

再生可能エネルギー熱利用の 地域熱供給への展開

NPO法人 地中熱利用促進協会

笹田 政克

プレゼンの内容

再エネ熱、地域熱供給とは

- ・ 再エネ熱と未利用エネルギー
- ・ 地域熱供給・地点熱供給・面的利用

地域熱供給と再エネ熱・未利用エネルギー 変遷と将来

- ・ ヨーロッパと日本

地域熱供給への再エネ熱の導入

- ・ 中央熱源方式と熱源水ネットワーク方式

未利用エネルギー・再エネ熱の導入可能量

- ・ (未利用エネ) ごみ焼却場・工場・火力発電所、下水・河川水・海水
- ・ (再エネ熱) 太陽熱・地中熱

再生可能エネルギー熱と未利用エネルギー

再生可能エネルギー熱（再エネ熱）：

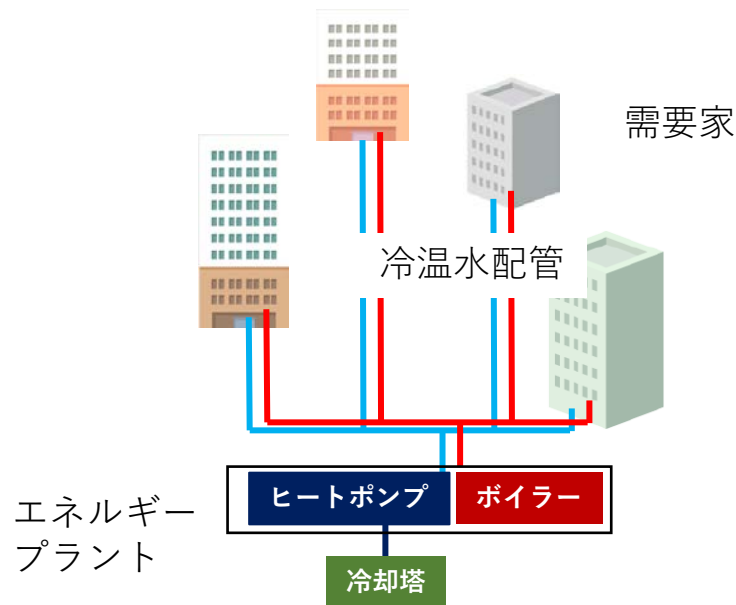
- 太陽熱
- 地中熱（地下水を含む）
- バイオマス熱（木質バイオマス）
- 下水熱（未処理水、処理水、管渠）
- 河川熱
- 海水熱
- 雪氷熱
- 温泉熱

未利用エネルギー：ごみ焼却、工場排熱、変電所・変圧器排熱
（狭義） RDF、発電所抽気、廃棄物、再生油

未利用エネルギー
（広義）

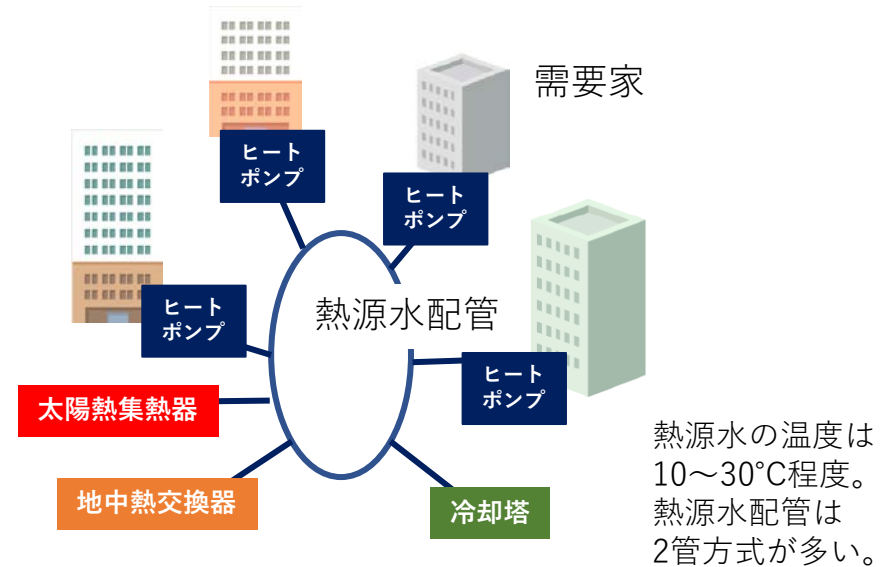
地域熱供給（面的熱利用）

中央熱源方式



日本の地域熱供給のほとんどのものは、エネルギープラントにある各種熱源機から、冷水、温水等を供給する中央熱源方式である。冷水の温度は7°C、温水の温度は45°Cで、冷水・温水等が需要家に供給される。

熱源水ネットワーク方式



熱源水ネットワーク方式の地域熱供給はヨーロッパにおいて40システムが稼働しており、地中熱、太陽熱、河川熱、海水熱、湖水熱、建物からの排熱などが熱源として利用されている（Buffaほか,2019）。

地域熱供給事業

熱供給事業では、オフィスビル、ホテル、住宅等の冷暖房用に、加熱もしくは冷却した温水、冷水、蒸気を熱供給施設（エネルギープラント）でまとめて製造し、それらを熱導管によって、複数の建物へ供給する。

熱供給事業法の適用を受ける場合（以下の要件を全て満たす場合）

要件	需要：	一般の需要
	規模：	加熱能力21GJ(ギガジュール)／時以上
	供給数：	複数の建物
	事業者：	需要家と資本関係のない第三者または、自家使用にならない事業者

- ・ 1970年の大阪万博を契機に地域熱供給事業が始まる。
- ・ 2022年現在、全国で134地区で地域熱供給事業が行われている。

再生可能エネルギー熱 国の政策

4. 2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応

(1) 2050年カーボンニュートラル時代のエネルギー需給構造

・民生部門では、電化が進展するとともに、再生可能エネルギー熱や水素、合成メタンなどの活用により脱炭素化が進展する。

5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応

(1) 現時点での技術を前提としたそれぞれのエネルギー源の位置付け

⑤熱

地域の特性を活かした太陽熱、地中熱、バイオマス熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、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重要である。

(2021年 第6次エネルギー基本計画)

熱エネルギーの面的利用 国の政策

③効率的な熱供給の推進

熱の有効利用に対する関心が高まる中、熱導管を面的に敷設して行う地域型の熱供給、都市再開発事業などに伴いビル単位での事業や生活機能の確保も意識した地点型の熱電一体供給など、冷温熱を供給するサービスの形態も多様化してきているところである。

熱供給事業に関するシステム改革により、熱電一体型の熱供給を行うための環境整備が進んだことを踏まえ、コージェネレーションや廃熱等のエネルギーの面的利用を推進する。これにより、地域の省エネルギーの実現に貢献するとともに、災害時のレジリエンス強化やエネルギーの地産地消等を後押しする。

(2021年 第6次エネルギー基本計画)

地域熱供給の未利用エネルギー（再エネ熱・未利用エネ）

未利用エネルギー	地域熱供給地区（令和3年11月現在）	
	地区名	地区数
太陽熱	田町駅東口北、竹芝、ささしまライブ24	3
ごみ焼却・工場排熱	札幌市真駒内、千葉ニュータウン都心、東京臨海副都心、光が丘団地、品川八潮団地	5
変電所・変圧器排熱	盛岡駅西口、新川、中之島二・三丁目、西鉄福岡駅再開発	4
RDF	札幌市厚別	1
木質バイオマス	札幌市都心、札幌市厚別	2
中水、生下水、下水処理水、下水管路内熱交換	盛岡駅西口、大手町、後楽一丁目、幕張新都心ハイテク・ビジネス、横浜市北仲通南、虎ノ門一・二丁目、高松市番町、下川端再開発、ささしまライブ24	9
発電所抽気	西郷	1
廃棄物・再生油	札幌市厚別	1
河川水・運河水	箱崎、富山駅北、中之島二・三丁目、天満橋一丁目	4
海水	中部国際空港島、大阪南港コスモスクエア、サンポート高松、シーザイドもち	4
地下水（地下トンネル水含）	田町駅東口北、高崎市中央・城址、高松市番町	3
地中熱	東京スカイツリー	1
雪氷熱	札幌駅北口再開発	1
	合 計	39

