

令和5年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業

再生可能エネルギー熱利用促進 のための調査事業

報告書

令和6年2月



三菱UFJリサーチ&コンサルティング

目次

| | |
|----------------------------------|----|
| 第1章 はじめに..... | 1 |
| I. 背景及び目的..... | 1 |
| II. 次章以降の構成..... | 1 |
| 第2章 再エネ熱利用量の測定方法に関する調査..... | 2 |
| I. 省エネ法における計測・報告方法に関する検討..... | 2 |
| 1. 検討概要..... | 2 |
| 2. 検討内容の整理..... | 2 |
| II. 再エネ熱利用量の把握に向けた検討..... | 5 |
| 1. 再エネ熱に関する統計情報..... | 5 |
| 2. 統計データの現状..... | 7 |
| 3. 今後の課題..... | 14 |
| III. 欧州における計測・報告方法に関する調査..... | 15 |
| 1. 欧州における再エネ熱の取り扱い..... | 15 |
| 2. REDIIにおけるヒートポンプ（温熱）の取り扱い..... | 15 |
| 3. REDIIにおけるヒートポンプ（冷熱）の取り扱い..... | 19 |
| 第3章 再エネ熱利用システムの類型に関する調査..... | 22 |
| I. 再エネ熱利用システムの概要と類型..... | 22 |
| 1. 太陽熱..... | 22 |
| 2. 雪氷熱..... | 23 |
| 3. 地熱・温泉熱..... | 25 |
| 4. 海水熱・河川水熱..... | 26 |
| 5. 下水熱..... | 27 |
| 6. 地中熱・地下水熱..... | 28 |
| 7. 大気熱..... | 29 |
| 8. 各再エネ熱の用途..... | 30 |
| II. ベストプラクティスの調査..... | 31 |
| 1. 調査概要..... | 31 |
| 2. 調査結果..... | 32 |
| 第4章 再エネ熱を取り巻く制度に関する実態調査..... | 60 |
| I. 国内における制度に関する調査..... | 60 |
| 1. 制度等の全体像..... | 60 |
| 2. 普及方針策定・目標設定..... | 60 |
| 3. 補助金制度..... | 65 |

| | | |
|------|----------------|-----|
| 4. | 建築物に関する規制 | 73 |
| 5. | 環境価値取引 | 76 |
| 6. | 技術開発支援 | 80 |
| 7. | 導入アドバイス・情報提供 | 82 |
| II. | 海外における制度に関する調査 | 85 |
| 1. | 制度等の全体像 | 85 |
| 2. | 普及方針策定・目標設定 | 86 |
| 3. | 補助金制度 | 89 |
| 4. | 建築物に関する規制 | 92 |
| 5. | 化石燃料の使用規制 | 94 |
| 6. | 排出量取引 | 95 |
| 7. | 技術開発支援 | 96 |
| 8. | 制度等の比較・示唆 | 99 |
| III. | 導入コストの現状に関する調査 | 101 |
| 1. | 分析概要 | 101 |
| 2. | 分析結果 | 101 |

第1章 はじめに

I. 背景及び目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、徹底した省エネを進めるとともに、非化石エネルギーの導入拡大に向けた対策を強化していくことが必要である。このためには、エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律（以下「省エネ法」という。）に基づく規制の見直し・強化や支援措置等を通じた省エネ対策の強化とともに、供給サイドの非化石拡大を踏まえ、需要側における電化・水素化等のエネルギー転換の促進などの対策を強化していくことが重要である。具体的には、需要側において、非化石エネルギーを含むエネルギー全体の使用の合理化を進めていくと同時に、化石エネルギーから非化石エネルギーへの転換を促進していくこととしている。

我が国の最終エネルギー消費において、熱利用を中心とした非電力用途は過半数を占めている。したがって、太陽熱・雪氷熱・地熱・温泉熱・海水熱・河川水熱・地中熱・大気熱等の再生可能エネルギー熱（以下「再エネ熱」という。）を活用することにより、より効率的なエネルギー需給構造を構築することが可能と考えられる。

本事業では、再エネ熱利用に関する現状を詳細に調査し、今後の再エネ熱の導入拡大に向けた方策を明らかにすることを目的とする。具体的な調査内容は、再エネ熱の利用量の測定方法、再エネ熱利用システムの類型、経済性、再エネ熱に関する制度の在り方等とし、そのための各種調査、関係者とのディスカッション等を実施した。

II. 次章以降の構成

次章以降の構成を以下に示す。

図表 1 本報告書の構成

| 章の番号・名称 | 内容 |
|-------------------------|--|
| 第2章 再エネ熱利用量の測定方法に関する調査 | <ul style="list-style-type: none">● 省エネ法の改正を受けて、2024年度提出の定期報告書から再エネ熱が新たに報告対象となったことを受けて、計測・報告方法に関して検討した。● また、上記と併せて省エネ以外の再エネ熱利用量の把握に向けて統計情報に関する現状及び課題を整理した。● 参考として、欧州における再エネ熱量の計測・報告方法についても調査を実施した。 |
| 第3章 再エネ熱利用システムの類型に関する調査 | <ul style="list-style-type: none">● 再エネ熱利用システムについて概要と類型を整理した上で、カーボンニュートラルの達成に資するベストプラクティスについて整理した。 |
| 第4章 再エネ熱を取り巻く制度に関する実態調査 | <ul style="list-style-type: none">● 再エネ熱を取り巻く国内外の制度について調査した上で、国内外制度の比較における課題等をまとめた。● また、導入コストの現状について調査した上で、経済性分析を実施した。 |

第2章 再エネ熱利用量の測定方法に関する調査

I. 省エネ法における計測・報告方法に関する検討

1. 検討概要

2023年4月1日の省エネ法の改正によって、省エネ法における2024年度提出の定期報告書(2023年度のエネルギー消費量に関する報告)から再エネ熱が新たに報告対象となっている。これに向けて、定期報告書の記入要領においても、「自然界に存する熱等の測定方法について」として、その計測・報告方法が整理されている。

本項では、今後の適切かつ事業者にとって経済的で負担の少ない再エネ熱利用量の計測・報告について検討した。

2. 検討内容の整理

2.1 記入要領変更に係る検討(概要)

事業者等からの問い合わせや業界団体へのヒアリングから以下の問題や要望が確認された。

- 温泉熱を源泉かけ流しなど報告対象とすべきかが明確でないケースがある。
- ヒートポンプの熱源によっては採熱量が測定できないことから、供給熱量や投入エネルギー量から再エネ熱量を推計できる手法があることが望ましい。また、投入エネルギー量の把握にあたっては、近年、エネルギー消費量のデータを蓄積し、遠隔取得するサービスも存在するため、こうしたものを利用することで計測コストを低減できる。

また、第3章のベストプラクティスの調査結果を記入要領の検討に反映した。具体的には、ベストプラクティスの中でも要件定義が容易な熱回収運転モードを備えるヒートポンプについて「一定の工夫」として例示することとした。

上記を踏まえて、以下の通り、記入要領の変更案(赤字部分)を検討した。

図表 2 記入要領の変更案

| 太陽熱・地熱・温泉熱・雪氷熱について | |
|--|-------|
| 太陽熱・地熱・温泉熱・雪氷熱については、非化石エネルギーに定義されるため、報告の義務がかかります。 | |
| 当該熱の使用量については、原則として、以下の A 又は B に該当するものを報告しなければならないこととします。 | |
| A) 他者から供給された熱を使用する場合には、購買量に供給された熱の形態に応じて以下の表の係数を乗じた熱量 | |
| 産業用蒸気 | 1. 17 |

| | |
|----------|--------|
| 産業用以外の蒸気 | 1. 1 9 |
| 温水 | 1. 1 9 |
| 冷水 | 1. 1 9 |

B) 事業所内において施設又は設備によって集約した熱^{※1}を使用する場合には、計量法に基づく検定済み積算熱量計又は検定済み積算熱量計に準じた積算熱量計（検定済み積算熱量計を生産しているメーカーによる品質保証書が付いているもの等）を使用し、指示値を適切に読み取った値

なお、太陽熱については、「建築用簡易計算ツール^{※2}」を用いて推計した数値を報告することができます。当該ツールを使用する際には、下記の通り太陽熱利用機器について設置場所、集熱器型式、集熱面積、傾斜角、方位角、年間給湯日数（給湯の場合）、について入力した際に「年間太陽熱利用量」に表示される数値（kWh）に（3.6×1/1000）を乗じた数値（GJ）を報告してください。

ただし、温泉熱を集熱して暖房に使用している場合や、氷室を備えて野菜の冷蔵に使用している場合等、技術的・経済的に測定が困難であると認められる場合には、報告義務対象から除外することとします。

※1 熱交換器またはヒートポンプ等の設備によって集約した熱とし、例えば以下のように設備を用いずに利用している場合には除外することとします。

ア 温泉水を熱交換せずに供給している場合

イ 日射取得のように設備を使用せずにそのまま太陽熱を利用している場合

※2 建築用簡易計算ツールは、ソーラーシステム振興協会のホームページからダウンロードください。

<https://www.ssda.or.jp/sales/keisan/>

太陽熱給湯器の推計に当たっては「太陽熱給湯の簡易計算 10 地点.xlsx」、太陽熱空調器の推計に当たっては「太陽熱空調の簡易計算 9 地点.xlsx」を使用してください。

海水熱、河川水熱、地下水熱、地中熱、大気熱、工場排水熱及び下水熱等について

海水熱、河川水熱、地下水熱、地中熱、大気熱、工場排水熱及び下水熱等（以下「海水熱等」という。）については、エネルギーには定義されないため、報告の義務はかかりません。

他方、これらの熱を使用した場合^{※1}、以下の A 又は B に該当した上で C にも該当するもののみ、特定一第9表「3 非化石エネルギーへの転換に関する事項」欄に記載することができます^{※2}。

A) 他者から供給された熱を使用する場合には、購買量

B) 事業所内において施設又は設備によって集約した熱を使用する場合には、計量法に基づく検定済み積算熱量計又は検定済み積算熱量計に準じた積算熱量計（検定済み積算熱量計を生産しているメーカーによる品質保証書が付いているもの等）を使用し、指示値を適切に読み取った値^{※3}

C) 一定の工夫をしたと認められる施設又は設備^{※4}を使用して当該熱を使用する場合

※1 ヒートポンプ等の施設又は設備によって使用した冷熱については、国内において適切な測定方法が定まっていないため、報告可能とする対象からは除外することとします。

※2 A 又は B 及び C に該当し、特定一第9表「3 非化石エネルギーへの転換に関する事項」欄に記載する場合であっても、当該熱が「非化石エネルギー」に該当するわけではありません（非化石エネルギー比率の計算等において算入不可）。なお、海水熱等を使用している A～C に該当しない場合であっても、特定一第9表「1 エネルギーの使用の合理化に関する事項」欄には記載することができます。

※3 どのような方法で測定したかについても報告してください。なお、ヒートポンプを使用する場合は、以下のいずれかの方法で熱量を測定することとします。

ア ヒートポンプ熱源の採熱量を測定する。

イ ヒートポンプによる供給熱量と機器稼働に要するエネルギー量（ヒートポンプ本体や熱源からヒートポンプまでの熱媒体の搬送に用いるポンプ等の駆動に要する電気消費量及び燃料消費量）を測定し、供給熱量から機器稼働に要するエネルギー量を控除する。

ウ ヒートポンプによる供給熱量または機器稼働に要するエネルギー量を測定し、期間エネルギー消費効率から採熱量を推計する。

採熱量＝機器稼働に要するエネルギー量×（期間エネルギー消費効率 - 1）

採熱量＝供給熱量×（1 - 1/期間エネルギー消費効率）

なお、ヒートポンプに附属する機能・サービスによって、機器稼働に要するエネルギー量を把握できる場合はそれを使用することができます。また、期間エネルギー消費効率は、年間供給熱量を機器稼働に要する年間エネルギー量で除した期間平均の成績係数とし、機器のカタログ等から設定できます。これらについては、どのような方法で測定、設定したかについて報告してください。

※4 「一定の工夫をしたと認められる施設又は設備」とは、例えば以下を指します。なお、熱供給事業者から供給された熱のうち、海水熱等由来の熱であることが明確であって、当該熱供給事業者が以下の条件に当てはまる場合にも、「一定の工夫をしたと認められる施設又は設備」を使用したとみなすこととします。

ア 蓄熱槽又は貯湯槽を備えた施設又は設備等の場合。

イ 冷熱・温熱の両方の負荷がある一部の季節や時間帯においては、冷水と温水を同時に製造できる施設又は設備等（熱回収運転モードを備えるヒートポンプ）の場合。

2.2 太陽熱の測定方法等

現行の測定方法では、計量法に基づく測定その他、ソーラーシステム振興協会の建築用太陽熱給湯及び空調の簡易計算ツールが利用可能となっている。そのほかにも複数の測定方法（簡易計測機による測定、モデルシミュレーションによる推計）が存在するが、計測コストがかからないことや入力データも簡易なことから、現行の簡易計算ツールは報告に利用しやすいものとなっている。以下に主な測定方法を示す。

図表 3 太陽熱の主な測定方法

| 名称 | 提供機関 | 概要 | 備考 |
|--------------------------------|-------------------|--|---|
| 建築用簡易計算ツール | ソーラーシステム振興協会 | 太陽熱給湯設備、太陽熱空調設備に関し、施設の熱負荷及び想定した集熱面積等を入力して簡易的な計算で太陽熱依存率、燃料削減量及び削減率等を推計することが可能。 | <ul style="list-style-type: none"> 空気式集熱器は未対応だが、現状は省エネ法対象事業所での設置は想定されていない。 集熱器の構成や蓄熱槽の選択等の設計段階の詳細検討までは対応していない(なお、熱の測定箇所によっては、これらの検討は不要) |
| 太陽熱高度利用フィールドテスト事業でのシミュレーションツール | 新エネルギー・産業技術総合開発機構 | 太陽熱給湯設備、太陽熱空調設備に関し、気象データ、システム定義データ(構成機器仕様、性能)、熱負荷データ(暖冷房負荷、給湯負荷)を入力データとし、集熱量や太陽依存率(太陽熱で賄われた熱量の割合)を推計することが可能。入力データの時間解像度により簡易計算と詳細計算に分かれる。以前はMETIの「あつたかエコ太陽熱」ページでシミュレーションツールが公開されていたが、現在は非公開。 | <ul style="list-style-type: none"> 集熱器の種類が選択不可。 蓄熱槽の選択も可能。 入力データの整備が複雑。 環境省が編集している地方公共団体実行計画(事務事業編)において、本ツールを用いた太陽熱利用による削減ポテンシャルを紹介。 |
| 再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業での簡易計測手法 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構 | 太陽熱利用における、グリーン熱証書等の要求に見合う熱量計測方法に係る実証事業調査で開発された簡易計測手法。 | <ul style="list-style-type: none"> 太陽熱給湯設備、太陽熱空調設備、空気集熱式太陽熱を対象に開発。 簡易計測手法は、簡易計測機による測定またはモデルシミュレーションによる推計に大別。 |
| 建築物のエネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版) | 建築研究所 | 建物や設備機器について、条件を選択・入力することで、非住宅のエネルギー消費性能や外皮性能を評価することが可能。 | <ul style="list-style-type: none"> 主に設計事業者が使用することを想定していることから、入力データの整備が複雑。 太陽熱給湯設備のみ評価可能 算定は容易(評価に必要なパラメータは「有効集熱面積」、「方位角」、「傾斜角」のみ)だが、精度が保証されるかは不透明。 |

2.3 雪氷熱の測定方法等

現行の測定方法では、計量法に基づく測定のみ利用可能となっている。一方、雪氷グリーン熱証書制度では、熱量の計測や評価が容易、正確であり、計測機の設置コストが比較的安価な積算熱量計による冷水循環システムでの計測のみが対象となっている。なお、雪氷グリーン熱証書制度委員会報告書によると、その他複数の測定方法（簡易計測機による測定）が報告されていたが採用されていない。明確な理由は記述されていないが、測定手法によっては複雑な冷熱損失の推計が必要であること、推計誤差が大きいことなどが要因として考えられる。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）もグリーン熱証書等の要求に見合う熱量計測方法を開発するため、冷風循環式（アイスシェルター）を対象とした実証実験を行ったが、こちらも採用は至っていない。以下に主な測定方法を示す。

図表 4 雪氷熱の主な測定方法

| 測定方法 | 概要 | 冷風循環 | 冷水循環 | 自然対流 | 備考 |
|----------------|--|----------|------|-----------|---|
| 直接計測 | 貯蔵施設等に実際に供給された空気、又は水の冷熱量を測定して活用熱量とする。最も理想的な測定手法。 | × コスト | ○ | × 計測困難 | <ul style="list-style-type: none"> 冷風循環システムでは、計測機器の設置に多額のコストが発生。 一方、冷水循環システムでは、計測機器の設置は比較的安価。 |
| 間接計測(雪塊) | 冷熱を供給した前後の貯雪庫内の雪氷の量を測定・計測し、雪氷の減少量から活用熱量を算出する。 | △ 誤差 | - | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 方眼測量の場合、大きな誤差が発生する可能性。 冷熱損失として侵入熱、給気・還気ファン等の動力熱を計上する必要性。 |
| 間接計測(融解水) | 貯雪施設内で発生した雪氷の融解水量を測定し、融解により発生した冷熱量を活用熱量とする。 | ○ | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 冷熱損失として侵入熱、給気・還気ファン等の動力熱を計上する必要性。 |
| 間接計測(エンタルピー差法) | 温度・湿度・風量からエンタルピー差により冷熱量を算出する。 | ○ | - | - | <ul style="list-style-type: none"> NEDOが冷風循環式(アイスシェルター)を対象に実証事業「再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業(平成23~25年度)」を行っており、計測誤差は概ね10%以下と高い精度が得られている。 低コストで計測可能。 |

II. 再エネ熱利用量の把握に向けた検討

1. 再エネ熱に関する統計情報

再エネ熱に関し、官公庁および業界団体の統計によって、どのような情報が得られるか整理を行った。以下に、再エネ熱種ごとの主な統計情報を示す。なお、統計情報が整備されていた再エネ熱種（太陽熱、空気熱、地中熱、雪氷熱、河川水熱、海水熱、下水熱）については、さらに詳細な整理を実施した。

図表 5 再エネ熱に関する主な統計

| 分類 | 統計・文献名 | 実施主体 | 対象機器 | 把握されている項目 | 細分化の項目 | 調査対象 | 調査期間 | 備考 | |
|---------------------|-------------------------------|--------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|--|--|
| 太陽熱 | ソーラーシステム・太陽熱温水器地域別設置実績（暦年・累積） | ソーラーシステム振興協会 | ソーラーシステム太陽熱温水器 | 設置件数 | 都道府県（戸建住宅・業務用等） | 協会加盟企業 | 1975-2022 | 1975-1978は合計値として計上 太陽熱温水器の調査は1982年以降 | |
| | 都道府県別ソーラーシステム設置実績 | | ソーラーシステム | 設置件数 | 都道府県（一戸建・集合住宅・業務用等） | | 2004-2021 | 暦年値、年度値が存在 | |
| | 自主統計太陽熱温水器出荷実績表 | | 太陽熱温水器 | 出荷台数 | 都道府県別 | | 2004-2021 | 暦年値、年度値が存在 | |
| | 太陽熱集熱器出荷実績 | | 太陽熱集熱器 | 出荷面積 | 都道府県／用途別／タイプ別 | | 2015-2021 | 暦年値、年度値が存在 | |
| | 生産動態統計 | | 経済産業省 | 太陽熱温水器 | 生産量／受入／出荷（販売・その他）／在庫 | - | 国内全事業所 | 1987-2021 | オンライン上で確認できるもっとも古いデータが1987年 |
| | | | | 太陽熱集熱器 | 生産量／受入／出荷（販売・その他）／在庫 | - | 国内全事業所 | 1987-1999 | オンライン上で確認できるもっとも古いデータが1987年 2000年度以降は項目が存在しない |
| | 熱供給事業便覧 | | 日本熱供給事業協会 | - | 設置件数／販売熱量 | 市区町村別 | 協会加盟企業 | 2016-2021 | 資源エネルギー庁監修 |
| | 総合エネルギー統計 | | 資源エネルギー庁 | ソーラーシステム 太陽熱温水器 太陽熱発電 | 一次エネルギー供給／最終エネルギー消費（業務その他・家庭） | - | 不明 | 1990-2021 | 全量を把握できていない 設備容量に対し暦時間稼働率12%で発生したエネルギー量を推計 |
| | 家庭部門のCO2排出実態統計調査 | | 環境省 | 太陽熱利用給湯機 | 使用割合（家庭） | 10地域別（戸建・集合／都市規模 等） | 店舗併用住宅等を除く世帯 13,000 | 2017-2021 | |
| | | | | 太陽熱利用暖房システム | 使用割合（家庭） | 10地域別（戸建・集合／都市規模 等） | | | |
| 全国家計構造調査（旧全国消費実態調査） | | 総務省 | 太陽熱温水器 | 所有数量（家庭） 普及率（家庭） | 都道府県別／世帯属性（年間収入階級別、世帯主年齢階級 等） | 約90,000世帯 | 1959-2019 | 5年毎に実施される 2019年全国家計構造調査で、該当項目の調査は廃止された | |
| Energy Balance | | IEA | 太陽熱 | 一次エネルギー供給／最終エネルギー消費（業務その他・家庭） | - | 不明 | 1990-2021 | 総合エネルギー統計の報告値と一致 | |
| 雪氷熱 | 豪雪地帯基礎調査 | 国土交通省 | - | 設置件数 | 農産物、加工品等の貯蔵／建物冷房／その他 | 豪雪地帯63市町村、特別豪雪地帯48市町村 | 1988-2020 | 資料にグラフが掲載されているが、細かい値は不明 | |
| 地熱 | まとまった統計は存在せず | - | - | - | - | - | - | - | |
| 温泉熱 | まとまった統計は存在せず | - | - | - | - | - | - | - | |
| 海水熱 | 熱供給事業便覧 | 日本熱供給事業協会 | - | 設置件数／販売熱量 | 市区町村別 | 協会加盟企業 | 2016-2021 | 資源エネルギー庁監修 | |
| 河川水熱 | 熱供給事業便覧 | 日本熱供給事業協会 | - | 設置件数／販売熱量 | 市区町村別 | | 2016-2021 | 資源エネルギー庁監修 | |
| 下水熱 | 下水熱利用実施箇所一覧 | 国土交通省 | - | 供給事業主体、熱利用先 | - | 全国 | 1990-2021 | 国土交通省 | |
| | 熱供給事業便覧 | 日本熱供給事業協会 | - | 設置件数／販売熱量 | 市区町村別 | 協会加盟企業 | 2016-2021 | 資源エネルギー庁監修 | |
| 地下水熱 | 地中熱利用状況調査 | 環境省 | 地中熱利用ヒートポンプ、水循環、空気循環、ヒートパイプ、熱伝導 | 設置件数、設備容量 | - | 全国 ※協会加盟企業以外においてもアンケート等で調査 | 1981-2021 | 地下水熱はオープンループとして整理されている | |
| 工場排水熱 | まとまった統計は存在せず | - | - | - | - | - | - | - | |
| 地中熱 | 地中熱利用状況調査 | 環境省 | 地中熱利用ヒートポンプ、水循環、空気循環、ヒートパイプ、熱伝導 | 設置件数、設備容量 | - | 全国 ※協会加盟企業以外においてもアンケート等で調査 | 1981-2021 | 調査報告書にグラフが掲載されているが、細かい値は不明 | |
| 大気熱 | 自主統計 国内出荷実績 | 日本冷凍空調工業会 | 家庭用エアコン、業務用エアコン、家庭用HP給湯機、業務用HP給湯機、ターボ冷凍機、吸収式冷凍機、チリングユニット | 出荷台数／出荷金額 | - | 協会加盟企業 | 1971-2023 | 家庭用HP給湯機は2001年度から整備されている（生産動態統計は2005年度以降から項目独立） | |
| | 生産動態統計 | 経済産業省 | エアコンディショナ、冷凍機、自然冷媒ヒートポンプ式給湯機 | 生産量／受入／出荷（販売・その他）／在庫 | - | 国内全事業所 | 1987-1999 | オンライン上で確認できるもっとも古いデータが1987年 自然冷媒ヒートポンプ式給湯機は2005年度以降、項目が独立 | |
| | 家庭部門のCO2排出実態統計調査 | 環境省 | 電気ヒートポンプ式給湯機（エコキュート、ネオキュート） | 保有割合 | - | 店舗併用住宅等を除く世帯 13,000 | 2017-2021 | | |
| | 地球温暖化対策計画 | 地球温暖化対策推進本部 | 産業HP、家庭用HP給湯機 | 累積導入容量・台数／省エネ量／削減量 | - | 全国 | 2013-2021 | 産業HPと家庭用HP給湯機に関する施策から | |

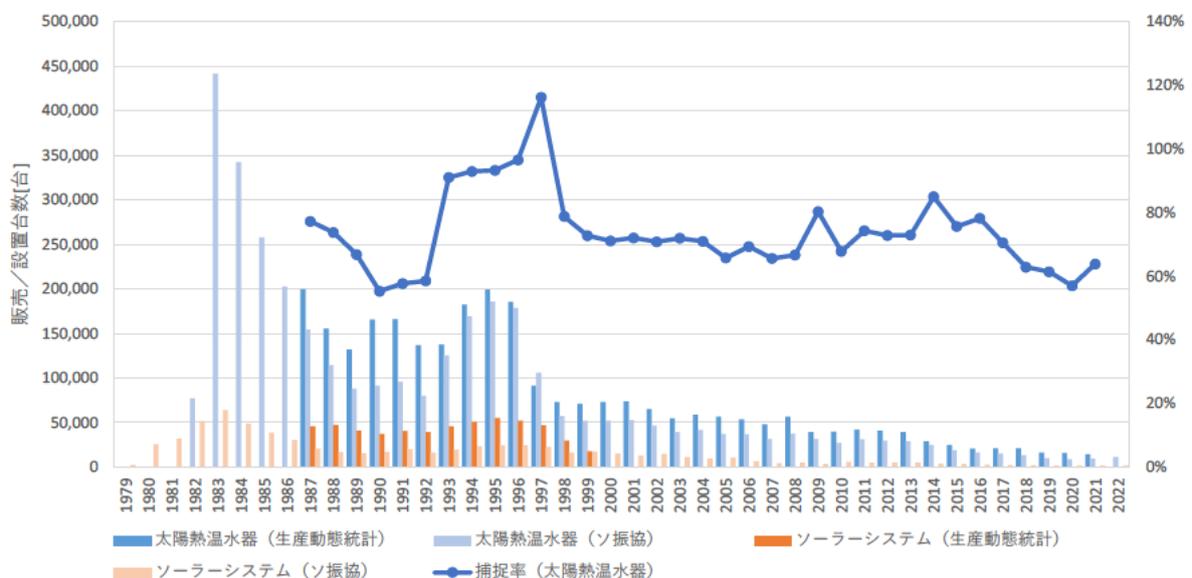
2. 統計データの現状

2.1 太陽熱

太陽熱は再エネ熱の中でも統計が整備されているエネルギー種である。具体的には、生産台数、設置件数／出荷台数の他、家庭における保有台数やエネルギー供給量／エネルギー消費量を取得可能である。以下では、国内販売量、家庭保有状況、エネルギー量に関して整理を行っている。

国内販売量に関しては、生産動態統計およびソ振興独自統計にて整備されている。生産動態統計は悉皆統計であるがソ振興独自統計は協会加盟企業が対象となるため、捕捉率は平均63%程度である。なお、生産動態統計では2000年度以降、ソーラーシステム（太陽熱集熱器）の項目が削除されている。

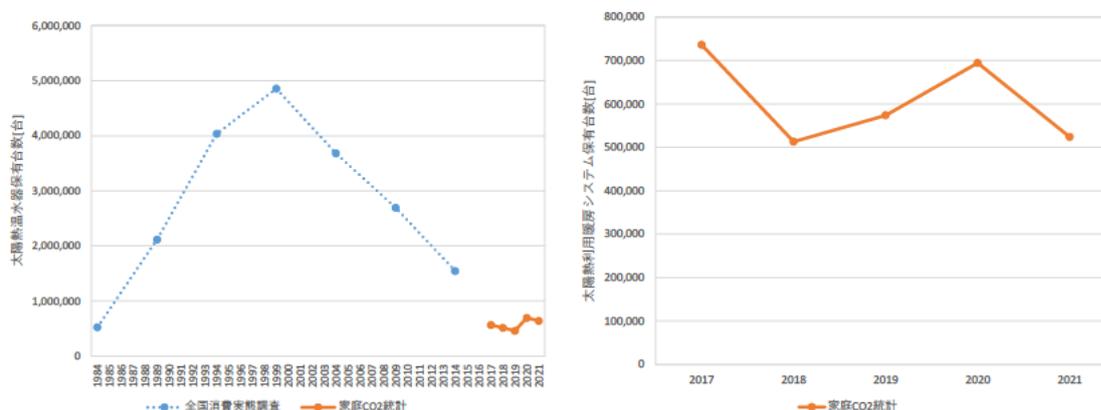
図表 6 太陽熱機器販売台数の推移



(出所) 生産動態統計（経済産業省）、太陽熱温水器・ソーラーシステム設置実績（ソーラーシステム振興協会）
をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

家庭における太陽熱温水器機保有台数は全国家計構造調査（旧全国消費実態調査）及び家庭部門のCO₂排出実態統計調査（以下、「家庭CO₂統計」という。）で整備されている。また、太陽熱利用暖房システムについては、家庭CO₂統計のみ調査対象としている。太陽熱温水器の保有状況をみると、2000年頃をピークに減少しており、2021年度において家庭におけるストック台数は約64万台となっている。

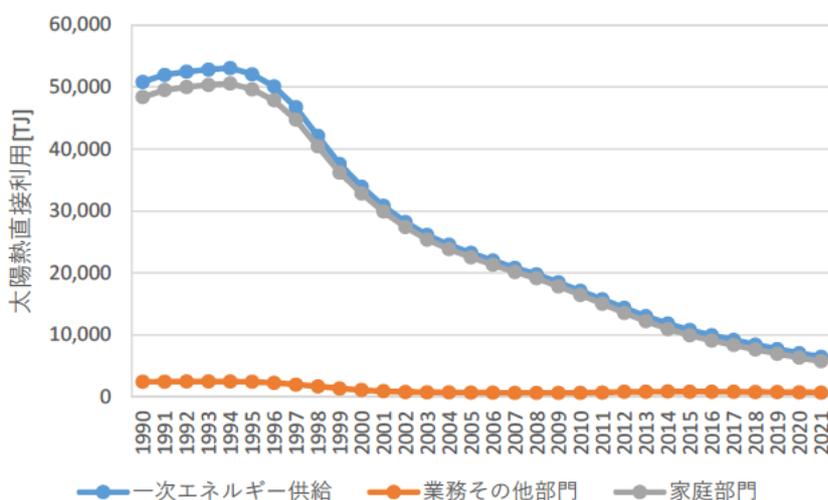
図表 7 家庭における太陽熱機器保有状況の推移¹



(出所) 全国家計構造調査 (旧全国消費実態調査) (総務省)、家庭部門の CO2 排出実態統計調査 (環境省) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

太陽熱エネルギー量に関しては、総合エネルギー統計及び熱供給事業便覧にて整備されている。なお、熱量を直接把握することが困難なため、総合エネルギー統計では一次エネルギー供給量、部門別消費量は設備容量に対し暦時間稼働率を 12%とみなし推計している。また、熱供給事業便覧は熱供給事業法に基づく熱供給事業者で、日本熱供給事業協会に加盟している企業を対象としており、総合エネルギー統計と比較すると捕捉率は 0.01%程度にとどまる。なお、IEA 統計においても太陽熱によるエネルギー供給量、部門別消費量が計上されているが、これらの値は総合エネルギー統計の値を直接引用しているものと考えられる。

図表 8 太陽熱エネルギー量の推移



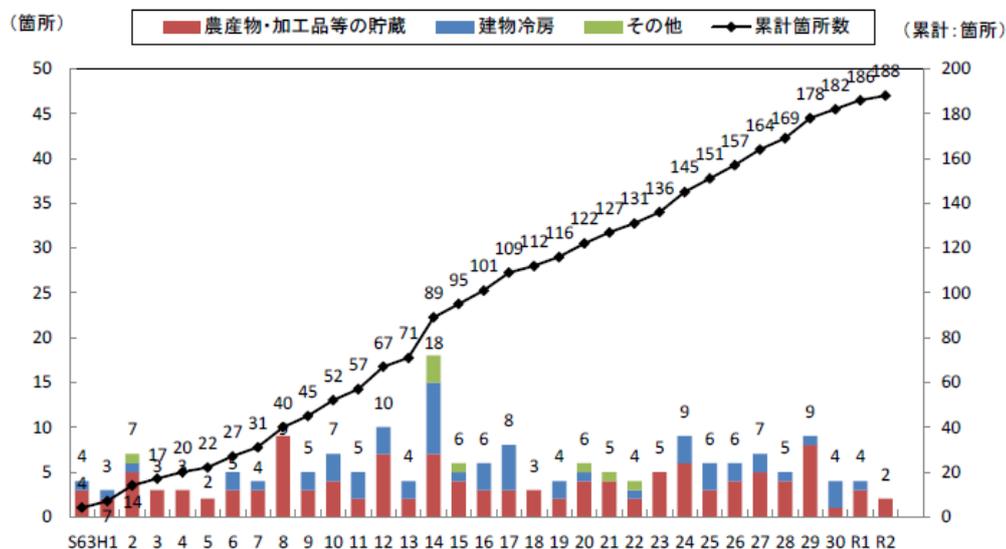
(出所) 総合エネルギー統計 (経済産業省) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

¹ 家庭 CO2 統計では普及率が記載されているが、1 世帯で 2 台以上機器を使用しないと仮定して保有台数換算している。また、拡大推計に用いた世帯数は、全国消費実態調査が国勢調査、家庭 CO2 統計が住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数となる。

2.2 雪氷熱

雪氷熱に関する統計データは豪雪地帯基礎調査のみであった。本報告書には農産物・加工品等の貯蔵、建物冷房、その他に関し、年間設置件数、累計設置件数に関するグラフが示されているものの、用途別の内訳は掲載されていない。

図表 9 雪氷熱エネルギー利用施設の整備数の累計（推移）

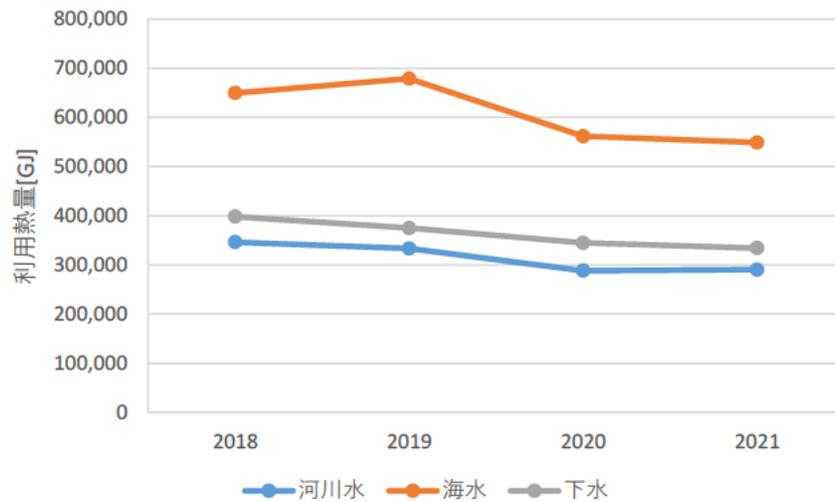


(出所) 豪雪地帯基礎調査 (国土交通省)

2.3 海水熱、河川水熱、下水熱

海水熱、河川水熱、下水熱に係る統計データは「熱供給事業便覧」のみである。本項目の集計は2016年度より実施されており、各巻では直近4か年のデータが掲載されている。なお、熱供給事業便覧の対象は熱供給事業法に基づく熱供給事業者で、日本熱供給事業協会に加盟している企業のみを対象としており、大型の施設を中心に捕捉されているものと思われる。そのため、特に小規模設備が主流の下水熱に関しては、実態から大きく乖離している可能性が高い。

図表 10 河川水、海水、下水熱の利用熱量推移

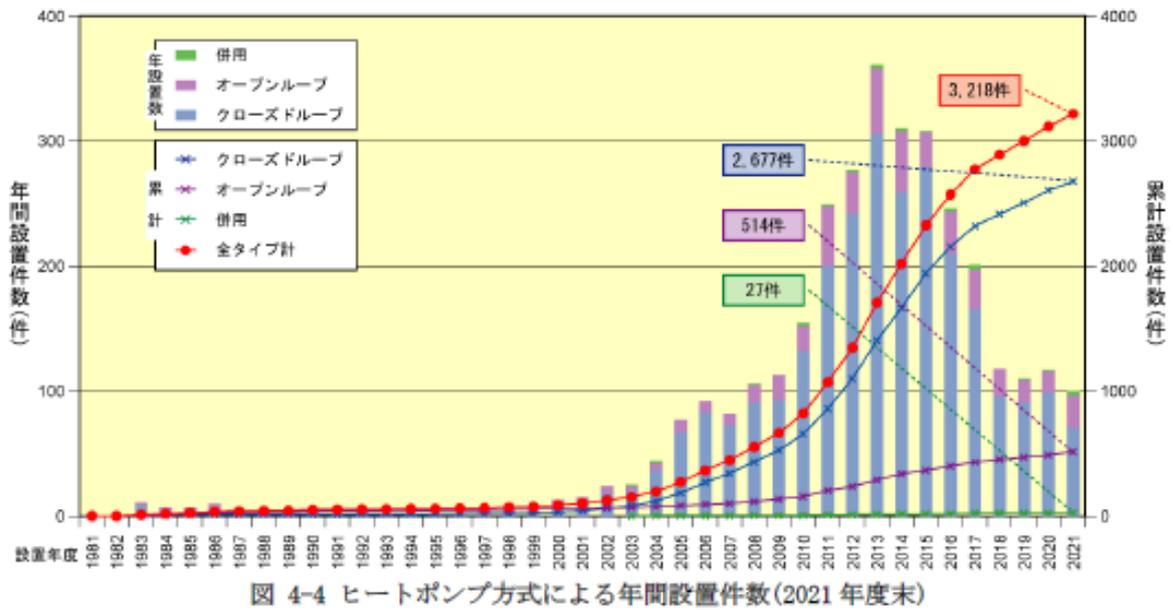


(出所) 熱供給事業便覧 (日本熱供給事業協会) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

2.4 地中熱

地中熱に関する統計データは地中熱利用状況調査結果のみであった。本報告書にはクローズドループ、オープンループ、併用に関し、年間設置件数、累計設置件数に関するグラフが示されているものの、詳細な数値は掲載されていない。また、調査対象は全国であるもののアンケート回収率は約 63.6%となっているため、全国の設定件数を全て把握しているとは限らない点に留意が必要である。

図表 11 地中熱利用設備設置数の推移



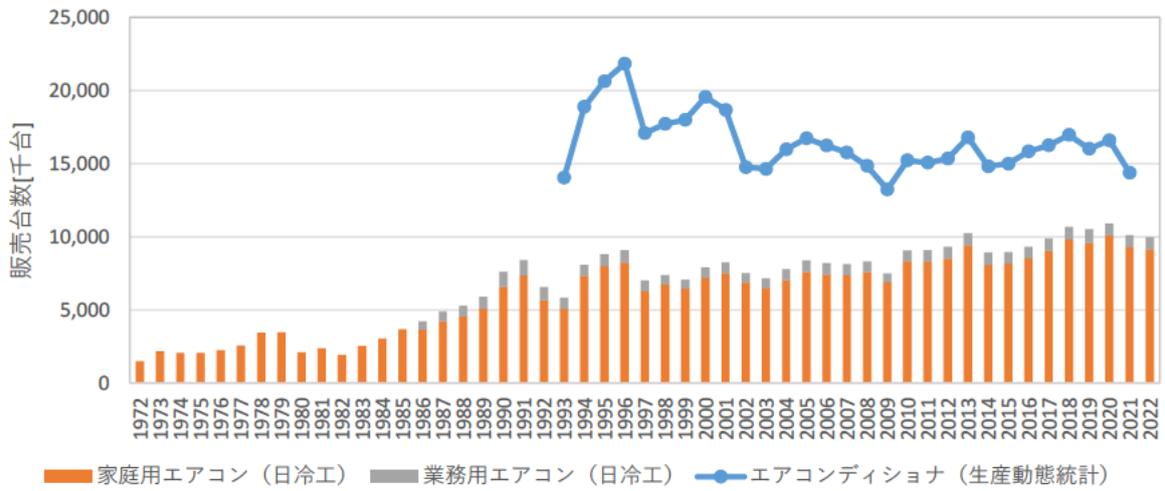
(出所) 地中熱利用状況調査結果 (環境省)

2.5 大気熱

大気熱は再エネ熱の中でも統計が整備されているエネルギー種である。具体的には、生産台数、設置件数／出荷台数の他、家庭における保有台数等が取得可能である。以下では、国内販売量、家庭保有状況、エネルギー量に関して整理を行っている。

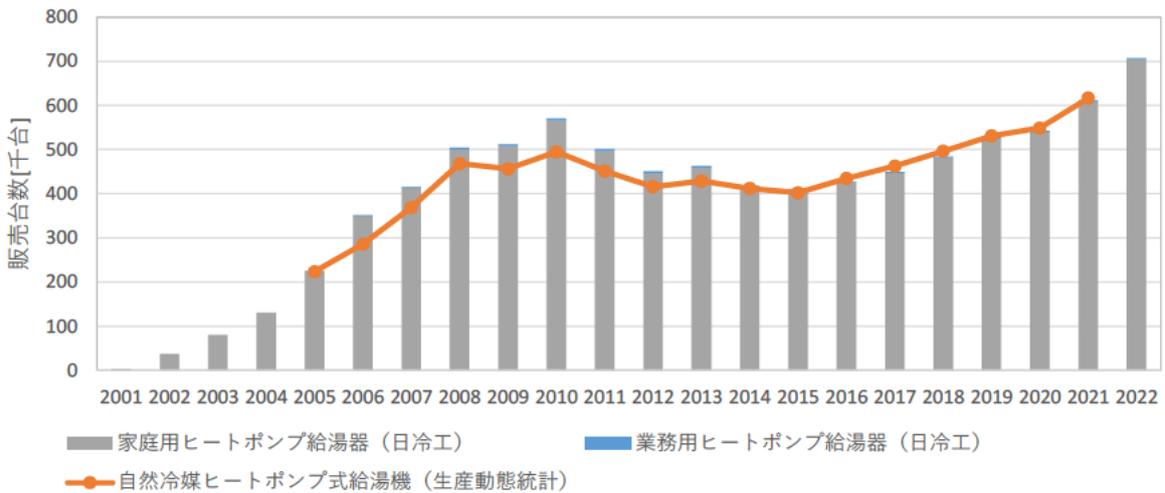
国内販売量に関しては、生産動態統計および日冷工独自統計にて整備されている。集計対象を一致させることが困難なことから一概に比較できないが、特にヒートポンプ給湯器については日冷工独自統計の捕捉率が非常に高い。

