

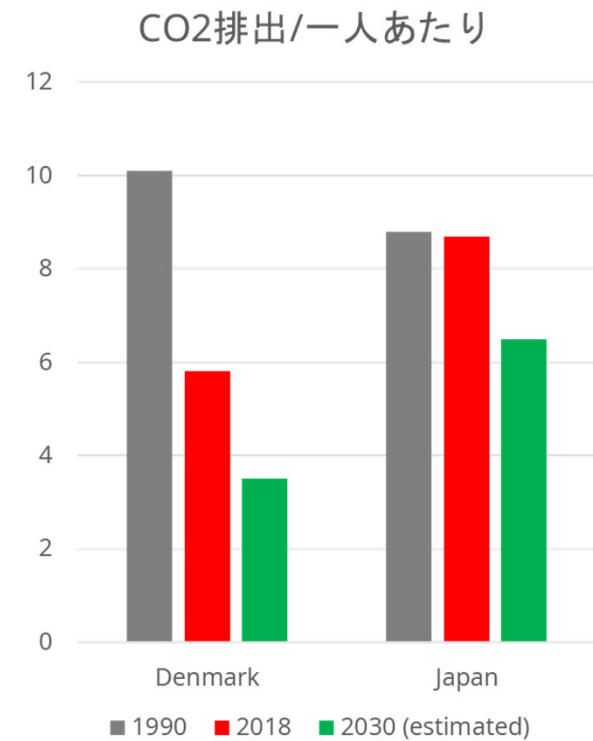
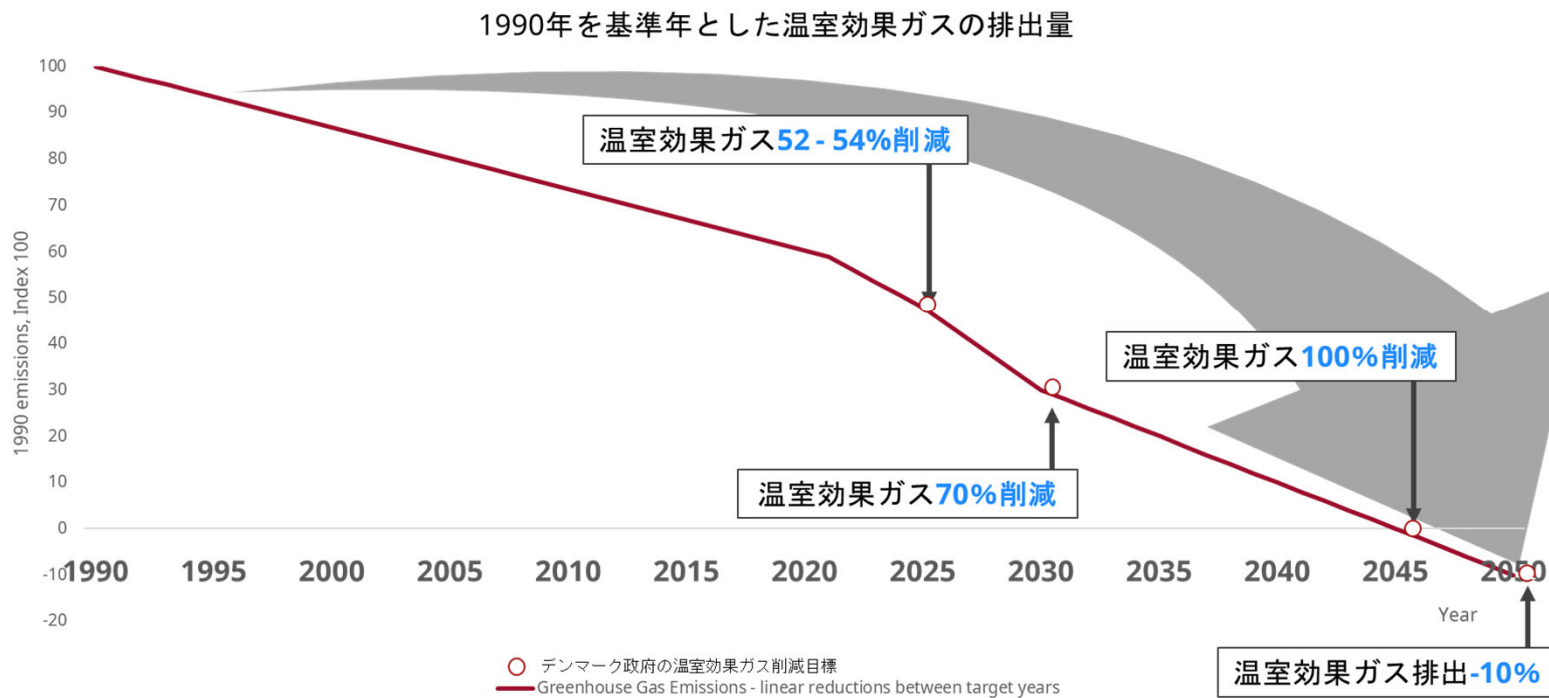


MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS  
OF DENMARK

～令和5年度海外視察調査報告会 基調講演～  
デンマークにおける  
脱炭素社会の構築に向けた熱供給の役割

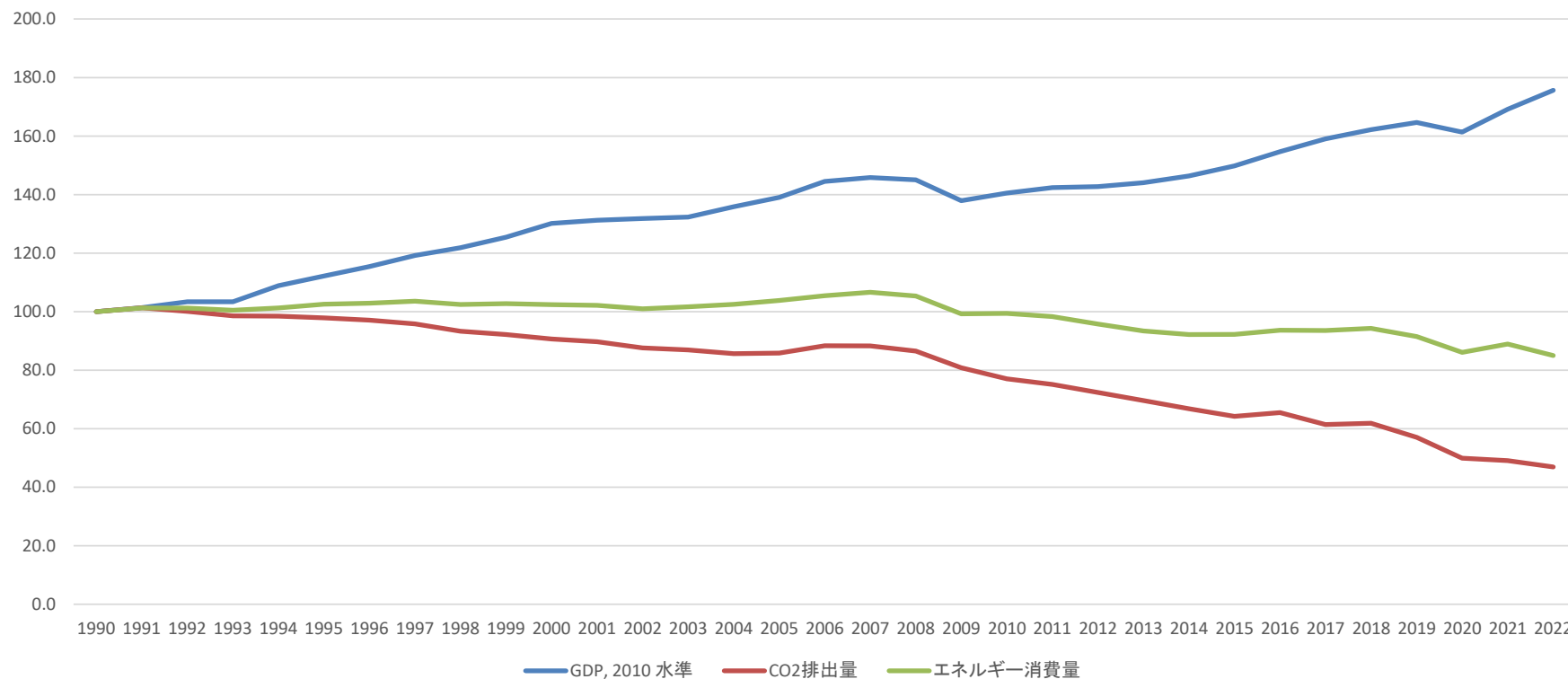
2024年7月30日  
デンマーク王国大使館  
田中 はずみ

# デンマークは2045年までに温室効果ガスの「純吸収国」に

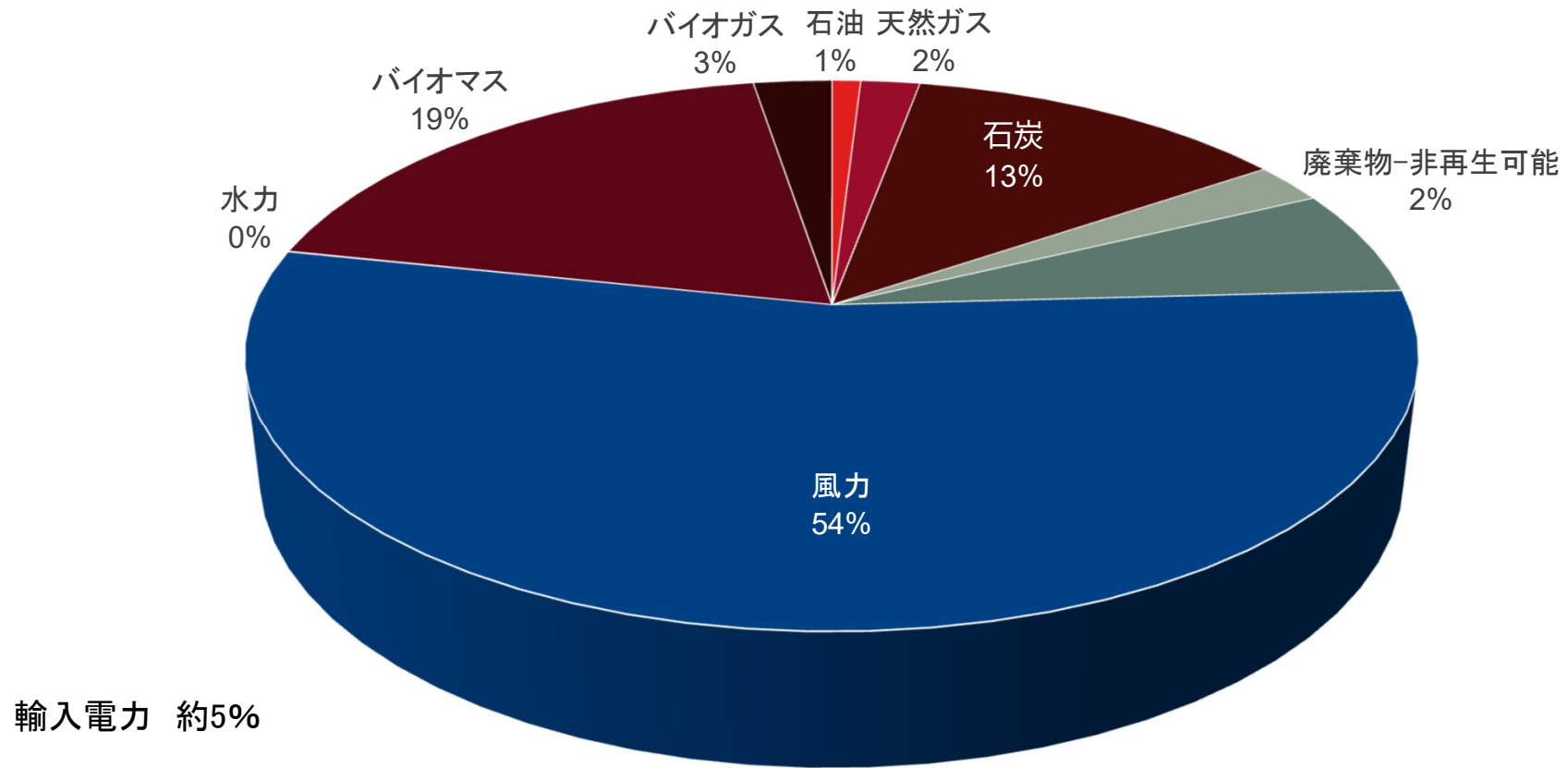


Source: The Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities, data covers all GHG-emissions in Denmark

