

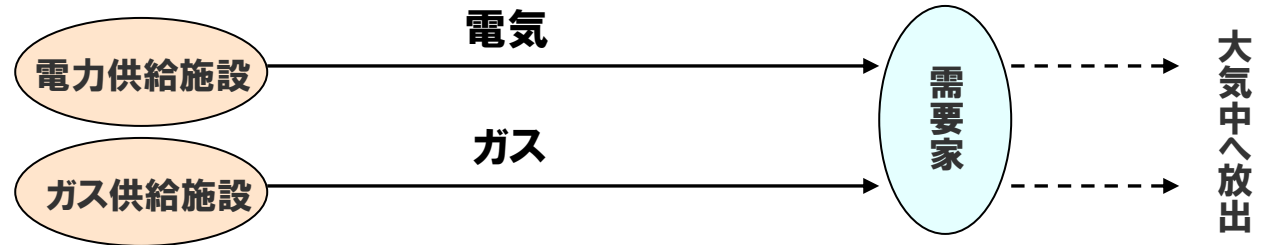
地域エネルギーシステムの基盤となる 地域冷暖房の変遷と現状、今後の展望

横浜国立大学 名誉教授／学長特任補佐
佐土原 聡

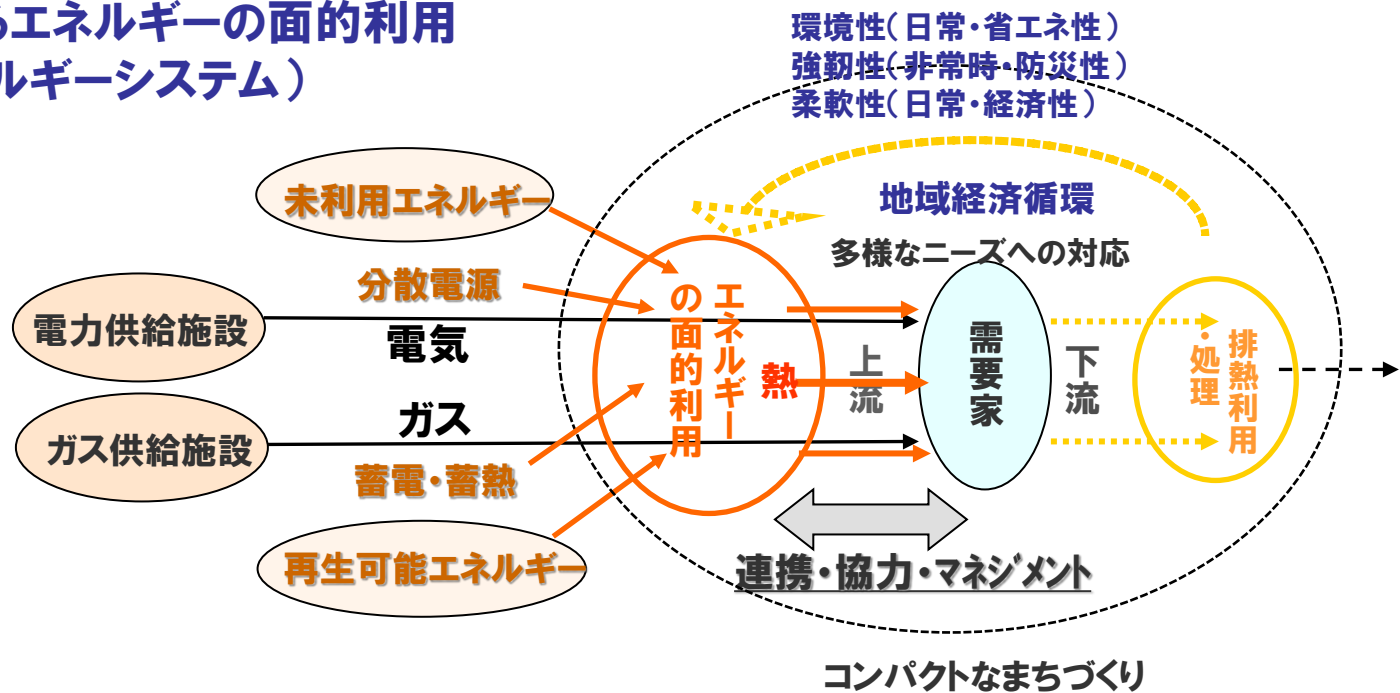
- 【1】 日本の地域冷暖房の歴史と現状
- 【2】 地域エネルギーシステムの役割・メリット
- 【3】 世界の地域冷暖房の現状
- 【4】 欧州、米国の地域冷暖房の脱炭素化に向けた動向
- 【5】 今後の課題・展望に向けて

都市における従来のエネルギー供給と地域冷暖房によるエネルギーの面的利用

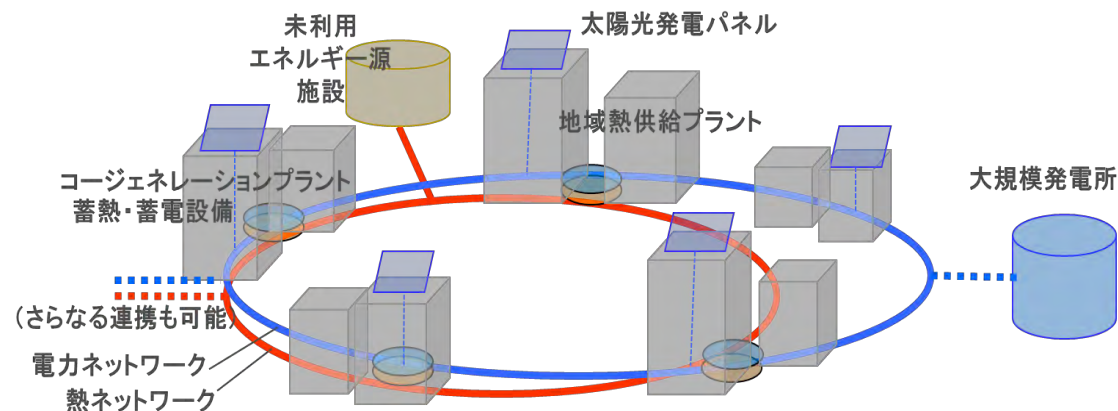
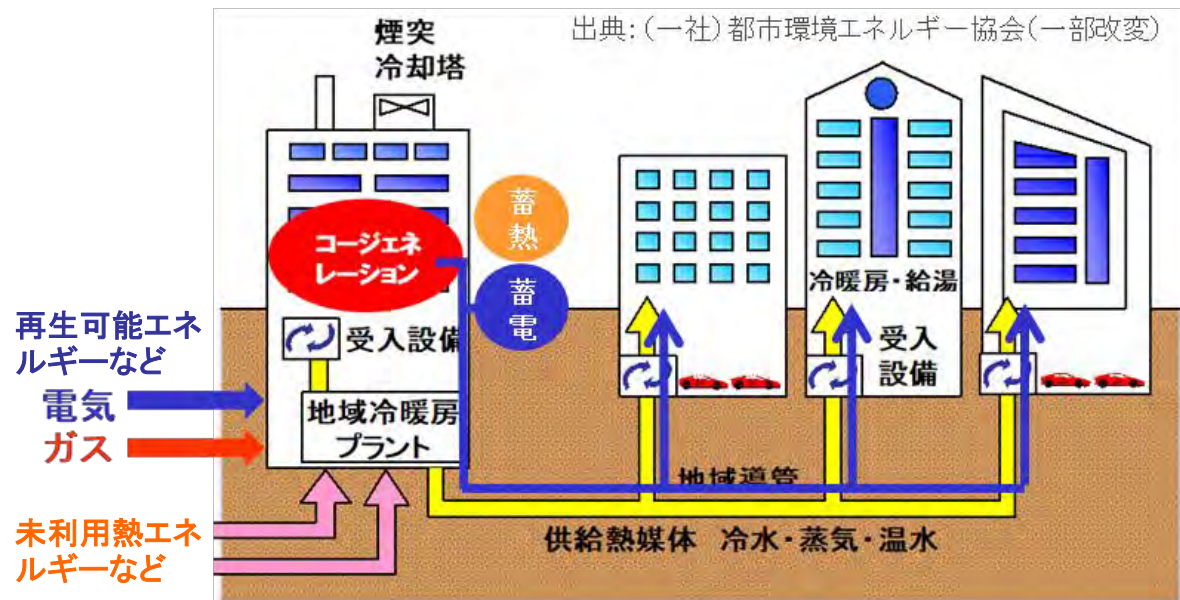
従 来



地域冷暖房によるエネルギーの面的利用 (地域エネルギーシステム)