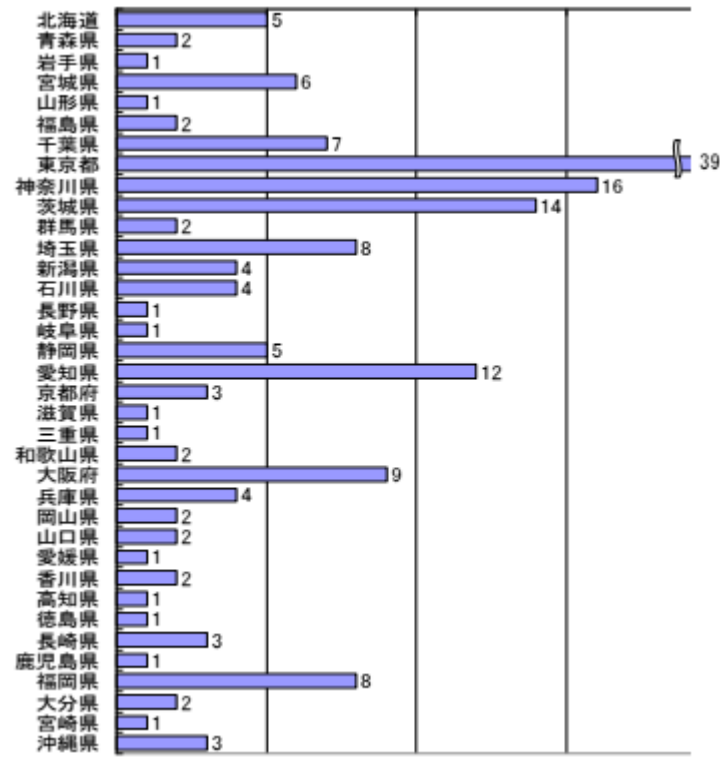
地点熱供給・熱融通

地点熱供給・建物間熱融通：
熱供給事業法の適用を受けない熱供給事業

- ・設備の加熱能力が合計21GJ/h未満
- ・もっぱら一つの建物に熱を供給する場合
- ・特定の需要に応じる場合
- ・温泉供給、地中蒸気に利用等、水を人為的に加熱・冷却しない場合
- ・営利を目的としない場合

地点熱供給事業の導入実態

- ・地点熱供給は少なくとも全国177地区に導入されており、特に東京、神奈川、愛知、大阪、福岡などの都市部を中心に分布している。



地区の分布

未利用エネルギーの種類	地区名
河川水の熱	リバーサイド隅田、室町再開発
地下水の熱	高松丸の内、他(計2地区)
ごみ焼却排熱	東折尾(陣原)、他(計2地区)
下水汚泥焼却排熱	新砂3丁目、六甲アイランド集合住宅、黒崎駅西、他(計11地区)
雪氷熱	新千歳空港

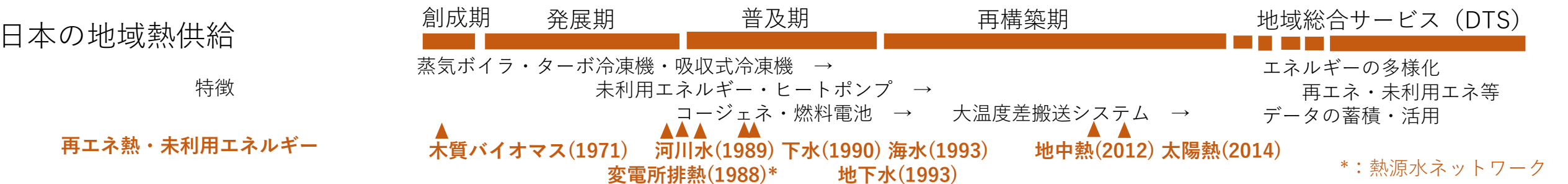
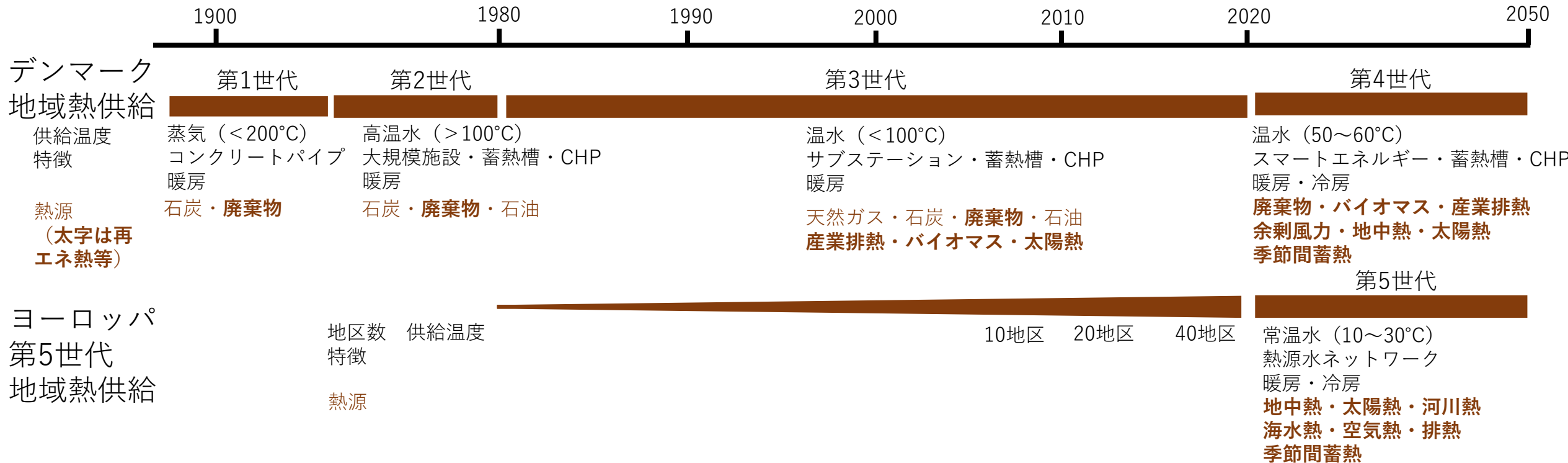
未利用エネルギーを活用している地区

地域熱供給事業での地中熱の実績

	高崎市中央・ 城址	高松市番町	東京スカイツ リー	田町駅東口北
熱供給事業者	東京都市サービス (株)	四国電力(株)	(株)東武エネ ルギーマネジ メント	東京ガスエネ ルギーソリュー ションズ (株)
延べ床面積	100,000m ²	150,107m ²	182,479m ²	1,207,500m ²
供給開始年	1993年	1997年	2012年	2014年
概要	60m以深の地下水脈から揚水した地下水を利用した水熱源ヒートポンプ及び空気熱源ヒートポンプ(熱回収型)等を導入し、これと蓄熱槽(1,290m ³)を組み合わせた「蓄熱式ヒートポンプシステム」	地下水等の未利用エネルギーを活用した地域熱供給事業。ヒートポンプと6,430m ³ の蓄熱槽を組み合わせ。	メインプラントにターボ冷凍機・ヒーティングタワーヒートポンプ・水熱源ヒートポンプならびに大規模蓄熱槽(約7千トン)、サブプラントにターボ冷凍機、温水ボイラーを設置	熱・電気を効率的に供給するために、再生可能エネルギー・未利用エネルギーを積極活用します。コージェネレーションシステム(CGS)を導入
地中熱利用方式	オープンループ (地下水)	オープンループ (地下水)	クローズドループ (ボアホール方式、 杭方式)	オープンループ (地下トンネル 水)