# デンマークの経済成長と エネルギー消費／CO<sub>2</sub>排出量のデカップリング

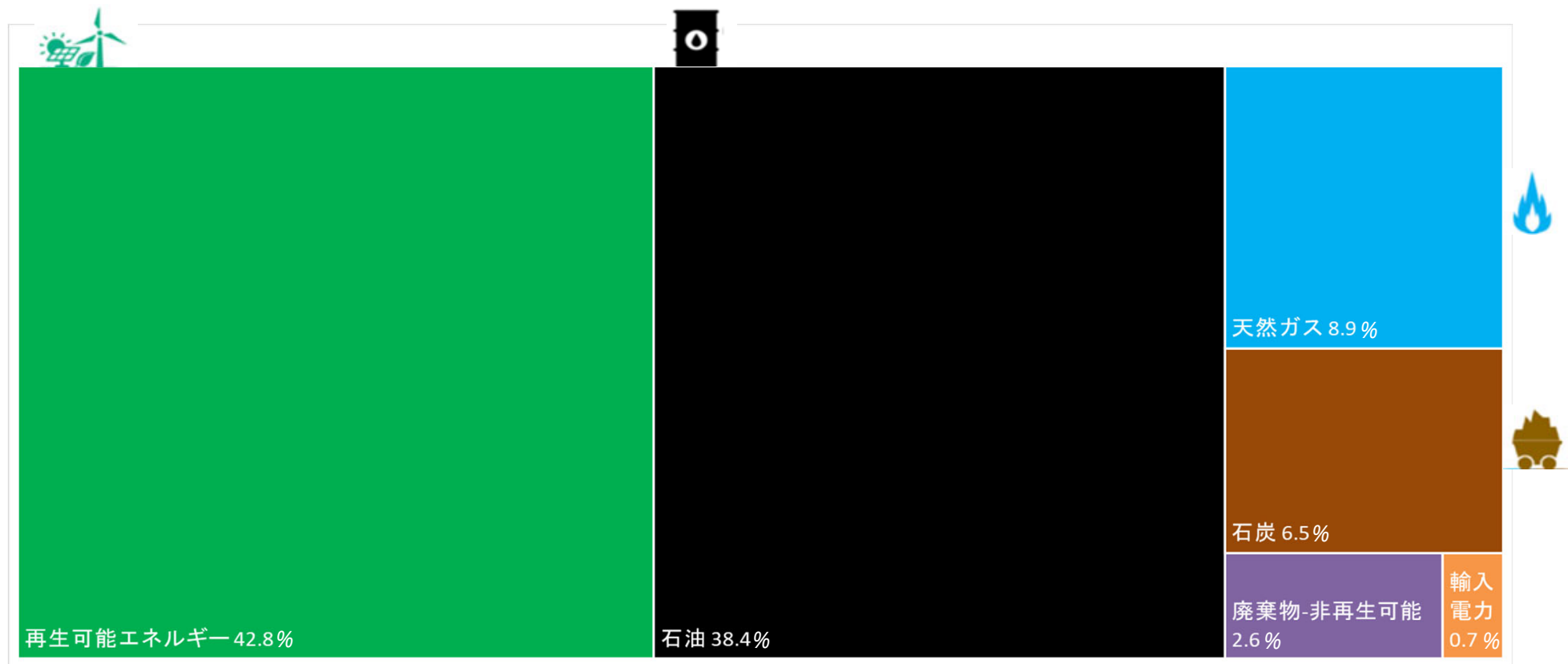


# 電源構成 (æƐææ)



**再生可能エネルギー(風力, バイオマス・バイオガス, 太陽光) = 82%**

# 最終エネルギー利用(2022)

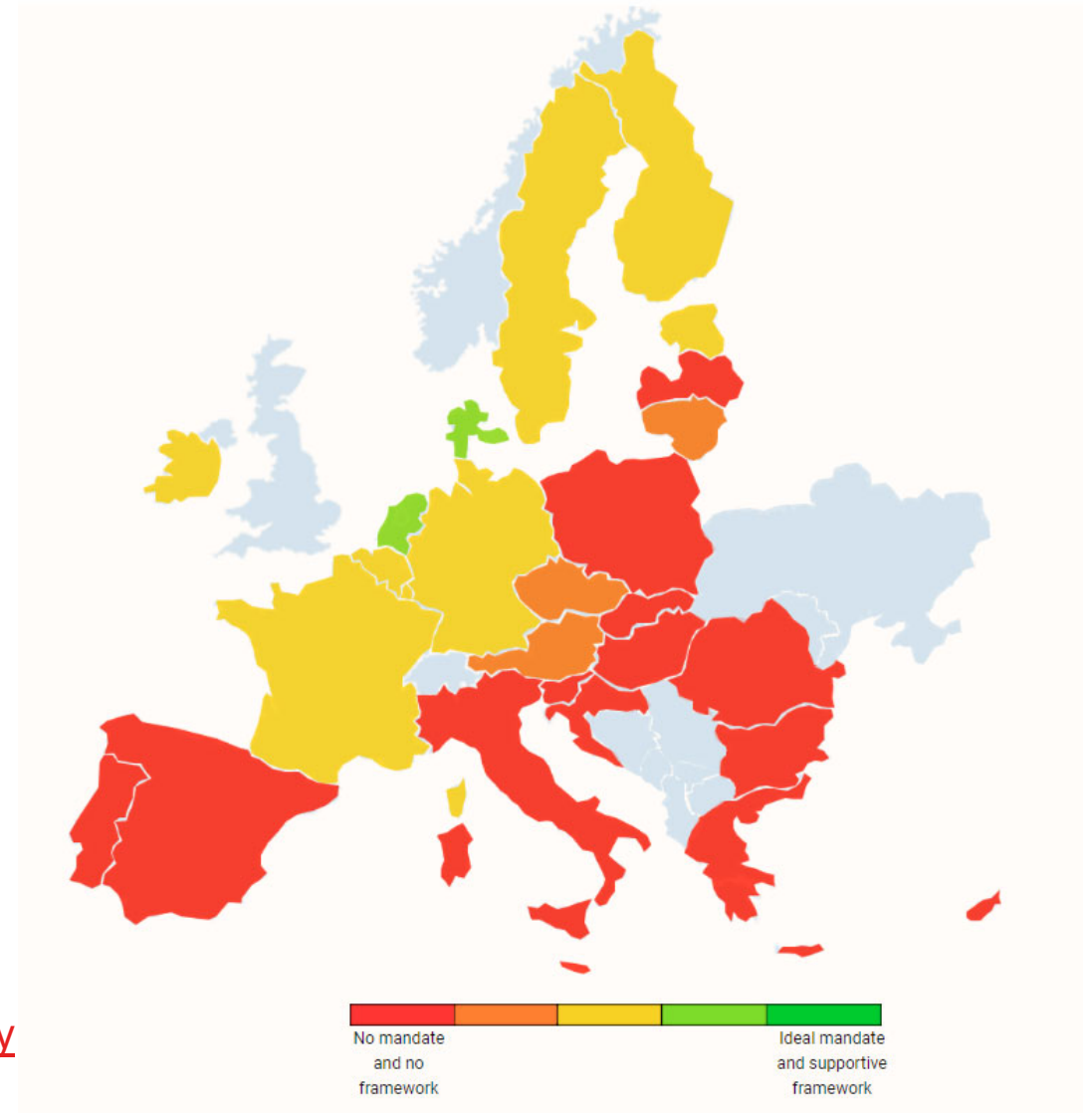


## (8 7xgiqkx

- 2023年7月に採択されたEU指令の改正で、加盟国に対して人口4万5,000人以上の自治体においての地域の冷暖房計画を作成するよう義務付けた
- 各加盟国の指令を支援すべく施策を評価

[EU Tracker - Local heating and cooling plans - Energy Cities \(energy-cities.eu\)](https://energy-cities.eu)

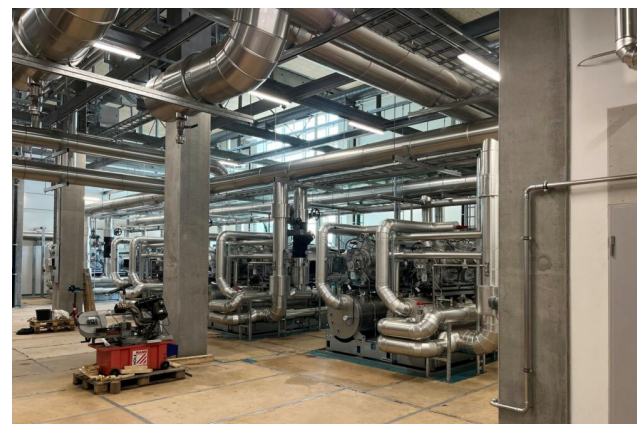
MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS OF DENMARK