地域エネルギーシステムとその基盤となる地域冷暖房

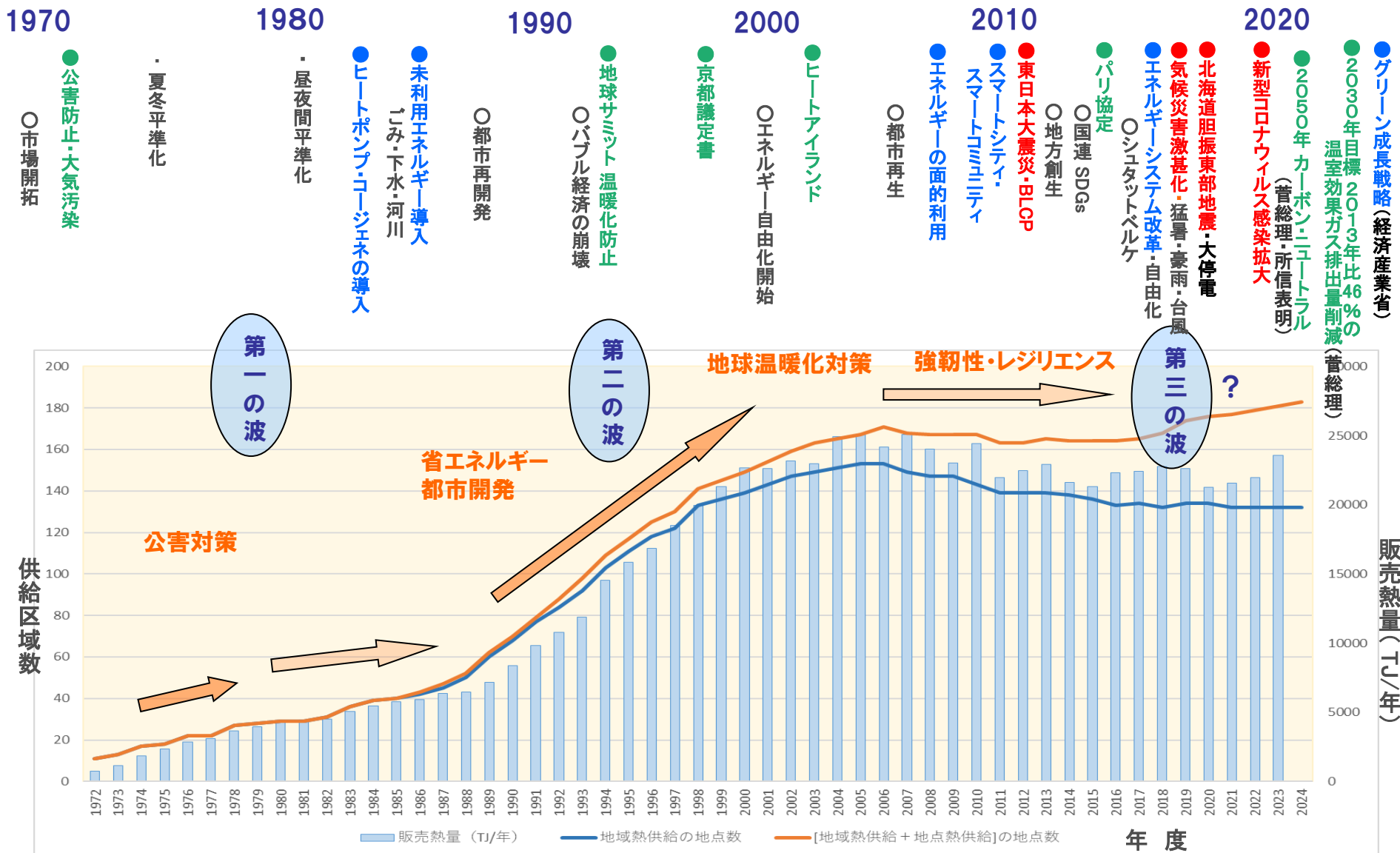


地域エネルギーシステムのイメージ

コージェネレーション＋地域熱供給＋蓄熱(蓄電)機能などをもつ自立分散型エネルギー拠点が熱、電力それぞれ適切なスケールで相互に連携するシステム

社会の変遷と日本の地域冷暖房(地域熱供給+地点熱供給)

1970年の大阪万国博覧会を契機として、第3の公益事業として地域熱供給事業(地域冷暖房)が開始、今日、地域冷暖房は地域エネルギーの基盤を担う施設となっている



地理情報システム(GIS)でみる日本の地域冷暖房の面的拡がり



札幌市都心部の地域冷暖房事業
地区



東京都心部、湾岸部の地域冷暖房事業地区(地域熱供給+地点熱供給)



大阪市都心部の地域冷暖房事業地区

地域冷暖房事業地区は
日本全国で**170地区以上**

- 【1】 日本の地域冷暖房の歴史と現状
- 【2】 地域エネルギーシステムの役割・メリット
- 【3】 世界の地域冷暖房の現状
- 【4】 欧州、米国の地域冷暖房の脱炭素化に向けた動向
- 【5】 今後の課題・展望に向けて

地域エネルギーシステムの役割・メリット

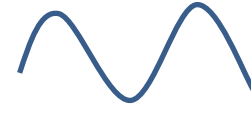
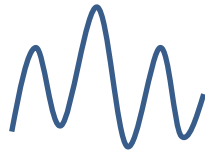
電気(発電所:火力・原子力
風力・太陽光・水力等)
ガス

電気(照明・動力等)

熱(冷房・暖房・給湯)

需給マッチング

エネルギー源



エネルギー需要

- ・不安定で変動の大きい再生可能エネルギーの導入が進む

- ・情報技術の普及でさまざまな制御システムが導入され、電力の重要性がより高まっている

地域エネルギーシステム

脱炭素社会

災害の激甚化

エネルギー源の多様化
エネルギー自由化

環境性

+

強靭性

+

柔軟性

低炭素・脱炭素
都市づくり

BCP・DCPに対応した
強靭な都市づくり

電力需給調整力

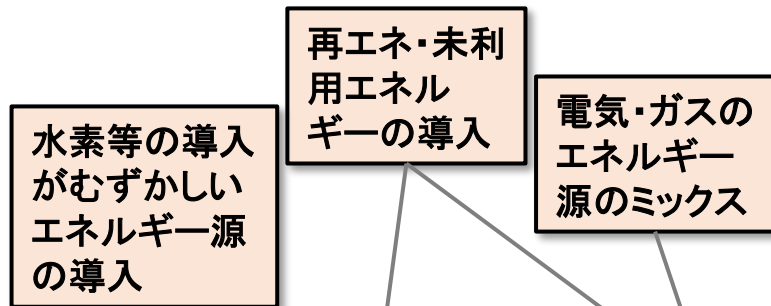
エネルギーの効率的利用
低炭素なエネルギー源の利用

災害時に供給が途絶えにくく、
途絶えても復旧が早いシステム

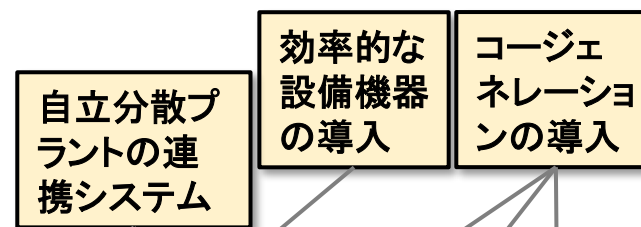
電力需給変動調整に貢献し、エネルギー
市場の変化に柔軟に対応できるシステム

地域エネルギーシステムの役割・メリットとその要因①

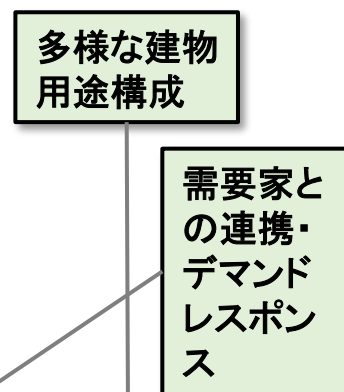
エネルギー源 の特徴



エネルギーシステム の特徴



エネルギー需要 の特徴



スパイラル
アップ効果

エネルギー
需要の平
準化

省エネルギー性・
CO₂排出削減

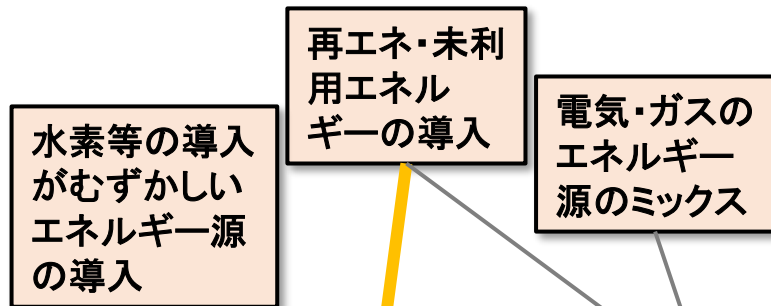
柔軟性(変動電源に
対する調整力向上)

防災性・レジ
リエンスの向上

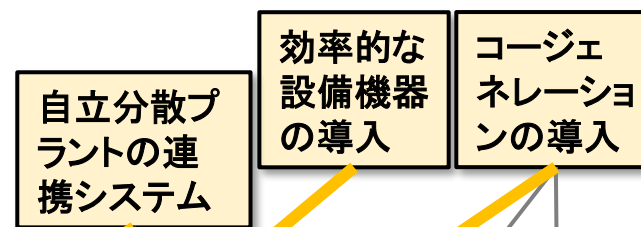
経済性

地域エネルギーシステムの役割・メリットとその要因②

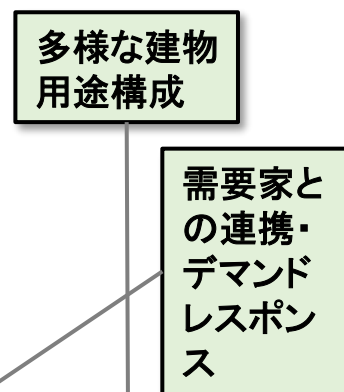
エネルギー源 の特徴



エネルギーシステム の特徴



エネルギー需要 の特徴



スパイラル
アップ効果

エネルギー
需要の平
準化

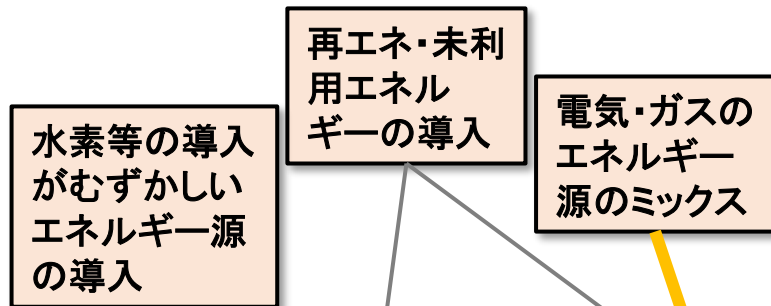
柔軟性(変動電源に
対する調整力向上)