地域熱供給と再エネ熱・未利用エネルギー

—変遷と将来—



*: 熱源水ネットワーク

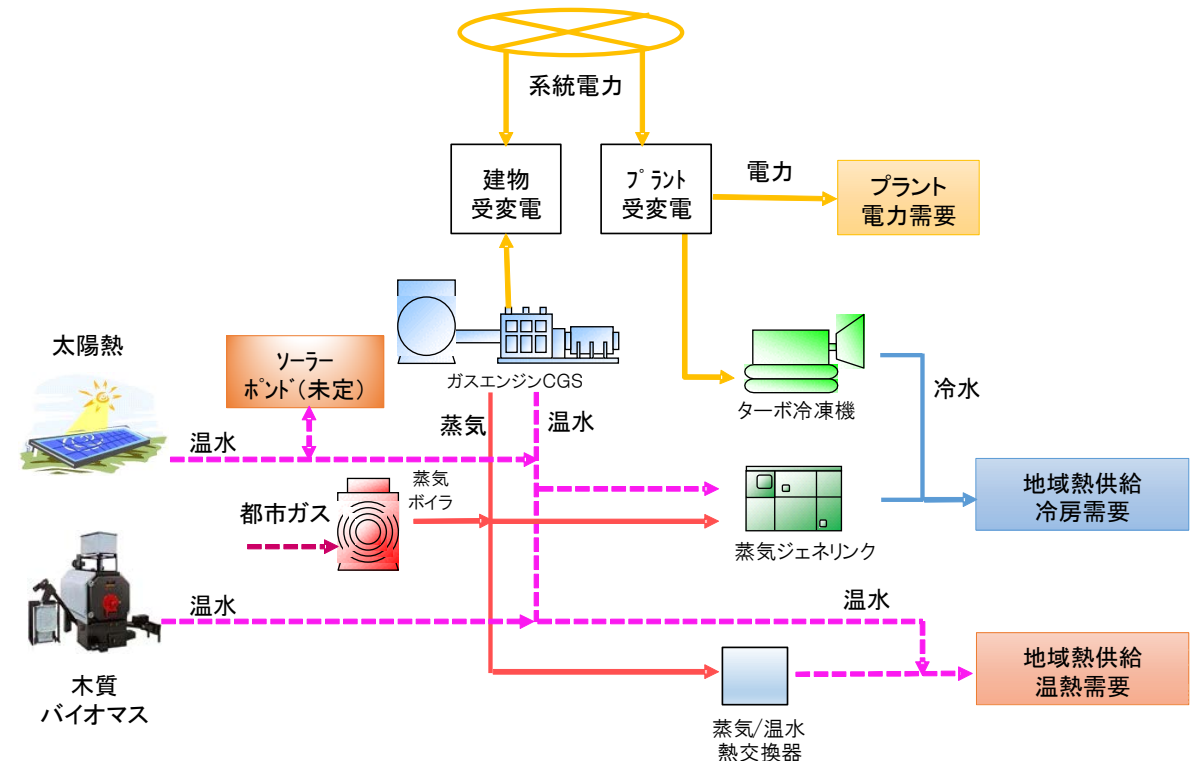
(Henrik Lund ほか(2014), Buffa ほか(2019), 熱供給事業者協会(2021) による)

再エネ熱導入の地域熱供給モデル 1 中央熱源方式（電気・ガス併用式熱源）

この方式では外部からのエネルギー供給は、系統電力と都市ガスである。

これにエネルギー源として再エネ熱を加える場合に、ここで検討するモデルでは、高温でのエネルギー利用ができる太陽熱と木質バイオマス熱を想定し、都市ガスからのエネルギー供給ラインにこれらの再エネ熱からの供給ラインを統合させるシステムを設定した。

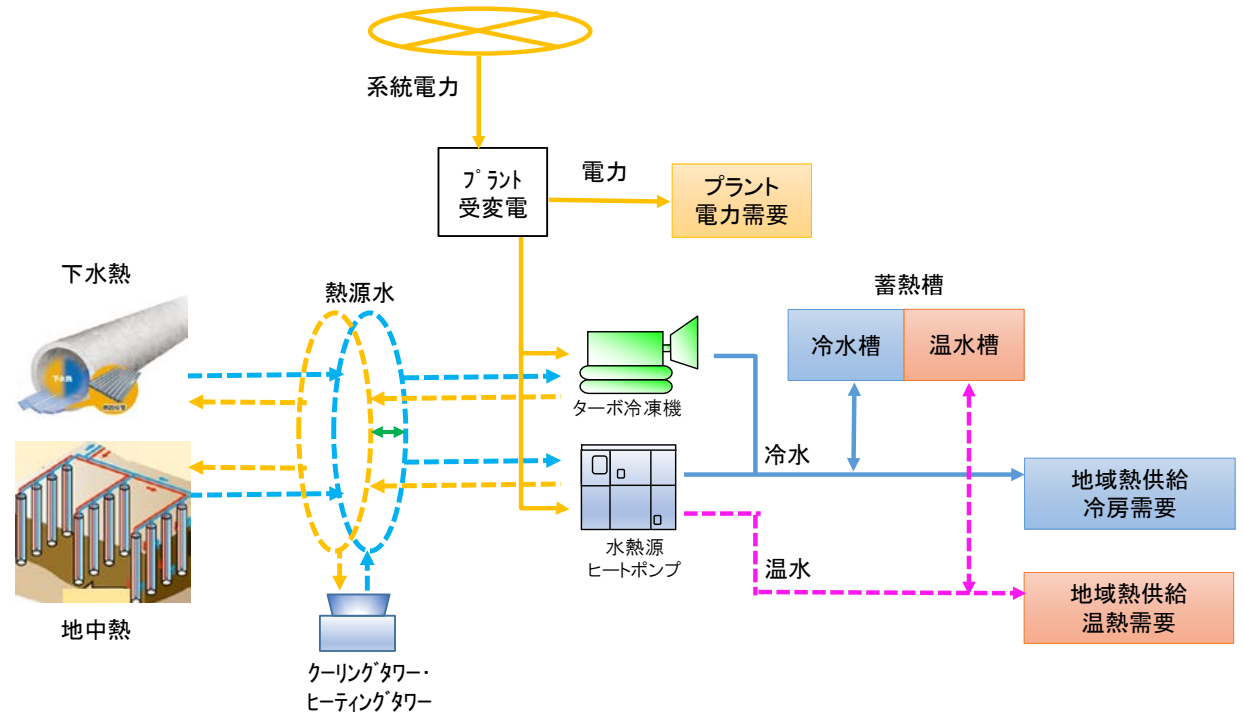
系統電力からのエネルギー供給ラインには、温度差を利用する再エネ熱である地中熱、下水熱等が適用できるが、これについては、次に述べる中央熱源方式（電気式熱源）のモデルのところで説明するので、ここでは重複を避けるために、それらの記述は省略する。



再エネ熱導入の地域熱供給モデル 2 中央熱源方式（電気式熱源）

この方式では外部からのエネルギー供給は、在来方式では系統電力のみである。

これにエネルギー源として再エネ熱を加える場合に、ここでは熱源として温度差が利用できる地中熱と下水熱（管渠）を想定し、それらに従来からの熱源である空気熱を加えている。これらの熱源から得られる熱源水を水熱源ヒートポンプとターボ冷凍機に供給して、温水と冷水を製造する。この温水と冷水は蓄熱槽に蓄えられ、需要側に供給される。



