

地中熱 読本 2021



地中熱読本 2021

発行 環境省 水・大気環境局
土壤環境課 地下水・地盤環境室

2021年3月

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

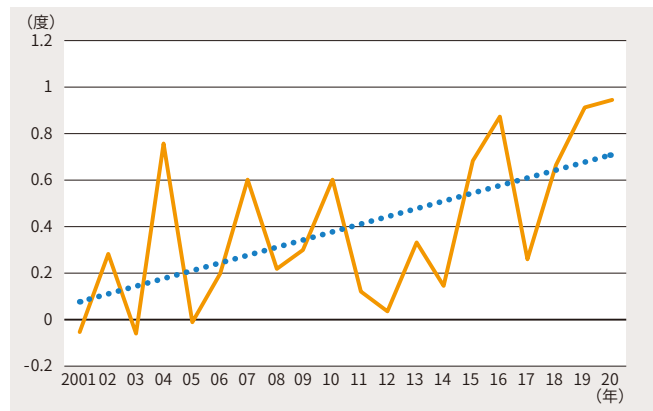
日本の気温は上昇している

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。

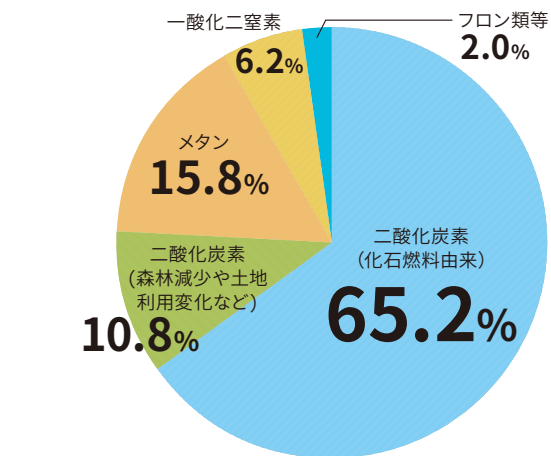
人間活動の影響とは、化石燃料を燃やしたり森林伐採を行うことで温室効果ガスが増えてしまうことを指します。

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、一部では収獲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。

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)



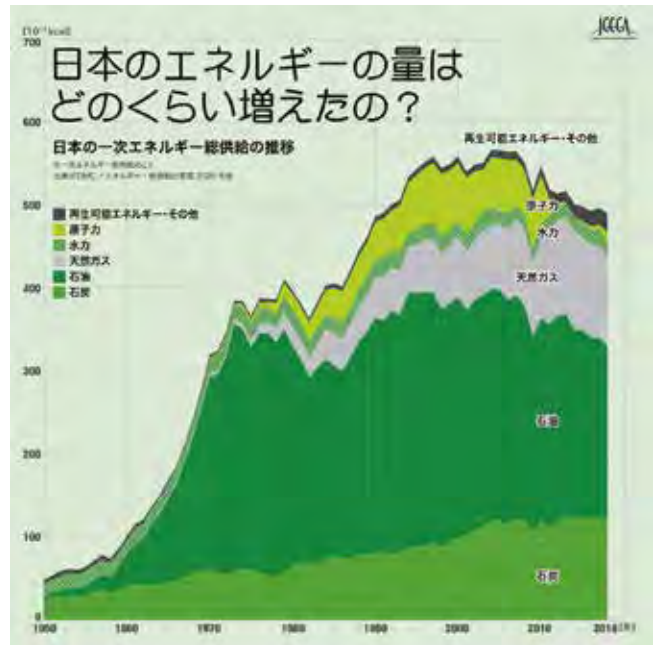
化石燃料への依存度は高いまま

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

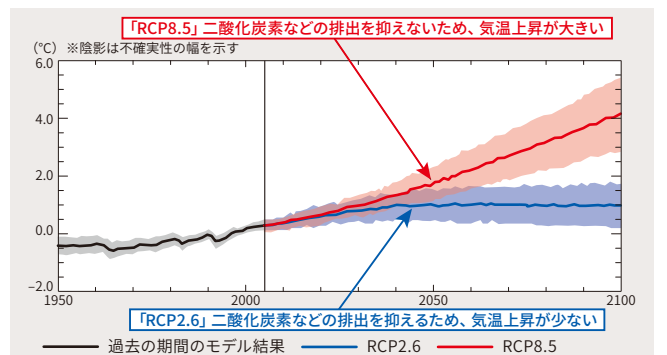
IPCC第5次評価報告書によると、2081年から2100年の世界の平均地上気温は1986年から2005年の平均よりも最小で0.3°C、最大で4.8°C上昇するとされています。