防災性・レジ
リエンスの向上

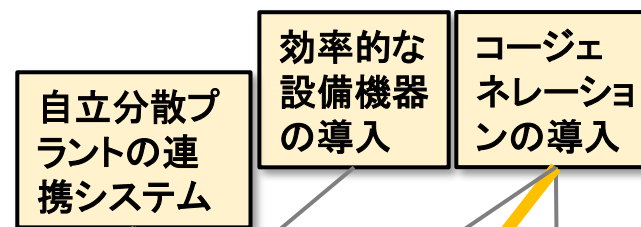
経済性

地域エネルギーシステムの役割・メリットとその要因③

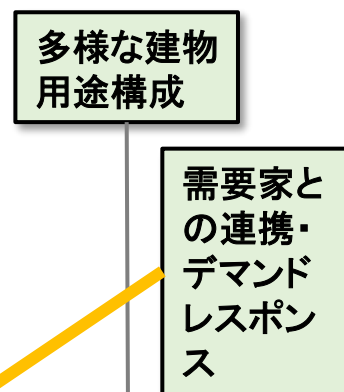
エネルギー源 の特徴



エネルギーシステム の特徴



エネルギー需要 の特徴



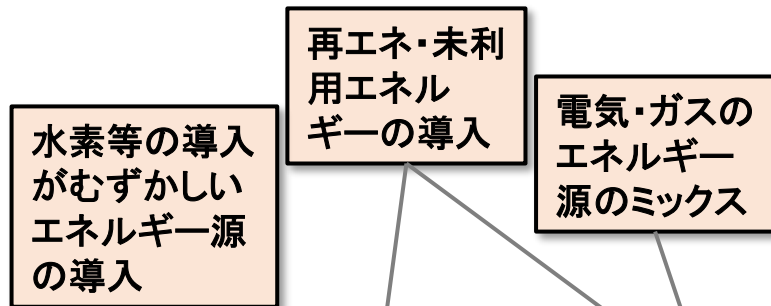
スパイラル
アップ効果

エネルギー
需要の平
準化

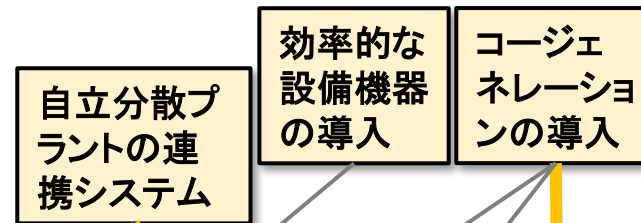


地域エネルギーシステムの役割・メリットとその要因④

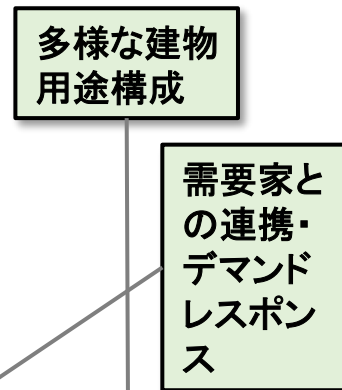
エネルギー源 の特徴



エネルギーシステム の特徴



エネルギー需要 の特徴



スパイラル
アップ効果

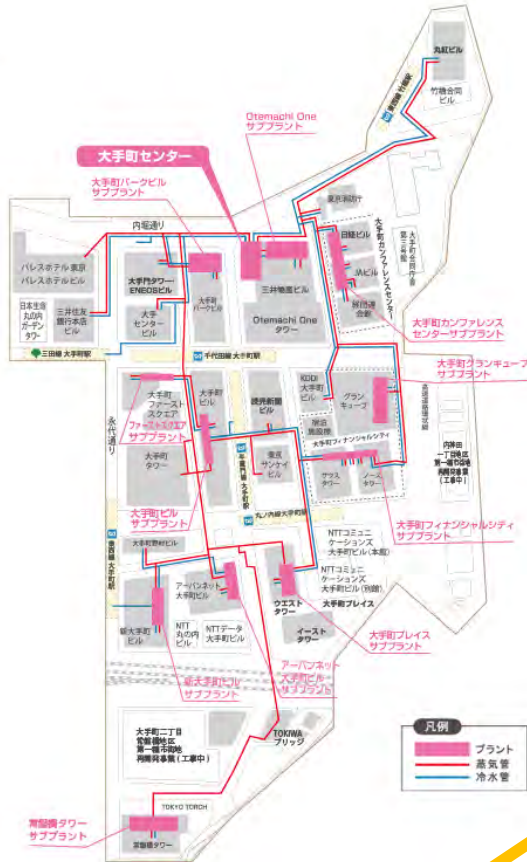
エネルギー
需要の平
準化



地域エネルギーシステムの役割・メリットとその要因⑤

エネルギーシステム の特徴

エネルギー需要 の特徴



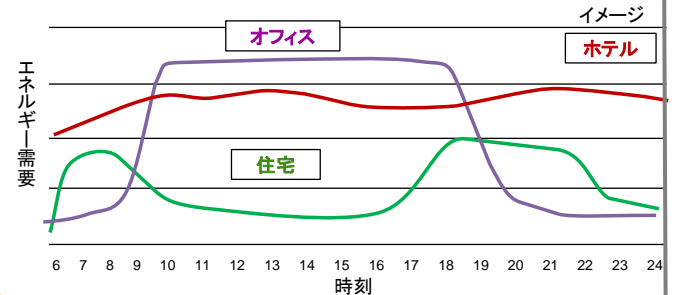
自立分散プ
ラントの連
携システム

スパイラル
アップ効果

省エネルギー性・
CO₂排出削減

経済性

防災性・レジリ
エンスの向上



エネルギー需要の時刻変動
(出典: 佐藤順子)

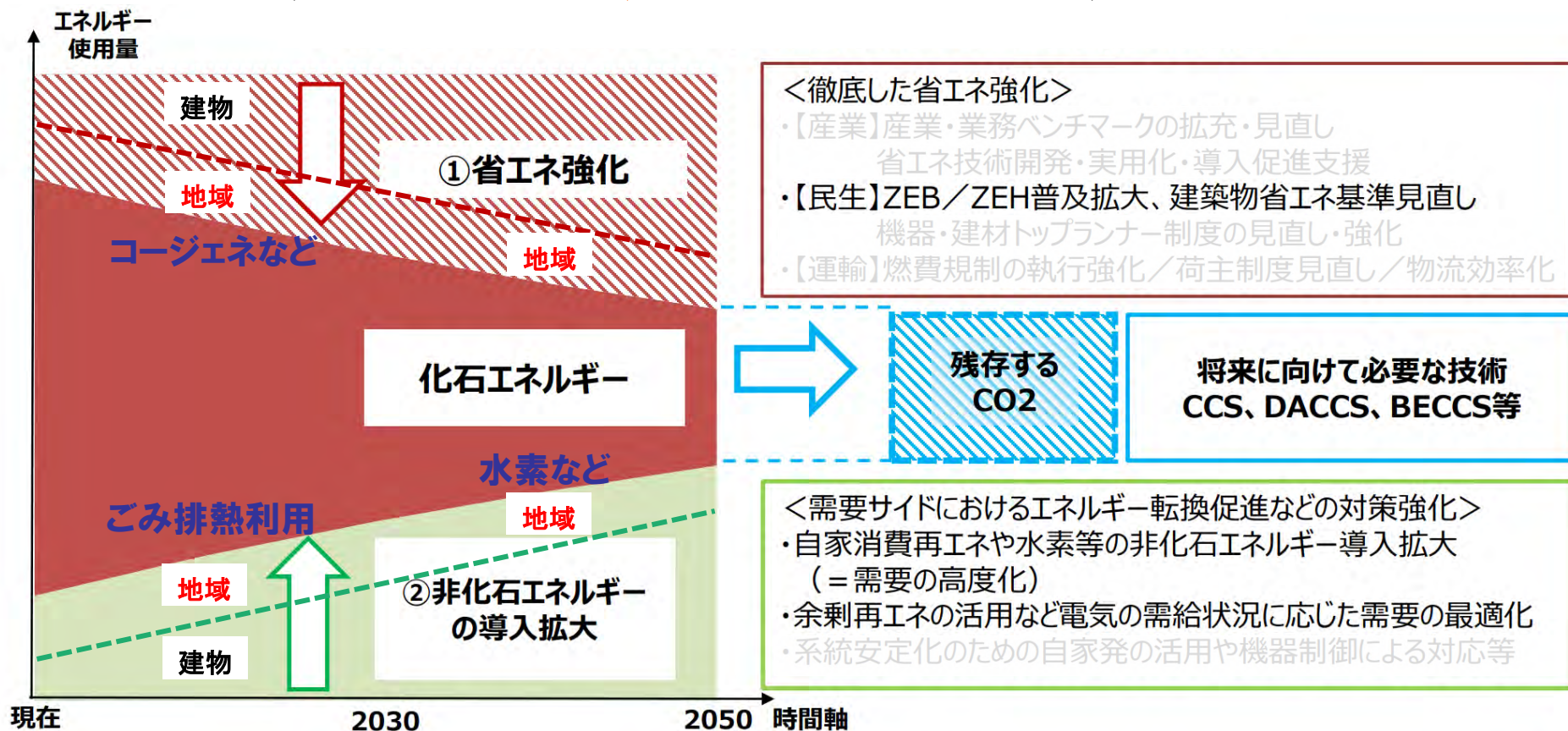
多様な建物
用途構成

エネルギー
需要の平
準化

需要サイドのカーボンニュートラルと地域エネルギーシステムの位置づけ

【温室効果ガス削減の日本の目標】 2030年度に2013年度比46%削減
2050年カーボンニュートラルの実現

地域的な取組み：地域冷暖房を基盤とした地域エネルギーシステム



【出典】 2022年度第1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 工場等判断基準ワーキンググループ

- 【1】 日本の地域冷暖房の歴史と現状
- 【2】 地域エネルギーシステムの役割・メリット
- 【3】 世界の地域冷暖房の現状
- 【4】 欧州、米国の地域冷暖房の脱炭素化に向けた動向
- 【5】 今後の課題・展望に向けて

- 欧州：Euroheat & Power



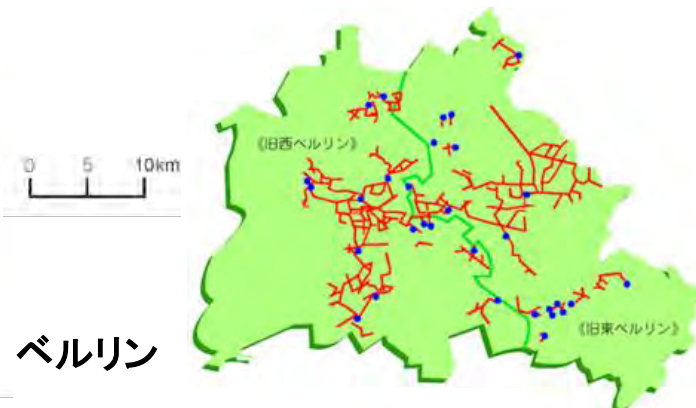
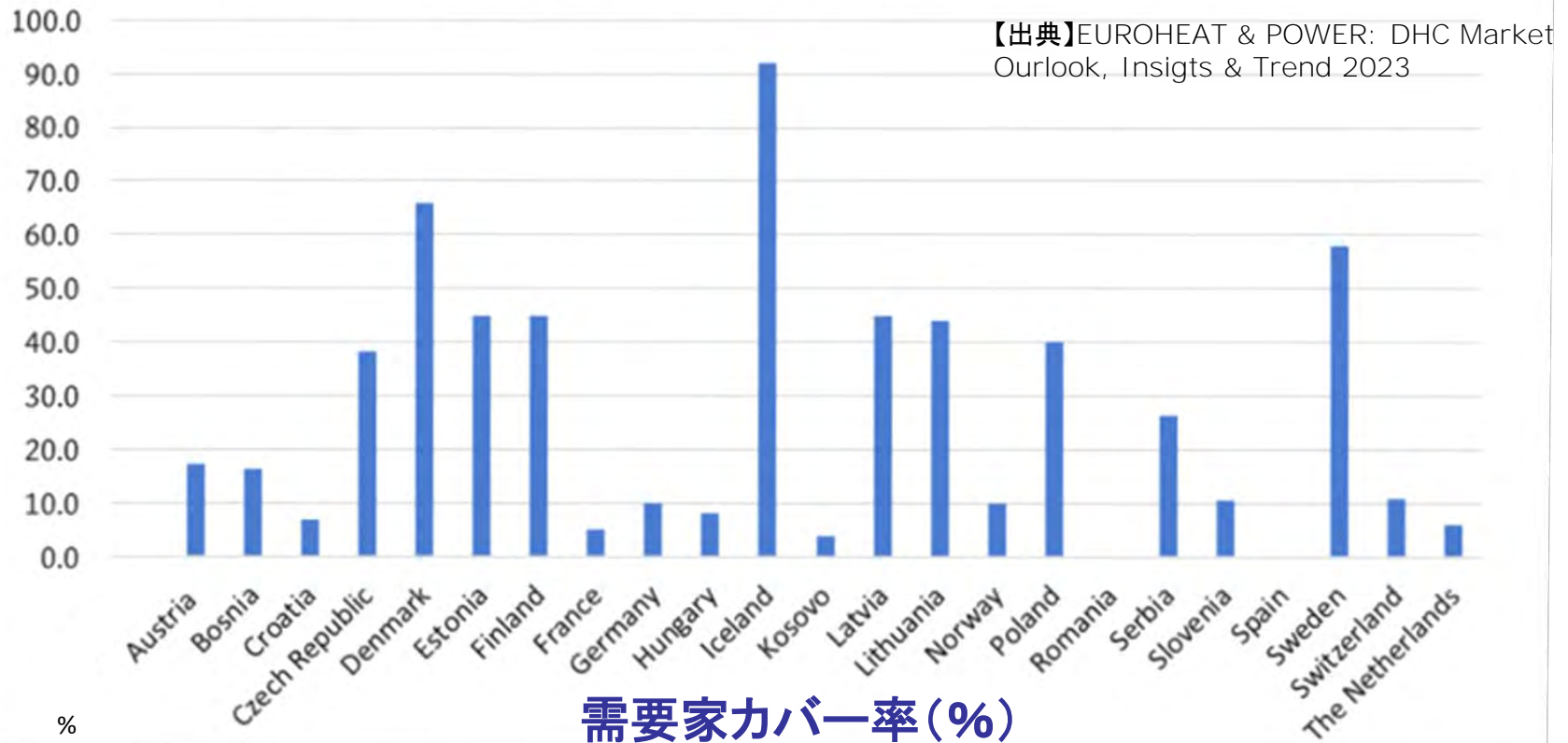
- 米国：IDEA(International District Energy Association)