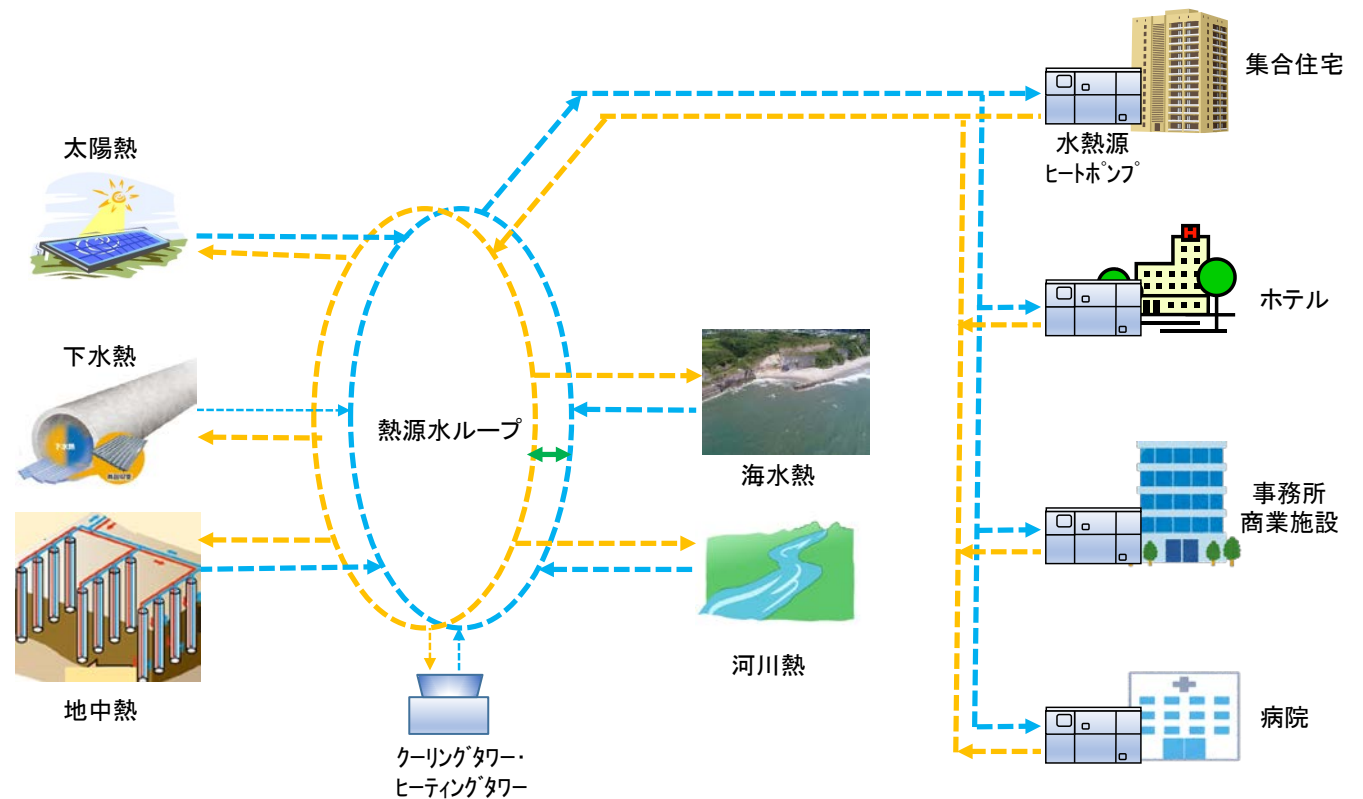
再エネ熱導入の地域熱供給モデル3 熱源水ネットワーク方式

この方式では外部からのエネルギー供給は、系統電力のみである。

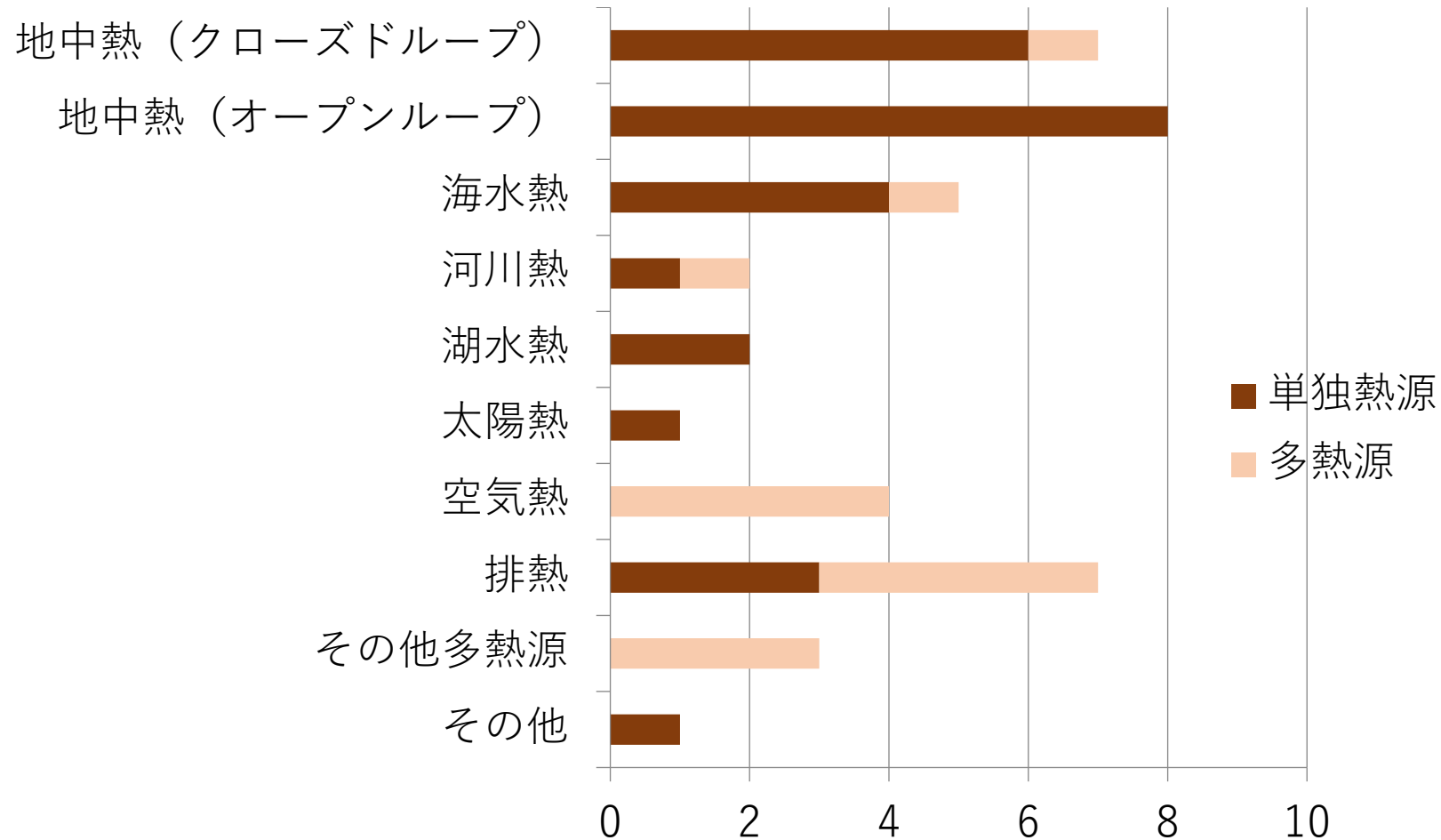
熱源水の供給先がそれぞれ施設の熱需要を賄う水熱源ヒートポンプに接続されており、系統電力を用いて熱源水を循環させ、ヒートポンプを駆動させるシステムになっている。

熱源として温度差が利用できる地中熱と下水熱のほか、河川熱、海水熱も利用できる。また、高温の熱源としての太陽熱や木質バイオマス熱も熱源水の加温に利用できるほか、熱源水の温度調整に空気熱（クーリングタワーによる冷熱、ヒーティングタワーによる温熱）も活用できる。

なお、欧州の事例では、熱源水ネットワークに接続する熱源として、工場などからの排熱や化石燃料を含まれている。



欧州の熱源水ネットワークの熱源



Buffa et al. (2019) に収録されている 40 の事例を熱源別に集計

未利用エネルギー・再エネ熱の導入可能量

エネルギー需要密度の高い地域熱供給地区に、再エネ熱などの未利用エネルギーを導入することは、大きな省エネ効果をもたらす。

佐土原他（1998）、NEDO（2022）は、将来的に地域熱供給が可能な地区を抽出し、そこでの熱需要を求め、その需要に対してどの程度の未利用エネルギー、再エネ熱が供給可能であるかの推計を行った。

佐土原他（1998）では、**ごみ焼却場・工場・火力発電所からの排熱**と、**下水処理場・河川・海の温度差エネルギー**を対象にして供給可能量を推計した。これらは地域熱供給の可能性のある地区の近傍にあるものに限られる。

NEDO（2022）では、再エネ熱として、環境省の再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS）に全国のポテンシャル情報が提供されている**太陽熱と地中熱**を対象にして、供給可能量を推計した。これらの再エネ熱は、建物との関係で利用量の制約はあるが、地域熱供給の可能性のある地区のどこでも利用可能なエネルギーである。

地域熱供給の可能性のある地区の熱需要（1）

「プロジェクト2010日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究」（佐土原他, 1998）での熱需要の推定：

地域冷暖房を導入する可能性がある地区を、既成市街地、新開発・再開発地域、建て替えが想定される大規模住宅団地に分けて抽出し、それぞれの地域の熱需要を推定し、熱負荷密度、規模等が一定の値を超えているものを対象地区として指定した。

地区の種類		抽出の基準	対象地区	熱需要 (PJ)
既成市街地	床面積データあり	・熱負荷密度1.0Tcal/ha・年以上 ・地区面積2.5ha 以上	942	221.9
	床面積データなし	・法定容積率500%以上 ・地区面積2.5ha 以上		
再開発・新開発地		・開発の内容が具体的 ・グロス容積率100 %以上 ・床面積25,000m2以上	313	39.1
建て替え想定住宅団地		・建築後30 年以上 ・規模1000戸以上	41	2.6
合計			1,296	263.7