図表 12 エアコンの販売台数推移



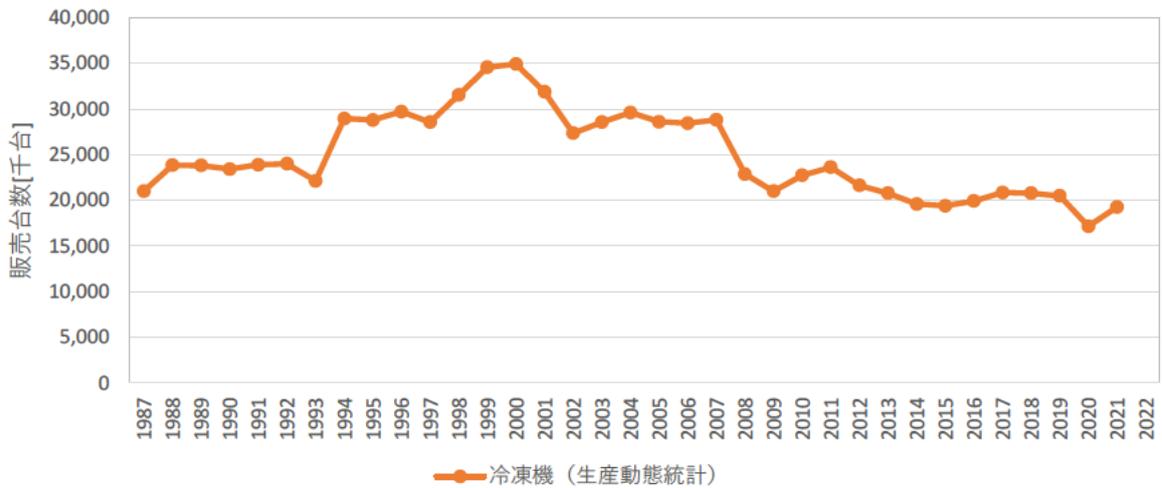
(出所) 生産動態統計（経済産業省）、自主統計（日本冷凍空調工業会）をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

図表 13 ヒートポンプ給湯器の販売台数推移



(出所) 生産動態統計（経済産業省）、自主統計（日本冷凍空調工業会）をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

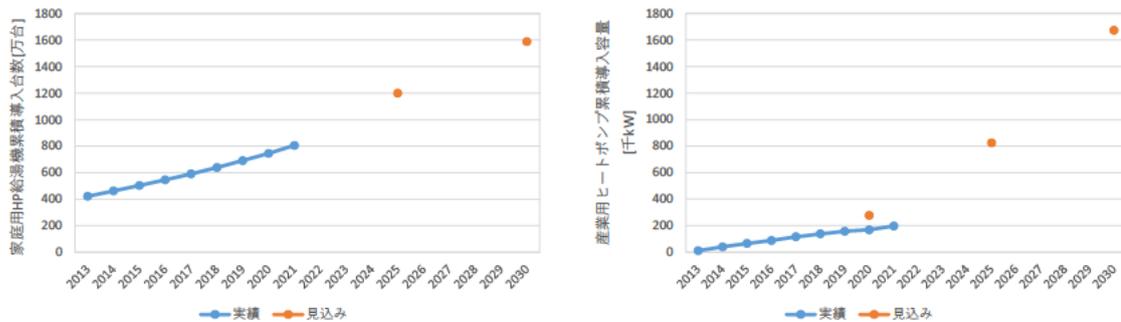
図表 14 冷凍機の販売台数推移



(出所) 生産動態統計（経済産業省）をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

地球温暖化対策計画には、家庭用 HP 給湯器及び産業用ヒートポンプの累積導入状況が示されている。家庭用 HP 給湯器については 2025 年度、2030 年度、産業用ヒートポンプについては 2020 年度、2025 年度、2030 年度の見込みが設定されており、産業用ヒートポンプに関しては 2020 年度における累積導入実績が見込みを下回っている状況にある。

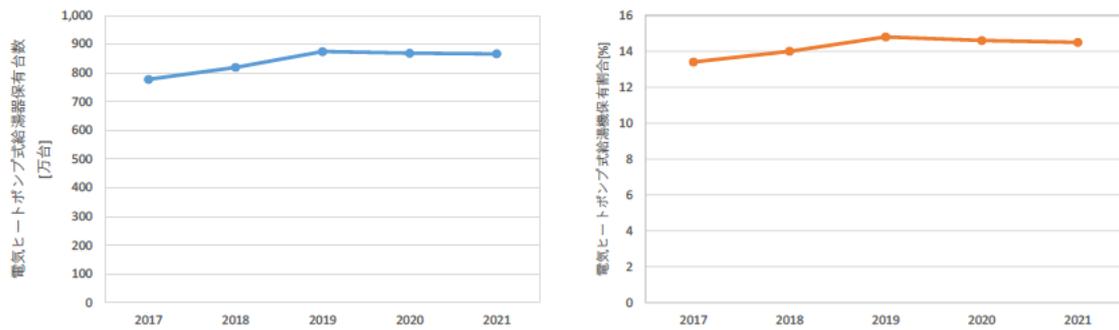
図表 15 産業 HP の累積導入容量および省エネ量の推移



(出所) 地球温暖化対策計画フォローアップ資料（地球温暖化対策推進本部）をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

家庭における電気ヒートポンプ式給湯器保有状況は家庭 CO2 統計で整備されている。統計が開始された 2017 年度以降、電気ヒートポンプ式給湯器の保有状況は 800 万台から 900 万台程度で推移しており、保有割合は 13.5%から 15%程度となっている。

図表 16 家庭におけるヒートポンプ給湯器保有状況の推移



(出所) 家庭部門の CO2 排出実態統計調査 (環境省) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3. 今後の課題

本項目では再エネ熱に関する諸統計を整理した。この結果を踏まえ、今後、再エネ熱の普及状況等を把握するための課題を示す。

1. 網羅性

- 温泉熱等については整備された統計が存在しておらず、普及状況を経年的に把握することが困難である。
- 統計情報が入手できる他再エネ熱についても、対象バウンダリが全体の一部であり、国内全体の普及状況を把握することが出来ない。

2. 省エネ効果の把握

- 再エネ熱を導入したことによる省エネ効果を測定するためには、エネルギー量を把握することが重要である。
- 一方、エネルギー量を直接、測定することは難しいため、何らかの仮定をおいたうえで推計する方法が考えられる。
- 総合エネルギー統計では、太陽熱に関し出荷台数から設備容量を把握し暦時間稼働率を 12%と想定しているが、他再エネ熱に関しても同様の手法で算定が可能なのか調査する必要がある。

3. 実施主体

- 再エネ熱に関する統計の多くは、業界団体が主体となって実施している。しかし、網羅性で述べたように、業界統計は加盟企業のみを対象とすることが多い。
- 国全体における再エネ熱の普及状況及び省エネ効果について把握するためには、国全体を対象とする統計を国が主体となって実施していくことも選択肢として検討すべきである。

III. 欧州における計測・報告方法に関する調査

1. 欧州における再エネ熱の取り扱い

まず、欧州における再エネ熱に関する計測・報告方法の背景の概要に触れる。欧州連合 (EU) の「改正再生可能エネルギー指令 (2018/2001) (以下、「RED II」という。))」は、EU 全体の 2030 年における「総最終エネルギー消費量に占める再エネ割合」として、少なくとも 32% と規定していた²。この目標値は、加盟国政府に対する法的拘束力を有する。また、EU 加盟国は、算定ツール「SHARES (SHort Assessment of Renewable Energy Sources)」を用いて進捗を報告している。

再エネ熱に関して RED II は、EU 加盟国が 2021 年~2025 年及び 2026 年~2030 年の各期間における熱部門の再エネ割合を年平均 1.3%ポイント以上増加させるよう努めなければならないと規定している³。

熱部門における再エネには、地域熱供給、産業用、業務用、家庭用に供するためのエネルギーのうち再生可能由来の熱消費量が含まれ、ヒートポンプで得られる周辺環境熱、地中熱、河川水熱も含まれる。RED II におけるヒートポンプの取り扱いは、温熱、冷熱によって異なっている。次項以降では、温熱と冷熱のそれぞれの取り扱いについて示す。

2. RED II におけるヒートポンプ (温熱) の取り扱い

2.1 再エネ熱量の計算方法

RED II におけるヒートポンプ (温熱) の取り扱いについては、RED II 「Annex VII ヒートポンプからの再生可能エネルギーの計算に関する加盟国のガイドライン(2013/114)」において定められている。

RED II において再生可能エネルギーとして認められる量 (E_{RES}) は、以下の式で計算される。

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1 - 1/SPF)$$

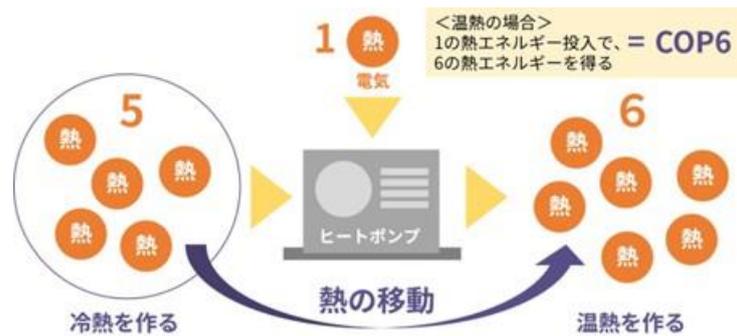
Q_{usable} : RED II 第 7 条第 4 項の基準を満たすヒートポンプにより供給される使用可能な推定総熱量。後述の効率基準を満たすヒートポンプのみが対象。全負荷相当運転時間 (H_{HP} , デフォルト値) に暖房定格能力 (統計値) を乗じて算出できる

SPF (seasonal performance factor) : ヒートポンプの推定平均季節生成係数 (成績係数 COP の季節平均)

² RED II の改定として、RED III が、2023 年 11 月に発効している。RED III では、2030 年における再エネ割合目標を RED II の 32% から 42.5% に引き上げることとしている。(RED に関しては、第 4 章において後述)

³ 廃熱が利用されない EU 加盟国は、同 1.1%ポイント以上増加させるよう努めなければならない。

図表 17 成績係数 COP の算出イメージ



(出所) FUTAEDA 株式会社ウェブサイト「輻射式冷暖房のヒートポンプ室外機の種類と仕組み」<<https://lab.a-hikari.com/radiant-heatpump/>> (2024年2月アクセス)

2.2 最低効率基準

再生可能エネルギーとして認められるのは、以下の効率基準を満たすヒートポンプのみ、つまり消費電力量の1次エネルギー換算値の1.15倍以上の熱供給が行われるヒートポンプのみとなっている。

$$SPF > 1.15 * 1/\eta$$

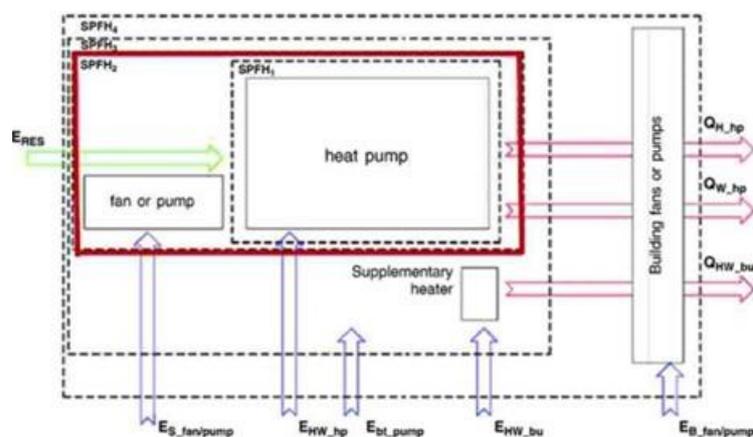
η : 総発電量と発電の一次エネルギー消費量との比率。EUにおける統計を管轄する Eurostat のデータに基づき、EU平均として計算される

2.3 システムバウンダリ

測定のためのシステムバウンダリは、図表 18 の赤線で囲まれる $SPFH_2$ とされており、ヒートポンプおよび熱源側のファン・ポンプが含まれる。一方、補助ヒーターと建物側のファン・ポンプは含まれない。

SPF の決定は、欧州規格「EN 14825:2012」に基づく季節性能係数 ($SCOP_{net}$)、または「EN 12309」に基づく季節一次エネルギー比 ($SPER_{net}$) に従う。ヒートポンプの運転や、冷媒の循環のための電力や燃料の消費を考慮する必要がある。

図表 18 SPF および Q_{usable} の測定にかかるシステムバウンダリ



(出所) EC「ヒートポンプからの再生可能エネルギーの計算に関する加盟国のガイドライン(2013/114/EU)」
(2013年3月)

2.4 気候条件別デフォルト値

ヒートポンプの熱源、媒体別に、以下の3つの気候条件に応じた全負荷相当運転時間 (H_{HP}) と SPF のデフォルト値が設定されている。電気ヒートポンプ及び熱駆動ヒートポンプのデフォルト値を図表 19 と図表 20 に示す。

- Average climate : 平均気候条件 (ストラズブールの温度条件)
- Colder climate : 寒冷な気候条件 (同ヘルシンキ)
- Warmer climate : 温暖な気候条件 (同アテネ)

なお、複数種類の気候条件の地域が、ひとつの EU 加盟国内に存在する場合には、各地域のヒートポンプ設置容量を推計しなければならない。

図表 19 電気ヒートポンプのデフォルト値 H_{HP} ・SPF

| Heat Pump Energy source: | Energy source and distribution medium | Climate conditions | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| | | Warmer climate | | Average climate | | Colder climate | |
| | | H_{HP} | SPF ($SCOP_{net}$) | H_{HP} | SPF ($SCOP_{net}$) | H_{HP} | SPF ($SCOP_{net}$) |
| Aerothermal energy | Air-Air | 1,200 | 2.7 | 1,770 | 2.6 | 1,970 | 2.5 |
| | Air-Water | 1,170 | 2.7 | 1,640 | 2.6 | 1,710 | 2.5 |
| | Air-Air (reversible) | 480 | 2.7 | 710 | 2.6 | 1,970 | 2.5 |
| | Air-Water (reversible) | 470 | 2.7 | 660 | 2.6 | 1,710 | 2.5 |
| | Exhaust Air-Air | 760 | 2.7 | 660 | 2.6 | 600 | 2.5 |
| | Exhaust Air-Water | 760 | 2.7 | 660 | 2.6 | 600 | 2.5 |
| | Geothermal energy | Ground-Air | 1,340 | 3.2 | 2,070 | 3.2 | 2,470 |
| Ground- Water | | 1,340 | 3.5 | 2,070 | 3.5 | 2,470 | 3.5 |
| Hydrotherm al heat | Water-Air | 1,340 | 3.2 | 2,070 | 3.2 | 2,470 | 3.2 |
| | Water- Water | 1,340 | 3.5 | 2,070 | 3.5 | 2,470 | 3.5 |

(出所) EC「ヒートポンプからの再生可能エネルギーの計算に関する加盟国のガイドライン(2013/114)」(2013年3月)

図表 20 熱駆動ヒートポンプのデフォルト値 H_{HP} ・SPF

| Heat Pump Energy source: | Energy source and distribution medium | Climate conditions | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| | | Warmer climate | | Average climate | | Colder climate | |
| | | H_{HP} | SPF ($SPER_{net}$) | H_{HP} | SPF ($SPER_{net}$) | H_{HP} | SPF ($SPER_{net}$) |
| Aerothermal energy | Air-Air | 1,200 | 1.2 | 1,770 | 1.2 | 1,970 | 1.15 |
| | Air-Water | 1,170 | 1.2 | 1,640 | 1.2 | 1,710 | 1.15 |
| | Air-Air (reversible) | 480 | 1.2 | 710 | 1.2 | 1,970 | 1.15 |
| | Air-Water (reversible) | 470 | 1.2 | 660 | 1.2 | 1,710 | 1.15 |
| | Exhaust Air-Air | 760 | 1.2 | 660 | 1.2 | 600 | 1.15 |
| | Exhaust Air-Water | 760 | 1.2 | 660 | 1.2 | 600 | 1.15 |
| | Geothermal energy | Ground-Air | 1,340 | 1.4 | 2,070 | 1.4 | 2,470 |
| Ground- Water | | 1,340 | 1.6 | 2,070 | 1.6 | 2,470 | 1.6 |
| Hydrotherm al heat | Water-Air | 1,340 | 1.4 | 2,070 | 1.4 | 2,470 | 1.4 |
| | Water- Water | 1,340 | 1.6 | 2,070 | 1.6 | 2,470 | 1.6 |

(出所) EC「ヒートポンプからの再生可能エネルギーの計算に関する加盟国のガイドライン(2013/114)」(2013年3月)

3. RED IIにおけるヒートポンプ（冷熱）の取り扱い

3.1 再エネ熱量の計算方法

RED IIにおけるヒートポンプ（冷熱）の取り扱いについては、「冷房および地域冷房に使用される再生可能エネルギー量の計算方法に関する欧州議会および理事会指令(2018/2001) Annex VIIの改正（欧州委員会委任規則(2022/759)）」において定められている。

RED IIにおいて再生可能エネルギーとして認められる量（ E_{RES-C} ）は、以下の式で計算される。

$$E_{RES-C} = (Q_{Csource} - E_{input}) \times S_{SPFP} = Q_{Csupply} \times S_{SPFP}$$

$Q_{Csource}$ ：冷熱システム（cooling system）によって大気、周囲水、または地中に放出される熱量

E_{input} ：冷熱システムのエネルギー消費（地域冷房における測定システム用の補助システムのエネルギー消費を含む）

S_{SPFP} ：再生可能とみなすことのできる冷熱供給の割合。％で表される。配給ロスは計上されない。（地域冷房の場合は、冷熱発生器ごと、またはフリークーリングシステムレベルで算出される）

$Q_{Csupply}$ ：冷熱システムにより供給される冷却エネルギー

$SPFP_p$ ：冷房期間中の冷房システムの一次エネルギー効率を表す比率。冷熱の発生量をエネルギー投入量で除して算出され、値が高い方が優れている

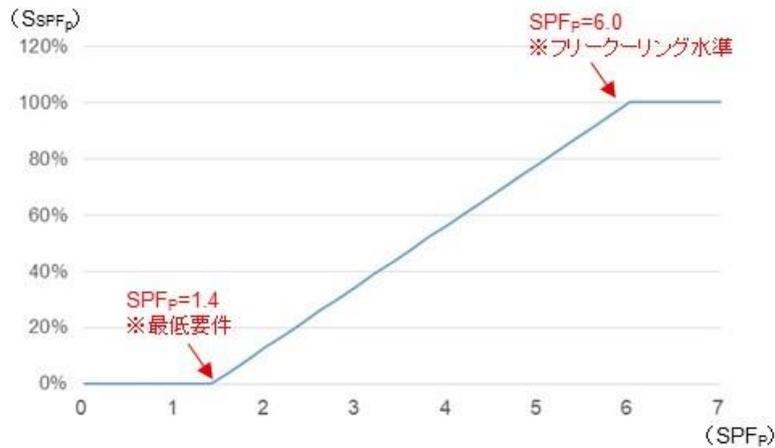
ここで、 S_{SPFP} の算出方法について整理する。図表 21 で示すように SPF の最低要件は 1.4（ $SPFP_{LOW}$ ）である。SPF が 6 以上（ $SPFP_{HIGH}$ ）の場合、 S_{SPFP} は 100%となる。一方、6 を下回る場合は、以下の算定式が適用される。

$$S_{SPFP} = \frac{SPFP - SPFP_{LOW}}{SPFP_{HIGH} - SPFP_{LOW}} \%$$

$SPFP_{LOW}$ ：一次エネルギーで表され、標準的な冷熱システムの効率に基づいた、最低の季節性能係数（EU エコデザイン指令の最低要件）

$SPFP_{HIGH}$ ：一次エネルギーで表される季節性能係数の上限閾値であり、地域冷房で使用されるフリークーリングのベストプラクティスに基づく

図表 21 S_{SPFp} の算出イメージ



(出所) EC「欧州委員会委任規則(2022/759)」(2022年5月)をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

3.2 基準値と測定値による再エネ熱量の算出

再エネ熱量は、基準 SPF 値、または測定 SPF 値により算出する。電気蒸気圧縮冷却発電機および燃焼エンジン蒸気圧縮冷却発電機は、公称容量 2MW までの空調用、公称容量 1.5MW までのプロセス用において、基準 SPF 値を利用可能である。また、地域冷房は、基準 SPF 値はなく、測定 SPF 値を利用する。

3.3 SPF バウンダリ

冷熱発生器の SPF の定義のためには、EU 規則 (2281/2016, 206/2012) に基づく SPF バウンダリ条件を使用しなければならない。SPF バウンダリイメージを、図表 22 に示す。

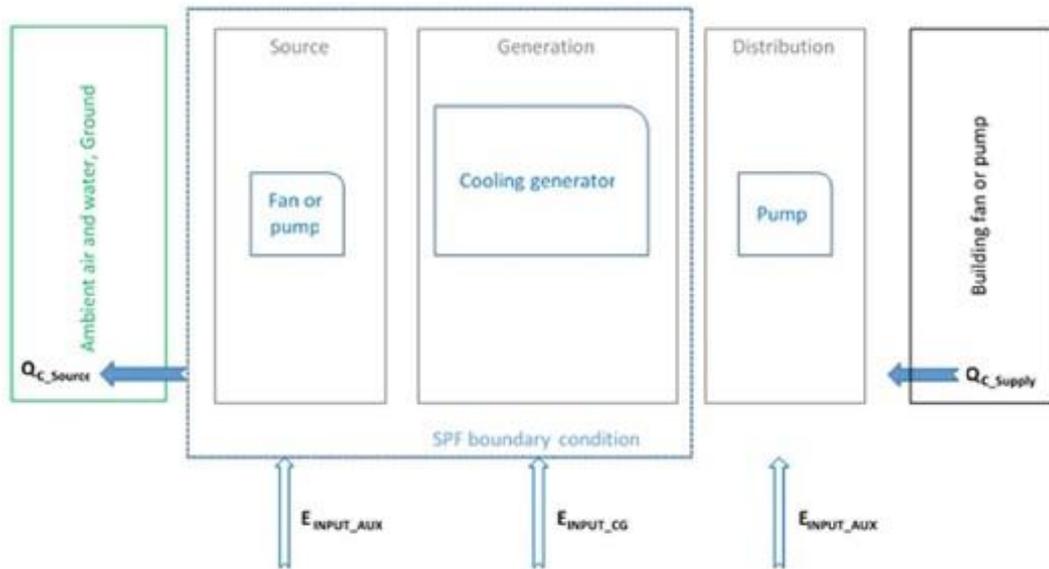
温熱と異なり、冷熱では補助電力消費量 (サーモスタットオフモード、待機モード、オフモード、クランクケースヒーター) は、SPF 評価では考慮しない。ただし、標準 SPF 値と測定 SPF 値の両方が使用される場合は、測定 SPF 値の補助消費量を考慮するため、補助消費電力量を含める。

地域冷房では、プラントと需要家側サブステーションの間の配給ロスと電力消費量は、SPF 値に含まない。

内部冷熱回収を備えた空気 (Air) ベースの冷却システムの場合、冷熱回収による冷熱供給は考慮しない。また、熱交換器での冷熱回収に必要なファン動力は、総圧力損失に対する比率に比例して、割り引かなければならない。

図表 22 SPF バウンダリイメージ

(E_{INPUT_AUX} :ファン／ポンプへの投入エネルギー, E_{INPUT_CG} :冷熱発生器への投入エネルギー)



(出所) EC「欧州委員会委任規則(2022/759)」(2022年5月)

3.4 標準 SPF 値／測定 SPF 値による算出

標準 SPF 値が利用可能な 1.5MW 未満の個別の冷却システムは、単純化された方法を用いて、供給される全冷却エネルギーを推定することができる。単純化された方法においては、冷熱システムにより供給される冷却エネルギー (Q_{c_supply}) は、公称冷却容量 (P_c) に全負荷相当運転時間を乗じる。なお、全負荷相当運転時間の算出式は冷房用途により異なる。

「標準 SPF 値が存在しない」、「1.5MW 以上の冷却システム」、「地域冷房」の場合は、投入エネルギー量と冷熱供給量の測定に基づき再エネ熱量を算出する。

なお、EU 加盟国は、規定された方法論で実現可能な範囲を超えて、国の統計の正確性を向上させるために、独自の計算と調査を行うことが許容されている。

第3章 再エネ熱利用システムの類型に関する調査

I. 再エネ熱利用システムの概要と類型

1. 太陽熱

太陽熱利用システムは、大きく空気集熱式（空気式ソーラーシステム）と水集熱式（液体式ソーラーシステム）に大別される。空気集熱式については外気の取り入れによる自然循環方式が主であり、水集熱式については自然循環式と強制循環式の2種のシステムに分類される。自然循環式とは、集熱器や建築上の工夫によって太陽熱を受動的に活用するシステムを指し、集熱器と蓄熱槽が一体となっている場合が多い。強制循環式とは、ポンプといった機械的な装置を利用し、太陽熱を積極的に活用するシステムを指す。

水集熱式で用いられる集熱器としては主に3種類存在し、平板型では40～70℃程度、真空ガラス管型では70～90℃程度、集光型では200℃程度の集熱を行う際に利用される。

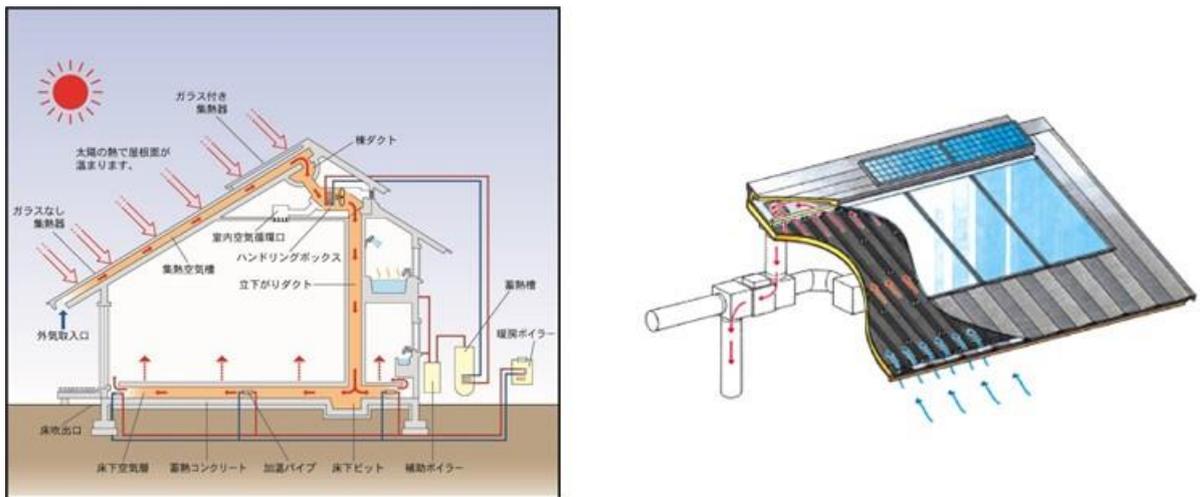
図表 23 主な太陽熱利用システムの分類

| 集熱熱媒 | 集熱方式 | 主な集熱器 | 主な用途 |
|------------------------|-----------------------|------------|---------------------------|
| 空気集熱式 (空気式ソーラーシステム) | 自然循環式 | 集熱面+通気ダクト | 家庭用空調、業務用空調 |
| | 水集熱式 (液体式ソーラーシステム) | 自然循環式 | 平板型集熱器 |
| 真空ガラス管型集熱器 | | | 家庭用給湯・空調、業務用給湯・空調(70～90℃) |
| 集光型集熱器 | | | 業務用給湯・空調、産業用(200℃) |
| 強制循環式 | 強制循環式 | 平板型集熱器 | 家庭用給湯・空調、業務用給湯(40～70℃) |
| | | 真空ガラス管型集熱器 | 家庭用給湯・空調、業務用給湯・空調(70～90℃) |
| | | 集光型集熱器 | 業務用給湯・空調、産業用(200℃) |

(出所) 資源エネルギー庁「平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査」(2018年3月)をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

空気集熱式では、屋根に設置したガラス付き集熱面などにより高温に達した空気を、小屋根裏部に設置した送風機ユニットで床下に送り、床下の蓄熱材(コンクリート)に蓄熱させて、室内に回して直接暖房する。集熱器に熱媒を通すパイプは無く、1枚の集熱板の下や上下を空気が流れて集熱する仕組みとなっている。

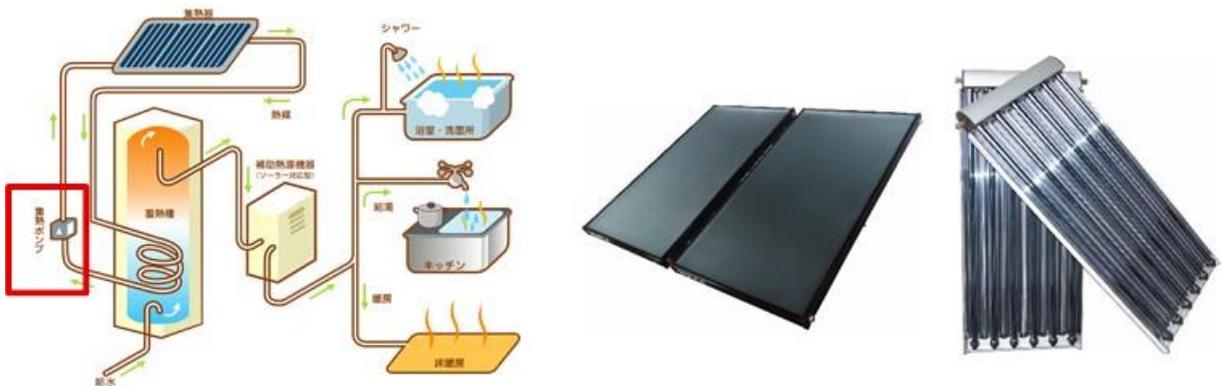
図表 24 空気集熱式システム（左）と屋根部分の集熱面（右）



(出所) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会ウェブサイト「ソーラーシステムの種類としくみ」
 <<https://www.ssda.or.jp/energy/kind/>> (2024年1月アクセス)

水集熱式では、集熱器で集めた太陽熱で、直接的に給水を加温するか、不凍液などの熱媒を循環ポンプで循環させ、蓄熱槽の中に蓄えた水を熱交換器により間接的に加温する。以下に示すシステムの例は強制循環式の図であり、集熱ポンプを使用しない場合は自然循環式となる。

図表 25 水集熱式システム（左）と集熱器の例（平板型集熱器（中）と真空ガラス管型集熱器（右））



(出所) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会ウェブサイト「ソーラーシステムの種類としくみ」
 <<https://www.ssda.or.jp/energy/kind/>> (2024年1月アクセス)

2. 雪氷熱

雪氷熱利用システムは、冬季の積雪や、冷たい外気を用いて凍らせた氷を保管し、冷熱が必要となる夏季まで保存しておき、利用するものである。その性質上、寒冷地のみで利用可

能となっている。主な用途としては、農作物の冷蔵や建物の冷房利用がある。

供給（熱交換）方法、冷熱源の確保方法が複数存在し、これらの組み合わせによりシステムが成立する。

図表 26 冷熱供給方法の種類と概要

| 冷熱供給方法 | 概要 |
|--------|---|
| 自然対流方式 | 特別な機器を用いることなく、自然対流による熱交換する |
| 冷風循環方式 | 送風機を用いて、雪（氷）から得られる冷熱を冷風の形で冷却の対象となる貯蔵庫や室内との間で空気を循環させる。 |
| 冷水循環方式 | 熱交換器を用いて、雪（氷）から得られる冷熱を冷水の形で冷却の対象となる貯蔵庫や室内との間で循環させる。 |

（出所）資源エネルギー庁「平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査」（2018年3月）をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

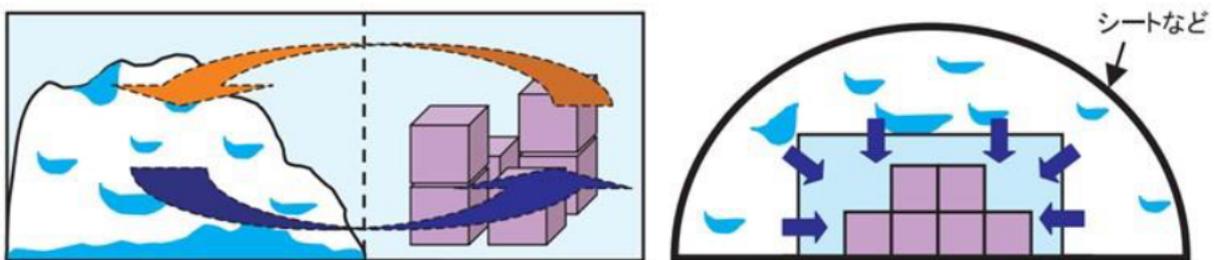
図表 27 冷熱確保方法の種類と概要

| 冷熱確保方法 | 概要 |
|----------|------------------------|
| 雪・氷搬入 | 倉庫に雪や氷を貯める |
| 雪堆積場の造成 | 屋外に雪を堆積する場所（雪山）を造成する |
| アイスシェルター | 冬季に外気を取り入れて内部の水槽を凍結させる |
| 人口凍土システム | 貯蔵庫の周辺を人工的に凍土状況にする |

（出所）資源エネルギー庁「平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査」（2018年3月）をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

冷熱供給方法に関して、自然対流方式では、貯蔵した雪または氷の冷熱を特別な機器を用いず、自然に対流させることで熱交換を行う。貯蔵庫内に雪（氷）を貯蔵させる場合と、貯蔵庫に被せた雪から冷熱を得る場合がある。貯蔵庫は、雪室（ゆきむろ）、氷室（ひむろ）と呼ばれ、一般的には農作物の貯蔵に用いられる。

図表 28 自然対流方式のイメージ



（出所）北海道経済産業局「COOL ENERGY 5（雪氷熱エネルギー活用事例集 5）」（2012年4月）

冷風循環方式では、貯蔵庫内の雪（氷）から得られる冷熱を、送風機を用いて冷却の対象となる貯蔵庫や室内との間で空気を循環させる。熱媒体が空気という点は自然対流方式と同様であるものの、人工的に空気を循環させる点異なる。

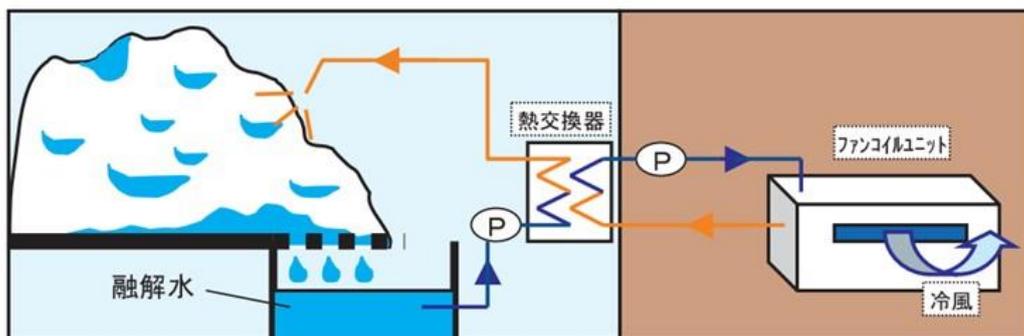
図表 29 冷風循環方式のイメージ



(出所) 北海道経済産業局「COOL ENERGY 5 (雪氷熱エネルギー活用事例集 5)」(2012年4月)

冷水循環方式では、熱交換器の一次側で冷却された不凍液をポンプで循環し、二次側で循環する不凍液を冷却する。一次側については融解水から熱交換する 경우가一般的であるが、雪から熱交換を直接行うことも可能である。融解水を利用する場合、熱交換器から戻ってきた水を、雪氷を融解するために散水する場合が多い。

図表 30 冷水循環方式のイメージ

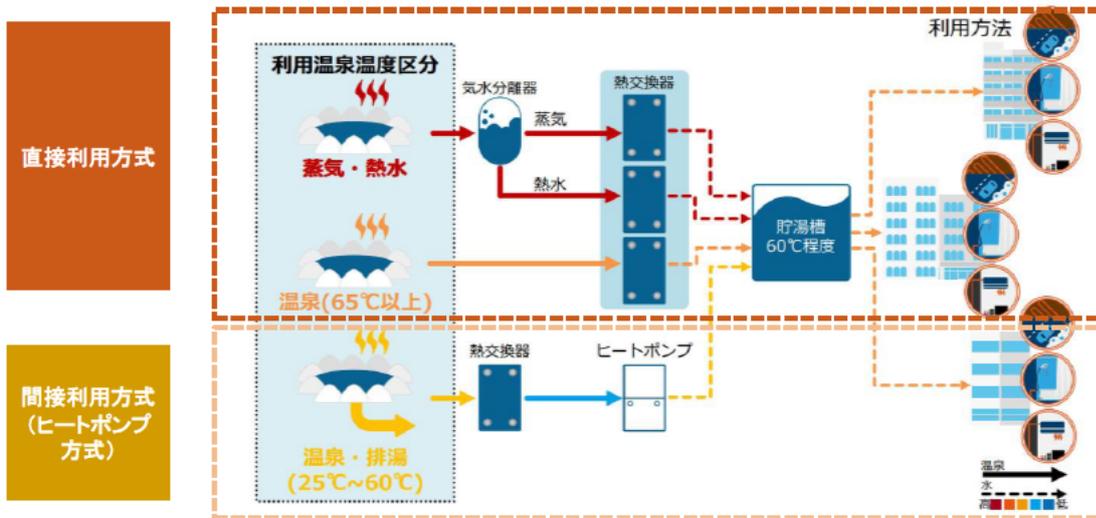


(出所) 北海道経済産業局「COOL ENERGY 5 (雪氷熱エネルギー活用事例集 5)」(2012年4月)

3. 地熱・温泉熱

地熱・温泉熱利用システムでは、蒸気や熱水(温泉)を熱源として利用する。日本の温泉は50~100℃帯のものが多く、入浴に適した温度に下げることが必要である。そういった熱を空調や給湯といった用途として活用する。蒸気・熱水をそのまま熱交換して利用する直接利用方式と、温度の低い熱水や排湯をヒートポンプの熱源として利用する間接利用方式(ヒートポンプ方式)が存在する。

図表 31 地熱・温泉熱利用のモデル

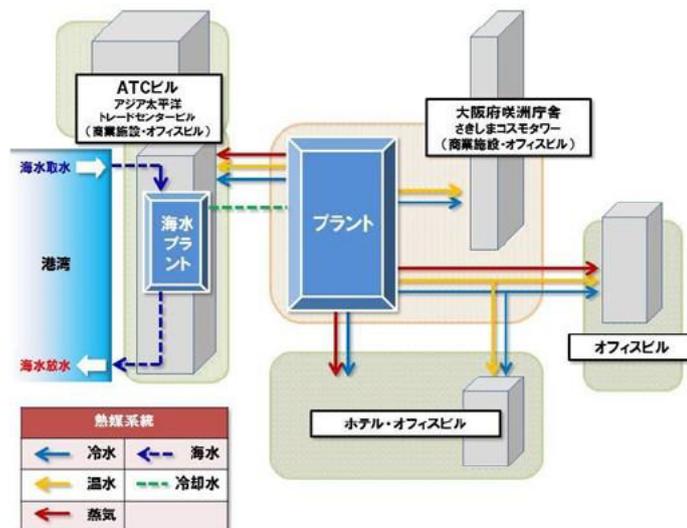


(出所) 環境省「温泉熱有効活用に関するガイドライン」(2019年3月)

4. 海水熱・河川水熱

海水や河川水は、夏は大気よりも温度が低く、冬は高い。この温度差を活用し、ヒートポンプの熱源水として活用するのが海水熱・河川水熱利用のシステムである。欧州では河川水熱利用を実施している事例が一定程度存在している。河川水と海水とを比較すると、海水の方が量的に豊富である、凍結温度が -1.9°C と低いため河川水より低温まで熱利用が可能、温度の季節変化が河川水に比べて少ないといった違いがあり、海水の方がヒートポンプ熱源として優れている。また、海水熱・河川水熱を利用する場合は、地域を一体開発する等により大規模に利用し、土木工事費の低減に繋げる例が多い。

図表 32 海水熱利用の例 (大阪南港コスモスクエアにおける地域供給)

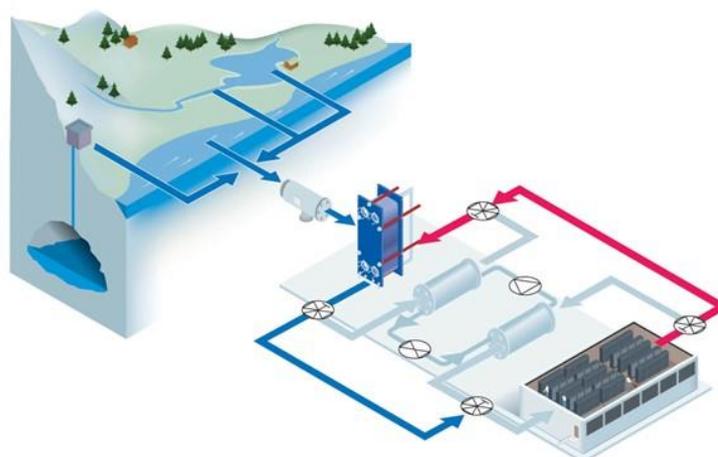


(出所) 大阪臨海熱供給株式会社ウェブサイト「南港熱供給センターのご案内」

<https://www.ores-dhc.com/osaka_bay.html> (2024年2月アクセス)

データセンターの冷却等を目的として、河川水や井戸水を使用し（チラーを使用せず）、フリークーリングを行う例も存在している。

図表 33 河川水を使用したフリークーリングのモデル



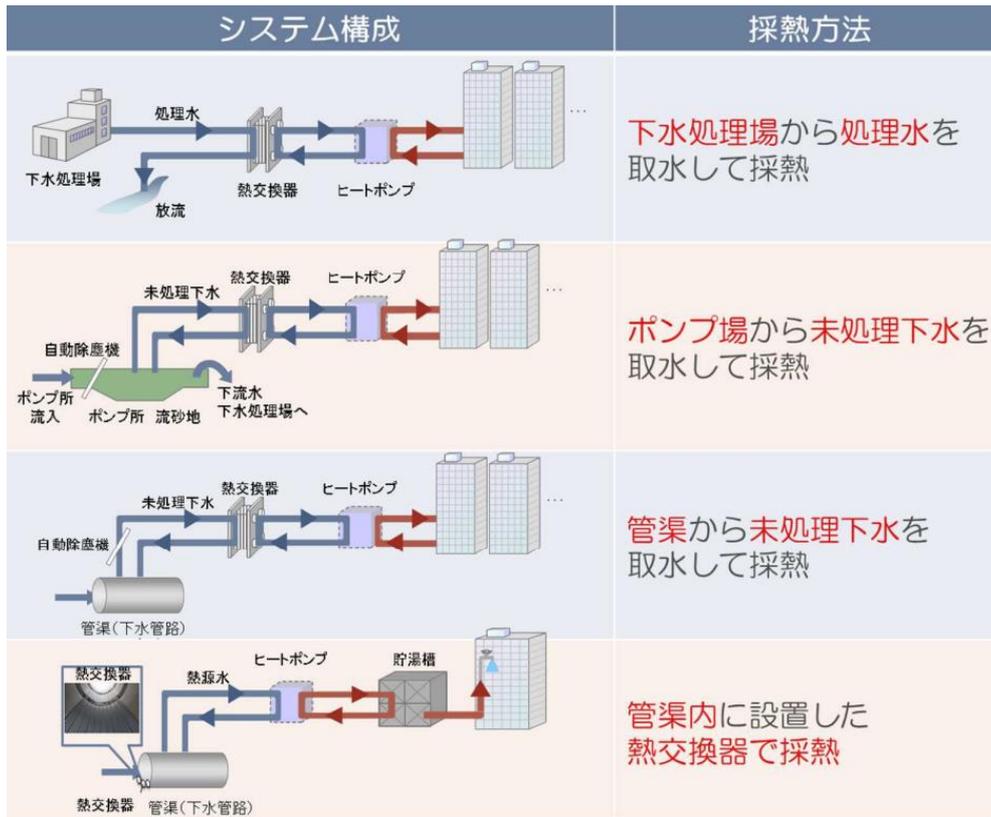
（出所）アルファ・ラバル株式会社ウェブサイト「水を使ったフリークーリング (Free Cooling)」
<<https://www.alfalaval.jp/industries/hvac/data-center-cooling/free-cooling-water/>>（2024年1月アクセス）