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

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

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

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

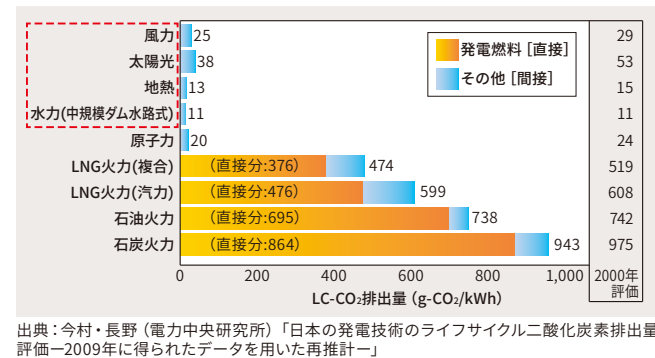
再生可能エネルギー

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



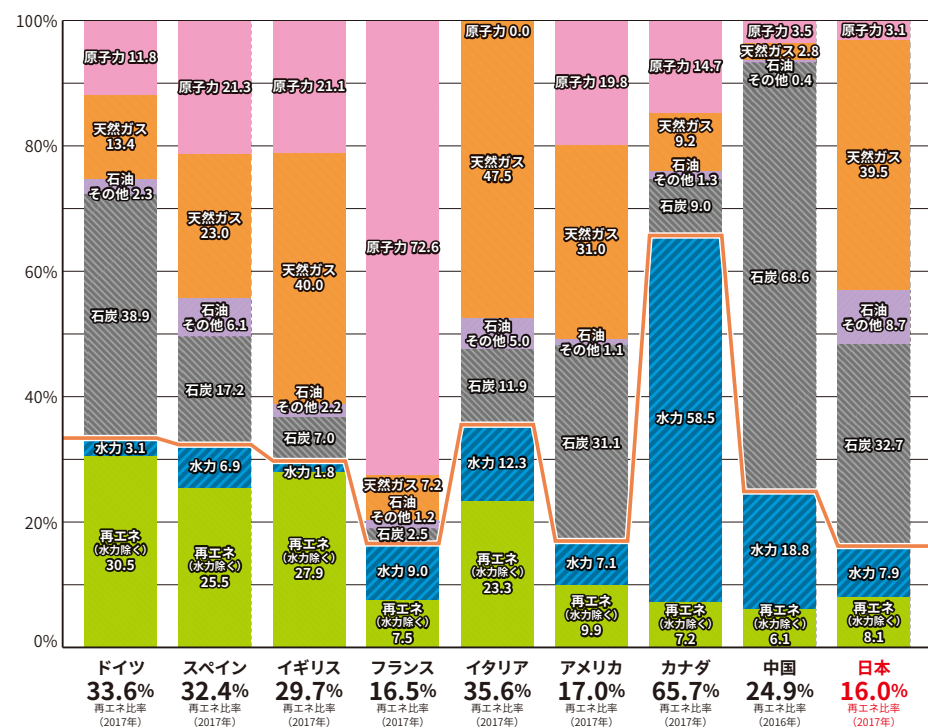
日本におけるの再生可能エネルギーの割合は16%