地域熱供給の可能性のある地区の熱需要（2）

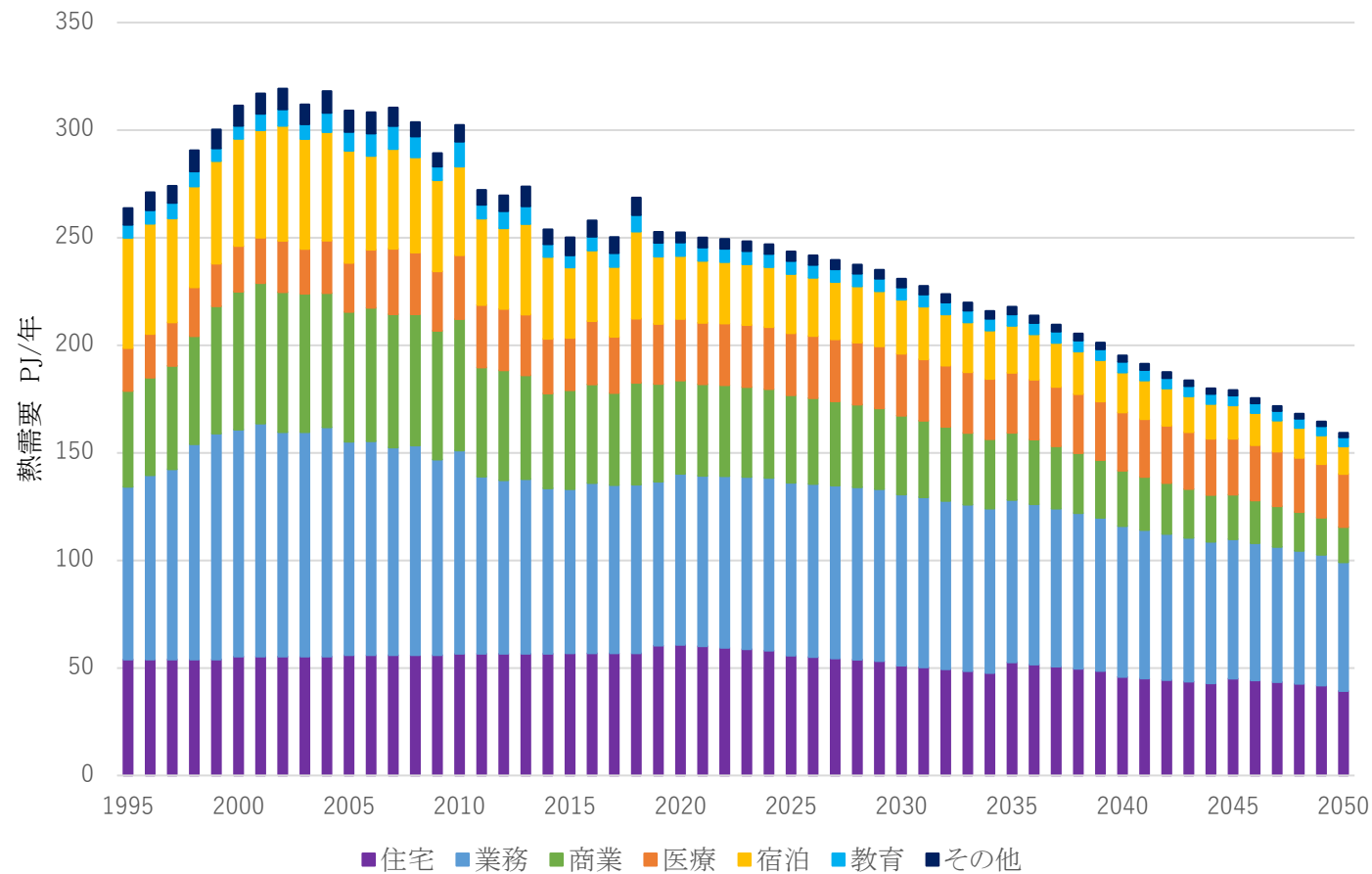
「再生可能エネルギー熱利用技術を用いた熱供給の導入可能性と研究開発課題に係る調査」（NEDO, 2022）での熱需要の推定：

地域冷暖房を導入する可能性がある地区を、既成市街地、新開発・再開発地域、建て替えが想定される大規模住宅団地に分けて抽出した佐土原他(1998)をベースに、2021年の時点で入手できるデータを用いて、地区の見直しが行われた。また。熱需要に関しては、将来の推計人口、用途別延べ床面積、熱需要原単位、断熱性能の向上に関する最新のデータを用いて見直されている。

地区の種類		抽出の基準	対象地区	熱需要 (PJ)	1998年以降	対象地区
既成市街地	床面積データあり	・熱負荷密度1.0Tcal/ha・年以上 ・地区面積2.5ha 以上	942	221.9		+
	床面積データなし	・法定容積率500%以上 ・地区面積2.5ha 以上				
再開発・新開発地		・開発の内容が具体的 ・グロス容積率100 %以上 ・床面積25,000m2以上	313	39.1		155
建て替え想定住宅団地		・建築後30 年以上 ・規模1000戸以上	41	2.6		256
合計			1,296	263.7		411

地域熱供給地区熱需要推計（1995～2050年）

地域熱供給導入可能 1707地区 熱需要推計結果



再エネ熱のポテンシャル情報

再エネ熱のポテンシャルについては、全国の都市のどこでも利用でき、環境省のREPOSにポテンシャルデータがすでに整備され、今回計算に必要な地区の属性データが得られた太陽熱と地中熱を対象にして、賦存量の推計を行った。

賦存量と熱需要を比較して、小さい方の値を供給可能量とした。

再エネ熱種	利用できる地域	現在の地域熱供給地区数	REPOSポテンシャルデータ	賦存量計算に必要な地区の属性データ	賦存量の計算手法	本調査での賦存量の推計
太陽熱	全国の都市(どこでも)	2	有	地区面積・建物面積(グロス建蔽率)	有	有
地中熱	全国の都市(どこでも)	4	有	地区面積・建物面積(グロス建蔽率)	有	有
木質バイオマス熱	全国の都市(中山間地などが優位)	2				
下水熱	全国の都市(下水処理場近傍・管渠)	7		地区の位置情報・処理場・管渠の位置情報	有	
河川熱	河川の近傍	4		地区の位置情報	有	
海水熱	海岸近傍	4		地区の位置情報	有	
雪氷熱	積雪地	2				
温泉熱	温泉地	0				

太陽熱のポテンシャル

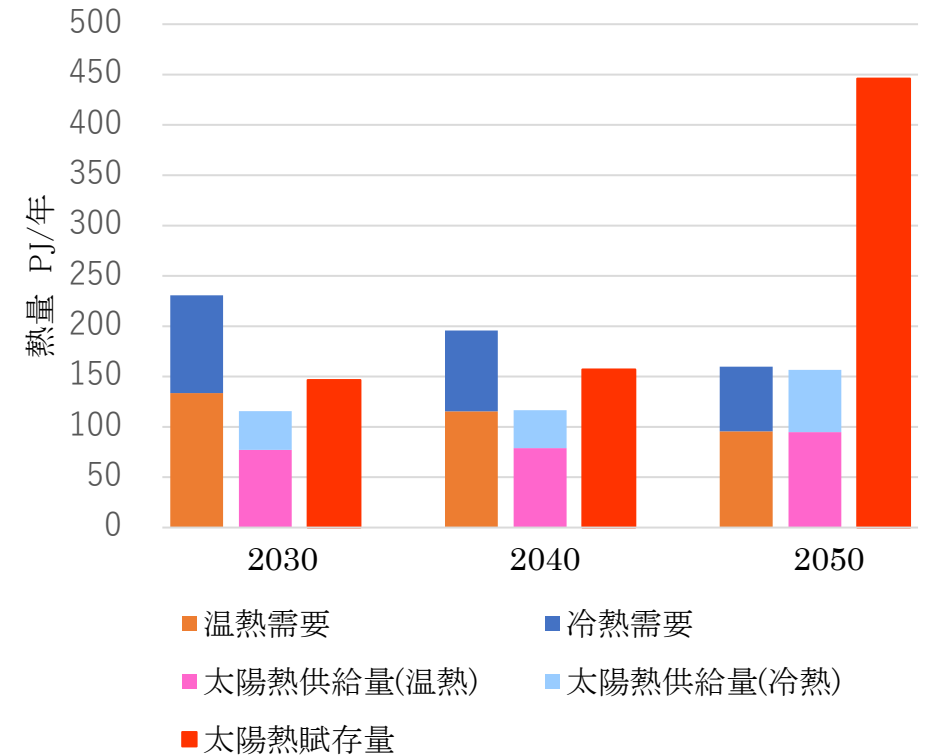
太陽熱のポテンシャルについては、REPOSで用いられている以下の式による。

太陽熱の賦存量 (MJ/年)
 = 設置可能面積 (m²) × 平均日射量 (kWh/m²/日：都道府県別)
 × 換算係数3.6MJ/kWh × 集熱効率0.4 × 365 日

