も見学に来たことがあります。



省エネについても、効果は実感できています。

データ分析の結果、同規模の従来システムに比べて二酸化炭素排出量が約40%削減と期待通りの効果が出ています。熱交換するために地中熱を使い、大気に熱を放出することはない。地中熱は地球に優しいシステムであると実感しています。



導入された地中熱ヒートポンプ

地中熱を利用した 地域冷暖房のパイオニアとして

環境に優しい施設ではありますが、地域の方からの反応は残念ながら多くありません。冷暖房自体も見えないですし、プラントは地下にありますから、なかなか実感しにくいのが課題かなと思います。身近なところで使われているという事例を紹介して、気運を高めていくことが大事になってくるのではないのでしょうか。

地中熱利用が全国にもっと広まれば、地球温暖化防止にもだいぶ貢献できるはずですが、地中に排熱することでヒートアイランド現象を抑制できるということが地中熱利用の特徴なのですが、規模が大きくなればそれだけ効果も大きくなります。

東京スカイツリー®地域の供給区域は新しく開発されてきたエリアですから、脱炭素社会の実現に向けて引っ張っていきたいという気持ちは十分あります。東京都の定めるトップレベル事業所等の認定、省エネ大賞受賞という実績を活かしながら、地中熱を利用した地域冷暖房のパイオニアとして将来に向けてどんどんアピールしたいです。

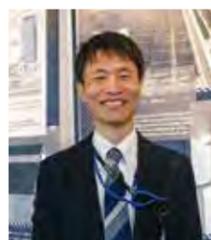


東京スカイツリータウン
ソラマチひろばの地中深さ約120mまでチューブが敷設されている。

導入事例
横浜市役所



8代目市庁舎は災害対応と環境性に重点 市民が憩うアトリウムの空調の熱源に地中熱を導入



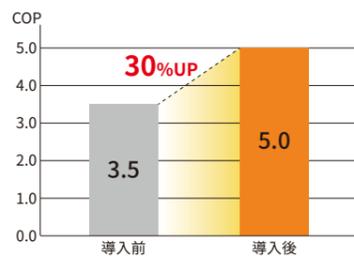
横浜市建築局
公共建築部施設整備課
新市庁舎整備担当係長
飯塚 泰明さん

【導入概要】

場所：神奈川県横浜市中区
用途：横浜市庁舎1階アトリウムの空調等
供用開始：令和2年6月

【導入効果】

■成績係数 (COP)



※成績係数 (COP: Coefficient Of Performance) : エネルギー消費効率を表す指標
※従来システム (COP3.5として算出) との比較
※アトリウムに導入した地中熱利用と排熱活用を合わせた効果

「我慢」が実現していた旧庁舎での省エネ

横浜市は平成24年に環境未来都市、平成30年にはSDGs未来都市や温暖化対策実行計画 Zero Carbon Yokohamaを掲げ、環境に取り組んできました。一方で、1959年から60年間使ってきた旧庁舎自体の空調は、いわば「我慢の空調」で、設備を動かさないという努力によって省エネをしてきま



新市庁舎の環境コンセプト 地中熱をはじめさまざまな技術を組み合わせる

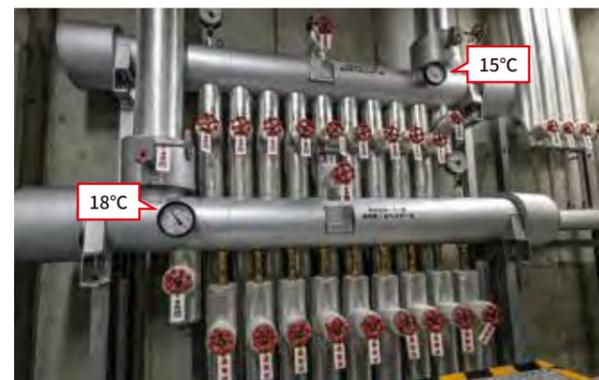
した。17時15分になると真夏でもエアコンが切れ、職員は皆一斉に窓を開けて仕事をしていました。平成25年に策定した「新市庁舎整備基本構想」では、環境に最大限配慮することが基本理念に盛り込まれました。設計・施工の事業者選定は高度技術提案型総合評価落札方式で実施しましたが、技術提案を頂くにあたり、環境に対する要求水準を高く、また評価項目でも耐震に次ぐ二番目の配点を科して、環境に重きを置くという市の意思を示しました。環境性能が優れる技術提案を多岐にわたって頂いていると思っています。

地中熱は「導入しやすい技術」

新市庁舎は、町をつなぐ結節点というコンセプトがあり、パブリックビューイングやイベントができ、賑わいをつくるスペースとして1階にアトリウムを作りました。その空調の熱源に地中熱を活用しています。もともと地中熱の導入は初めてではなく、区役所で導入を進めていました。泉区で効果を検証し、その経験をもとに南区と金沢区にも導入しています。港南区は地下鉄の湧水を熱源として活用し、各区役所で自然エネルギーを活用してきました。省エネにはさまざまな方法がありますが、地中熱は工事の際に採熱管を地中に埋め



アトリウムにある地中熱を熱源とする床吹出空調。その他床輻射冷暖房にも活用し、床の下には冷温水が流れる管が埋まっている。3月でも床を触るとほんのり温かい



撮影日は3月。地中から18°Cの熱を採熱し、暖房に活用したのち15°Cになって地中に戻っていることが分かる

てしまえば基本的にはメンテナンスフリーです。熱源を空気から地中の水に変えるだけなので、関係方面の調整事も多くはありません。複雑化するシステムでもないため、導入後の管理を考えても、導入しやすい技術だと感じています。しかし、完成後は埋まっている設備は見えないのでPRの点では地中熱の難しいところ。今後、いろいろな機会をとらえて発信していきたいと考えています。