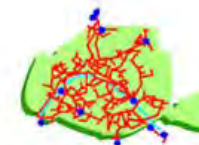
- アジア太平洋地域：APUEA(Asia Pacific Urban Energy Association)



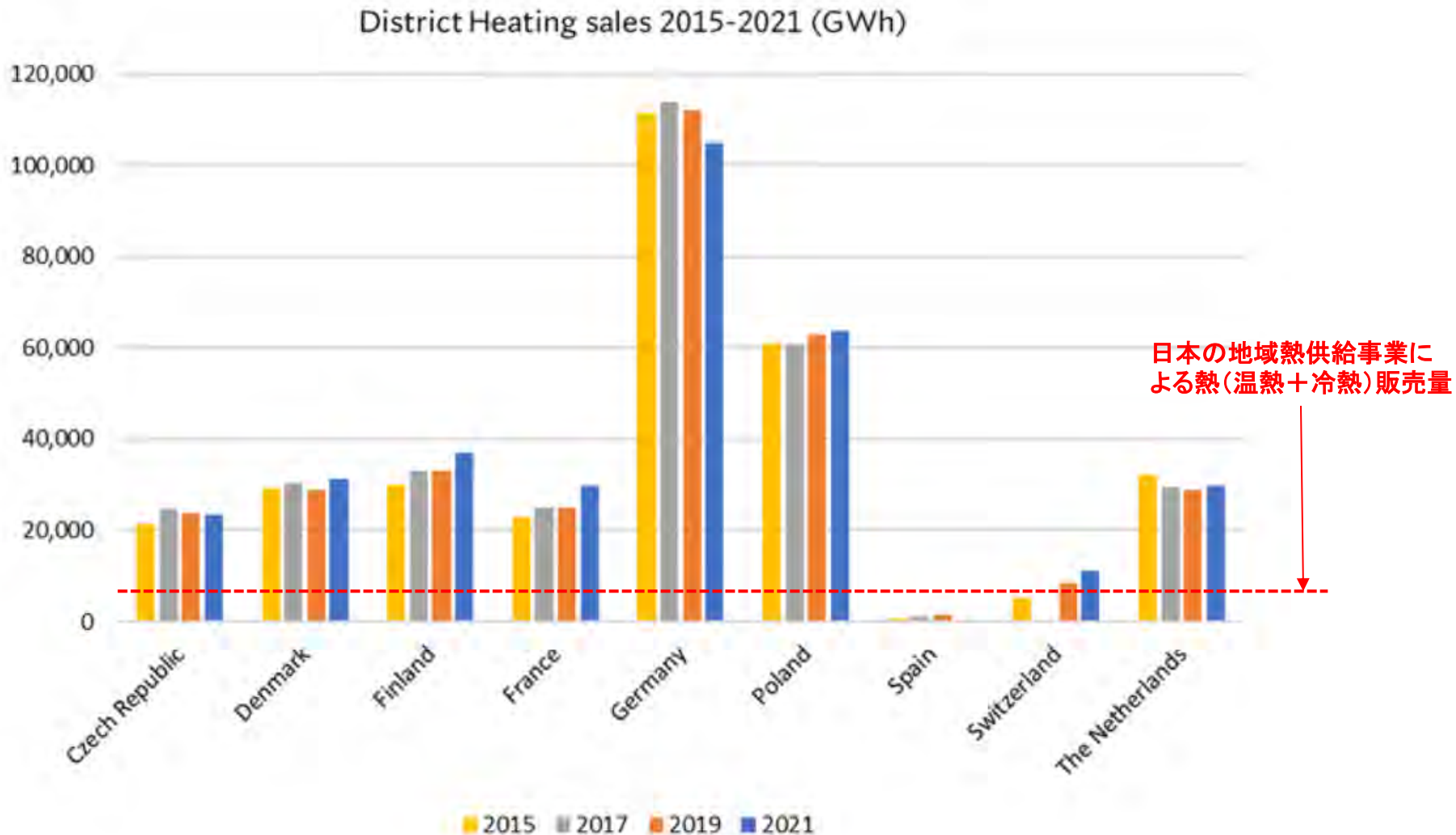
欧州の地域熱供給の概要①



世界3都市の熱供給ネットワーク
の同スケール比較



欧州の地域熱供給の概要②

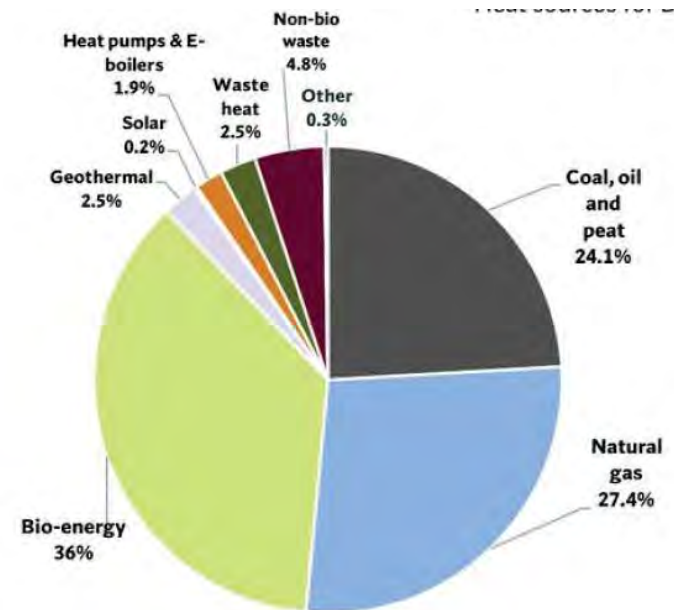
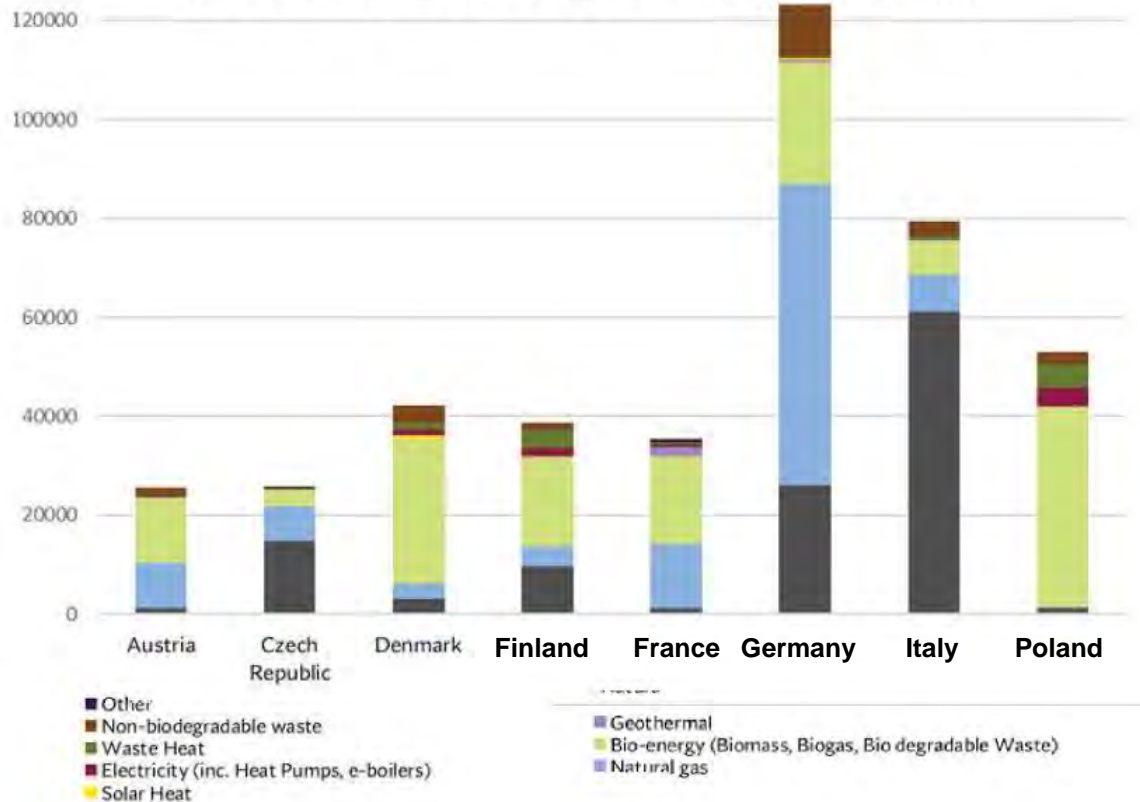


欧州の地域熱供給の販売熱量の推移(2011～2021年)

【出典】EUROHEAT & POWER: DHC Market Outlook Insights & Trend 2023
日本の熱販売量は、(一社)日本熱供給事業協会:熱供給事業便覧 2023年版による

