

令和5年度海外視察調査報告会



デンマークにおける地域熱供給

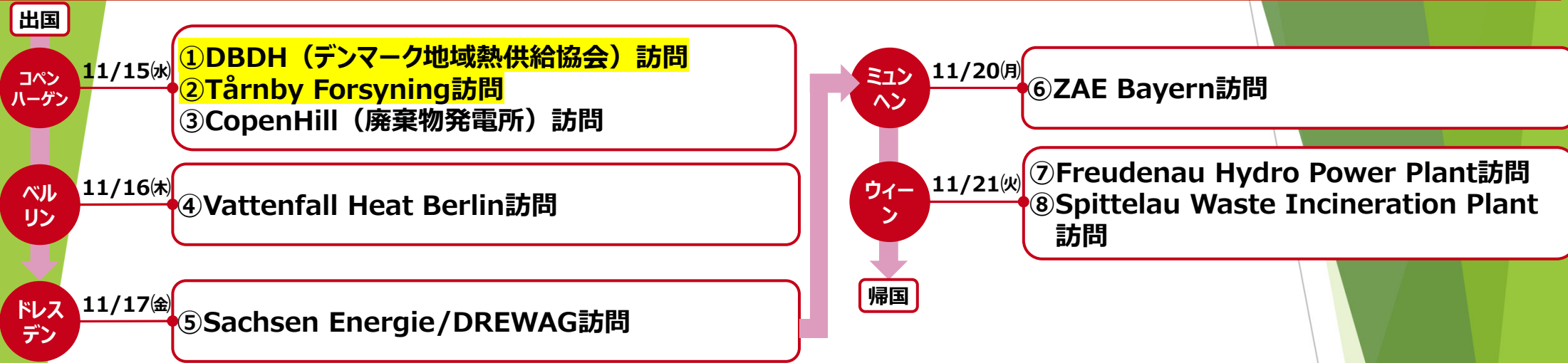
令和6年7月30日

一般社団法人 **日本熱供給事業協会**
海外視察調査研究会
D班班長 水守 博史

目次

1. デンマーク・コペンハーゲンについて
2. デンマークのエネルギー概況
3. コペンハーゲンの地域熱供給概況
4. カーボンニュートラルに向けた展望
5. 欧州視察を終えて ～日本の熱供給事業のこれから～

視察行程



| | |
|------|---|
| 訪問日時 | 2023年11月15日(水)10:00～13:45 |
| 場所 | デンマーク地域熱供給協会 会議室→Tårnby Forsyning社現場視察 |
| 説明者 | Ramboll社 : Anders Dyrelund, CTR社 : Jan Hindsbo（責任者、副ディレクター・テクニカルディレクター） Tårnby Forsyning社 : Raymond Skaarup（所長） |

CTR社概要

設立 : 1984年 5自治体により設立された非営利会社
(19の市をカバー、4システムを統合)

従業員 : 39名。

供給規模 : 34,500TJ (9,600GWh) 、50万軒
⇒デンマークの熱需要の約25%
⇒TGESの約10倍、日本21,574TJ/yの約1.6倍。

メンテ : 11.5万件/年の計画をシステムで管理。
設備は3万台。

Ramboll社概要

設立 : 1945年

事業規模 : 北欧・英国中心に世界35か国に展開。
収益19億€→約3,040億円

従業員 : 18,000人。

事業 : 建物・輸送・IT・エネルギー・環境等多岐にわたるコンサルとソリューション

Tårnby Forsyning社概要

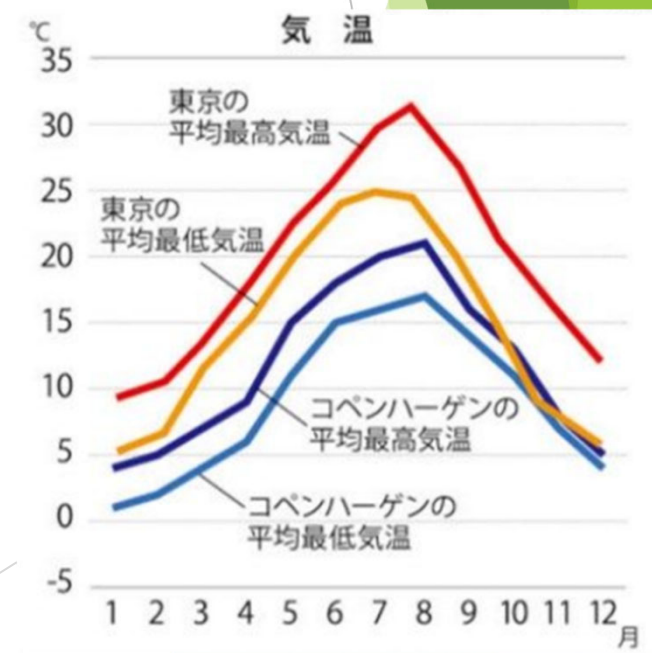
設立 : 2010.1.1, Tårnby市所有

事業 : 上下水道、廃水処理、地域冷暖房事業（非営利）

1. デンマーク・コペンハーゲンについて

(1) 地理と気候

- デンマークは北欧に位置し、人口596万人（日本の約1/20）、国土4万3,098km²（グリーンランドを含むと217万km²、日本は38万km²）、幸福度が世界第2位の国。日本は56位。
- コペンハーゲン市はデンマークの首都。人口 660 千人(2023 年)、「北欧のパリ」とも言われている。
- 気温は、1,2 月は 1~5℃程度、7,8 月は15~21℃程度。年間通じ降雨があり、年間降水量は日本の6割程度。



(引用：地球の歩き方WEB版)

1. デンマーク・コペンハーゲンについて

(2) 建築と環境

- 都市部は古い建築物が多く、建物同士が隣接しており、建替えではなくリニューアル、補修を繰り返し使用が継続されている。空調方式はセントラル方式が主流である。
- 環境意識が高く、多くの市民が自転車を利用。国土が平らで高低差がないことも自転車の利用者が多い要因の一つになっている。



(写真：コペンハーゲン市内の建築物)



(写真：朝の出勤風景)