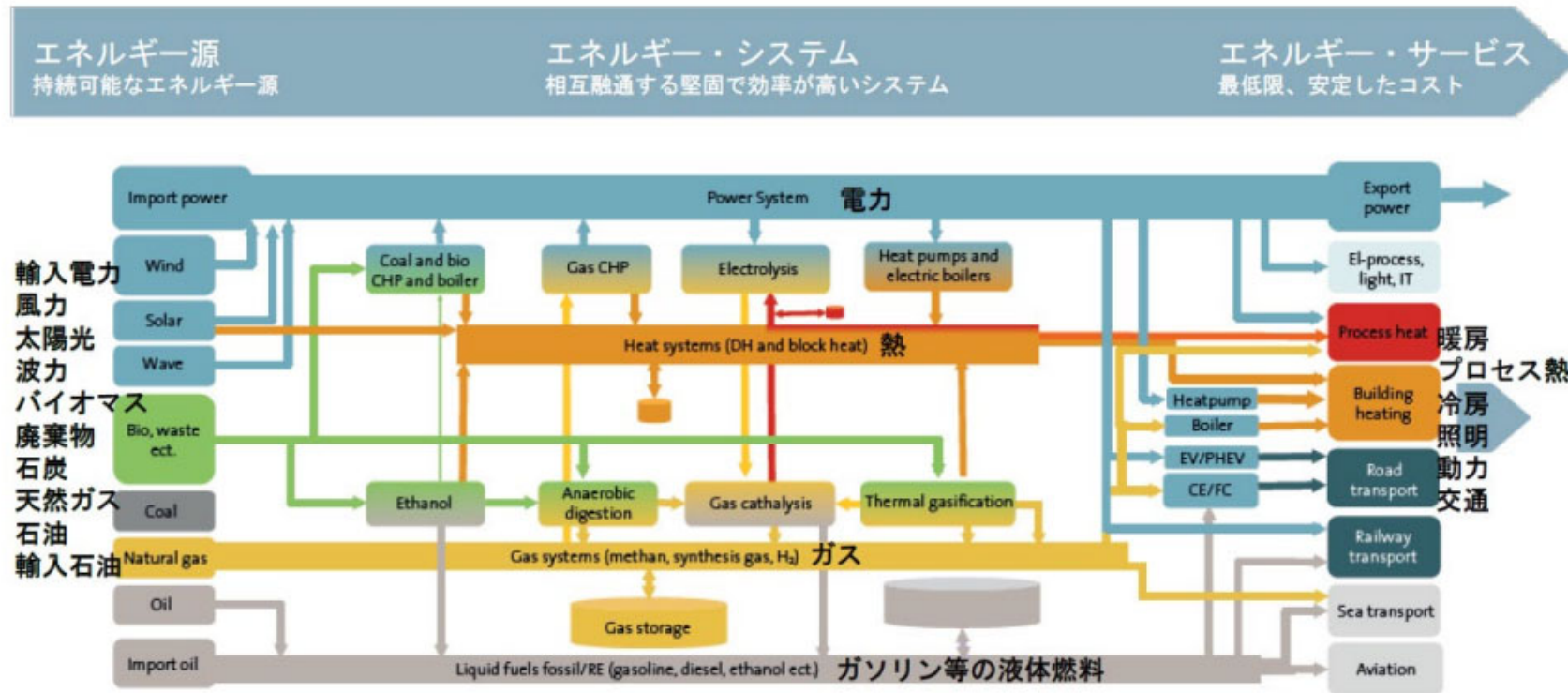
## お伝えできれば嬉しいこと、、

- 熱供給がエネルギーシステムの脱炭素化に向けて果たせる役割
  - 再生可能エネルギーの活用(バイオマス⇒再生可能エネルギー由来の電力)
  - 廃熱の活用
- 熱供給が電力網への大量の変動性再生可能エネルギー\*の導入を支えていること

\* 太陽光、風力



# デンマークが目指すエネルギーシステム セクター・カップリング



ロバストでエネルギー媒体が相互融通し、エネルギー効率も  
経済性も高いエネルギー・システム



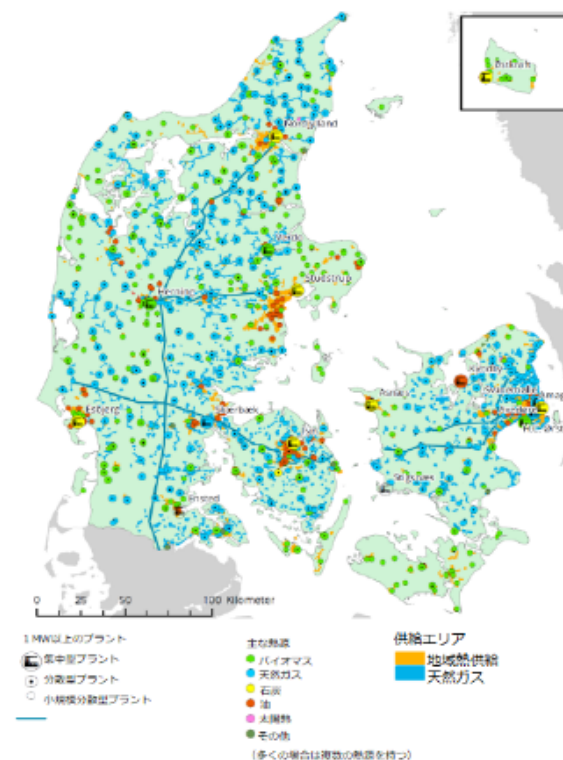
## エネルギー・システムにおける熱の役割

- 新たに国のエネルギー政策が提示される度に地域熱供給は柔軟性を発揮
- 変動が大きい再生可能エネルギーの大量導入に貢献
- 長年、「電気」と「熱」の  
セクターカップリングを実践



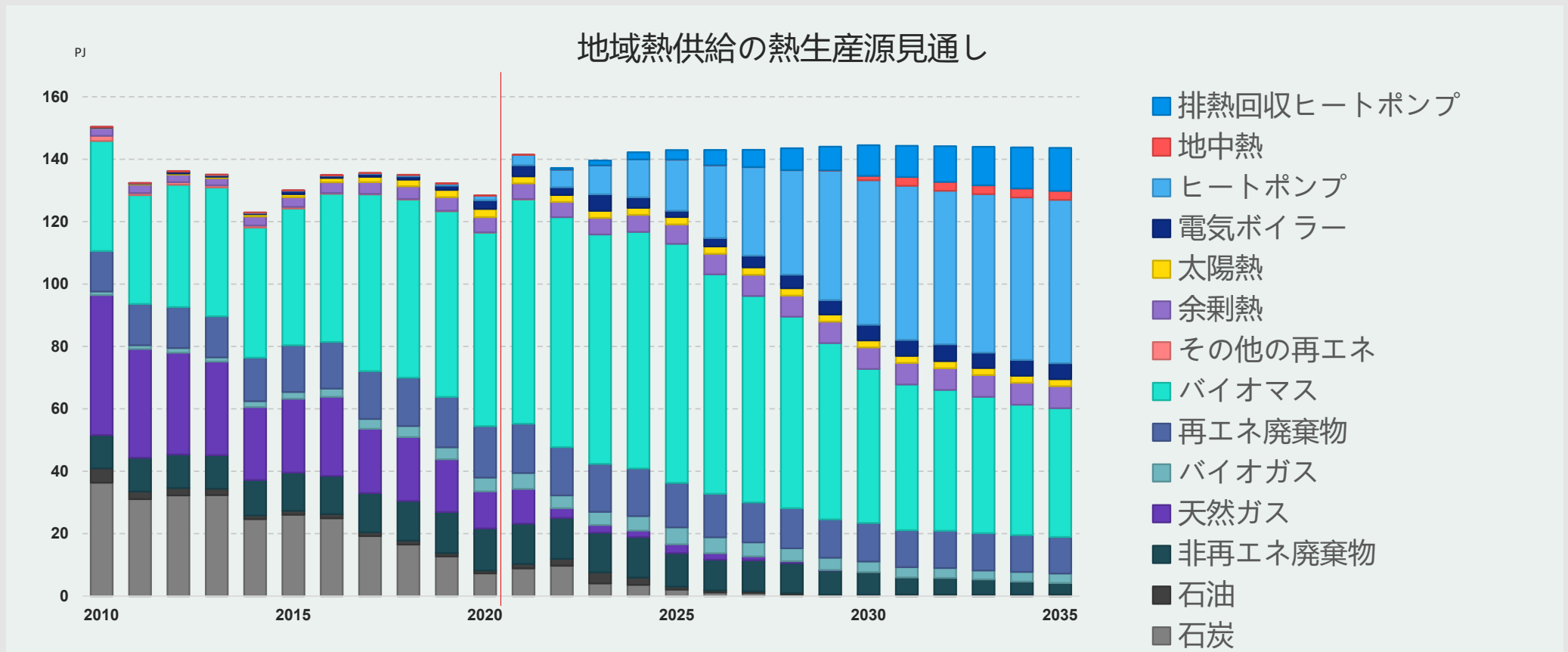
## デンマークにおいての熱供給の現状

- 熱需要の約半分、エネルギー需要全体の17%が地域熱供給によって供給
- 家庭部門は約171万世帯全世帯の66%が接続
- お湯(70°C~)で供給(蒸気はほとんどなし)
- コペンハーゲンなどの6か所の大模集中型地域熱供給が国内の供給量56%、67PJを供給
- 400か所の中小規模分散型地域熱供給が約53 PJの熱を供給
- 地域熱供給事業者の12.5%は自治体所有、85%は利用者組合など利用者が直接経営