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ました。

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



再生可能エネルギー熱利用設備

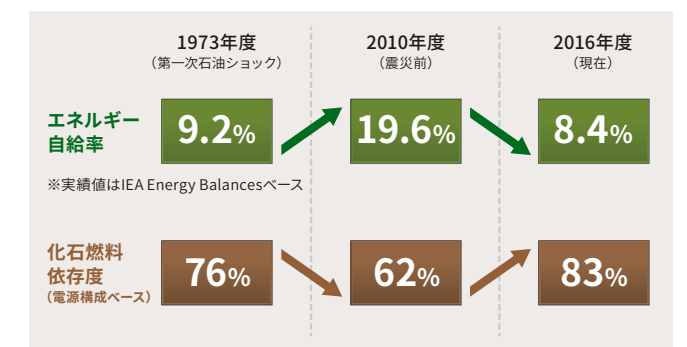


身近になる再生可能エネルギー

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

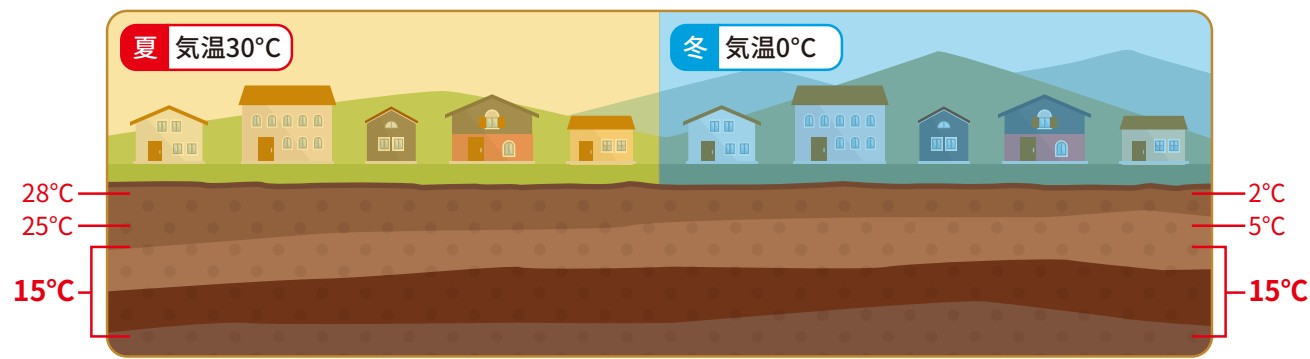
地中熱とは何か？

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。