2. デンマークのエネルギー概況

(1) デンマークのエネルギー政策

- 古くから重油の地域暖房が普及、1973年のオイルショックを経て、天然ガスシフト、熱電併給発電所および地域暖房が推進された。
- 1976年、デンマーク・エネルギー政策『電力供給法』において、「**新規の火力発電設備は全て熱電併給（CHP）であるべき**」と明記。
- 更には、世界でいち早く原子力に依存せず「2050年までに化石燃料を使わない社会」を掲げ、省エネと再エネを軸に取組み推進。
- その中で**熱利用がカギ**を握っており、**地域暖房に大きな期待**。

| デンマークにおけるエネルギー動向 | |
|------------------|--|
| 1973年 | オイルショック |
| 1976年 | 「電力供給法」にて「 熱電併給 」を明記 |
| 1981年 | エネルギー利用 効率の向上 、エネルギー源の 分散化 |
| 1985年 | 「 原子力発電に依存しない公共エネルギー計画 」を議決 |
| 1996年 | 2030年までに 二酸化炭素排出量を半減 させる |
| 2007年 | 2025年までに 再生可能エネルギーの割合を30% に高める |
| 2011年 | 2050年に 化石燃料を使わない社会 を目指す |

2. デンマークのエネルギー概況

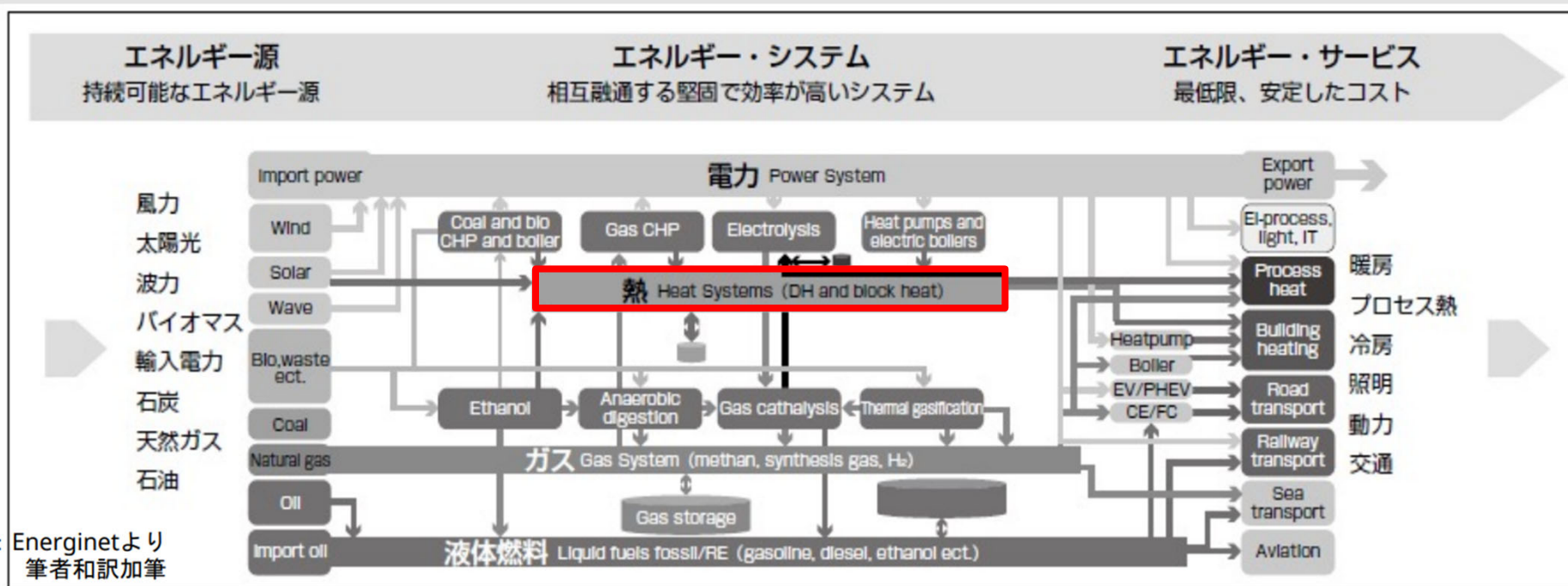
(2) デンマークのエネルギーシステム

- 「**セクターカップリング**」と呼ばれ、電力、熱、ガス、ガソリンなどの液体燃料のエネルギー媒体が**相互融通**でき、エネルギー効率も経済性も高いエネルギー・システムである。
- 本システムでは**再生可能エネルギーの変動を吸収**し、相互融通する必要があり、その重要な役割を「**熱**」が果たしている。

エネルギー源
持続可能なエネルギー源

エネルギー・システム
相互融通する堅固で効率が高いシステム

エネルギー・サービス
最低限、安定したコスト



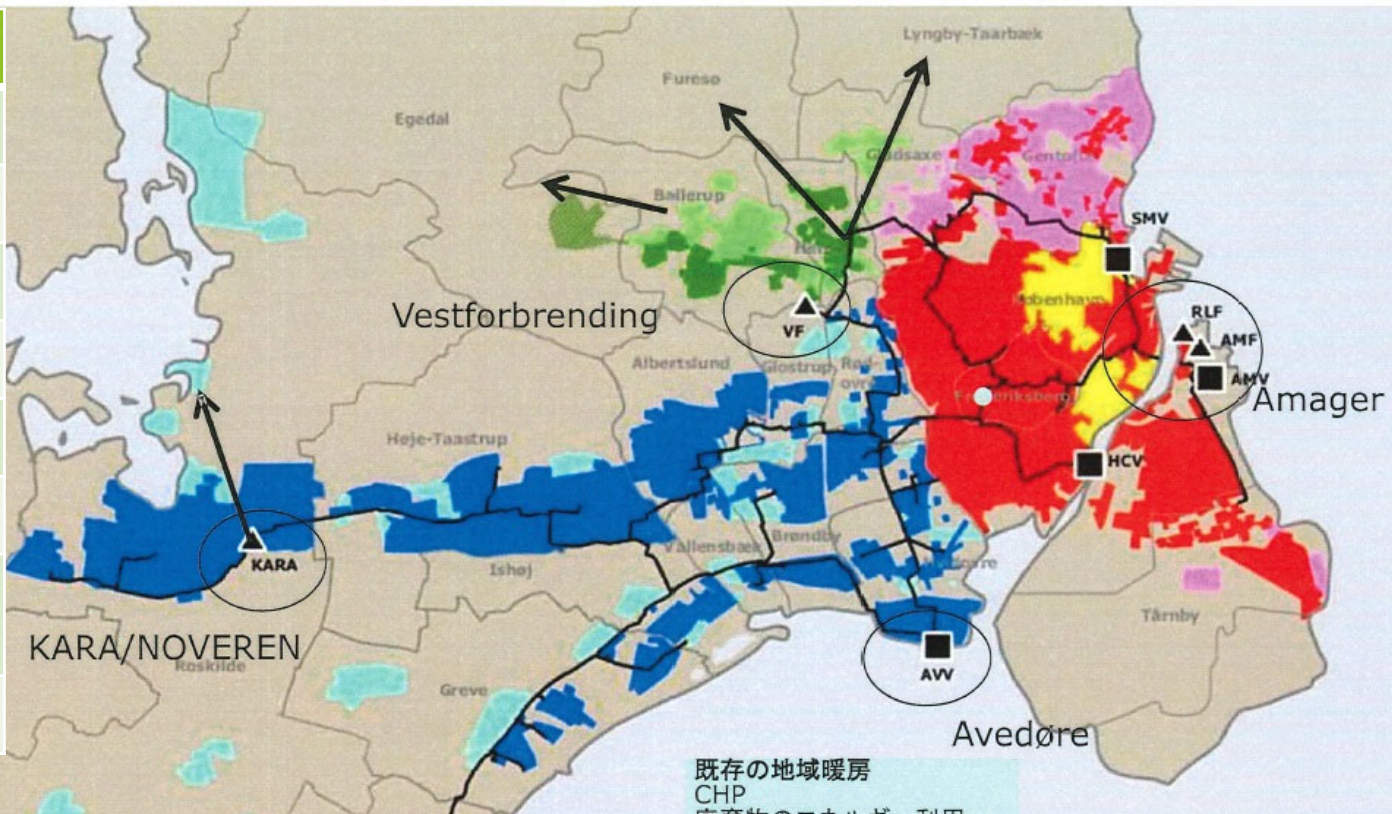
(引用: [Takahashi20211026.pdf \(isep.or.jp\)](#))