# 地域熱供給のエネルギー転換

バイオマスは、2020年には全体の48%を占め、2022年には54%でピークに  
電化傾向により、2030年には34%、2035年には29%に減少を予測



# 廃熱利用のポテンシャル

- CHP（コジェネプラント）
- 清掃工場
  
- 排熱の更なる活用
  - スーパーマーケット
  - データセンター
  
  - 水素

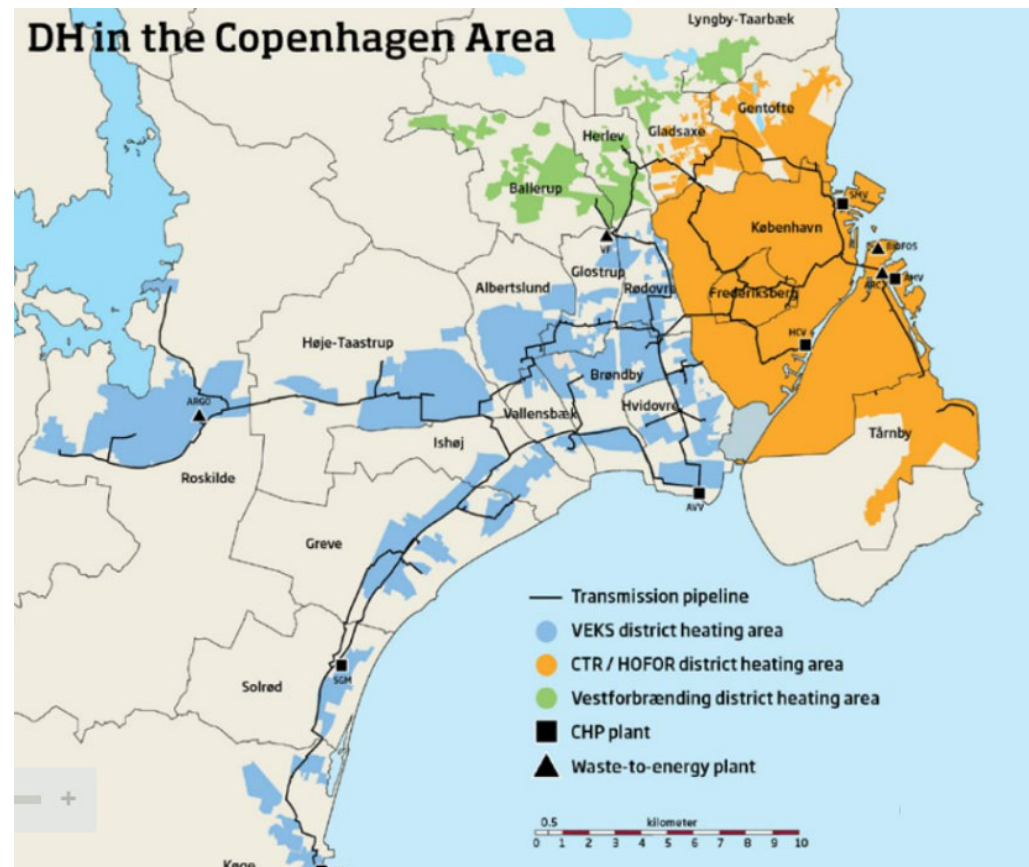


## コペンハーゲン広域の地域熱供給

- 38PJ (2020)
  - デンマーク全体の熱需要の約25%
  - 集中型コジェネプラント(2,150MW)  
ヒートポンプ(50MW)  
産業排熱・下水排熱
  - 2,700MWh の蓄熱槽
- 22自治体、100万人に供給

### 熱源

- 廃棄物焼却炉(25%)
- 発電所=CHP(70%)
- ボイラー(5%)



# 廃棄物焼却施設の排熱を、地域熱供給へ



## コペンヒル

- コペンハーゲン中心部にある「廃棄物CHPプラント」
- スキーやボルダリングもできる、市民憩いの「ごみ処理場」
- 廃棄物を燃料として発電、熱供給を行う

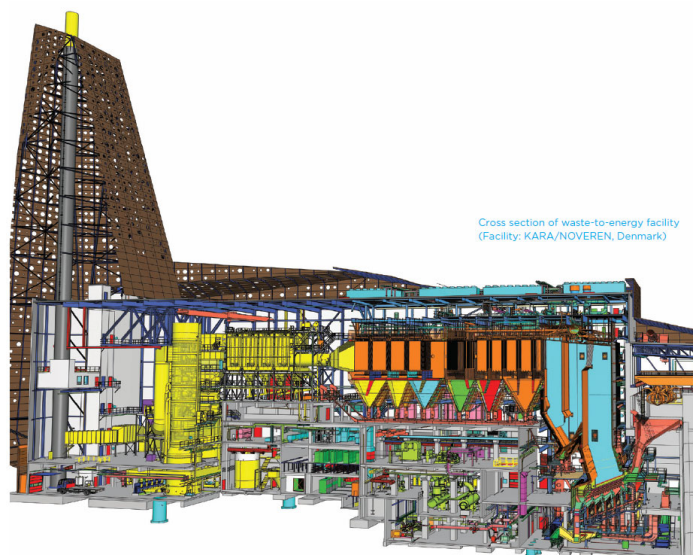


# 廃棄物焼却炉からの熱利用のヒント

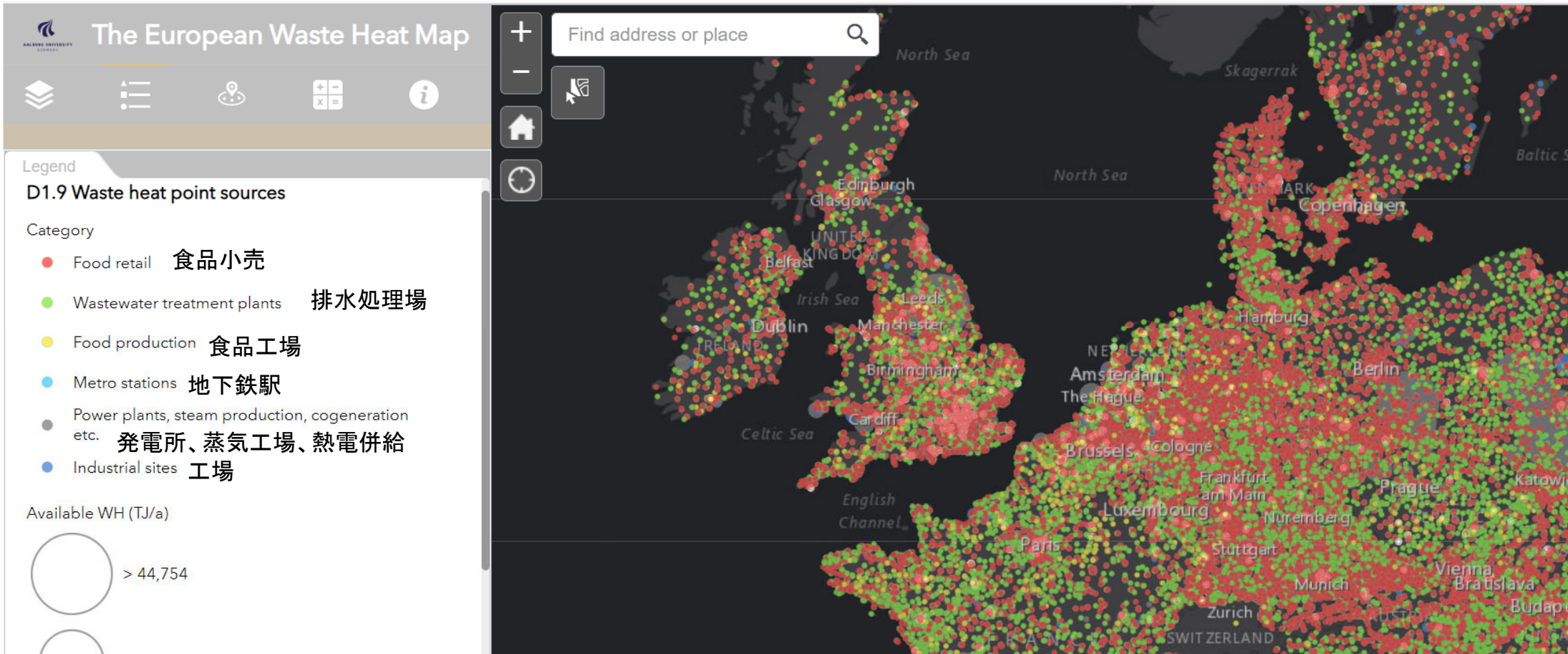
コンペの条件

- ① 美しい建物
- ② 市民の行ける場所
- ③ 見学・学習施設

NIMBY (not in my backyard)からの脱却  
= 熱源を熱需要の近くに立地できる



: gyzk + kgz 0 gv



Moreno D., Nielsen S. & Persson U. (2022). The European Waste Heat Map. ReUseHeat project - Recovery of Urban Excess Heat. Last update: 2022-05-31. Available at: <https://tinyurl.com/2wvh7ud7>