欧州の地域熱供給の概要④

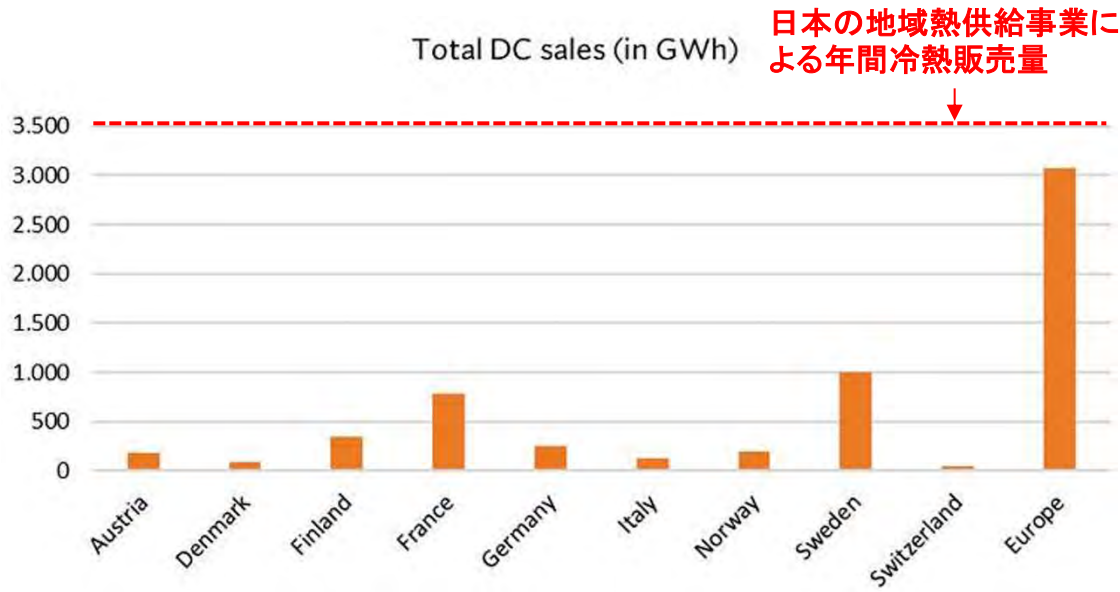
Heat sources for District Heating in selected countries (in GWh)



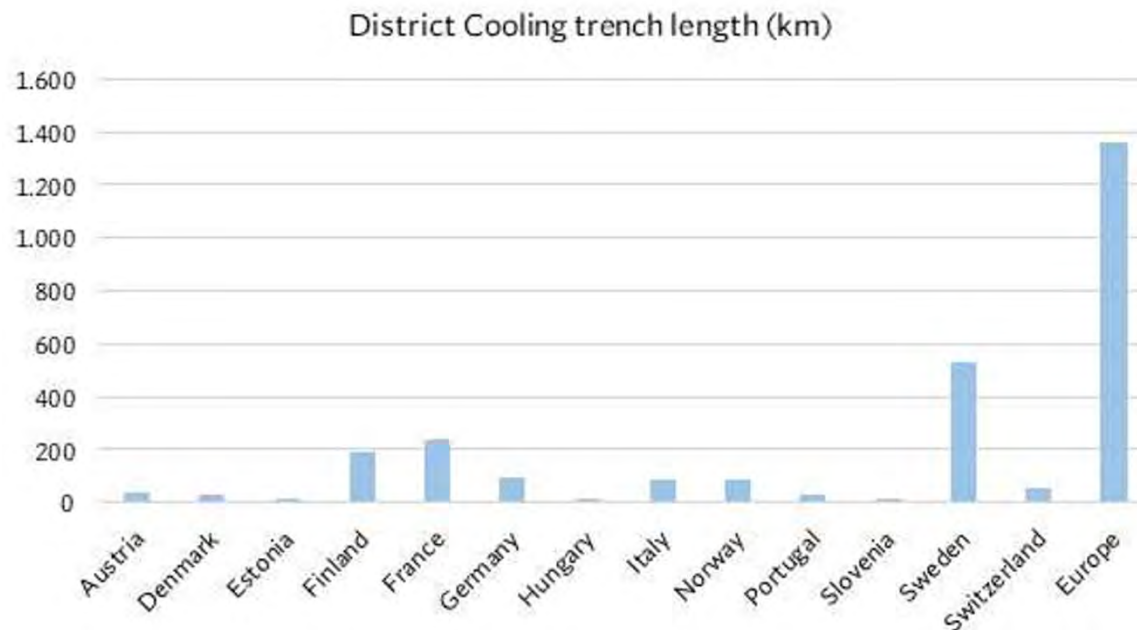
欧州の地域熱供給のエネルギー源

【出典】EUROHEAT & POWER: DHC Market Outlook Insights & Trend 2023

欧州の地域熱供給の概要⑤



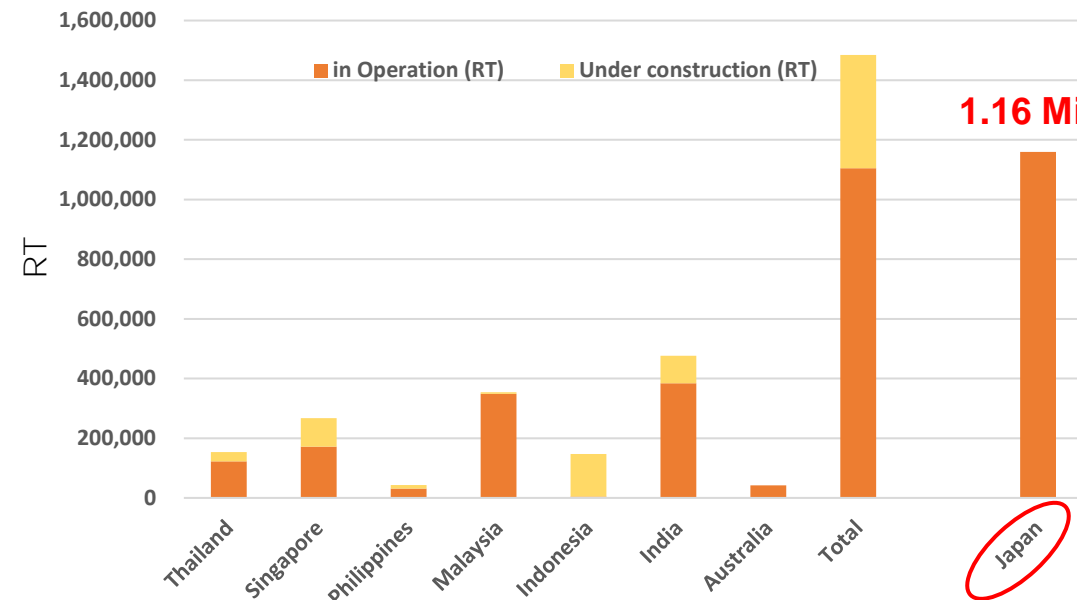
欧州の地域冷房の販売熱量



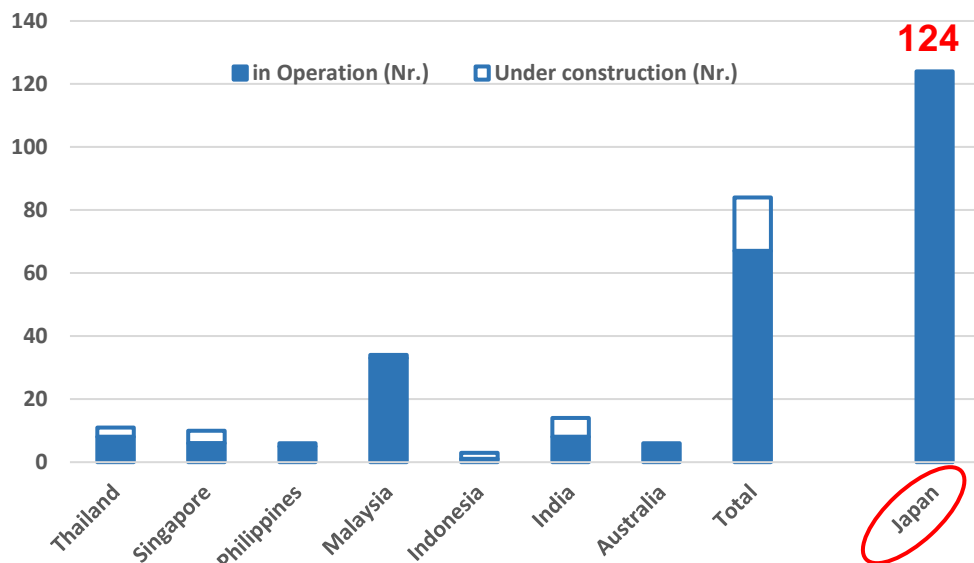
欧州の地域冷房の配管長

【出典】EUROHEAT & POWER: DHC Market Outlook, Insights & Trend 2023
日本の熱販売量は、(一社)日本熱供給事業協会：熱供給事業便覧 2023年版による

アジア・太平洋地域の国々と日本の地域冷房の比較



アジア・パシフィックの国々と日本の地域冷房の容量



アジア・パシフィックの国々と日本の地域冷房の地区数

【出典】APUEA: District Coolin Market Outlook 2024 Asia Pacific
日本のデータは、(一社)日本熱供給事業協会:熱供給事業便覧 2024年版による 21

- 【1】 日本の地域冷暖房の歴史と現状
- 【2】 地域エネルギーシステムの役割・メリット
- 【3】 世界の地域冷暖房の現状
- 【4】 欧州、米国の地域冷暖房の脱炭素化に向けた動向
- 【5】 今後の課題・展望に向けて