5. 下水熱

下水についても、海水や河川水と同様に夏は大気よりも温度が低く、冬は高い。この温度差を、ヒートポンプや熱交換器を用いて、給湯・空調のエネルギー源として利用することができる。下水は都市部にも存在するため、都市内で高効率のエネルギーシステムが構築でき、一次エネルギーの消費量やCO₂排出量の削減に貢献できる。

下水熱の利用形態は、下水熱取得施設（下水処理場、下水ポンプ場、下水管渠）及び熱交換器の設置有無によって分類することができる。なお、下水管渠から取得する場合は、熱交換器を管渠内に設置する場合もある。

図表 34 下水熱利用の主なシステム



(出所) 国土交通省「下水熱利用マニュアル(案)」(2021年4月)

6. 地中熱・地下水熱

地中熱利用システムは、地下に存在する地中熱を熱源として利用する方法である。地下10mよりも深い領域の地中温度は年間を通してほぼ一定であり、夏季や冬季にはヒートポンプを利用することで効率的に熱を利用することができる。地中熱は、天候に関わらずあらゆる地域で利用できるといった特徴を持つ。

地中熱利用システムには、地中から回収した熱を、ヒートポンプを通して利用するヒートポンプシステム（間接利用）や、直接熱を利用する空気循環、熱伝導、水循環、ヒートパイプといった方式がある。また、ヒートポンプシステム及び水循環の場合、クローズドループ方式とオープンループ方式の2種類の方式に分けられる。

図表 35 主な地中熱利用システムの分類

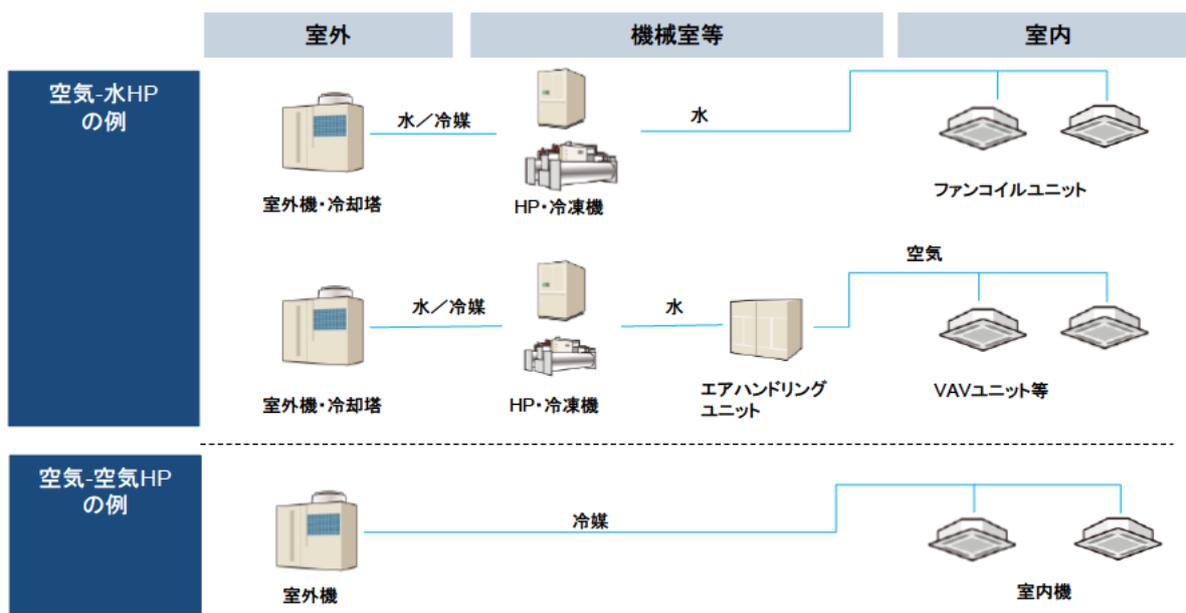
| 熱交換方式 | | 概要 | |
|----------------------|------------|---|---|
| ヒートポンプシステム (間接利用) | クローズドループ方式 | 熱交換用のチューブや管を地中に敷設し、チューブ内の水や不凍液等の熱媒を通して地上のヒートポンプを通じて熱交換を行う。 | |
| | オープンループ方式 | 帯水層の地下水をくみ上げ、ヒートポンプを通じて熱交換を行う。熱交換後の地下水は帯水層に送り返したり、水路などに放流する。 | |
| 直接利用 | 水循環 | クローズドループ方式 | 地中熱交換器と放熱管の間で不凍液等を循環させ、不凍液の熱をそのまま(ヒートポンプ等を介さず)利用する。 |
| | | オープンループ方式 | 帯水層の地下水を放熱管に通水させ、そのまま(ヒートポンプ等を介さず)熱を利用する。 |
| | 空気循環 | 空気を地中に埋設した熱交換パイプ等に通気し、地中熱を回収し、その空気を屋内に取り込むことで熱を利用する。 | |
| | 熱伝導 | 建築の床を地面に接触させ、伝導で伝わる熱を直接利用する | |
| | ヒートパイプ | 路面に埋設した放熱管(ヒートパイプ)に揮発性の高い冷媒を入れ、その冷媒が蒸発と凝縮を繰り返すことにより地中の熱を地上に伝動する | |

(出所) 資源エネルギー庁「平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査」(2018年3月)をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

7. 大気熱

空気中の熱である大気熱も、ヒートポンプ熱源として利用することが可能である。空気熱源ヒートポンプは供給媒体の種類(空気・水)によって分類される。

図表 36 大気熱利用ヒートポンプのシステム

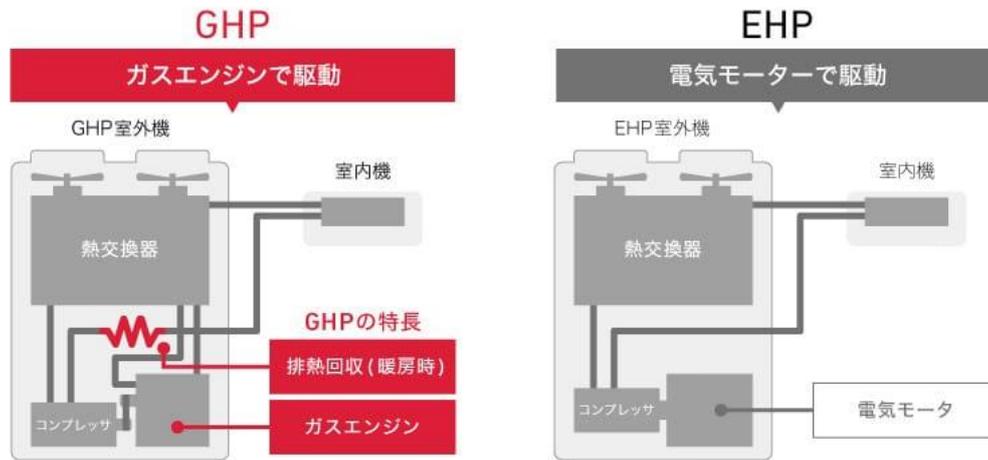


(出所) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターHPをもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成(2024年1月アクセス)

電気で動く電気駆動式ヒートポンプ(EHP)・冷凍機の他に、ガスエンジンで駆動するガス

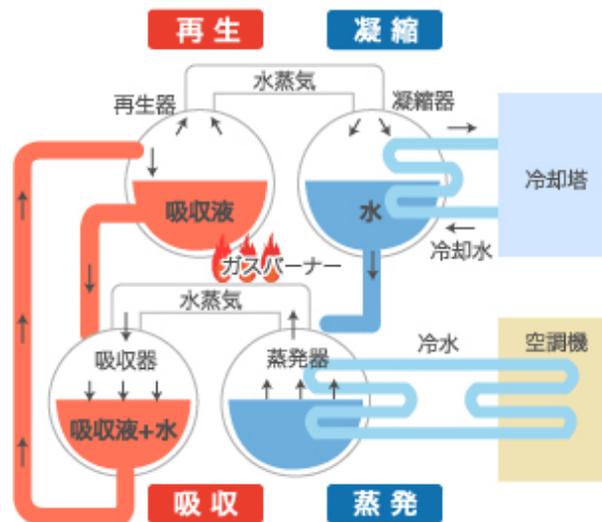
ヒートポンプ（GHP）や、熱（燃料による加熱を含む）によりヒートポンプサイクルを駆動させる吸収式ヒートポンプ（吸収式冷凍機）、吸着式ヒートポンプ（吸着式冷凍機）などの種類がある。

図表 37 EHP と GHP のシステム



（出所） ヤンマーホールディングス株式会社ウェブサイト「GHP と EHP の違いとは？」
 <https://www.yanmar.com/jp/energy/knowledge/energy_issues/case_21.html>（2024年1月アクセス）

図表 38 熱駆動ヒートポンプのシステム例（吸収式冷凍機）



（出所） 北海道ガスウェブサイト「ガス吸収冷温水機」
 <https://www.hokkaido-gas.co.jp/business/gas_kiki/systemlineup/kyusyusiki.html>（2024年1月アクセス）

8. 各再エネ熱の用途

これまでに整理した再エネ熱の用途としては、全般的に業務部門での利用が多くなっている。海水熱や河川水熱については、取水するための工事費用が大きいことから、地域熱供給

(DHC) として利用されることが多い。

図表 39 冷熱供給方法の種類と概要

| 大分類 | 中分類 | 家庭 | 業務 | 産業 | DHC | 備考 |
|--------------|--------|----|----|----|-----|------------------------------|
| 太陽熱 | 水集熱式 | ○ | ○ | △ | △ | 汎用的に様々な用途があるが、住宅向けが多い。 |
| | 空気集熱式 | ○ | △ | | | 空気集熱は小規模施設が多い。 |
| 雪氷熱 | 自然対流方式 | △ | △ | ○ | | 農作物の保管施設での利用が多い |
| | 冷風循環方式 | △ | ○ | △ | | 冷房用など |
| | 冷水循環方式 | △ | ○ | △ | △ | 冷房用など(比較的大規模の場合は本方式が主流) |
| 地熱・温泉熱(浴用除く) | | △ | ○ | ○ | △ | 暖房・給湯向けが多いが、温室や植物工場などの利用もあり。 |
| 地中熱 | ヒートポンプ | ○ | ○ | △ | △ | 家庭・業務用空調等に利用 |
| | 直接利用 | ○ | ○ | △ | | 家庭・業務用空調等に利用 |
| 海水熱・河川水熱 | | | △ | △ | ○ | 取水に工事が必要なため、DHCでの利用が多い。 |
| 下水熱 | | | ○ | △ | ○ | DHCや業務用施設などで利用。 |
| 空気熱 | | ○ | ○ | ○ | ○ | 幅広く、空調用途で利用。エコキュートによる給湯もあり。 |

(出所) 各種資料から三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

II. ベストプラクティスの調査

1. 調査概要

各再エネ熱について、ベストプラクティスを整理した。特に、エネルギーに定義されない熱に関しては、記入要領における「一定の工夫をしたと認められる施設又は設備」の内容に該当すると考えられる事例を中心に取りまとめを行った。

工夫点として、蓄熱槽又は貯湯槽を備えている点、熱を多段階で利用している点、熱利用を高効率化するためにEMSを合わせて導入したり大規模に導入したりしている点、採熱を効率化する工夫(河川水熱：取水と排水を別の河川で実施、海水熱：外気温度の影響が小さい海底から海水を取水)を行っている点等が挙げられる。

ベストプラクティスの調査結果は、記入要領の検討に反映した。具体的には、熱回収運転モードを備えるヒートポンプについて「一定の工夫」として例示することとした。

2. 調査結果

2.1 太陽熱

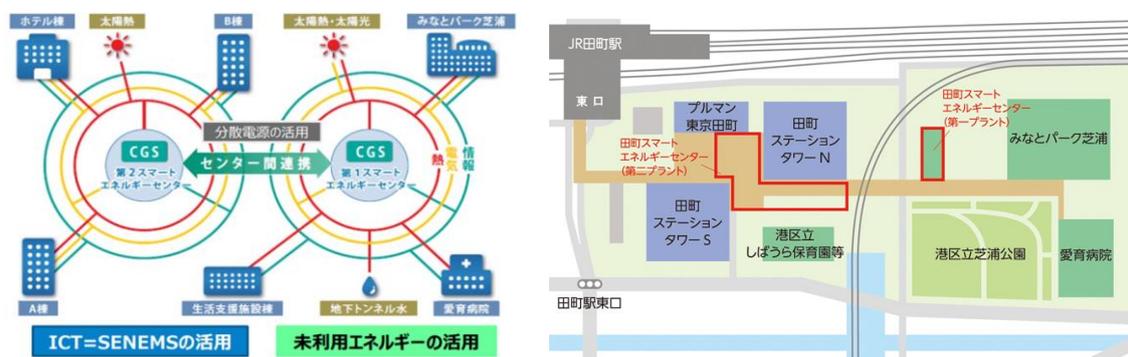
2.1.1 太陽熱を含めた面的利用と高度需給管理（東京都田町駅東口北地区）

東京都田町駅東口北地区では、港区と愛育病院、東京ガスなどの官民が連携し、太陽光発電や太陽熱などの再生可能エネルギーを活用したスマートエネルギーネットワークを構築してエネルギーの面的利用と省エネルギーを実現している。エネルギーマネジメントシステムを活用し、リアルタイムに建物側空調機の設定温度等の需給の最適制御を行うことで低炭素化を実現している。

本事例における工夫点は大きく2点ある。1点目として、ガスコージェネレーションシステム（以下、「CGS」という。）と太陽光・太陽熱を組み合わせたスマートエネルギーシステムを構築している点である。地域熱供給で初めて大規模に太陽熱集熱器を設置し、太陽熱から作った高温水をCGS 廃熱とあわせ、冷暖房・給湯のエネルギー源として活用し、CGS を核としながら多種の熱源機を設置し6管方式（冷水、暖房用温水、給湯・加湿用蒸気の往復分）にて熱を供給、ベストミックス高効率エネルギーシステムによる熱と電気のネットワークを形成しているほか、太陽熱や地下トンネル水の最大活用により脱炭素化を実現している（街区全体で1990年比45%のCO2削減）。加えて、太陽光、太陽熱などの再生可能エネルギーとCGSを組み合わせることで、出力が不安定な再生可能エネルギーを安定利用でき、災害発生時（停電、断水など）にも安定した熱・電気の供給を可能にしている。さらに、2つの街区（I街区、II街区）ともに、歩行者デッキ上部に高温（90℃）取り出し可能な真空管式太陽熱パネルを設置している。

2点目として、ICTを活用した需給調整が挙げられる。SENEMS（スマートエネルギーネットワーク・エネルギーマネジメントシステム）というエネルギーマネジメントシステムを活用し、外気状況・空調機等建物のエネルギー利用状況・熱源機の運転状況等のエネルギー需給を一括管理・把握した上で、スマートエネルギーセンターからリアルタイムで建物側空調機の設定温度等需給の最適制御を行い、エリア全体の低炭素化を図っている。

図表 40 スマートエネルギーシステム図（左）と街区内のエネルギーセンターの位置（右）



(出所) (左) 武田晃成「田町駅東口北地区におけるスマートエネルギーネットワークによる省エネまちづくり」(2018年3月)、(右) 東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社ウェブサイト「田町駅東口北地区」<https://www.tokyogas-es.co.jp/case/redevelopment/area_tamachi.html> (2024年1月アクセス)

図表 41 歩行者デッキ上部に設置された太陽熱パネル（設置面積：288 m²）



（出所）武田晃成「田町駅東口北地区におけるスマートエネルギーネットワークによる省エネまちづくり」（2018年3月）

【参考文献】

- 東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社ウェブサイト「田町駅東口北地区」〈https://www.tokyogas-es.co.jp/case/redevelopment/area_tamachi.html〉（2023年10月アクセス）
- ガスエネルギー新聞「田町駅東口北地区スマートエネルギーネットワーク竣工」（2014年11月）
- 東京ガス株式会社「田町駅東口北地区省 CO2 まちづくり」（2016年2月）
- 武田晃成「田町駅東口北地区におけるスマートエネルギーネットワークによる省エネまちづくり」（2018年3月）

2.1.2 太陽熱の産業分野での利用（フタバ食品株式会社）

フタバ食品株式会社では、アイス菓子の糖原料を加温するための熱源として、3つの熱源（太陽熱温水、CGS 廃温水、ボイラ蒸気）を用いている。太陽熱を他の熱源と組み合わせ、EMS でCGS の稼働を最適制御することで、太陽熱の集熱量の変動や温度のバラつきを調整し、製品の品質向上及び歩留の改善を図っている。これらにより、従前のシステムから 23%の省エネを実現するとともに、CO₂ の排出量も 11%削減することに成功している。

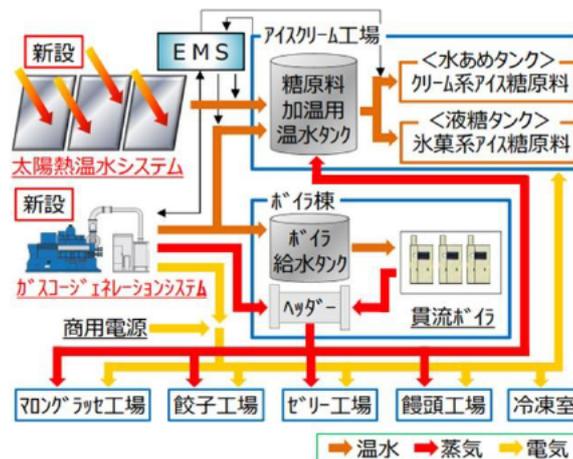
本事例における工夫点は主に3点ある。1点目は、太陽熱 CGS を組み合わせた EMS による生産プロセスの最適化を行っている点である。太陽熱温水をベース熱源、CGS 廃温水をミドル熱源、ボイラ蒸気を蒸気需要がピークの場合のみ用いて「液糖」、「水あめ」を加熱し、生産工程状況及び太陽熱の集熱量の変動に応じて EMS で CGS 廃温水とボイラ蒸気の温度を制御することで温水温度の最適化を図っている（温度のバラつきは±3℃）。糖原

料は高温で加熱すると風味の劣化、変色が発生することから、温水温度を安定化させることで糖原料廃棄量の削減や歩留改善、製品品質の向上を実現させている。また、構内の電力データをEMSに取り込み受電電力量に応じてCGSの稼働を調整（受電一定制御）することで、CGS発電電力の逆潮流を防止している。

2点目として、各生産工場における新たな熱の面的利用と工場内でのEMS制御の水平展開が挙げられる。太陽熱はアイスクリーム棟のみの利用であるが、CGSは既存ボイラと併せて他工場にも面的利用することで省エネの最大化を図っている。さらに、EMS制御については、今後、餃子や肉まんの生産工程用蒸気の温度制御や、他工場へ水平展開も期待される。

3点目は、災害リスクへの対応である。大規模災害等により停電が発生した場合でも、CGSのブラックアウトスタート(BOS)機能により冷凍室の電源を確保することができる。これにより、災害時でも、製品の出荷や地域住民への炊き出しを行う計画となっている。

図表 42 スマートエネルギーネットワーク図



(出所) 一般社団法人低炭素投資促進機構「食品工場における太陽熱システムとCGSを組み合わせたEMSによる生産プロセス(糖原料温度制御)と面的利用の最適化」(2017年6月)

【参考文献】

- 一般社団法人低炭素投資促進機構「食品工場における太陽熱システムとCGSを組み合わせたEMSによる生産プロセス(糖原料温度制御)と面的利用の最適化」(2017年6月)

コラム 海外における高温太陽熱利用

産業部門では比較的高い温度帯の熱需要も多いことから、欧州では、Horizon2020 (EU最大規模の研究及び革新的開発プログラム)において、産業部門の200~300℃程度のプロセス熱向けの太陽熱利用に関する実証プロジェクトを継続的に推進している。

図表 43 太陽熱の産業用利用ソリューション開発（左：Horizon2020 2016～2017 年公募、右：Horizon2020 2018～2020 年公募）



2.2 雪氷熱

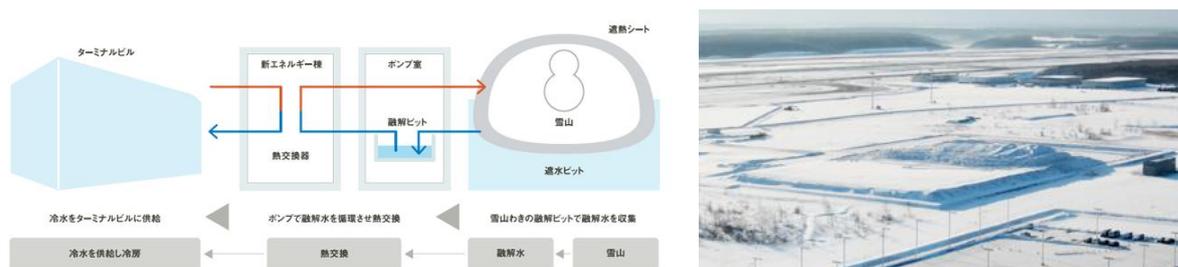
2.2.1 雪氷熱の大規模利用（新千歳空港）

新千歳空港では、約 74,400 トンの雪山を造成し、溶融した冷水をターミナルビルへ供給し冷房熱源としている。大規模に貯雪することによって、冷熱利用できるだけでなく、融雪剤による水汚染の低減を可能にしている。

本事例の工夫点は 2 点挙げられる。1 点目は、巨大貯雪ピットを用いた雪山方式冷熱供給システムである。空港の広大な敷地を利用して巨大貯雪ピット（貯雪量：120,000～240,000 m³）を建設し、5 月～9 月の期間において段階的に融解処理し、ターミナルの冷房に活用する。冷熱は、集水ピットに貯められた融雪水からポンプアップされて熱交換機を介して取り出され、空港ターミナルビルの冷房システムに送られる。熱交換で加熱された融雪水は貯雪ピットに戻され、再び冷やされた冷水はろ過ゾーンで自動的に清浄化される。貯雪ピットでは、高反射率の被覆材を使った高性能遮断シートを用い、上覆体と下覆体の間に断熱材を挟むことにより、自然融解を遅らせ雪山を長期間保存できる。

2 点目として、融雪剤による水汚染の低減と二酸化炭素排出量の抑制の同時達成が挙げられる。航空機への除雪・除氷・防水作業に使用する融雪剤は周辺河川へ汚染を引き起こすことから、雪山造成することによって調整池へ流れる水の量を減らし、微生物による有機物分解に係る時間を確保することで BOD（生物化学的酸素要求量 ※有機物による水の汚れを示す指標）を低減させている。新千歳空港で使用する冷房用エネルギーを年間 35,800GJ/年削減できることにより、二酸化炭素排出量を 2,100t-CO₂/年削減できる。

図表 44 （左）熱交換水循環方式のシステム図と（右）雪山の写真



(出所) 新千歳空港ターミナルビル「新千歳空港における環境への取り組み」 < <https://www.new-chitose-airport.jp/ja/eco/> > (2023年10月アクセス)

【参考文献】

- セントラルリーシングシステム株式会社「新千歳空港雪氷熱供給システム」
- 国土交通省北海道開発局「新エネルギー・省エネルギーの推進」
- 自治体問題研究所ウェブサイト「【論文】北海道における雪氷冷熱利用の可能性」 < <https://www.jichiken.jp/article/0243/> > (2023年10月アクセス)
- 新千歳空港ターミナルビル「新千歳空港における環境への取り組み」 < <https://www.new-chitose-airport.jp/ja/eco/> > (2023年10月アクセス)

2.2.2 雪氷熱の大規模利用（データセンター）

北海道美唄市にあるホワイトデータセンターでは、都市除排雪の冷熱を、データセンター全体を動かすための電力の約半分を占めるサーバー冷却に使用している。残りの電力には、再生可能エネルギーを使用して、二酸化炭素排出量ゼロを実現している。冬季には、サーバーの廃熱を隣接する食料生産棟に供給することで、野菜の栽培や魚介類の養殖を行っている。

本事例の工夫点は3点ある。1点目は、都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムを構築した点である。美唄市の都市除排雪を活用して雪山を作成しているが、雪山の下には、ホタテの貝殻に再生した水を浸透させるパネルが敷かれ、下にあるパイプに流れる不凍液がデータセンターを循環することで冷却を行う仕組みである。また、樹脂パイプを敷き詰められた二重床とすることで、冷熱エネルギーのみを別の媒体で回収し、排雪に混じったごみなどの排除を可能にしたほか、表面をウッドチップで覆うことで次の冬まで雪が残るように工夫している。本取組はNEDO実証事業によって実施しており、実証の結果、都市除排雪利用型システムの総コストは従来の雪山雪冷房システムと比較し80.5%であった。安定した冷熱出力を実現したことで冷凍機との併用も不要となり、インシヤルコストの削減も可能となった。

2点目は電力使用量の削減によるCO₂排出量ゼロとコストパフォーマンスの両立の実現した点である。PUE値（データセンター全体の電力使用量/サーバー機器の電力使用量）は夏期でも1.04（一般的なデータセンターのPUE値は1.5～2.0）であり、冷却の電力使用量を最小限とすることで100%再生エネルギー（電気）を使用しても価格競争力のあるデータセンターが実現した。

3点目は他産業との連携である。冬季にサーバーの廃熱を活用し、室内を15度から20度を保ち、冬期においても一般暖房機に頼ることなくハウス内の栽培環境や養殖環境を維持し、野菜の栽培や魚介類の養殖を行っている。これにより、空調コストを削減しつつ産業の活性化にも寄与している。

図表 45 (左) システム図と (右) 雪山の写真



(出所) 株式会社ホワイトデータセンターホームページ「事業紹介」 <<https://corp.wdc.co.jp/>> (2023年10月アクセス)

【参考文献】

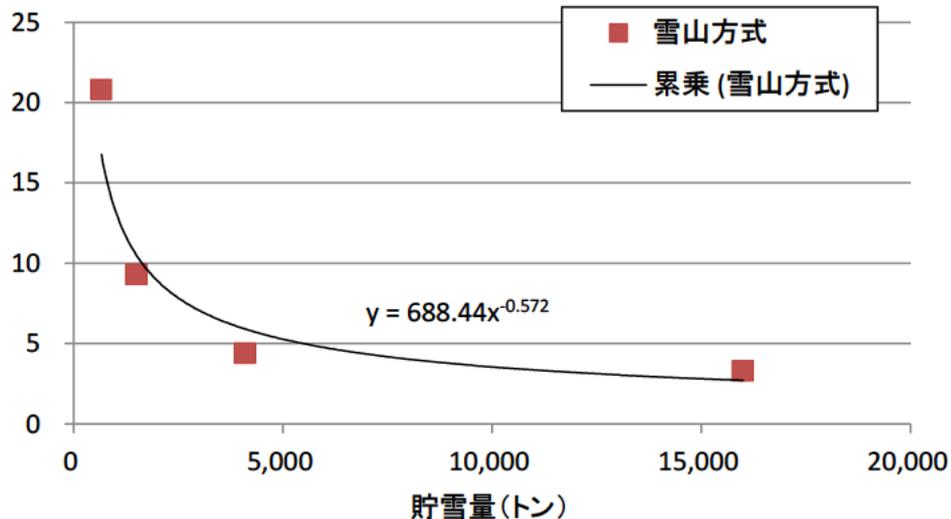
- ホワイトデータセンター株式会社ウェブサイト「事業紹介」 <<https://corp.wdc.co.jp/>> (2023年10月アクセス)
- 本間弘達「雪冷熱エネルギーを利用したデータセンター」(2020年5月)
- EMIRA ウェブサイト「排雪利用型データセンター実現へ! 雪に価値を与える北海道・美唄モデル」 <<https://emira-t.jp/special/18086/>> (2023年10月アクセス)
- 株式会社ホワイトデータセンターホームページ「事業紹介」 <<https://corp.wdc.co.jp/>> (2023年10月アクセス)

コラム 雪氷熱の大規模利用におけるコスト低減

雪氷熱については比較的スケールメリットによってコスト低減が可能であることが明らかになっている。また、雪を貯蔵するスペースを必要とする。このため、貯蔵スペースが取りやすく、冷房需要の大きい施設に向いている。

図表 46 貯雪量と初期費用の関係

初期費用単価(千円/トン(貯雪量))



(出所) 資源エネルギー庁委託調査(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社)「再生可能エネルギー熱利用の導入拡大方策の調査」(2018年2月)

2.3 地熱・温泉熱

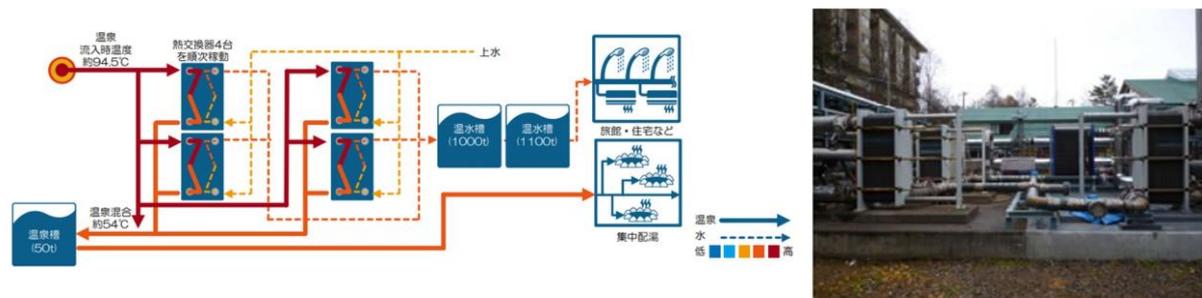
2.3.1 温泉排湯の熱回収による暖房・給湯利用(飛騨川温泉しみずの湯)

岐阜県の飛騨川温泉しみずの湯では温泉排湯を施設内温泉やプール・床暖房用温水として利用している。温泉排湯の熱を有効利用することで、二酸化炭素排出量低減だけでなく、コスト削減にも寄与する取り組みとなっている。

本事例の工夫点は2点挙げられる。1点目は、ボイラー不要の全電力システムの採用である。かけ流し温泉の排湯をヒートポンプの熱源として利用し、給湯・冷暖房・床暖房・浴槽昇温を行っている。さらに、夜間電力にて給湯・源泉・床暖房蓄熱を行うのでランニングコストを低減でき、約2年間でイニシャルコストを回収し、15年間で5,000万円~1億5,000万円のトータルコスト削減を実現した。冬季は排湯温度が約25~30℃と高く、ヒートポンプの効率が向上するため省エネルギーとなり、夏季は冷房運転と同時に給湯運転を行い、エネルギーを有効利用することで1年を通して暖房・給湯のエネルギー効率を向上させている。

2点目は環境保護の実現である。排湯をヒートポンプの熱源として利用することで、放流温度を下げることに繋がり、河川の自然環境を保護することができている。さらに、15年間で二酸化炭素の排出量が約5,000トン削減された。

図表 48 (左) 温泉熱利用方式のシステム図と (右) 熱交換システムの写真



(出所) 環境省「温泉熱利用事例集」(2019年3月)

【参考文献】

- 環境省「温泉熱利用事例集」(2019年3月)
- 温泉百貨店ウェブサイト「草津温泉の熱交換器の凄さ」 <
<https://www.onsenhyakkaten.com/2013/07/10/%E8%8D%89%E6%B4%A5%E6%B8%A9%E6%B3%89%E3%81%AE%E7%86%B1%E4%BA%A4%E6%8F%9B%E5%99%A8%E3%81%AE%E5%87%84%E3%81%95/>> (2023年10月アクセス)
- 細谷昇「温泉熱の利用について」(1976年12月)

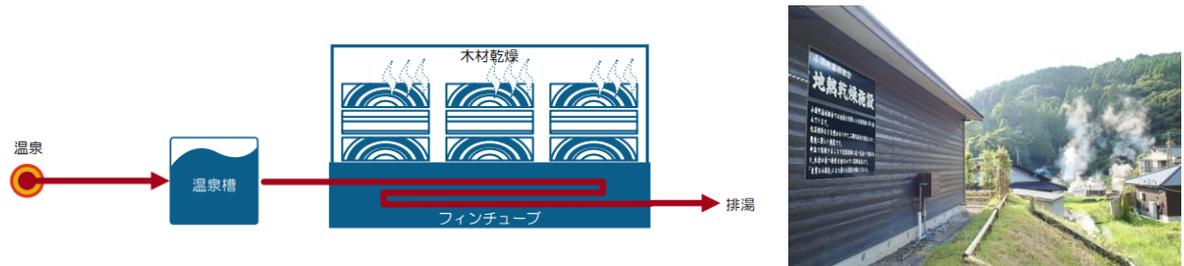
2.3.3 産業部門における温泉熱利用(小国町森林組合)

熊本県の小国町森林組合では、天然の地熱(温泉噴気)を活用して、木材乾燥を実施している。本事例は、産業部門で、地熱・温泉熱を利用する全国でも珍しい事例である。地熱乾燥によって、二酸化炭素排出の軽減の他に、木材が持つ本来の色や艶の保持や天然乾燥よりも早い乾燥を可能にしている。

本事例の主な工夫点は2点ある。1点目は、蒸気解放熱の効率化である。熱交換器用の放熱管にはエロフィンチューブ(パイプ外面にフィン螺旋状に巻きつけたもの)を採用し、伝熱面積の増大やパイプとフィンの密着度の向上により、伝熱効率を上げることができる。

2点目は木材の乾燥に活用している点である。小国町の岳の湯地区から自噴する地熱(温泉噴気)を乾燥用施設の配管に送り、室温を50~60°Cに上げることで木材を乾燥させるのに利用している。地熱乾燥した木材はかおり成分が多く耐腐朽性に優れていることが、九州大学の調査より明らかとなっている。地熱を用いることで、木材乾燥1回あたり、CO2排出量の2t削減に繋がっている。

図表 49 (左) 地熱乾燥のシステム図と (右) 地熱乾燥施設の外觀



(出所) (左) 環境省「温泉熱利用事例集」(2019年3月)、(右) 小国町森林組合ウェブサイト「地熱乾燥材®全国でも希少なエコマテリアル」<<http://ogunisugi.com/products/traders/chinetsukanso>> (2023年9月アクセス)

【参考文献】

- 小国町森林組合ウェブサイト「地熱乾燥材®全国でも希少なエコマテリアル」<<http://ogunisugi.com/products/traders/chinetsukanso>> (2023年9月アクセス)
- 勝川熱加工株式会社ウェブサイト「再生可能エネルギーへの熱交換器使用例」<<https://www.katsukawa.co.jp/%e5%86%8d%e7%94%9f%e5%8f%af%e8%83%bd%e3%82%a8%e3%83%8d%e3%83%ab%e3%82%ae%e3%83%bc%e3%81%b8%e3%81%ae%e7%86%b1%e4%ba%a4%e6%8f%9b%e5%99%a8%e4%bd%bf%e7%94%a8%e4%be%8b>> (2023年9月アクセス)
- 清水邦義・中川敏法「乾燥方法による小国すぎ板材の揮発成分への影響調査」(2018年2月)
- 環境省「温泉熱利用事例集」(2019年3月)

コラム 温泉熱の活用に向けた技術開発

日本では温泉は入浴用に使用されているが、浴槽以外の熱需要があるにもかかわらず、温泉地でもあっても温泉の熱が使われていない場合も多い。このため、各種熱需要向けに利用拡大させていく余地が存在する。近年は、温泉スケールの付着を防ぐ熱交換器も開発されており、このような技術を用いて利用が広がることが期待される。源泉温度が高く、ヒートポンプを使用しない場合は、エネルギー効率が高く、カーボンニュートラルへの貢献度も高い。

図表 50 NEDO 事業で開発されたスケールを自動で取り除く熱交換器

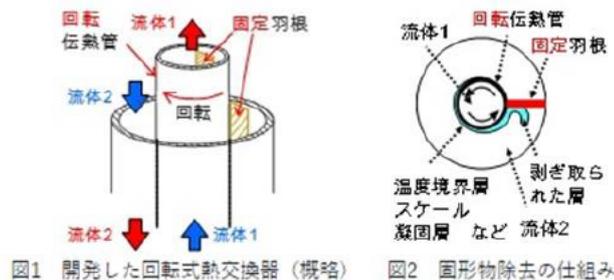


図3 実証試験の様子

（出所）NEDO ウェブサイト「温泉水でも安定した熱交換が可能な熱交換器を開発」
<https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101357.html>（2024年1月アクセス）

2.4 海水熱・河川水熱

2.4.1 海底の海水熱の大規模利用による地域冷暖房への活用（シーサイドももち地域）

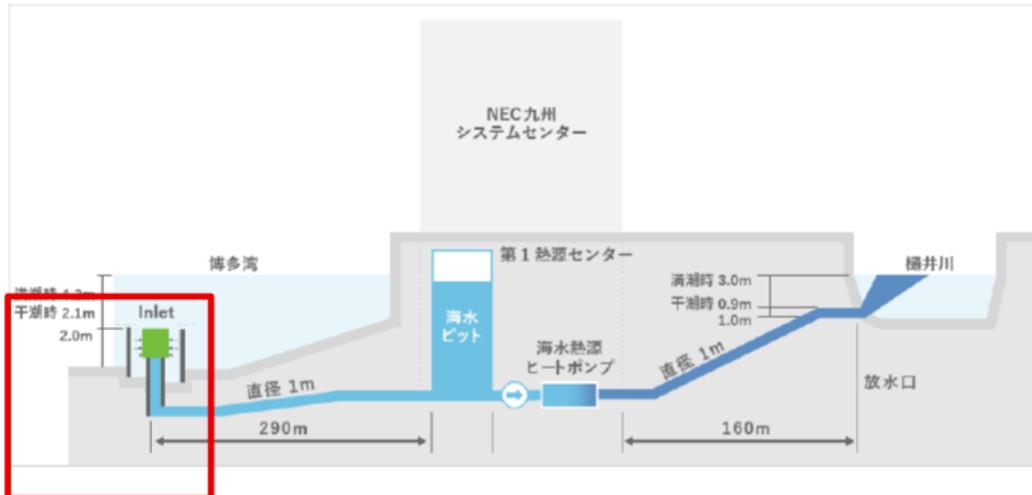
海水の温度差を活用し、ヒートポンプの熱源水として利用し、空調や給湯に活用している取組が存在する。ウォーターフロント地区を一体開発する際に導入されることが多く、福岡県の「シーサイドももち地域」、大阪府の「大阪南港コスモスクエア」、愛知県の「中部国際空港島」等の例が存在している。いずれも大規模に利用することで、土木工事費の低減につながっている。

その中の「シーサイドももち地域」の工夫点は2点挙げられる。1点目は、熱源水として、温度が安定している海底の海水を利用している点である。外気温の影響が小さい海底から海水を取水し、大気との温度差が大きい海水をヒートポンプ熱源水として使用することで、熱効率を向上させている。

2点目は氷蓄熱システムや水蓄熱槽といった大容量の蓄熱システムを導入している点で

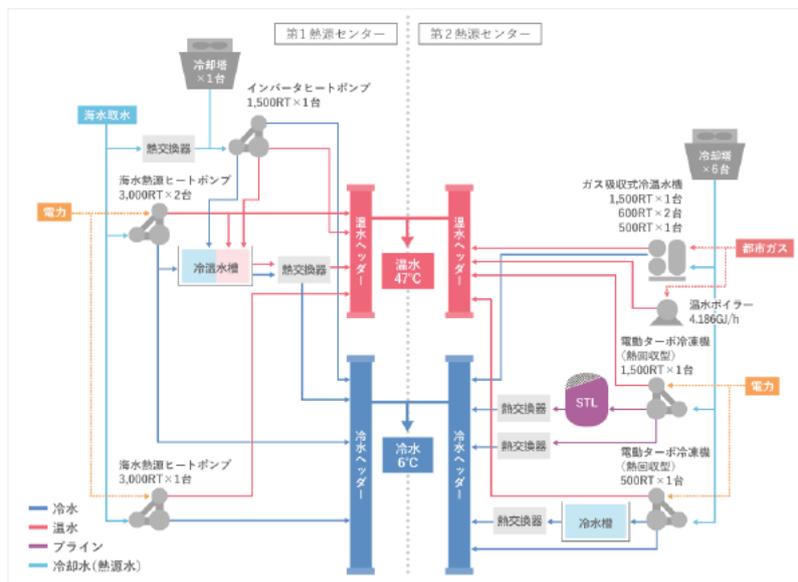
ある。3基の氷蓄熱槽及び2基の水蓄熱槽を備え、昼間の電気使用量の削減に繋がっている。昼間放熱時においては、1,500 冷凍トン（RT）相当の熱源機と同等の能力がある。

図表 51 海底からの取水



(出所) 株式会社福岡エネルギーサービスウェブサイト「供給地域」<<https://www.fukuoka-es.co.jp/area/>> (2024年1月アクセス)

図表 52 熱源システムのフロー図



(出所) 株式会社福岡エネルギーサービスウェブサイト「供給地域」<<https://www.fukuoka-es.co.jp/area/>> (2024年1月アクセス)

【参考文献】

- 株式会社福岡エネルギーサービスウェブサイト「供給地域」<<https://www.fukuoka-es.co.jp/area/>>

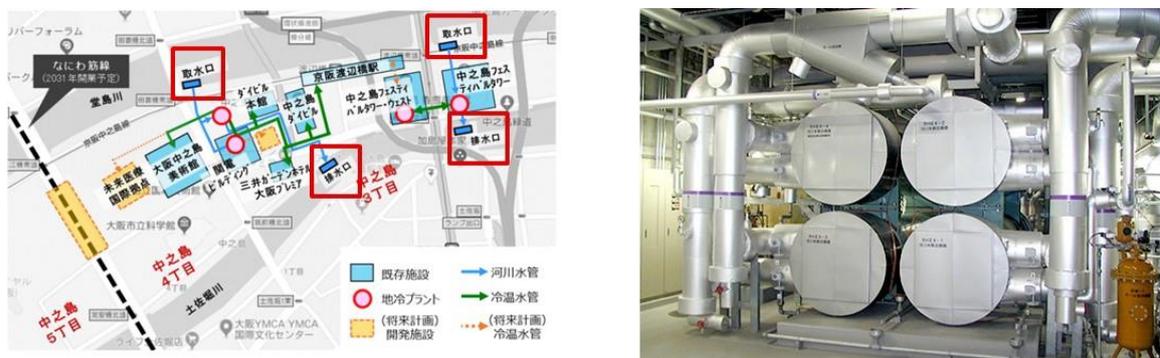
2.4.2 2つの川に挟まれた特徴を生かした河川水熱の利用（中之島二・三丁目）

河川水も海水同様に、夏は気よりも温度が低く冬は高いため、ヒートポンプの熱源水として利用することが可能である。水量の多い河川沿岸での地域冷暖房として活用されている例が多く、東京都の「箱崎地域」、富山県の「富山駅北」、大阪府の「中之島二・三丁目」や「天満橋一丁目」等で導入されている。いずれも大規模に利用することで、土木工事費の低減につながっている。

その中でも、中之島二・三丁目の主な工夫点は2点ある。1点目は、取水と排水を別の河川から実施している点である。2つの河川に囲まれた地形を活かし、取水と排水を別の河川で行うことで、高いエネルギー効率を実現している。また、排熱を大気に直接放出する必要がないことから、ヒートアイランド対策にもつながっている。

