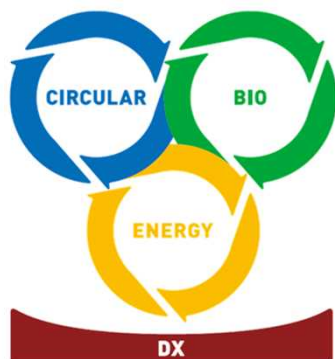


再生可能エネルギー熱利用への 期待と課題



サステナブルエネルギーユニット
技術戦略研究センター

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

©NEDO 2023

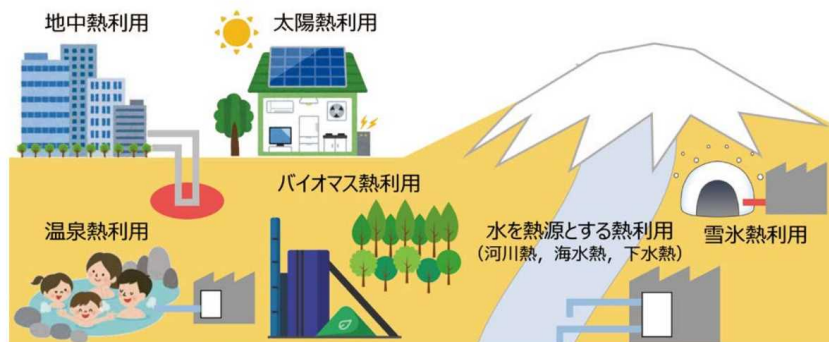
- 2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、地球温暖化ガスの排出削減が急務となっており、再生可能エネルギー（再エネ）の大幅拡大が求められている。太陽光、風力発電といった発電部門に期待が寄せられる一方で、**最終エネルギー消費の約半分は熱利用であり、再エネを熱の形で活用する再エネ熱の促進、効率化が望まれる。**
- 再エネ熱の温度帯は100℃以下の低温であり、産業利用するには活用先が極めて限定的である。一方、**民生部門**での熱利用は空調・給湯・調理が主で、**再エネ熱の温度帯を利用するのに適している。**民生部門における**熱エネルギー消費は世界の最終エネルギー消費の約20%**を占めており、再エネ熱により民生部門の熱消費を支えるインパクトは極めて大きい。
- しかしながら、日本では燃料ボイラ等に比べて**高額な初期コストが再エネ熱普及の弊害**となっており、導入ペースは鈍化傾向にある。これまで行ってきた個別の再エネ熱利用の要素技術開発は引き続き必要ではあるが、これらの技術の深耕だけではコスト低減に限界がある。
- このような状況を**打開する方向性として、地域・コミュニティ規模で熱を融通し合う面的利用が考えられる。**これにより、設備利用率の向上やスケールメリットの享受によるコスト低減が期待される。
- 面的熱利用による再エネ熱の普及を進める上では、個別熱源の出力の向上、効率改善に向けたシステム運用方法の検討、再エネの変動性を制御する蓄熱技術の開発、低温熱の最大利用に向けたシステム設計技術の確立などが課題となる。
- 欧州等では、地域熱供給での再エネ熱利用の拡大が図られている。日本においても、**「再エネ熱利用にかかる技術開発・実証」と並行して、地域熱供給の形態での「面的な熱利用の社会実装・拡大」を進める必要がある**、自治体、デベロッパーの意欲的な参画が強く期待される。

1. はじめに
2. 熱利用での脱炭素化の要請と再生可能エネルギー熱への期待
3. 再生可能エネルギー熱利用に関する動向
4. 再生可能エネルギー熱利用の普及のための方向性とその課題
5. まとめ



1. はじめに

- 2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、地球温暖化ガス（GHG）の排出削減が急務となっており、再生可能エネルギー利用の大幅な拡大が求められている。
- 太陽光発電、風力発電といった電力部門での再生可能エネルギー利用に期待が寄せられる一方で、最終エネルギー消費の約半分を占める熱利用での効率化を目指す取り組みとして、太陽熱や地中熱等の**再生可能エネルギー熱（再エネ熱）**の有効活用が重要である。
- TSCでは2021年2月にTSC Foresight Vol.41『再生可能エネルギー熱利用分野の技術戦略策定に向けて』を発行し、この中で、再生可能エネルギー熱利用での各種技術の概要、導入の状況や政策状況といった基礎情報を示すと共に、特に普及を阻害する要因と考えられたコストを低減するための技術的な課題を整理した。
- 本報では、国内外のエネルギー消費の状況や国際機関の見通しを基に、民生部門における再エネ熱利用への期待を示すとともに、各国での再エネ熱利用に係る政策や取り組み、技術動向といった基礎情報の更新を行い、これらを基に普及の阻害要因となっているコスト削減に向けた、面的熱利用の可能性とその導入に当たっての新たな技術課題を検討する。

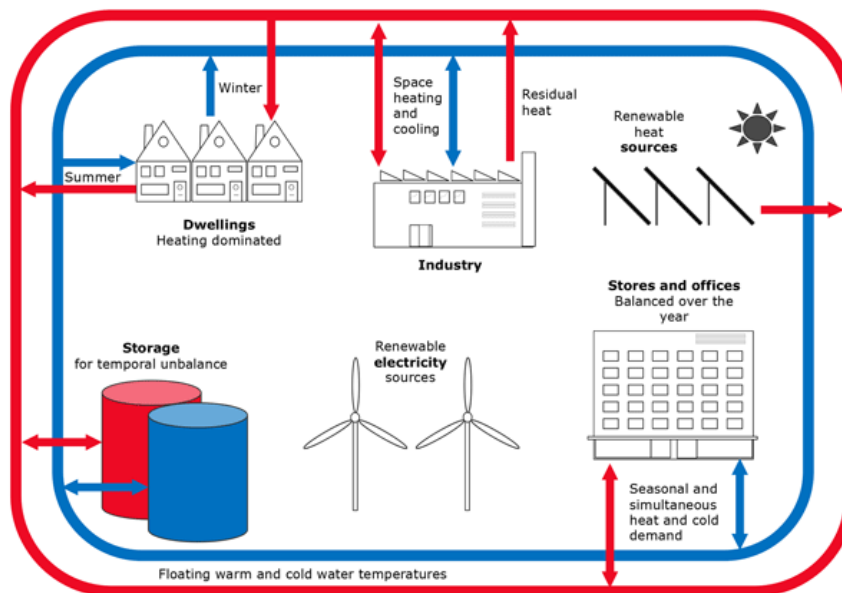


- 面的熱利用とは、一定規模のコミュニティ内に存在する、複数の熱需要家や様々な熱供給源、蓄熱設備を結んで熱需給網を構築し、熱を融通し合うこと。地域熱供給は、面的熱利用の形態の一つである。
- 面的熱利用では、スケールメリットによるトータルコスト低減、エネルギー効率改善時の省エネ効果の増加、レジリエンスの向上が期待される他、出力が変動する再エネに関する需給の平準化を通じた設備利用率の向上が期待される。
- 我が国においては、コンパクトシティ政策※や、都市インフラのレジリエンスが議論される中で、地域・コミュニティでのエネルギー利用の在り方が問われており、面的熱利用は熱利用のあるべき方向性の一つである。

※ 国土交通省、コンパクトシティ形成支援チーム

https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_tk_000016.html

面的熱利用の概念図

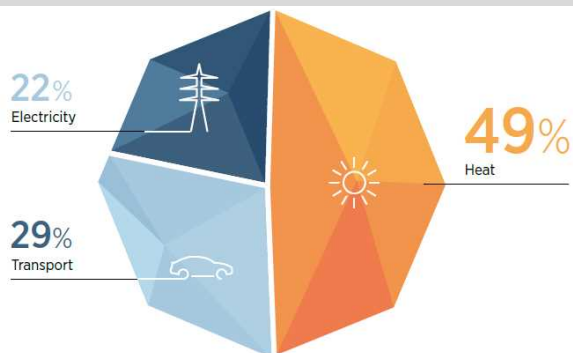


2. 熱利用での脱炭素化の要請と 再生可能エネルギー熱への期待

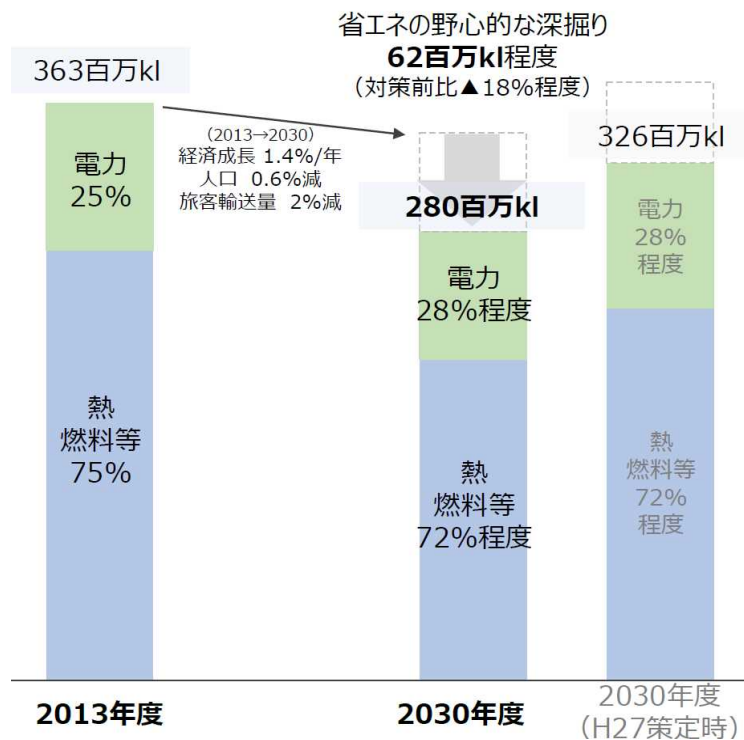
熱利用での脱炭素化の必要性

- 熱利用は、世界の最終エネルギー消費の49%を占めている。
- 熱利用におけるエネルギー源は、72.5%を化石燃料に依存している。
- 我が国の2030年のエネルギー需要見通しでは、「熱・燃料等（運輸も含む）」が7割以上を占める。
- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、熱利用での脱炭素化が不可欠であり、効率向上によるエネルギー消費削減、電化の更なる促進、代替熱源の利用促進といった取り組みが求められる。

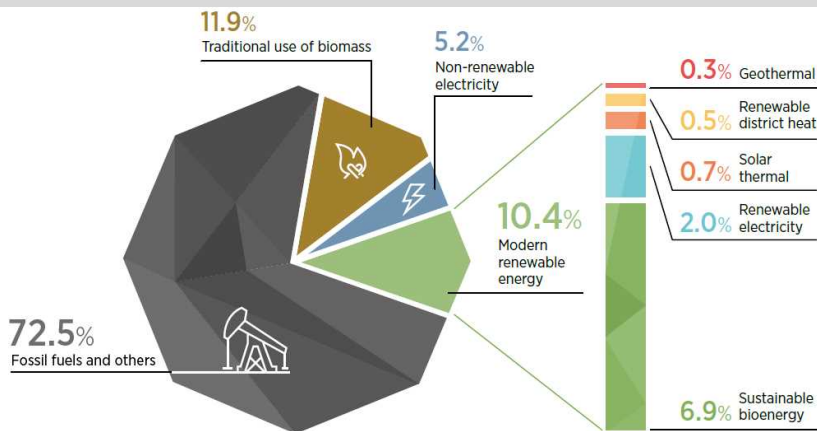
世界の最終エネルギー消費の消費形態の割合



第6次エネルギー基本計画におけるエネルギー需要見通し



世界の熱利用におけるエネルギー源の割合

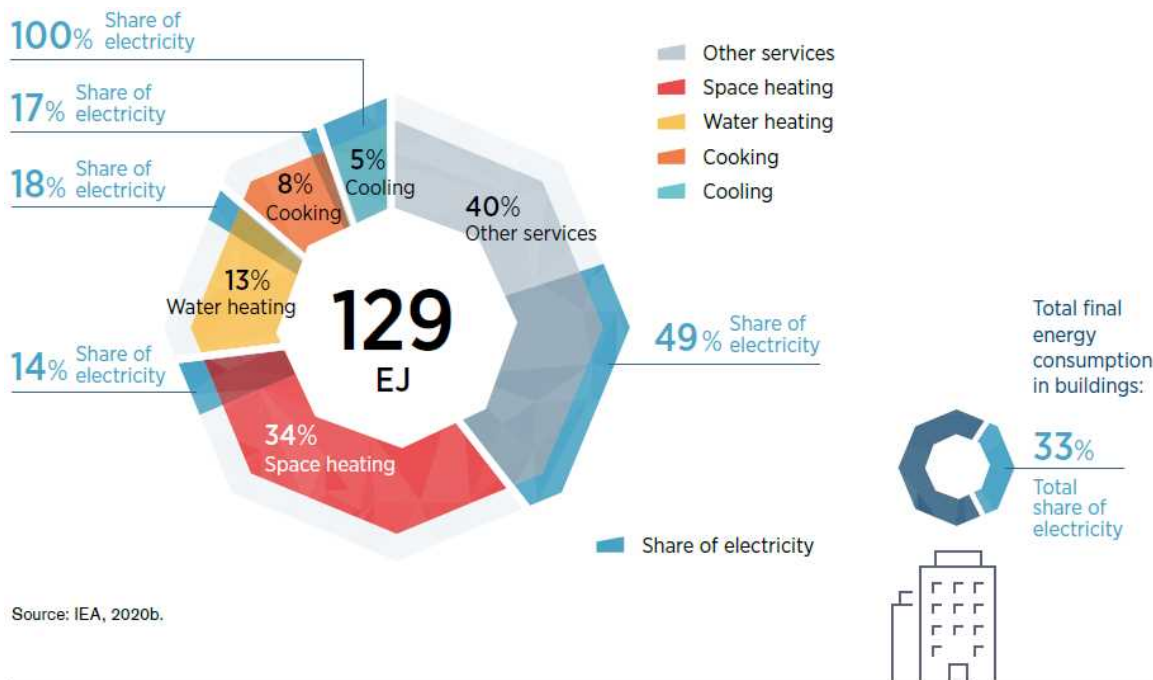


出典：2030年度におけるエネルギー需給見通し（関連資料）（資源エネルギー庁、2021）

民生部門における熱利用での脱炭素化の必要性

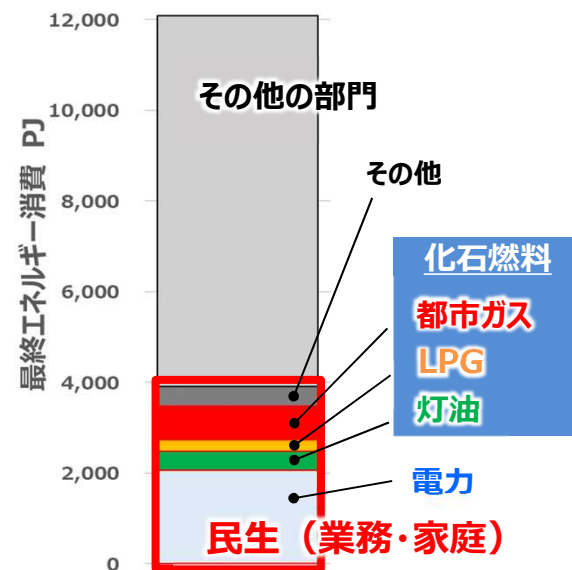
- 世界の最終エネルギー消費の約1/3を占める民生部門の消費形態のうち、60%は空調（暖房・冷房）・給湯・調理といった熱利用による。特に暖房・給湯の電化は限定的で、代替熱源の利用が期待される。冷房は電力を利用した熱交換で100%賄われてはいるが、その熱源に地中熱等の代替熱源を用いることで更なる効率向上が期待される。
- 国内でも、2020年の統計によれば、民生部門における化石燃料（都市ガス、LPG、灯油）の燃焼熱の直接利用が最終エネルギー消費の11%を占めており、代替熱源への転換が求められる。