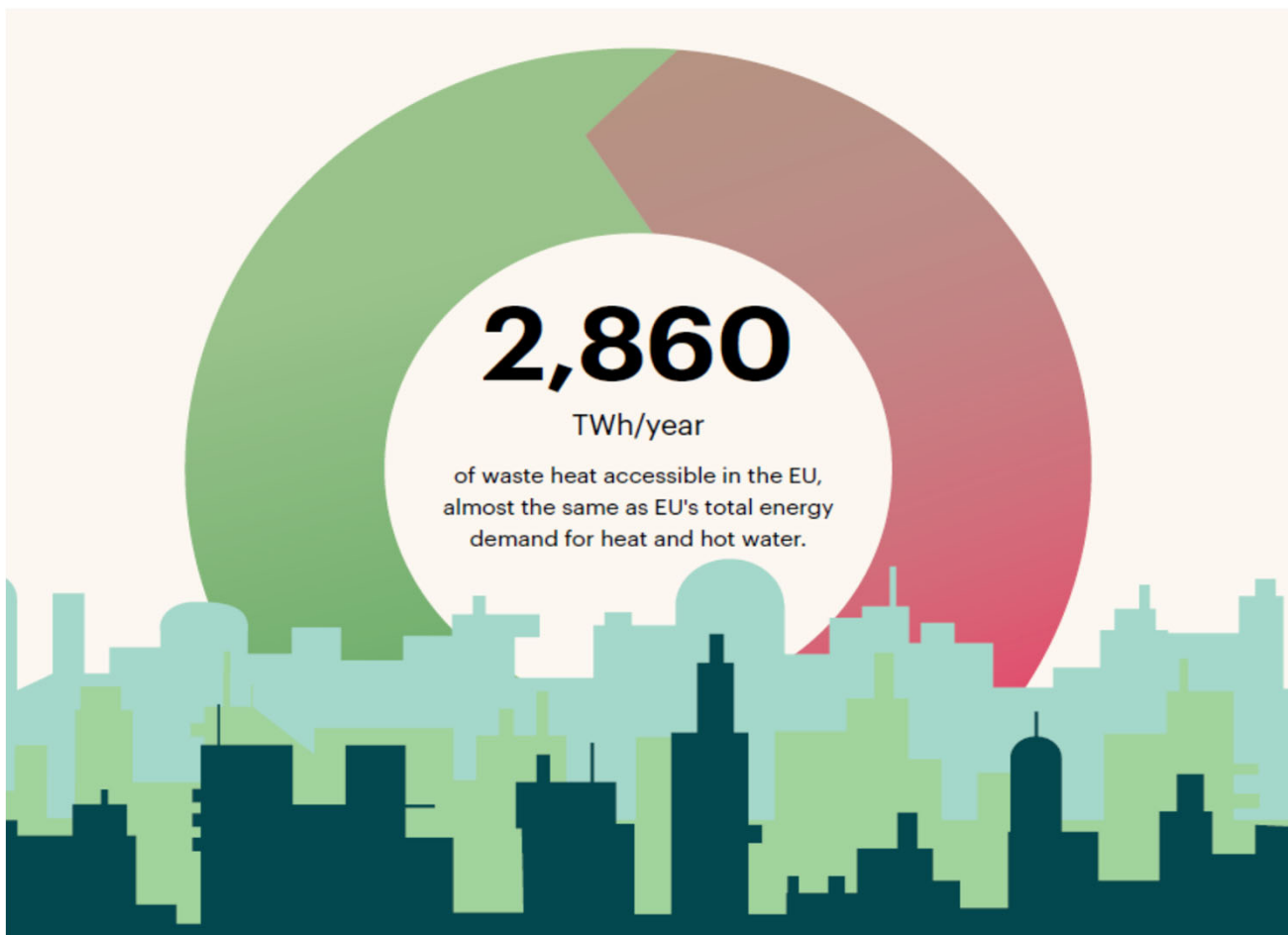
# 排熱

EU  
アクセス可能な排熱  
2,860TWh/y

民生部門の暖房・給湯需要  
3,180 TWh/y

オランダ  
アクセス可能な排熱  
156TWh/y

民生部門の暖房・給湯需要  
152TWh/y



## データセンターからの排熱活用事例

- IEAによると2021年にはデータセンターの電力消費量220-320 TWh  
全世界の電力消費の0.9-1.3%に匹敵
- 排熱の売却を二次ビジネスに
- Facebookのデータセンターが約 125,000 MWh の熱をオーデンセ市  
7,000世帯に地域熱供給を通じて無償で供給



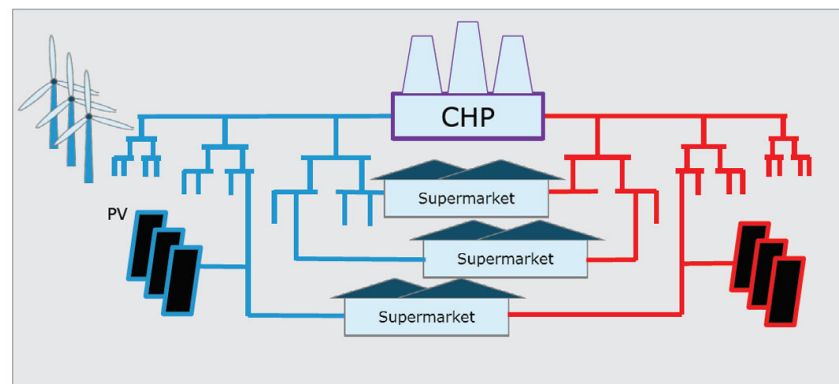
[Surplus heat from data centre used for district heating \(stateofgreen.com\)](https://stateofgreen.com)

## スーパーからの排熱の活用事例

- 冷蔵設備からの排熱利用
- デンマークのスーパーMenyでCO<sub>2</sub> 排出量89.7%削減を達成
- 回収された排熱はそのまま自家消費でも地域熱供給事業者売却も可能



[Danish supermarket cuts heating bill and CO<sub>2</sub> footprint with Danfoss Heat Recovery Unit \(HRU\) | Danfoss](#)



[Smart energy systems impact on supermarkets | Danfoss](#)

# デンマークが水素を推進する背景

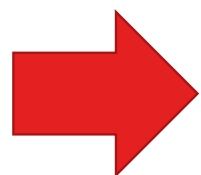
- グリーンな水素  
再生可能エネルギーの変動の吸収  
余剰電力の活用
- 排熱を地域熱供給で活用
- 運輸部門の低炭素化
- 輸出のためのグリーン燃料製造関連設備（ガスシステム、水素パイプライン、タンカー等）
- グリーンな水素を貯蔵するための岩塩空洞