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

(1) コペンハーゲンの地域熱供給の概要

- デンマークでは**発電所が熱電併給**であるため、この**排熱を搬送**する会社を自治体が所有し、**地域への熱供給**を実施している。

| 主要項目 | 主要データ |
|-------|----------------------|
| 生産量 | 10,000GWh/年 |
| 最大負荷 | 約3,000MW |
| 熱販売量 | 8,500GWh/年 |
| 暖房床面積 | 6,000万㎡ |
| 熱損失 | 15% |
| 熱搬送網 | 全長160km |
| 送り温度 | 通常80~110℃、 最高120℃ |
| 戻り温度 | 約50% |



- : C T R (熱搬送会社) ⇒5つの自治体が所有
- : V E K S (熱搬送会社) ⇒12の自治体が所有
- : Vestforbraeding (熱搬送・供給会社) ⇒地域の20の自治体が所有
- : Copenhagen Energy ⇒旧式の蒸気システムを所有

既存の地域暖房
CHP
廃棄物のエネルギー利用
熱輸送

- Kraftvarmeværker
- ▲ Affaldsforbrænding
- Transmissionsnet for fjernvarme
- VEKS-varmeforsyningsområde
- CTR-varmeforsyningsområde
- Vestforbrænding-varmeforsyningsområde
- Fjernvarme - damp
- Smerum Kraftvarme

新規の地域暖房
ガスから地域暖房への転換

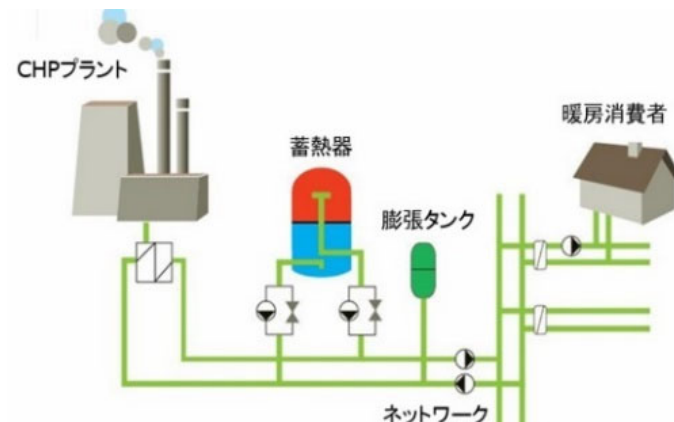
- VEKS
- CTR
- Vestforbrænding

(引用 : Rambøll Energy Denmarkプレゼン資料)

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

(2) コペンハーゲンの地域熱供給システム

- 熱電併給プラントの多くは蓄熱設備（アキュミュレーター）を備え、電気需給状況によって変動する売電価格に基づいて運転制御を行う。
- 電力価格が高いとき（通常は朝と夕方）に設備を稼働させ売電し、熱は日中に必要となるまで蓄熱槽に蓄える。
- 蓄熱は経済的にも環境的にもシステム最適化の役割を担っている。



(引用：Rambøll Energy Denmarkプレゼン資料)

- 地域冷房市場はまだ小さいが、オフィスや商業施設に向けに、冷水蓄熱槽、冷温水のコージェネ、季節間蓄熱など導入が始まっている。
- 第4世代熱供給への移行が開始。ポイントの1つが供給温度の低下。低温化により送熱ロス低減、産業余剰熱や再エネ（太陽熱、地中熱）の利用が可能となる。

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

(3) コペンハーゲンの地域熱供給の経済性等

- ・ 熱料金は地域により異なるが**価格設定方法は法律**で定められている。
- ・ 熱供給事業者は**非営利**でなければならず、管轄する独立機関が適正価格を監視している。
- ・ 清掃工場で電気と熱を生産し、排熱を100%利用しているため、**エネルギー効率100%**を実現している。
- ・ 昨今のエネルギー価格、物価高騰は熱料金へ反映している。
- ・ バイオマスのうち木質ペレットを除く**藁、木質チップ**は軽油や天然ガスなど化石燃料と比べ**安価**な原材料であり価格も**安定**している。