市庁舎内の展示スペースでは竣工1年を記念した新市庁舎展を行い、市民にPR

脱炭素社会に向けて、「環境のショーケース」で技術発信に

その他にも執務室に輻射空調を採用するほか、自然換気のためのパネルを設置しました。外気の条件が整ったら、各執務室にある「自然換気ランプ」を光らすとともに音も鳴らして、職員にパネルを開けることを促します。空調の運転を抑えて省エネをするのです。職員のみさんの協力に支えられ高い稼働となっています。



自然換気専用のパネルで、超高層の建物にも関わらず外の風を感じることができる

さまざまな技術を組み合わせ、快適でありながら省エネができることをコンセプトに進めてきました。計画値では52%の削減ができ、ZEB ready※1を達成しています。我慢をすればいくらでも省エネにはなるのですが、それは業務効率の低下につながります。市民の財産として庁舎を整備させていただいているため、業務の効率化につなげ、市民サービスに還元されることを期待しています。

環境に取組む横浜市の新市庁舎として「環境技術のショーケース」とすべく整備をしてきました。まさにできることを全て組み合わせたからこそ、ここまで省エネが実現できたのだと思います。脱炭素社会に向けて、この市庁舎が一つの技術発信になればと思っています。



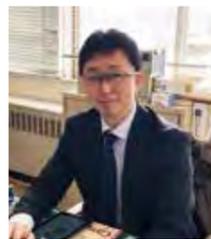
※1 ZEB (※2) を見据えた先進建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物
※2 年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物

導入事例

北欧の風
道の駅とうべつ



冷暖房需要と高い地中温度 需要と供給をつないだ地中熱ヒートポンプ



当別町 経済部エネルギー推進室 室長
吉野 裕宜さん

【導入概要】

場所:北海道石狩郡当別町
利用用途:道の駅の冷暖房の熱源
開業:平成29年9月

【導入効果】

- 省エネ効果(エネルギー消費量) エネルギー削減量(R1実績)
26,283kWh^{※1}
- 省CO₂効果(二酸化炭素削減量)(R1実績)14.6tCO₂
- 年間ランニングコスト 電気代(R1実績)730,685円^{※2}

※1 ヒートポンプの冷温熱供給量を元に空気熱ヒートポンプを使用した場合のエネルギー消費量と実際の地中熱ヒートポンプ実績と比較して算出
※2 施設全体の高圧電力の使用量と使用料金を元に、案分して算出

地中の温度が高いという地域特性

当別町は、石狩川を挟んで札幌市の北側に隣接し、農業を基幹産業とする町です。また、町面積の約6割を森林が占めることから近年は林業にも力を入れています。環境への取組としては、平成28年に「当別町再生可能エネルギー活用推進条例」を制定するなど、再生可能エネルギーの活用に取り組んできました。

平成26年、道の駅の建設を目指して「基本計画」が策定され、その中で再生可能エネルギーの積極的な活用について検討が始まりました。建設予定地となった太美地区はもともと、地中の温度が高いという特性があり、昔から地域住民は知恵を使って融雪に利用していたり、地中100m程の深さから25~26℃くらいのお湯を汲み上げて、加温して温泉に使うなどの活用をしていました。

暖房と冷房、どちらにも対応すべく ヒートポンプを選択

平成27年に実施した「太美地区の地中熱導入可能性調査」では、改めて地中熱が有効な地区であり、他のエネルギー

種と比較しても最もメリットがあることが分かったため、道の駅の冷暖房設備に地中熱ヒートポンプを採用しました。



地中熱のボーリング調査



導入した地中熱ヒートポンプ

地中熱を活用すると省エネになる上、暖房だけでなく冷房の需要もあったことがポイントでした。暖房だけでは、ペレットストーブやチップボイラーの選択肢がありましたが、夏の冷房需要に対応するためには、冷暖房に使えるヒートポンプがよいだろうと考えてもいたので、冷暖房の需要に応えられる上に、地中の温度が高いという地域特性を活かせる選択でした。

ただ、再生可能エネルギー設備はイニシャルコストが高額となるため、補助金を活用したイニシャルコストの縮減やランニングコストを含めたライフサイクルコストの試算結果を元に議会や地域住民に説明し、理解を得ました。もともと認知度の低かった地中熱ですが、当時、北海道各地でも地中熱活用が進んでいたため、周囲の認知度も徐々に上がっていた頃でした。

環境への取組を一過性で終わらせない

道の駅は平成29年に開業しました。道産の木材を使い、三角屋根を特徴とした北欧風の建物です。

場所柄、道の駅は大きな宣伝効果、発信拠点の役割が期待

できるので、館内では地中熱利用や省エネ効果を「見える化」して発信しています。来場する方々にも好評です。



道の駅内のパネルを使って
地中熱利用を説明



また、町では豊富な森林資源を活かして木質バイオマス活用の取り組みも行っており、確実に再生可能エネルギーの導入が進んでいると実感しています。平成30年に策定した「当別町地球温暖化対策推進実行計画【事務事業編】」で掲げた「2013年度を基準年度として2030年度までに温室効果ガス排出量を40%削減」の目標は、達成が見えてきています。この取り組みを一過性のものにせず、町全体の目標として環境への取り組みを浸透させ、持続的に進めることが、我々の役目だと感じています。