2点目はビル群の建て替えに合わせ、エネルギー供給対象を増加している点である。中之島エリアでは現在も再開発が進んでおり、2022年2月に開館した大阪中之島美術館（中野4丁目）にも熱供給を実施している。さらに、2024年春開業予定の中之島未来医療国際拠点へのエネルギー供給についても予定されている。

図表 53 (左) 取水口と排水口の位置及び、今後の開発予定と (右) 河川水の熱交換器



(出所) (左) グラングリーン大阪ウェブサイト「インフラ企業とともに未来をつくるまちづくり」<<https://umekita2.jp/findosaka/804/>> (2024年1月アクセス)、

(右) 関西電力株式会社ウェブサイト「大阪市 中之島 エネルギー | 地域活性化・まちづくり」<https://www.kepcoco.jp/energy_supply/regional_activation/nakanoshima-s.html> (2024年1月アクセス)

【参考文献】

- 関西電力株式会社ウェブサイト「大阪市 中之島 エネルギー | 地域活性化・まちづくり」<https://www.kepcoco.jp/energy_supply/regional_activation/nakanoshima-s.html> (2024年1月アクセス)
- グラングリーン大阪ウェブサイト「インフラ企業とともに未来をつくるまちづくり」<<https://umekita2.jp/findosaka/804/>> (2024年1月アクセス)

2.5 下水熱

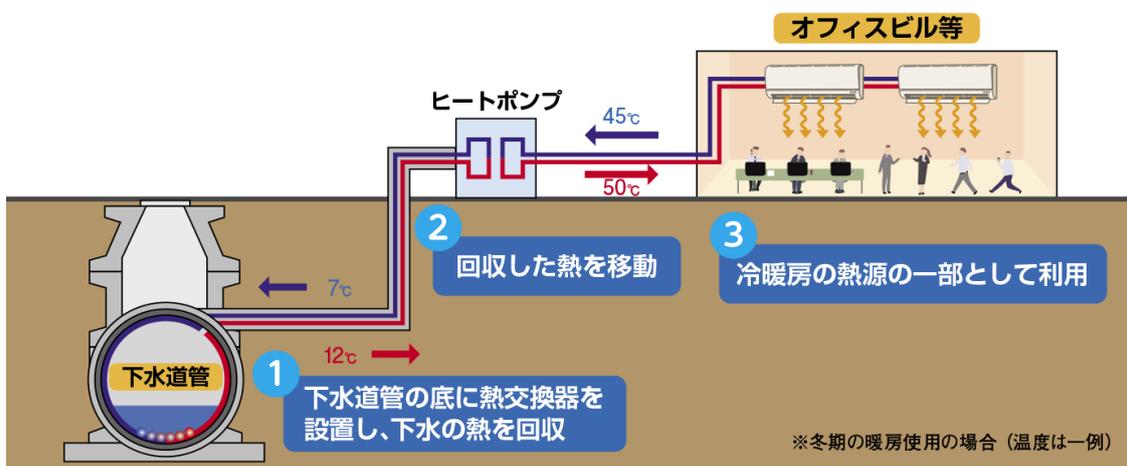
2.5.1 下水道管を流れる下水の熱を地域冷暖房に活用（麻布台ヒルズ（虎ノ門・麻布台エリア））

2023年11月完成の麻布台ヒルズでは、下水道管内の底部に設置した熱交換器で下水の熱を採熱し（管底設置方式）、ヒートポンプを用いて、冷暖房の熱源の一部として活用している。管底設置方式による下水熱利用を地域冷暖房に活用することは国内初の事例である。麻布台ヒルズが含まれる虎ノ門・麻布台エリアにおいては、下水熱利用のほかにも、人工知能（AI）による統合エネルギー管理システムを導入することで、効率的な電力・熱製造を行うことで、一般的な熱供給に比べてCO₂の排出量を20%削減することが可能となっている。

本事例の工夫点は2点挙げられる。1点目は、下水の熱を冷暖房の熱源の一部として活用している点そのものである。空調に下水熱を活用することで、一般的なシステムと比較してCO₂排出量を年間約70t-CO₂削減可能である。

2点目は高効率でBCP性能の高い電力・熱エネルギー供給体制を整えた点である。大型ガスCGSなどの自家発電システムや大規模蓄熱槽、高効率熱源機、排熱利用設備を活用した熱製造システムを導入している。広域送配電系統から独立した独自の電力ネットワークを構築し、災害発生時でも、都市機能や経済活動を維持するのに必要な電力・熱を1週間程度賄うことが可能となっている。

図表 54 下水道管からの下水熱利用のイメージ



（出所）東京都下水道局ウェブサイト「虎ノ門・麻布台プロジェクトにおける下水熱利用事業開始に向けた協定締結について」<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/news/2021/0624_5676.html>（2024年1月アクセス）

【参考文献】

- 森ビル株式会社ウェブサイト「"ヒルズの未来形"「虎ノ門・麻布台プロジェクト」東京都下水道局と下水熱利用事業に関する協定を締結」<<https://www.mori.co.jp/company/press/release/2021/06/2021062414000004199.html>>

(2024年1月アクセス)

- 東京都下水道局ウェブサイト「虎ノ門・麻布台プロジェクトにおける下水熱利用事業開始に向けた協定締結について」 <https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/news/2021/0624_5676.html> (2024年1月アクセス)

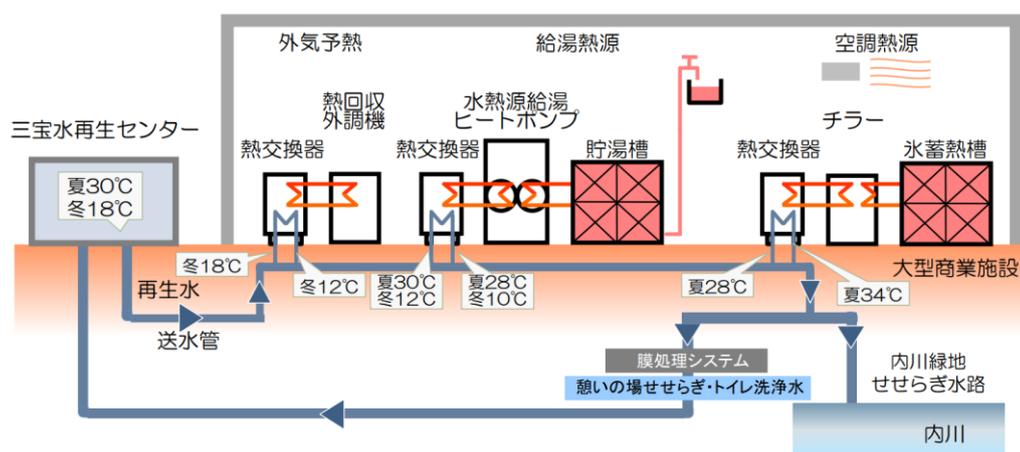
2.5.2 下水処理水の熱を給湯や空調に活用（イオンモール堺鉄砲町）

堺市の大型商業施設（イオンモール堺鉄砲町）では、下水処理場から下水処理水を送水し、給湯や空調の熱源として多段階利用を実施。下水処理水を1つの施設内で給湯・空調に利用（複合利用）するのは本事例が初となる。熱利用後の下水処理水については、膜処理を行った上で施設内のトイレ洗浄水や施設内の「憩いの場せせらぎ」の水源としても活用されている。

本事例の主な工夫点は2点ある。1点目は、下水処理水の熱を給湯・空調の熱源の一部として利用している点である。下水処理水の熱を給湯・空調として活用しており、温熱・冷熱を同一施設で利用する初の事例である。当初は3.5%程度の省エネ効果を見込んでいたが、実証の結果、約14%の電力量の削減を実現している。

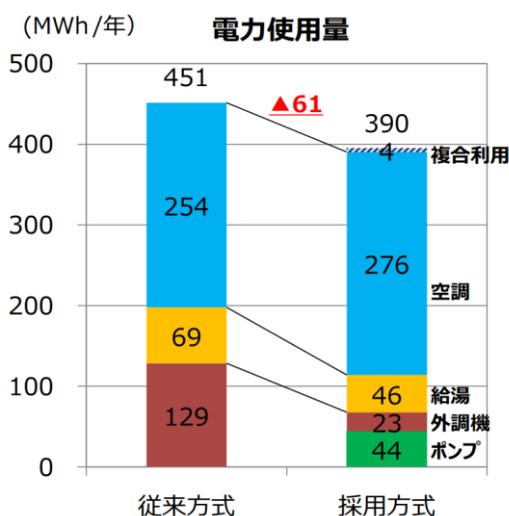
2点目は熱を採取した後の下水処理水についても、水源として活用している点である。熱を利用した下水処理水については、膜処理を施した後、施設内の「憩いの場せせらぎ」の水源やトイレ洗浄水として利用する他、施設外にある「内川緑地せせらぎ水路」の水源としても活用している。下水処理水を熱源・水源として複合利用するのは全国で初の取り組みである。

図表 55 イオンモール堺鉄砲町における下水処理水の活用フロー



(出所) 国土交通省ウェブサイト「下水熱利用に係る取組事例集」 <<https://www.mlit.go.jp/common/001229324.pdf>> (2024年1月アクセス)

図表 56 電力使用量の削減量



(出所) 国土交通省ウェブサイト「堺市鉄砲町における下水熱利用の取組」 <
<https://www.mlit.go.jp/common/001179377.pdf>> (2024年1月アクセス)

【参考文献】

- 国土交通省ウェブサイト「下水熱利用に係る取組事例集」 <
<https://www.mlit.go.jp/common/001229324.pdf> > (2024年1月アクセス)
- 国土交通省ウェブサイト「堺市鉄砲町における下水熱利用の取組」 <
<https://www.mlit.go.jp/common/001179377.pdf>> (2024年1月アクセス)

2.6 地中熱・地下水熱

2.6.1 新築建築物における杭方式による地中熱ヒートポンプ利用（横浜市新市庁舎）

横浜市新市庁舎の移転・新築（2020年1月竣工）では、建物の基礎に杭が採用されていることを踏まえて、地中熱利用専用の掘削を伴うボアホール方式ではなく、杭方式を採用して施工効率化を図っている。同庁舎は、建築物省エネルギー性能表示制度（BELS）最高ランクの5つ星の省エネルギー性能と快適性を両立した低炭素型の市庁舎を実現した。

本事例における地中熱利用・外皮等に関する主な工夫を図表 58 に示す。1点目は、地中熱利用による快適性の高い空調である。同市庁舎では、基礎杭に挿入した熱交換ホースから採熱する杭方式のクローズドループを採用している。採熱管本数は1,320本（20本/杭×66本）、総長は3万m、熱交換量は400kWである。地中熱を床吹出空調と床輻射冷暖房に活用し、床下に冷温水が流れる仕組みとなっており、足元からの冷温熱が快適性を高めている。この他に、市庁舎の高層部の空調にも地中熱を活用している。

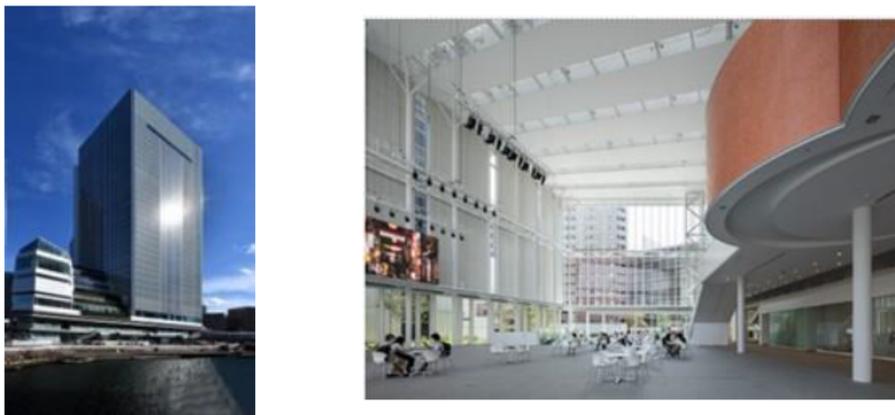
2点目は、レジリエンス向上である。地中熱を熱源とするアトリウムの空調は、燃料電池を導入し、停電や災害の際にも稼働可能としてレジリエンスを高めている。

3点目は、高性能外皮と建物方位の最適化である。同市庁舎では、画一的な外装ではなく、方位毎に最適な外装が選定された他、主たる外装に手動開閉式の自然換気一体型ダブ

ルスキンカーテンウォールが採用された。

本事例では地中熱利用の他にも、高断熱・高日射遮蔽や、執務ゾーンの最適配置等により、空調負荷を低減している。このような複数の工夫により、WEB プログラム基準値に対する実績値は、図表 59 に示す通り、実績 1 年目において 1 次エネルギー消費量原単位は、基準値比 52%削減の 644MJ/m²・年であった。実績 2 年目は、さらに削減され、同 56%削減の 590MJ/m²・年であった。

図表 57 横浜市新市庁舎の概観（左：外観、右：アトリウム内観）



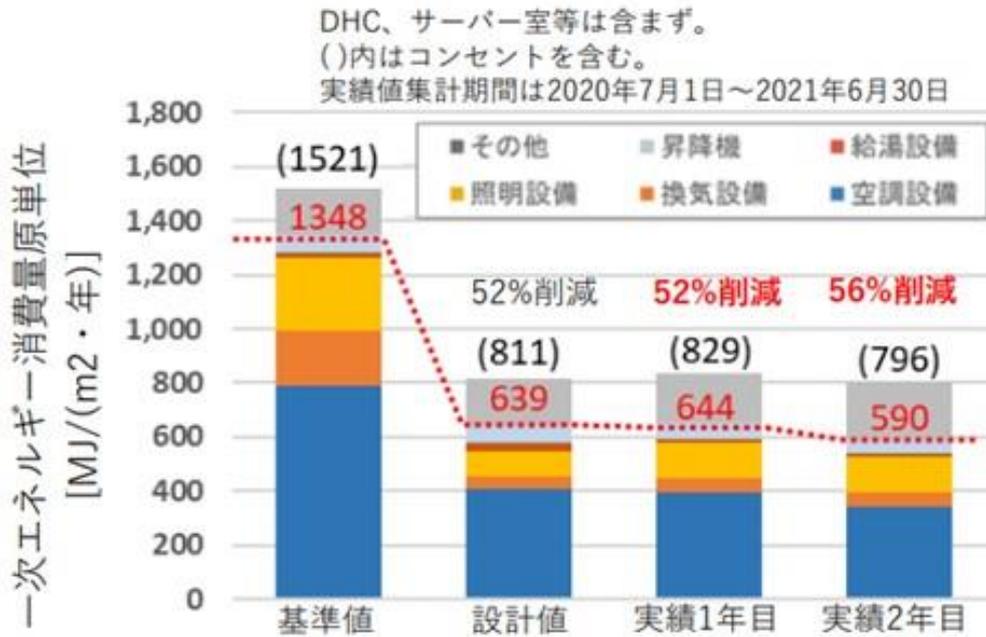
(出所) (左) 横浜市ウェブサイト「市庁舎のご案内」

<<https://www.city.yokohama.lg.jp/cityinfo/yokohamashi/shichosha/keii/20210302174837975.html>> (2023 年 9 月アクセス)、(右) 一般財団法人住宅・建築 SDGs 推進センター「第 1 回 SDGs 建築賞 審査委員会奨励賞作品紹介」(2023 年 1 月)

図表 58 横浜新市庁舎における地中熱利用・外皮等に関する主な工夫

| 工夫されている点 | 概要 |
|------------------|--|
| 地中熱利用による快適性の高い空調 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基礎杭に挿入した熱交換ホースから採熱する杭方式のクローズドループを採用 ● 採熱管本数：1,320 本 (20 本/杭×66 本) 総長：30,000m 熱交換量：400kW ● 床吹出空調と床輻射冷暖房に地中熱を活用。床下に冷温水が流れ、足元からの冷温熱が快適性を高めている。その他、高層部空調にも地中熱を活用 |
| レジリエンス向上 | <ul style="list-style-type: none"> ● 地中熱を熱源とするアトリウムの空調は、燃料電池を導入し、停電や災害の際にも稼働可能としており、レジリエンスを高めている |
| 高性能外皮と建物方位の最適化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 方位毎に最適な外装を選定 ● 主たる外装には、手動開閉式の自然換気一体型ダブルスキンカーテンウォールを採用 |

図表 59 WEB プログラム基準値に対する設計値・実績値



(出所) 一般財団法人住宅・建築 SDGs 推進センター「第1回 SDGs 建築賞 審査委員会奨励賞作品紹介」(2023年1月)

【参考文献】

- 環境省ウェブサイト「導入事例横浜市役所」
 <https://www.env.go.jp/water/jiban/post_102.html> (2023年9月アクセス)
- 左勝旭「特集地球温暖化対策、環境対策 横浜市役所の ZEB の実現」建設機械施工, Vol.73 No.11 (2021年11月)

2.6.2 帯水層蓄熱の大容量利用（アミティ舞洲）

大阪市舞洲障がい者スポーツセンター「アミティ舞洲」（1997年9月竣工）は、2020年4月に地下水を大容量で活用した帯水層蓄熱冷暖房システムの運用を開始し、高水準の省エネを実現している。このシステムは、夏期の冷房で生じる温廃熱を帯水層に蓄えて冬期の暖房に使用し、その逆も行う季節間蓄熱を採用することで、他の空調システムと比べて効率的な空調運転となっている。省エネ効果は、従来のシステムより約42%省エネと推算されている⁴。

本事例における地中熱利用に関する主な工夫を図表60に示す。技術面の工夫として、2点挙げられる。1点目は、帯水層蓄熱の利用である。アミティ舞洲の室内の空調システムの運転を帯水層蓄熱により効率化している。冷暖房能力としては、冷房：約703.3kW（200冷凍トン）、暖房：865.9kWである。このシステムでは、廃熱を地下に埋めるため、都心部のヒートアイランド対策に寄与するという利点もある。2点目は、上下二層の蓄熱層を用いた蓄熱量の倍増である。アミティ舞洲は、地盤条件が厳しい埋立地に位置する上、一般的に井戸間距離が取りにくいと言われる都市部における大容量化であった。しかしながら、図表61に示されるように、1対の井戸で上下2つの帯水層蓄熱から各100m²/時間を同時に揚水・還水することで、蓄熱量を倍増している。

本事例においては、政策面の工夫として、大阪市による普及推進もみられる。大阪市は、流れが緩やかな地下水が豊富に存在する市域特性を活かすことのできる帯水層蓄熱冷暖房システムの普及を推進しており、複数の施策を講じてきた。主要な施策は、帯水層蓄熱ポテンシャルマップの公表、建築用地下水の採取の規制に関する法律（通称：ビル用水法）の揚水規制の緩和検討、国家戦略特区における新たな特例措置（共同命令）の公布・施行である。特例措置に関して、実証により地盤沈下等が生じないことが確認された帯水層蓄熱技術に対して、地下水の採取に関する特例措置が設定された。

従来は、地下水の取水が規制の影響により困難なところ、大阪市の政策支援等を受けて、本事例では日本で初めて大容量の地下水を全量環水可能なシステムを導入している。また、地下水から熱を取り出した後、全量を地下に戻し、地盤沈下を防いでいる。このように技術面及び政策面の双方の工夫により、帯水層蓄熱の大容量利用を実現している。

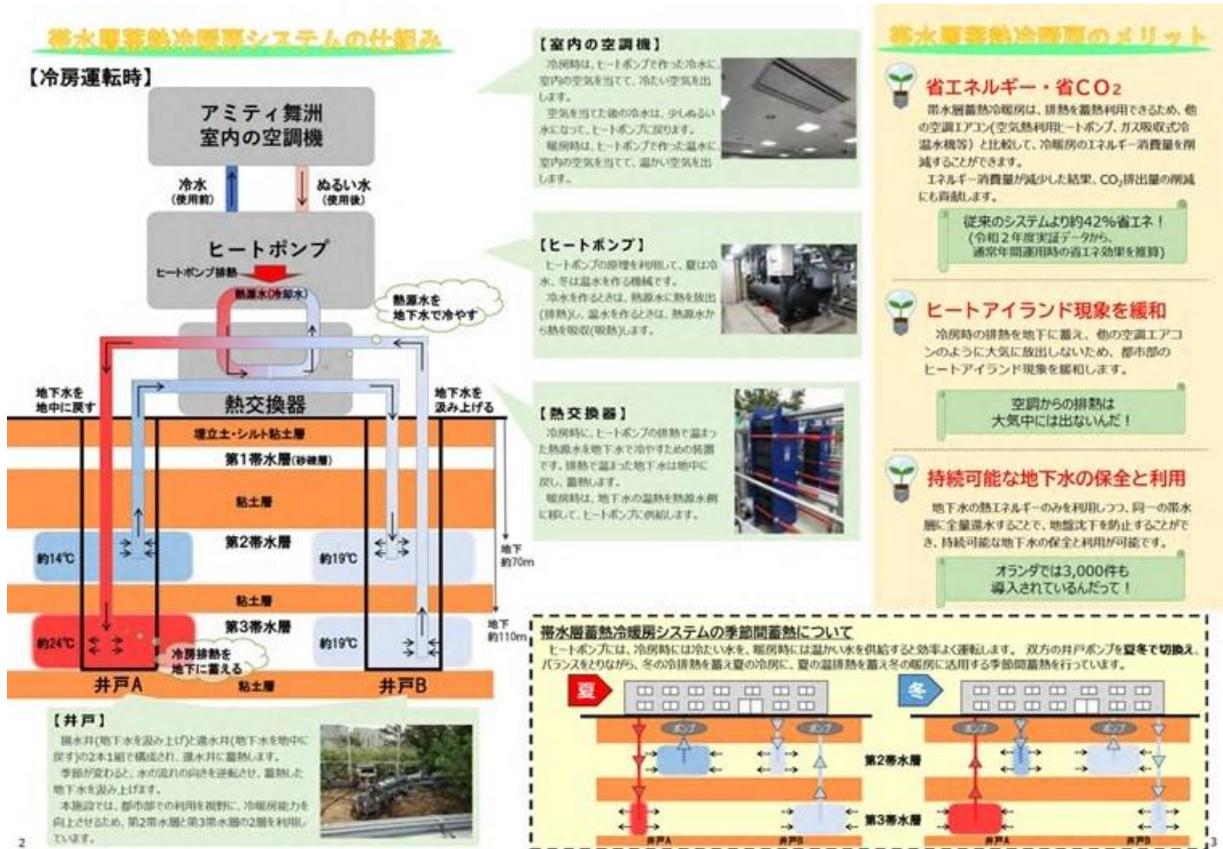
図表 60 アミティ舞洲における地中熱利用に関する主な工夫

| 工夫されている点 | 概要 |
|-------------------|--|
| 【技術面】 帯水層蓄熱の利用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 帯水層蓄熱により、空調システムの運転を効率化 ● 廃熱を地下に埋めるため、都心部のヒートアイランド対策にも寄与 |
| 【技術面】 蓄熱量の倍増 | <ul style="list-style-type: none"> ● 地盤条件が厳しい埋立地に位置する上、井戸間距離が取りにくい都市部における大容量化だったが、1対の井戸で上下2つの帯水層蓄熱から各100m²/時間を同時に揚水・還水することで、蓄熱量を倍増 ● システム COP は冷房時平均で5.37、暖房時平均で4.02 と高い ● ガス吸収式冷温水機と比較して、冷房運転では55%の省エネルギー |

⁴ 令和2年度実証データから推算された値。（出所）大阪市「アミティ舞洲の帯水層蓄熱冷暖房システムの概要」<<https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000476/476996/leaflet.pdf>>（2023年9月アクセス）

| | |
|---------------------|---|
| | を達成 |
| 【政策面】 大阪市による普及推進 | <ul style="list-style-type: none"> ● 大阪市は、流れが緩やかな地下水が豊富に存在する市域特性を活かすことのできる帯水層蓄熱冷暖房システムの普及を推進 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 帯水層蓄熱ポテンシャルマップの公表 ➢ 建築用地下水の採取の規制に関する法律（通称：ビル用水法）の揚水規制の緩和検討 ➢ 国家戦略特区における新たな特例措置（共同命令）の公布・施行 |

図表 61 帯水層蓄熱冷暖房システムの仕組み



(出所) 大阪市「アミティ舞洲の帯水層蓄熱冷暖房システムの概要」

<<https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000476/476996/leaflet.pdf>> (2023年9月アクセス)

【参考文献】

- 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター「大阪市舞洲障がい者スポーツセンター「アミティ舞洲」」

<https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/hp_ts/sample_cool/pdf/Vol157/general/C&H57%E5%8F%B7_P41.pdf> (2023年9月アクセス)

- 環境省ウェブサイト「建築物用地下水の採取の規制に関する法律の規制緩和について」<<https://www.env.go.jp/press/107137.html>> (2023年9月アクセス)

2.6.3 休止中井戸水（地中熱）の利用（鈴廣かまぼこ恵水工場）

神奈川県小田原市の鈴廣かまぼこ株式会社の恵水工場では、竣工から 21 年間が経ち、補助金事業を活用しつつ、老朽化した空調システムを更新した（2017 年 1 月工事完了）。更新時に井水熱源利用 HP 冷温水発生機を導入して電化し、化石燃料消費を概ね半減している⁵。休止井戸を用いることで掘削費用などのコストを低減している他、運用面でも熱源水の利用方法などを工夫し、運用コストの低減を実現している。

本事例の地中熱利用に関する主な工夫を図表 62 に示す。1 点目は、井戸水熱源を用いた電化である。電化に伴い、熱源に休止井戸の井水熱を活用して、老朽化の影響から効率が低くなっていた 1995 年製のガス炊き冷温水発生機を、ヒートポンプに更新した。本事例は、井水熱の使用により地中熱利用のための掘削費用を抑えている上、熱源以外ではファンコイル等の既存設備を流用することで設備更新に要するコストを抑制している。

2 点目は、熱源水のカスケード利用等による運用コストの低減である。本事例では、熱を取り出した後の排水をクーリングタワー補給水として 2 次利用した後に排水し、水処理剤とクーリングタワー内の洗浄を不要とし、労務費を含む運用費を低減している。さらに、ヒートポンプと冷温水ポンプをインバーターで制御し、電力のデマンド（最大需要電力）をコントロールすることで契約電力の増加を回避して運用費用を抑制している。これらの工夫により、図表 63 の導入効果が得られ、経済効果は年間 3,670 千円／年に上る。図表 64 に示すように更新により化石燃料の使用が大幅に削減されており、これに伴う CO₂ 排出量の削減率は 38%と示されている。

図表 62 鈴廣かまぼこ恵水工場における地中熱利用に関する主な工夫

| 工夫されている点 | 概要 |
|-------------------------|--|
| 井戸水熱源を用いた電化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 電化に伴い、熱源に休止井戸の井水熱を活用。老朽化の影響から効率が低くなっていた空調システムを、ヒートポンプに更新 ● 井水熱の使用により地中熱利用のための掘削費用を抑えている上、熱源以外では既存設備（ファンコイル等）を流用し、コストを抑制 |
| 熱源水のカスケード利用等による運用コストの低減 | <ul style="list-style-type: none"> ● 熱を取り出した後の排水をクーリングタワー補給水として 2 次利用した後に排水し、水処理剤とクーリングタワー内の洗浄を不要とすることで、労務費を含む運用費を低減 ● ヒートポンプと冷温水ポンプをインバーターで制御し、デマンド（最大需要電力）をコントロールすることで契約電力の増加を回避 |

⁵ 年間化石燃料削減効果として、化石燃料削減率 54%と報告されている。（出所）鈴廣かまぼこ株式会社「再生可能エネルギー熱事業者支援事業成果報告会，鈴廣かまぼこ恵水工場空調更新事業」（2017 年 11 月）

図表 63 空調システムの更新に関する導入効果



(出所) 関東経済産業局「2021年度事業活動省エネルギー対策セミナー事例紹介資料」(2022年)

図表 64 空調システムの更新に関するCO₂削減量 (t-CO₂)



(出所) 関東経済産業局「2021年度事業活動省エネルギー対策セミナー事例紹介資料」(2022年)

【参考文献】

- 関東経済産業局「2021年度事業活動省エネルギー対策セミナー事例紹介資料」(2022年2月)
- 一般社団法人環境共創イニシアチブ「再生可能エネルギー熱事業者支援事業成果報告会 導入事例鈴鹿かまぼこ株式会社(地中熱利用)」(2017年11月)

2.6.4 寒冷地の気候を活かした地中熱と空気熱の高効率ハイブリッド運用（札幌三建ビル）

寒冷地に位置する北海道で建て替えられた三建設備工業株式会社の「札幌三建ビル⁶」では、ビル用マルチエアコンと地中熱利用 HP のうち効率のよい方に切替えて運転するハイブリッド運用と、地下水によるフリークーリングを行っている。これらに加えて、窓の高断熱化等の複数の工夫により、基準 1 次エネルギー消費量に対する一次エネルギー消費量の実績値として約 78%削減を実現し、設計値を上回る水準の Nearly ZEB を達成した⁷。

本事例の地中熱利用に関する主な工夫を図表 65 に示す。1 点目の地中熱利用システムとビル用マルチエアコンのハイブリッド運用では、図表 66 で示されるように水熱源 HP（オープンループ方式地中熱）と空気熱源 HP（ビル用マルチエアコン）の効率のよい方に切替えて運転するハイブリッド運用を採用している。また、システム運用の最適化のために、BEMS を用いて、継続的に効率を改善している。これらの取組みにより、2019 年度、2020 年度は、基準 1 次エネルギー消費量に対する一次エネルギー消費量の実績値は約 74%削減であった。運用の改善を進め、2021 年度には同約 78%削減と、前述のとおり Nearly ZEB を達成した。

2 点目は、地下水を直接利用したフリークーリングの活用である。本事例では、寒冷地の特徴を活かし、図表 65 に示されるように年間を通して約 10℃の地下水を直接熱交換してつくる冷水を天井放射冷房と外気の予冷に使い、高効率化している。これらの工夫により、寒冷地の気候を活かしつつ、高効率な空調運用を実現している。

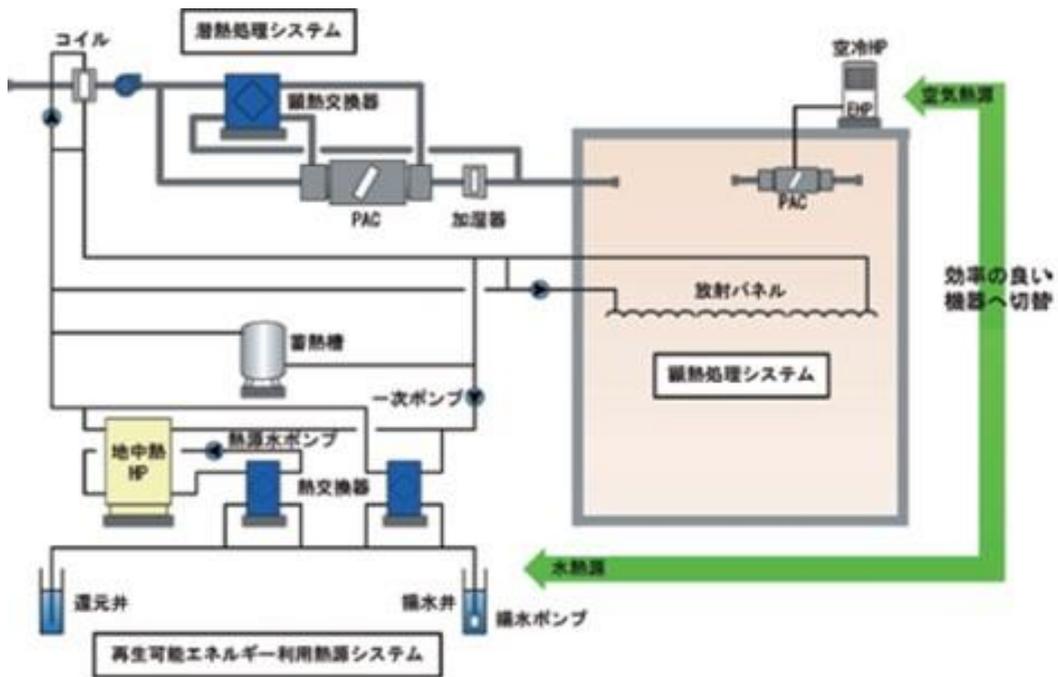
図表 65 札幌三建ビルにおける地中熱利用に関する主な工夫

| 工夫されている点 | 概要 |
|-------------------------------|--|
| 地中熱利用システムとビル用マルチエアコンのハイブリッド運用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 水熱源 HP（地中熱）と空気熱源 HP（ビル用マルチエアコン）の効率のよい方に切替えて運転するハイブリッド運用を採用 ● システム運用の最適化のために、BEMS を用いて、継続的に効率を改善 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2019 年度・2020 年度：基準 1 次エネルギー消費量に対する一次エネルギー消費量の実績値は約 74%削減、2021 年度：同約 78%削減 ⇒Nearly ZEB 達成 |
| 地下水の直接利用（フリークーリング） | <ul style="list-style-type: none"> ● 寒冷地の特徴を活かし、年間を通して約 10℃の地下水を直接熱交換してつくる冷水を天井放射冷房と、外気の予冷に使い、高効率化 |

⁶ 工期：2017 年 10 月～2018 年 10 月。

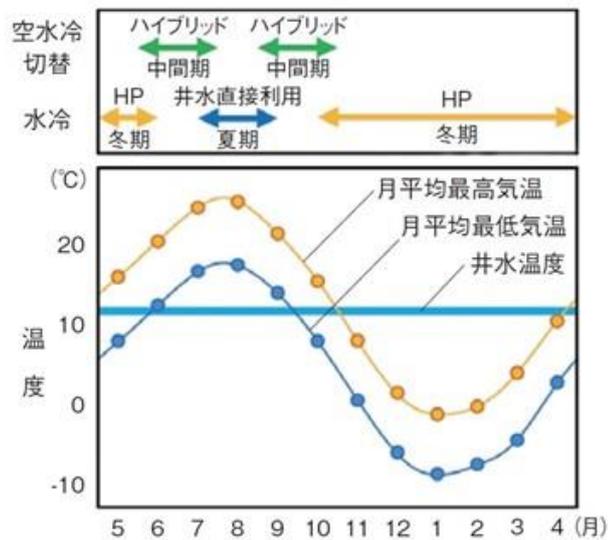
⁷ 三建設備工業株式会社「コーポレートレポート 2022」（2022 年 9 月）

図表 66 空調システムフロー



(出所) 成松学, 佐藤英樹「-実施例-札幌三建ビル 寒冷地 ZEB を実現 (ヒートポンプとその応用 2020.11. No.94)」(2020年11月)

図表 67 熱源運用概念図



(出所) 成松学, 佐藤英樹「-実施例-札幌三建ビル 寒冷地 ZEB を実現 (ヒートポンプとその応用 2020.11. No.94)」(2020年11月)

2.7 大気熱

2.7.1 フリークーリング・外気冷房の活用（大成札幌ビル）

大成建設札幌支店の社屋である大成札幌ビル（2006年6月竣工）では、冷涼な気候を利用し、大気熱を高効率に利用している。主に工夫している点を図表 69 に示す。まず、ヒートポンプを稼働しなくてもいい場合には、冷凍機を使用せず、冷却塔で冷水を作るフリークーリング等を採用し、大気熱の有効利用を促進している。併せて、躯体の外断熱による断熱性能の強化や、コンクリート躯体を蓄熱媒体として利用する躯体蓄熱輻射冷暖房システムの採用によって、フリークーリングによるマイルドな冷房であっても、冷房が十分に機能するような建物設計となっている。図表 70 の通り、フリークーリングと外気冷房の利用率の合計は 50～80%程度となっており、ヒートポンプ(チラー)を最小限にとどめて、効率的な空調を実現している。

図表 71 に示す通り、上記の取り組みによって竣工当初から標準ビル(1,820MJ/m²・年)と比べて1次エネルギー消費量は▲41%を達成しているが、その後の継続的な運用改善の取組によってさらに改善が進められている。また、ZEHを計算するための基準とする省エネ基準ビル(1,132MJ/m²・年)と比較すると、当初はZEB Ready(▲50%省エネビル)に達成していなかったが、2016年の改修やその後の運用改善の結果、運用実績でZEB Readyを実現している。

図表 68 大成札幌ビルの外観



(出所) ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ・蓄熱システム運転管理等の改善事例 奨励賞

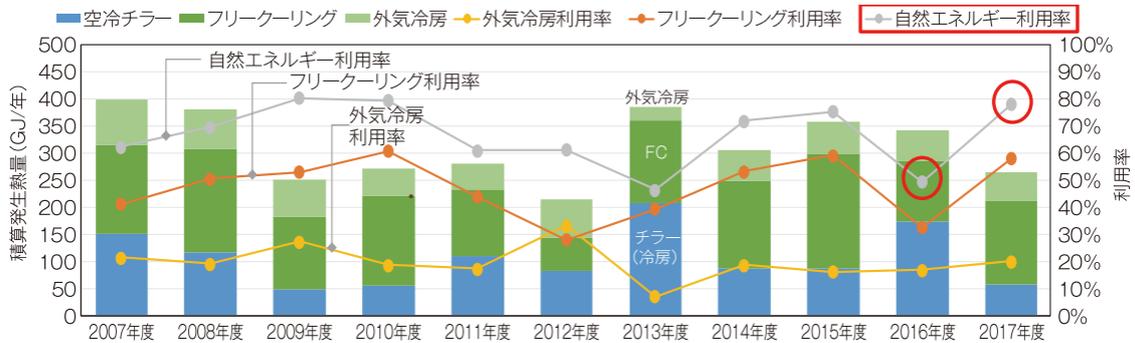
② 大成札幌ビル (COOL&HOT 2020 No.55) (2020年11月)

図表 69 大成札幌ビルにおける主な空調エネルギー削減に関する工夫

| 工夫している点 | 概要 |
|------------------|---|
| フリークーリング・外気冷房の活用 | ● 熱源機として、空気熱源ヒートポンプチラーが導入されているが、気候条件に応じて同機器を使用せず、冷却塔で冷水を作るフリークーリングや外気冷房(外気の直接取込)を積極的に利用 |
| 断熱性能の強化 | ● 外断熱が施されたコンクリート柱の外壁と Low-E ガラスにより熱の出入りを最小限化 |
| コンクリート躯体蓄 | ● 床コンクリートに冷温水配管を埋設し、冷水・温水による効率のよ |

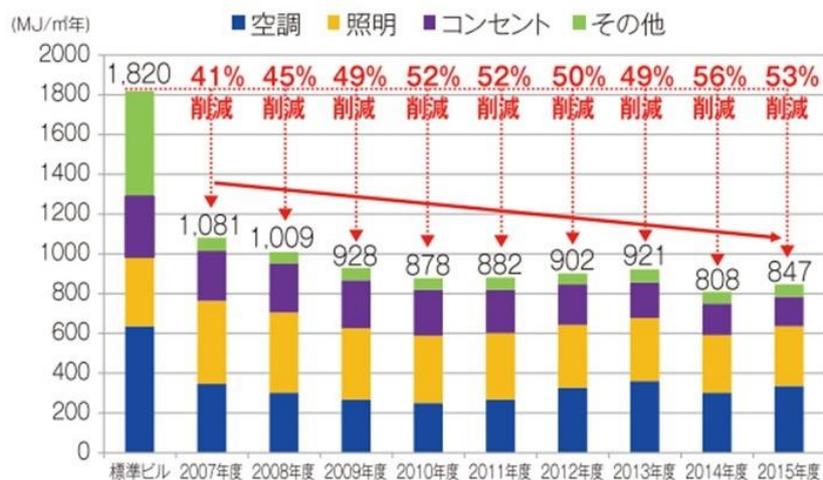
| | |
|-------------|---|
| 熱冷暖房システムの採用 | <p>い蓄熱。コンクリート躯体を蓄熱媒体として利用し、空調熱源容量を削減</p> <ul style="list-style-type: none"> ● スケルтон天井からは床躯体に蓄熱した熱を放射と対流により放熱し、床からは床全面吹出空調システム（T-Breeze Floor System）により空調 |
|-------------|---|

図表 70 冷房時の自然エネルギー利用率



(出所) ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ・蓄熱システム運転管理等の改善事例 奨励賞
② 大成札幌ビル (COOL&HOT 2020 No.55)」(2020年11月)

図表 71 標準ビルと比較した竣工後9年間の1次エネルギー消費量



(出所) ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ・蓄熱システム運転管理等の改善事例 奨励賞
② 大成札幌ビル (COOL&HOT 2020 No.55)」(2020年11月)

【参考文献】

- ヒートポンプ・蓄熱センター「令和2年度ヒートポンプ・蓄熱システム運転管理等の改善事例 奨励賞② 大成札幌ビル (COOL&HOT 2020 No.55)」(2020年11月)
- 大成建設設計本部ウェブサイト「Taisei Sapporo Building」<https://www.taisei-design.jp/de/feature/sapporo_building/index.html> (2023年9月アクセス)

2.7.2 熱回収ヒートポンプによる冷温同時利用（名古屋大学医学部附属病院）

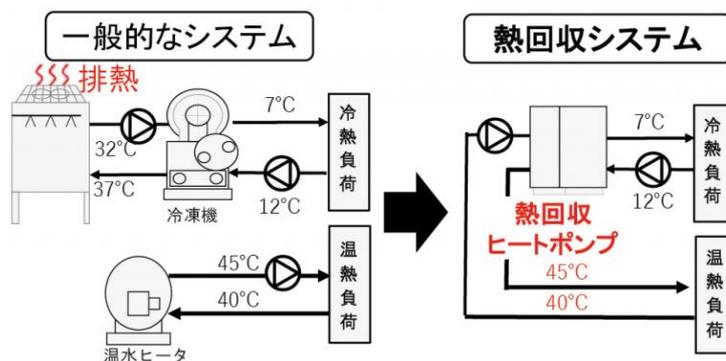
ヒートポンプは、熱を移動させる技術であることから、1年間のうち、冷熱負荷と温熱負荷が同時に存在する時期は、熱回収ヒートポンプによって既存熱源（冷凍機を使用している場合は大気熱）の利用量を減らすことができる。

例えば、冷水が冷凍機から供給され、冷却塔などで大気に放熱される熱源システムでは、温水や給湯が必要な場合は別に温水ヒーターで供給されていることが多い。この場合、熱回収ヒートポンプを導入することで、冷水を製造する放熱で温水を供給する事ができ、温水ヒーターのエネルギー削減が期待できる。

名古屋大学医学部附属病院では、従来、温熱・冷熱をそれぞれ蒸気ボイラーと冷凍機（吸収式冷凍機及び水冷チラー）で供給していたところ、熱回収ヒートポンプ等を増設し、冷凍機（空気熱）やボイラー利用を低減させた。（図表 73）

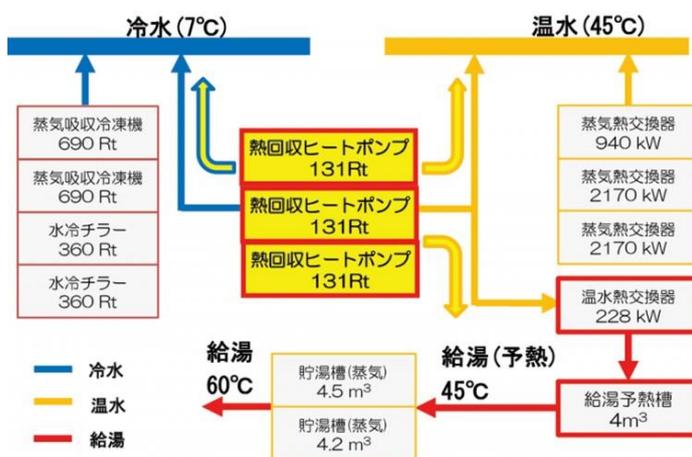
図表 74 に夏場・冬場の熱源運転状況を示す。夏場は温熱熱量のすべてを熱回収ヒートポンプの排熱で供給し、冬場は冷熱熱量のすべてが熱回収ヒートポンプから供給されている。これによって、図表 75 に示されるとおり年間の1次エネルギー消費量を49%削減している。