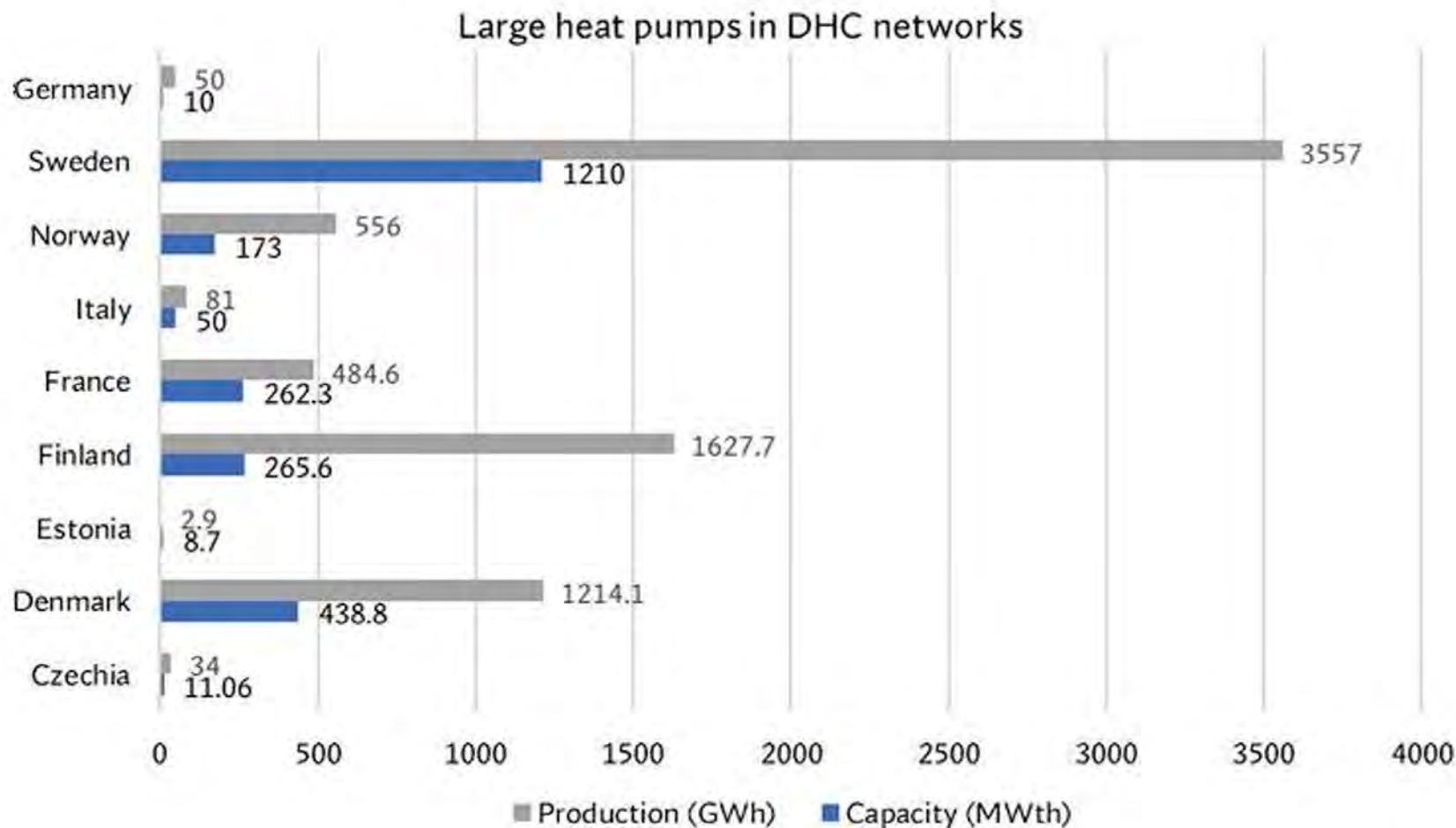
【欧州】

- 地域冷暖房が、都市域の脱炭素の切り札になっている。脱炭素社会に向けて、地域冷暖房網を最大限拡大する方向で動いている(これまで消極的であった英国も、熱ネットワーク・ゾーニングに取り組んでいる)。
- 地域熱供給網がセクターカップリングの要(かなめ)としての役割を担っている。
- より多くの種類の排熱や再生可能熱を取り込めるように、熱ネットワークの熱媒温度を下げていっており、大型のヒートポンプの導入が盛んである。

【米国】

- 米国のニューヨークなどの大都市では、熱媒は従来の蒸気のまま、電気ボイラ、ヒートポンプを活用した蒸気生産により、脱炭素化を進めている。

欧州における地域熱供給の脱炭素化に向けた動き③



欧州の地域熱供給における大型ヒートポンプの生産熱量と容量

【出典】EUROHEAT & POWER: DHC Market Outlook, Insights & Trend 2023

欧州における地域熱供給の脱炭素化に向けた動き④

新たな熱源のポテンシャルを引き出す

Tapping the potential of new heat sources !

再生可能エネルギーと廃熱のポテンシャル (オールボー大学, 2023)

Renewable and waste heat potential (Aalborg university 2023)



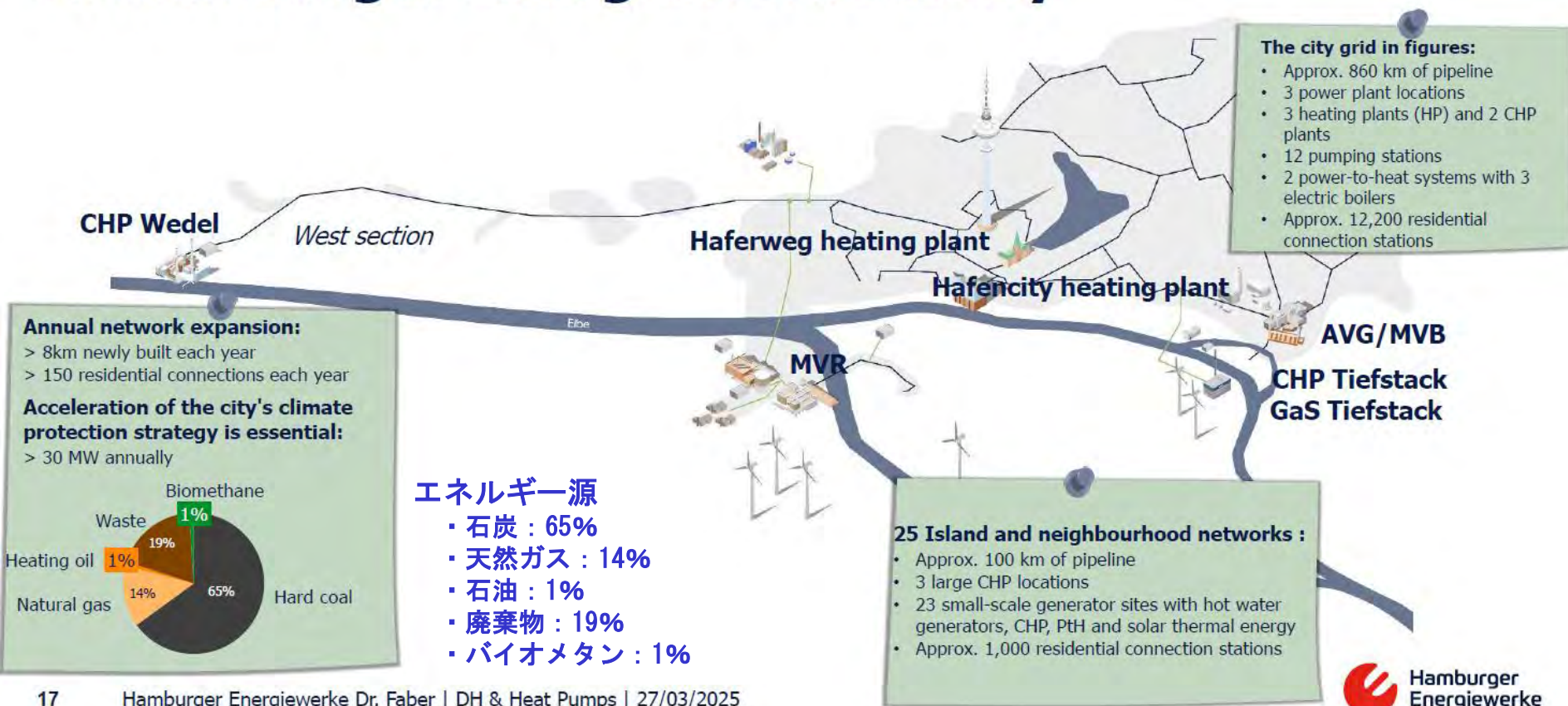
The untapped potential of renewable and waste heat sources in Europe is over 2000 TWh/y, equivalent to forecasted heat demands for space and water heating by 2050 !

ヨーロッパにおける未開発の再生可能熱、および廃熱源のポテンシャルは年間 2,000TWh/年 を超えており、これは 2050 年までに予測される暖房および給湯用の熱需要に相当する。

今日のハンブルグ エネルギー公社の地域暖房ネットワーク

The district heating network (city grid) of Hamburger Energiewerke today

- ・ CHP 2か所、HP 3か所
- ・ 3台の電気ボイラを備えた P2Hシステム 2か所



地域暖房の脱炭素化 – チャレンジ

Decarbonisation of district heating – Challenges

 **Heat demand** is subject to strong seasonal fluctuation | Ratio of summer load to peak load: ~ 1 to 15!

 **Decarbonisation** takes place from base load to peak load.

熱需要は季節変動が大きい

脱炭素化はベースロードからピークロードまで行われる

Peak load (HP) & Medium load (CHP):

CHP / heating plant: Synthetic / biogenic fuels 合成/バイオ燃料

Heat pumps/P2H: Sector coupling

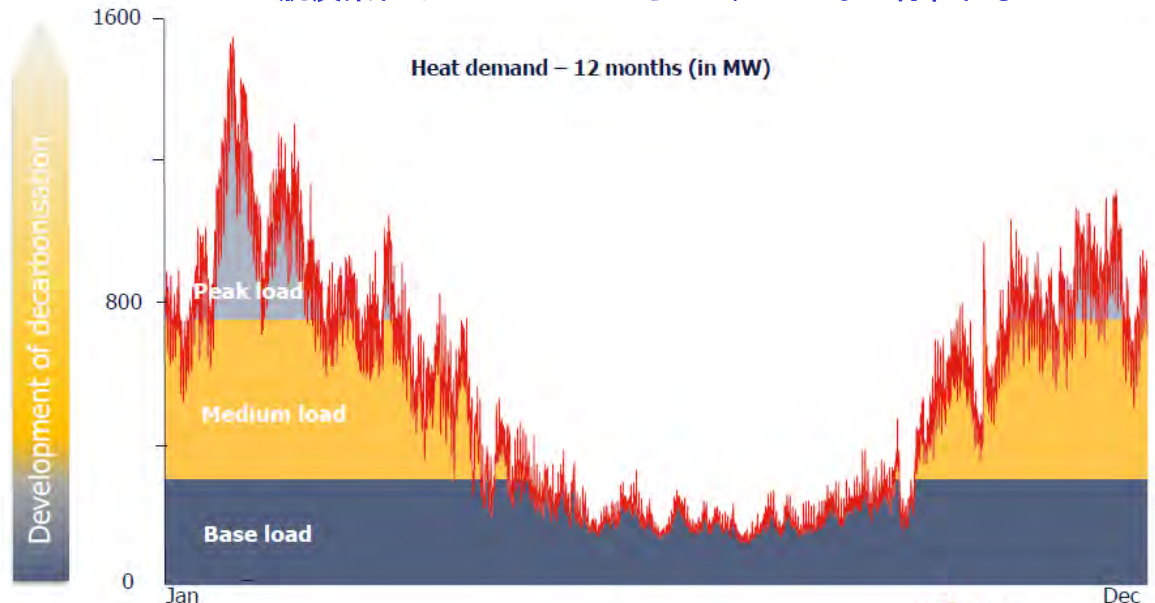
Large heat pumps: Sewage treatment plant / river 下水処理場/河川