導入事例

みんなの森
ぎふメディアコスモス



長良川の恵みをエネルギーに
地下水の熱を活かした空間で、知と文化、絆を育む



岐阜市 市民協働推進部
ぎふメディアコスモス事業課
施設管理係 元吉 達也 さん

【導入概要】

場所：岐阜県岐阜市
主な用途：館内の床輻射冷暖房の熱源
供用開始：平成27年7月

新たな自然環境と良好な景観の創出を

日本の中央に位置する岐阜市は、岐阜県の県庁所在地であり、玄関口であるJR岐阜駅周辺には高層ビルが並ぶ一方、1300年の歴史を持つ鶯飼が有名な清流長良川や、織田信長ゆかりの岐阜城、自然豊かな金華山があり、斎藤道三、明智光秀をはじめとする戦国武将ゆかりのまちでもあります。まちと自然がバランスよく共存する岐阜市に平成27年に完成した「みんなの森 ぎふメディアコスモス」は「知の拠点」の



写真提供 岐阜市

役割を担う市立中央図書館、「絆の拠点」となる市民活動交流センター、多文化交流プラザ及び「文化の拠点」となる展示ギャラリー等からなる複合文化施設です。場所は、街のなかでも市庁舎をはじめ、多くの公共施設が集まるシビックゾーンの一部に位置しています。もともと岐阜大学医学部等の跡地で、その利用に関して、平成16年から市民意見の募集をしながら検討を進めてきました。そして、「にぎわい」、「地域の文化・芸術によるまちの魅力」の創出、都市の「地域力」の創出、「新たな自然環境と良好な景観」の創出を開発コンセプトとして、計画が進みました。

地域資源で快適な環境をつくる

「自然エネルギーを最大限に活用し、消費エネルギー1/2の建築を実現する」という環境計画を掲げ、地域特性である長い日照時間や豊富な地下水をはじめとした、さまざまな自然エネルギーを活用した施設となっています。建物直下には長良川の伏流水が流れており、敷地内にある深さ30mある2本の井戸から汲み上げて採熱しています。その熱は地域の豊富な資源であり、有効な未利用エネルギーでした。



導入した空調用熱源機器と採熱用の熱交換器群

敷地内にある深さ30mある2本の井戸から汲み上げて床輻射冷暖房の熱源として使い、その後外の広場にあるせせらぎへ放流され、最終的には樹木の給水として地中に帰っていきます。太陽光は発電と採熱で十分に有効活用しています。また、「グローブ」と呼ばれる、逆さまの漏斗の形状で床から浮かんだ大きなかさは、風の流れを生み、自然換気効果

を増幅させるほか、上部から自然光を取り入れ、かつ直射光をやわらかく拡散して適度に明るい空間をつくります。湿度コントロールができるデシカント空調機など、特徴的な設備に加え、空間の温度や湿度だけでなく、快適性を評価するための指標であるSET*（標準新有効温度：Standard new Effective Temperature）の6要素、気温、湿度、気流（風速）、放射、着衣量と代謝量を個別で制御でき、さまざまな方向から快適かつ省エネルギーな環境づくりを目指しています。屋根には、岐阜の県産材である「東濃ひのき」を使用しており、さまざまな地域資源を取り入れた施設となっています。



さまざまなイベントに市民が憩う

これらの自然エネルギーを最大限に活用し、従来の建物が消費する一次エネルギーと比較して、50%以上削減できる環境システムになっています。

令和3年5月には、南側に岐阜市の新しい市庁舎が開庁します。新市庁舎でも地中熱を空調システムに取り入れ、電気とガスを組み合わせたハイブリット熱源による空調システムとするほか、太陽光発電や屋上緑化といった気候や風土を活かした環境利用と、エネルギー管理システムとの併用により、さらなる省エネ化を図ります。



グローブが自然換気と自然採光の効果を高める

導入事例

新潟駅南口広場



積雪時でもバリアフリーを
地中の熱で道路の雪を融かす



新潟市 都市政策部 新潟駅周辺整備事務所 技師 千代 透さん

【導入概要】

場所:新潟県新潟市
利用用途:歩道の融雪
供用開始:平成21年9月

持続的に発展する都市をめざして

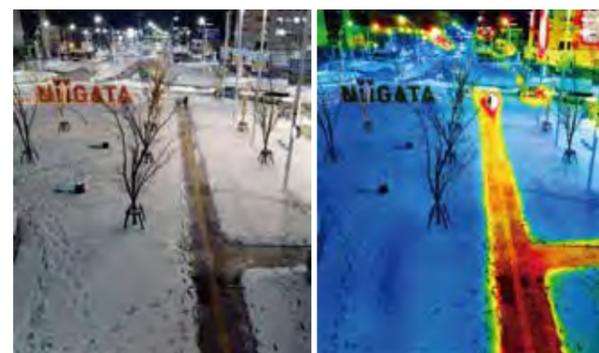
本市では、新潟駅付近連続立体交差事業を契機とする、新潟駅周辺整備事業を進めています。この新潟駅周辺整備事業は、鉄道を横断する幹線道路整備や駅前広場の再構築により、安全で円滑な交通機能の強化や駅利用者の利便性向上、周辺土地利用の高度化など大きな効果が期待されています。しかし、市の人口は減少局面に入っており、少子超高齢化が進行している中、日本海側の都市と都市をつなぐ「日本海拠点都市」としての拠点性を高め、持続的に発展する都市づくりを進める必要に迫られています。このことから、都市間競争における優位性を獲得するため、都市イメージの発信や交通結節機能の強化などの付加価値を高め、拠点性向上を図ることが重要です。