図表 72 一般的な熱源システムと熱回収システムの比較



（出所）千原 崇「熱回収ヒートポンプによる排熱回収システムについて（日本機械学会誌）」（2022年3月）

図表 73 熱源フロー図



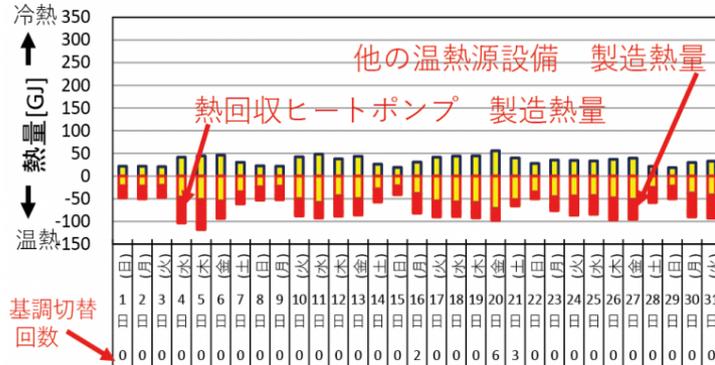
(出所) 千原 崇「熱回収ヒートポンプによる排熱回収システムについて (日本機械学会誌)」(2022年3月)

図表 74 夏場・冬場の運転状況

<夏場の運転状況 (2011年8月)>

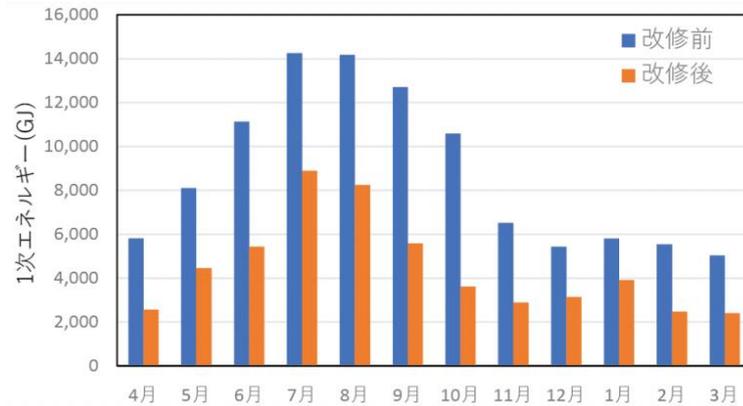


<冬場の運転状況 (2012年1月)>



(出所) 千原 崇「熱回収ヒートポンプによる排熱回収システムについて (日本機械学会誌)」(2022年3月)

図表 75 改修前後のエネルギー消費量



(出所) 千原 崇「熱回収ヒートポンプによる排熱回収システムについて (日本機械学会誌)」(2022年3月)

【参考文献】

- 千原 崇「熱回収ヒートポンプによる排熱回収システムについて (日本機械学会誌)」(2022年3月)

第4章 再エネ熱を取り巻く制度に関する実態調査

I. 国内における制度に関する調査

1. 制度等の全体像

再エネ熱の利用促進に関する制度は、その性質により複数の種類に分類できる。図表 76 では、制度の種類毎に、国内における主な法制度・事業を示す。また、次項以降では種類別に整理する。

図表 76 国内における再エネ熱の利用促進に関する制度等の種類と主な法制度・事業

| 種類 | 主な法制度・事業等 |
|--------------|--|
| 普及方針策定・目標設定 | エネルギー供給構造高度化法 |
| | 地球温暖化対策法 |
| | 第4次エネルギー基本計画 |
| 補助金制度 | 住宅・建築物需給一体型等省エネルギー投資促進事業 |
| | 建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業 |
| | 地域脱炭素移行・再エネ推進交付金 |
| | 再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業 |
| | 再生可能エネルギー熱事業者支援事業（過年度事業） |
| 建築物に関する規制 | 建築物省エネ法 （建築物省エネ法で規定された省エネルギー基準への適合性を判定する「建築物のエネルギー消費性能計算プログラム（WEBPRO）」） |
| | |
| 環境価値取引 | グリーン熱証書システム |
| | Jクレジット制度 |
| 技術開発支援 | 再エネ熱利用に係るコスト低減技術開発 |
| | 地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業 |
| 導入アドバイス・情報提供 | 下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業 |
| | 再生可能エネルギー事業支援ガイドブック |

2. 普及方針策定・目標設定

2.1 再エネ熱の定義

2009年に制定された「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（エネルギー供給構造高度化法）」における再生可能エネルギー源の定義は以下である。

- 太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができるものと認められるものとして政令で定めるもの【エネルギー供給構造高度化法施行令 第二条 3】

政令では、再生可能エネルギー源として、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する熱、バイオマスと規定されている⁸。また、再生可能エネルギー源には、大気熱を含む自然熱が含まれる。

2.2 普及方針

「第4次エネルギー基本計画」(2014年閣議決定)では、以下が記載され、熱利用分野においてコージェネレーションシステムとともに、再エネ熱の利用を促進する方向性が示された。

- 「太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川水熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱をより効果的に活用していくことも、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組となると考えられる。」【第4次エネルギー基本計画 p.26】

「第5次エネルギー基本計画」(2018年閣議決定)及び「第6次エネルギー基本計画」(2021年閣議決定)では、以下が記載され、個別の再エネ熱供給設備の導入支援と、再エネ熱の面的利用の取組への支援により、再エネ熱の導入拡大を目指すことと示されている。

- 「太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川水熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱について、熱供給設備の導入支援を図るとともに、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことで、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す。」【第5次エネルギー基本計画 p.43, 第6次エネルギー基本計画 p.65】

2.3 目標設定

日本においては、後述する欧州連合(EU)と異なり、国レベルでの再エネ熱の導入量や消費量の定量的な目標設定は行われていない。

一方、目標設定の位置づけではないものの、前述の「第4次エネルギー基本計画」(2014年閣議決定)の方針に基づき検討・決定された「長期エネルギー需給見通し」では、図表77のとおり再エネ熱の導入見通しが示された。この導入見通しでは、1次エネルギーベースで1,341万kl程度を見込むと示され、内訳は太陽熱(55万kl程度)、バイオマス等(667万kl程度)、未利用熱等(618万kl程度)とされた。

⁸ エネルギー供給構造高度化法施行令 第四条

図表 77 再生可能エネルギー（熱利用）の導入見通し



(出所) 資源エネルギー庁「長期エネルギー需給見通し関連資料（平成27年7月16日）」（2015年7月）

「地球温暖化対策の推進に関する法律」（以下、「地球温暖化対策推進法」という。）に基づく政府の総合計画として、地球温暖化対策計画が策定されている。2021年には、2050年CN実現や、2030年度において温室効果ガス46%削減（2013年度比）の目標の実現等に向けて、「地球温暖化対策計画」が改訂された（2021年10月閣議決定）。同計画においては、図表78に示されるように再生可能エネルギーの最大限の導入の一環として、再エネ熱の導入拡大を目指すことが示された。

図表 78 地球温暖化対策計画 第2節地球温暖化対策・施策

| |
|---|
| <p>地球温暖化対策計画</p> <p>第2節 地球温暖化対策・施策（一部抜粋）</p> <p>(c) 再生可能エネルギーの最大限の導入</p> <p>【再生可能エネルギー発電】</p> <p>……（略）</p> <p>【再生可能エネルギー熱等】</p> <p>地域性の高いエネルギーである再生可能エネルギー熱（太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川水熱、下水熱等）を中心として、下水汚泥・廃材・未利用材等によるバイオマス熱等の利用や、廃棄物処理に伴う廃熱等の未利用熱の利用を、経済性や地域の特性に応じて進めていくとともに、運輸部門における燃料となっている石油製品を一部代替することが可能なバイオ燃料、水素をはじめとする脱炭素燃料等の利用も重要である。再生可能エネルギー熱等の供給設備の導入支援を図るとともに、様々</p> |
|---|

な熱エネルギーを地域において有効活用するモデルの実証・構築等を行うことで、再生可能エネルギー熱等の導入拡大を目指す。

(出所) 地球温暖化対策計画 (2021年10月)

同計画においては、図表 79 のとおり、前述の第 4 次エネルギー基本計画の方針に基づき検討・決定された「長期エネルギー需給見通し」で示された 1 次エネルギーベース 1,341 万 kl を、2030 年度における再エネ熱の利用拡大による排出削減量の見込量の前提としている。

図表 79 地球温暖化対策計画 別表 1 エネルギー起源二酸化炭素に関する対策・施策の一覧

別表1-73

| 具体的な対策 | 各主体ごとの対策 | 国の施策 | 地方公共団体が実施することが期待される施策例 | 対策評価指標及び対策効果 | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---|---|---------------------|--------|-----------------------|----------------------------|--|--------|-------|
| | | | | 対策評価指標 | 省エネ見込量 | 排出削減見込量 | 省エネ見込量及び排出削減見込量の積算時に見込んだ前提 | | | |
| 48. 再生可能エネルギーの最大限の導入 | | | | | | | | | | |
| 再生可能エネルギー熱の利用拡大 | 民間事業者、地方公共団体等：再生可能エネルギー熱利用設備の積極的な導入 | 再生可能エネルギー熱供給設備の導入支援 様々な熱エネルギーを地域において有効活用するモデルの実証・構築等 | 区域内における事業者等に対する再生可能エネルギーの導入支援 地方公共団体の公共施設等における積極的な導入 | 熱供給量(原油換算) (万kL) | | (万t-CO ₂) | | 再生可能エネルギー(熱):太陽熱、バイオマス等、未利用熱等 原油の排出係数:2.7t-CO ₂ /kL 2030年度の数値は2030年度におけるエネルギー需給の見通しに基づくものである ※高度化法におけるバイオ燃料の供給目標等を勘案しながら、再生可能エネルギー熱の導入拡大を進める | | |
| | | | | 2013年度 | 1,104 | 2013年度 | - | | 2013年度 | 2,980 |
| | | | | 2025年度 | ※ | 2025年度 | - | | 2025年度 | ※ |
| | | | | 2030年度 | 1,341 | 2030年度 | - | 2030年度 | 3,618 | |

※1 電力の排出係数は、将来の電源構成について見通しを立てることが困難であることから、エネルギーミックスのある2030年度を除き、2013年度の排出係数に基づいて試算。

(出所) 地球温暖化対策計画 (2021年10月)

2.4 地方公共団体における目標例

地球温暖化対策推進法に基づき、地方公共団体は「地方公共団体実行計画」を策定するものとされている。これを受け、各地方公共団体は、再エネ熱を含む地域の再エネ資源を活用した温室効果ガス排出量削減に関する計画を策定している。地方公共団体のなかには、以下のように同実行計画の区域施策編において、再エネ熱の増加目標を掲げているところもある。

- 長野県：再生可能エネルギー生産量のうち熱の増加目標 (図表 80)
- 青森県：自家消費型再生可能エネルギーとして、電気・熱合算の導入目標 (図表 81)

一方、同実行計画のうち、当該地方公共団体の事務及び事業に関する GHG 排出削減等について策定する事務事業編では、庁舎等への再エネ熱利用システムの導入や、導入支援事業の計画を掲げるところもある。(例. 秋田県、岩手県、山梨県、岡山県等)

図表 80 長野県ゼロカーボン戦略（地方公共団体実行計画）



(出所) 長野県「長野県ゼロカーボン戦略」(2022年5月)

図表 81 青森県地球温暖化対策推進計画（地方公共団体実行計画）

■成果指標

| 指標 | 現状値 | 目標値 |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 方針1 徹底した省エネルギー対策の推進 | | |
| 省エネルギー基準を満たす住宅ストックの割合 | 3.7% (H30) | 20% (R12) |
| 省エネルギー診断の利用事業所数 | 15 事業所 (R3) | 利用事業所数の (毎年度) 増加 |
| スマートムーブ通勤の参加状況 | 22,046 人 142 事業所 (R3) | 参加者・事業所の (毎年度) 増加 |
| 方針2 再生可能エネルギー等の導入拡大 | | |
| 自家消費型再生可能エネルギー（電気・熱）の導入量 | - | 1.34 億 kWh 相当 (R12) |
| 方針3 吸収源対策の推進 | | |
| 主伐・再造林の状況 | 再造林率 25% (R3) | 再造林率 40% (R5) |
| 方針4 環境教育・県民運動の推進 | | |
| 環境出前講座等実施回数 | 99 回 (R3) | 100 回 (R12) |
| あおり ECO にこオフィス/ショップ認定事業所数 | 1,228 事業所 (R3) | 1,500 事業所 (R12) |

(出所) 青森県「青森県地球温暖化対策推進計画」(2023年3月)

3. 補助金制度

3.1 全体像

現在の国の補助金制度として、再エネ熱利用システムの導入が含まれる建築（住宅・非住宅）や、事業に対する補助金制度は図表 82 に示すように複数存在する。また、価格低減の促進を図ることを目的とした、コスト要件を満たす再エネ熱利用システムの導入補助金も存在する。これらは、いずれもエネルギー対策特別会計（エネ特）を財源としている⁹。

補助対象は、業務・産業部門とするものが多いものの、家庭部門の戸建てについても、ZEH 実証事業にて補助対象とされている。また、戸建てについては、地方公共団体独自の導入補助金等を設ける例が見られる。補助金制度の傾向としては、かつての再エネ熱利用設備の導入に対する基本的な補助金交付から、地域の脱炭素化、レジリエンス強化、低コストでの CO₂ 排出削減といった側面を持つ事業に対する補助金交付へと制度内容が移行し、そのような制度において再エネ熱利用設備の導入が引き続き補助対象とされていることがわかる。

なお、CO₂ 削減効果や ZEH 基準に応じて補助対象を定めている制度では、再エネ熱利用システムの導入による効果によっては、補助対象となる可能性がある。

図表 82 再エネ熱利用システムに対する補助金制度の現況

| 項目 | 制度例 |
|---|--|
| 再エネ熱利用システムの導入が補助対象として明記されている制度 | <ul style="list-style-type: none"> ● 住宅・建築物需給一体型等省エネルギー投資促進事業（ZEB 実証事業） ● 新築建築物の ZEB 化支援事業 ● 既存建築物の ZEB 化支援事業 ● レジリエンス強化型の既存建築物 ZEB 化実証事業 ● 地域脱炭素移行・再エネ推進交付金 脱炭素先行地域づくり事業－CO₂ 排出削減に向けた設備導入事業－ ● 地域脱炭素移行・再エネ推進交付金 重点対策加速化事業 ● 再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業 |
| CO ₂ 削減効果や ZEH 基準に応じて補助対象を定めている制度（≒再エネ熱利用システムの導入が対象となる可能性あり） | <ul style="list-style-type: none"> ● 新築建築物の ZEB 実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業 ● 既存建築物の ZEB 実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業 ● 既存建築物における省 CO₂ 改修支援事業 |

3.2 住宅・建築物需給一体型等省エネルギー投資促進事業

3.2.1 背景・目的

第 6 次エネルギー基本計画では、「2030 年度以降新築される住宅について、ZEH 基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指す」とともに「2030 年において新築戸建住宅の 6 割に太

⁹ かねてエネ特を財源として経済産業省が実施していた省エネ対策や再エネ開発・利用に対する支援は、環境省に一部移管されている。

陽光発電設備が設置されていることを目指す」ことが政策目標として掲げられている。この政策目標のもと、関係省庁として経済産業省、国土交通省、環境省が連携して、住宅の省エネ・省 CO₂化に取り組んでいる。また、民生部門のうち、非住宅についても、省エネ・省 CO₂化を支援する補助金制度が運用されている。

3.2.2 概要

経済産業省の「住宅・建築物需給一体型等省エネルギー投資促進事業費」では、大幅な省エネ実現と再エネの導入により、年間1次エネルギー消費量の収支ゼロを目指す住宅・ビルのネット・ゼロ・エネルギー化を中心に、民生部門の省エネ投資を促進している。

同事業費では、大きく分けて ZEH 実証事業、ZEB 実証事業、次世代省エネ建材の実証支援事業を展開している。ZEH 実証事業と ZEB 実証事業において、それぞれ再エネ熱利用システムを含む建築物に対する補助金制度が設けられている。各制度における補助対象及び補助額・率の概要を図表 83 に示す。

図表 83 住宅・建築物需給一体型等省エネルギー投資促進事業の補助対象・補助額

| 事業名 | 補助対象 | 補助額・率 |
|----------------------------------|---|--|
| 令和5年度 次世代 ZEH+ (注文・建売・TPO) 実証事業 | 【新築注文戸建住宅の建築主又は新築建売戸建住宅の購入予定者となる個人が申請】 補助対象の住宅への追加機器等 (蓄電システム、V2H 充電設備、燃料電池、 <u>太陽熱利用温水システム</u>) に対して、 <u>補助金を加算して交付</u> 太陽熱利用温水システムの設備購入費用の補助金を加算 | 液体式：上限 17 万円 空気式：上限 60 万円 ※工事費は対象外。補助対象住宅への補助金は定額 100 万円 (戸) |
| 令和5年度 次世代 HEMS 実証事業 | 【新築注文戸建住宅の建築主となる個人が申請】 補助対象の住宅への追加機器等 (蓄電システム、V2H 充電設備、燃料電池、 <u>太陽熱利用温水システム</u>) に対して、 <u>補助金を加算して交付</u> 太陽熱利用温水システムの設備購入費用の補助金を加算 | 液体式：上限 17 万円 空気式：上限 60 万円 ※工事費は対象外。補助対象住宅への補助金は定額 112 万円 (戸) |
| 令和5年度 ネット・ゼロ・エネルギー・ビル (ZEB) 実証事業 | 【建築主等 (所有者)、ESCO (シェアード・セービングス) 事業者、リース事業者等が申請】 <u>WEBPRO</u> でエネルギー計算可能な <u>太陽熱集熱装置</u> (集熱パネル、貯湯タンク、循環ポンプ、制御機器、制御配線) が <u>補助対象に含まれる</u> | 補助対象経費の 2/3 以内 |

(出所) 補助金執行団体が公表する公募要領をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3.3 建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業

3.3.1 背景・目的

環境省は他省と連携して、2020年CN実現、そのための政府目標である「2030年GHG2013年比46%減」の達成に向けて、建築物等におけるZEB化・省CO₂改修の普及拡大により脱炭素化を進めている。また、ZEB化・省CO₂改修と同時に、気候変動に伴う災害の激甚化等への適応も推進している。

3.3.2 概要

エネ特に基づく令和5年度「建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業」においては、部門を問わず幅広い建築物等において、大幅な脱炭素化・レジリエンス強化の促進に必要な経費の一部を対象に複数種類の補助金事業により支援している。同事業のうち、一部事業・区分を抜粋の上、補助対象及び補助額・率を図表84に示す。

図表 84 建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業の補助対象・補助額

| 事業名 | 補助対象 | 補助額・率 | |
|----------------------------------|--|---|---|
| 新築建築物のZEB化支援事業 | レジリエンス強化型の新築建築物ZEB化実証事業 | ZEB Ready以上の実現に必要な <u>再生可能エネルギー設備(再エネ熱を含む)</u> 、蓄電池、付帯設備、省エネ型の第一種換気設備その他高性能設備機器等及びこれらの設備を運転制御するために必要な通信・制御機器設備等 | 2,000m ² 未満の場合(上限:3億円) ZEB:2/3 Nearly ZEB:3/5 ZEB Ready:1/2 |
| | 新築建築物のZEB実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業 | <u>新築ZEBに資するシステム・設備機器</u> 等の導入 | ZEB:3/5 Nearly ZEB:1/2 ZEB Ready対象外 |
| 既存建築物のZEB化支援事業 | レジリエンス強化型の既存建築物ZEB化実証事業 | 停電時にも必要なエネルギーを供給できる機能を強化したZEB Ready以上の実現に必要な <u>再生可能エネルギー設備(再エネ熱を含む)</u> 、蓄電池、付帯設備、省エネ型の第一種換気設備その他高性能設備機器等及びこれらの設備を運転制御するために必要な通信・制御機器設備等 | 2,000m ² 未満の場合(上限:3億円) ZEB:2/3 Nearly ZEB:2/3 ZEB Ready:2/3 |
| | 既存建築物のZEB実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業 | <u>既存ZEBに資するシステム・設備機器</u> 等の導入 | 同上、ただしZEB Readyは対象外 |
| 既存建築物における省CO ₂ 改修支援事業 | 既存の民間業務用建築物等に対し、 30%以上のCO₂ | 補助率1/3(上限:5千万円) | |

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| | 削減効果が得られる設備等の導入・運用改善 | |
|--|-----------------------------|--|

(出所) 一般社団法人静岡県環境資源協会「令和5年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(建築物等の脱炭素化・レジリエンス強化促進事業)実施要領」<<http://www.siz-kankyoku.jp/2023CO2.html>>をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

過去のレジリエンス強化型 ZEB 実証事業の実績例として、図表 85 に示す北海道大樹町の ZEB 庁舎 (ZEB Ready) がある。この庁舎では、地中熱ヒートポンプ空調を導入している。

図表 85 補助事業の実績例 (レジリエンス強化型 ZEB 実証事業)

7
建築物の脱炭素化推進事業

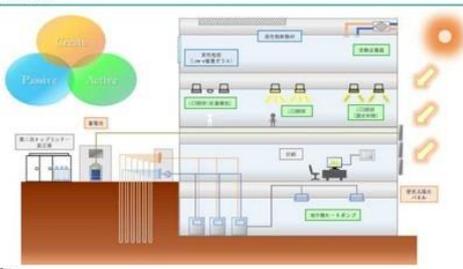
7.1 レジリエンス強化型ZEB実証事業

③十勝地方初！災害に強いZEB庁舎の実現

事業概要

| | | | | |
|--------|-------|--|---------------------------|-----------|
| 事業者概要 | 事業者名 | 北海道大樹町 | | |
| | 業種 | 公務 (他に分類されるものを除く) | | |
| 事業所 | 所在地 | 北海道 | 建物用途 | 事務所等 |
| | 総延床面積 | 2,948m ² | ZEBランク | ZEB Ready |
| | 主な構造 | RC造 | 一次エネルギー削減率 (創エネ含む、その他含まず) | 54% |
| 補助金額 | 補助金額 | 約45,500万円 | | |
| | 補助率 | 2/3 | | |
| 主な導入設備 | 従前設備 | - | | |
| | 導入設備 | 高断熱化、高性能窓(Low-Eペアガラス)、高性能窓サッシ、高効率空調機(地中熱ヒートポンプ、空冷ヒートポンプ)、全熱交換器、換気ファン、変圧器、太陽光発電、蓄電池、BEMS ※補助対象外: LED照明 (在室探知・調光制御) | | |
| 事業期間 | 稼働日 | 2022年5月 | | |
| 区分 | | 新築 | | |
| 特長 | | 「災害に強い庁舎」をコンセプトにした十勝地方初のZEB庁舎である。 | | |

システム図



写真

建物外観



(出所) 環境省「2023年度エネルギー対策特別会計補助事業活用事例集」(2023年5月)

3.4 地域脱炭素移行・再エネ推進交付金

3.4.1 背景・目的

環境省では、「地域脱炭素ロードマップ」、「地球温暖化対策計画」、「GX 実現に向けた基本方針」等に基づき、脱炭素化に意欲的に取り組む地方公共団体を支援することにより、地域全体の再エネ、省エネ、蓄エネを推進している。この一環として、エネ特に基づく「地域脱炭素移行・再エネ推進交付金」が設けられている。

- 68 -

3.4.2 概要

地域脱炭素移行・再エネ推進交付金は、地方公共団体等を複数年度にわたり継続的かつ包括的に支援する制度である。同交付金には、脱炭素先行地域に選定されていることが要件とされる「脱炭素先行地域づくり事業」と、同地域に選定されていない地域も対象とする「重点対策加速化事業」が設けられている。両事業では、いずれも再エネ熱利用設備の導入が補助対象とされている。地域脱炭素移行・再エネ推進交付金に基づく事業の補助対象及び補助額・率を図表 86 に示す。

図表 86 地域脱炭素移行・再エネ推進交付金に基づく補助対象・補助額

| 事業名 | 補助対象 | 補助額・率 | |
|--|---|--|---|
| 脱炭素先行地域づくり事業 －CO ₂ 排出削減に向けた設備導入事業－ | <ul style="list-style-type: none"> ・地方公共団体が事業実施する場合は、地公体に対し補助金交付 ・民間事業者等も事業を実施する場合は、地公体を通して民間事業者等に補助金交付 | <p>補助金交付要件は、脱炭素先行地域に選定されていること。以下の①は必須。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 地域の再エネポテンシャルを最大限活かした再エネ設備（<u>再エネ熱利用設備は、未利用熱利用設備：地中熱、温泉熱、等</u>） ② 再エネ導入・利用最大化のための基盤インフラの導入（熱導管、等） ③ 省 CO₂ 等設備整備 | <p>原則 2/3</p> <p>※（太陽光発電設備除く）①及び②について、財政力指数が全国平均（0.51）以下の地方公共団体は 3/4。②③の一部は定額</p> |
| 重点対策加速化事業 | | <p>脱炭素先行地域に選定されていなくてもよい。</p> <p>補助金交付要件は、再エネ発電設備の一定以上の導入が含まれること（都道府県・指定都市・中核市・施行時特例市：1MW 以上、その他の市町村：0.5MW 以上）</p> <p>「①自家消費型の太陽光発電」または「②地域共生・地域裨益型再エネの立地」のいずれかが必須。②には、以下が含まれる。</p> <p>熱利用設備（再生可能エネルギー熱（<u>太陽熱利用・バイオマス熱利用</u>）・未利用熱利用設備（<u>地下水熱、下水熱、河川水熱、地中熱、雪氷熱等</u>））</p> <p>熱利用設備・未利用熱設備：2/3</p> | |

（出所）環境省「地域脱炭素移行・再エネ推進交付金」の各事業実施要領

<<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/grants/>>をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3.5 再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業

3.5.1 背景・目的

環境省の二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金に基づき、「民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業」では、「新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業」が行われており、このなかで、「再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業」が実施されている。同事業は、再エネ熱利用設備等の導入の計画策定や、一定のコスト要件を満たす設備等の導入の支援を目的としている。

なお、令和3年度補正予算事業、令和4年度当初予算事業としては、「PPA活用等による地域の再エネ主力化・レジリエンス強化促進加速化事業」のうち「新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業（再エネ熱利用・自家消費型再エネ発電等の価格低減促進事業）」において、価格低減の促進を目的とした補助が行われていた。

3.5.2 概要

再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業は、計画策定事業と設備等導入事業に大別され、計画策定事業では、再エネ熱を含む補助対象の設備導入のための事業化計画策定を行うものが補助対象となり得る。設備等導入事業では、規定のCO₂削減コスト基準を満たすことが要件とされている。

補助対象のうち、再エネ熱としては、太陽熱、バイオマス熱、地中熱、温泉熱、河川水熱、海水熱、下水熱、雪氷熱が含まれる。

再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業の補助対象及び補助額・率の概要を図表 87 に示す。

図表 87 再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業の補助対象・補助額

| 事業名 | 補助対象 | 補助額・率 |
|-----------|---|-----------------------------------|
| 計画策定事業 | ・設備等導入事業 A 及び B における補助対象設備の導入の計画策定 | 3/4（上限：1 千万円） ※事業期間は単年度 |
| 設備等導入事業 A | ・再エネ熱利用設備（太陽熱又はバイオマス熱利用）、熱交換器、ヒートポンプ、ヒートパイプ、ポンプ、熱導管、蓄熱システム等 ・自家消費型又は災害時の自立機能付き再エネ発電設備 ・定置用蓄電池（その他、相当と認められる設備） | 1/3（上限：1 億円） ※事業期間は単年度 |
| 設備等導入事業 B | ・再エネ熱利用設備（散水方式及び地下水還元方式を除く地中熱、温泉熱、河川水熱、海水熱、下水熱、雪氷熱）、熱交換器、ヒートポンプ、ヒートパイプ、ポンプ、熱導管、蓄熱システム等 ・工場廃熱等利用設備 ・温泉供給設備更新時の省エネ設備等（その他、相当と認められる設備） | 1/2（上限：各年度 1 億円） ※事業期間は、2 年度以内 |

(出所) 一般社団法人環境技術普及促進協会「新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業のうち再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業 「計画策定事業」「設備等導入事業」 公募要領」
 <http://www.eta.or.jp/offering/23_01_netsu/files_2nd/02_kouboyouryo.pdf>をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3.6 再生可能エネルギー熱事業者支援事業（過年度事業）

3.6.1 背景・目的

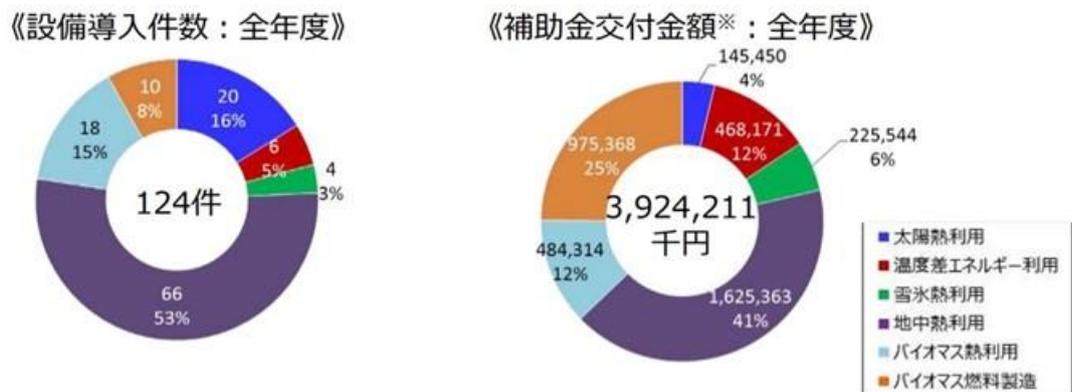
経済産業省は、エネルギーの地産地消を促進するために、再エネ熱利用設備の導入に対して補助を行う「再生可能エネルギー熱事業者支援事業」を 2018 年度まで継続的に実施していた。2019 年度以降は、環境省の補助金事業に集約されている。

3.6.2 概要・補助実績

再生可能エネルギー熱事業者支援事業では、再エネ熱（太陽熱、温度差エネルギー、雪氷熱、地中熱、バイオマス熱・燃料製造）の導入にあたっての設計費、設備費、工事費が補助対象とされた。補助率は、原則 1/3 以内とされた¹⁰。補助上限額は、実施年度により異なるが、2016 年度は 3 億円／年度で、単年度が原則ながら複数年を要する事業は最大 4 年間で補助対象期間とされた。

補助実績について、2016~2017 年度における補助金による設備導入件数は、図表 88 のとおり、地中熱利用が約半分を占めた。これに続いて、太陽熱が多かった。補助金交付金額では、太陽熱利用は比較的小規模な設備導入が行われているため割合が小さかった一方で、バイオマス燃料製造の金額が高く、約 4 分の 1 を占めた。

図表 88 再生可能エネルギー熱事業者支援事業の実績



(注) 2014、2015、2016 年度から継続している事業については、過年度に交付された補助金額を含めた額。

(出所) 一般社団法人環境共創イニシアチブ「再生可能エネルギー熱事業者支援事業成果報告会(東京会場)」

<https://sii.or.jp/re_energy30/uploads/all_01.pdf> (2023 年 12 月アクセス)

¹⁰ 民間事業者が地方公共団体から指定・認定を受け、かつ先導的な事業の場合、補助対象経費の合計額の 2/3 以内とされる場合あり。

3.7 地方公共団体における再エネ熱利用システムに対する補助例

地方公共団体によっては、再エネ熱利用システムの導入を補助しているところがある。図表 89 に太陽熱利用システムに対する自治体の補助金制度の例を、図表 90 に地中熱利用システムに対する自治体の補助金制度の例を示す。補助の金額は自治体によって異なるが、東京都による補助が相対的に高い水準となっている。

図表 89 太陽熱利用システムに対する自治体補助金制度の例

| 都道府県 | 地方公共団体 | 補助概要 |
|------|--------|--|
| 宮城 | 仙台市 | 補助対象経費の 1/10 (強制循環型 : 上限額 90,000 円、自然循環型 : 上限額 30,000 円) |
| 東京 | 東京都 | 機器費及び工事費の 1/2 (上限額 550,000 円) |
| | 杉並区 | 強制循環型: 集熱器全体の面積 1 m ² あたり 20,000 円 (上限額 60,000 円) 自然循環型: 集熱面積 1 m ² あたり 10,000 円 (上限額 20,000 円) |
| | 豊島区 | 強制循環型: 一律 50,000 円 自然循環型: 一律 20,000 円 |
| 千葉 | 千葉市 | 一律 50,000 円 |
| 神奈川 | 横浜市 | 強制循環型: 一律 80,000 円 自然循環型: 一律 40,000 円 |
| | 川崎市 | 補助対象経費 (設備費、工事費) の 1/4 (上限額 200 万円) ※対象は、中小企業、学校法人、医療法人、社会福祉法人 |
| | 相模原市 | 補助対象経費 (設計費、設備費、工事費、諸経費) の 1/3 (上限額 100 万円) ※対象は、中小規模事業者 |
| 長野 | 松本市 | 強制循環型: 一律 80,000 円 自然循環型: 一律 40,000 円 (省エネ設備合計の上限額 20 万円) |
| 埼玉 | 川越市 | 一律 15,000 円 |
| | 所沢市 | 強制循環型: 集熱面積 1 m ² あたり 20,000 円 (上限額 120,000 円) |
| | さいたま市 | 強制循環型: 一律 50,000 円 自然循環型: 一律 30,000 円 |
| 静岡 | 浜松市 | 一律 20,000 円 |
| 大阪 | 堺市 | 補助対象設備費の 1/3 以内 ※対象は事業所 |
| 岡山 | 岡山市 | 強制循環型: 補助率 1/5、上限額 50,000 円、自然循環型: 補助率 1/5、上限額 30,000 円 |

(注) 調査を行った 2023 年 10 月～11 月以降に制度変更等の可能性がある。

(出所) 各地方公共団体ウェブサイトをもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成。

図表 90 地中熱利用システムに対する自治体補助金制度の例

| 都道府県 | 地方公共団体 | 補助概要 |
|------|--------|---------------------------|
| 北海道 | 北海道 | 補助率: 1/2 以内 (上限額 100 万円) |
| | 札幌市 | 20 万円 (定額) |
| 新潟 | 新潟県 | 補助率 1/2 以内、上限額 500 万円 |
| 岩手 | 岩手県 | 補助率: 対象経費の 3/4、上限額 500 万円 |
| 秋田 | 秋田県 | 対象工事費の 10%、上限額 8 万円 |

| | | |
|-----|------|---|
| | 秋田市 | 補助対象経費の合計額の 1/3、上限額 100 万円 |
| 宮城 | 宮城県 | 補助対象経費の 1/5、上限額 50 万円 |
| 山形 | 山形県 | 【住宅設置空調】補助率 1/3、上限額 50 万円 |
| 東京 | 東京都 | 中小企業等：熱利用設備の助成対象経費 2/3 以内、上限 1 億円、等（地産地消型再エネ増強プロジェクト（都内設置）） |
| | 東京都 | 補助率 3/5、上限額 180 万円（災害にも強く健康に資する断熱・太陽光住宅普及拡大事業） |
| | 文京区 | 補助率 2/3、上限額 50 万円 |
| 神奈川 | 神奈川県 | 補助率 1/3、上限額 500 万円 |
| | 川崎市 | 補助率 1/4、上限額 200 万円 |
| | 横浜市 | 補助率 1/2、上限額 200 万円 |
| 愛知 | 愛知県 | 【大企業】補助率 1/2、上限額 1,500 万円 【中小企業】補助率 2/3、上限額 2,000 万円 |
| 大阪 | 大阪府 | 補助率 設備費の 1/3、上限額 300 万円 |
| 京都 | 京都府 | 補助対象経費の 1/5 |
| 兵庫 | 兵庫県 | 補助対象経費の 1/3、上限額 100 万円 |

（出所）地中熱利用促進協会「2023 年度 全国の地方自治体における地中熱に活用できる補助金・融資制度について」<<http://www.geohpaj.org/wp/wp-content/uploads/2023hojyokin.pdf>>（2023 年 12 月アクセス）をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成。

4. 建築物に関する規制

4.1 建築物省エネ法

「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）」では、特定建築行為をしようとする際に、建築物エネルギー消費性能基準に適合するかどうかの判定「建築物エネルギー消費性能適合性判定」を受けなければならないと規定している¹¹。まず特定建築行為の概要を以下に示す。

- 特定建築行為：特定建築物（居住のために継続的に使用する室その他の政令で定める建築物の部分）以外の建築物の部分（非住宅部分）の規模がエネルギー消費性能の確保を特に図る必要があるものとして政令で定める規模以上である建築物を指す。対象は以下のとおり¹²。
 - 非住宅部分の床面積が 2,000m² 以上
 - 特定建築物の増改築（増改築する部分のうち非住宅部分の床面積*が 300m² 以上のものに限る） ※外気に対して高い開放性を有する部分を除いた部分の床面積
 - 増築後に特定建築物となる増築（増築する部分のうち非住宅部分の床面積*が 300m² 以上のものに限る） ※外気に対して高い開放性を有する部分を除いた部

¹¹ 建築物省エネ法第 12 条「建築物エネルギー消費性能適合性判定」

¹² 一般財団法人住宅・建築 SDGs 推進センターウェブサイト<https://www.ibec.or.jp/ee_standard/act_outline.html>（2023 年 12 月アクセス）

分の床面積。ただし、特定増改築に該当する場合は、適合義務の対象外

建築物エネルギー消費性能基準は、一次エネルギー消費性能（BEI＝設計一次エネルギー消費量÷基準一次エネルギー消費量）に基づくこととなっており、以下のように定められている。

- 新築及び既存建築物の増改築：BEI ≤ 1.0
- 既存建築物（2016年4月時点で現存する建築物）の増改築：BEI ≤ 1.1

4.2 建築物のエネルギー消費性能計算プログラム（WEBPRO）

前述の建築物省エネ法で規定された省エネルギー基準（平成28年度基準）への適合性を判定するための「建築物のエネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版・住宅版）（以下、「WEBPRO」という。）」が無償で提供されている。WEBPROの非住宅版は、国立研究開発法人建築研究所により、住宅版は、一般財団法人住宅・建築SDGs推進センターにより、提供されている。WEBPROでは、設計した建築物に関する情報を入力し、アップロードすると、「設計一次エネルギー消費量」と建築物省エネ法上の「基準一次エネルギー消費量」を算定できる。

ここで、WEBPROにおける再エネ熱の扱いを非住宅版と住宅版に分けて整理する。

非住宅版の地中熱については、プログラムへの入力に関する参考情報として、「地中熱ヒートポンプの評価方法（タイプの判別方法）」及び「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水温度・熱源水ポンプ群合計消費電力計算方法」が策定されている。オープンループ型地中熱ヒートポンプは、WEBPROにおいて評価が可能である。非住宅版の太陽熱については、自然エネルギー利用設備として、「液体集熱式太陽熱利用設備」及び「空気集熱式太陽熱利用設備」のエネルギー消費性能の算定方法が策定されている。

住宅版の地中熱については、「地中熱ヒートポンプ温水暖房機」が評価対象とされ、算定方法が策定されている。住宅版の太陽熱については、「液体集熱式太陽熱利用設備」及び「空気集熱式太陽熱利用設備」のエネルギー消費性能の算定方法が策定されている。

4.3 ZEBに関する再エネ熱の扱い

図表91に示すように、基準一次エネルギー消費量に対して50%以上の省エネ実現をZEB基準としている。2019年には、延べ面積10,000㎡以上の大規模建築物において前述のWEBPRO上では評価されない「未評価技術¹³⁾」を活用してZEB Readyを志向する取組をZEB Orientedと位置づけている¹⁴⁾。15項目の未評価技術には地中熱利用の高度化（給湯ヒートポンプ、オープンループ方式、地中熱直接利用、等）が含まれており、ZEB Orientedの認証に向けたインセンティブとなる。しかしながら、図表92に示すように、実証事業における地

¹³⁾ 公益社団法人空気調和・衛生工学会において省エネ効果が高いと見込まれ、公表されたもの。

¹⁴⁾ 事務所、学校、工場等では、省エネルギー40%以上＋未評価技術導入、ホテル、病院、百貨店、飲食店、集合所等では、省エネルギー30%以上＋未評価技術導入。

中熱利用の高度化の導入件数は僅少である。

図表 91 ZEB の定義 (イメージ)



(出所) 資源エネルギー庁「ZEB ロードマップ検討委員会における ZEB の定義・今後の施策など」

図表 92 実証事業における未評価技術の導入状況

| 対象技術名称 | 導入件数 | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
| | 2019年度 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | |
| | 新築 | 既存 | 新築 | 既存 | 新築 | 既存 | 新築 | 既存 |
| ①CO ₂ 濃度による外気制御 | 3 | 0 | 2 | 3 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| ②自然換気システム | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| ③空調ポンプ制御の高度化 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| ④空調ファン制御の高度化 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| ⑤冷却塔のファン・インバータ制御 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| ⑥照明のソーニング制御 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 9 | 2 | 4 |
| ⑦フリークーリングシステム | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ⑧デシカント空調システム | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| ⑨クール・ヒートトレンチシステム | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| ⑩ハイブリッド給湯システム | - | - | 1 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| ⑪地中熱利用の高度化 | - | - | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ⑫コージェネレーション設備の高度化 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ⑬自然採光システム | - | - | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| ⑭超高効率変圧器 | - | - | 3 | 2 | 1 | 7 | 2 | 2 |
| ⑮熱回収ヒートポンプ | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(注) 集計にあたっては、未評価技術の導入を必須要件とした、2019年度、2020年度、2021年度、2022年度(9月末時点)の交付決定事業を対象としている。また、一つの事業で複数の技術が採用されている場合もある。

(出所) 資源エネルギー庁 ZEB・ZEH-M 委員会「ZEB・ZEH-M の普及促進に向けた今後の検討の方向性について」

て」(2023年3月)

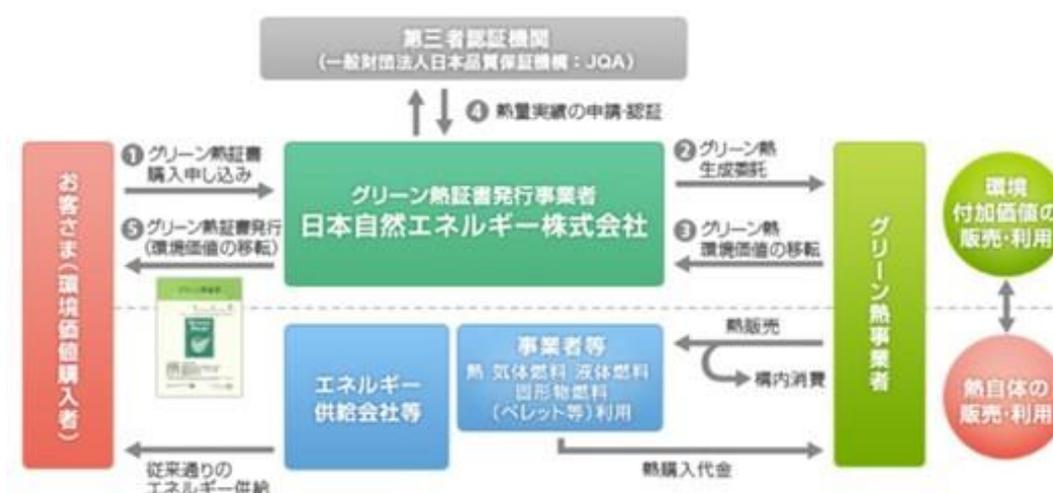
5. 環境価値取引

5.1 グリーン熱証書システム

「グリーン熱証書システム」は、自然エネルギーにより生みだされた熱の環境価値を、証書発行事業者「日本自然エネルギー株式会社」が第三者認証機関の認証を得て発行し、「グリーン熱証書」として取引する制度である。