世界の民生部門のエネルギー消費の割合



国内の最終エネルギー消費の割合

主に熱としての利用が想定される民生部門での化石燃料使用 = 最終エネルギー消費の11%



出典：総合エネルギー統計2020年度詳細表（資源エネルギー庁）を基にNEDO TSC作成

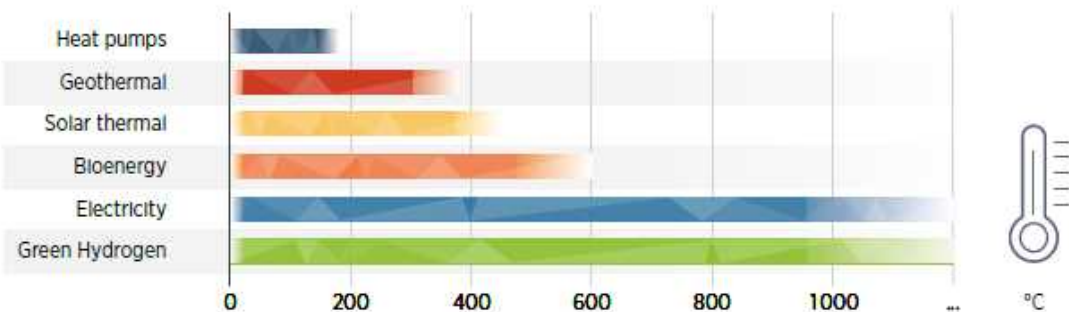
出典：Renewable Energy Policies in a Time of Transition - Heating and Cooling - (IEA/IEA/REN21, 2020)

再エネ熱源種別の特長・制約

- 脱炭素化に対して有望な代替熱源として、再生可能エネルギー熱（再エネ熱）が挙げられる。
- 再エネ熱であるヒートポンプ※、太陽熱、地熱、バイオマス由来熱は、供給温度帯が比較的低温で、民生部門における給湯や冷暖房などの用途での熱利用の温度帯（～100℃程度）との親和性が高い。したがって、**再エネ熱は、特に民生部門における利用拡大が期待される。**
- ただし、太陽熱・地熱は特に適地が限られる我が国においては発電用途と競合する可能性があること、またバイオマス由来熱についても資源供給が限定的であることなど、それぞれに制約条件がある。これらを考慮しながら利用拡大していくことが必要。

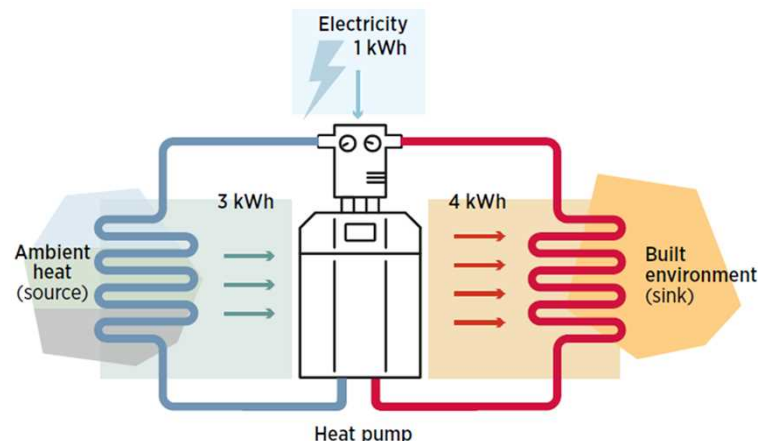
※ ヒートポンプは地中熱・河川熱・下水熱等の再エネ熱を利用することで投入する電力以上の熱を供給することが可能であり、電化促進・エネルギー消費削減の手段として進めるべき再エネ熱利用の一形態と位置付けられる。右下図の例では1kWhの電力の投入で4kWhの熱を取り出せることを示している。

熱源種別の供給可能温度帯



Source: Adapted from IEA (2019a).

ヒートポンプの概念図



出典：Renewable Energy Policies in a Time of Transition - Heating and Cooling - (IEA/IEA/REN21, 2020)

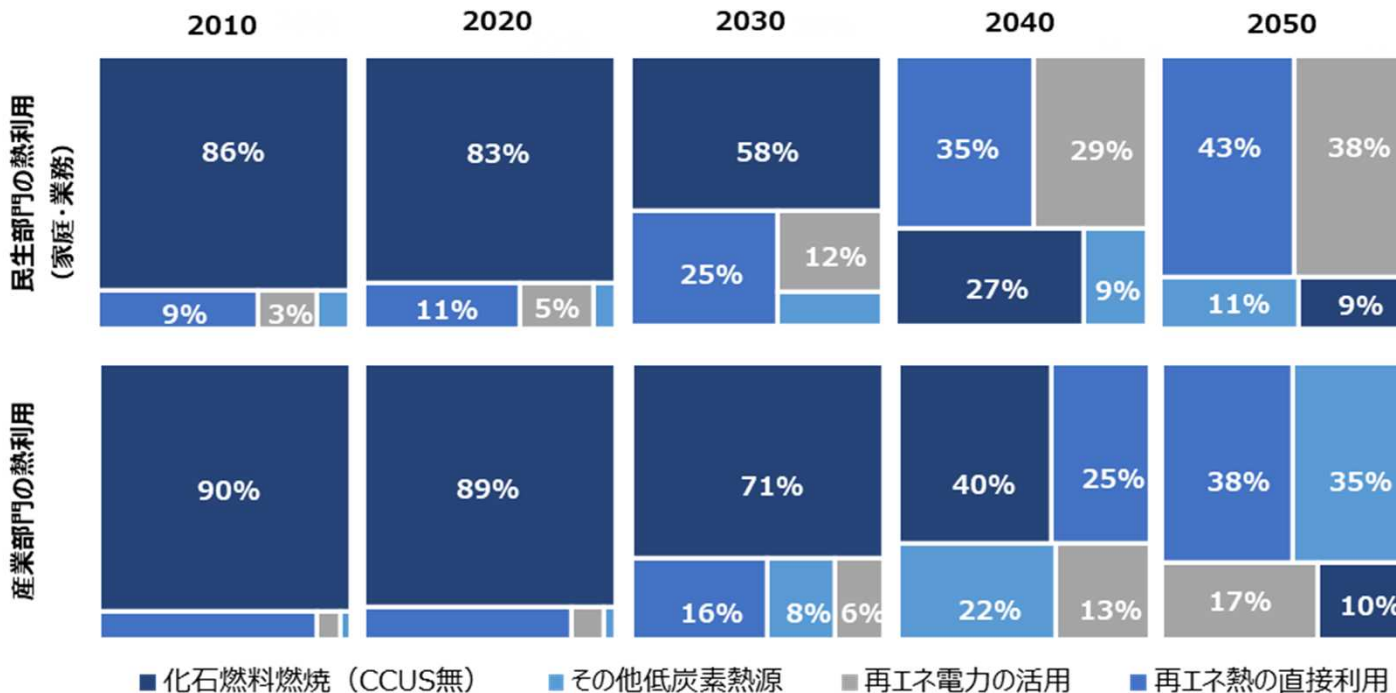
IEAのNZE2050シナリオでの熱利用部門の見通し

- 民生部門（家庭・業務）の熱利用では、再エネ電力の活用（■）とともに、**太陽熱、地熱・地中熱などの再エネ熱の直接利用（■）**を想定。

2030年時点で再エネ直接利用は2020年比で2倍以上に相当する25%、2050年時点では同4倍に相当する43%との見通しを示しており、**長期にわたり大幅な普及拡大が想定されている。**

- 産業部門の熱利用においては、中・低温の熱を利用できる産業分野、プロセスは限定的であるため、民生部門に比べて再エネ熱の直接利用の占める割合はやや低く、他の低炭素熱源の活用を想定している。

IEAのNZE2050シナリオでの部門別の熱利用総エネルギー消費量に占めるエネルギー源割合

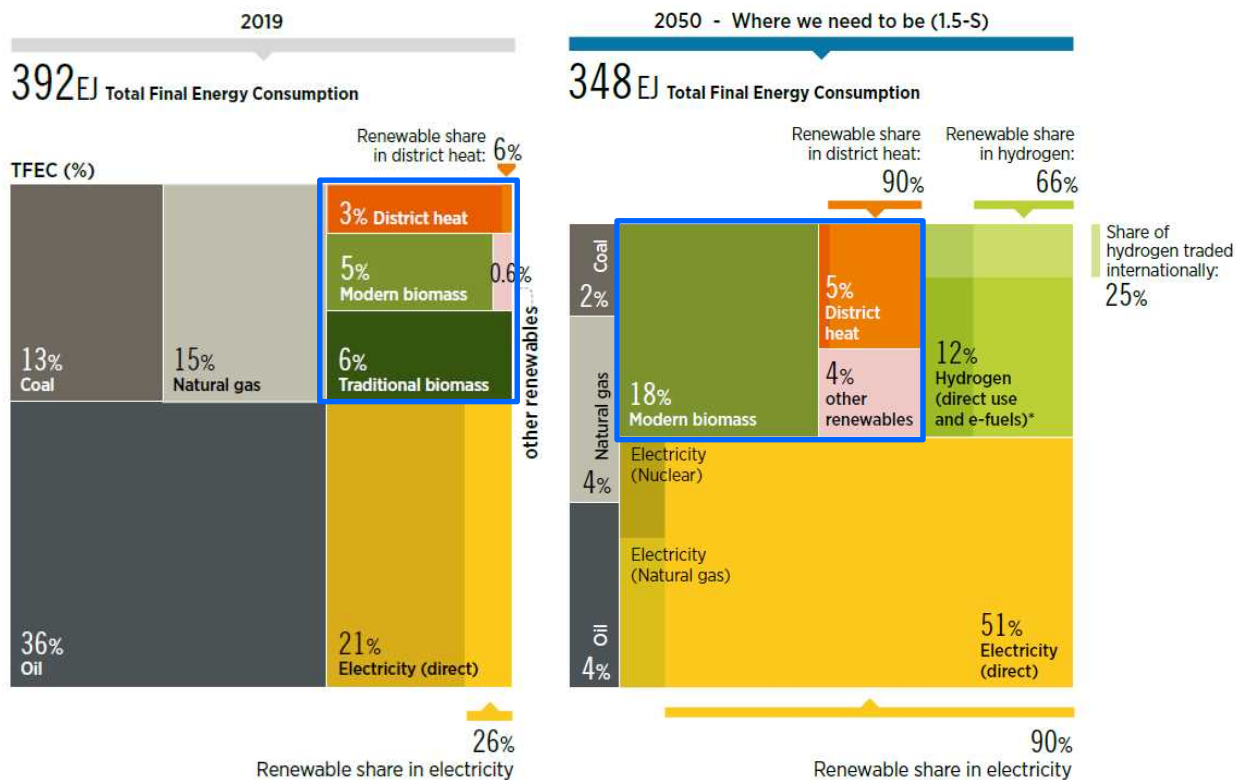


出典：Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector - (IEA, 2021) を基にNEDO TSC作成

IRENAの1.5°Cシナリオにおける熱利用の見通し (1)

- IRENAの1.5°Cシナリオでは、熱利用での脱炭素化の手段として、太陽熱、地熱／地中熱、バイオマス由来熱といった再エネ熱の利用が挙げられている。
- 2050年時点の最終エネルギー消費において、2019年と比較して、再エネ熱利用の拡大とともに、地域熱供給の拡大とその再エネ比率の上昇が想定されている。

IRENAの1.5°Cシナリオにおけるエネルギーキャリア別の最終エネルギー消費の割合



■ 電力

- 電化の進展 (エネルギー消費における電気の割合 21%→51%)
- 電力による再エネ電力比率上昇 (26→90%)

■ 熱利用

- 再エネ熱の利用拡大
バイオマスの近代的利用法への転換と利用拡大 (伝統的6% + 近代的5% → 近代的18%)
その他再エネの利用拡大 (利用割合0.6%→4%)
- 地域熱供給の拡大
利用拡大 (利用割合3%→5%)
再エネ比率上昇 (6%→90%)

■ 水素利用

- 利用拡大 (利用割合0%→12%)
- 水素製造用の再エネ利用率 (2050年で66%想定)

出典 : World Energy Transitions Outlook (IRENA, 2022)
(青囲みはNEDO TSC加筆)

IRENAの1.5°Cシナリオにおける熱利用の見通し (2)

- IRENAの1.5°Cシナリオでは、再エネ熱利用の見通しとして、CO₂削減ポテンシャルを示している。
- NEDOにて、同データから民生部門における再エネ熱利用によるCO₂削減ポテンシャルを試算 ⇒ **約9億tCO₂/年**

民生部門における再エネ熱利用の効果の試算

■ 再エネ熱導入量の見通し

- ・バイオマス：**9.5 EJ** (2050年までにモダンバイオマスに全て置き換わったとして全量計上)
- ・太陽熱：**2.05 EJ** (3.1EJ@2050, 1.05EJ@2019の差分として)
- ・地熱/地中熱：**2.05 EJ** (3.1EJ@2050, 1.05EJ@2019の差分として)
- ・地域熱供給での再エネ熱利用：**6.9 EJ** (7.3EJ@2050, 0.4EJ@2019の差分)

■ 再エネ熱のCO₂排出原単位 (利用段階のみ想定)

- ・太陽熱、バイオマス：**0 MtCO₂/EJ**
- ・地中熱、地域熱供給：**20.5 MtCO₂/EJ***1

*1 ヒートポンプ使用が主と想定し、概算として一律にCOP=3を仮定、さらにIEA WEO 2022のSTEPSシナリオ(2050年)より推定した電力消費の排出原単位(61.6MtCO₂/EJ)から、61.6 MtCO₂/EJ ÷ 3 = 20.5 MtCO₂/EJ