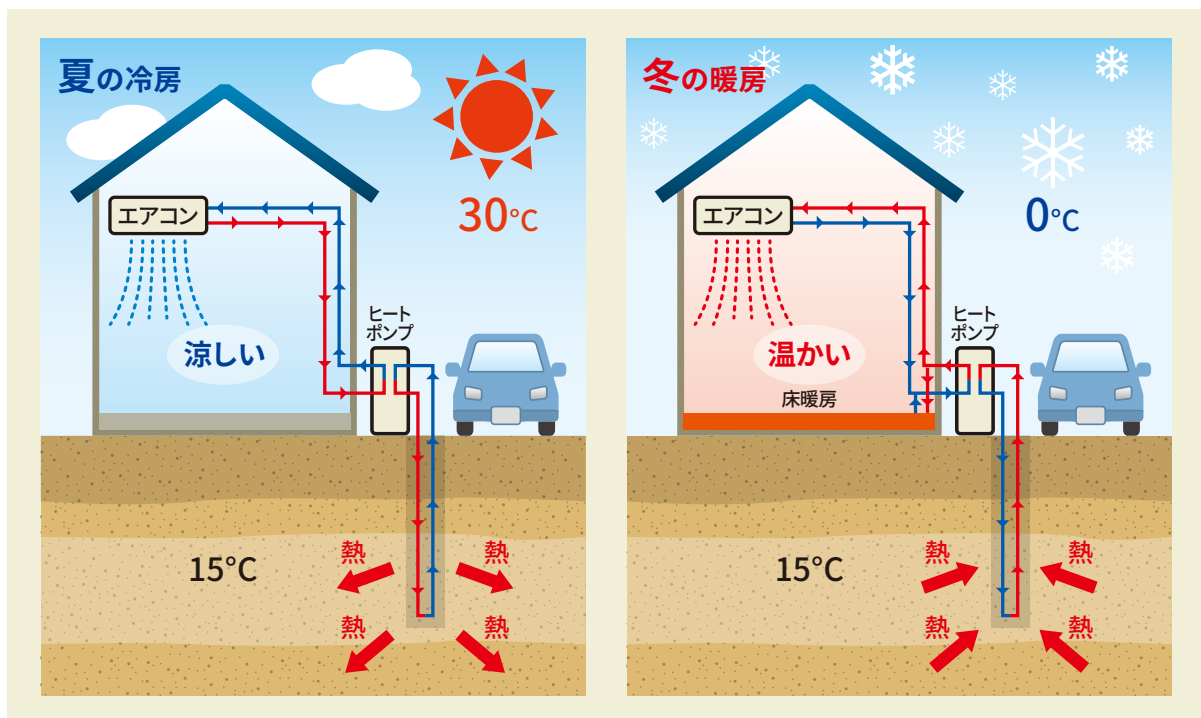
(出典) 参考文献10



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

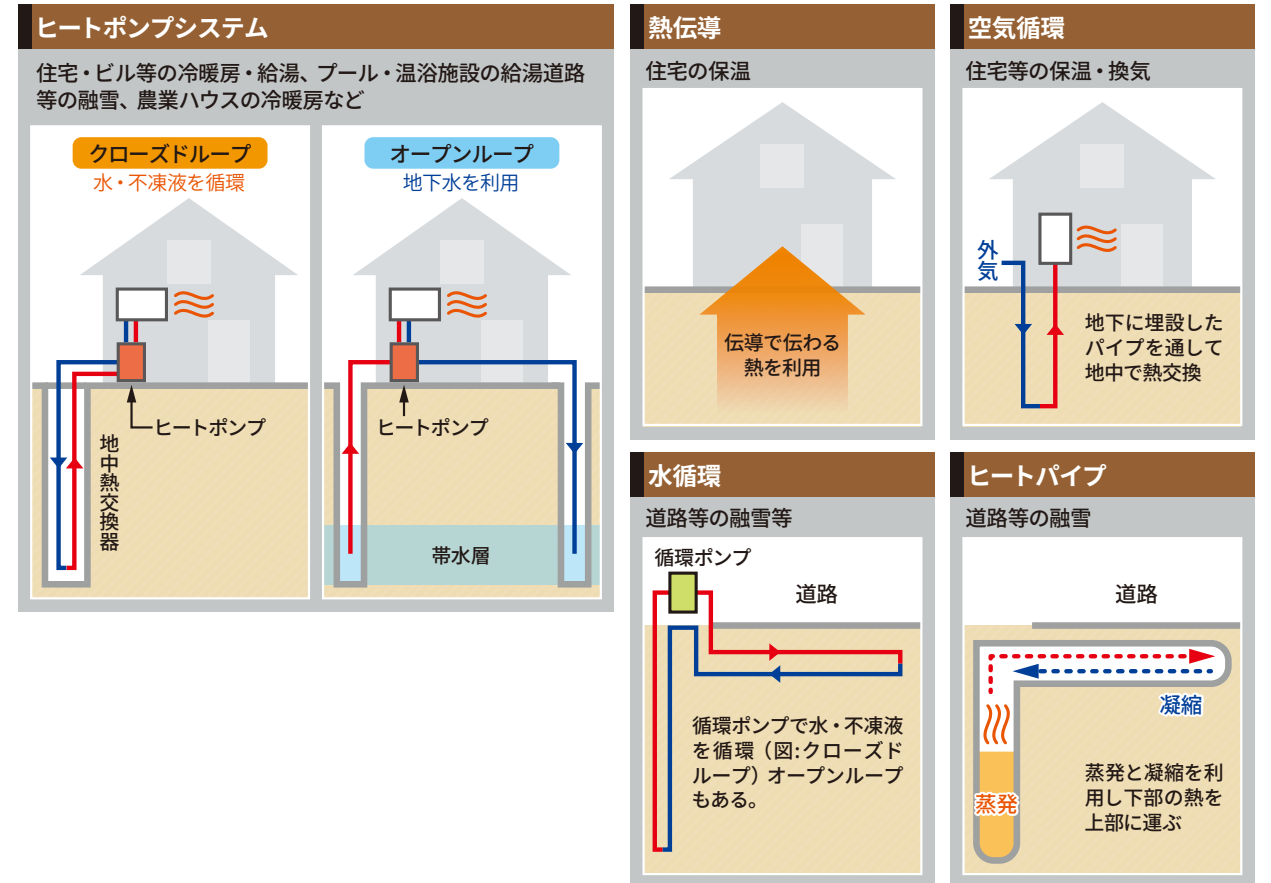


場所や利用方法に合わせて選択できるシステム

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、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	渇水期以外	(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	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