制度のスキームは、図表 93 に示すとおりであり、証書購入費用は、証書発行事業者を通じて設備の維持・拡大等に利用される。

図表 93 グリーン熱証書制度のスキーム



(出所) 日本自然エネルギー株式会社ウェブサイト<<http://www.natural-e.co.jp/greenheat/about.html>> (2023年12月アクセス)

グリーン熱の生成方式は、以下の条件を全て満たす再エネとされており、当面は太陽熱、雪氷エネルギー、バイオマス熱とするとされている¹⁵。

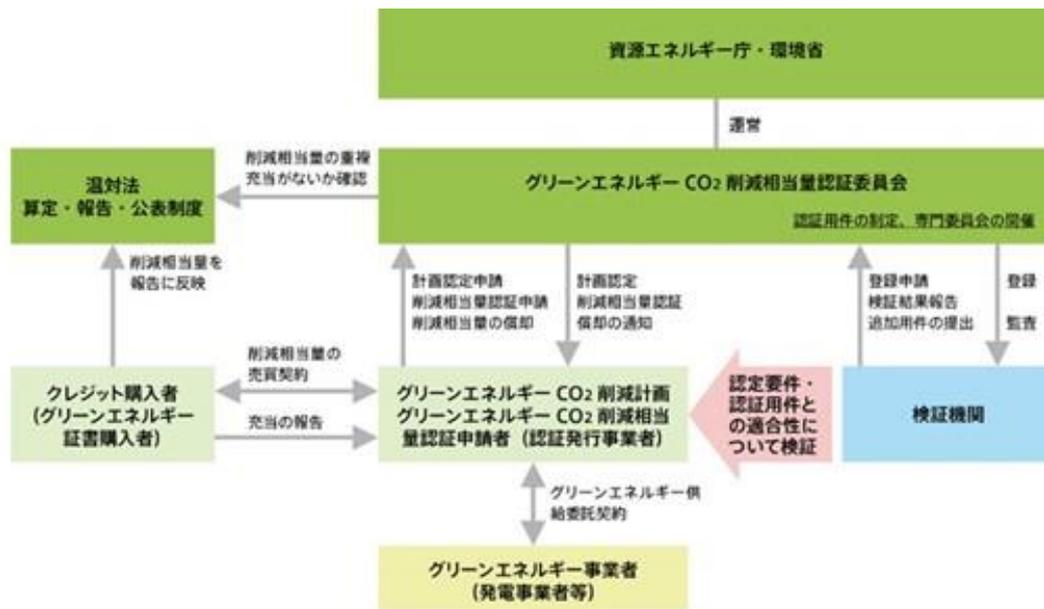
- 石油・石炭・天然ガス等の化石燃料による熱生成でないこと。
- 熱生成過程における温室効果ガス、および硫黄酸化物・窒素酸化物等有害ガスの排出がゼロか、または著しく少ないこと。

民間制度であるグリーン電力・熱証書のCO₂排出削減価値を「グリーンエネルギーCO₂削減相当量認証制度」により国が認証することで、地球温暖化対策推進法に基づく算定・報告・公表制度（SHK制度）における国内認証排出削減量として活用可能としている。これにより、証書の付加価値を高め、取引拡大を通じた更なる再エネの推進を行っている。

¹⁵ グリーン熱認証保証機構「グリーン熱認証基準解説書」（2019年6月）

スキームとしては、図表 94 に示すように、資源エネルギー庁及び環境省が設置するグリーンエネルギーCO₂削減相当量認証委員会が CO₂ 排出削減量の認証を行い、認証を受けた証書購入者は、当該証書の CO₂ 排出削減価値を活用可能としている。CO₂ 排出削減価値は、熱種別にガス給湯器、ボイラー、空冷 HP チリングユニットの代替エネルギー消費効率、CO₂ 排出係数に基づくデフォルト値を使用して、算出している^{16,17}。

図表 94 グリーンエネルギーCO₂削減相当量認証制度のスキーム



(出所) 資源エネルギー庁ウェブサイト

<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/green_energy/green_energy_co2.html> (2023年12月アクセス)

5.2 Jクレジット制度

Jクレジット制度は、省エネ設備の導入や再エネ利用による CO₂ 等の排出削減量などを「Jクレジット」として、国が認証する制度である。図表 95 のスキームに示されるように、Jクレジットの創出側は、省エネ設備や再エネ利用によりランニングコストの低減を図ることに加えて、クレジットの売却益を投資費用回収や、更なる投資に充てることができる。一方、Jクレジットの購入側は、SHK 制度における国内認証排出削減量として活用可能である。

¹⁶ 資源エネルギー庁「グリーンエネルギーCO₂削減相当量認証制度運営規則」

¹⁷ 新設はデフォルト値使用、既設は個別に証明し、実態に即した数値を使用、又はデフォルト値使用している。

図表 95 Jクレジットのスキーム



(出所) Jクレジットウェブサイト「Jクレジット制度について」<<https://japancredit.go.jp/about/outline/>>

(2023年12月アクセス)

Jクレジットを創出する事業として、再エネの導入があり、そのなかには、再エネ熱を利用する熱源設備の導入により電力や化石燃料の使用量を削減する方法が含まれる。方法論の概要は以下のとおり。

- 対象熱源¹⁸：温泉熱、地熱、太陽熱、雪氷熱
- 適用条件¹⁹：再エネ熱を利用する熱源設備を設置すること。原則として再エネ熱を利用する熱源設備で生産した温熱又は冷熱の全部又は一部自家消費すること。
- ベースライン排出量の考え方²⁰：プロジェクト実施後の使用熱量を、ベースラインの熱源設備から得る場合に想定されるCO₂排出量。方法論のイメージは図表96のとおり。
- 主なモニタリング項目²¹：プロジェクト実施後の熱源設備による生成熱量、プロジェクト実施前の熱源設備又は標準的な熱源設備のエネルギー消費効率

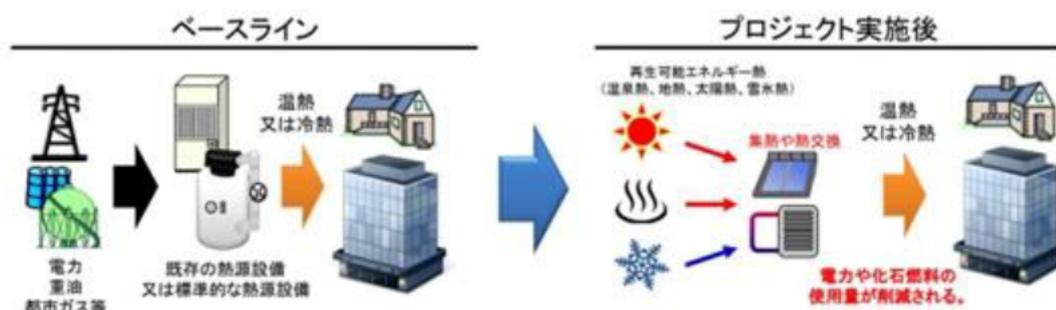
18 Jクレジット方法論 (EN-R-003) 「再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入」 (2023年4月)

19 Jクレジット方法論概要版 (EN-R-003) 「再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入」 (2023年4月)

20 Jクレジット方法論概要版 (EN-R-003) 「再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入」 (2023年4月)

21 Jクレジット方法論概要版 (EN-R-003) 「再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入」 (2023年4月)

図表 96 再エネ熱を利用する熱源設備の導入の方法論イメージ



(出所) J クレジット方法論概要版 (EN-R-003) 「再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入」(2023 年 4 月)

2023 年 7 月時点における J クレジット制度において再エネ熱を利用する熱源設備の導入を行う事業は、図表 97 のとおり。

図表 97 再エネ熱にかかる登録プロジェクト

| 通常型 (基本的に単独の工場・事業所等における削減活動を1プロジェクトとして登録する形態 ²²⁾) | | | | |
|---|-------------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| プロジェクト実施予定者 | クレジット取得予定者 | プロジェクト概要 | 実施場所 | 認証見込み量 (総量見込, t-CO ₂) |
| 株式会社萬正閣 | 公益財団法人北海道環境財団 | 温泉施設における再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入 | 北海道札幌市 | 2,991 |
| 株式会社タカヒョアグロビジネス | — | 農業用ハウスにおける再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入 | 大分県玖珠郡九重町 | 7,551 |
| 鶴雅リゾート株式会社 | 公益財団法人北海道環境財団 | 宿泊施設における再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入 | 北海道釧路市 | 1,168 |
| プロジェクト型 (複数の削減・吸収活動を取りまとめて1プロジェクトとして登録する形態) | | | | |
| 運営・管理者 | クレジット取得予定者 | プロジェクト概要 | 実施場所 | 認証見込み量 (総量見込, t-CO ₂) |
| OMソーラー株式会社 | OMソーラー株式会社 | 家庭における再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の新設 | 全国 | 22,086 |
| 株式会社サンジュニア | 株式会社グローバルエンジニアリング | 家庭における太陽熱給湯設備の導入 | 関東 | 10,044 |

²² J-クレジット制度事務局「J-クレジット制度について」(2023年7月)

| | | | | |
|------------------|---|-------------------------------|----|-------|
| 一般社団法人未来創造パートナーズ | － | 事業所における再生可能エネルギー熱を利用する熱源設備の導入 | 全国 | 8,263 |
|------------------|---|-------------------------------|----|-------|

(出所) Jクレジット「登録プロジェクト一覧(Excel)」<<https://japancredit.go.jp/project/index.php#result>> (2023年7月時点)をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

6. 技術開発支援

6.1 再エネ熱利用に係るコスト低減技術開発

NEDOは、再エネ熱分野の技術開発について、以下のようにテーマを設定の上、支援を行っている。

- 2011年度～2013年度：再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業
- 2014年度～2018年度：再生可能エネルギー熱利用技術開発
- 2019年度～2023年度：再エネ熱利用に係るコスト低減技術開発

「再エネ熱利用に係るコスト低減技術開発」では、技術開発の目標として、2030年までに地中熱、太陽熱等の再エネ熱システムのトータルコストを30%以上低減すること（投資回収年数8年以下とすること）が最終的なアウトカム目標とされている。同開発では、3つの研究開発項目が設けられている。それぞれの研究開発内容²³は、以下のとおり。

① 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

- 「大規模建築物、小規模建築物等、それぞれの建築物に導入することを想定した、我が国の利用に適合した高効率機器の開発、施工期間短縮に資する施工技術の開発、地中熱利用システムの最適化技術の開発、評価・定量化技術の高機能化開発等に取り組み、地中熱利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する。」

② 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

- 「高効率機器の開発や、年間を通じた太陽エネルギーの最大限の活用に資する太陽熱利用機器の開発、評価・定量化技術の高機能化開発、再生可能エネルギー熱を含む多様な熱源を組み合わせたシステムの最適化技術開発等に取り組み、太陽熱等利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する。」

③ 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

- 「地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易 TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。」

2023年度は、委託事業では上記③について「見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化」が実施されている。また、助成事業では上記①

²³ NEDO ウェブサイト「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」<https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100154.html> (2023年12月アクセス)

について「給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発」、「ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発」、上記②について「天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発」が実施されている²⁴。

6.2 地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業

環境省は、「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (2013~2021 年度)」「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業 (2022 年度~)」を行っている。これらの事業には、図表 98 に示されるように再エネ熱に関する事業も含まれる。

図表 98 再エネ熱に関する技術開発・実証事業

| 分野 | 実証事業の課題名称 | 実施事業者 |
|-------------|--|------------------|
| 住宅・建築物分野 | 高効率地中熱利用システムに関する実証事業 | 株式会社大林組 |
| | 太陽光ハイブリッドパネル (太陽光・太陽熱一体型パネル) の技術開発・実証研究 | 大和ハウス工業株式会社 |
| | 地中熱、太陽熱を直接利用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムに関する技術開発 | 立命館大学 |
| | 太陽熱ヒートポンプ°空調・給湯システムと冷暖房負荷を低減する外皮の技術開発 | 三井ホーム株式会社 |
| | 夏の太陽熱と家庭内排湯熱を活用した燃料ゼロの低温融雪システム技術開発 | 株式会社トラストプラン |
| | 帯水層蓄熱設備に付加する余剰再生可能エネルギー電力吸収システムの技術開発 | 大阪公立大学 |
| 再生可能エネルギー分野 | 太陽熱温水器・下水熱回収ヒートポンプ技術を利用した消化プロセスのエネルギー高効率化システム開発 | 大阪市立大学 |
| | 温泉発電における温泉熱利用効率の向上とノンフロン系媒体の安全性検証等による CO ₂ 排出削減対策強化のための技術開発 | 地熱技術開発株式会社 |
| | 集光型太陽熱発電 (CSP) システムに関する技術開発 | 三菱日立パワーシステムズ株式会社 |
| | 帯水層蓄熱のための低コスト高性能熱源井とヒートポンプのシステム化に関する技術開発 | 関西電力株式会社 |
| | 複数帯水層を活用した密集市街地における業務用ビル空調向け新型熱源井の技術開発 | 三菱重工サーマルシステムズ |

(出所) 環境省「実証事業データベース採択事業者一覧表」

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/db/>をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

²⁴ NEDO「P19006 2023 年度実施方針」(2023 年 3 月)

7. 導入アドバイス・情報提供

7.1 下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業

国土交通省では、下水熱利用事業の導入支援策として下水熱利用事業の導入を検討する地方公共団体等にアドバイザーを派遣し、個別に課題整理と助言を行う「下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業」を実施した。同事業では、主に以下の項目²⁵に関するアドバイスを提供した。

- 下水熱利用の基礎情報、下水熱利用の検討手順、適用可能な下水熱利用技術・システムと選定方法、下水熱ポテンシャルの推計方法・マップの作成方法、熱需要家候補の見つけ方・必要となる環境整備、採算性評価の考え方やそのポイント、関係者間の連携体制の構築方法、事業スキーム、必要となる条例整備・改正

年度毎のアドバイザーの派遣実績は、以下のとおり。

- 2015年度（18件）：旭川市、新潟県、燕市、水戸市、相模原市、焼津市、小諸市、高山市、大津市、滋賀県、京都府、大阪府、倉敷市、鳥取県、宇部市、福岡市、久留米市、大村市
- 2016年度（10件）：弘前市、宮城県、福島市、埼玉県、長野県、姫路市、岡山市、福山市、熊本市、福岡市
- 2017年度（5件）：福島市、京都府、姫路市、広島市、熊本県
- 2018年度（5件）：上越市、千葉市、横浜市、滋賀県、堺市

国土交通省では、下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業以外にも、問合せ窓口「下水道資源利用ナビ」や、下水熱にかかる取組事例集²⁶のとりまとめなどの施策を講じている。下水道資源利用ナビは、下水熱利用を検討する地方公共団体、民間事業者、民間団体を支援するための問合せ窓口として、設置するものである。下水道資源利用ナビでは、基礎情報の提供や、先行事例の紹介の他、国土交通省が整備している「下水熱利用マニュアル」の内容照会に対応している。

7.2 再生可能エネルギー事業支援ガイドブック

経済産業省は、再エネの導入に取り組む事業者や地方公共団体に向けて、支援施策や関連法規などの事業開始にあたり有用な情報をとりまとめて、公開している。媒体は、毎年度冊子媒体で発行される「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック」と、WEB版とがある。「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック令和4年度版」では、地産地消の再エネ熱利用の実現に向けた事業化事例として、大阪府堺市における下水熱利用が掲載されている。

²⁵ 国土交通省「下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業報告」（2019年3月）

²⁶ 国土交通省「地域の未利用資源を下水処理場でまとめてエネルギーに」（2018年4月）、国土交通省「下水熱にかかる取組事例集」（2018年3月）

図表 99 再生可能エネルギー事業支援ガイドブック令和4年度版（一部抜粋）

事例 16

～地産地消の再生可能エネルギー熱利用の実現に向けた事業化事例～

堺市鉄砲町地区における下水再生水複合利用事業

■事業及び発電設備の概要

本事業は、三宝水再生センターにて処理された、夏に冷たく冬に温かい下水再生水を、地域内で熱源・水源として複合利用する取り組みである。

具体的には、熱需要家であるイオンモール堺鉄砲町に、外調機（計400kW相当）、給湯用ヒートポンプ（15馬力相当×2台）、水冷スクルーチラー（70RT×2台）等を導入し、下水再生水の温熱を外調機での外気予熱（冬季のみ）、ならびに給湯用ヒートポンプ熱源として利用した後、水冷スクルーチラーの冷却水として利用している。さらに、熱利用後の排水を施設内の小川（せせらぎ）やトイレ洗浄水の水源として利用し、残りを内川緑地のせせらぎ水路に放流することで水辺環境の改善を図っている。

本事業の特徴として、以下の2点が挙げられる。

- ・下水再生水を給湯熱源水として利用し、温度低下後、空調熱源水として利用し、空調熱源のCOP向上を図っている
- ・下水再生水を熱源水として利用後、施設内で水源としても利用している

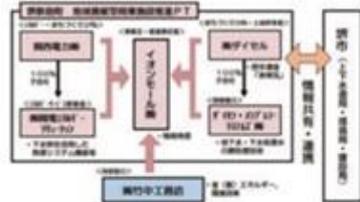
■事業実施上の課題

下水再生水の高度複合利用には、下水再生水の供給者、熱需要家など関係者の協力体制が必要となる。本事業では、堺市が下水再生水の活用を目指す中で、環境配慮型店舗づくりを通じた地域貢献を目指すイオンモール、エネルギー事業を通じた地域活性化に取り組む関西電力グループが協力することで事業の実現に至った。ただし、高度複合利用のためにシステムが複雑化し、初期費用が高額になることが課題となっていた。



イオンモール堺鉄砲町と下水再生水を水源とした小川（せせらぎ）

■事業の実施体制



本事業のフロー図



■利用した施策と内容

「再生可能エネルギー熱利用高度複合システム実証事業費補助金」

平成25年度から平成29年度にかけて同制度の補助を受け、システム構築を行い、CO2排出量やエネルギー消費量の削減効果等の検証を行っている。

■施策を利用したことによる事業の成果

当該施策の利用により、国内初の下水再生水の高度複合利用が実現し、従来方式（空気、冷却水を熱源とするヒートポンプ、チラー設備）と比較して、省エネルギー率4.4%、ランニング費用の省コスト率17.9%の実績が得られている（平成29年度実証事業結果）。

本事業の取り組みが、今後社会的に普及・展開していくことを目指して、三宝水再生センターからイオンモール堺鉄砲町、せせらぎ水路に至る見学ルートを設定するなどして、モデル事業の普及に取り組んでいる。

■問い合わせ先

株式会社間電エネルギーソリューション
 住所：大阪府大阪市北区中之島2丁目3番18号
 中之島フェスティバルタワー25F
 URL：http://www.kenes.jp/

（出所）経済産業省「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック令和4年度版」

同ガイドブックでは、「再生可能エネルギー事業事例集」が公開されている。事例集では、国の施策を活用した再エネ事業等の事業概要や施策の活用内容等をまとめている。このなかには、「地中熱利用設備を導入した大規模店舗の空調利用（IKEA 福岡新宮、IKEA 立川）」や、「ZEB 実証事業における地中熱の利用（郊外型大型店舗）」のように一部再エネ熱利用の事例も含まれる。

さらに、同ガイドブックでは、国による再エネ事業の支援メニューも公開している。支援メニューは、「設備導入」、「実証・モデル事業」、「調査」、「研究開発・その他」に分類の上、一覧形式で整理されている。2023年8月時点では約70の事業や制度等が掲載されており、およそ半数が再エネ熱を対象に含んでいる。

II. 海外における制度に関する調査

1. 制度等の全体像

再エネ熱の利用促進に関する制度は、その性質により複数の種類に分類できる。このうち、化石燃料の使用規制は、間接的に再エネ熱の利用を促進し得る。図表 100、図表 101 では、制度の種類毎に、諸外国における主な法制度・事業等を概観し、次項以降では種類別に整理する。

図表 100 海外における再エネ熱の利用促進に関する制度等の種類と主な法制度・事業

| 種類 | 主な法制度・事業等 | |
|--------------|-----------|--|
| | 国・地域 | 法制度・事業名等 |
| 普及方針策定・目標設定 | EU | 再生可能エネルギー指令 (RED) |
| | EU | RePower (リパワー) EU 計画 / EU ヒートポンプアクションプラン計画 |
| 補助金制度 | 独 | 効率的な建築物のための連邦補助金 (BEG) |
| | 仏 | 地中熱ヒートポンプ導入補助金 |
| | 英 | ボイラー更新スキーム (BUS) / 再エネ熱インセンティブ (RHI) |
| | 仏 | ヒートファンド制度 |
| 建築物に関する規制 | 独 | 建築物エネルギー法 (GEG) |
| | 仏 | 2012 年熱規則 (RT2012) |
| 化石燃料の使用規制 | 独 | 新築建築物への石油燃焼器導入の実質禁止 (EnEV) |
| | 仏 | 新築戸建住宅へのガスボイラー設置の実質禁止 (環境規制 2020) |
| 排出量取引 | 独 | ドイツ国内排出量取引制度 (nEHS) |
| 技術開発支援 | EU | EU 研究イノベーションプログラム |
| | 英 | ヒートポンプ対応プログラム |
| | 米 | 地熱 / 地中熱技術開発ロードマップ |
| 導入アドバイス・情報提供 | 仏 | (補助金制度として掲載した仏の「ヒートファンド制度」において技術的助言等も実施している) |

図表 101 再エネ熱の利用促進に関する主な政策・制度の経緯

| | 2000年代後半 | 2010年代 | 2020年代 |
|-------------------|---|---|---|
| 普及方針・目標設定・補助金・義務化 | EUの再生可能エネルギー指令 (RED I) に基づく再エネ熱を含む再エネ消費目標設定を受け、EU加盟国を中心に目標設定、補助・支援措置が進展 | EUの再生可能エネルギー指令改訂 (RED II) において、熱部門の再エネ割合の目標値を設定。ただし、努力義務 ・市場インセンティブプログラム (MAP)、効率的な建築物のための連邦補助金 (BEG) により補助 ・一定比率以上のエネルギー需要を再エネ熱でまかなうことを義務化 (建築物エネルギー法) ・再エネ熱利用システムの熱量に応じた補助金付与 (RHI) ・非家庭用、家庭用の順に、新規申請受付終了済み ・再エネ熱利用システムの導入やプロジェクト開発を支援 (ヒートファンド制度) | EUの再生可能エネルギー指令改訂 (RED III)、熱部門の再エネ割合の目標値を改訂、法的拘束力を有する見直し ・ボイラー更新スキーム (BUS) へ移行 |
| 化石燃料規制 | | 新築建築物への石油燃焼器導入を実質困難化 (EnEV) | 新築住宅へのガスボイラー設置を実質禁止 (環境規制 2020) |
| 排出量取引制度・炭素価格 | 産業部門・電力部門を主対象に EU-ETS 導入 | | EU-ETS の適用拡大や対象外の部門に対する規則強化 (Fit for 55 パッケージ) ・熱・運輸部門に燃料排出権取引制度導入 (nEHS) |
| 研究開発支援等 | EU、各国レベルで様々なプログラムを展開 (EU HORIZON、英国ネットゼロイノベーションポートフォリオ (NZIP)、等) 近年、国際的に有望な脱炭素技術としてヒートポンプ技術が多様な支援を受ける | | |

2. 普及方針策定・目標設定

2.1 EU 再生可能エネルギー指令

EU は、2009 年の「再生可能エネルギー指令 (RED I : Renewable Energy Directive I)」施行以降、電力に加えて熱も対象にしつつ、再エネの普及を推し進めている。

RED I では、2020 年までに EU の最終エネルギー消費量に占める再エネ由来のエネルギー消費量の割合 (以下、「再エネ割合」という。) を 20% とする目標を設定したが、この割合の算出にあたり、熱部門も含むこととされた。

2018 年には RED I が改訂され、RED II に移行した。RED II は、2030 年における法的拘束力を有する再エネ割合の目標値として最低 32% と設定した上で、目標値の上方修正条項を設けた。RED II における再エネの定義は、以下のとおり²⁷。

- 風力、太陽熱、太陽光、地熱/地中熱、大気熱、潮力、波力・その他海洋エネルギー、水力、バイオマス、ガス (埋立、下水処理、バイオ)
 ※ヒートポンプで得る大気熱及び地中熱も再エネに含まれる

2021 年 7 月には、欧州グリーンディールにおいて掲げられた 2030 年に GHG 排出量を最低 55% 削減するという目標実現に向けた政策パッケージ「Fit for 55」が策定された。再エネ熱に関しては、RED における再エネ割合目標の引き上げや、熱部門における再エネ利用目標の拘束力強化が提案された。

²⁷ EC 「Press release Renewable energy: Council adopts new rules」 <<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/renewable-energy-council-adopts-new-rules/>> (2023 年 11 月アクセス)

Fit for 55 の実現に向けて、RED II の改訂案として RED III が 2023 年 9 月欧州議会 (EC) の採択に至り、同年 11 月に発効している。RED III では、2030 年における再エネ割合目標を RED II の 32% から、42.5% に引き上げる²⁸ こととしており、RED III 発効の 18 カ月以内の加盟国における国内法化が求められる²⁹。

2.2 再エネ割合目標に関するガバナンス

EU は、2030 年におけるエネルギー分野と気候変動対策分野の目標達成を支援するために、「エネルギー同盟のガバナンスに関する規則 (2018/1999)」に基づき、計画、報告、モニタリングを行っている。同規則は、EU の計画及び報告がパリ協定と一致していることを保証するものでもある。

再エネ割合目標に関しては、各加盟国が再エネ割合の目標達成等に向けて策定する「国家エネルギー気候計画 (NECP : National Energy and Climate Plan)」及び進捗報告が定期的に EU レベルでモニタリングされている。

不十分な進展の対応については、同規則の第 32 条「EU のエネルギー及び気候に関する目標に向けた不十分な進展への対応」に規定されている。同規則では、加盟国の再エネ割合の進捗についても規定されている。主な規定概要は以下のとおり。

- 基準点 (2022 年、2025 年、2027 年) における EU の再エネ割合目標が達成されていないと結論付けられた場合において、国レベルで掲げる基準点を下回る加盟国は、欧州委員会からその評価を受けた日から 1 年以内に追加措置を確保しなければならない。追加措置は複数設けられており、再エネ導入拡大のための国内措置や、EU レベルの再エネファイナンスメカニズムへの自主的な資金拠出等が含まれる。(第 32 条 3)
- 2021 年 1 月以降、各加盟国の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギー源の割合は、RED I で規定された 2020 年の再エネ割合目標を下回ってはならない。下回る場合には、当該加盟国は、1 年以内にこの乖離をうめるのに十分な追加措置を講じなければならない。(第 32 条 4)
- 基準点 (2022 年、2025 年、2027 年) において、加盟国の再エネ割合が基準 (2022 年 : 18%、2025 年 : 43%、2027 年 : 65%) を下回る場合、当該加盟国は次期の報告書に乖離をうめる方法についての説明を記載しなければならない。(第 32 条 5)

NECP に関して、例えば、2019 年に提出されたドイツの NECP においては、2010 年にドイツで策定された国内目標である 2030 年に最終エネルギー消費量に占める再エネ割合を 30% とすることと整合する形で 2030 年目標が掲げられた。中間年については、図表 102 に

²⁸ 後述の RePower EU 計画に沿った「45%」の達成が、努力目標とされている。

²⁹ RED は、指令として加盟国政府に対して法的拘束力を及ぼす。各加盟国には、RED で規定された再エネ割合目標の達成のための国内立法等の措置が義務づけられる。期限内に法制化されない場合、罰金が課される可能性がある。欧州委員会は、RED の国内法制化を怠ったとして、オーストリア、ポーランド、キプロス、アイルランドを欧州司法裁判所に付託した経緯がある。(出所) 欧州委員会「Renewable Energy: Commission refers Ireland to Court for failing to transpose EU rules」<https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ES/IP_14_44> (2024 年 1 月アクセス)

示されるように 2030 年にかけて直線的に増加（年 1.2%ポイント増加に相当）する方向性が示されている。

図表 102 ドイツの NECP における再エネ割合の方向性

| 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19.2% | 20.4% | 21.6% | 22.8% | 24.0% | 25.2% | 26.4% | 27.6% | 28.8% | 30.0% |

* Indicative trajectory based on the Energy Concept

(出所) ドイツ政府「Germany, Final NECP (submitted in 2019)」(2019 年)

2.3 再エネ熱に関する目標設定

RED II では、加盟国は 2021～2025 年及び 2026～2030 年の各期間の熱部門の再エネ割合を指標目標として、年平均 1.3%ポイント以上増加しなければならないと定めており、努力義務となっている。

一方、RED III では、法的拘束力のある目標値として、2026 年までは 0.8%、2026～2030 年にかけては 1.1%と設定されており、加盟国による対応が想定される。

2.4 ヒートポンプの普及に関する概況

前述のとおり、EU の RED における再エネの定義には、大気熱が含まれており、加盟国においては再エネ割合の目標に関して、地中熱 HP 等に加えて、空気熱 HP の普及に取り組むことの合理性がある。

再エネ政策以外に、省エネ政策の文脈においても、HP の普及が重視されている。ロシアによるウクライナ侵攻後に、脱化石燃料依存の加速に向けて策定された RePower (リパワー) EU 計画 (2022 年 5 月) や、2050 年までのカーボンニュートラル実現に向けて策定作業が進む EU HP アクションプラン (2023 年第 4 半期採択予定だったものの、延期の見通し³⁰) などでは、HP の普及施策が打ち出されている。

EU におけるヒートポンプ普及に関する主な動向を図表 103 に示す。

図表 103 EU におけるヒートポンプ普及に関する主な動向

| |
|--|
| <p>■ 背景</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 欧州では、依然として冷温熱需要の約 70%を、天然ガスを中心とする化石燃料でまかなっている。また、家庭部門では最終エネルギー需要の約 80%が冷暖房用途で消費されている。 ➤ EU は、再エネ及び省エネ分野の投資の加速により、化石燃料輸入を削減することを目的として、多面的な目標設定を展開している。 |
|--|

³⁰ EHPA 「EU Commission slams brakes on Heat Pump Action Plan」 < <https://www.ehpa.org/news-and-resources/press-releases/the-european-commission-has-postponed-its-heat-pump-action-plan-until-after-the-eu-elections-the-decision-comes-despite-the-commissions-repeated-assurances-that-the-action-plan-would-be-out/> > (2023 年 12 月アクセス)

| |
|---|
| <p>■ Repower EU 計画（2022 年 5 月策定）</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 同計画では、HP の普及に関して以下の目標を設定している。 <ul style="list-style-type: none"> ◇ HP の普及率を 2 倍とし、2027 年までに、累計で 1 千万台の HP を導入 ➢ 普及を支える取り組みとしては、HP 技術のサプライチェーン強化や持続可能性向上のために、EC として、以下を実施すると示している。 <ul style="list-style-type: none"> ◇ HP に関する既存の要件改訂により、規制枠組みを強化し、ライフサイクルの持続可能性を確保 ◇ 欧州共通利益プロジェクト(IPCEI※)を通じて、公的リソースを共同出資する加盟国の取組を支援 <p>※EU の経済・社会に利益をもたらすなどの要件を満たし、補助金交付が認められる重要課題プロジェクトであり、研究開発や産業展開が支援される。</p> |
| <p>■ EU ヒートポンプアクションプラン（2023 年第 4 半期採択予定だったものの、延期の見直し）</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ HP に特化した EU のアクションプランなしには、経年した熱供給機器や化石燃料燃焼暖房機器が、化石燃料燃焼ボイラーに置き換わってしまうリスクがあると、プラン策定が行われている。 ➢ プランにおいては、HP の普及加速に重点を置いており、以下の要素を含むことが検討されている。 <ul style="list-style-type: none"> ◇ HP を広く展開可能とするための横断的な標準化・相互運用性、HP ソリューション等の情報へのアクセス改善、規制措置、資金調達の改善、等 |

(出所) EC 「COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan」(2022 年 5 月)、EC 「CALL FOR EVIDENCE FOR AN INITIATIVE Heat pumps - action plan to accelerate roll-out across the EU」(2023 年 4 月) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3. 補助金制度

3.1 導入費用に対する補助金

欧州各国では、再エネ熱利用システムの導入に対する補助金制度を設けることで導入時の負担を軽減して化石燃料使用の転換を促し、建築物からの GHG 排出削減を図っている。

ドイツ、フランス、英国では、国レベルで導入費用の補助を継続的に行っており、フランスと英国は 2023 年以降、補助を増額している。

各国における補助金制度の概要及び補助率・補助額等を図表 104 に示す。

図表 104 再エネ熱の導入に対する補助金制度

| 制度名 | 国 | 制度概要 | 補助率・補助額等 |
|--|-----|--|---|
| 効率的な建築物のための連邦補助金 (BEG : Federal Funding for Efficient Buildings) | ドイツ | ● 暖房用途の再エネ熱利用の補助金制度「市場インセンティブプログラム (MAP)」と「CO2 建築物近代化プログラム」を、2021 年に BEG に統合 | ● 個別設備への補助 ➢ 太陽熱 : 30%、HP : 35%、等 (石油暖房取換時 10%上乗せ) |

| | | | |
|---------------------------------------|------|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ● BEG では、住宅（新改築）、非住宅（新改築）、個別設備（改修）を対象として、各種支援を実施。支援対象技術に、再エネ熱利用技術（太陽熱、HP 等）が含まれる ● BEG は、ドイツ開発銀行（KfW）が運営 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 戸建住宅：上限 6 万ユーロ ● 優遇金利ローン：0.64%～ ➢ リフォーム、新築、購入の年率 ● 返済ボーナス：15%～50% |
| 地中熱 HP 導入補助金 | フランス | <ul style="list-style-type: none"> ● 住宅用地中熱 HP の導入量を 2025 年までに倍増する政策目標の達成に向けて、地中熱 HP への転換に要する費用を補助。 ● 他の補助制度と組み合わせることで、導入費用負担を最大で 90%軽減可能 | <ul style="list-style-type: none"> ● 地中熱 HP：5,000 ユーロ（2023 年 3 月以降の増額後の金額） ➢ （参考）導入費用の平均は 1.8 万～2.0 万ユーロ |
| ボイラー更新スキーム（BUS：Boiler Upgrade Scheme） | 英国 | <ul style="list-style-type: none"> ● 建築物での熱の脱炭素化支援策として、住宅用及び非住宅用の建築物への HP や、バイオマスボイラーの導入を支援するため、資本コストを補助 ※設備容量上限 45kWth。現状ほとんどが住宅用に対する補助となっている ● 導入技術に応じた補助額が定められている | <ul style="list-style-type: none"> ● 空気熱 HP：7,500 ポンド ● 地中熱 HP：7,500 ポンド ● バイオマスボイラー：5,000 ポンド（2023 年 10 月以降の増額後の金額） |

（出所）IEA「Federal Subsidy for Efficient Buildings (BEG) by KfW」

<<https://www.iea.org/policies/14957-federal-subsidy-for-efficient-buildings-beg-by-kfw>>、仏政府「Installation of a geothermal heat pump: aid increased to EUR 5 000」

<<https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A16385?lang=en>>、英国 Ofgem「Boiler Upgrade Scheme (BUS)」<<https://www.ofgem.gov.uk/environmental-and-social-schemes/boiler-upgrade-scheme>

bus#:~:text=What%20is%20the%20Boiler%20Upgrade,buildings%20in%20England%20and%20Wales.>

（2023 年 10 月アクセス）、英国 Ofgem「BUS Annual Report 2022-23」をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3.2 熱生産に対する補助金

前項で述べた導入費用の補助のように初期投資にかかる補助金制度が各国においてみられる。一方で、英国では、再エネ熱生産に対して一定期間にわたり熱量あたりの補助金を交付する「再エネ熱インセンティブ (RHI: Renewable Heat Incentive)」制度が運用されてきた。

制度の背景として、英国では建築物部門の GHG 排出量が多く、削減が課題となっていた。そのため、2011 年に非家庭用再エネ熱インセンティブ (NDRHI: Non-Domestic Renewable Heat Incentive) を、2014 年に家庭用再エネ熱インセンティブ (DRHI: Domestic Renewable Heat Incentive) を導入し、再エネ熱利用を促進してきた。図表 105 に示すように、NDRHI と DRHI は、いずれも要件を満たす再エネ熱の生産量に対して、一定期間にわたりタリフ（ポンド／

kWh) を金銭的インセンティブとして与える仕組みである。タリフ単価は、再エネ熱技術の種類等に応じて設定されている。

RHI 制度は既に新規申請の受付が終了し（家庭用は、2022 年 3 月まで、非家庭用は 2021 年 3 月まで³¹⁾、前述の BUS に移行している。しかしながら、RHI 制度は英国における主要な再エネ熱の補助金制度の役割を担ってきた経緯がある。

図表 105 RHI 制度の概要

| | NDRHI | DRHI |
|------------------------------|---|--|
| 対象 | 企業、公共部門、非営利組織 | 家庭用需要家 |
| 再エネ熱技術 | 固体バイオマス、HP（地中熱、水熱源、空気／水）、地熱、太陽熱、バイオガス燃焼、CHP | バイオマスボイラー、バイオマスペレットストーブ、HP（空気熱、地中熱）、太陽熱集熱器 |
| タリフ単価 (2023/2024、ペンス/kWh) | 1.41（大規模バイオガス燃焼）～13.03（太陽熱） | 8.17(バイオマス)～25.03(太陽熱) |
| 支払期間 | 20 年間 | 7 年間 |
| 算定方法 | 再エネ熱出力を計量 | 再エネ熱生産量を推計 |

(出所) OFGEM 「Domestic RHI tariffs table (2023/24)」

<<https://www.ofgem.gov.uk/publications/domestic-rhi-tariff-table-2023-24>>、「Non-Domestic RHI tariff table (2023/24)」<<https://www.ofgem.gov.uk/publications/non-domestic-rhi-tariff-table-2023-24>> (2023 年 10 月アクセス) をもとに三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング作成

3.3 その他の補助金（仏ヒートファンド制度）

前項までに示した補助金制度以外の制度として、フランスにおける再エネ熱分野の主要な施策であるヒートファンド制度（Fonds chaleur）の概要を整理する。

フランスは、2030 年までに熱消費量の 38%を再エネ由来とすることを目標として、再エネ熱の普及を推し進めている。この一環として、環境・エネルギー管理庁（ADEME）は、ヒートファンド制度に基づき、再エネ熱のプロジェクト開発の各種支援（技術的助言、研究支援、ガイダンス資料提供等）の他、再エネ熱利用システムの社会実装に向けた補助金交付等を行っている。また、地中熱については、熱応答試験の経済的支援等を行っている。

同制度では、集合住宅等の開発事業者、自治体、企業が支援対象とされている。対象技術は、太陽熱、地熱／地中熱、バイオマス、廃熱回収、地域熱供給等である。同制度は、2009 年の開始以降、7,145 以上のプロジェクトを支援した実績があり、図表 106 に示すように、技術別ではバイオマスや太陽熱が占める割合が大きい。

なお、同制度の予算は以下に示すように増加傾向にある。

- 2018 年：250 百万€
- 2019 年：307 百万€

³¹⁾ ただし、一部 COVID19 影響に伴う延長あり。

- 2020年・2021年：350百万€
- 2022年（エネルギー危機に伴う増額）：520百万€

図表 106 ヒートファンド制度技術種別支援実績件数



(注) 赤字は仮訳。

(出所) ADEME 「Guide Fonds Chaleur 2023」 (2023年10月)

4. 建築物に関する規制

建築物のエネルギー性能や GHG 排出量の規制は、再エネ熱の普及に影響することが考えられる。ドイツの「建築物エネルギー法」は、新築建築物に対して再エネ熱によりエネルギー需要の一定割合以上をまかなうことを要件としている。また、フランスでは、現行の「環境規制 2020」の発効前までは、新築戸建住宅は「2012年熱規則」に則り、太陽熱温水生産を選択肢に含む再エネ利用が義務付けられていた。現在は、再エネ利用の義務を課す形ではなく、暖房起源の CO₂ 排出量を規制する形となっている。図表 107 において、建築物に関する規制における再エネ利用義務の概況を示す。

図表 107 建築物に関する規制における再エネ利用義務の概要

| 項目 | 国 | 概要 | 対象となる再エネ技術 |
|---|------|--|---|
| 建築物エネルギー法 (GEG: Gebäudeenergiegesetzes) | ドイツ | <ul style="list-style-type: none"> ● 新築建築物の再エネ熱の使用割合の最低要件を定めていた再エネ熱法 (EEWärmeG) は、基本的に要件を引き継ぐ形で、2020 年 11 月に GEG に統合 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 使用可能面積 50m² を超える新築建築物 (住宅・非住宅) は、採用する再エネ熱の種類を選択し、それぞれに定められたエネルギー需要に対する最低使用割合を満たさなければならない (公的建築物は既築に対して再エネ利用の規定あり) ● 2024 年 1 月以降、新興開発地における新設建築物の暖房のエネルギーの 65%以上を再エネ由来とすることを義務づけ | <ul style="list-style-type: none"> ● 太陽熱：最低 15% ● 固体または液体バイオマス：最低 50% ● 地中熱・環境熱：最低 50% <p>※上記の他に、熱電併給や地域熱供給も、対象に含まれる</p> |
| 【参考】2012 年熱規則 (同規則における、戸建住宅のエネルギー性能要件充足のための再エネ利用義務) | フランス | <ul style="list-style-type: none"> ● 新築戸建住宅は、2012 年熱規則 (RT2012) に則り、エネルギー性能要件を満たすために、太陽熱温水器による温水生産を含む選択肢を採用することが義務付けられていた ● RT2012 は、2022 年 1 月に環境規制 2020 (RE2020) に移行しており、規制内容は強化されている <ul style="list-style-type: none"> ➢ RE2020 では、特に再エネ熱の導入は義務付けられておらず、暖房起源の CO₂ 排出量の規制を課す形となっている | <p>【参考】RT2012 では、新築戸建住宅に以下の選択肢等からの選択を義務付けていた</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 太陽熱温水器による温水生産 ➢ 暖房ネットワーク (再エネまたは廃熱回収 50%以上) への接続 ➢ 建築物要件に対する再エネの寄与が年間 5kWh/m² 以上と提示 |

(出所) BMWSB 「Das Gebäudeenergiegesetz」

<<https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/gebaeudeenergiegesetz/gebaeudeenergiegesetz-node.html>>、「Gebäudeenergiegesetzes, § 34-45」、フランス政府ウェブサイト「Réglementation environnementale RE2020」<<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>> (2023年10月アクセス)等をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

5. 化石燃料の使用規制

5.1 規制動向

一部の諸外国・地域は、建築物における暖房用途等の化石燃料使用を規制することで、電化や再エネ熱利用を促し、GHG 排出削減を図っている。規制強度が相対的に強いとみられるのが、ドイツ及びフランスにおける新築建築物に対する化石燃料の使用規制である³²。次頁において規制動向の概要を整理する。