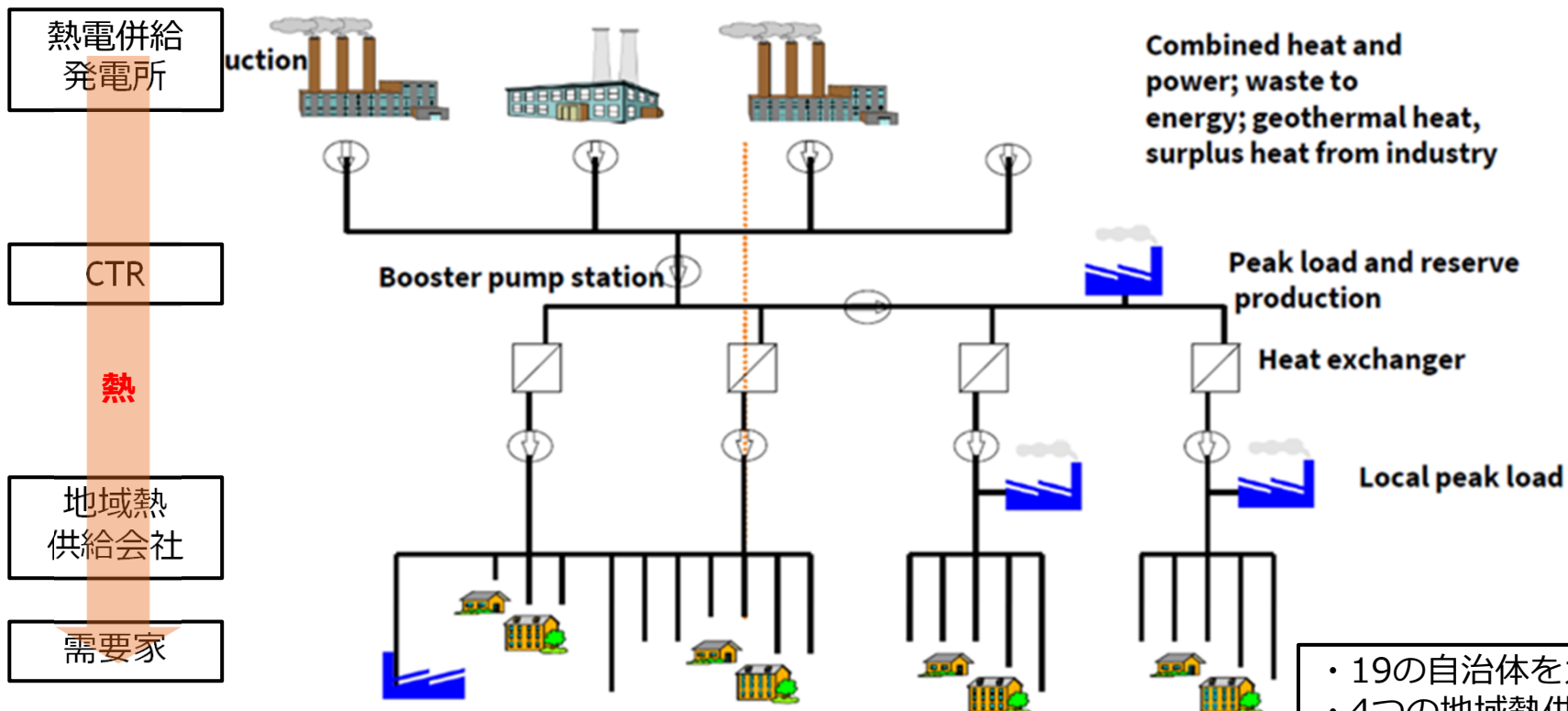
<料金体系>

- ① 接続料金 (加入時のみ支払い)
- ② 年間料金
 - a. 基本料金
 - b. キャパシティ料金 (容量基準料金)
 - c. エネルギー料金 (従量料金)
 - d. モチベーション料金 (割引料金)

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

(4) CTR

- コペンハーゲン首都圏の5つの自治体により設立された**非営利の会社**。
- CHPの熱、ごみ焼却場の排熱**を**中継導管網**を通して地域熱供給会社に販売、熱需要家には、地域熱供給会社が販売。
- ポンプ、熱交換器、予備・ピーク負荷用ボイラーを所有。



(引用：CTRプレゼン資料)

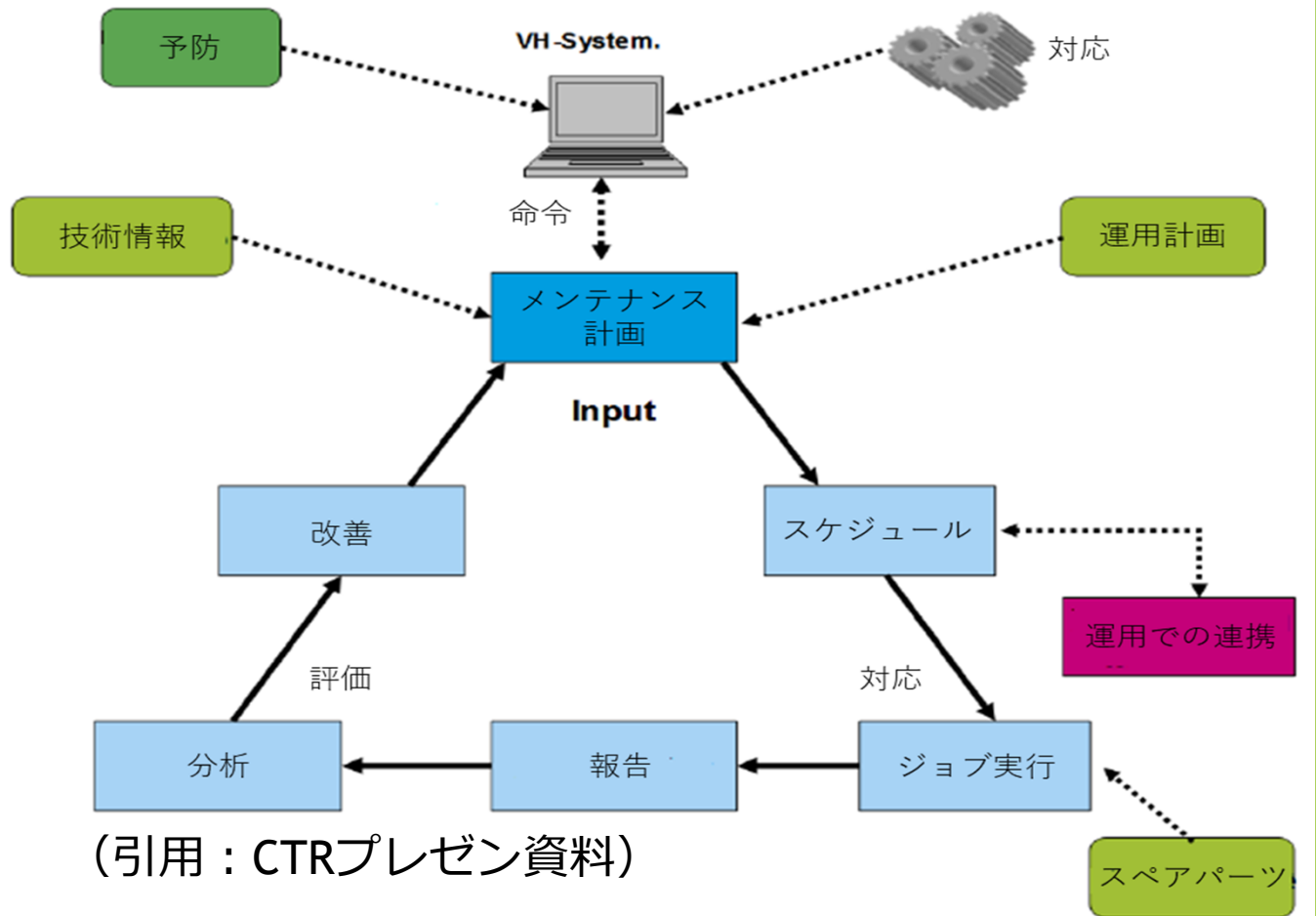
- 19の自治体をカバー
- 4つの地域熱供給システム
- 25の地域熱供給会社
- 500,000の最終利用者
- デンマークの熱需要の約25%