■ 従来技術の排出原単位：**53.9 MtCO₂/EJ**

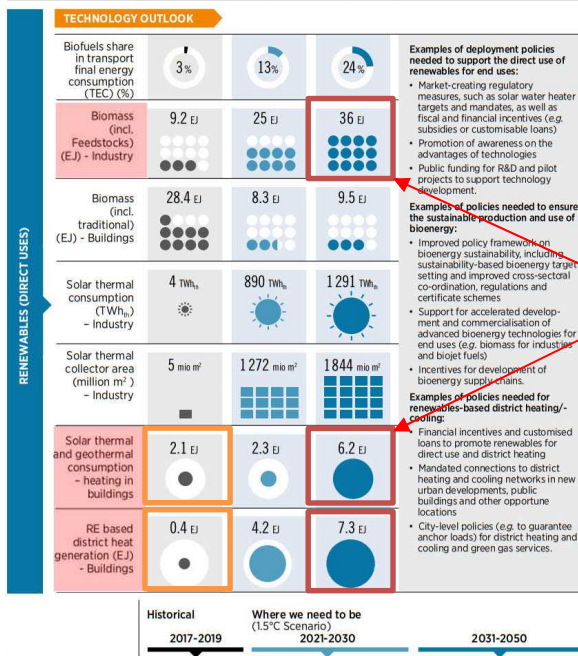
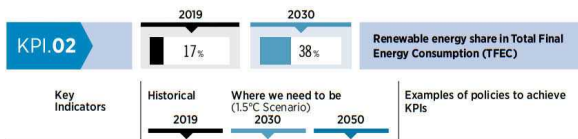
IEA WEO 2022のSTEPS(2050年)でBuilding sectorが約30EJの天然ガスと約9EJの石油を消費しており、これを代替することを想定し、燃料消費での発熱量当たりのCO₂排出量 (都市ガス：49.8 MtCO₂/EJ、灯油：67.8 MtCO₂/EJ、環境省*2) の加重平均により算出 (従来技術の熱利用効率を100%と仮定していることに相当する) (49.8 MtCO₂/EJ × 30 EJ + 67.8 MtCO₂/EJ × 9 EJ) ÷ (30 EJ + 9 EJ) = **53.9 MtCO₂/EJ**

*2 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (環境省)

■ 再エネ熱の導入によるCO₂排出削減量

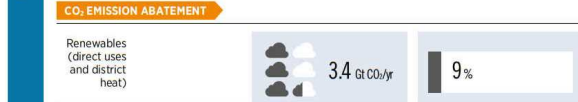
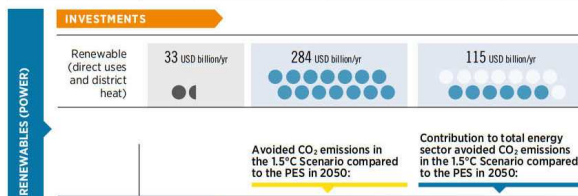
$$(53.9 - 0) \text{ MtCO}_2/\text{EJ} \times (2.05 + 9.5) \text{ EJ/年} + (53.9 - 20.5) \text{ MtCO}_2/\text{EJ} \times (2.05 + 6.9) \text{ EJ/年} = \text{約9億 tCO}_2/\text{年}$$

IRENA(1.5°Cシナリオ)における再エネ熱利用の見通し



民生

太陽熱と地熱/地中熱で等分と仮定



再エネ熱利用の普及拡大への移行経路

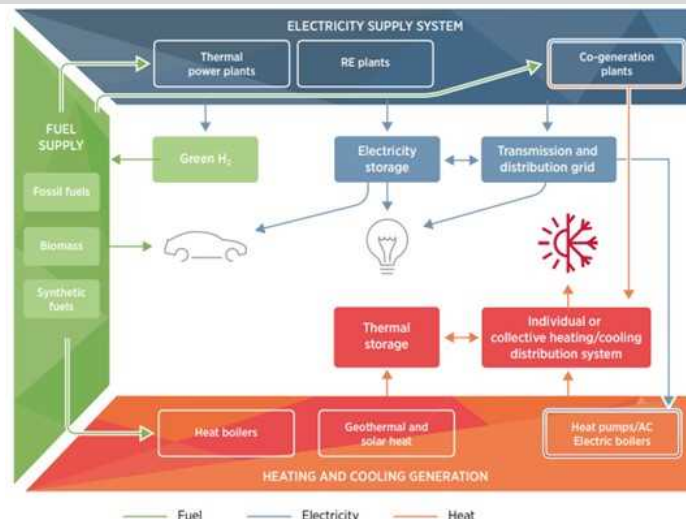
- IRENA/IEA/REN21のレポートでは、①再エネベースの温冷熱の電化、②再生可能ガス、③バイオマスの持続可能な利用、④太陽熱の直接利用、⑤地熱/地中熱の直接利用からなる5つの移行経路を提示。
- 上記移行に伴う波及効果として、熱部門のみでなく、電力部門も合わせたエネルギーの需給調整機能、すなわちセクターカップリングの役割も期待されている。

5つの移行経路の概要

移行経路	概要・利点
①再エネベースの温冷熱の電化	<ul style="list-style-type: none"> ■ 民生部門と産業プロセスへの熱供給のための、効率的な再エネ電力の利用を想定。 ■ 再エネ電力割合増加と熱部門の電化に寄与する。
②再生可能ガス	<ul style="list-style-type: none"> ■ 産業部門と民生部門への熱供給用途の再生可能ガス（バイオガス、バイオメタン、再エネ由来の水素）利用による、化石燃料の置き換えを想定。 ■ 用途多様性、柔軟性、エネルギーセキュリティ向上、排出削減、インフラとの互換性の利点がある。
③バイオマスの持続可能な利用	<ul style="list-style-type: none"> ■ 近代的かつ効率的な燃焼装置での産業部門と民生部門への熱供給を想定。 ■ 低炭素化への移行に寄与する。
④太陽熱の直接利用	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱供給以外にも、調理や農業等の用途を想定。 ■ 排出削減、農業の生産効率性向上等に寄与する。
⑤地熱/地中熱の直接利用	<ul style="list-style-type: none"> ■ 産業部門、民生部門、農業での利用を想定。 ■ 安定した熱供給をもたらし、他の化石燃料代替に対してコスト競争力を有する利点がある。

出典：Renewable Energy Policies in a Time of Transition - Heating and Cooling - (IEA/IEA/REN21, 2020) を基にNEDO TSC作成

熱部門と電力部門のセクターカップリング (イメージ図)



出典：Renewable Energy Policies in a Time of Transition - Heating and Cooling - (IEA/IEA/REN21, 2020)

- 分散型及び集中型の太陽熱利用システムや地域熱供給は、蓄熱性により熱部門のみならず電力部門も合わせた需給調整に寄与し、コストを要する電力系統の増強を回避し得る
- エネルギー高効率性、高温熱への対応可能性、変動性再生可能電源を支え得る運用柔軟性を兼ね備えた有望な技術的手段として位置付け

3. 再生可能エネルギー熱利用 に関する動向

主要国の再エネ熱利用の導入促進政策の概要

- 再エネ熱は、化石燃料使用からの脱却手段として、他の脱炭素技術とともに有望視されていることを背景に、各種補助・支援措置が継続的に講じられている。
- 近年の特徴として、「導入目標の設定や目標達成に向けた各種補助・支援措置」から「化石燃料使用に対する規制や排出量取引制度等の市場メカニズムを通じた脱炭素化への誘導」へと徐々に移行しつつある。

再生可能エネルギー熱利用の普及に関連する主な政策の経緯

	2000年代後半	2010年代	2020年代
目標設定・補助支援・義務化	<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> 市場インセンティブプログラム (MAP) により、導入支援 (従前制度を活用) 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 (再エネ熱法) <p>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)</p> <p>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)</p>	<p>家庭用RHIの後継として、ヒートポンプ導入支援スキームへ移行</p>
化石燃料規制		<p>新築建築物への石油燃焼器導入を実質困難化 (EnEV) →2026年以降は、禁止予定 (GEG)</p>	<p>新築住宅へのガスボイラー設置を実質禁止 (環境規制2020)</p> <p>新築住宅へのガスボイラー設置を禁止予定 (FHS)</p>
排出量取引制度・炭素価格	<p>産業部門・電力部門を主対象にEU-ETS*導入 ※EU-ETS: EU域内排出量取引制度</p>	<p>輸送・建築物部門の化石燃料消費に対する炭素税導入</p>	<p>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)</p> <p>熱・運輸部門に燃料排出権取引制度導入 (nEHS)</p>
研究開発支援等	<p>様々なプログラムが展開。</p> <p>至近では、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。</p>		

主要各国の政策例：① 目標設定

- 目標設定はEUのみが実施。『再生可能エネルギー指令』（RED：Renewable Energy Directive）に基づき、導入目標を設定し、再エネ電力・熱の普及を推進。
2018年施行のRED II、ならびに2022年9月に欧州議会で承認された改定案（RED III）では、**熱部門の再エネ割合を増加する努力目標が明示された。**

⇒ 加盟各国における再エネ熱の普及拡大が想定される。

再生可能エネルギー指令（RED I，2009/28/EC）

- 2009年施行
- 目標にかかる規定
 - 2020年までにEU全体の最終エネルギー消費に占める再エネ割合を20%
 - 分母の最終エネルギー消費は、熱部門のエネルギー消費も含む
 - 加盟各国は、割り当てられた目標の達成に向けた国家再エネ行動計画（NREAPs）の提出が義務付けられた
- 実績
 - 2020年実績の速報値は、持続的な再エネ発電量の伸びを背景に21.3%となり、RED Iの目標20%を上回った

（参考）ドイツ、フランス、英国の最終エネ消費に占める再エネ割合目標・実績

国名	最終エネ消費に占める再エネ割合	
	2020年目標	2020年実績
ドイツ	18.0%	19.3%
フランス	23.0%	19.1%
英国	15.0%	(12.3%) ※

※ 英国の実績値は、EU離脱に伴い2019年実績値までが公表されている。

出典：Short Assessment of Renewable Energy Sources（2019 SHARES）
（Eurostat，2021）及び各国公表資料を基にNEDO TSC作成

改正再生可能エネルギー指令（RED II，2018/2001/EU）

- 2018年施行
- 目標にかかる規定
 - 2030年のEU全体の最終エネルギー消費に占める再エネ割合を少なくとも32%とする
 - この目標は、法的拘束力がある。また、2023年までの目標値の上方修正条項がある
 - 再エネ熱導入の指標目標として、EU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
 - ただし、廃熱が利用されない国は、同1.1%ポイント以上
- 関連動向
 - 2021年7月に提示されたEUの政策パッケージ「Fit for 55」では、再エネ熱にかかる上記指標目標を、法的拘束力のあるベースライン目標へと変更する政策強化が提案されている

さらに

- **2022年9月に、RED改定案（RED III）が欧州議会で採択。**
- **最終エネルギー消費に占める再エネ割合：45%@2030**
- **暖房および冷房における再エネ割合を年率平均2.3%増加**

主要各国の政策例：② 導入補助・支援

- 欧州を中心に再エネ熱利用に関する各種補助・支援措置が継続的に講じられている。
- 独・仏・米で初期費用に対するインセンティブ付与のほか、英国のようにランニング費用への支援形態も。

各国における主な導入補助・支援の概要

国	規制概要	プログラム・制度
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建築物における暖房用途の再エネ熱利用システムの導入に補助金を付与している。 ■ 2000年から2020年10月までに220万以上のシステムに37億ユーロ以上の補助金を提供した実績がある。 <ul style="list-style-type: none"> ● 対象となる再エネ熱は、太陽熱、バイオマス熱、ヒートポンプを用いた空気熱、地下水熱、地中熱利用等。ガス・再エネ熱ハイブリットシステム、再エネ統合可能ガス濃縮ボイラー、地域熱供給網や蓄熱ユニットなども対象である。 	市場インセンティブプログラム (MAP: Marktanzreizprogramm)
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ■ 再エネ熱による熱生産プロジェクトや、再エネ熱利用システム導入を補助している。 ■ 2009～2020年に、6,000件以上のプロジェクトに26億ユーロを提供した実績がある。 <ul style="list-style-type: none"> ● 主な補助対象は、①熱供給ネットワークの研究支援、地熱/地中熱の熱応答試験費用支援等のプロジェクト開発支援、②熱供給ネットワーク、都市部の太陽熱温水生産等への投資援助である。 	ヒートファンド制度 (Fonds chaleur)
英国	<ul style="list-style-type: none"> ■ 再エネ熱利用システムの熱量に応じた補助金を一定期間（家庭部門：7年間、非家庭部門：20年間）付与している。制度は家庭部門と非家庭部門に大別される。新規申請の受付は、家庭部門は2022年3月、非家庭部門は2021年3月に終了。 <ul style="list-style-type: none"> ● 対象は、家庭部門では、バイオマスボイラー・ペレットストーブ、ヒートポンプ（空気熱源、地中熱）、太陽熱が含まれ、非家庭部門では固体バイオマス、ヒートポンプ（地中熱、水熱源等）、地熱、太陽熱、バイオガス混焼、熱電併給（CHP）が含まれる。 	再エネ熱インセンティブ (RHI: Renewable Heat Incentive)
米国	<ul style="list-style-type: none"> ■ 再エネ熱利用システムを含む再エネ設備導入の一定割合を連邦個人所得税から控除している。 <ul style="list-style-type: none"> ● 対象設備には、地中熱ヒートポンプ、太陽熱温水器、熱効率75%以上のバイオマス燃料ストーブが含まれる。 	再生可能エネルギー税額控除 (Renewable Energy Tax Credits)

- 主要各国で、住宅・建築物の省エネ規制等により再エネ熱利用を含む高効率機器の導入を促進。
- 特にドイツでは、『再生可能エネルギー熱法』（EEWärmeG）に基づき、新築建築物における一定以上の再エネ熱利用を義務化。

ドイツの再生可能エネルギー熱法（EEWärmeG）の概要

■ 経緯

- 2009年に再生可能エネルギー熱法を施行し、2011年及び2015年に改正した。
- 2020年11月、建築物エネルギー法（GEG）の発効により、省エネルギー法、省エネルギー令、再エネ熱法は建築物エネルギー法に置き換わり、建築物部門の省エネルギー法規制の簡潔化が図られている。

■ 目的

- 冷暖房用途の最終エネルギー消費量に占める再エネ割合を2020年までに14%に高める。

■ 規定概要

- **新築の建築物（使用可能面積50m²以上）は、最低比率以上のエネルギー需要を再エネ熱で賄うことを義務化している。**
- 義務付けられる最低比率は、使用される再エネ種別により異なる。
 - － 太陽熱放射エネルギーを使用する場合：建築物の冷暖房エネルギー要件の少なくとも 15%
 - － 固体または液体バイオマスを使用する場合：同50%
 - － 地熱／地中熱を使用する場合：同 50%
 - － 再エネ熱利用システム以外の選択肢として、熱電併給、**地域熱供給**、省エネによる達成も容認

■ その他（公共部門に係る規定）

- **公共建築物は、既設の建築物が大規模改築される場合においても、最低比率以上の再エネ利用を義務化している。**これにより、**ロールモデルの役割を果たす**ことが求められている。