なお、近年ドイツやフランス以外の国においても、化石燃料ボイラーに対する規制が講じられている。参考として、図表 108 に各国の対応状況を示す。

図表 108 化石燃料ボイラーの CN 貢献に向けた各国の対応

| | 内容 |
|-----------|---|
| ① 奥 | <ul style="list-style-type: none"> ● 20年から新築で石油・石炭ボイラ禁止。 ● (審議中) 22年から石油・石炭の暖房更新に際し、環境に適合した代替手段に置き換え。新築では、天然ガスの設置を23年以降禁止。25年以降、石油、石炭で特定年数を超えるものを段階的に廃止。35年までに全般的に石油・石炭ボイラー廃止。40年までに暖房供給脱炭素化。 |
| ② ベルギー | <ul style="list-style-type: none"> ● フランデレン地域(Flanders)では、新築で2022年から石油ボイラ設置禁止、2026年から新築で、天然ガス接続禁止。 ● ブリュッセル首都圏地域 (Brussels) では、2021年9月1日以降、石炭ボイラによる暖房・給湯機器の設置禁止、2025年6月1日から、石油ボイラの新設禁止。 |
| ③ デンマーク | <ul style="list-style-type: none"> ● 石油ボイラの設置を禁止 (新築は2012年・既築は2017年から)、2030年から天然ガスの暖房利用を禁止。 |
| ④ 仏 | <ul style="list-style-type: none"> ● 2022年7月1日以降、暖房への石炭利用・石油ボイラの新設禁止。 |
| ⑤ 独 | <ul style="list-style-type: none"> ● 24年以降、新設暖房は65%を再エネで賄う (石油・天然ガスボイラの実質禁止)。2044年12月31日までに化石燃料利用暖房を禁止。 |
| ⑥ アイルランド | <ul style="list-style-type: none"> ● 新築住宅において、2022年から石油ボイラ、2025年から天然ガスボイラの設置を禁止。NZEB規制 (2019年) の結果、2023年末までに新築住宅に化石燃料ボイラーが事実上フェードアウト。公共部門では (例外を除き)、2023年以降、化石燃料暖房を設置せず。 |
| ⑦ 伊 | <ul style="list-style-type: none"> ● 短期的には石油・天然ガスボイラの新設禁止等の政府提言はない。 |
| ⑧ ルクセンブルグ | <ul style="list-style-type: none"> ● 建築基準で石油天然ガスの利用を禁止 (2023年以降)。 |
| ⑨ 蘭 | <ul style="list-style-type: none"> ● 26年からハイブリッドHP基準が最低エネルギー効率基準 (ガスボイラーの新設・置き換え禁止) とする計画を政府が公表。 |
| ⑩ 諾 | <ul style="list-style-type: none"> ● 新築・既築建築物での暖房用石油ガス禁止。 |
| ⑪ スロバキア | <ul style="list-style-type: none"> ● 23年以降石油ボイラ販売と設置禁止の計画。 |
| ⑫ 英 | <ul style="list-style-type: none"> ● ガス導管接続住宅・建築物では2035年以降に天然ガスボイラー設備の設置を段階的に廃止することを提言。 ● イングランドのガス導管非接続住宅では、2026年 (建築物は2024年) 以降、化石燃料ボイラーの新設をフェーズアウトすることを提言。 |

(出所) 第 42 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会「参考資料 海外施策について」(2023年6月)

³² NEDO「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発／カーボンニュートラルに伴う再生可能エネルギー熱の国内外政策動向調査報告書」(2022年3月)

5.2 各国における規制

ドイツでは、省エネルギー法（EnEG：Energieeinsparungsgesetz）に基づく、省エネルギー令（EnEV：Energieeinsparverordnung）の施行により、2016年1月以降、新築建築物に石油燃焼器を導入することを実質的に困難としている³³。具体的には、EnEVで規定される省エネルギー基準を満たすためには、暖房需要が少なく、非常に優れた建築物の外皮性能であるといった条件でない限り、新築建築物に石油燃焼機器を導入できない。

フランスでは、前述のRE2020において新築戸建住宅のCO₂排出基準の閾値を厳しい水準に設定しており、実質的にガスボイラーの設置を禁止している。新築戸建住宅のライフサイクル（建築及び使用）は、年間4kg CO₂/m²と設定されており、天然ガスによる暖房システムはこれを上回る。新築集合住宅については、2025年1月以降に、実質的にガスボイラーが禁止される見通しである。ただし、ガスボイラーを、ヒートポンプの補器として使用することは引き続き可能である。

6. 排出量取引

6.1 ドイツ国内排出量取引制度（nEHS）

ドイツでは、産業部門や航空部門を対象とするEU域内排出量取引制度（EU-ETS）での対応が難しい民生部門や運輸部門のGHG排出量削減の対策を強化するために、国内排出量取引制度（nEHS：Nationales Emissionshandelssystem）が、2021年に導入された。

nEHSの概要を図表109に示す。nEHSは、暖房用や運輸用の化石燃料の販売・供給事業者に対して、CO₂排出量1トン当たりの価格を課す仕組みとなっている。価格水準は、図表110に示すように制度導入年の25ユーロ/CO₂-tから始まり、次第に高くなる設定である。nEHSに要する費用の化石燃料の小売価格への転嫁に伴い、徐々に電化や再エネ熱利用システムの経済性が高まる可能性が想定される。

図表 109 nEHS の概要

| |
|--|
| <p>■ 制度概要</p> <ul style="list-style-type: none">➢ 化石燃料販売者等が、販売分の排出量に相当するCO₂排出量証明書を購入し、独排出量取引機関（DEHSt）に引き渡す➢ 販売者等による小売価格転嫁を通じて、最終消費者の化石燃料使用の縮小・廃止へと誘導 |
| <p>■ 対象</p> <ul style="list-style-type: none">➢ 2021年～：石油、ディーゼル、暖房用石油、天然ガス、液化ガス、持続可能性基準に満たないバイオマス➢ 2023年～：上記に石炭が追加➢ 2024年～：上記の熱生産と輸送用途の燃料に加えて、廃棄物焼却が追加 |

³³ 現在 EnEV は、前述の GEG に統合。既設建築物での化石燃料暖房の設置禁止が計画されていた時期があったものの、2024年1月に施行された改正 GEG では、既設建築物に設置済みの化石燃料を使用する暖房を引き続き使用できることを規定している。

- 価格（ユーロ／CO₂-t）
 - 2021年～2025年は、価格が次第に高くなる形で事前に設定
 - 2026年以降の価格については、オークション形式で決定予定。特に、排出量の上限は設定されないとみられる
 - 2025年に実施予定の評価に基づき、将来的な価格に関する事項が決められる見通し

(出所) DEHSt ウェブサイト「Understanding national emissions trading」
 <https://www.dehst.de/EN/national-emissions-trading/understanding-national-emissions-trading/understanding-nehs_node.html> (2023年10月アクセス) をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

図表 110 2021年～2026年における nEHS の価格トレンド



(出所) DEHSt ウェブサイト「Understanding national emissions trading」
 <https://www.dehst.de/EN/national-emissions-trading/understanding-national-emissions-trading/understanding-nehs_node.html> (2023年10月アクセス)

なお、前述の EU の Fit for 55 では、EU-ETS の適用部門の拡大が掲げられ、2027年以降、建築物、陸上輸送等の部門に燃料を供給する事業者に新たな EU-ETS 制度が適用される見通しとなっている³⁴。

7. 技術開発支援

7.1 EU 研究イノベーションプログラム

EU では、1984 年以降、複数年次にわたる研究・イノベーション助成プログラムが実施されており、再エネ熱に関連するプロジェクトもある。具体的には、図表 111 に示されるテーマ内容に取り組みされており、家庭用、非家庭用ともに実績がある。

³⁴ ただし、燃料高騰が生じた場合の導入延期措置がある。(出所) EC ウェブサイト「Press release 25 April 2023」<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/04/25/fit-for-55-council-adopts-key-pieces-of-legislation-delivering-on-2030-climate-targets/?utm_source=dsms-auto&utm_medium=email&utm_campaign=%27Fit%20for%2055%27%3A%20Council%20adopts%20key%20pieces%20of%20legislation%20delivering%20on%202030%20climate%20targets> (2023年11月アクセス)

図表 111 HORIZON における再エネ熱関連のプロジェクト概要

| プログラム | 公募テーマ名 | テーマ内容・TRL 目標 | 助成額 (€/プロジェクト) |
|----------------|---|--|----------------|
| HORIZON EUROPE | HORIZON-CL5-2022-D3-01-14: Thermal energy storage solutions | 電力負荷平準化のためのコンパクトで高性能な熱エネルギー貯蔵ソリューション (HT-UTES) の開発 TRL 6~7 を達成 | 700 万~800 万 |
| | HORIZON-CL5-2022-D3-03-01: Innovative components and/or sub-systems for CSP plants and/or concentrating solar thermal installations | CSP・CST (集光型太陽光発電・太陽熱利用) の要素技術開発 TRL 6~7 を達成 | 550 万 |
| | HORIZON-CL5-2021-D4-01-04: Full-scale demonstration of heat upgrade technologies with supply temperature in the range 90 – 160°C | フルスケール (0.5~10MWth) で産業用熱利用向けに再エネ熱源等から熱をアップグレードする技術 (ヒートポンプ等) の開発 TRL 7~8 を達成 | 800 万 |
| 2018~2020 | LC-SC3-RES-4-2018: Renewable energy system integrated at the building scale | 各種建物の電力、熱・冷熱に関する再エネシェアを高めるためソリューション開発 TRL 4~5 の達成 | 200 万~500 万 |
| | LC-SC3-RES-5-2018: Increased performance of technologies for local heating and cooling solutions | 再エネ由来の冷暖房システムのソリューション開発 TRL 6~7 の達成 | 300 万~1,000 万 |
| | LC-SC3-RES-7-2019: Solar Energy in Industrial Processes | 産業プロセスの加熱・冷却需要を太陽エネルギーでカバーするソリューション開発 TRL 4~5 の達成 | 300 万~500 万 |
| | LC-SC3-RES-8-2019: Combining Renewable Technologies for a Renewable District Heating and/or Cooling System | 再生可能エネルギー 50%以上を使用する地域冷暖房ソリューションの開発 TRL 6 を達成 | 800 万~1500 万 |
| 2016~2017 | LCE-12-2017: Near-to-market solutions for the use of solar heat in industrial processes | 産業プロセスにおける太陽熱利用の費用対効果の高いソリューション開発 TRL 7 の達成 | 500 万~800 万 |
| | EE-04-2016-2017: New heating and cooling solutions using low grade sources of thermal energy | 地域熱供給で想定されるよりも低密度地域への競争力のある冷暖房ソリューション開発 TRL 5~6 から 7~8 への引き上げ | 300 万~400 万 |
| | LCE-07-2016-2017: Developing the next generation technologies of renewable electricity and heating/cooling | 太陽光、集光型太陽熱、太陽熱、風力、海洋、水力、地熱、熱電併給、再エネの統合の開発 TRL 4~5 の達成 | 200 万~500 万 |
| | LCE-17-2017: Easier to install and more efficient geothermal systems for retrofitting buildings | 既存建築物への地熱システムの導入改修の簡易化 TRL 7 の達成 | 500 万~800 万 |
| 2014~2015 | EE 13 – 2014/2015: Technology for district heating and cooling | 地域冷暖房システムのスマート化などの技術開発 TRL 4~6 の達成 | 150 万~200 万 |
| | LCE 2 – 2014/2015: Developing the next generation technologies of renewable electricity and heating/cooling | 太陽光、集光型太陽熱、風力、海洋、水力、深部地熱、再エネ熱の開発 | 300 万~600 万 |

| | | | |
|--|--|---|---------------|
| | | TRL 3~4 から 4~5 への引き上げ | |
| | LCE 3 – 2014/2015: Demonstration of renewable electricity and heating/cooling technologies | 太陽光、集光型太陽熱、風力、海洋、再エネ熱の実証 TRL 5~6 から 6~7 への引き上げ | 500 万~2,000 万 |

(出所) NEDO「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発／カーボンニュートラルに伴う再生可能エネルギー熱の国内外政策動向調査報告書」(2022年3月)をもとに三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

7.2 その他の技術開発支援

前項で挙げたEUの研究イノベーションプログラム以外にも各国レベルで技術開発支援が行われている。以下では、英国及び米国における再エネ熱関連の技術開発支援の概況を整理する³⁵。

英国では、10億ポンド規模のネットゼロイノベーションポートフォリオ(NZIP: Net Zero Innovation Portfolio)と呼ばれる政策パッケージにより、GHG排出量の削減に向けた技術及びシステムに対する資金提供を行っている。

NZIPの対象は多岐に渡るが、一部として、ヒートポンプ対応プログラム(HP ready programme)では、HPに関するソリューション開発が2021年以降行われている。

開発の種類は、以下の3種に大別され、主に住宅用のHPの導入進展が図られている。なお、開発は公募形式で実施されている。

- ストリーム1 (中小企業研究イニシアティブ(SBRI)を通じて最大3千万ポンドの資金提供)
 - 住宅用HPの大規模導入に向けたHPの費用対効果の向上、地域レベルでの高密度な導入に資するソリューション及び方法論の設計、実証、等
- ストリーム2 (最大2.5千万ポンドの資金提供)
 - ハードウェア/ソフトウェアの開発 (HP性能向上、導入障壁を解決するためのツール、技術、プロセス開発、等)
- ストリーム3 (最大5百万ポンドの資金提供)
 - 実証支援、研修

諸外国では再エネ熱に関する技術開発ロードマップを策定する動きがみられる。例えば、米国では、米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が、2019年に地熱/地中熱開発に関する包括的なロードマップを「Geo Vision」の一部として取りまとめた。同ロードマップは、地熱/地中熱のポテンシャルの活用に向けた指針とされることが意図されている。

同ロードマップでは、主に「資源アセスメント・サイト解析の改善・重要技術進展に関する研究」と「地熱/地中熱価値の最大化」の領域において技術開発面のアクション、対応す

³⁵ NEDO「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発／カーボンニュートラルに伴う再生可能エネルギー熱の国内外政策動向調査報告書」(2022年3月)

る成果、影響などを取りまとめている。アクションとしては、以下が含まれている。

- 資源ポテンシャルの評価
- 地中熱 HP の熱交換メカニズムとシステム設計の改善
- 地中熱 HP システムの設計・設置の標準化

8. 制度等の比較・示唆

再エネ熱を取り巻く制度等について、項目毎に海外と国内との比較の観点でまとめ、示唆を整理する。

- 普及方針策定・目標設定
 - 日本においては、EU と異なり、再エネ熱の定量的な導入目標（導入量、増加率、等）を掲げておらず、各種政策を強力に推進する根拠や基盤を欠いていると言える。この点は業界からの要望も強く、目標値の設定がその他の支援策の充実につながることから、今後のエネルギー政策における論点に成り得る。一方、欧州の目標値にはすでに日本で普及している大気熱が含まれる、欧州と気候条件が異なる、などの違いがある点には留意する必要がある。
- 補助金制度
 - 日本においては、国レベルの補助金は、単なる再エネ熱利用システムの導入は対象外としつつある。例えば、レジリエンス強化や ZEB・ZEH 実証に資するなど、補助金要件への合致が難化している上、補助金制度内容が事業年度毎に変更されることが多いことなどから、制度浸透や利用が難しい一面がある。地方公共団体による補助金は、純粋なシステム導入が補助対象となる場合が多いものの、補助額・割合が限定的な場合が多く、導入の意思決定に必ずしも結びつかない。
 - 諸外国においては、国レベルで継続的に同一の補助金制度を運用する傾向があり、制度の知名度が浸透し、広く活用されやすい状況が推察される。加えて、エネルギー危機を受け補助水準が増額される傾向が見受けられ、再エネ熱の導入の後押しとなっていると考えられる。
- 建築物に関する規制・化石燃料の使用規制
 - 新築建築物（住宅・非住宅）と公的建築物（改修も含む）について、ドイツでは一定割合を再エネで賄うことを要求しており、日本と比べ、再エネ熱利用が選択肢となりやすい状況にある。
 - 住宅に関しては、日本では、化石燃料（都市ガス、石油、等）の使用が特に規制対象とされていないものの、ドイツやフランスなどでは、規制強化の傾向がみられ、再エネ熱利用が選択肢となりやすい状況にある。なお、フランスでは、使用技術を、太陽熱温水器利用等の予め定められた選択肢に限定するアプローチから、排出量を規制するアプローチへの変遷がみられ、再エネ熱利用が更に普及するかどうかは、コスト便益に依存すると考えられる。

- 排出量取引
 - ドイツでは、先行的に、暖房用途の化石燃料販売を対象に国内排出量取引制度を導入しており、間接的に化石燃料価格を上昇させることで、化石燃料使用の休廃止を促している。将来的に価格水準が漸増することにより、現状以上に再エネ熱利用の機運が高まる可能性が予見されるものの、ドイツでは家庭用電気料金単価が欧州内で相対的に高く、再エネ熱利用のコスト面の競争力は精査が必要である。
- 技術開発支援・導入アドバイス・情報提供
 - EU では、主に HORIZON プログラムにより、熱分野の脱炭素化に資する再エネ熱利用に関する研究開発を実施してきており、日本においても継続的な技術開発支援が期待される。

III. 導入コストの現状に関する調査

1. 分析概要

再エネ熱の経済性を把握するため、コスト構成や規模や累積生産量に対するコスト変化等についても情報収集を実施した。また、収集したコスト情報をもとに、一定のコスト水準を想定し、以下の図表に示す投資回収年数と均等化熱コスト（熱量単価、LCOH）の2つの指標を用いて、経済性分析を実施した。

図表 112 経済性分析に用いる指標

| 指標 | 指標の概要 | 指標を用いる際の留意点等 |
|--|--|---|
| 投資回収年数 (Payback time) | 現在の設備または競合技術とのCAPEX、OPEXの差から、何年で投資回収できるかを算出する。 | 単純な指標のため、理解しやすいが、耐用年数の長く使用できる技術は、数字が不利になることや、CAPEX差とOPEX差が大きいものと両者が小さいものが投資回収年数は同一であっても、長期の採算性に差が生じる。 |
| 均等化熱コスト（熱量単価、LCOH： Levelized cost of heating） | CAPEXを耐用年数や割引率によって年価に換算して、OPEXと併せて、発熱量あたりの平均費用を算出したもの。 | CAPEX、OPEX、割引率を加味して、熱量当たりの平均単価で表せるため、結果はわかりやすく、他の技術と横比較しやすいが、熱の場合は技術によって熱の質が異なることに注意が必要である。 |

(注) CAPEXは資本費（初期費用）、OPEX：運転維持費を示す。OPEXは、燃料費を含む概念だが、稼働率などが採算性を左右する場合、OPEXをさらに固定費と変動費（燃料費）に分けることがある。

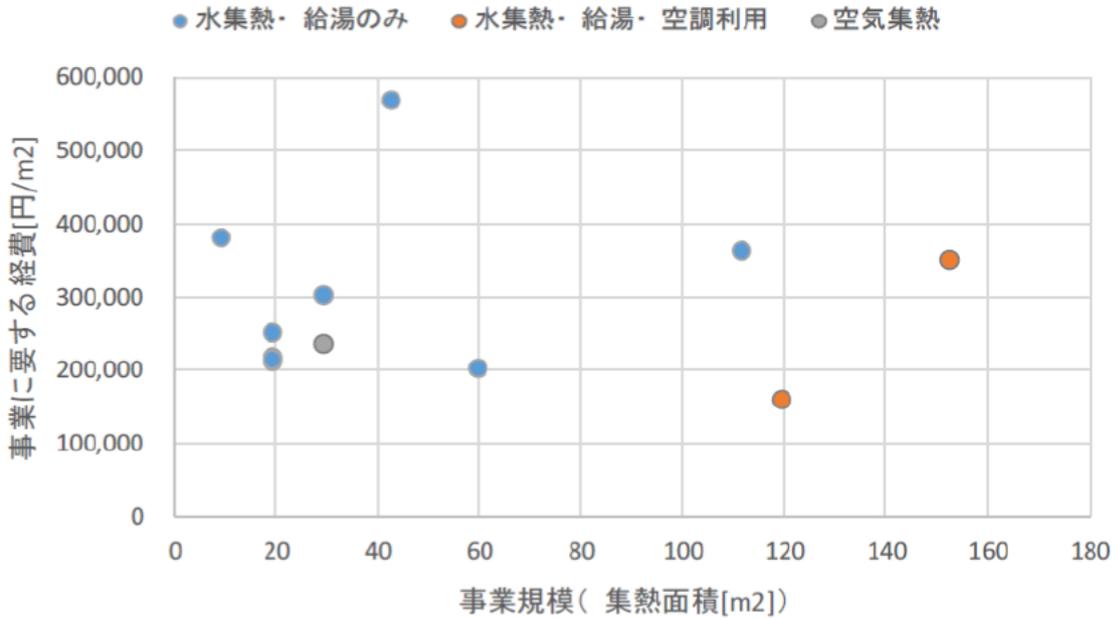
2. 分析結果

2.1 太陽熱

2.1.1 太陽熱利用に係るコスト

太陽熱は一般的に運転費用がかからない（燃料削減効果と比較して僅少）ことから、初期費用水準と、代替する燃料価格の水準で経済性が決まる。業務用の太陽熱のコスト水準は、過去の補助金事業の実績によれば、一般的な水集熱タイプで20～40万円/m²程度が多くなっている。

図表 113 太陽熱の初期費用の例



(注) 再生可能エネルギー事業者支援事業費補助金事業 (平成 28 年度) データを利用

(出所) 資源エネルギー庁委託調査 (三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社) 「再生可能エネルギー熱利用の導入拡大の方策の調査」 (2018 年 2 月)

2.1.2 太陽熱の経済性分析

太陽熱は補助熱源として利用することから、代替する燃料価格の水準と比較する。試算の想定値を以下に示す。太陽熱の想定値は、前述の補助金事業の水準から比較的安価な水準を設定した。

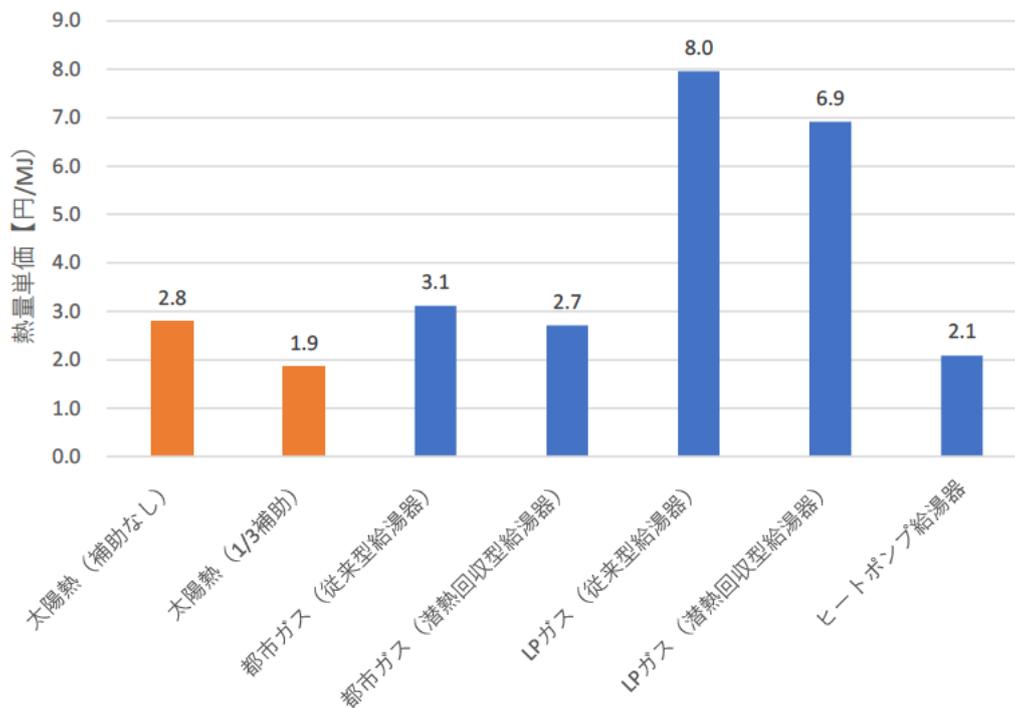
図表 114 太陽熱の経済性分析における想定値

| 項目 | | 想定値 |
|-------|-------------------|---------------------------|
| 太陽熱 | 太陽熱パネル単価 | 20 万円/m ² |
| | 耐用年数 | 20 年 |
| | 年間集熱量 | 4,901MJ/m ² ・年 |
| 都市ガス | 単価 | 115.17 円/m ³ |
| | 発熱量 | 46.05MJ/m ³ |
| LP ガス | 単価 | 667 円/m ³ |
| | 発熱量 | 104.22MJ/m ³ |
| 電気単価 | 電気単価 (高圧) | 24.77 円/kWh |
| その他 | 従来型給湯器効率 | 80.4% |
| | 潜熱回収型給湯器効率 | 92.5% |
| | ヒートポンプ給湯器効率 (COP) | 3.3 |
| | 割引率 | 3% |

(注) 電気・ガス価格は電力・ガス取引監視等委員会 (2023 年 5 月データ)、燃料単価は石油情報センター (2023 年 7 月データ) を参照。その他は想定値。

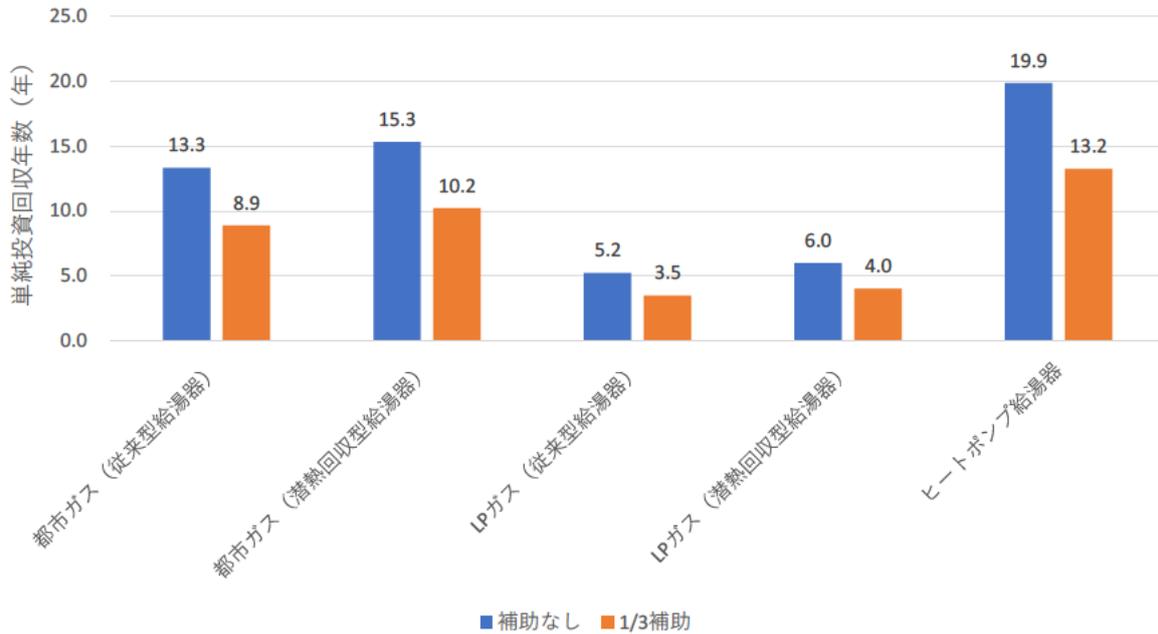
太陽熱の熱量単価（LCOH）と代替する燃料価格の水準を比較すると以下の図表の通りとなる。補助金を使用しない場合、比較的安価な太陽熱単価を想定しているものの、都市ガスやヒートポンプ給湯器と比較すると大きな差がない状況である。ただし、補助金を使用する場合には、競合技術と比較して安価な水準となる可能性がある。

図表 115 太陽熱（20年間のLCOH）と各熱源の燃料費の比較



算出したコスト水準に基づき、太陽熱の初期費用と省エネ効果（削減できる燃料費）から、投資回収年数を算出すると以下の通りとなる。高効率の機器（都市ガス潜熱回収型給湯器やヒートポンプ給湯器）に太陽熱を追加する場合、燃料費の削減量が限られることから、投資回収年数が長くなる。近年は、こうした高効率の機器の普及が進められていることから、太陽熱の優位性が軽減している可能性がある。それと比較すると、LPガス機器に太陽熱を追加する場合、投資回収年数は短くなる。地方部では、LPガスを利用せざるを得ない場合も多いことから、こうした地域では比較的早期の回収が可能である。

図表 116 太陽熱の各燃料に対する投資回収年数



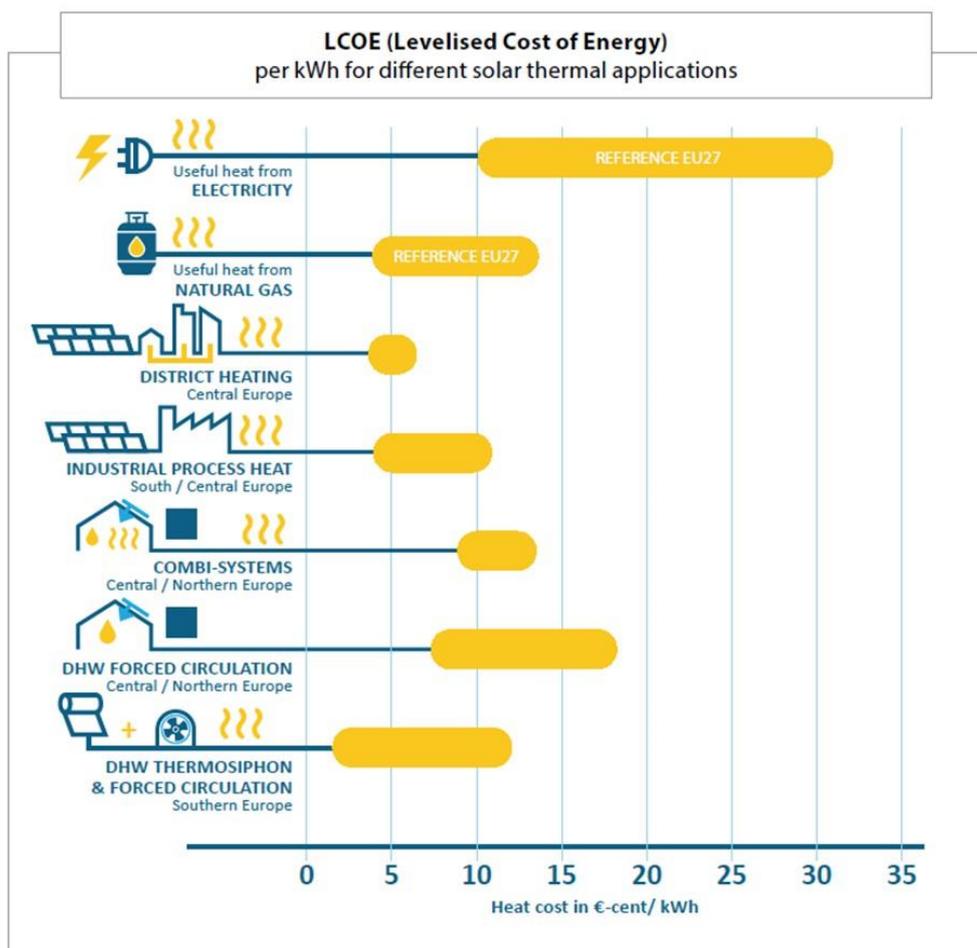
(注) 投資回収年数=太陽熱による燃料削減費÷太陽熱の初期費用

2.1.3 その他参考情報

(1) 海外におけるコスト水準

欧州における太陽熱に関するコスト分析事例では、LCOE (均等化エネルギーコスト) を比較した例でも、おおよそ太陽熱は電気暖房 (ヒートポンプではなく従来型の電気給湯器等と思われる) よりもコスト競争力を持ち、天然ガスと同程度または条件によってややコスト競争力を持つ結果となっている。

図表 117 太陽熱のコスト水準の比較 (欧州)



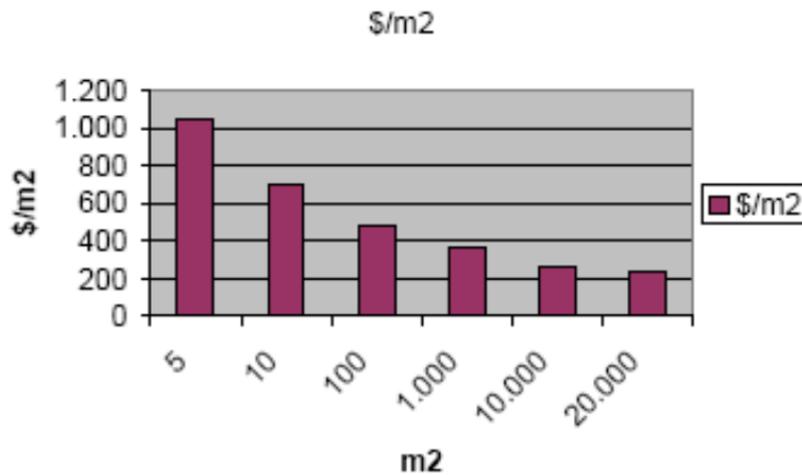
(注) COMBI-SYSTEM は給湯・暖房利用システムを示す。

(出所) Solar Heat Europe 「Solar Heat Markets in Europe 2019」 (2020 年 12 月)

(2) 太陽熱のスケールメリット

日本では、大規模な太陽熱利用が存在しないが、デンマークを中心に地域熱供給での大規模利用している事例がある。こうした事例では、コスト低減し、事例間のコスト幅も縮小することが報告されている。

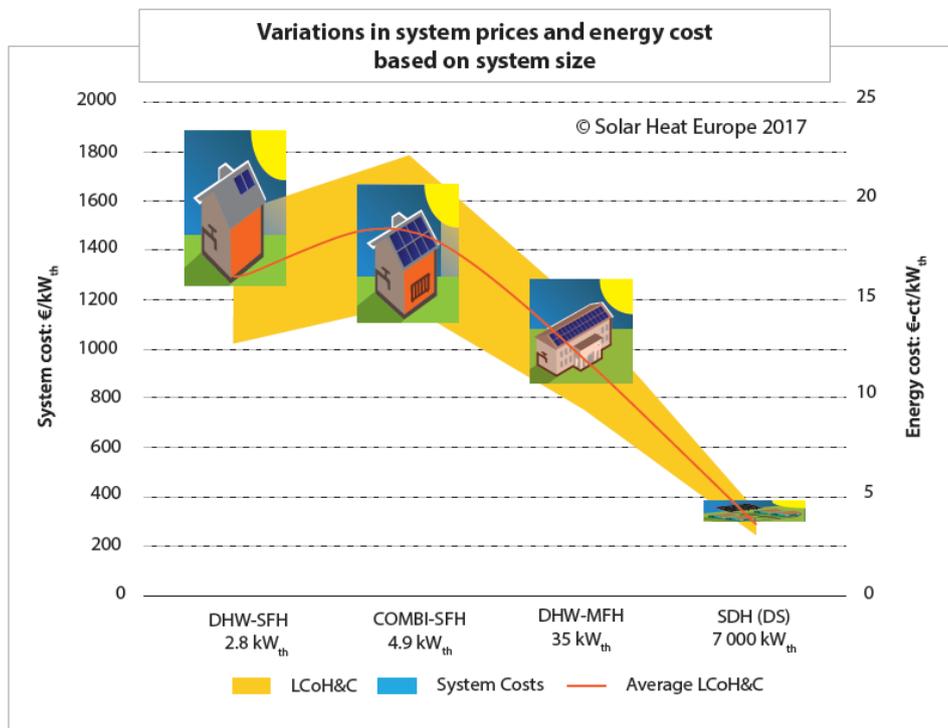
図表 118 太陽熱のサイズ別の単価に関する比較例①



(注) 熱貯蔵設備を含む。単価差だけでなく、大規模施設は、小規模施設に比べて、一般的に 20%以上性能に優れる。

(出所) JRC 「Background Report on EU-27 District Heating and Cooling Potentials, Barriers, Best Practice and Measures of Promotion」 (2012 年) (原典は DBDH 2005 District Heating - a precondition for efficient use of solar heating)

図表 119 太陽熱のサイズ別の単価に関する比較例②



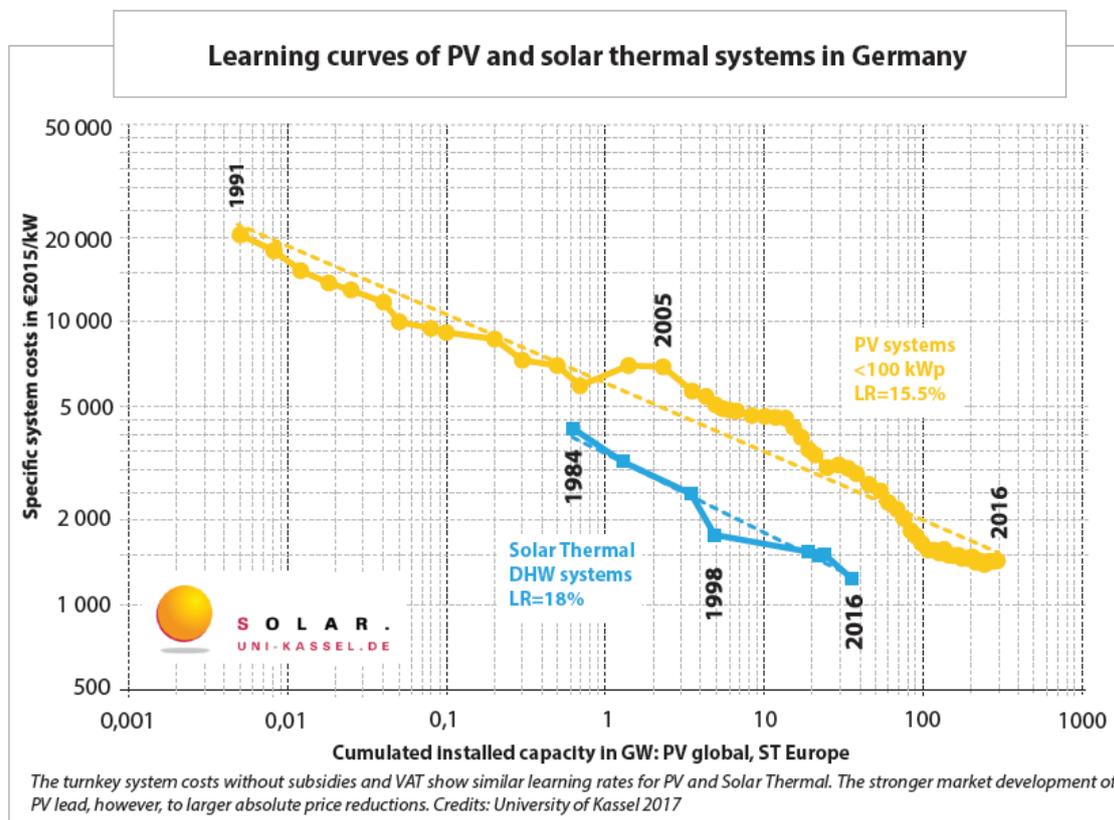
(注) 太陽熱のイラストがある棒グラフは kW あたりの導入コスト (左軸) で、黄色が LCOH (平準化熱コスト、右軸) の範囲、赤線が素の平均値である。SFH は一戸建て (Single Family House)、MFH は集合住宅 (Multi Family House)、SDH は Solar District Heating、DS は日中貯蔵 (Diurnal Storage) を示す。

(出所) Solar Heat Europe 「Solar Heat Markets in Europe 2016」 (2017 年 11 月)

(3) 太陽熱のコスト低減

一般的にエネルギー技術は、累積生産量の増加に伴い、コスト低減することが多い。ドイツの研究によれば、太陽熱の習熟率（累積生産量が倍増になった場合のコスト低減の割合）は18%であり、太陽光発電と同程度とされている。一方、太陽光発電の市場拡大が進んでいるため、結果的に価格低減の進捗に差が生じている。

図表 120 ドイツにおける太陽光発電（PV）と太陽熱の経験曲線



(出所) Solar Heat Europe 「Solar Heat Markets in Europe 2016」 (2017年11月) (原典はカッセル大学 (2017))

2.2 雪氷熱

2.2.1 雪氷熱利用に係るコスト

雪氷熱の主要費用は初期費用であり、主に貯雪庫の建設費または雪山造成費、ポンプ・ファン等が発生する。その他、ポンプ・ファン等を駆動のための電気代が発生する。

図表 121 雪氷熱利用に係る主な費用項目

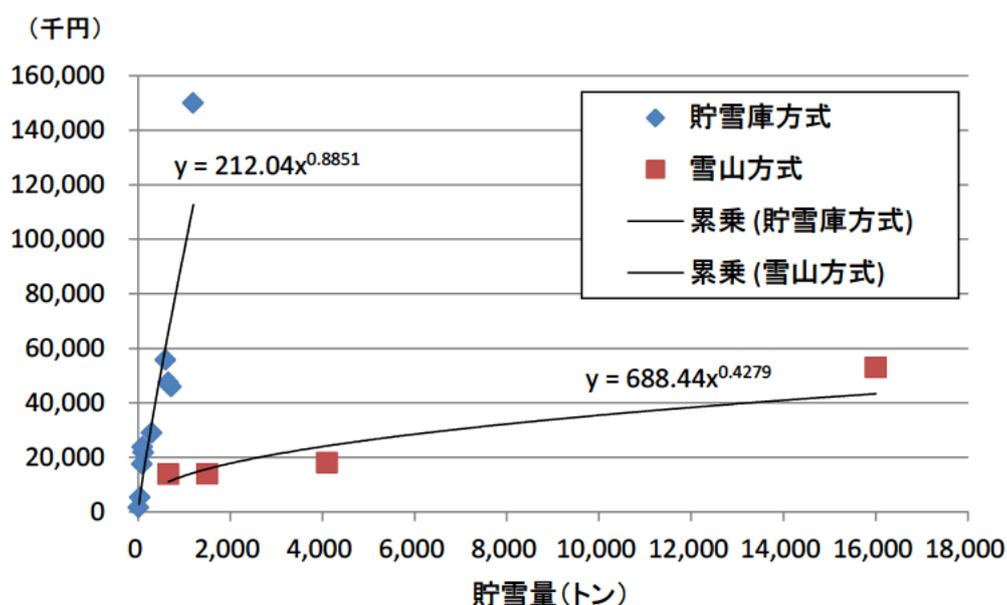
| 費用項目 | | 概要 |
|-------|--------------------------------|--|
| 初期費用 | 貯雪スペースの確保 (貯雪庫の建設費または雪山造成費) | ● 雪を貯蔵するためのスペースとして貯雪庫を建設する場合、大きな費用がかかる。雪山方式の場合は初期費用が軽減される。 |
| | 設備費 | ● 冷熱供給方式によって、配管・循環ポンプ・熱交換器等が必要になる。 |
| 運転維持費 | 雪収集費 | ● 雪収集するための人件費や除雪車等の費用がかかる。ただし、寒冷地では、雪氷熱利用しない場合であっても除雪費がかかっていることから、この項目については費用として認識しない場合や、場合によっては除雪費の削減ができる場合もある。 |
| | 保守・点検費 | ● 各種設備の保守・点検費が必要となる。 |
| | 電気代 | ● 各種設備の稼働のために電気を必要とする。 |

(注) 各方式の初期費用は図表 122 の回帰式から設定。ヒートポンプの単価、運転維持費及び耐用年数は公益社団法人ロングライフビル推進協会「建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版」(2020年3月)から設定。その他は一般的な値を設定。