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

- 24時間の運用保守を行い**全体の供給保証に責任**を持っている。
- 年間約115,000件実施される予防保全は、セントラルコンピュータシステムにて管理され、サービス会社が自動的にジョブを受け取り修復すれば返送される。
- セントラルコンピュータには**3万台の機器データ**や**メンテナンス履歴**が登録されている。



(写真：CTR中央監視室)

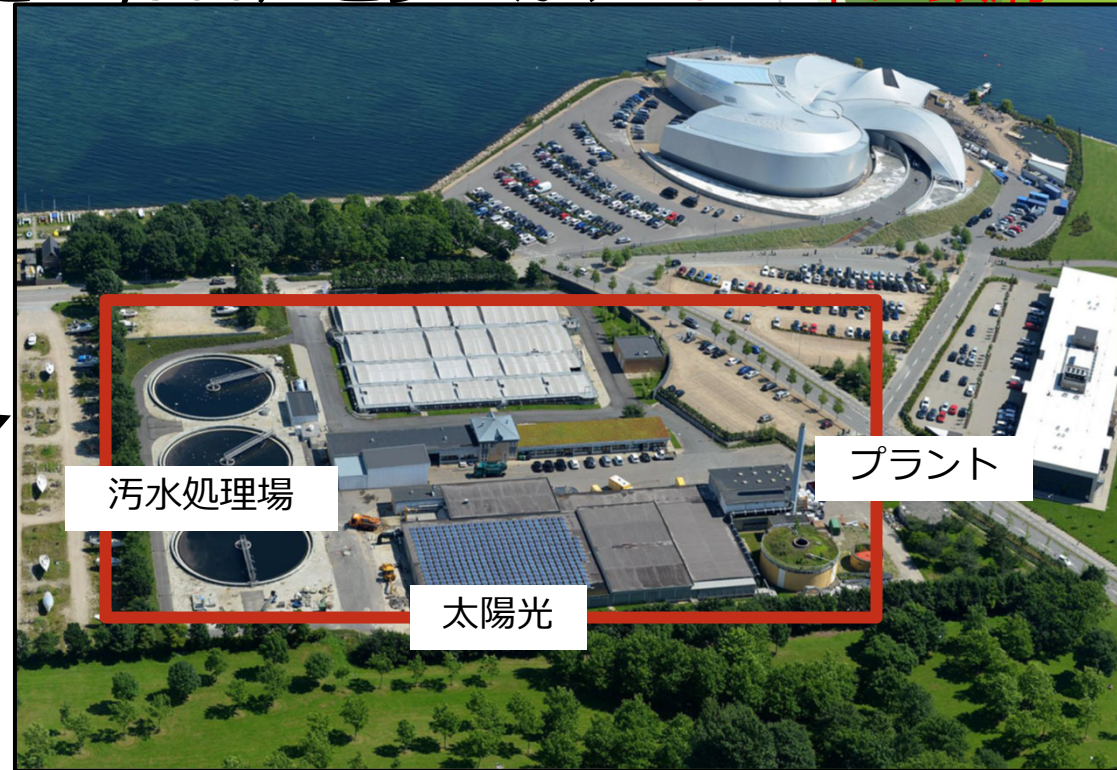


(引用：CTRプレゼン資料)

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

(5) Tårnby Forsyning (トーンビューフォーシニング) 社

- 2010年1月1日に非営利企業として設立。オーナーは、Tårnby市。
- 上水供給、下水及び廃水処理、暖房・冷房供給を業務としている。
- 約20,000人の市民と空港に熱供給を行っている。年間620TJ。
- 2028年までに12,500戸（主に集合住宅、戸建て）に拡大、年間の熱量は450TJ増加、配管総距離90kmになる計画。
- 5年後の2028年までに新顧客を12,500戸と多いが、2022年に政府は天然ガスを止めると宣言。多くは地域暖房になる。
- 個別にヒートポンプ導入も検討されており、競合となる。



(引用：Tårnby Forsyningプレゼン資料)

3. コペンハーゲンの地域熱供給概況

- ヒートポンプと2,000m³の冷水蓄熱タンクで構成。
〈ヒートポンプの仕様〉
冷水15℃／8℃、温水75℃／90℃
8基、加熱能力6MW、冷却能力5MW、冷暖同時可能
- 冬季は蓄熱。余剰が出る場合は、下水へ放熱。温水は蓄熱できないため、下水へ放熱。
- 冷水は、ホテルと薬品会社に供給。CTRに属しており、温水は補助として製造。
- 電力は、ネットワークから購入。



(写真：プラント内)