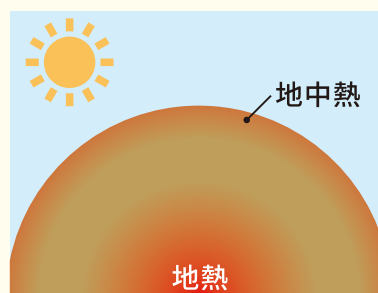


食品を保存するための空間を地中に作る

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いきます。

(出典) 参考文献10



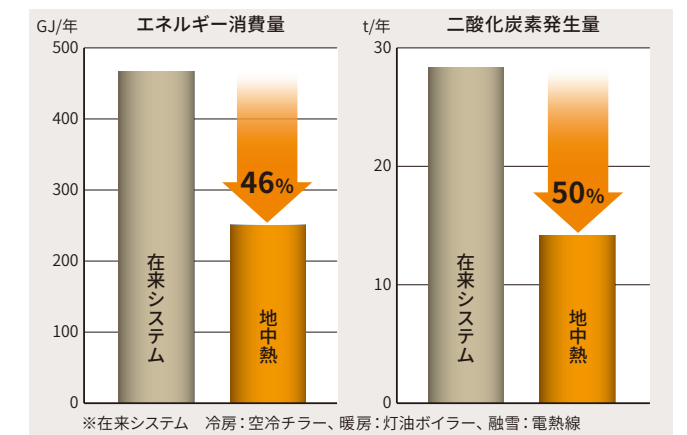
地中熱の特徴

■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

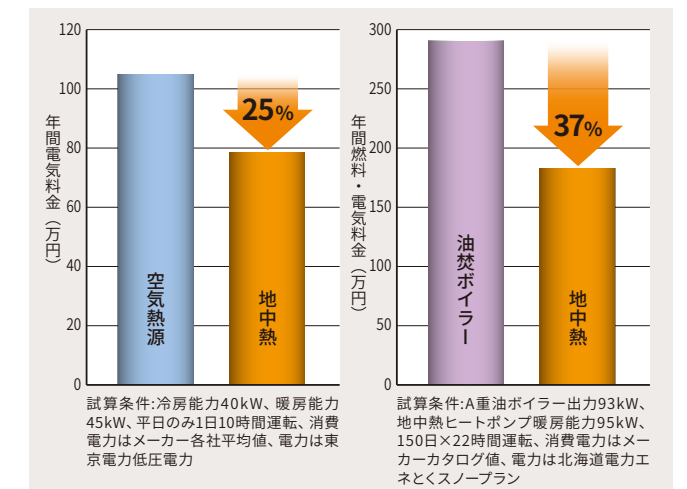
■省エネが電気代の削減にもつながる

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、温排気を大気中へ放出しません。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。