主要各国の政策例：④ 化石燃料使用に対する規制

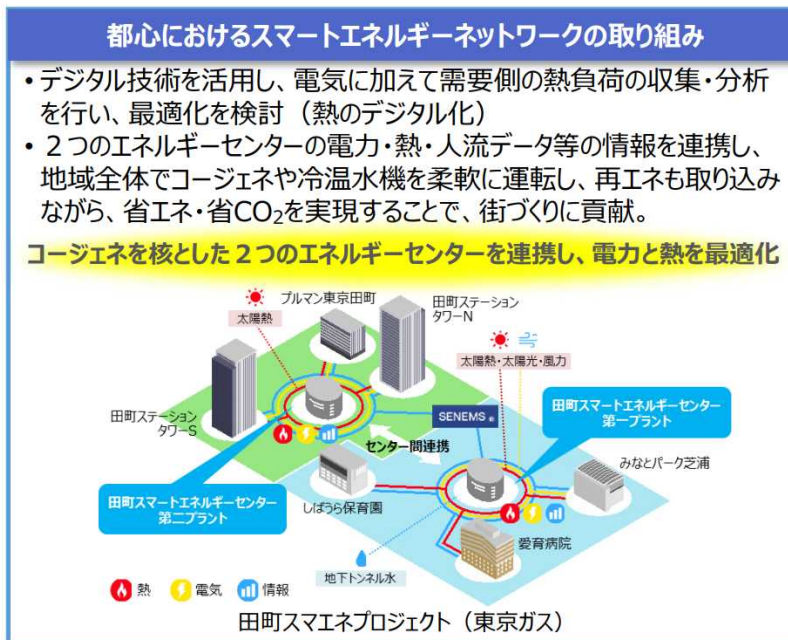
- 欧州各国では、主に新築住宅での化石燃料使用に対する規制が強化される傾向。ガスボイラー設置の実質的な禁止に相当する規制等が適用されている。
 - 米国では国家レベルでの規制はみられないものの、一部地域において、新築・大規模改修建築物での化石燃料燃焼を禁止する規制が適用となる予定。
- ⇒ 化石燃料使用に対する規制強化を背景に、代替手段としてヒートポンプ利用や再エネ熱利用が選択される機会の増加が想定される。

化石燃料使用に対する規制の概要

国・地域	規制概要	根拠法
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2016年1月以降、省エネルギー省令（EnEV）の施行に伴い、新築建築物への石油燃焼機器（バーナー）の導入が実質的に困難となっている。 ■ 2026年以降は、建築物エネルギー法に基づき、原則として新築及び既存の建築物への石油暖房、石炭暖房の設置を禁止予定である。 	建築物エネルギー法（GEG）
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2012年熱規制に代わる規制として、2022年1月、環境規制 2020が発効し、規制が強化されている。 ■ 環境規制2020における新築建築物に対する閾値は、新築戸建住宅へのガスボイラーの設置を実質的に禁止している。 	環境規制 2020（RE2020）
英国	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2025年施行予定の新たな建築規制「未来住宅基準」に伴い、ガスボイラーの新築住宅への設置が禁止予定である。 	未来住宅基準（FHS）
米国・ニューヨーク市	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2021年12月、新築建築物及び大規模改修を行う建築物における天然ガスを含む化石燃料の燃焼禁止を法制化した。（ただし、ガス導管に接続されない非常用電力等の設備に対する適用免除規定が設けられている。） ■ 2023年に適用を開始し、対象となる建築物規模を段階的に拡大予定である。 	ニューヨーク市法（Local Law 97）

出典：各国公表資料を基にNEDO TSC作成

- 2020年10月に日本政府は「2050年までにGHG排出を全体でゼロにする、カーボンニュートラルを目指す」ことを宣言。
- 2021年10月には『第6次エネルギー基本計画』が閣議決定。S+3Eを大前提に、再エネの主力電源化を徹底し、再エネに最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す方針。複数シナリオとイノベーションの重要性に言及。
再エネ熱についても「地域性の高い重要なエネルギー源」との言及とともに、「再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す」方向性。



出典：第2回 2050年に向けたガス事業の在り方研究会 東京ガス説明資料を加工

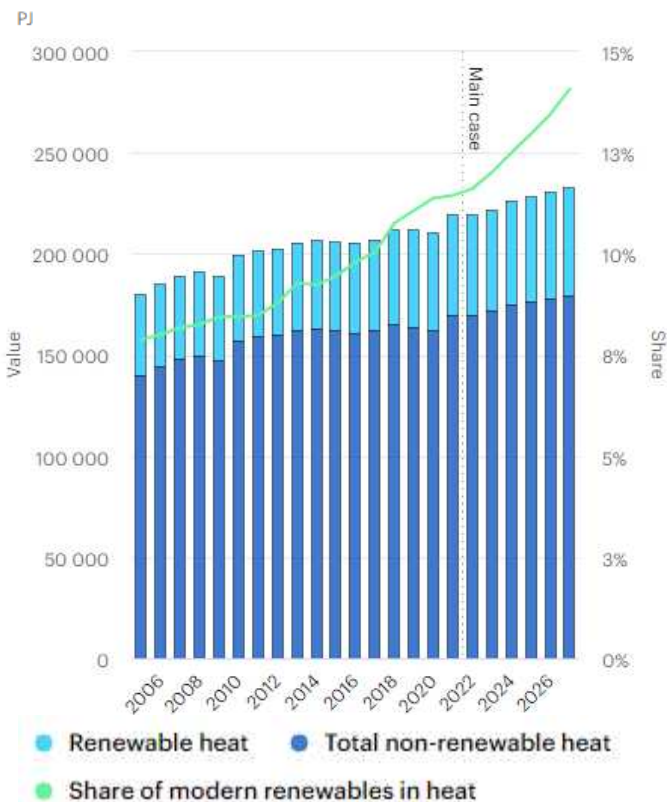
- 国内でも様々な政策分野での再エネ熱利用を含む脱炭素化促進の仕組みが整備されつつある。
- ⇒ 熱利用がスコープに含まれる環境省の「脱炭素先行地域」の取り組み等のように、より**直接的に再エネ熱の普及促進につながる施策や具体的な目標値の設定といった拡充が望まれる。**

再エネ熱の普及に関連する政策検討の動向

政策分野	概要
省エネ法における非化石エネルギーへの転換に関する措置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「第6次エネルギー基本計画」では、需要サイドでの非化石エネルギー導入拡大について、省エネ法の改正を視野に制度的対応の検討を行うことが記載されており、今後再エネ熱の導入にも影響する可能性がある。 ■ 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（2021年12月24日）では、エネルギー使用量が一定以上の事業者・事業所に対して、現行の省エネルギーに関する報告事項に加えて、非化石エネルギーへの転換に関する中長期計画の作成等が新たに導入される方向性が示されている。
住宅・建築物における省エネ推進	<ul style="list-style-type: none"> ■ 国土交通省・経済産業省・環境省が連携して「脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会」が設置されて2021年4～8月にかけて6回の議論がなされた。 ■ 同検討会のロードマップでは、住宅における2025年度以降の省エネ基準適合義務化やZEHLレベル以上の一次エネルギー消費等級の設定や、建築物における義務基準の引き上げなどの方針が盛り込まれており、再生可能エネルギーの導入促進の取り組みと併せて、再エネ熱の導入インセンティブになると考えられる。
成長志向型カーボンプライシング構想	<ul style="list-style-type: none"> ■ GX実行会議での議論をへて、「GX実現に向けた基本方針」を2023年2月に閣議決定。 ■ 「排出量取引制度の本格稼働」や野心的かつ先進的な企業群がESG資金を集め、投資と排出削減を進めるための経済的手法を活用した枠組みである「GXリーグ」の段階的発展などが挙げられており、企業全体の脱炭素化を促す。
気候変動をめぐる投資・金融の動き	<ul style="list-style-type: none"> ■ グローバル企業の気候変動対策に関する情報開示・評価に関する国際的イニシアティブ（TCFD、CDP、RE100、SBT等）の影響力が高まっており、日本企業もこうした動きに対応することが求められている。 ■ 特に2020年4月の東証市場再編後のプライム市場上場企業には、TCFDまたはそれと同等の枠組みに基づく開示の質と量の充実が求められている。
地域における脱炭素化に向けた動き	<ul style="list-style-type: none"> ■ 国と地方で検討を行う新たな場として設置された「国・地方脱炭素実現会議」では、地域脱炭素ロードマップが策定された。 ■ 今後の5年間を集中期間に定めて政策を総動員し、地域脱炭素の取組を加速するため、「脱炭素先行地域をつくること」及び「脱炭素の基盤となる重点対策の全国実施」によって「脱炭素ドミノ」を引き起こすことが目指されている。

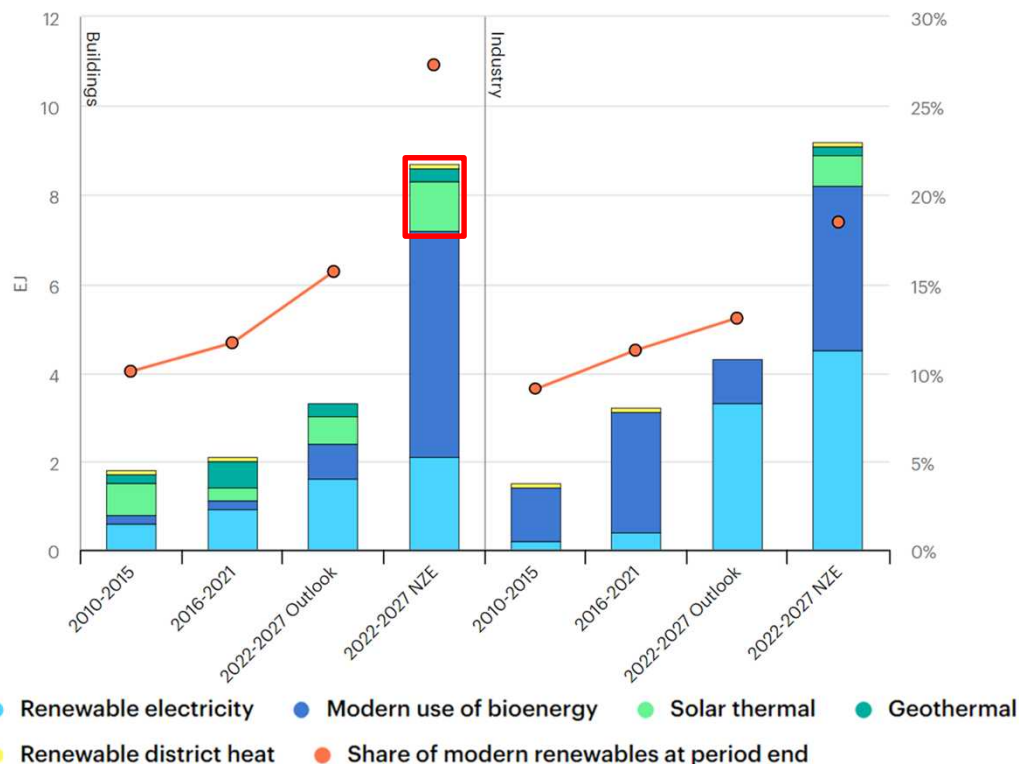
- 熱利用部門での再生可能エネルギー比率は単調に増加の傾向で、2022年現在で約11.6%。
 - 今後も更なる増加が見込まれるものの、バイオマスエネルギーの利用に偏る傾向（主に産業部門向け）。
- ⇒ 比率の低い太陽熱、地中熱など（右図□）は親和性の高い民生部門で利用拡大する必要がある。

世界の熱エネルギー消費量の推移



出典：Renewables 2022 (IEA)
<https://www.iea.org/reports/renewables-2022/renewable-heat>

世界の熱需要に対する再エネ由来エネルギー消費の見通し・割合



出典：Renewables 2022 (IEA)
<https://www.iea.org/reports/renewables-022/renewable-heat>
 (赤囲みはNEDO TSC加筆)

太陽熱の導入量（設備容量・熱利用量）の推移

Global solar thermal capacity in operation and annual energy yields 2000-2021

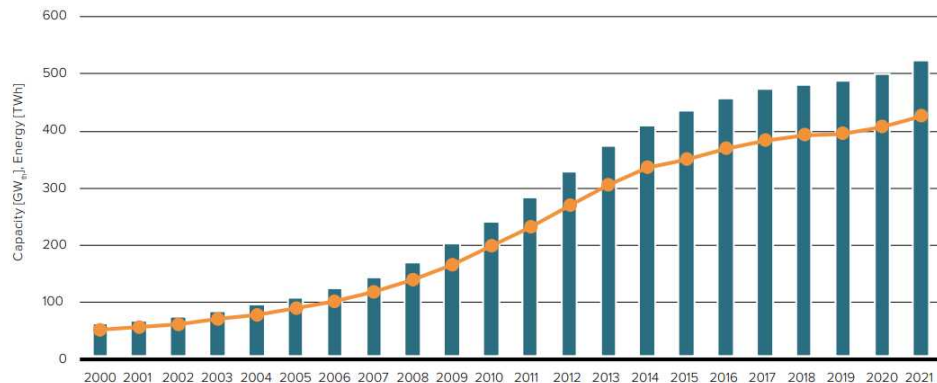


Figure 2: Global solar thermal capacity in operation and annual energy yield 2000-2021

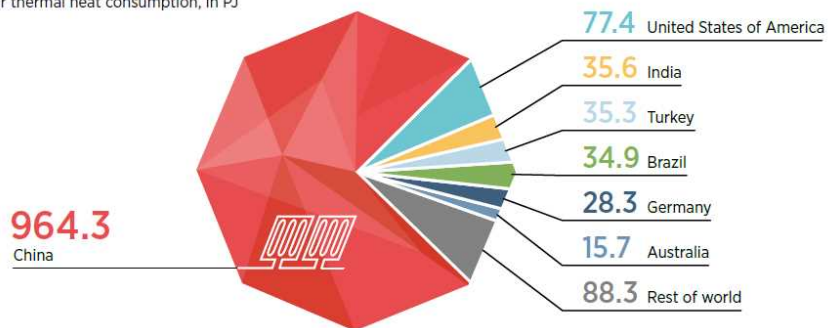
■ Global solar thermal capacity in operation [GW_{th}]
 ○ Global solar thermal energy yield [TWh]

出典：Solar Heat Worldwide (IEA SHC, 2022)

- 太陽熱利用の容量・熱利用量は2000年以降単調に増加ながら、2015年以降は鈍化の傾向。
- 国別導入量は中国が他を圧倒し、米国、インド、トルコ、ブラジル、ドイツなどが続く。
- 民生部門での利用が大半を占める。