設置係数
 2030, 2040： 住宅 0.05 業務 0.32
 2050： 住宅 0.14 業務 0.85

吸収冷凍機COP 1

	2030	2040	2050
温熱需要	133.5	115.5	95.5
冷熱需要	97.2	80.4	64.3
熱需(合計)	230.8	195.8	159.9
温熱 供給可能量	77.1	78.9	94.8
冷熱 供給可能量	38.5	37.7	61.8
供給可能量(合計)	115.6	116.5	156.6
賦存量	146.6	157.1	446.0



2030年、40年、50年のそれぞれの3本の棒グラフは、左から熱需要（温熱・冷熱）、太陽熱供給可能量（温熱・冷熱）、太陽熱賦存量を示す。2050年の賦存量が大きいのは設置係数を大きくしたことによる。

地中熱のポテンシャル

クローズドループでの地中熱のポテンシャルは以下の簡易法により求める。

地中熱の賦存量 (Wh/年)

= 採熱可能面積 (m²) × 採熱率 (W/m)

× 地中熱交換井の密度 (本/m²)

× 地中熱交換井の長さ (m/本) × 年間稼働時間 (h/年)

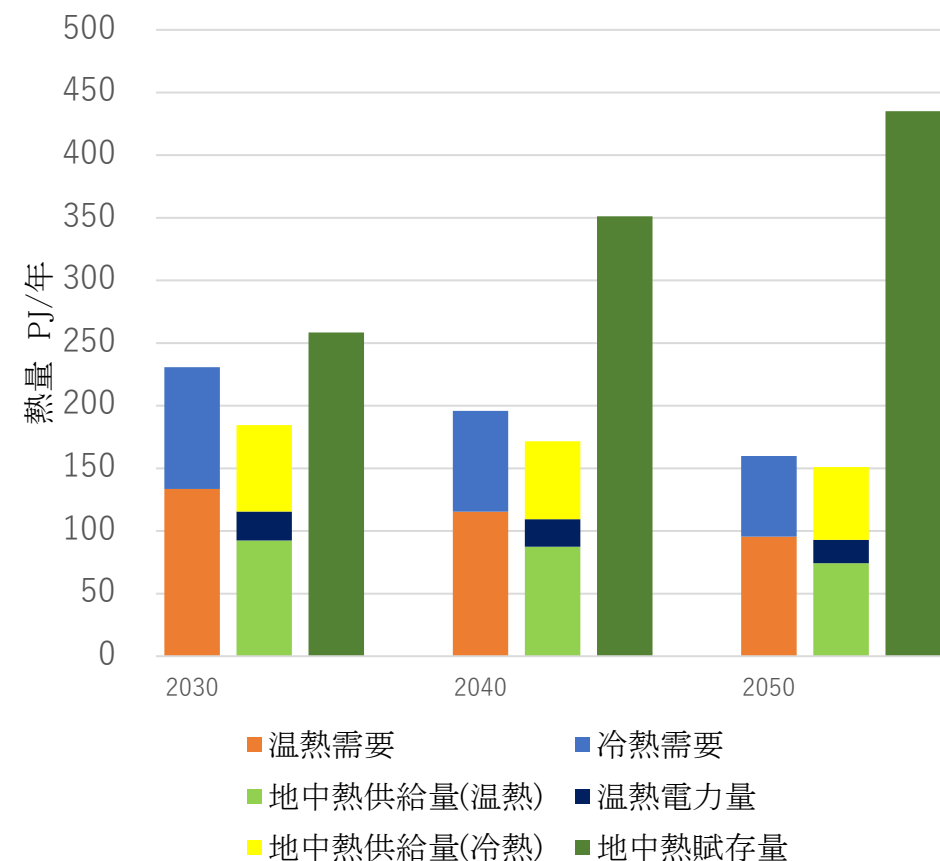
暖房COP 5.0

冷房COP 5.0

ボアホール 100m

空地率 0.5 (4モデル地区のGIS結果より推計)

	2030	2040	2050
温熱需要	133.5	115.5	95.5
冷熱需要	97.2	80.4	64.3
熱需合計	230.8	195.8	159.9
温熱供給可能量	92.4	87.5	74.3
温熱電力量	23.1	21.9	18.6
冷熱供給可能量	69.0	62.3	58.2
供給可能量(合計)	161.4	149.8	132.5
賦存量	258.5	351.1	435.0



2030年、40年、50年のそれぞれの3本の棒グラフは、左から熱需要(温熱・冷熱)、地中熱供給可能量(温熱・冷熱)、地中熱賦存量を示す。また、供給可能量の中には電力(温熱需要に対応)を示してある。

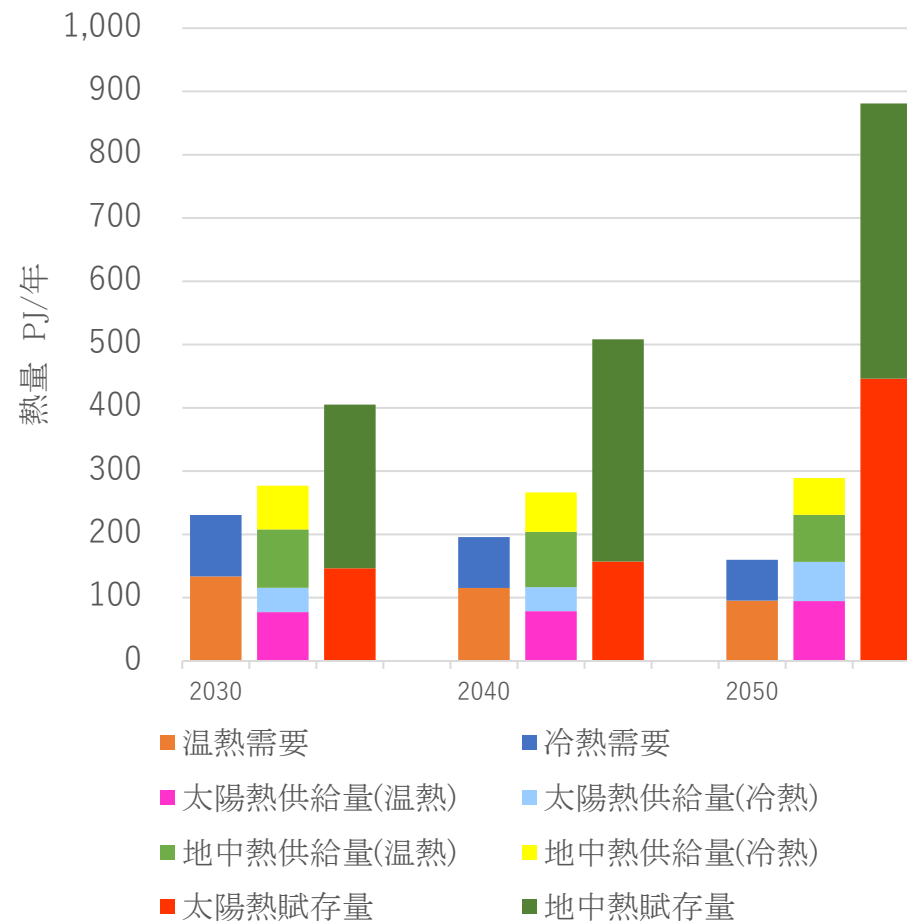
太陽熱＋地中熱のポテンシャル

2030年、40年、50年のそれぞれの3本の棒グラフは、左から熱需要（温熱・冷熱）、太陽熱＋地中熱供給可能量（温熱・冷熱）、太陽熱＋地中熱賦存量を示す。

全国規模で見ると、太陽熱と地中熱の賦存量をあわせると、熱需要を上回っているが、このことは全ての地域熱供給導入可能地区で太陽熱と地中熱の賦存量の合計が、熱需要を上回っているということの意味するものではない。