セクター・カップリングの役割を果たす

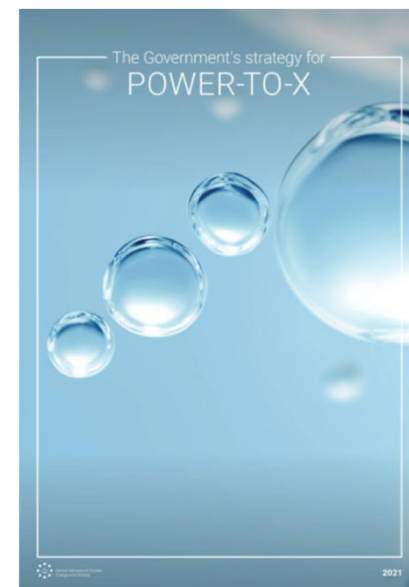


## デンマークの水素戦略の特徴

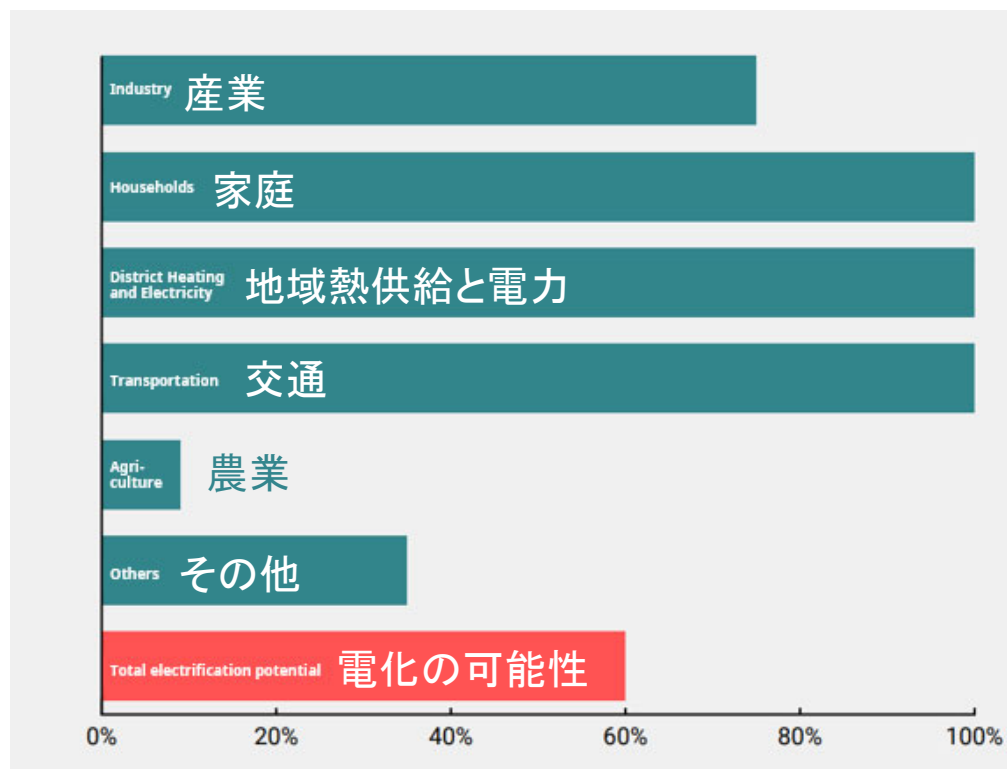
- 水素輸出国を目指す(対ドイツ、オランダなど)
- 製造に関しては、グリーン水素のみに注力
- 直接電化が優先
- 電化ができない、又は異常に高い価格になる場合のみ水素活用を推奨



地域熱供給は電化の方向に向かっている

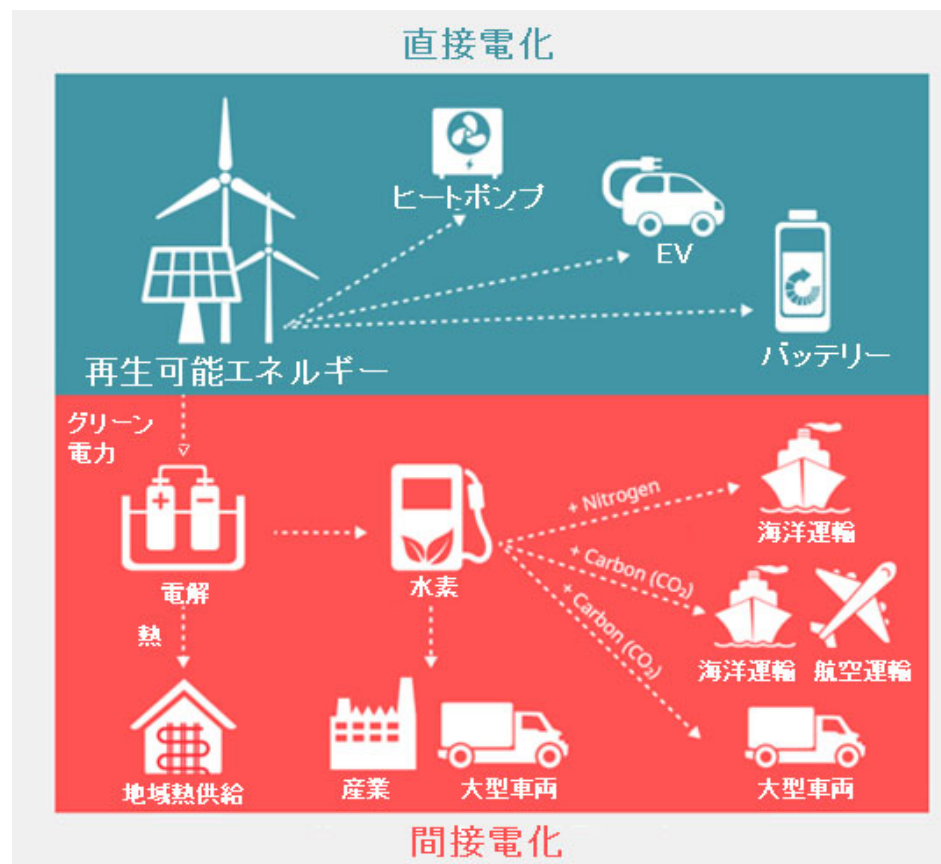


## 部門別の直接・間接電化の理論的可能性



[ELECTRIFYING SOCIETY](#)The road to a more electrified Denmark (デンマーク語)