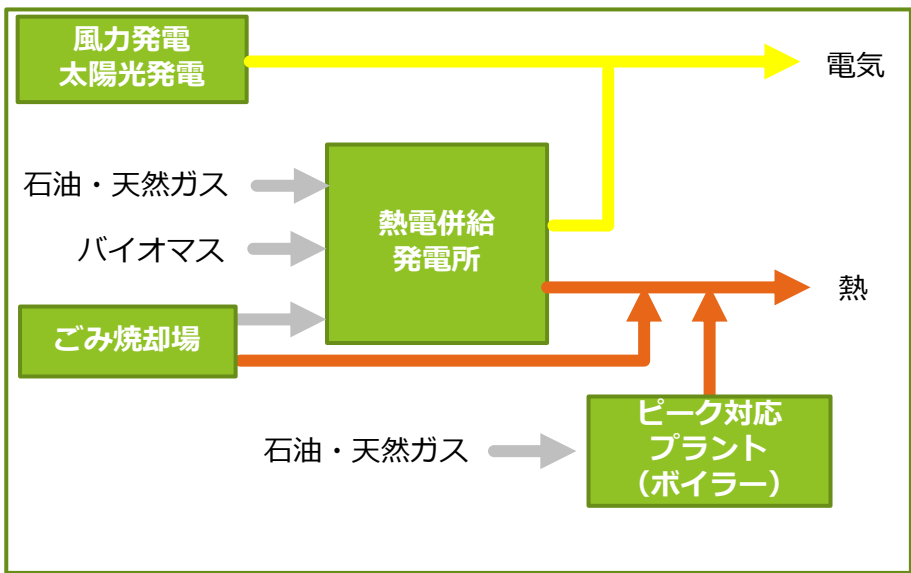
(写真：冷水蓄熱タンク)

4. カーボンニュートラルに向けた展望

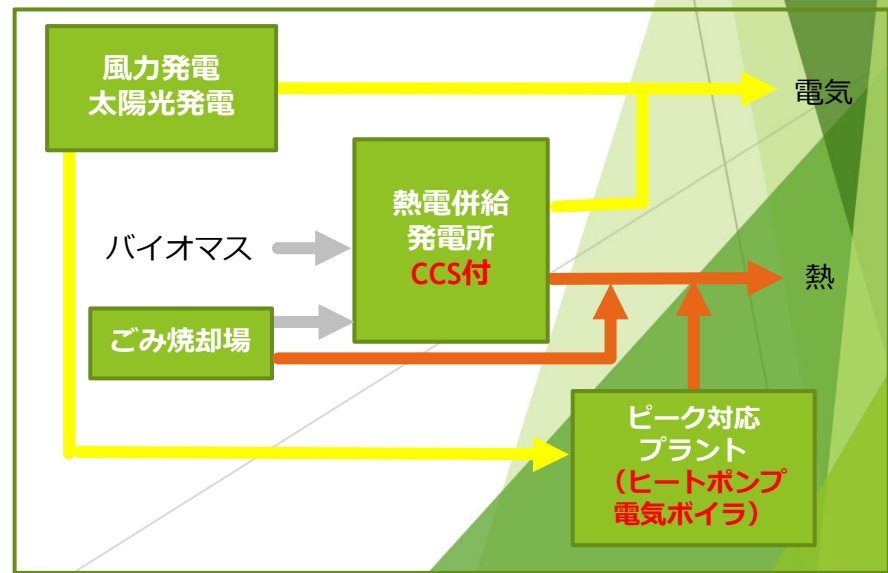
(1) 現状の地域熱供給のエネルギー源と今後の見通し

- 地域熱供給のエネルギー源はごみ焼却排熱とCHPの熱プラントであったが、最近ではバイオマスプラントも利用。また、地域のピーク時対応プラントは石油と天然ガスをエネルギー源として利用。
- 政府は**バイオマス**を未来では**限定的な資源**と位置づけており、石油と天然ガスで動かしてきた発電所等をバイオマスへ移行するシナリオは描けない。
- 従って、再生可能エネルギー（風力、太陽光）を中心に発電された**電気を基本として動かすゴール**を共有。