太陽熱＋地中熱の導入対象地区

佐土原他(1998)地域熱供給導入可能地区	1296地区
追加再開発地区	256地区
追加建替え住宅地区	155地区
合計	1707地区



地域熱供給モデル地区のGIS解析

モデル地区での調査

地域熱供給導入可能性地区への再エネ熱導入について、いくつかのモデル地区を設定して、GISを用いての検討を行い、太陽熱・地中熱の推計データの妥当性が検討されている。

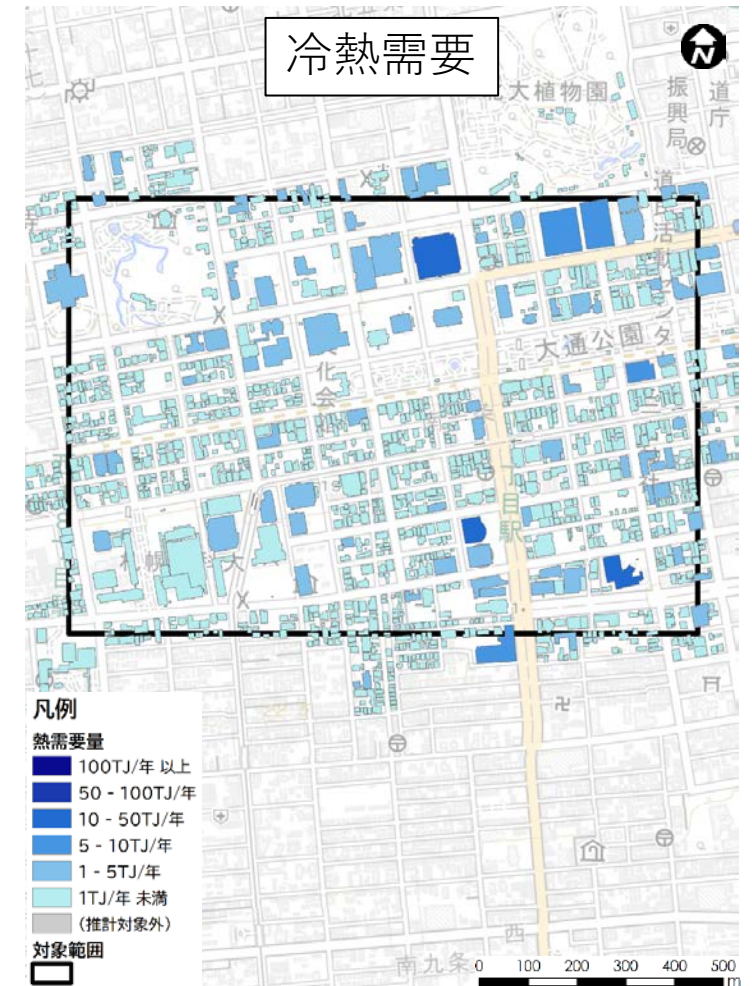
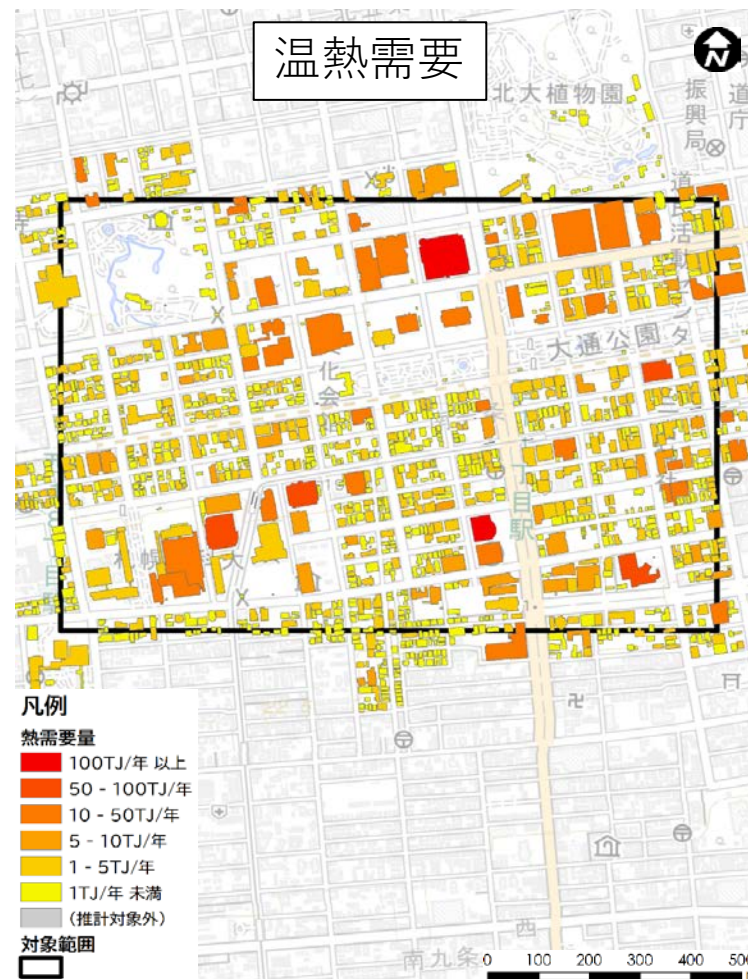
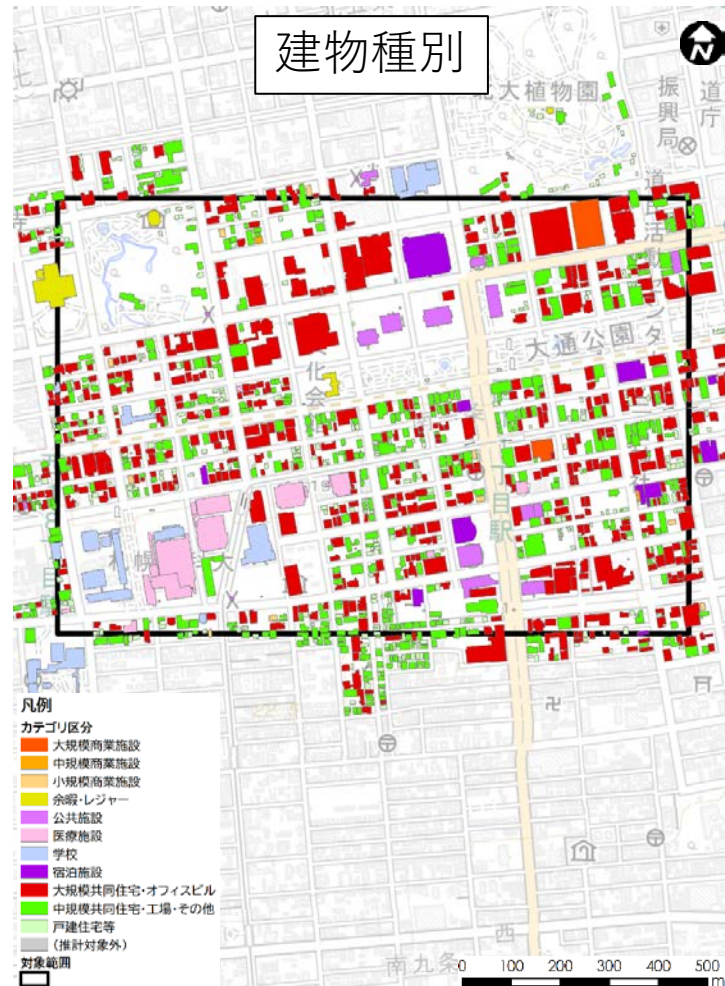
モデル地区の設定