雪氷熱の初期費用は貯雪方法によって大きく変わる。過去の調査によれば、貯雪庫方式の場合はスケールメリットが働きにくい、雪山方式の場合はスケールメリットが働きやすく、大規模化することによってコスト低減が可能となる。

雪山方式は貯雪庫に比べて自然融解が進みやすい点には留意が必要であるが、一定の規模以上であれば、雪山方式が有利になると考えられる。

図表 122 雪氷熱の初期費用に関する規模別事例



(出所) 資源エネルギー庁委託調査 (三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社)「再生可能エネルギー熱利用の導入拡大の方策の調査」(2018年2月)

2.2.2 雪氷熱の経済性分析

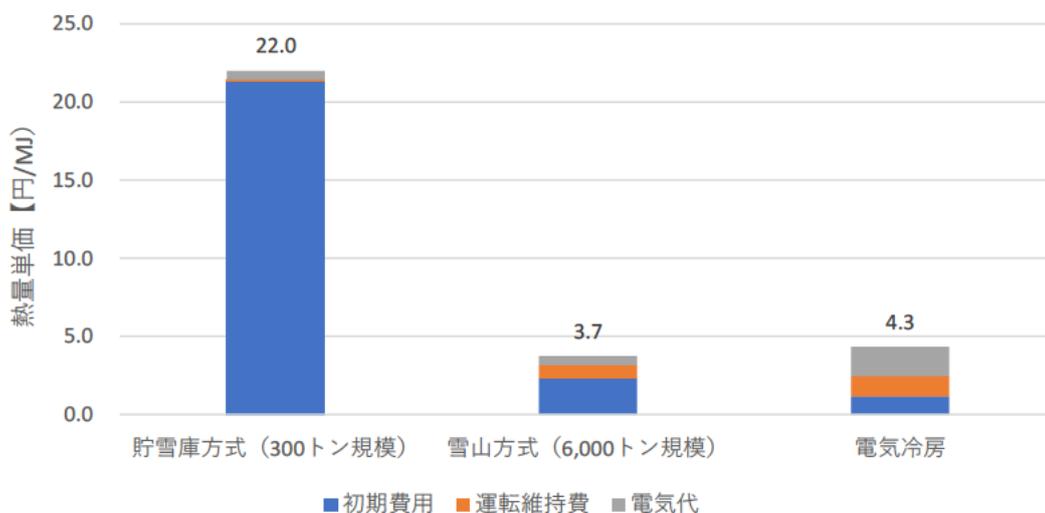
雪氷熱の試算に用いる想定値を以下に示す。雪氷熱は貯雪方式別に貯雪規模 300 トン、6,000 トンの2つのパターンを想定する。

図表 123 雪氷熱の経済性分析における想定値

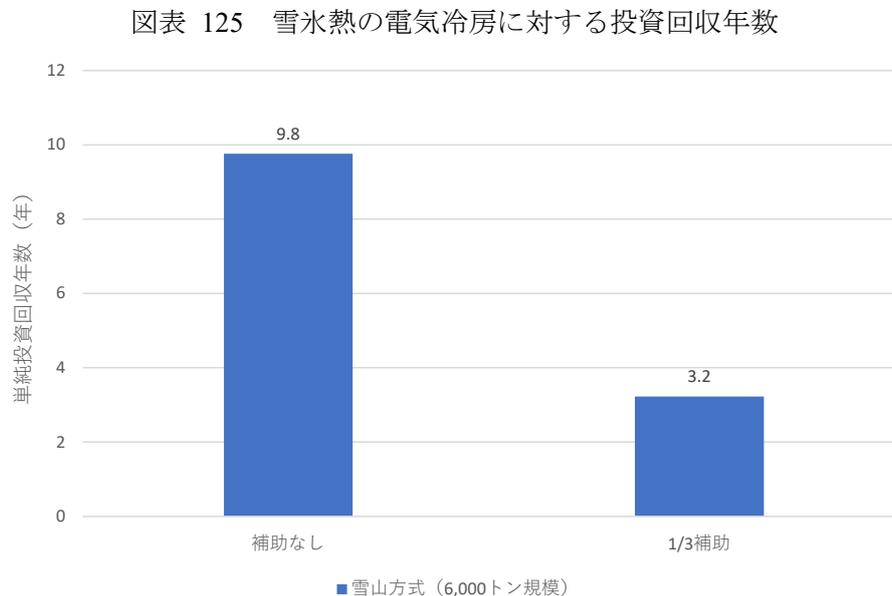
| 項目 | 想定値 | |
|-------------------|-----------|----------------------------|
| 貯雪庫方式 (300 トン規模) | 初期費用 | 110 千円/トン |
| | 耐用年数 | 30 年 |
| | 運転維持費 | 10 千円/年 |
| | COP | 12.2 |
| | 融解熱の有効利用率 | 80% |
| 雪山方式 (6,000 トン規模) | 初期費用 | 4.75 千円/トン |
| | 耐用年数 | 20 年 |
| | 運転維持費 | 399 千円/年 |
| | COP | 12.2 |
| | 融解熱の有効利用率 | 50% |
| 電気冷房 (エアコン) | ヒートポンプ単価 | 49.83 千円/kW (空気熱源ビルマルチ) |
| | 耐用年数 | 20 年 |
| | ヒートポンプ修繕費 | 3.78 千円/kW |
| | 冷房 COP | 3.70 |
| | 全負荷相当運転時間 | 800 h |
| その他 | 電気単価 | 24.77 円/kWh |
| | 割引率 | 3% |

電気冷房 (エアコン) と比較した雪氷熱の熱量単価 (LCOH) は以下の図表の通りとなる。小規模の貯雪庫方式の場合、電気冷房に比べて高コストになるが、大規模な雪山方式であれば、電気冷房と同程度のコスト水準となる。

図表 124 雪氷熱と電気冷房の LCOH の比較



算出したコスト水準に基づき、雪氷熱の投資回収年数を算出すると以下の通りとなる。小規模の貯雪庫方式の場合、投資回収不可（計算上の投資回収年数が100年以上）になるが、大規模な雪山方式であれば、一般的な投資回収年数の範囲に収まる可能性も出てくる。



(注) 投資回収年数 = (電気冷房の運転維持費 - 雪氷熱の運転維持費) ÷ (雪氷熱の初期費用 - 電気冷房の初期費用)

2.3 温泉熱

2.3.1 温泉熱に係るコスト

温泉熱は、源泉温度が低い場合、ヒートポンプを使用する必要があるが、源泉温度が高い場合には熱交換器のみで利用可能である。(ただし、源泉温度が高い場合でもあっても、熱交換器を用いて熱利用した排湯をさらにヒートポンプで二次利用するケースもある。)

環境省が公表する温泉熱利用事例一覧から、設備構成で事例を分類すると、熱交換器のみを使用している場合は事業費が低く、投資回収年数も短い傾向がある一方で、ヒートポンプを使用する場合には、投資回収年数が長くなる傾向がある。ただし、利用方法がシンプルであることや、温度帯が比較的高いことから、どちらの場合も他の再エネ熱と比較すると経済性は高い傾向が見られる。

図表 126 温泉熱のコスト水準

| 事例 | 源泉温度 | 総事業費 (一部補助金を含む) | エネルギーコスト またはランニング コスト削減率 | 投資回収年数 (補助金利用後) |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 熱交換器のみ を使用する事 例 | 48℃～98℃ (7事例、平均 74.21℃) | 500万円～7,960万円 (7事例、平均3,569万円) | 67%～93% (4事例、平均80%) | 1～3年 (2事例、平均2.0 年) |
| ヒートポンプ を含む事例 | 36℃～76.2℃ (10事例、平均 57.0℃) | 3,000万円～10億7,580万円 (10事例、3億8万円) | 16%～81% (8事例、平均47%) | 2～21年 (6事例、平均8.6 年) |

(注) 発電・ガスコージェネレーションシステム事業や熱交換器・ヒートポンプを使用していないもの(温泉配給事業)などを除く。なお、事例によってデータ掲載項目が異なることから、各項目で得られる情報のみを対象事例数とともに記載。

(出所) 環境省「温泉熱利用事例一覧(令和元年度～令和4年度)」<https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing/index.html> (2024年2月アクセス)

2.3.2 温泉熱の経済性分析

温泉熱の試算に用いる想定値を以下に示す。温泉熱は熱交換器を使用する場合とヒートポンプを使用する場合の2パターンを想定する。

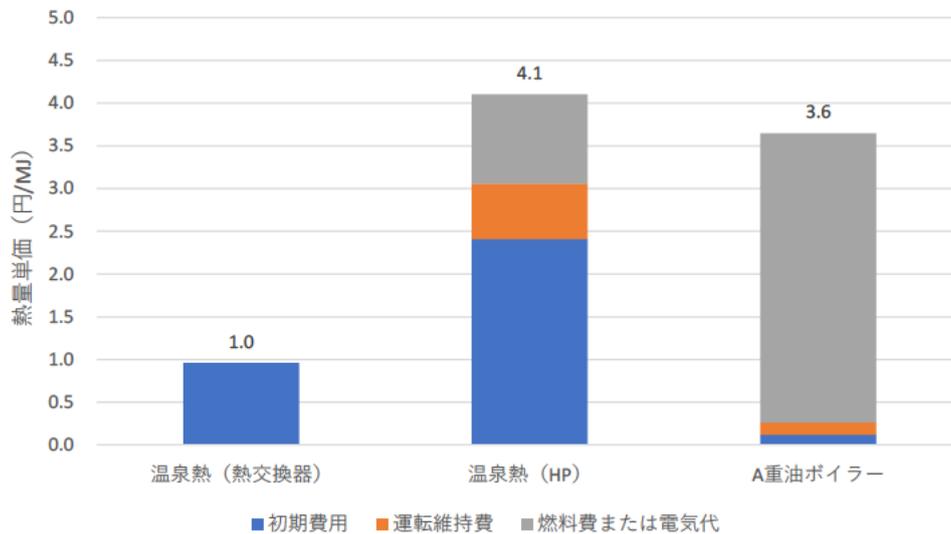
図表 127 温泉熱の経済性分析における想定値

| 項目 | 想定値 | |
|-----------------|-----------|--------------------------------------|
| 温泉熱 (熱交換器) | 初期費用 | 10,000千円 |
| | 耐用年数 | 20年 |
| | 運転維持費 | なし |
| 温泉熱 (ヒートポンプ) | 初期費用 | 22,083千円 (HP12,083千円、その他10,000千円) |
| | 耐用年数 | 15年(HP) 20年(その他) |
| | 修繕費 | 456千円/年 |
| | COP | 6.6 |
| | HP出力 | 97kW |
| | 全負荷相当運転時間 | 2,000h |
| A重油ボイラー | ボイラー費用 | 984千円 |
| | 耐用年数 | 15年 |
| | 修繕費 | 103千円 |
| | ボイラー効率 | 85% |
| | 全負荷相当運転時間 | 2,000h |
| その他 | 電気単価 | 24.77円/kWh |
| | A重油 | 103.5円/L(熱量36MJ/L) |
| | 割引率 | 3% |

(注) ヒートポンプ、ボイラーの単価、運転維持費及び耐用年数は公益社団法人ロングライフビル推進協会「建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版」(2020年3月)から設定。その他は環境省事例集等を参考に一般的な値を設定。

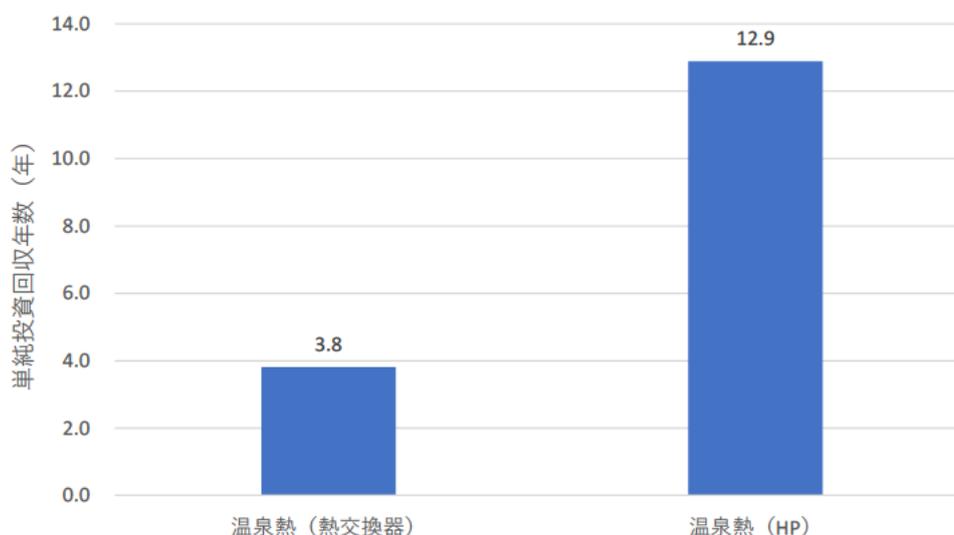
A 重油ボイラーと比較した温泉熱の熱量単価 (LCOH) は以下の図表の通りとなる。ヒートポンプを使用する場合は重油ボイラーと同程度の水準となるが、熱交換器のみを使用する場合は大幅に安くなる。

図表 128 温泉熱と A 重油ボイラーの LCOH の比較



算出したコスト水準に基づき、温泉熱の投資回収年数を算出すると以下の通りとなる。補助金を使用しないことを想定して計算すると、以下の通りとなる。ただし、付帯設備（施設までの温泉供給の有無）や源泉温度などによっても大きく変わる可能性がある。

図表 129 温泉熱の A 重油ボイラーに対する投資回収年数



(注) 投資回収年数 = (A 重油ボイラーの運転維持費 - 温泉熱の運転維持費) ÷ (温泉熱の初期費用 - A 重油ボイラー熱の初期費用)

2.4 地中熱

2.4.1 地中熱に係るコスト

地中熱の主要費用は初期費用であり、主に掘削費用、地中熱交換・ポンプ等の費用、ヒートポンプ費用が発生する。また、地中熱交換器は長期的に使用可能であるが、ヒートポンプについては保守や耐用年数での交換が必要となる。地中熱をヒートポンプで使用する場合は、ヒートポンプ駆動のための電気代が発生する。

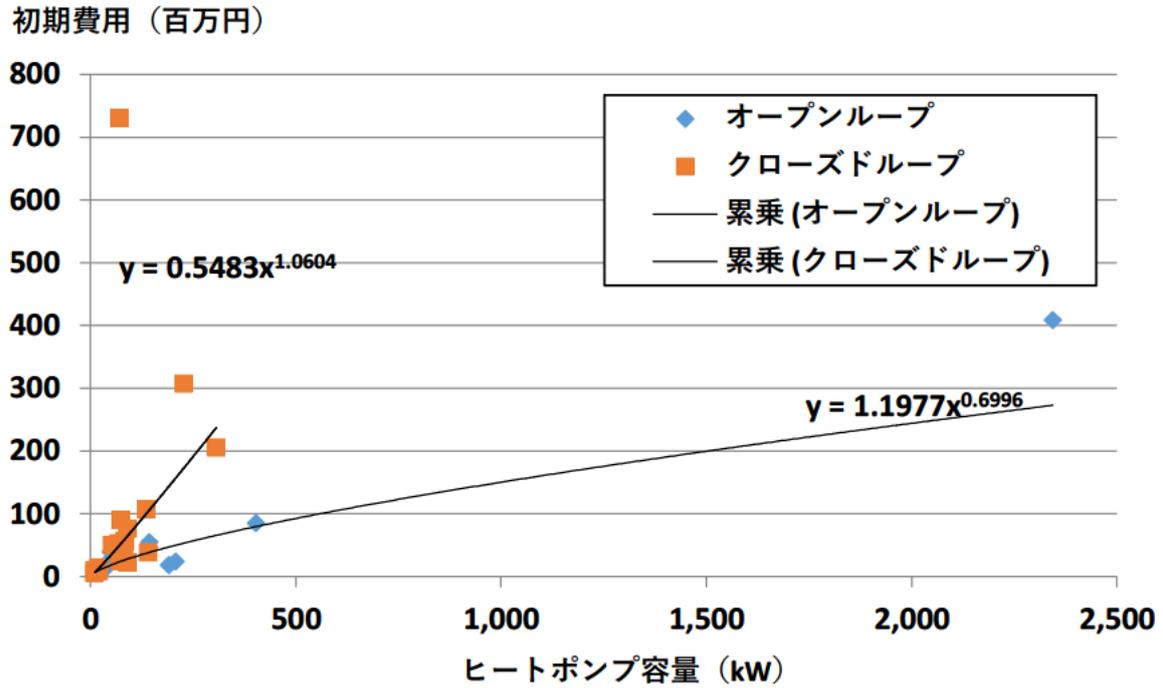
図表 130 地中熱利用に係る主な費用項目

| 費用項目 | | 概要 |
|-------|----------------|--|
| 初期費用 | 掘削費用 | <ul style="list-style-type: none"> ● イニシャルコストのうち大きな割合を占める。 ● クローズドループ方式かオープンループ方式であるかに加え、施設規模、地盤や地質条件、掘削口径や機材（マシン）の性能、現地の作業条件等様々な要因で変化する。（一般的には、1mあたり1.0～1.5万円程度とされる） ● 杭方式や既存の井戸等を使用することによって軽減できれば、コスト削減につながる。 |
| | 地中熱交換器・ポンプ等の費用 | <ul style="list-style-type: none"> ● クローズドループ方式の場合、Uチューブと呼ばれるU字型の採放熱パイプを使用する。 |
| | ヒートポンプ費用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 水熱源ヒートポンプや水熱源ビル用マルチエアコン等を使用する。 ● 一般的なエアコンほど量産化が進んでおらず、価格が高いケースがある。 |
| 運転維持費 | ヒートポンプ修繕費 | <ul style="list-style-type: none"> ● 掘削費用は初期費用のみであるが、HPに係る保守費用が生じる。 |
| | 電気代 | <ul style="list-style-type: none"> ● ヒートポンプを利用するため、電気を消費する。ただし、空気熱に比べて省エネとなる。 |

過去の補助金事業に実績によれば、オープンループ方式は、大規模になるにつれて初期費用が安価になる傾向があるが、クローズドループ方式は、規模が大きくなっても初期費用があまり低下していない。

クローズドループ方式においては、設備容量が大きくなればなるほど、同じだけ熱交換井を長くする必要がある。オープンループ方式では、必要な熱量を満たすだけの地下水が取得できるのであれば熱交換井を増やす必要はなく、大規模化した際の工事費用の増分がクローズドループ方式よりも少なくなると考えられる。

図表 131 地中熱利用の規模別初期費用



(注) 再生可能エネルギー事業者支援事業費補助金事業（平成 28 年度）データを利用

(出所) 資源エネルギー庁委託調査（三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社）「再生可能エネルギー熱利用の導入拡大の方策の調査」（2018 年 2 月）

2.4.2 地中熱の経済性分析

地中熱の試算に用いる想定値を以下に示す。

図表 132 地中熱の経済性分析における想定値

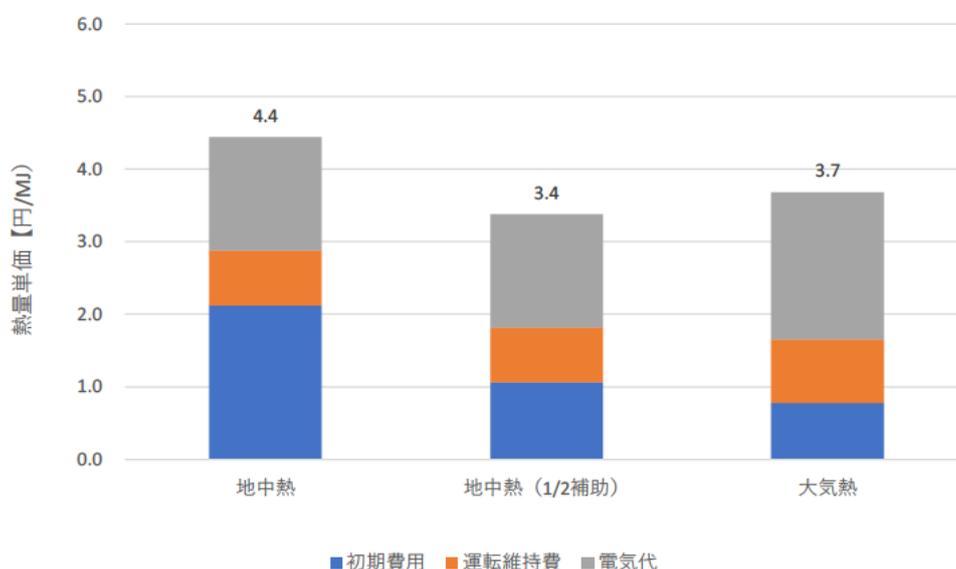
| 項目 | 想定値 | |
|-----|------------------------------|--------------------------------|
| 地中熱 | 掘削単価 | 10 千円/m (地中熱の採熱量 80W/m) |
| | 地中熱交換器 | 2 千円/m |
| | ヒートポンプ単価 | 49.65 千円/kW (水熱源ビルマルチ) |
| | 耐用年数 | 20 年 (ヒートポンプ) 50 年 (地中熱交換器) |
| | ヒートポンプ修繕費 | 3.26 千円/kW |
| | 季節平均 COP ※空気熱よりも 3 割改善を想定 | 冷房 4.81 暖房 3.77 |
| 空気熱 | ヒートポンプ単価 | 49.83 千円/kW (空気熱源ビルマルチ) |
| | 耐用年数 | 20 年 |
| | ヒートポンプ修繕費 | 3.78 千円/kW |
| | 季節平均 COP | 冷房 3.70 暖房 2.90 |

| | | |
|-----|-----------|--------------------|
| その他 | 電気単価 | 24.77 円/kWh |
| | 全負荷相当運転時間 | 冷房 800h 暖房 400h |
| | 割引率 | 3% |

(注) ヒートポンプの単価、運転維持費及び耐用年数は公益社団法人ロングライフビル推進協会「建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版」(2020年3月)から設定。その他は一般的な値を設定。

大気熱と比較した地中熱の熱量単価(LCOH)は以下の図表の通りとなる。地中熱は省エネ化が図れるものの、初期費用が大きく、補助金がない場合は、大気熱に比べて経済性が低い結果となっている。

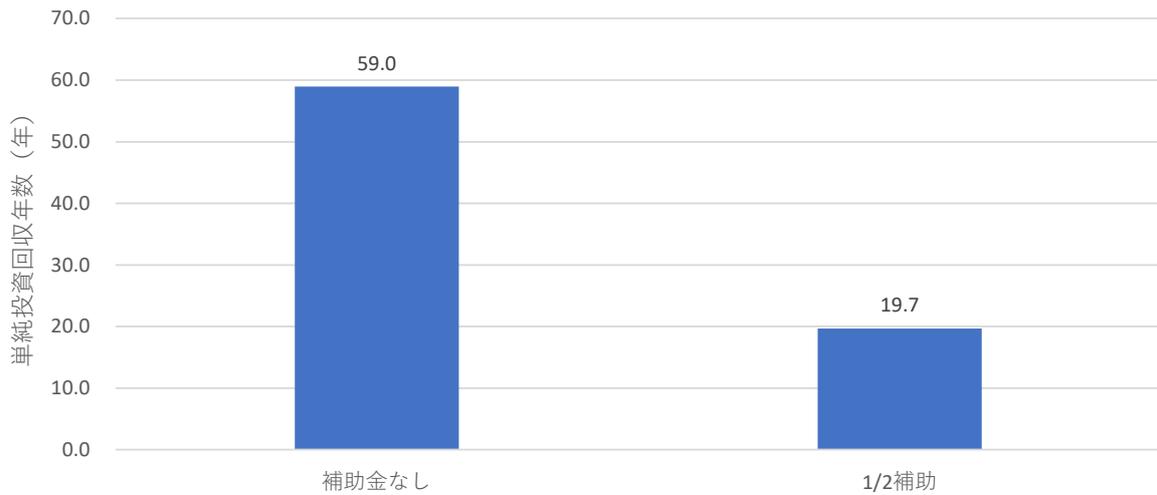
図表 133 地中熱と大気熱のLCOHの比較



算出したコスト水準に基づき、地中熱の投資回収年数を算出すると以下の通りとなる。ただし、単純投資回収年数の計算では、地中熱交換器が長期利用できる点は考慮されていないことに留意が必要である。

一般的に許容される投資回収年数の水準(5~10年程度)と比較すると、補助金を使用したとしても、長い年数となっている。ただし、地中熱は条件によってはコスト低減が可能なことから、そのような有利な条件での利用であれば計算条件よりも経済性が向上する可能性があることや、地中熱交換器自体は半永久的に使用可能なことから、長期目線で一般的な投資回収年数よりも長い年数が許容され得る可能性がある。

図表 134 地中熱の対気熱に対する投資回収年数



(注) 投資回収年数 = (対気熱の運転維持費 - 地中熱の運転維持費) ÷ (地中熱の初期費用 - 対気熱の初期費用)

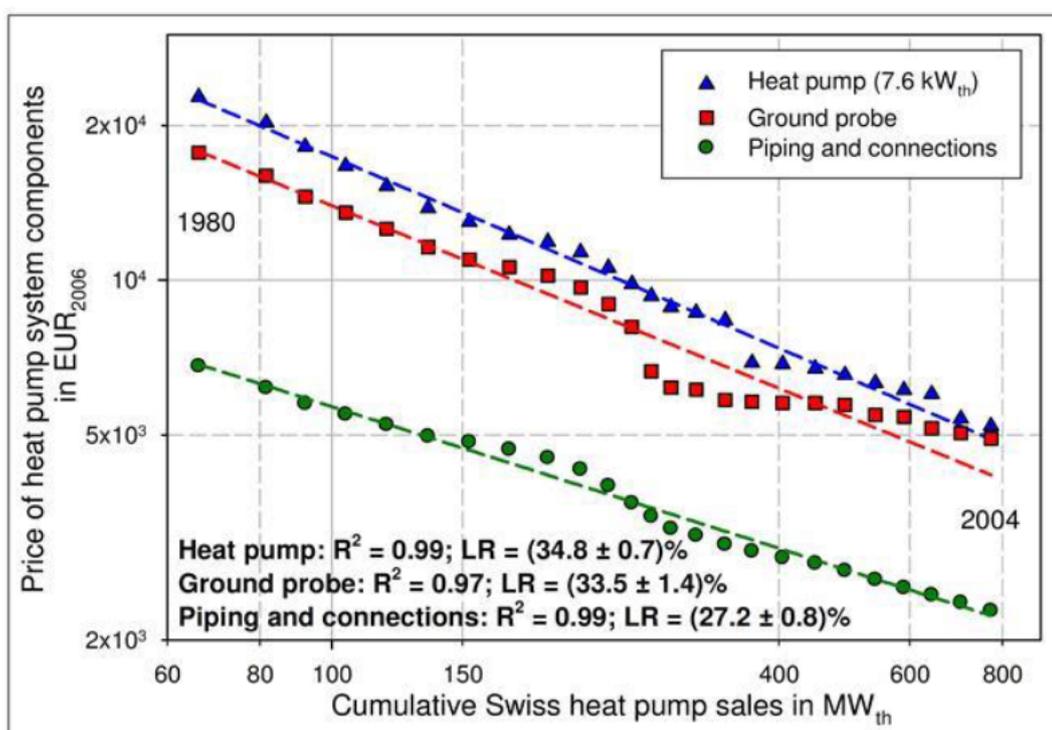
2.4.3 その他参考情報

太陽熱と同様に地中熱については累積生産量の増加に伴うコスト低減効果に関する研究について紹介する。

地中熱の普及が進むスイスを対象とした研究によれば、地中熱のヒートポンプの習熟率が 34.8%、地中熱交換機の習熟率が 33.5%、配管部分の習熟率が 27.2%とされている。

スイスのように普及段階に応じた適切な導入補助政策が行われ、十分な競争環境が成り立つことによって、累積容量が 2 倍になった場合、30%程度のコスト削減が達成できる可能性があることが示唆される。

図表 135 スイスにおける地中熱の経験曲線



(出所) Martin Weiss, Martin Junginger, & Martin K. Patel 「Learning energy efficiency - Experience curves for household appliances and space heating, cooling, and lighting technologies」 (2008年5月)

2.5 水熱源（海水熱・河川水熱・下水熱）

2.5.1 水熱源（海水熱・河川水熱・下水熱）に係るコスト

水熱源（海水熱・河川水熱・下水熱）の主要費用は初期費用であり、主に取水用配管の埋設等に係る土木工事費、取水用配管・ストレーナ等の費用、ヒートポンプ費用が発生する。また、取水用配管は、長期に使用可能であるが、ヒートポンプについては保守や耐用年数での交換が必要となる。水熱源をヒートポンプで使用する場合は、ヒートポンプ駆動のための電気代が発生する。

図表 136 水熱源利用に係る主な費用項目

| 費用項目 | | 概要 |
|------|------------------|--|
| 初期費用 | 土木工事費 | <ul style="list-style-type: none"> ● イニシャルコストのうち大きな割合を占める。 ● 取水元からの距離、地理的条件、現場の作業条件等様々な要因で変化する。 |
| | 取水用配管・ポンプ、ストレーナ等 | <ul style="list-style-type: none"> ● ヒートポンプ以外の設備として、取水用の配管、ポンプ、取水した水のごみを取り除くためのストレーナが必要となる。 ● どのような水熱源を使用するかによっても変わる。(海水であれば、腐食対策が必要になるなど) |
| | ヒートポンプ費用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 水熱源ヒートポンプや水熱源ビル用マルチエアコン等を使用する。 |

| | | |
|-------|-----------|--|
| | | ● 一般的なエアコンほど量産化が進んでおらず、価格が高いケースがある。 |
| 運転維持費 | ヒートポンプ修繕費 | ● HPに係る保守費用が生じる。 |
| | 電気代 | ● ヒートポンプを利用するため、電気を消費する。ただし、空気熱に比べて省エネとなる。 |

2.5.2 水熱源（海水熱・河川水熱・下水熱）の経済性分析

水熱源の試算に用いる想定値を以下に示す。水熱源の例として下水熱を想定する。

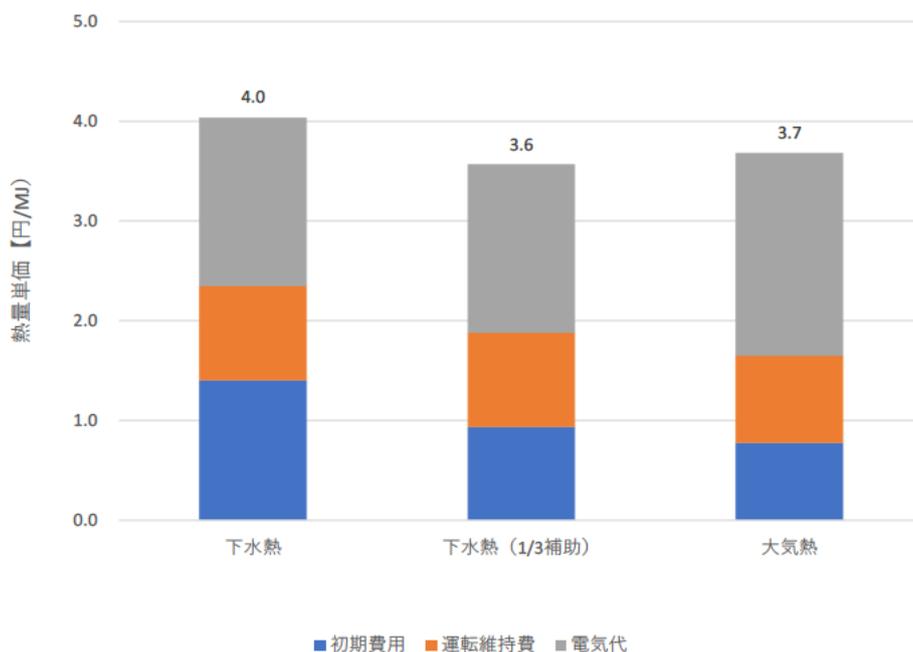
図表 137 下水熱の経済性分析における想定値

| 項目 | 想定値 | |
|-----|---|------------------------------|
| 下水熱 | 埋設配管単価 | 22.8 千円/m |
| | 取水場所からの距離（配管距離） | 500m |
| | ヒートポンプ単価 | 49.65 千円/kW （水熱源ビルマルチ） |
| | 耐用年数 | 20 年（ヒートポンプ） 50 年（地中熱交換器） |
| | ヒートポンプ修繕費 | 3.26 千円/kW |
| | 配管等修繕費 | 初期費用の 2%/年 |
| | 季節平均 COP ※空気熱よりも冷房 1.5 割、暖房 3 割改善を想定 | 冷房 4.26 暖房 3.77 |
| 空気熱 | ヒートポンプ単価 | 49.83 千円/kW （空気熱源ビルマルチ） |
| | 耐用年数 | 20 年 |
| | ヒートポンプ修繕費 | 3.78 千円/kW |
| | 季節平均 COP | 冷房 3.70 暖房 2.90 |
| その他 | 電気単価 | 24.77 円/kWh |
| | 全負荷相当運転時間 | 冷房 800h 暖房 400h |
| | 割引率 | 3% |

（注）ヒートポンプの単価、運転維持費及び耐用年数は公益社団法人ロングライフビル推進協会「建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版」（2020年3月）から設定。その他は一般的な値を設定。

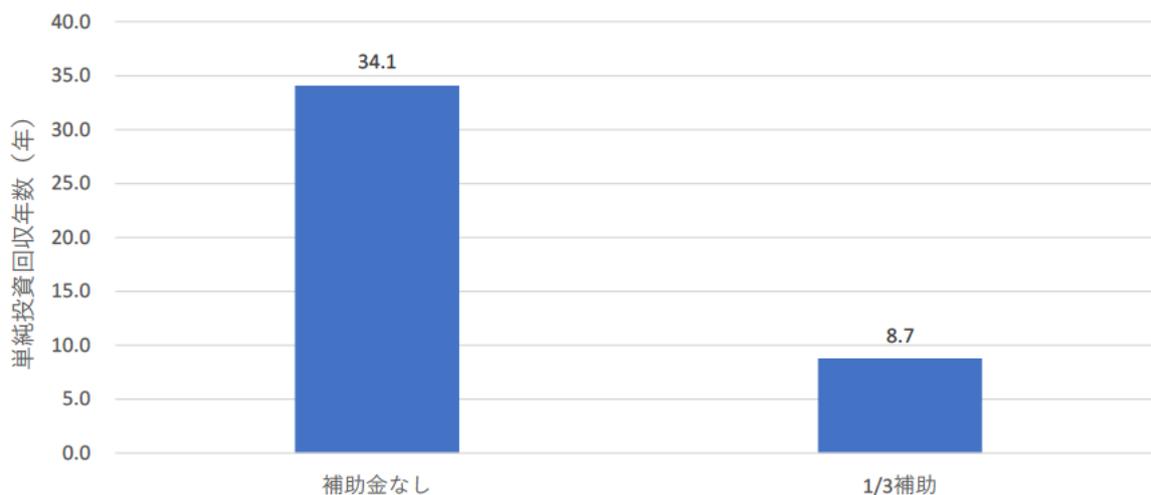
大気熱と比較した下水熱の熱量単価（LCOH）は以下の図表の通りとなる。下水熱は省エネ化が図れるものの、初期費用が大きく、補助金がない場合は、大気熱に比べて経済性が低い結果となっている。

図表 138 下水熱と大気熱の LCOH の比較



算出したコスト水準に基づき、下水熱の投資回収年数を算出すると以下の通りとなる。補助金を使用した場合には一般的に許容される水準（5～10年程度）に成り得る。ただし、水熱源は取水する場所からの距離や土木工事条件によって大きく変わることには留意が必要である。

図表 139 下水熱の大気熱に対する投資回収年数



(注) 投資回収年数 = (大気熱の運転維持費 - 下水熱の運転維持費) ÷ (下水熱の初期費用 - 大気熱の初期費用)

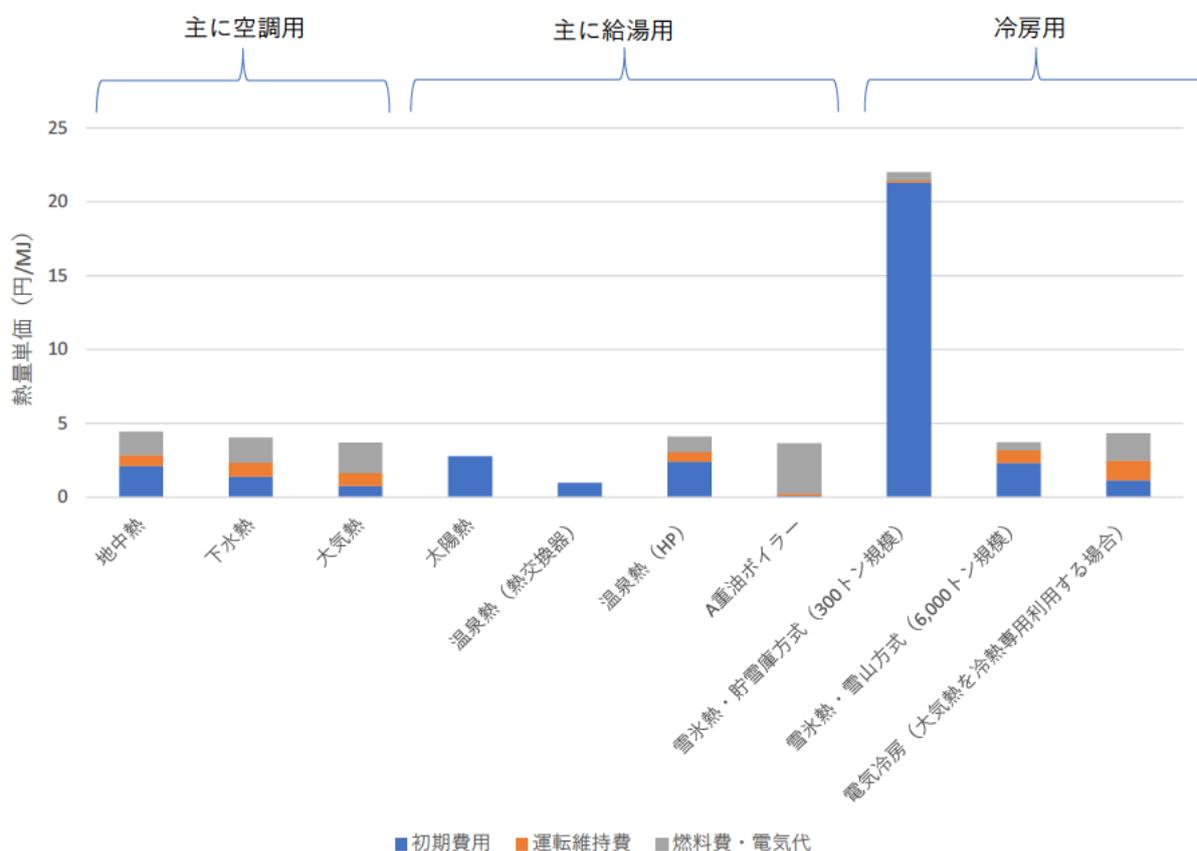
2.6 経済性分析に関するまとめ

熱は、用途によって求められる温度や供給形態が異なることから、単純に横比較することが難しいが、図表 140 に主に類似する用途に分類した上で、計算した LCOH（熱量単価）を示す。

小規模の雪氷熱以外は極端に高単価ではないものの、大気熱以外の再エネ熱は、全体的に競合技術（大気熱、A 重油ボイラー、電気冷房）よりも高い傾向がある。その中で、温泉熱を熱交換器で利用する場合や雪氷熱を大規模利用する場合などは競合技術と比較して安価な水準となっており、再エネ熱を低コストで利用するためにはよい条件（熱源温度、需要規模、気候条件等）を選択することが重要であることが示唆される。

また、熱量単価が同程度であっても、再エネ熱は、競合技術と比較すると、初期費用の割合が大きいことから、投資回収に時間を要するため、この点も導入課題となり得る。

図表 140 熱量単価の比較



二次利用未承諾リスト

再生可能エネルギー熱利用促進のための調査事業 報告書

令和5年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業

三菱UFリサーチ&コンサルティング株式会社

| 頁 | 図表番号 | タイトル |
|-----|-------|--|
| 16 | 図表17 | 成績係数COPの算出イメージ |
| 23 | 図表24 | 空気集熱式システム（左）と屋根部分の集熱面（右） |
| 23 | 図表25 | 水集熱式システム（左）と集熱器の例（平板型集熱器（中）と真空ガラス管型集熱器（右）） |
| 26 | 図表32 | 海水熱利用の例（大阪南港コスモスクエアにおける地域供給） |
| 27 | 図表33 | 河川水を使用したフリークーリングのモデル |
| 29 | 図表36 | 大気熱利用ヒートポンプのシステム |
| 30 | 図表37 | EHPとGHPのシステム |
| 30 | 図表38 | 熱駆動ヒートポンプのシステム例（吸収式冷凍機） |
| 32 | 図表40 | スマートエネルギーシステム図（左）と街区内のエネルギーセンターの位置（右） |
| 33 | 図表41 | 歩行者デッキ上部に設置された太陽熱パネル |
| 34 | 図表42 | スマートエネルギーネットワーク図 |
| 35 | 図表44 | （左）熱交換水循環方式のシステム図と（右）雪山の写真 |
| 37 | 図表45 | （左）システム図と（右）雪山の写真 |
| 39 | 図表47 | （左）システム図と（右）コスト比較 |
| 40 | 図表48 | （左）温泉熱利用方式のシステム図と（右）熱交換システムの写真 |
| 41 | 図表49 | （左）地熱乾燥のシステム図と（右）地熱乾燥施設の外観 |
| 43 | 図表51 | 海底からの取水 |
| 43 | 図表52 | 熱源システムのフロー図 |
| 44 | 図表53 | （左）取水口と排水口の位置及び、今後の開発予定と（右）河川水の熱交換器 |
| 48 | 図表57 | 横浜市新市庁舎の外観（左：外観、右：アトリウム内観） |
| 49 | 図表59 | WEBプログラム基準値に対する設計値・実績値 |
| 53 | 図表63 | 空調システムの更新に関する導入効果 |
| 53 | 図表64 | 空調システムの更新に関するCO2削減量（t-CO2） |
| 55 | 図表66 | 空調システムフロー |
| 55 | 図表67 | 熱源運用概念図 |
| 56 | 図表68 | 大成札幌ビルの外観 |
| 57 | 図表70 | 冷房時の自然エネルギー利用率 |
| 57 | 図表71 | 標準ビルと比較した竣工後9年間の1次エネルギー消費量 |
| 58 | 図表72 | 一般的な熱源システムと熱回収システムの比較 |
| 58 | 図表73 | 熱源フロー図 |
| 59 | 図表74 | 夏場・冬場の運転状況 |
| 59 | 図表75 | 改修前後のエネルギー消費量 |
| 71 | 図表88 | 再生可能エネルギー熱事業者支援事業の実績 |
| 76 | 図表93 | グリーン熱証書制度のスキーム |
| 78 | 図表95 | Jクレジットのスキーム |
| 79 | 図表96 | 再エネ熱を利用する熱源設備の導入の方法論イメージ |
| 105 | 図表117 | 太陽熱のコスト水準の比較（欧州） |
| 106 | 図表118 | 太陽熱のサイズ別の単価に関する比較例① |
| 106 | 図表119 | 太陽熱のサイズ別の単価に関する比較例② |
| 107 | 図表120 | ドイツにおける太陽光発電（PV）と太陽熱の経験曲線 |
| 117 | 図表135 | スイスにおける地中熱の経験曲線 |