Storage: For increased flexibility of generation fleet

Base load: Climate-neutral heat generation

Waste heat (e.g. industry, electrolysis, waste incineration plants) 工場、電解装置、清掃工場

Environmental heat (e.g. geothermal, solar thermal) 地熱、太陽熱



2030年までに石炭を段階的に廃止

Ausstieg aus der Kohle bis 2030

Transformation der Fernwärme



地域エネルギーの変革: Vicinity のネットゼロへの旅

Transforming district energy: Vicinity's net zero journey

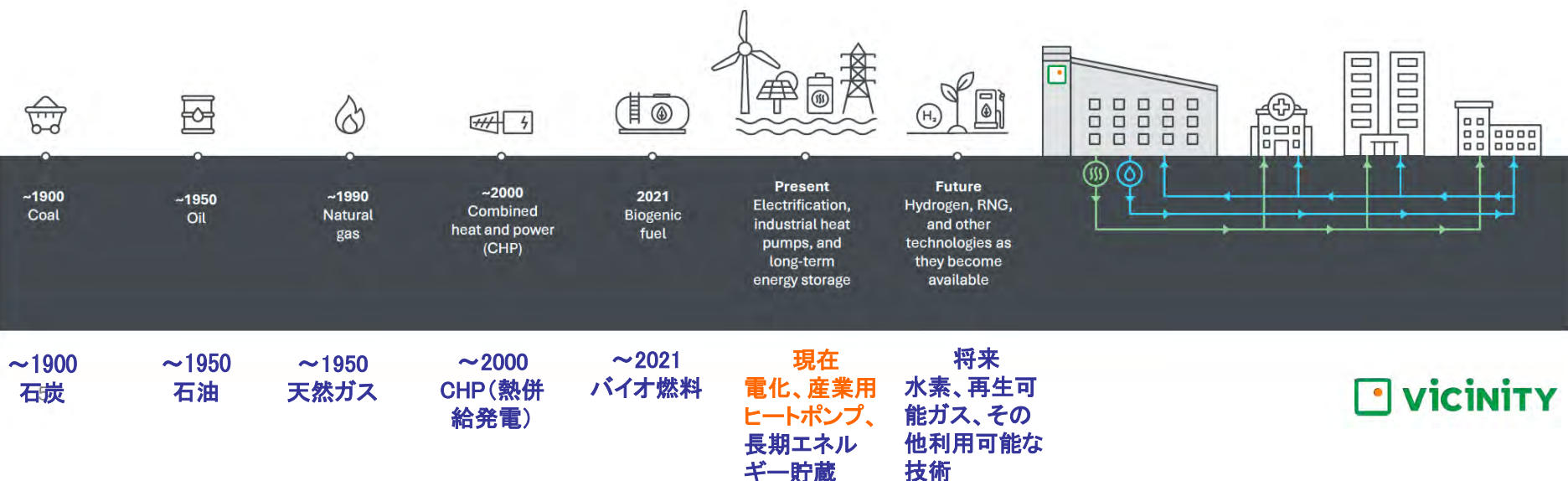
District energy has a long-standing commitment to sustainable energy evolution

地域エネルギーは持続可能なエネルギーの進化に長年取り組んできました

- Transitioning to cleaner fuel sources to drive emissions reductions.
- Upgrading our central facilities with advanced technologies while leveraging existing infrastructure for enhanced efficiency and sustainability.

排出量削減を促進するために、よりクリーンな燃料源に移行します。

既存のインフラストラクチャを活用しながら、高度なテクノロジーで中央施設をアップグレードし、効率性と持続可能性を高めます。



ボストンとケンブリッジの電化

Electrification in Boston and Cambridge



42MW Electric boiler

42MW 電気ボイラ

- 2024年11月にサービス開始
- 既存の、すぐに利用可能な技術
- 信頼性の向上、排出量の削減、電力系統への負荷の低減



35MW Heat pump complex

35MW ヒートポンプ複合システム

- 2028年に運用開始予定
- 隣接するチャールズ川／ブロード運河から毎日2,450万～4,900万ガロンの水を循環
- 高効率と信頼性を備え、安定した熱エネルギー生産を求める産業ニーズに対応
- 約25,000平方フィートの敷地面積を有し、産業規模の運用に最適化しながら設置面積を最小限に抑制
- 従来のエネルギー源への依存を軽減



Thermal storage

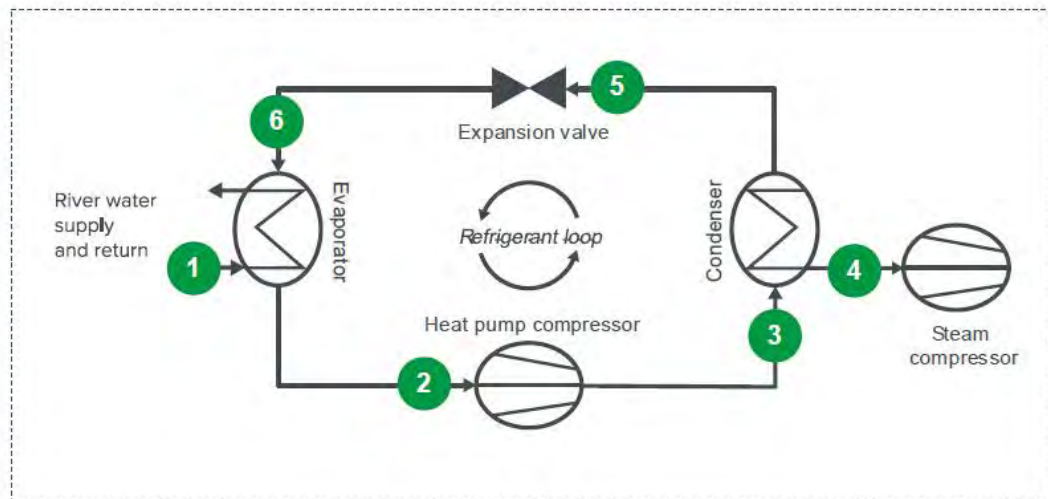
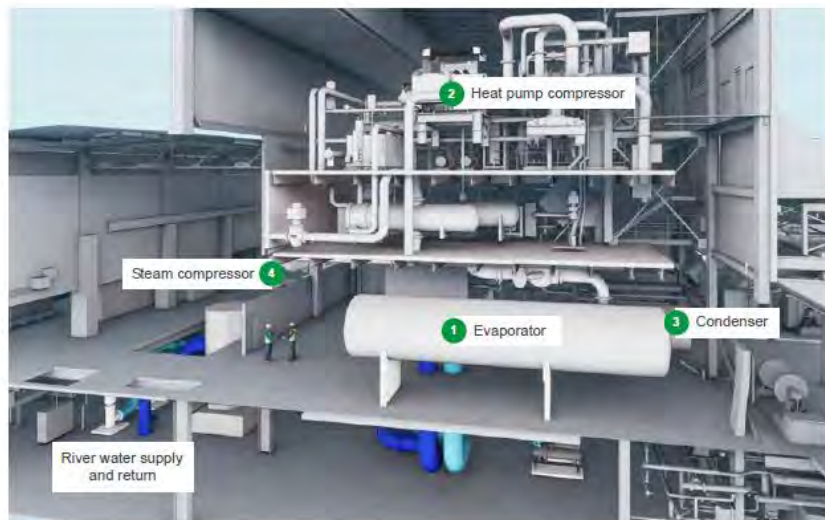
蓄熱装置

- 再生可能エネルギーの価格設定を改善するために、バレーサーフィン(谷間をうまく乗り切る?)を可能にする
- ピーク時の電力消費を削減することで、電力系統への負担を軽減
- 洋上風力発電時間と地域エネルギーのピーク使用時間を連携

米国の大都市の地域熱供給の脱炭素化に向けた動き③(ボストン・ケンブリッジ)

工業規模の河川熱源ヒートポンプ複合プロセス

Industrial-scale river-source heat pump complex process



1 Evaporator:

蒸発器

川の水が蒸発器に送り込まれ、冷たい冷媒を温める。

2 Heat pump compressor:

ヒートポンプ圧縮機

再生可能電力がコンプレッサーに電力を供給し、冷媒を加压する。

3 Condenser:

凝縮器

高温の加压冷媒が給水から低圧の炭素フリーのeSteam™を生成する。

4 Steam compressor:

蒸気圧縮機

多段圧縮機が供給用にeSteam™の圧力を高める。

5 Expansion valve:

膨張弁

冷媒は冷却され、次のサイクルのために減圧される。

6 Evaporator:

蒸発器

冷却された水は川に戻され、このプロセスが繰り返される。

【出典】IDEA, Webinar event, Accelerating Downtown Decarbonization with District Energy, 2025年9月16日

今日の蒸気システム

The Steam System Today



1,500 Customers

Largest steam system in North America

1500の需要家、北米最大の蒸気システム



29 Conventional Boilers

+ Five cogeneration units

29の従来型ボイラ + 5つのコージェネユニット



Steam Capacity of 10.8 MMLbs/hr

Electric capacity of 700 MW

蒸気供給能力: 4900 t/h、電力供給能力: 700 MW



105 Miles of Steam Pipe

Operating between 125 and 180 psi

蒸気配管: 170 km、8.75~12.6 kgf/cm²



ニューヨーク・マンハッタンの地域熱供給エリアとプラント

早期展開プロジェクト

Early Deployment Projects

50 MWの電気ボイラ



50 MW Electric Boiler

電気ボイラーは74番街のステーションに設置される。
400psi (28kgf/cm²)で毎時15万ポンド(68t)の蒸気を生成できる。

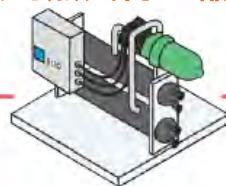
蓄熱設備



Thermal Energy Storage

蓄熱設備も74番街のステーションに設置される。電力網からの電力を利用してレンガを加熱し、蒸気発生に必要な程度まで熱を蓄える。

産業用ヒートポンプ+機械的蒸気再圧縮機



Industrial Heat Pump + MVR*

IHPはイーストリバーステーションに設置される。河川水から熱を汲み上げ、圧縮とMVR(機械的蒸気再圧縮機)を用いて蒸気を生成する。

最適化ソフトウェアの活用



Dispatch Optimization Software

DOS は、脱炭素化プロジェクトとの間のエネルギーの流れを管理し、CO2 排出量を削減し、燃料の節約を可能にする。

低炭素燃料の導入



Low-Carbon Fuels Pilot

再生可能天然ガスは、蒸気を生成するための高炭素燃料の使用を相殺するために使用される。2035年までに、RNGは燃料使用量の10%を占める可能性がある。

* Mechanical vapor recompression (MVR) is needed to further increase the pressure/temperature of steam produced by the heat pump so that it can be introduced into the steam system.