モデル地区の抽出は、以下の区分に従い、温暖地と寒冷地の大都市と地方都市から複数の地区が抽出された。

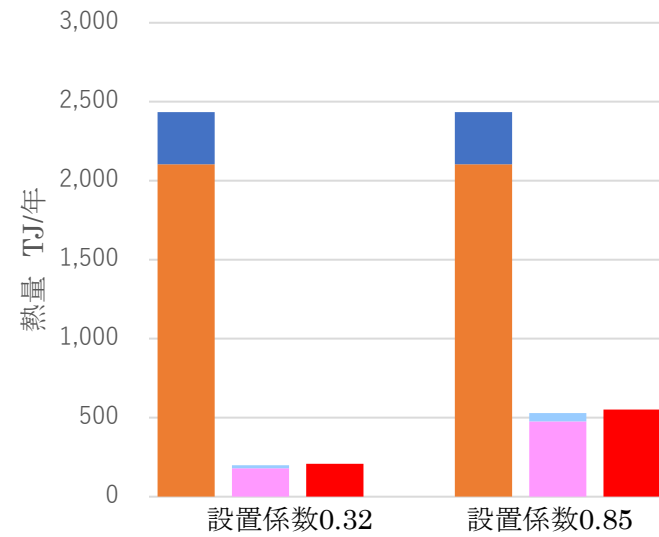
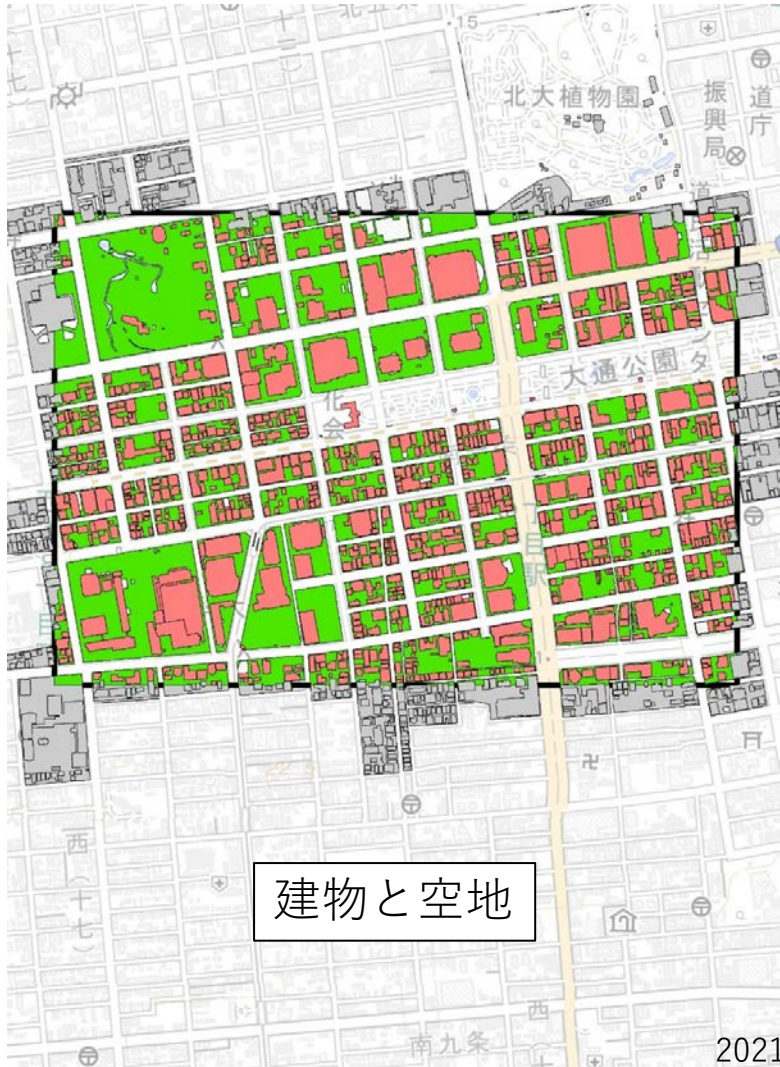
- ・温暖地（冷房過多）の大都市の地区： 東京都 千代田区
- ・温暖地（冷房過多）の地方都市の地区： 佐賀県佐賀市 中央本町地区
- ・寒冷地（暖房過多）の大都市の地区： 札幌市中央区 都心西部地域
- ・寒冷地（暖房過多）の地方都市の地区： 青森県青森市 青森県立病院地区・青森駅地区



札幌市（大通り公園周辺）の熱需要

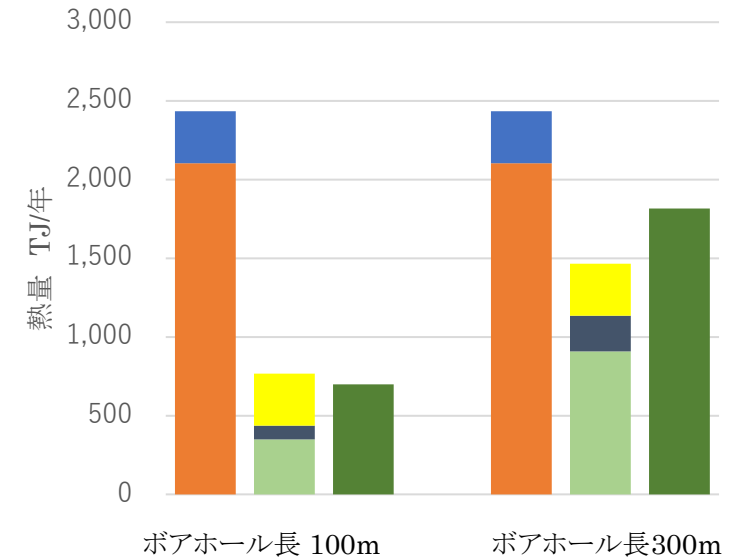


熱需要と太陽熱・地中熱のポテンシャル



- 温熱需要
- 冷熱需要
- 太陽熱供給量(温熱)
- 太陽熱供給量(冷熱)
- 太陽熱賦存量

熱需要と太陽熱供給可能量



- 温熱需要
- 冷熱需要
- 地中熱供給量(温熱)
- 温熱電力量
- 地中熱供給量(冷熱)
- 地中熱賦存量

熱需要と地中熱供給可能量

未利用エネルギー・再エネ熱の貢献度（1）

2030年度における国が目標にしている省エネ量は、業務部門において1350万kL程度となっている（資源エネルギー庁「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」2021.10）。

これに対して、佐土原他（1998）とNEDO（2022）で推計した地域熱供給可能性地区への未利用エネルギー、再エネ熱の導入による省エネ量は、それぞれ229万kL、414万kLとなっている。

佐土原他（1998）による推計は、熱需要及び供給量の推計が2010年を想定していることから、あくまでも参考値としてであるが、未利用エネルギー（ごみ焼却場・工場・火力発電所からの排熱と、下水処理場・河川・海の温度差エネルギー）は88.733PJ/年という値となり、原油換算で約229万kL/年となる。また、これらによるCO₂削減量は、178万t/年である。

未利用エネルギー・再エネ熱の貢献度（2）

一方、NEDO（2022）では太陽熱と地中熱が、2030年の熱需要の推計値を考慮して算定されており、太陽熱の場合、30%の省エネが実現できるとした場合の地域熱供給でのポテンシャルは、年間で供給可能量116PJ、原油換算で343万kLとなり、CO2削減量は652万tとなる。地中熱の場合は、ヒートポンプを用いて省エネ率20%が実現できるとした場合の地域熱供給でのポテンシャルは、供給可能量161PJ、原油換算で71万kLとなり、CO2削減量は119万tとなる。

このように、未利用エネルギー（ごみ焼却場・工場・火力発電所からの排熱と、下水処理場・河川・海の温度差エネルギー）と再生可能エネルギー熱（太陽熱と地中熱）は、地域熱供給での普及が進めば、2030年のエネルギー目標に大きく貢献でき、さらに技術開発等が進めば2050年カーボンニュートラルに向けて、より大きな貢献が可能である。

まとめ

- 再エネ熱・未利用エネルギーの最大限の導入と、熱の面的利用は、脱炭素に向けて取り組むべき課題である。
- ヨーロッパと日本はそれぞれ地域熱供給を進めてきた歴史がある。ヨーロッパでは2050年に向けて、第4世代、第5世代の地域熱供給が想定されている。日本ではエネルギーの多様化、再エネ・未利用エネの導入が想定されている。
- 再エネ熱を地域熱供給に取り入れる場合、中央熱源方式、熱源水ネットワーク方式の両方式で導入が可能である。
- 2030年、2050年の国の目標に対して、再エネ熱・未利用エネルギーは地域熱供給を通して十分な貢献ができるポテンシャルがある。