太陽熱利用の国別導入量

Solar thermal heat consumption, in PJ

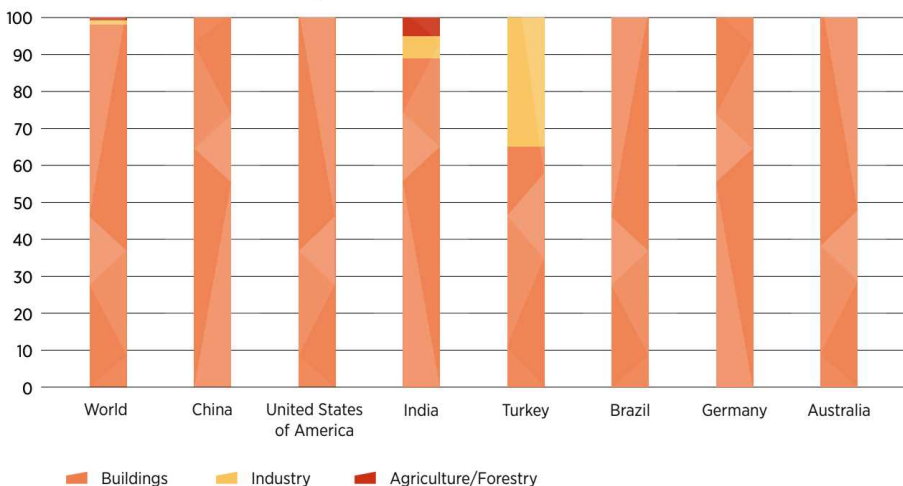


Source: IEA-SHC, 2020
 Note: PJ=petajoule

出典：Renewable Energy Policies in a Time of Transition - Heating and Cooling - (IEA/IEA/REN21, 2020)

各国における太陽熱の利用部門別シェア

Share of solar thermal heat consumption by sector (%)

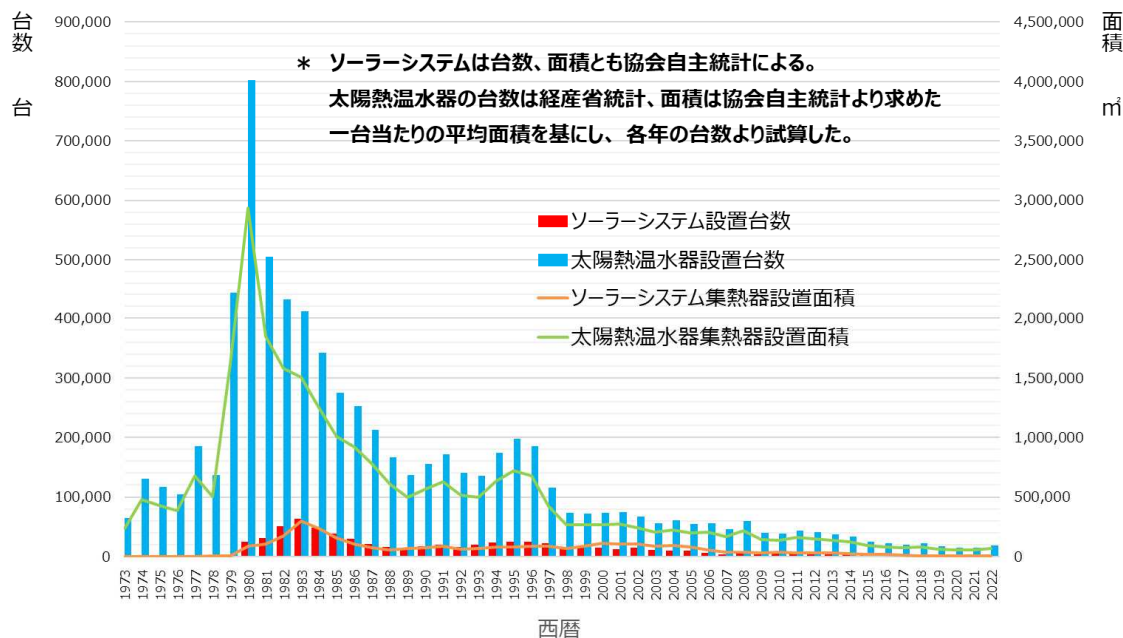


国内の再エネ熱利用の現状：太陽熱

- 2016年度における国内の太陽熱利用導入量はソーラーシステム※で0.3万台、太陽熱温水器で2.2万台である。市場規模にすると2015年度で約110億円。
- 1979年の第2次石油危機後に導入は急増したが、1990年代以降、一部の強引な販売によるイメージ低下やエコキュート等の競合技術の登場、FITによる太陽光発電シフトにより市場は縮小傾向が継続。

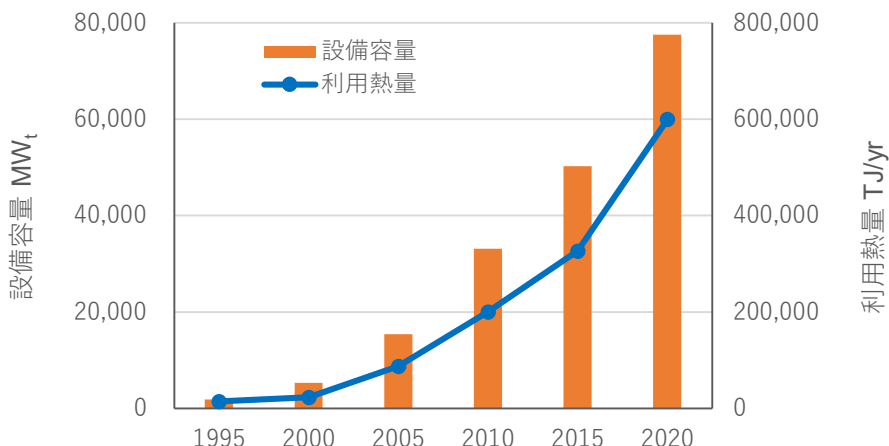
※ ソーラーシステム：太陽熱利用機器の一種で太陽光による熱エネルギーを用いて給湯、冷暖房等を行う建築設備、太陽熱温水器とは違い、集熱器と蓄熱槽（貯湯槽）が分離している。

太陽熱温水器・ソーラーシステム設置実績



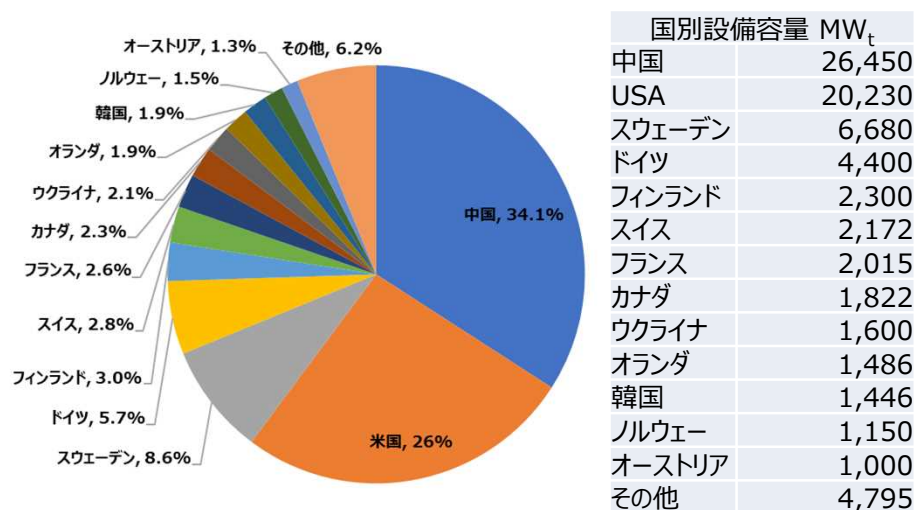
出典：太陽熱を学ぶ（ソーラーシステム振興協会ウェブサイト） <https://www.ssda.or.jp/energy/result/>

地中熱ヒートポンプの導入量（設備容量・熱利用量）の推移



- 地中熱ヒートポンプの世界での導入量は1995年以降、幾何級数的に増加の傾向。
- 国別の導入量は中国、米国での利用が大きく、次いでスウェーデン、ドイツ、フィンランド、スイス等の欧州各国での導入が目立つ。
- 人口・国土当たりの導入量で見ると、欧州の比較的寒冷な国での利用が顕著。

地中熱ヒートポンプ設備容量の国別シェア（2019年）



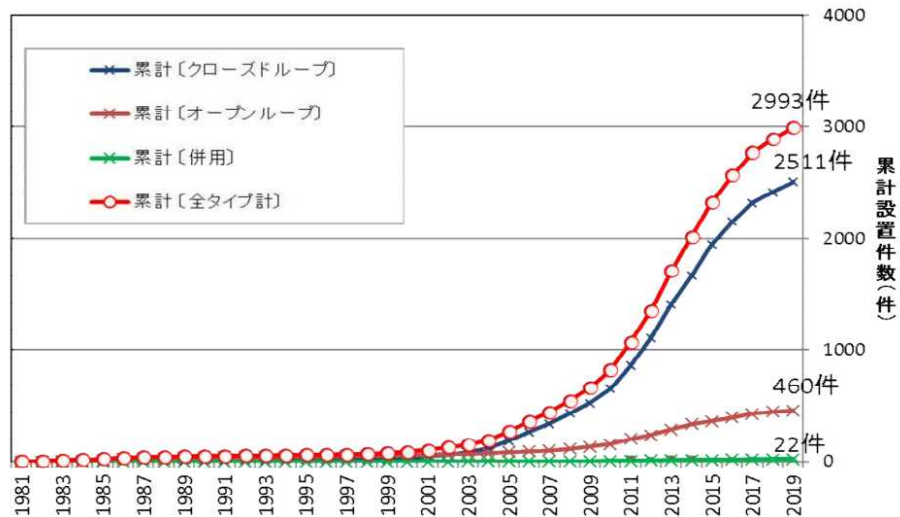
人口・国土あたりの設備容量 トップ5（2019年）

人口当たりの設備容量 MW _t /1000人		面積当たりの設備容量 MW _t /100km ²	
アイスランド	7.00	スイス	5.32
スウェーデン	0.67	オランダ	4.14
フィンランド	0.42	アイスランド	1.93
スイス	0.26	スウェーデン	1.48
ノルウェー	0.21	オーストリア	1.31

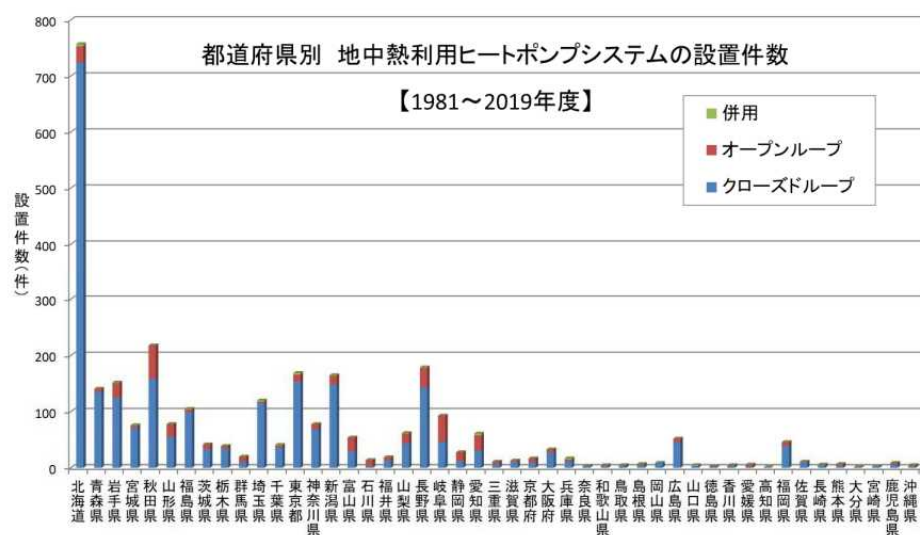
国内の再エネ熱利用の現状：地中熱

- 国内の地中熱ヒートポンプの導入は2000年頃より増加し、年間300件程度が導入されていたが、近年は鈍化傾向にあり、年間100件程度で推移している。
- 国内の地域別導入量をみると、北海道・東北や新潟・長野等の寒冷地への導入が多く、一部関東（埼玉、東京、神奈川）でも導入がある。

地中熱ヒートポンプの累計設置件数



地中熱ヒートポンプの都道府県別設置件数



出典：令和2年度地中熱利用状況調査の集計結果（環境省）

- 米国エネルギー省（DOE）では、エネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE：Office of Energy Efficiency and Renewable Energy）の各部局が再エネの技術開発を担当。
- 再エネ熱を中心に据えた研究開発プログラムは少なく、集光型太陽熱の他、EGS（Enhanced Geothermal System）型の地熱発電研究プロジェクトの一環で地熱の直接利用を目的とした研究開発を実施。

DOEにおける再エネ熱関連プロジェクトの実施内容

実施主体	実施内容
DOE EERE 太陽エネルギー技術局 （SETO：Solar Energy Technologies Office）	<ul style="list-style-type: none"> ■ 集光型太陽熱による海水淡水化に関する研究開発プログラム（Solar Desalination funding program）を実施している。 ■ この他、各年度予算の一部で、産業熱向け蓄熱プロジェクト（Sunvapar社／Low-Cost Buffer Storage for Solar Industrial Steam Applications）や産業分野の需給パターン分析（NREL／Solar for Industrial Process Heat）を支援している。
DOE EERE 地熱技術局 （GTO：Geothermal Technologies Office）	<ul style="list-style-type: none"> ■ EGS開発の旗艦事業として、FORGE（Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy）プログラムを進めている。 ■ 同局のロードマップGEOVISION（2019年5月公表）では、EGSが発電のポテンシャルを急激に増加させるとともに、熱利用においても地域熱供給やその他直接利用用途における普及拡大を促すとしている。 ■ そのほか、熱利用に関連する分野として、150℃未満の地熱資源や石油・ガス井の副産物として発生する地熱流体の利用などの活用について研究開発が行われている。
エネルギー高等研究計画局 （ARPA-E：Advanced Research Projects Agency – Energy） （DOE傘下のイノベーション研究機関）	<ul style="list-style-type: none"> ■ 再エネ熱に直接関連するプログラムは見られないが、近いテーマとして、建物の冷却・空調装置の新しいアプローチを開発するBEETIT（Building Energy Efficiency Through Innovative Thermodevices）プログラムや熱エネルギーを貯蔵する革新的で費用対効果の高い方法を開発するHEATS（High Energy Advanced Thermal Storage）プログラムを実施している。

- 2014年以降のHorizon 2020、Horizon Europeでは、2年ごとにワークプログラムの設定、公募を実施。
- 2023～2024年を対象としたワークプログラムにおいて、再エネ熱関連のテーマは地熱、太陽熱のほか、産業用ヒートポンプ利用やエネルギー貯蔵など変動性再エネ大量導入を見据えたテーマが設定されている。