MVR(機械的蒸気再圧縮機)は、ヒートポンプによって生成された蒸気の圧力/温度をさらに高めて、蒸気システムに導入するために必要である。

レガシーと供給エリア

Legacy & Service Area

歴史的な蒸気サービス

Cordiaは1910年以來、2つの主要な蒸気発電所を通じてサンフランシスコのダウンタウンに蒸気暖房サービスを提供してきました。

広範な供給ネットワーク

全長75,540フィート (2300km) の地下蒸気供給システムは、都心部の180棟以上の建物に125psi (8.75kgf/cm²) の熱を供給します。

著名な顧客基盤

Cordiaは、バンク・オブ・アメリカ本社、モスコニー・コンベンションセンター、サンフランシスコ市庁舎、ユニオンスクエア・ヒルトン、スタンダード・オイル・ビルなど、サンフランシスコを象徴する数々のビルにサービスを提供しています。

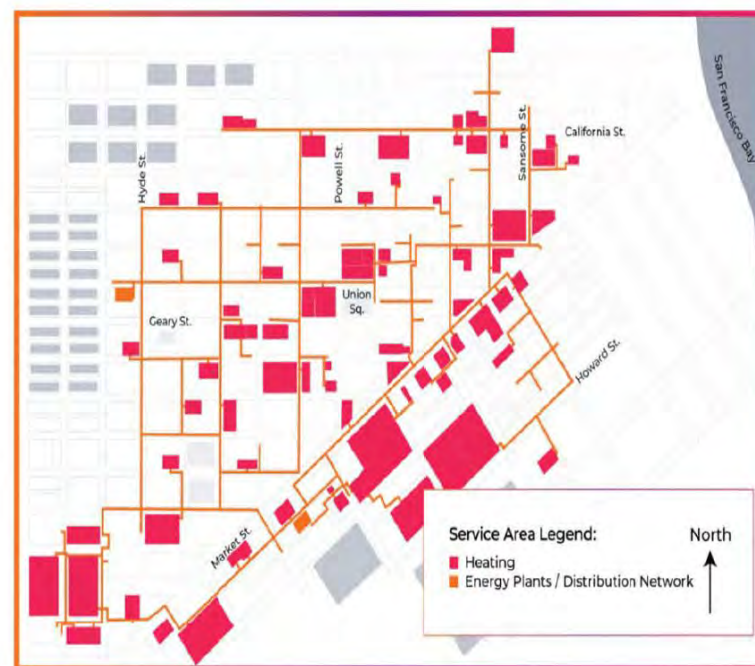
運用の専門知識と能力

40年以上の規制経験を持つCordiaは、現在最大420,000ポンド/時 (190t/h) の容量で信頼性の高いエネルギー供給を保証します。

経験豊富な運用チーム

熟練したチームが配電、プラント運用、顧客サービスを管理し、信頼性と応答性に優れたエネルギーソリューションを提供します。

サンフランシスコの地域熱供給網と対象建物



既存の施設

Existing Facility



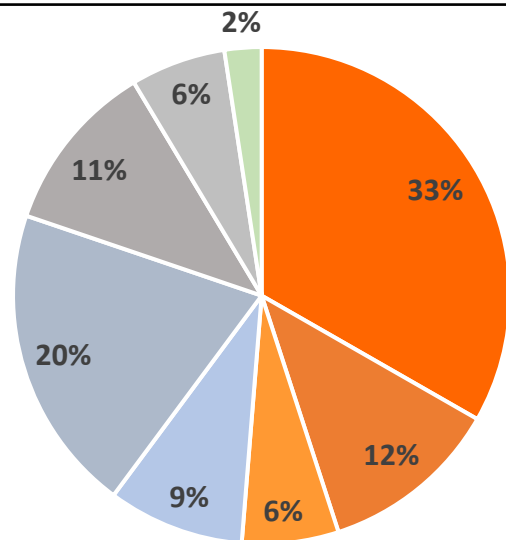
提案された増築部分

Proposed Construction



- 【1】 日本の地域冷暖房の歴史と現状
- 【2】 地域エネルギーシステムの役割・メリット
- 【3】 世界の地域冷暖房の現状
- 【4】 欧州、米国の地域冷暖房の脱炭素化に向けた動向
- 【5】 今後の課題・展望に向けて

日本の地域冷暖房のエネルギー源、再エネ・未利用エネルギーの活用



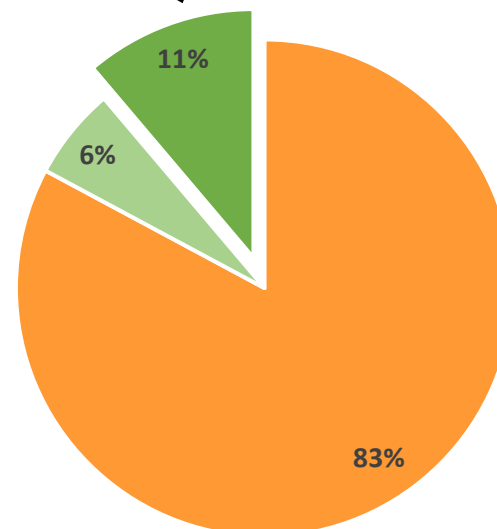
Incineration (incl.RDF)	ごみ焼却熱 (RDFを含む) (33%)
Woody biomass	木質バイオマス (12%)
Cogeneration	コージェネレーション (6%)
River water	河川水 (9%)
Sea water	海水 (20%)
Sewage	処理下水 (11%)
Building Exhaust Heat	建物排熱 (6%)
Other	その他 (2%)

合計: 874 GWh

再生・未利用エネルギーの種類と割合 (2023年度)

日本の地域冷暖房のエネルギー源 (2023年度)

合計: 7,815 GWh



Electricity and fuel	電気・燃料 (83%)
Exhaust Heat	排熱 (6%)
Renewable and unused energy	再生可能エネルギー 未利用エネルギー・ (11%)

地域冷暖房での未利用エネルギーのさらなる活用(2030年カーボンハーフに向けて)



図 東京都心部の地域冷暖房と清掃工場の分布

■ 地域冷暖房地区
⊗ 清掃工場

- 東京都心部には、清掃工場が複数あり、多くが地域冷暖房区域に近接している。
- 左の図の清掃工場7カ所のうち、地域冷暖房に熱を供給しているのは、2カ所である。
- 清掃工場の排熱は、多くを発電に利用しているが、炉の温度を火力発電所ほどに高くできないため、発電効率は火力発電所と比較して低い。
- 2030年カーボンハーフにむけては、清掃工場の排熱を地域冷暖房に供給することで、さらなるエネルギー有効利用を行うことが重要である。

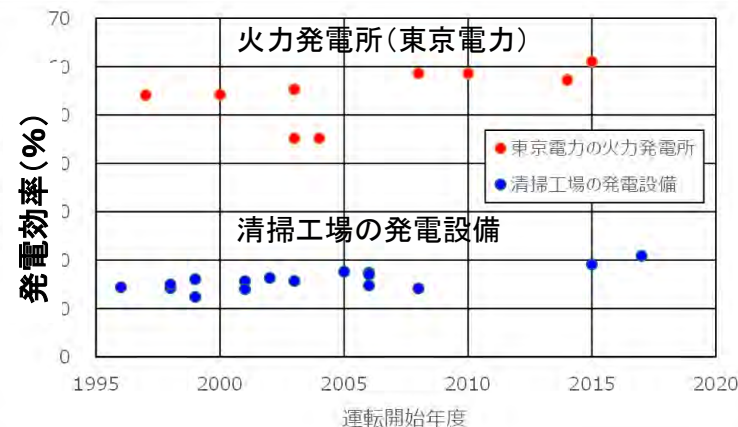
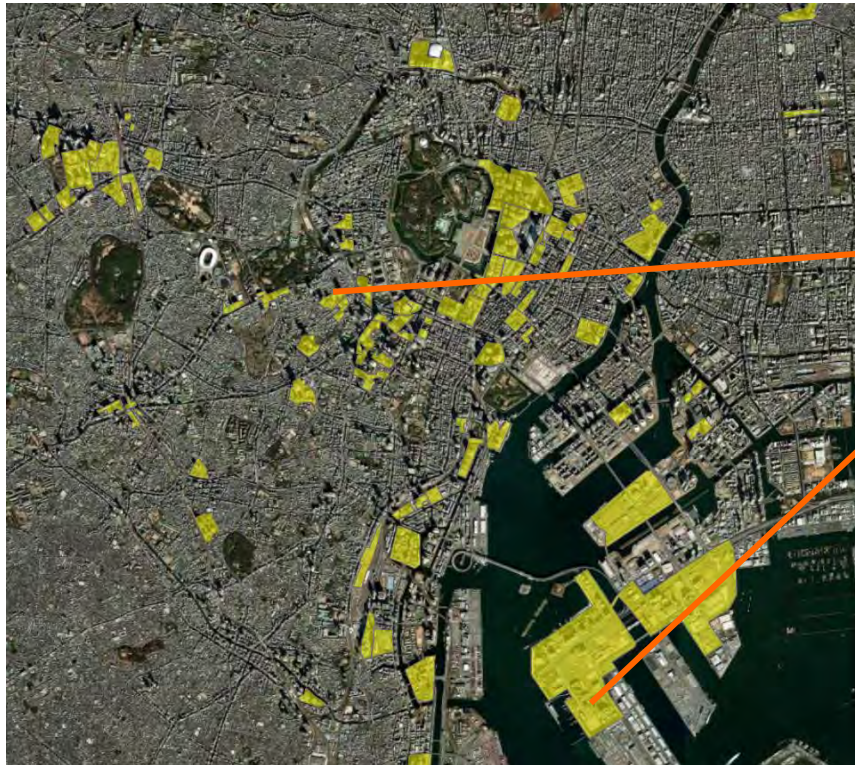


図 火力発電所と清掃工場の発電設備の効率の比較

出典: 中島裕輔

地域冷暖房への脱炭素燃料の導入(2050年カーボンニュートラルに向けて)

- 日本では、大地震発生の切迫性、風水害の激甚化など、災害による被災の可能性がますます高まっていることから、**脱炭素の取組みと同時に、エネルギー(特に電力)供給を、途絶しにくく復旧しやすい、レジリエントなシステムにする必要がある。**
- そのためには、**分散電源(コージェネレーション)を組込んだ地域冷暖房が必要**であり、**2050年カーボンニュートラルに向けては、その燃料として、脱炭素燃料の導入が必要**と考える



東京では、2カ所の地域冷暖房区域で水素の利用を始めている

赤坂地域冷暖房

東京臨海副都心地域冷暖房

- 供給する熱の一部を、**水素混焼ボイラー**によって製造する。
- 水素は山梨県産のグリーン水素の供給を受ける。

まとめ

- 日本の**地域冷暖房**は1970年の大阪万博での地域冷房の実現を契機に始まり、時代の変遷とともに新たな役割が付加されながら、**都市の多様なニーズ**に対応する**地域エネルギーシステムの基盤**として発展してきた。その役割は今日、**環境性**(脱炭素)、**強靱性**(レジリエンス)、**柔軟性**(電力需給調整力)に整理できる。
- 欧州では**都市規模で熱供給網が構築**されている都市が多く、**熱媒温度を下げること**で、ますます**多様な廃熱を取り込み、セクターカップリングの要**(かなめ)の役割を担っており、都市域の脱炭素の切り札になっている。
- 米国のニューヨークなどの大都市では、**熱媒は従来の蒸気のまま**で、電気ボイラ、ヒートポンプを活用した**電化による脱炭素化**を進めている。
- 日本における**2050年カーボンニュートラル**に向けて、都市のエネルギー供給は**脱炭素とレジリエンスの両面**を備える必要があり、地域冷暖房のさらなる拡大、**グリーン水素由来等の脱炭素燃料の活用**が必要と考える。