新潟駅周辺整備事業のうち、駅前広場については、これまで平成11年度に市民有志からなる実行委員会と市との共催で、「わいわいガヤガヤ駅サイト」（市民意見交換会）を開催し、平成13年度に「新潟駅駅舎・駅前広場計画提案競技」の企画会議・審査委員会を設置しました。応募登録受

付開始を経て、翌14年度に開催した新潟駅駅舎・駅前広場計画提案競技で最優秀賞を受賞した作品をもとに、市民ワークショップで市民の意見を取り入れながら、将来にわたり市民が誇れる駅前広場となるよう、計画を策定しました。

導入の決め手はランニングコスト0

整備以前、新潟駅南口に融雪システムはなく、冬期のバリアフリー対策が必要で、市民ワークショップにおいても、融雪システムの必要性について議論が交わされました。整備後のランニングコストが懸念であったため、自然エネルギーを利用し、ランニングコストが一切かからない点から、地中熱ヒートパイプ融雪システムの導入を決めました。



融雪範囲の平面図（色付部分が融雪範囲）。導入後の写真を比較すると、図面通り融雪されていることが分かる

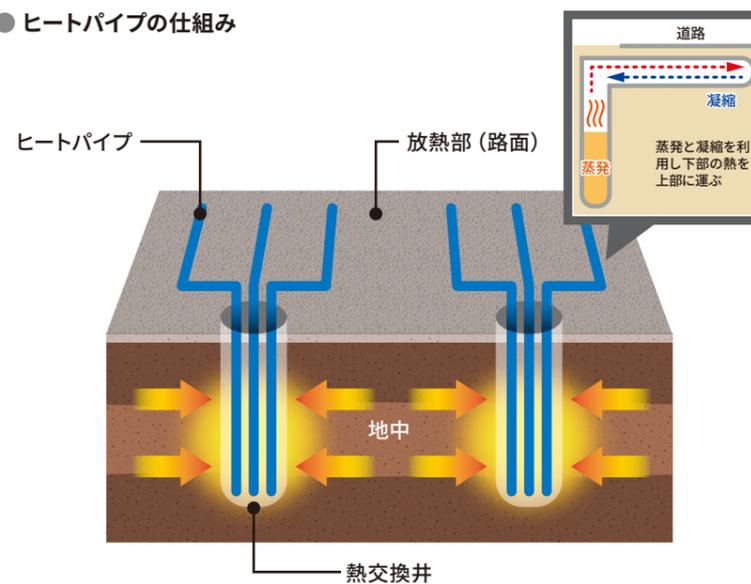
平成21年9月に供用開始し、東側に路線バス乗降場、西側にタクシー乗り場と家用車整理場を整備し、整備前と比べて鉄道との乗換え利便性が向上しました。中央部には約1,350

m²のにぎわい空間を設けており、さまざまなイベントの会場として活用されています。中央部の歩行者動線上に導入した地中熱ヒートパイプ融雪システムは、冬の降雪時でも快適な歩行者空間を確保しています。通常の積雪時（30cm程度）には十分な効果を発揮している上、整備後もメンテナンスは不要なため、ランニングコストはかかっていません。

課題は、大雪により積雪深が厚くなると、地中熱ヒートパイプの能力を上回り、雪が融けにくくなることです。令和3年1月の大雪では、雪がなかなか融けず、非常に歩きづらい状態が数日間続きました。現在、設計を進めている駅北側の新潟駅万代広場では、歩行者動線上に上屋の設置を計画し、補完する位置へ同様の融雪システムの導入を検討しており、適切なシステムを導入して広場利用者の利便性向上を進めていきます。



● ヒートパイプの仕組み



蒸発と凝縮で熱を搬送することで、動力が不要のシステムです。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、その上部を路面の下に放熱管として埋設します。降雪時など、地中の温度が地表に比べて高いと、地中の熱でヒートパイプ内部の冷媒が蒸発し、気体となった冷媒は、軽くなったために地表に向かって管内を移動します。地表に移動すると温度が低いため、冷媒は周辺に熱を与えることにより凝縮し、この凝縮した冷媒は重くなって管内を下降します。地中熱が路面に運ばれることによる融雪は、この繰り返しで行われます。

特別インタビュー

建築家 伊東 豊雄 氏



地中熱で人にやさしく快適な環境をつくる

地中熱導入事例

みんなの森 ぎふメディアコスモス



場所：岐阜県岐阜市
主な用途：図書館、市民活動交流センター（多文化交流プラザを含む）、展示ギャラリー、ホール
開館：平成27年7月

©中村絵

新青森県総合運動公園陸上競技場 (カクヒログループアスレチックスタジアム)