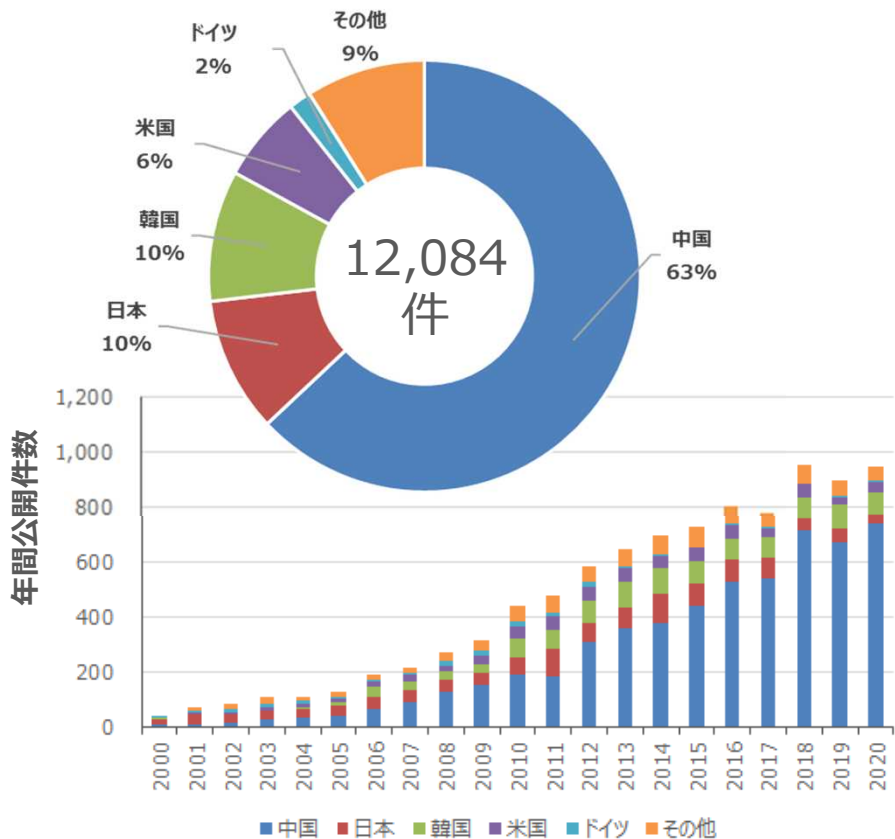
再エネ熱に関連するHorizon Europeワークプログラム(2023-2024)

分野	タイトル	TRL	予算 (EUR)
地中熱 関連	Advanced exploration technologies for geothermal resources in a wide range of geological settings	5	8M
	Smart use of geothermal electricity and heating and cooling in the energy system	7	15M
	Innovative applications/integration of geothermal heating and cooling in industry	5	9M
太陽熱 関連	Industrial manufacturing for lower-cost solar thermal components and systems	7-8	6M
	Solar Systems for Industrial Process Heat and Power	6-7	14M
バイオマス 関連	Development of near zero-emission biomass heat and/or CHP including carbon capture	5	8M
ヒートポンプ 関連	Innovative components and configurations for heat pumps	4-5	6M
その他	Integration of renewable heat or industrial waste heat in heat-to-cold conversion systems to generate cold for industrial processes	7	20M
	Thermal management and energy optimization of high energy demand IT systems equipment in tertiary buildings	4-5	6M

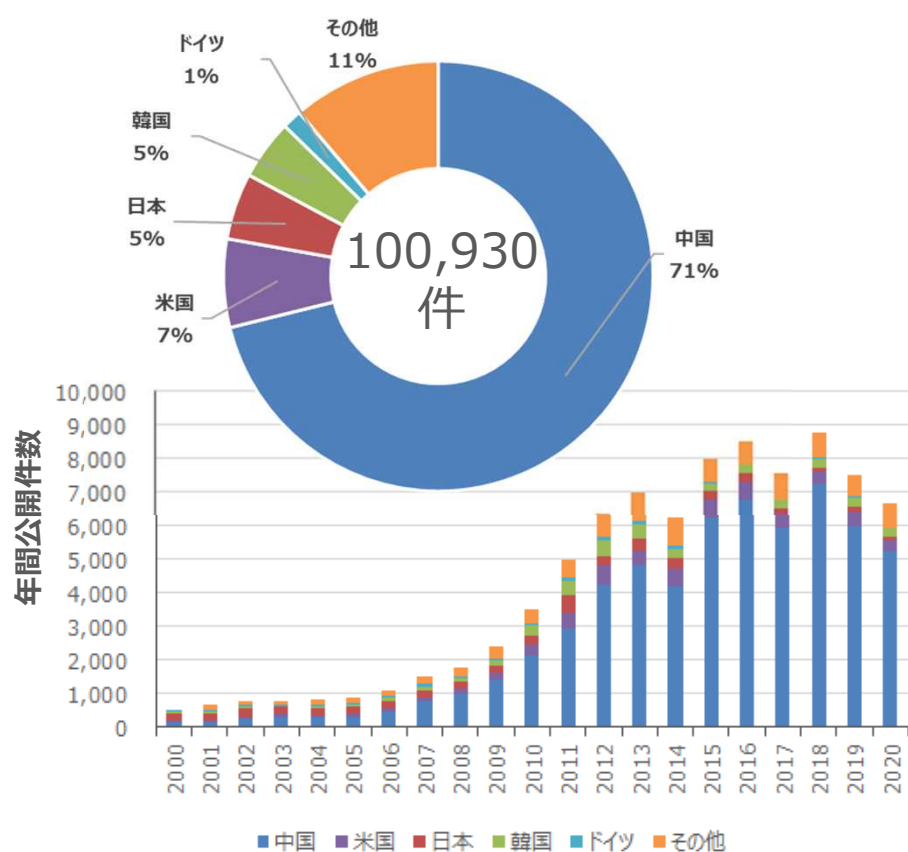
特許動向

■ 年間公開件数はほぼ単調に増加しており、中国が圧倒的に多い。
 日本の公開件数は、地中熱関連で2位、太陽熱関連で3位※。
 ※ 日本はこの他、バイオマス熱・雪氷熱・下水熱・河川熱、温泉熱等の公開件数でも3位以内に入っている。

地中熱（地熱を含む）に関する特許（2000年以降）



太陽熱に関する特許（2000年以降）



出典：Derwent Innovation™検索結果を基にNEDO TSC作成（2023）

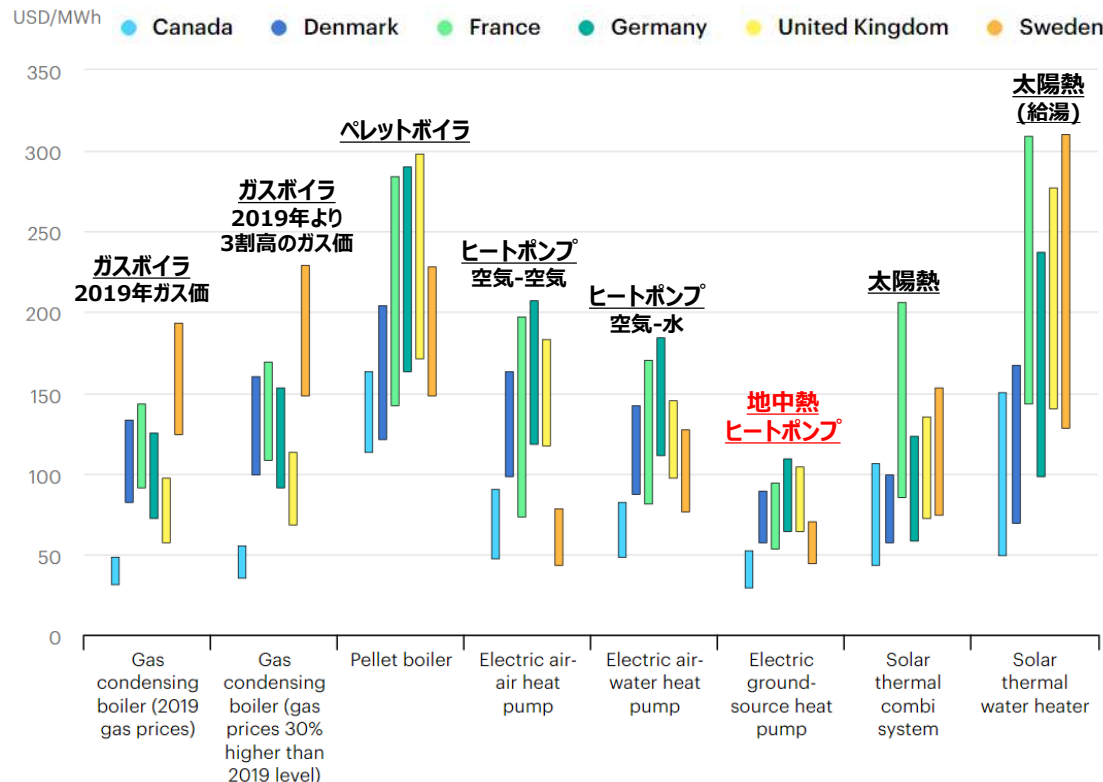
4.再生可能エネルギー熱利用の 普及のための方向性とその課題

熱利用技術のコスト比較

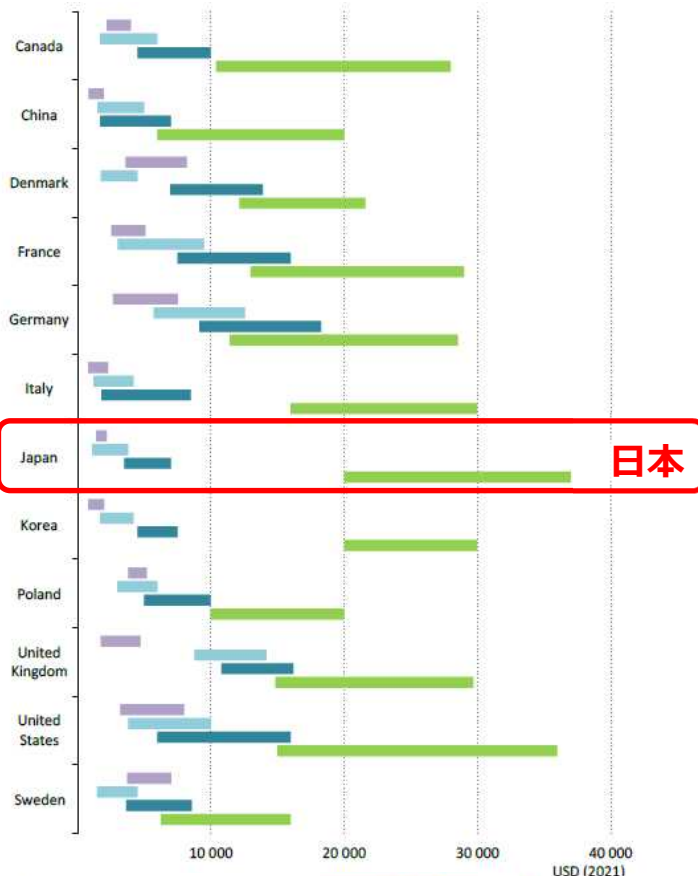
- 海外では国によってバラツキはあるものの、ガスボイラと同等程度の低コスト。(左図)
- ただし、初期コストは割高の傾向があり、普及を妨げる要因となっている。(右図)
- 地中熱ヒートポンプのコストが最も低い(左図)が、日本の初期コストは他国と比べて割高。(右図)

空調・給湯技術のトータルコスト(均等化コストLCOH※)の比較例

※LCOH : Levelized Cost of Heating



空調・給湯技術の初期コストの比較



出典 : Renewables 2021 (IEA)
<https://www.iea.org/articles/are-renewable-heating-options-cost-competitive-with-fossil-fuels-in-the-residential-sector>
 (日本語凡例はNEDO TSC加筆)

出典 : The Future of Heat Pumps (IEA,2022)
 (赤囲み、日本語凡例はNEDO TSC加筆)

- 再エネ熱利用システムの導入に係る、上流から下流までの多種多様なプレーヤーが一体となったコンソーシアム体制でZEB等への適用も視野においた研究開発を推進。
- 2023年までにトータルコスト20%以上の低減（投資回収年数14年以下）、更には2030年までにトータルコスト30%以上の低減（同8年以下）の数値目標。
- **再エネ熱源種ごとのコスト分析**※などにに基づき、**個別の再エネ熱利用コスト低減**を目指して組成された研究開発プロジェクトであり、**面的利用や複数種の熱源利用の観点**は不足。

※ NEDO平成29年度成果報告書、再生可能エネルギー熱利用技術開発/再生可能エネルギー熱利用システムの普及に向けた技術開発に関する調査

NEDO事業「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」

事業期間：2019年度～2023年度

研究開発内容

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

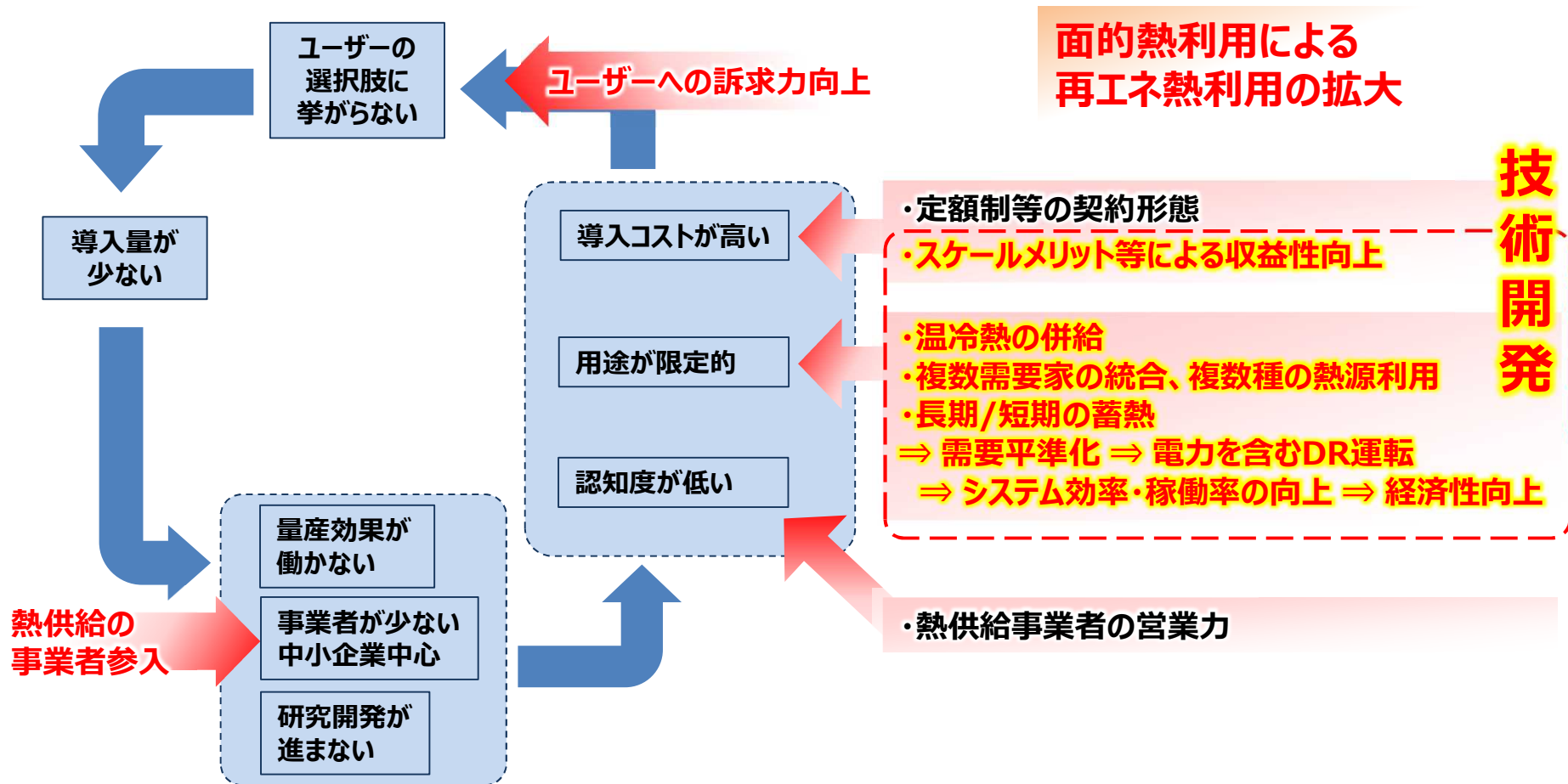
高効率機器の開発や、年間を通じた太陽エネルギーの最大限の活用に資する太陽熱利用機器の開発、評価・定量化技術の高機能化開発、再生可能エネルギー熱を含む多様な熱源を組み合わせたシステムの最適化技術開発等に取り組み、太陽熱等利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する。