【これまで】

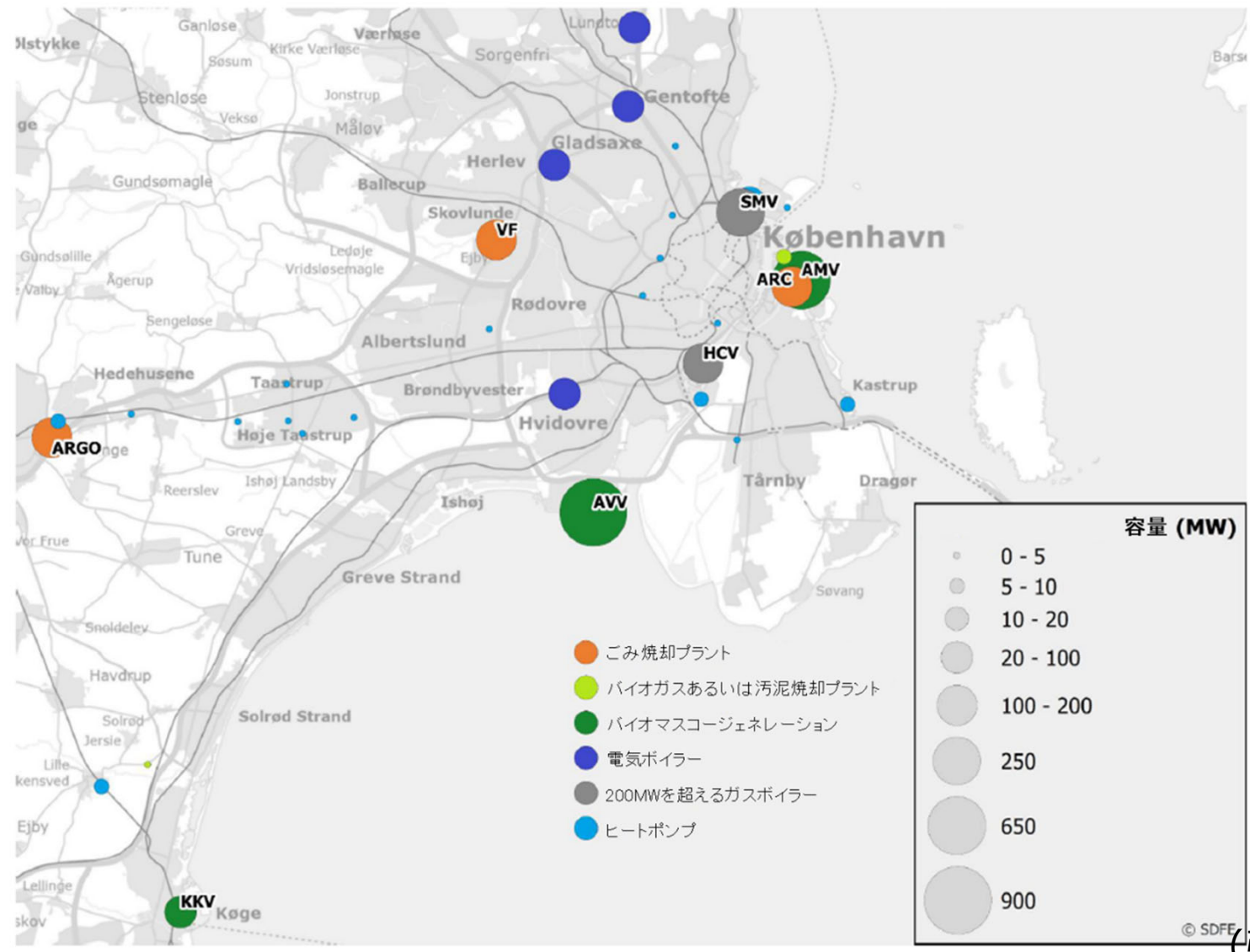


【将来】



4. カーボンニュートラルに向けた展望

・ 下図は設備容量を示しており、オレンジ色がごみ排熱プラント、緑色がバイオマスプラント、グレー色が天然ガスボイラー。規模が大きいバイオマスや石油・ガスからの移行はきわめて大きな変化。



4. カーボンニュートラルに向けた展望

(2) 地域熱供給の未来に向けて設けられた気候変動目標のフレームワーク

- コペンハーゲンの地域熱供給は2025年からCO2ニュートラルでなければならない（コペンハーゲン自治体、HOFOR,CTR,VEKSも同様）
- 2025年までの地球温暖化ガスの削減目標は1990年に比べて50-54%（2021に設定された温暖化ガスの2025年削減目標指示合意）
- デンマークは2030年までに温暖化ガスを70%削減、2050年のカーボンニュートラル社会へ移行しなければならない（2020年気候変動適応法）

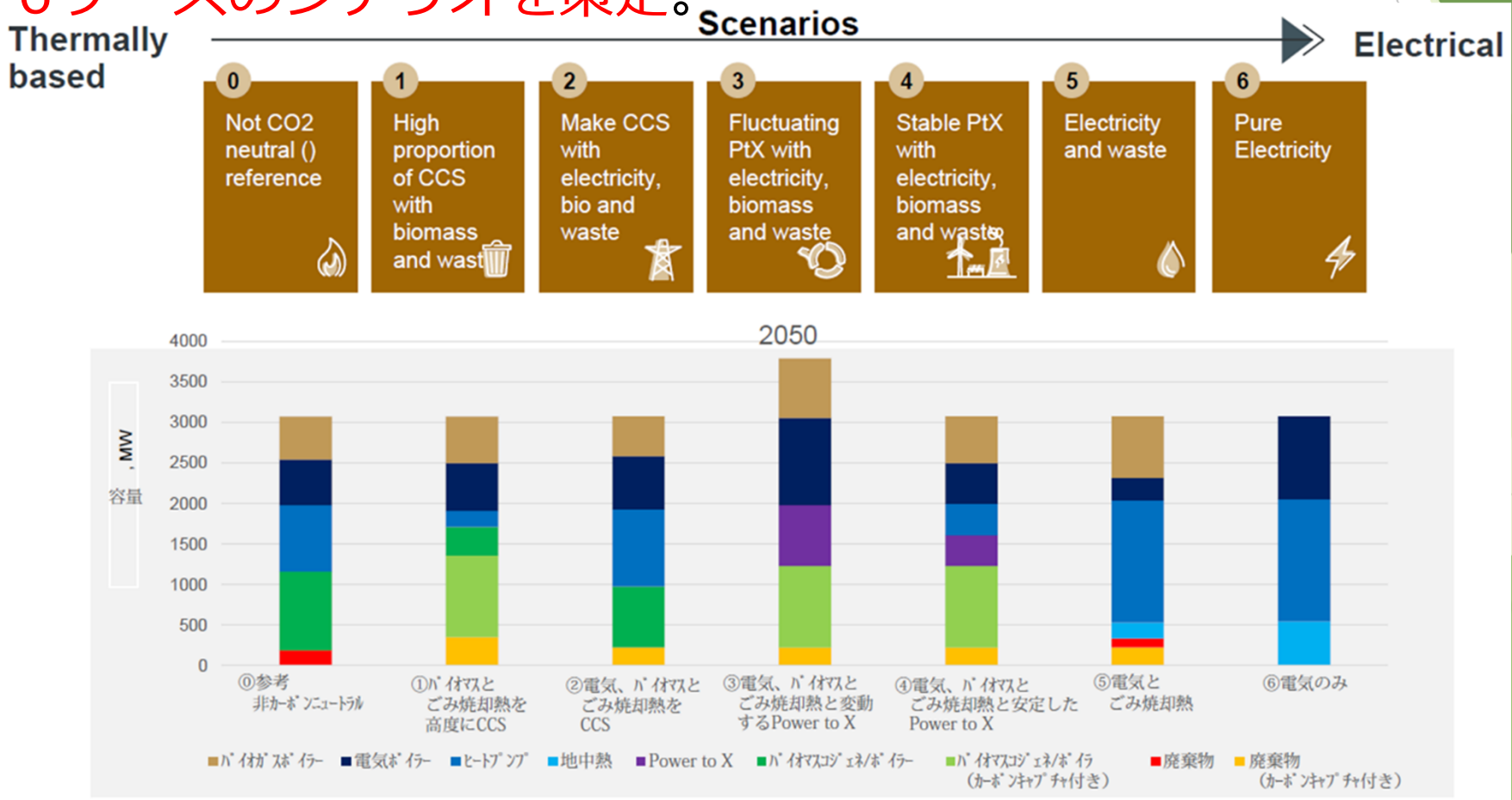
(3) 地域熱供給が直面する大きな多くの変化

- 地域熱供給は未来の供給セクターとして重要な役割を果たすことが包括的な政治的合意として採択された。
- これから新しい技術が発展し社会実装がなされていく。
 - ①大規模なヒートポンプ（例えば廃水や海水を利用）
 - ②地中熱
 - ③CCS、CCU
 - ④Power to X工場からの余剰熱

4. カーボンニュートラルに向けた展望

(4) 未来に向けたコペンハーゲン地域熱供給の6つのシナリオ

- CTRでは、大規模な調査研究をした結果、熱利用が中心のベースケースとヒートポンプ（以下「HP」）導入促進により電気利用をさらに進めるケース、そして電気のみを利用するケースまで、**6ケースのシナリオを策定**。



(引用 : CTRプレゼン資料)