場所：青森県青森市
主な用途：陸上競技場
供用開始：令和元年9月

©川澄・小林研二写真事務所

川口市めぐりの森



場所：埼玉県川口市
主な用途：火葬場
開館：平成30年4月

©中村絵

技術を駆使して、現代でも自然と親密な関係を結ぶ建築を

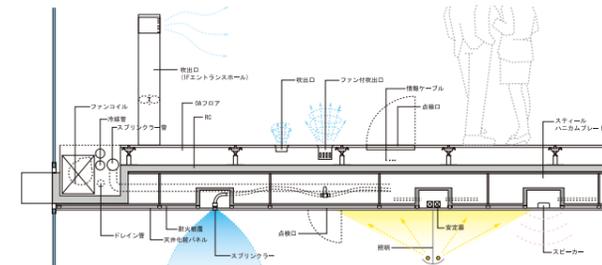
今日、世の中で一般的に考えられている建築は、自然から切り離れた人工環境を作ることとする近代主義思想に基づいています。しかし、その思想が西洋から輸入される以前、木造住宅を中心とした日本の建築は、冷暖房がない代わりに、自然と良い関係を保っていました。我々は、近代主義思想の先に、技術を駆使して自然と親密な関係を結ぶ建築を、現代においてもつくることはできないだろうかと考えてきました。その一環として地中熱があり、太陽光や自然換気があり、消費エネルギーを少なくすることにつながっています。

床吹出空調が地中熱のヒントに

90年代の初め頃から我々は床吹出空調を積極的に取り入れ、「せんだいメディアテーク」（平成13年開館）で全面的に採用しました。そこで、空調の過程で冷えたり温まったりした床が、輻射成分に置き換わり、快適性を高めることに気が付きました。床を中心とした環境づくりが有効だと分かり、せんだいメディアテーク ©宮城県観光課

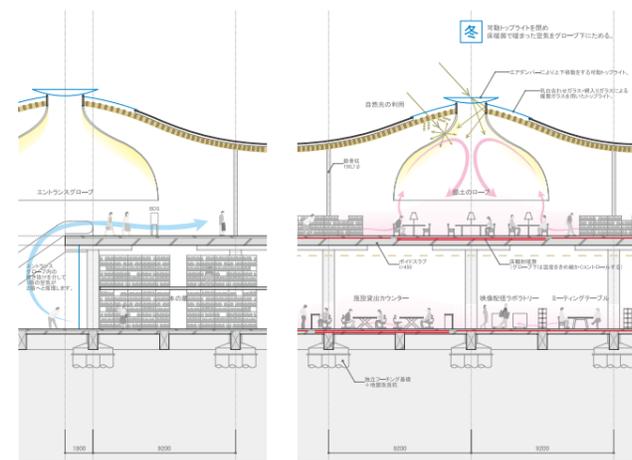


床を直接的な輻射帯とする方法を考えた結果、地中の熱に至りました。そして、地下水を利用した「みんなの森 ぎふメディアコスモス」が一つのテストケースとなりました。



せんだいメディアテーク 床断面設備のダイアグラム

ぎふメディアコスモスの建設地は、もともと大学病院の跡地で、長良川からの豊かな伏流水に恵まれています。1日約数百トン汲み上げても周辺に影響が出ていないという情報をもとに、地下水を直接汲み上げて効率よく活用する方法を検討しました。イニシャルコストを短期間で回収するのは難しいですが、ランニングコストを低減し、化石燃料をできるだけ使わなくても熱を得られるのは意義あることだと思います。また、デザインに影響しない点も好ましく感じています。この建築の基本的な考え方は、「大きな家と小さな家」を作るというもので、縁側があって南から北へとグラデーションに変化する昔の日本の建築を、せめて二段階で作ろうと考えたのです。大きな家の中はまだ外に近く、小さな家を最も良い環境にしました。地中熱も活用し、空気の循環や自然光も取り入れて、従来より効率の良い、消費エネルギーの少ない建築物になりました。岐阜の暑い夏であっても、設定温度は27~28℃と高めながらも床面が20~21℃で輻射帯となり、かつ湿度を下げた快適性を保っています。地中熱の魅力は、輻射冷暖房と組み合わせやすいエネルギーなので、それにより人にやさしく快適な環境ができる点



みんなの森 ぎふメディアコスモス 室内環境のダイアグラム

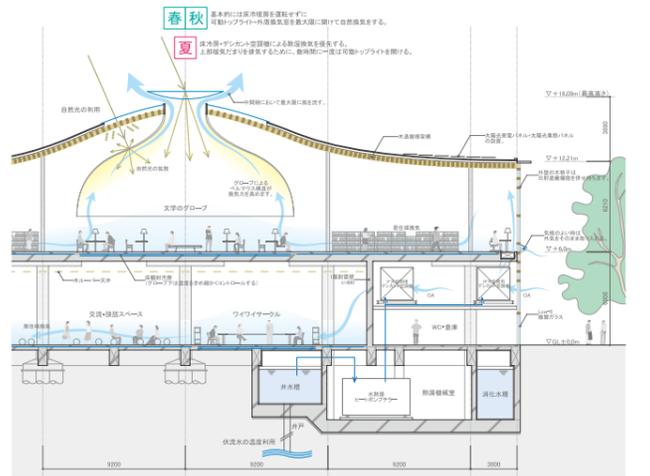
です。また、地域の特性をうまく活用できるエネルギーで、新青森県総合運動公園陸上競技場や川口市めぐりの森でも、それぞれの地域特性に合わせた形で活用しています。

脱炭素社会に向けて需要者側の議論を

脱炭素社会といったときに、供給側がいかにか自然エネルギーに頼るかばかりが議論されていて、需要者・利用者側の論理が議論に上らない。さまざまな技術を組み合わせ、ぎふメディアコスモスは消費エネルギーを2分の1まで削減できました。どんな建築でも消費エネルギーを減らすことはできると思うのです。そうすれば供給エネルギーも少なく済む。そのためにはたとえ断熱性能が低い空き家であっても、新たな技術を導入して、ぎふメディアコスモスのようにコントロールを可能にすれば、空き家の活用にもつながりますし、需要者側の論理を、思想として大きくすることが2050年に向けて必要だと思います。