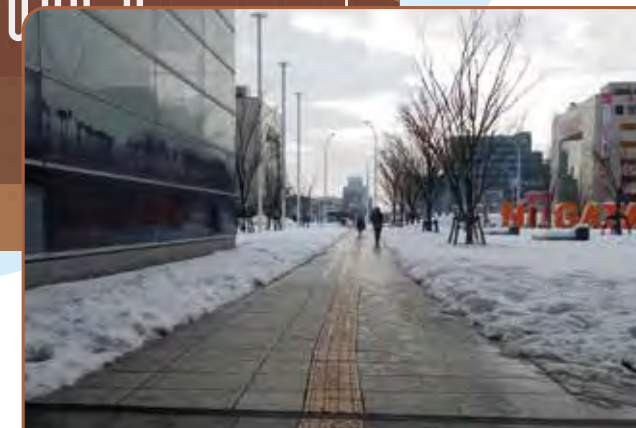
学校

一般家庭の冷暖房



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



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。

融雪

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

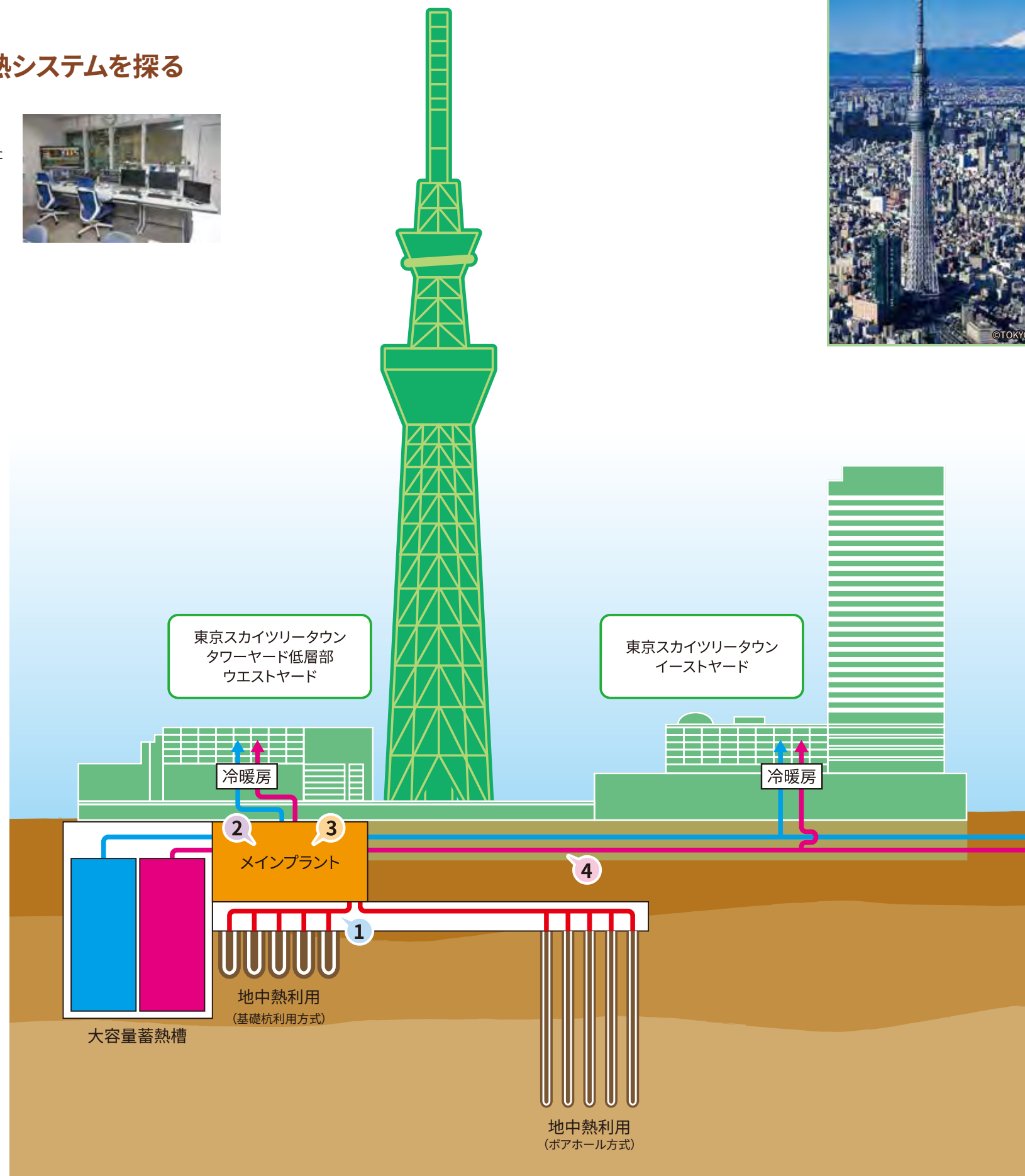
チューブが、いたるところに埋め込まれています。このチューブはボアホール方式では地下約120メートル、基礎杭利用方式では地下約18メートルまで伸びています。チューブの中には熱源水が流れ、地中の熱と熱交換します。



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。



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。