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。

出典：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（NEDO）

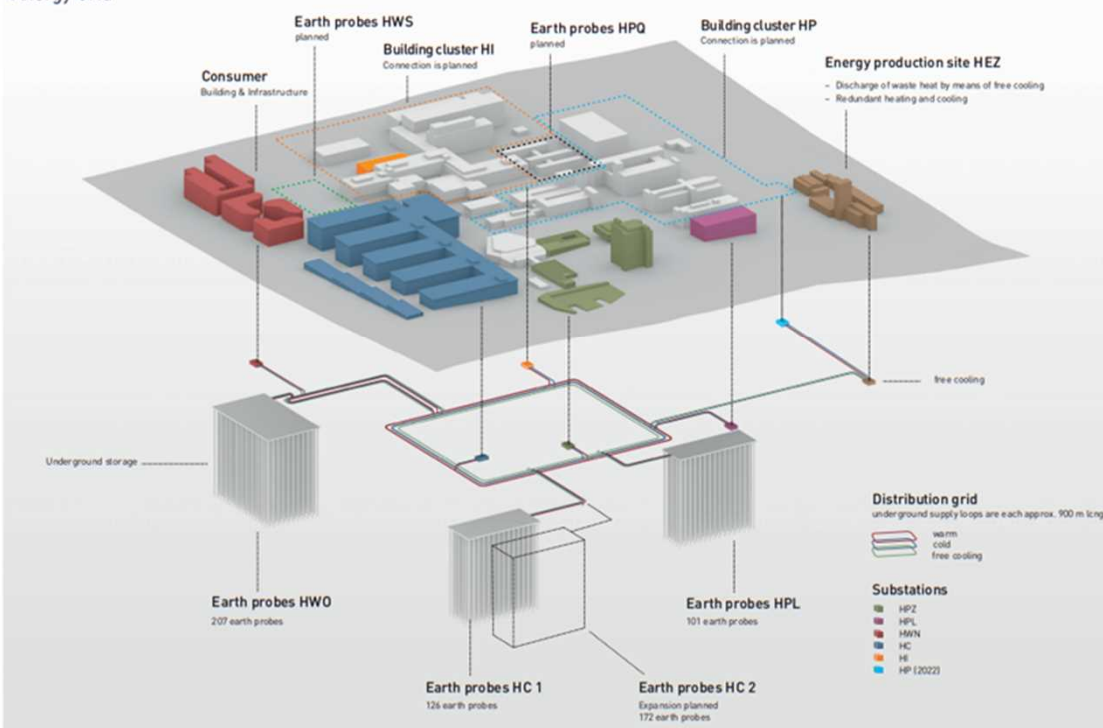
- 高い導入コスト、限られた適用用途、低い認知度を要因として、導入が進まない悪循環に陥っている。
- 個別技術の深耕だけでは国際機関が提示する普及シナリオとのギャップを埋めることが困難であり、普及を拡大するための打開策が必要。
- **面的熱利用**によって、スケールメリットによる**収益性向上**を図ることができれば、**ユーザーへの訴求力向上**と**新たな熱供給事業者の参入**につながり、悪循環から脱却して**再エネ熱利用の拡大**を図ることが可能。



- 面的利用という形で規模を確保することで、スケールメリットによる再エネ熱のコスト低減
- 変動性の小さい地中熱のベースロード利用
- 蓄熱技術との組み合わせによるデマンドレスポンス運転/需要平準化

ETHチューリッヒ校（スイス）での熱供給システムの例

ETH Zurich, Campus Höggerberg
Anergy Grid



- 需要をサブステーションごとのクラスタに分類した上で、5つのサブステーションと3つの大規模地下蓄熱システムをつなぐネットワークを構築
- 年間システムCOP（循環ポンプ、バルブ駆動、クーリングユニットに必要な電力も加味）で加熱5.8~6.2、冷却9.7~12.8と高効率なシステムを構築
- モジュール型の拡張計画と運用最適化により、キャンパスの建物の更新や拡大などと合わせて、ネットワークを継続的に拡大

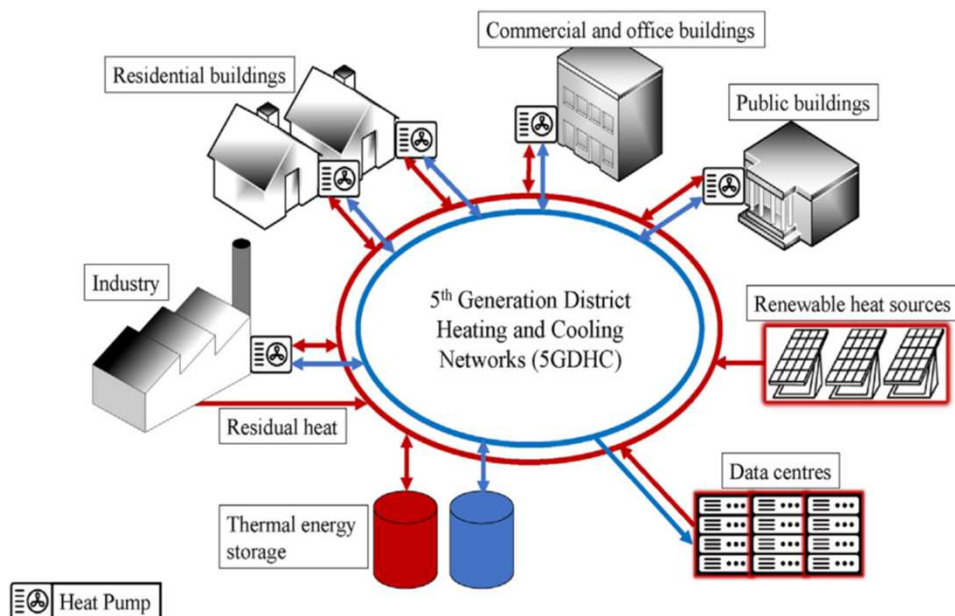
出典：再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発／海外での再生可能エネルギー熱の面的利用に関する詳細事例調査（NEDO、2022）

面的熱利用における熱供給温度低下のメリット

- 再エネ熱に加え、廃熱（工場、データセンターなど）を含むあらゆる未利用熱を分散熱源として活用可能
⇒ prosumer※を巻き込んだより広いエネルギー市場でのビジネスモデル（地域熱供給）へと展開可能
- 送熱過程でのヒートロスの低減によりシステム効率を向上
- 配管管理を容易とし、耐用年数も延長
（常温熱の利用（「第5世代」と称される）では特殊な配管材が不要なため、配管敷設コストが低下）
- ユーザエンドでは水熱源ヒートポンプを利用
 - ・温熱/冷熱の併給により、戻り熱も有効に利用 → システム効率向上の可能性
 - ・ヒートポンプ設置のコストはかかるが、スケールメリットを生かしたトータルコスト低減の可能性

※ 参加するプレイヤーは熱の生産者producerであり、消費者consumerでもある。

第5世代地域熱供給の概念図

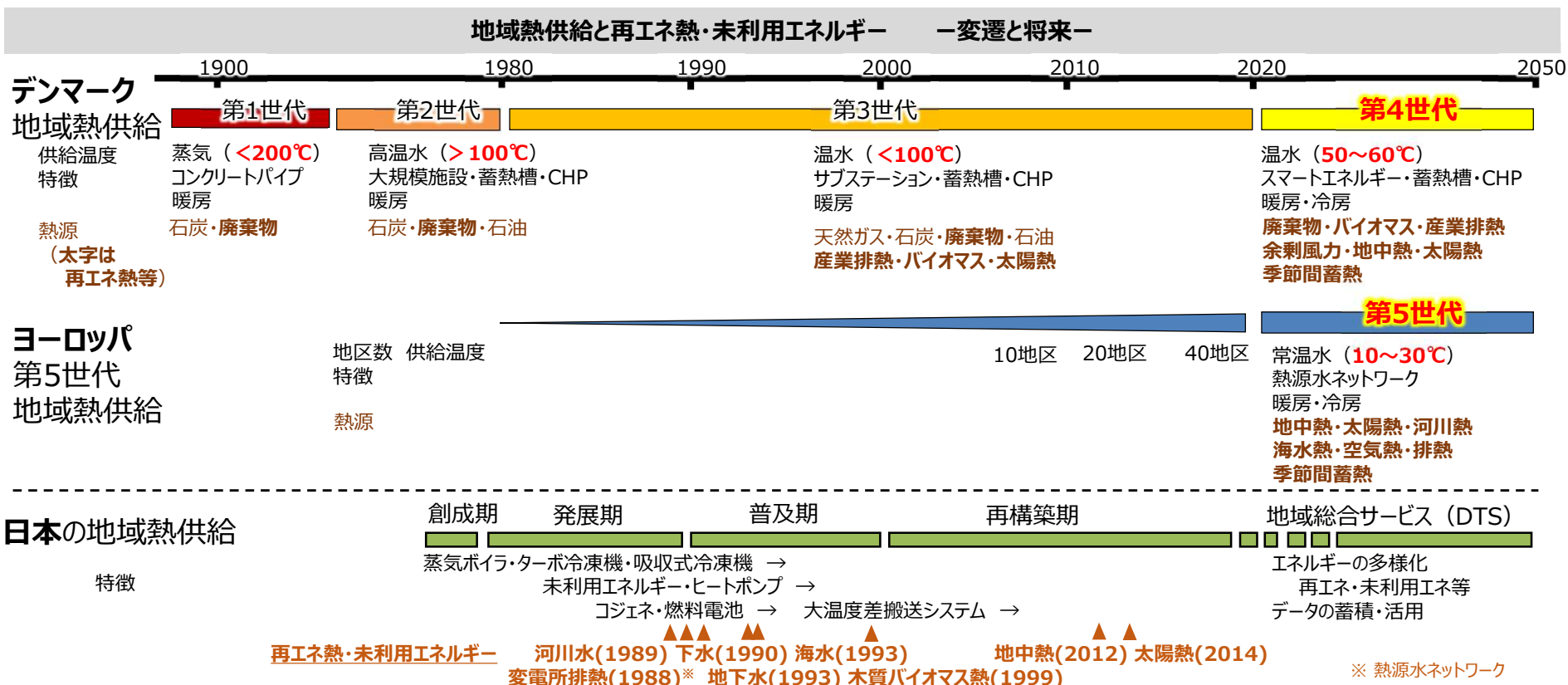


ヒートポンプは、面的熱利用システムにおいて、需要家間の異なる熱源温度を効率的に結ぶ役割を果たす。そのため、コストダウン施策としての面的熱利用を支える重要な要素となる。



地域熱供給の技術の変遷

- デンマークの地域熱供給は19世紀末以来100年を超える歴史。「第1世代」から、**世代を重ねるごとに熱媒体温度低下、再生可能エネルギー比率向上。「第4世代」の温水供給は 50~60℃。**
- 「**第5世代**」は**常温の熱源水**が需要家に供給され、ヒートポンプ等を用いて冷暖房等を行う。温水自体を供給するのではなく、**熱エネルギー源**を供給する点でデンマークの区分とは異なる概念。スイス、ドイツを中心に展開。主に地中熱などの再エネ熱を利用。
- 日本の地域熱供給は1960年の大阪万博の時にスタート。早い時期から冷房も対象。再エネ熱は1990年頃から導入、河川水・海水・地下水・下水を利用した大規模施設の実績。太陽熱、地中熱の導入は2010年代以降。

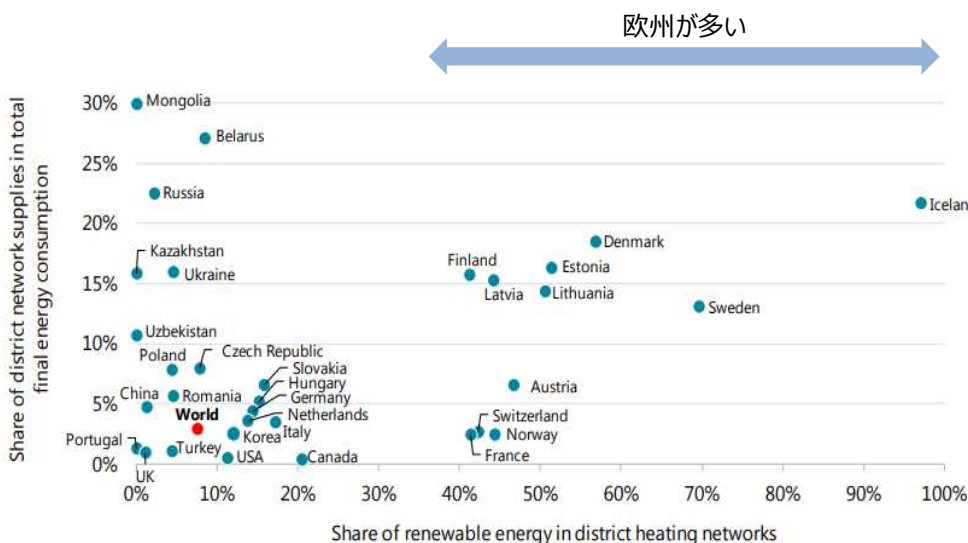


出典：Henrik Lund et al., 4th Generation District Heating : Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems (Energy 68, 2014) 、
 Buffa et al., 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe (Renewable and Sustainable Energy Reviews 104, 2019) 、
 長期ビジョン_地域熱供給50周年記念式典特別報告資料(熱供給事業者協会、2020)を基にNEDO TSC作成

地域熱供給の導入状況と再エネ熱比率

- 寒冷な国・地域において、地域熱供給の普及が進んでいる傾向。(左図縦軸より)
- 特に欧州において、地域熱供給への再エネ熱の比率が高い傾向。(左図横軸より)
- 日本では、1970年ごろより、地域熱供給の導入が始まり、2000年代以降、20,000~25,000TJ/年の熱供給量で推移(民生の最終エネルギー消費4,000PJ/年に対するシェア約0.5%)。ごみ焼却施設の廃熱の他、下水熱・河川熱・バイオマス熱などの再エネ熱源の利用が一部進む。