現在、水戸に建設中の新しい複合施設にも地中熱を使っています。最近では公共施設のコンペティションの応募要項で、地中熱の利用が謳われるようになり、ここ数年の間ですぐに認識されてきたと思います。我々も、今後も地中熱を積極的に取り入れたいと思っています。



有識者インタビュー

エネルギーも活用しないと「もったいない」 地中熱でエネルギーの有効利用を

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
地熱統括部 特命審議役
安川 香澄氏



地中熱の“インフラ”化を実現するヨーロッパ

地中熱の活用はもともと1980年代頃からヨーロッパやアメリカで始まった技術です。地熱発電ができる国はヨーロッパでも限られますが、地表より少し温かい程度の熱でもヒートポンプを使えば暖房に活用できるということで、地中熱ヒートポンプが広まりました。

地中熱は利用時間が長いほど電気料金が得るので、年中を通して冷暖房をしている病院や老人ケア施設などでメリットが出やすいです。一般住宅でも、例えば三世帯同居で常に家に人がいて、1日中冷暖房を使うような家庭だとお得に使えます。

また、地域冷暖房※1にも有効で、ヨーロッパでは特に寒い地域で、暖房を効率化しようと、一か所で集中暖房し、セントラルヒーティング的に供給する地域冷暖房を街ぐるみでやっています。温水のパイプも、水道などと同じようにインフラとして整備されている国も多く、かつて石炭暖房だった熱源を地中熱に変えた経緯があるので、普及しやすかったのではないかと思います。

日本での地域冷暖房は、駅や役所周辺の商業施設など、公共の場所で活用が少しずつ増えており、ヨーロッパのように住宅まではまだ難しいですが、良い方法だと思っています。

発電の前に、 まずは再生可能エネルギー熱で節電を

脱炭素社会に向けて、二酸化炭素排出削減のための電化が進んでいますが、電力を暖房に使うのはもったいないと思っています。原子力発電も火力発電も、モノを燃やした熱でタービンを回して発電しますが、熱エネルギーを電気エネルギーに変える際に、エネルギーを6割もロスしてしまうのです。日本ではエネルギーの半分以上が暖房などの加熱に

使われているのに、わざわざ熱を電力に変換して、それを再び熱として消費するのはエネルギーの無駄使いです。再生可能エネルギーというと電力だけを考える人が多いのですが、エネルギーの有効利用という意味では、再生可能エネルギー熱を重視すべきです。地中熱は、地下にある再生可能エネルギー熱の利用であり、冷暖房に使えば節電効果が大きくなります。

ネット・ゼロ・エネルギーには地中熱

節電になる地中熱は、ZEB※2やZEH※3との相性が良いです。太陽光で発電をしても、電力消費が多くては収支をゼロにできないためです。また冷房の場合、外気に排熱しないのでヒートアイランド現象を緩和できるというメリットがあり、都市全体で地中熱の利用が進めば、冷房需要が減ってさらに省エネになります。ただし、地中熱だけで全て賄おうとすると、最も暑いときや寒いときに合わせて設備が巨大化し、導入コストがかさむので、日常的に使用する分は地中熱を活用し、特別に暑いときや寒いときに追加的に他のエネルギーで賄うのが賢い方法です。「エネルギーがもったいない」という感覚を持ち、まずは地中熱活用で節電から始めることがスタートなのです。



※1 地域冷暖房：冷水や温水等を一か所でまとめて製造し、供給するシステムです。“まとめて”製造・供給することによって省エネルギーや省CO₂などさまざまなメリットを実現します。
 ※2 ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）：年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物
 ※3 ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）：外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを旨とした住宅

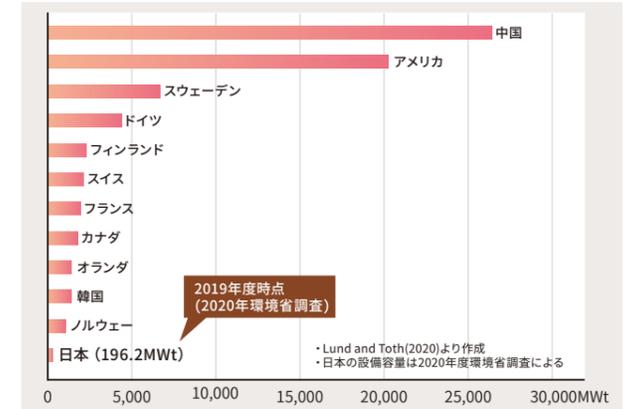
海外での取り組み

世界における地中熱ヒートポンプシステムの導入状況

海外では、日本に比べて地中熱利用ヒートポンプシステムの普及が進んでいます。欧米では1980年代から普及し始め、アメリカでは既に160万台以上が利用されています。欧米諸国や中国では、国のエネルギー政策で地中熱が取り上げられ、助成制度があります。日本と同程度の面積のドイツや面積の小さいオランダ、スイスでは日本の10倍以上の設備容量が導入されており、日本でもさらなる普及の余地は大きいといえます。