4. カーボンニュートラルに向けた展望

(5) 6つのシナリオの推進における課題

- デンマークの電気は風力と太陽光が主力で、変動幅が大きいいため、Power to X設備は大規模な設備が必要となる。
- 現状、HPの設備容量はかなり小さいため、CHPプラントをHPに置き換える場合、多数導入する必要がある。
- HPの熱製造効率は低い温度で効率がよいため、消費者に近いところに設置する必要があるが、設置場所が限定的である。
- ごみ排熱とCHP排熱ベースから電気ベースへの移行におけるもう一つの大きな課題として、移行がデンマーク全体の電力システムに跳ね返るということである。
- 現在の地域熱供給システムはCHPで電気を作るのを助けているため、今日の電力供給へは純粋なインプットとなっている。
- 移行シナリオでいくと地域熱供給は安定的な電気の生産者側から消費者側にシフトしていくことになる。

4. カーボンニュートラルに向けた展望

(6) 2050年に向けた地域熱供給ビジョンの2つの戦略的課題

<将来の顧客>

- ・地域熱供給は**グリーン化への顧客の希望**に応えなければならない。
- ・**料金面・技術面・持続可能性で魅力的な解決策を提供**できるようにしなければならない。
- ・**個別暖房システムに対して競争優位**に立たなければならない。

<未来のエネルギーシステムと技術面>

- ・未来のグリーンエネルギーシステムは**多方面に発展の機会**を持っている。
- ・**多くの技術が開発中**である。それがいつ市場に提供されるか、また何ができるかは不透明である。
※大規模なヒートポンプ、地中熱、CCS、Power to X等。
- ・**電力技術もまた継続的な開発**がなされている。
※風力、太陽光、蓄電、バッテリーなど。
- ・未来の供給に向けて、**地域の支え**となり**持続可能な都市**を確実なものとしなければならない。

5. 欧州視察を終えて～日本の熱供給事業のこれから～

今回の視察を終え、ヨーロッパと日本におけるエネルギー需要構造、地理的条件、都市部の発展経過の違いから、相互の**熱供給の在り方が大きく異なる**ことを認識し、これにより、**日本における熱供給の在り方を再認識**させられた。

<ヨーロッパにおける地域熱供給の普及状況>

① 需要側の普及理由

- ・ 産業革命以降近代建築が普及
- ・ 事務所も住宅もセントラルが主流
- ・ ヨーロッパでは住宅を代々継承する文化



古くからセントラル方式のビル・住宅が多く、建替えされない



熱供給を受け入れやすい

② 供給側の普及理由

- ・ 発電所は熱電併給が標準
- ・ 発電所が内陸部に多く排熱を利用しやすい
- ・ 早期に熱導管を敷設、浅い埋設が可能



古くから熱供給が普及し、電気・ガス・水道と同等のインフラとして定着した

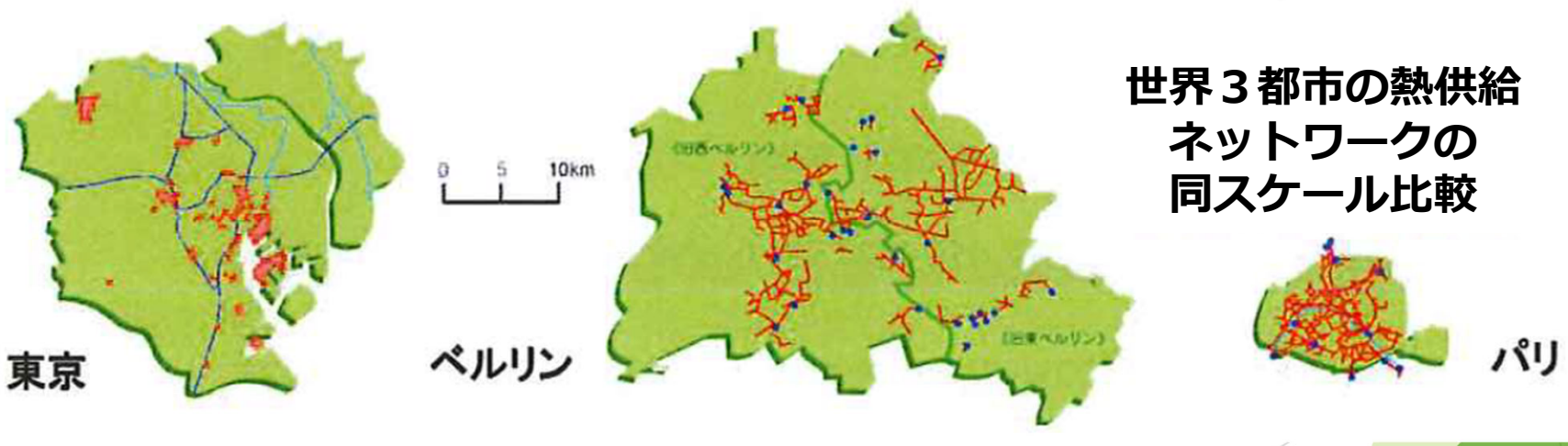


熱供給を展開しやすい

5. 欧州視察を終えて～日本の熱供給事業のこれから～

<日本における地域熱供給の普及状況>

- 日本は、1968年より大規模再開発に合わせて地域熱供給が普及してきたものの、ヨーロッパに比べると**エリアは限定的**であり、欧州のような広域的な導管網は構築されてなく、今後も構築は困難な状況である。
- また、欧州に比べると都市部が広範囲であり、熱導管敷設に制約もあるため**発電所、ごみ焼却施設等の排熱利用にも制限**がある。



5. 欧州視察を終えて～日本の熱供給事業のこれから～

＜日本における地域熱供給のこれから＞

欧州視察を終えて、日本の熱供給事業のこれからを考えると、

- ・ 既存の社会インフラ（電気、ガス、水道、通信）を最大限生かし、
- ・ エネルギー需要集積地＝大規模開発・再開発を中心に、
- ・ 高効率なエネルギーミックスシステムと最適なエリアエネルギーマネジメントを実現する、

「地域エネルギー供給」を、

- ・ 欧州に比べるとコンパクトに展開し、
- ・ 地震国である日本の都市機能維持に貢献する社会インフラとして発展させる、

ことが重要であると感じた。

ご清聴ありがとうございました。

**一般社団法人 日本熱供給事業協会
海外視察調査研究会**

**D班 佐野 正明
茂野 達也
森田 哲也
佐藤 達哉
水守 博史**