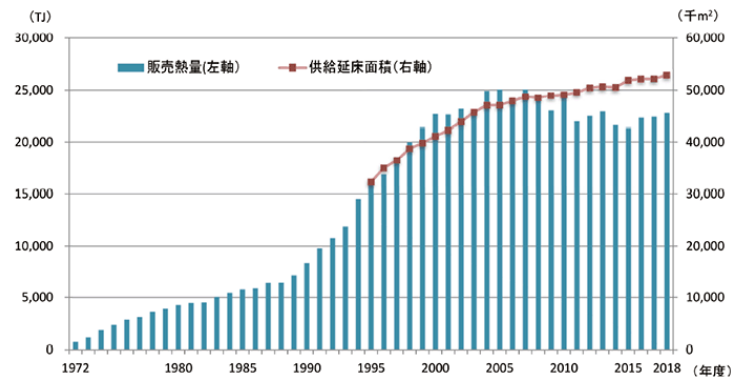
世界の地域熱供給の導入状況・再エネ熱源比率



地域熱供給における再エネ熱の比率

出典：Renewables 2019 (IEA)

国内の地域熱供給の導入状況



出典：資源エネルギー庁ウェブサイト
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/2-1-4.html>

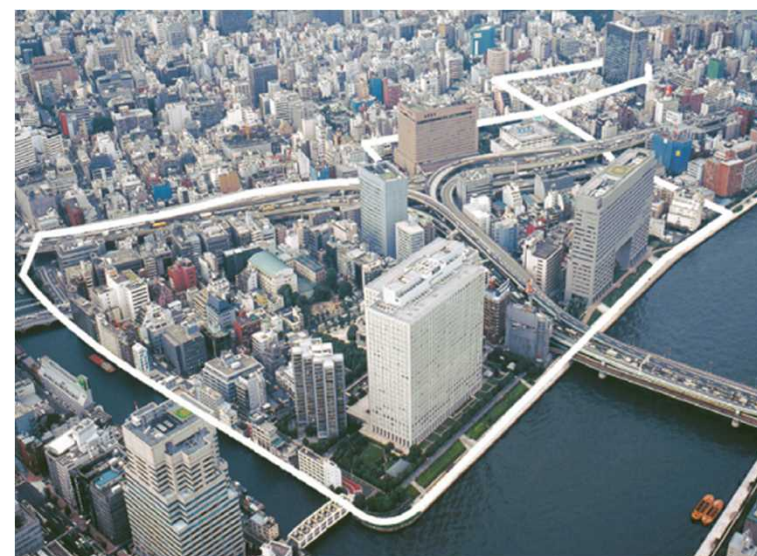
国内の地域熱供給の例（1）

- 主に都市域で複数の建物からの熱需要が見込まれるエリアにおいて、冷水や温水等を一か所でまとめて製造し、導管を通じて街（建物）に供給される形態が典型的である。
（例えば、熱供給事業法では、21GJ/時以上の加熱能力を有し、複数の建物へ熱供給する事業者が適用となる。）
- コージェネレーションによる電力併給や、未利用廃熱の利用など、事業者ごとに事業性・経済性を高める工夫がなされているが、地域に賦存する再エネ熱源の活用は、現状では導入コストが高いため、まだまだ限定的。
- 箱崎（右下）は、一定規模の熱需要を持つサイトで河川熱を面的に利用してコスト低減を図った事例。

地域熱供給（地域冷暖房）のイメージ図



箱崎（東京都市サービス株式会社）



国内で初めて河川水の持つ「熱」を活用した熱供給事業。東京都の大川端再開発構想の一環として開発が進められた。再開により急増するエネルギー需要に対して地域一帯に効率よくエネルギーを供給する目的で河川熱を活用。

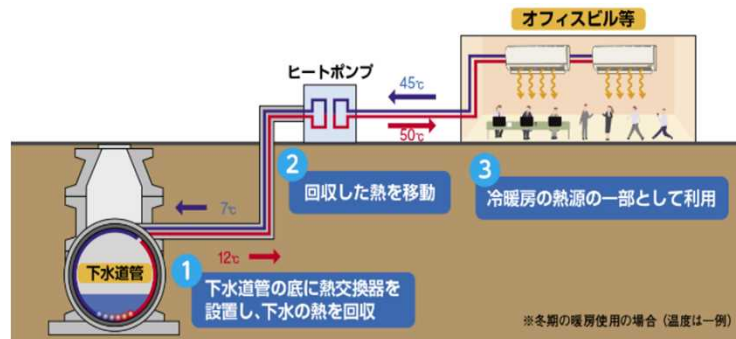
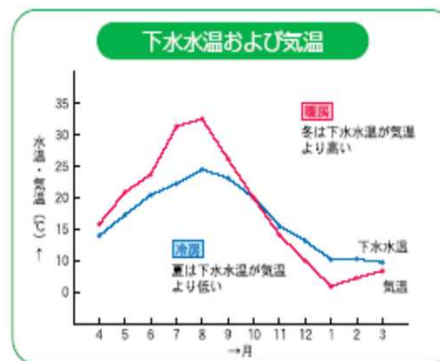
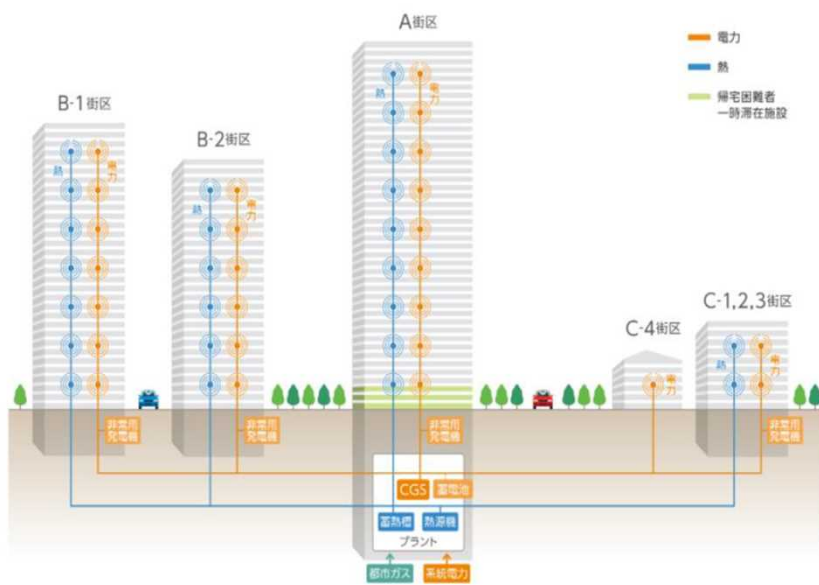
出典：日本熱供給事業協会ウェブサイト <https://www.jdhc.or.jp/what/drawing/>

出典：日本熱供給事業協会ウェブサイト <https://www.jdhc.or.jp/article/%e7%ae%b1%e5%b4%8e/>

国内の地域熱供給の例（2）

- 虎ノ門・麻布台地区では独自の電力・熱のネットワークを構築し、地区内のエネルギー供給を担う計画。
- 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や、大規模CGSなどの自家発電システムを導入。加えて、下水道管の底に熱交換器を設置することで、気温に比べ「夏は冷たく、冬は暖かい」という温度特性を持つ下水熱の回収を、国内で初めて導入。
- さらにAI技術を活用したエネルギーデマンドレスポンスの精緻な管理技術を通じて、未利用エネルギーを有効活用してシステム効率の向上を目指す。

虎ノ門・麻布台地区（森ビル株式会社）



※冬期の暖房使用の場合（温度は一例）

再エネ熱を最大限活用した面的熱利用の普及の方向性

- 目指すあるべき姿（Phase3）は、社会インフラの拡充に相当する面的熱利用の社会実装が、市街地等の再開発や設備更新等の機会を捉えて自律的に普及していく状態であるが、そこに至るまでには段階を踏む必要がある。
- Phase1では、特に**自治体の関与や公的な支援が望まれる**。例えば、地域熱供給が先行する欧州では、官民連携での取り組みが普及拡大につながっている。
- Phase2では、様々な条件（地域・規模など）での事例を積み重ねながら、ノウハウを蓄積するとともに信頼性向上・コスト低減が進む必要がある。体力のある**デベロッパーやゼネコンの意欲的な参入が望まれる**。

再エネ熱を最大限活用した面的熱利用の普及イメージ

2050年

Phase1: 普及初期

普及率2.5%以下
(採用者：イノベーター※)

補助金等を活用しながら、好条件のエリアにおいて再エネ熱を最大限活用した面的熱利用システムが、一定規模の技術実証や高付加価値を目指した先進事例として構築・運用される。

実施者：有志企業・自治体
補助金：要
段階：技術実証、小規模実証
対象エリア：公共施設、タワーマンション、商業施設等

例) ・再開発地域の数区画程度での実証
・比較的大規模な施設での実証

Phase2: 移行期

普及率2.5~16%
(採用者：アーリーアダプター※)

先行事例の評判から認知度が向上し、導入事例が増加する。事例の積み重ねにより、ノウハウ蓄積、信頼性向上、量産効果によるコスト低減が進む。

実施者：デベロッパー、ゼネコン
補助金：一部要
段階：商業規模実証
対象エリア：高層タワーマンション、大規模商業施設等

例) ・条件、適性の異なる地域での実証
・より大規模な施設での実証

Phase3: 自律的な普及期

普及率16~50%
(採用者：アーリーマジョリティ※)

設備更新等の機会を捉えて、再生エネ熱を最大限利用する面的熱利用システムの構築が自律的に行われる。

実施者：各種企業・団体
補助金：非
段階：実装レベル
対象エリア：各種施設、地域

例) ・一般的な市街地の再開発
・都市インフラ設備の更新
・マンション/商業施設の新築/改修

※ 普及率および採用者の定義は、E.M.ロジャース,1990,『イノベーション普及学』による。

再エネ熱の面的熱利用の普及のための課題

- 再エネ熱の面的利用でのメリットを生かして更なる普及拡大を図るための課題とそれを解決する具体的な技術開発・手段の例を以下に整理。
- スケールメリットを引き出すための個別熱源の出力の向上、システム効率改善に向けた運用ノウハウ蓄積、再エネの変動性を制御するための蓄エネ技術、低温熱の最大利用に向けたシステム設計が重要。また、これを支える基盤技術として、導入ポテンシャルの可視化・シミュレーション技術の開発が必要。

課題	具体的な技術開発・手段の例 (・ 技術開発 ◆ その他の施策)
<ul style="list-style-type: none"> ・ スケールメリットの最大化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再エネ熱源の出力向上 (例：地中熱交換井の大深度化 (大容量化)、コスト削減等) ・ 掘削作業等の集約化によるコスト低減のノウハウ蓄積 ・ 各種設備のモジュール化、標準化
<ul style="list-style-type: none"> ・ 複数種の熱源/需要家の統合によるシステム効率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 異なる温度帯の熱源を有効に利用する技術 (適切なヒートポンプ利用含む) の開発、ノウハウ蓄積、標準化 ・ 温熱/冷熱併給技術の開発、ノウハウ蓄積、標準化
<ul style="list-style-type: none"> ・ 再エネの変動性に対応する需給平準化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小規模蓄熱技術の開発：利用者単位での日間需要変動平準化 ・ 大規模蓄熱技術の開発：システム全体での季節間需給変動平準化 (帯水層蓄熱・ポアホール蓄熱) ・ AI/IoT活用(電力システムとの連動、DR技術の開発)、ノウハウ蓄積、標準化 ◆ DR、アグリゲーションビジネス市場の創出・確立、政策誘導
<ul style="list-style-type: none"> ・ 低温度帯の再エネ熱の最大限かつ経済的な活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低温熱供給での配管敷設の技術の開発・ノウハウ蓄積、標準化、コスト低減 ・ 既設の熱供給システムへの再エネ熱導入、複数熱源を組み合わせた設計・運転最適化の技術の開発、ノウハウ蓄積、実証 ◆ 地方自治体主導での配管敷設など公的支援による事業環境整備
<ul style="list-style-type: none"> ・ 共通課題 (基盤技術) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導入ポテンシャルの可視化、シミュレーション ・ シミュレーションに基づく、最適な面的システムの構築 ・ 再エネ熱ポテンシャル情報の高度化 (マッピング解像度向上、熱利用の適性判定)

5. まとめ

- 2050年のカーボンニュートラル達成に向けて、再エネの最大限の利用が求められており、最終エネルギー消費の半分近くを占める**熱利用での脱炭素化が不可欠である**。そのためには、再エネ電源を前提とした電化の促進に加えて、**再エネ熱の活用が有効**と考えられる。
- 再エネ熱は、特に欧州等では政策的な後押しもあり導入が積極的に進みコストも低下する一方で、導入の遅れる日本での再エネ熱の初期コストは依然として高く、導入のペースは鈍化の傾向にある。
- **高額な初期コストを背景に再エネ熱利用の普及が進まない現状を打開する手段の一つとして、面的熱利用が考えられる。**
- **面的熱利用の一形態として有望な地域熱供給について、海外では低温度帯の再エネ熱を利用**する取り組みが始まっている。海外事例等も参考にしながら、システム全体での設計・運用・最適化のノウハウを蓄積し、実証につなげて行くことが必要である。
- 面的熱利用による再エネ熱の普及促進を進める上では、スケールメリットを引き出すための個別熱源の出力の向上、システム効率改善に向けた運用ノウハウ蓄積、再エネの変動性を制御するための蓄エネ技術、低温熱の最大利用に向けたシステム設計が重要である。また、これを支える基盤技術として、導入ポテンシャルの可視化・シミュレーション技術の開発が必要である。
- 面的な熱利用の社会実装は社会インフラの構築に相当するものであり、普及プロセスの初期段階から**自治体やデベロッパが意欲的に参画することで普及が促されるもの**と期待される。

TSC Foresight 短信

再生可能エネルギー熱利用への期待と課題

2023年 12月 発行

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

- センター長 岸本 喜久雄
- センター次長 植木 健司
- サステナブルエネルギーユニット
 ユニット長 仁木 栄
 戦略構築アドバイザー 熊野 裕介
 研究員 丸山 裕

- ・本資料に掲載されている全てのドキュメント、画像等の著作権は、特に記載されているものを除き、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター（以下、NEDO TSCという。）に帰属します。
- ・本資料の内容の全部又は一部について、私的使用又は引用等著作権法上認められた行為として、適宜の方法により出所を明示することにより、引用・転載複製を行うことが出来ます。
ただし、NEDO TSC以外の出典元が明記されている場合は、それぞれの著作権者が定める条件に従ってご利用下さい。
- ・本資料に掲載されている著作物を商業目的で複製する場合は、予め下記お問い合わせ宛にご連絡下さい。
商業目的で複製とは、直接収益を得ることを目的に著作物を複製して販売すること等を指します。
- ・本資料の全部又は一部について、NEDO TSCに無断で改変を行うことはできません。
- ・本資料に関する問い合わせ先：
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター
電話 044-520-5150 E-Mail: tsc-unit-2023@ml.nedo.go.jp