（出典）参考文献10

● 各国の設備容量

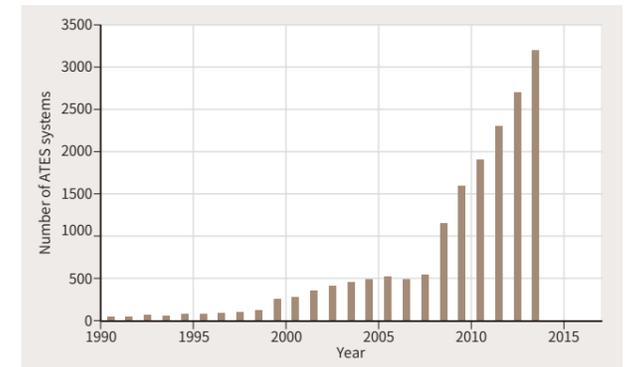


帯水層蓄熱システムの普及が進むオランダ

海外では既に帯水層蓄熱システムの導入が進んでいます。帯水層蓄熱システムは地中熱利用の一つです。帯水層蓄熱では排熱を帯水層に蓄え、熱エネルギーとして活用することで省エネ・省CO₂・ヒートアイランド現象の緩和を図るシステムです。（P29で説明）帯水層蓄熱システムの普及が特に進んでいるのがオランダです。オランダでは1990年代から国策として普及促進が進められ、2013年時点で約3000件を超えるシステムが稼働しています。

（出典）参考文献12

● オランダにおける帯水層蓄熱システムの普及状況



北京大興国際空港における世界最大規模の地中熱利用

中国にある北京大興国際空港では、中国最大級の地中熱ヒートポンプシステムを導入しています。試算によると、このシステムは浅層地熱エネルギーを毎年56万3000GJ取り込み、空港の250万平方メートルの事務エリアの天然ガス使用量を年間1735.89立方メートル削減できます。二酸化炭素の排出量を1万5800トン削減できるグリーン・省エネ空調システムです。

（出典）参考文献13



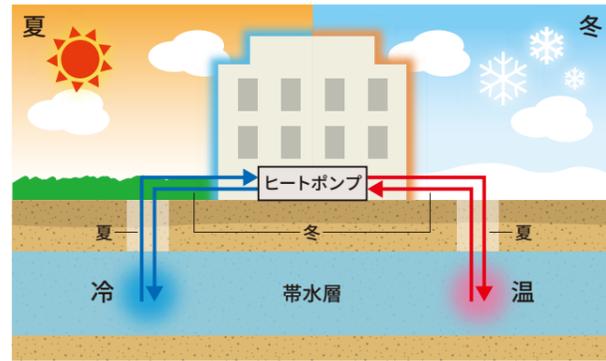
新技術の紹介

■ 熱を大地に蓄積して、冷暖房を効率的に行う

帯水層蓄熱システムは地中熱利用の一つです。広く普及している空気熱源ヒートポンプでは冷暖房の排熱を大気に放出していますが、帯水層蓄熱ではその排熱を帯水層に蓄え、熱エネルギーとして活用することで省エネ・省CO₂・ヒートアイランド現象緩和を図るシステムです。夏期に排出される温熱を冬季の暖房熱源に、冬季に排出される冷熱を夏期の冷房熱源として利用することができるため、他のシステムと比較して効率の高いエネルギー利用を行うことができます。

(出典) 参考文献12

● 帯水層蓄熱システムのイメージ



■ 帯水層蓄熱システムの特徴

節電・省エネによる二酸化炭素削減効果

消費電力の削減は、電力使用による二酸化炭素排出削減につながります。空気熱源ヒートポンプと比較して、夏の二酸化炭素排出量について大幅な削減を実現しています。

節電・省エネによるコスト削減効果

空気熱源ヒートポンプの電気使用と比較して、節電でき経済的です。夏のランニングコストについて大幅な削減を実現しています。

ヒートアイランド現象の緩和

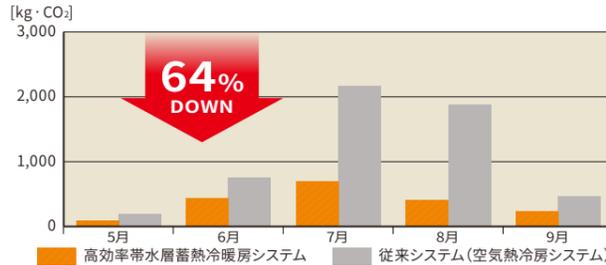
空気熱源ヒートポンプのように冷房時の排熱を大気に放出しないため、都市部のヒートアイランド現象を緩和します。

持続可能な地下水の保全と利用

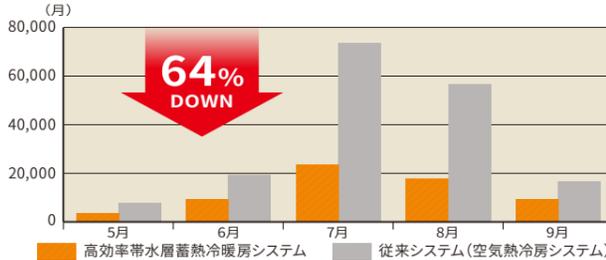
汲み上げた地下水を熱源としてのみ利用しつつ、同一の帯水層に全量還元することで地盤沈下を防止することができ、持続可能な地下水の保全と利用が可能です。

(出典) 参考文献12

● 夏の月別二酸化炭素排出量



● 夏の月別ランニングコスト



■ 帯水層蓄熱システムの事例

兵庫県高砂地区、大阪市北区うめきた2期地区では低コスト高性能熱源システムの構築に関する技術開発を行うとともに、運用に伴う地下水位低下による地盤沈下への影響の評価、熱源井のメンテナンス、長寿命化等に関する検討が行われました。

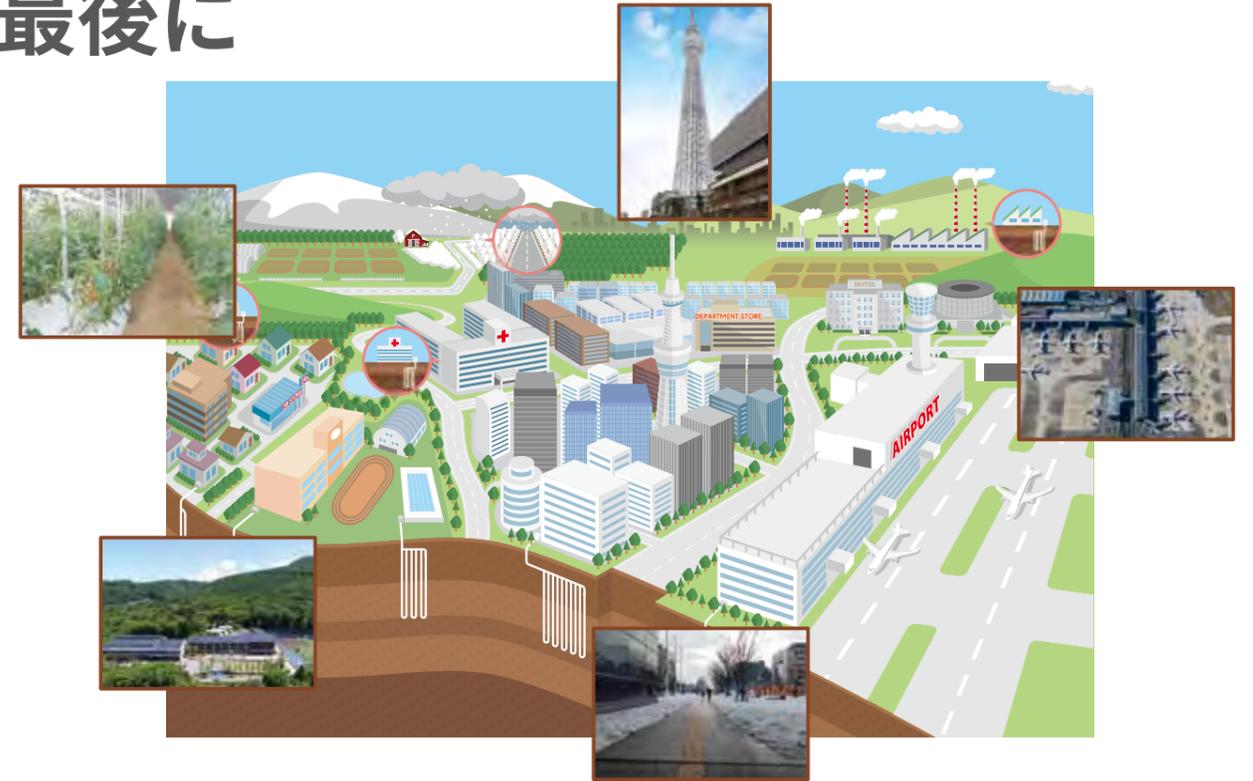
山形県山形市での事例は、地下水を利活用することによって地中熱利用システムの高効率化を達成して省エネルギーと二酸化炭素排出量の大幅削減を実現させることを目的として実施したものです。

(出典) 参考文献12



工事の進むうめきた2期地区

最後に



■ まとめ

地中熱は私たちの足元にある再生可能エネルギーです。地中熱には次のような長所があります。

1. 日本中どこでも、いつでも利用できます。
2. 節電、省エネと二酸化炭素排出量削減ができます。
3. 通常のアエアコン(空気熱源ヒートポンプ)が利用できない外気温-15℃以下の環境でも利用できます。
4. 地中熱交換器は密閉式なので、環境汚染の心配がありません。
5. 冷房の排熱を大気中に放出しないため、ヒートアイランド現象の緩和に寄与します。
6. 地中熱交換器は耐久性が高く、長寿命です。

この地中熱を利用したヒートポンプシステムは、高い省エネルギー性や環境負荷低減効果を有した技術です。再生可能エネルギーの有効利用による温室効果ガスの削減のため、今後さらなる普及が期待されています。

参考文献・出典一覧

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. 気象庁ホームページ | 8. 環境省 地球温暖化から日本を守る 適応への挑戦2012 |
| 2. 環境省ホームページ COOL CHOICE 地球温暖化の現状 | 9. 環境省 低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言 |
| 3. 環境省 気候変動の観測・予測及び影響統合評価レポート2018 | 10. 地中熱利用促進協会ホームページ |
| 4. 環境省ホームページ 地球温暖化防止コミュニケーター 学ぼう!地球温暖化 | 11. 環境省 地中熱利用システムパンフレット |
| 5. 環境省 気候変動の観測・予測及び影響統合評価レポート | 12. 環境省 帯水層蓄熱の利用にあたって |
| 6. 資源エネルギー庁ホームページ | 13. 国立研究開発法人科学技術振興機構 サイエンスポータルチャイナ |
| 7. 環境省 STOP THE 温暖化2017 | |

写真提供: PIXTA

■ 本パンフレットに関するお問い合わせ

環境省 水・大気環境局 土壌環境課地下水・地盤環境室 〒100-8975 東京都千代田区霞が関1-2-2 Tel.03-3581-3351