# デンマーク社会の電化

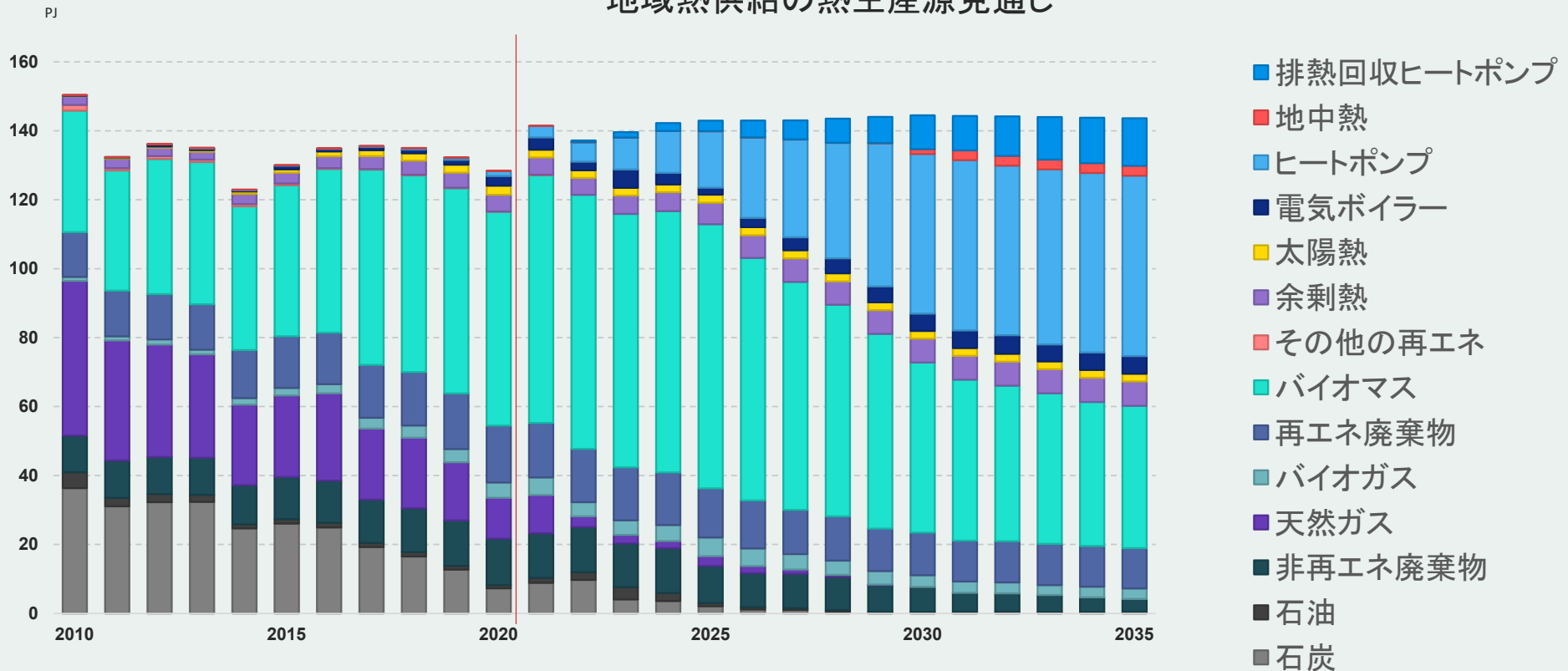


[ELECTRIFYING SOCIETY](#) The road to a more electrified Denmark (デンマーク語)

# 地域熱供給のエネルギー転換

バイオマスは、2020年には全体の48%を占め、2022年には54%でピークに  
電化傾向により、2030年には34%、2035年には29%に減少を予測

地域熱供給の熱生産源見通し



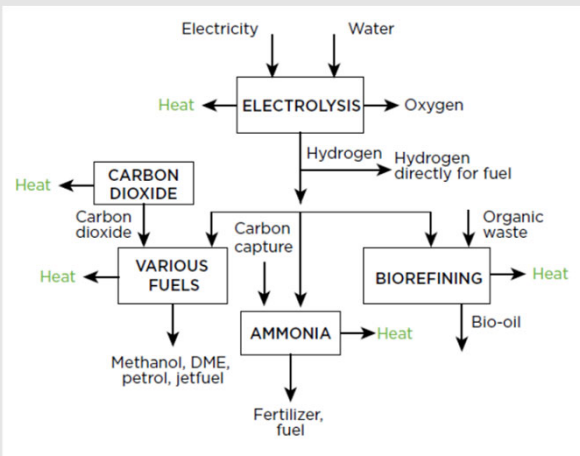




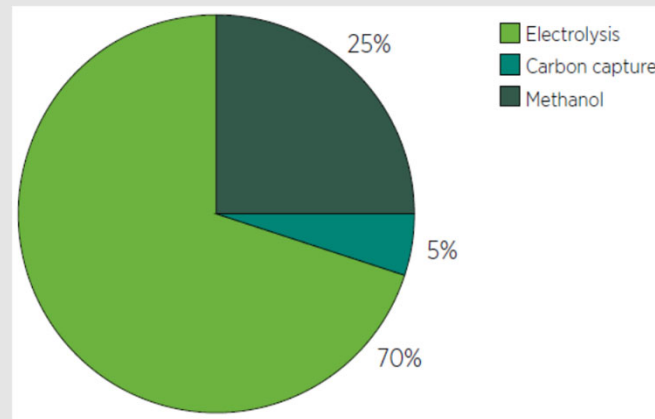
# PtXからの余剰熱の活用可能性

PtXバリューチェーンの各段階、とりわけ電気分解から多くの余剰熱が発生。  
PtX戦略でもその活用可能性について言及

PtXのバリューチェーン



電気分解、炭素回収、メタノール生産の PtXチェーンからの熱生産の割合想定



出典: DANSKFJERNVARME, GRØNENERGI, COWI, TVIS "POWER-TO-X AND DISTRICT HEATING"

デンマークのPtX戦略

<https://stateofgreen.com/jp/publications/%e3%83%87%e3%83%b3%e3%83%9e%e3%83%bc%e3%82%af%e6%94%bf%e5%ba%9c%e3%81%ae%e6%88%a6%e7%95%a5//>

PtX戦略における余剰熱利活用の可能性への言及 (p.44)

The surplus heat generated from PtX plants could, depending on local conditions, either be used in the local district heating grid or as process heat in the value chain and in industrial contexts. The value of surplus heat depends greatly on the temperature of the heat and how often it is available. (...) If the temperature is high enough, and the heat is available for a large part of the year, the plant may potentially be of value to a district heating grid.

PtXプラントから発生する余剰熱は、地域の状況に応じて、地域の地域熱供給網で利用するか、バリューチェーンや産業界でプロセス熱として利用できる可能性があります。余剰熱の価値は、温度と利用可能頻度によって大きく異なります。(中略) 温度が十分に高く、年間を通じて多くの時間に熱を利用できるのであれば、地域熱供給網にとって価値あるものになる可能性があります。

# DEA「技術カタログ」より電解技術別の熱利用可能性

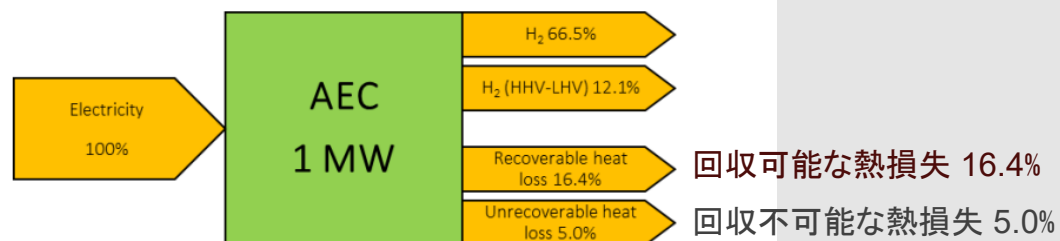


Figure 2: Energy balance (2020) for a 1 MW alkaline electrolysis cell compared on LHV basis.

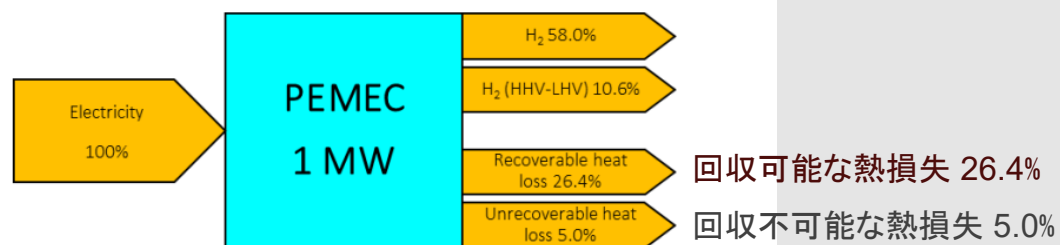


Figure 3: Energy balance (2020) for a 1 MW polymer electrolyte membrane electrolysis cell compared on LHV basis.

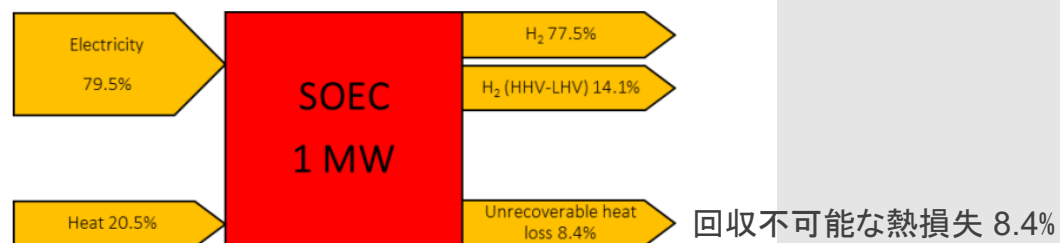


Figure 4: Energy balance (2020) for a 1 MW solid oxide electrolysis cell compared on LHV basis.

想定余剰熱温度 50-80°C



地域熱供給の供給温度によって、

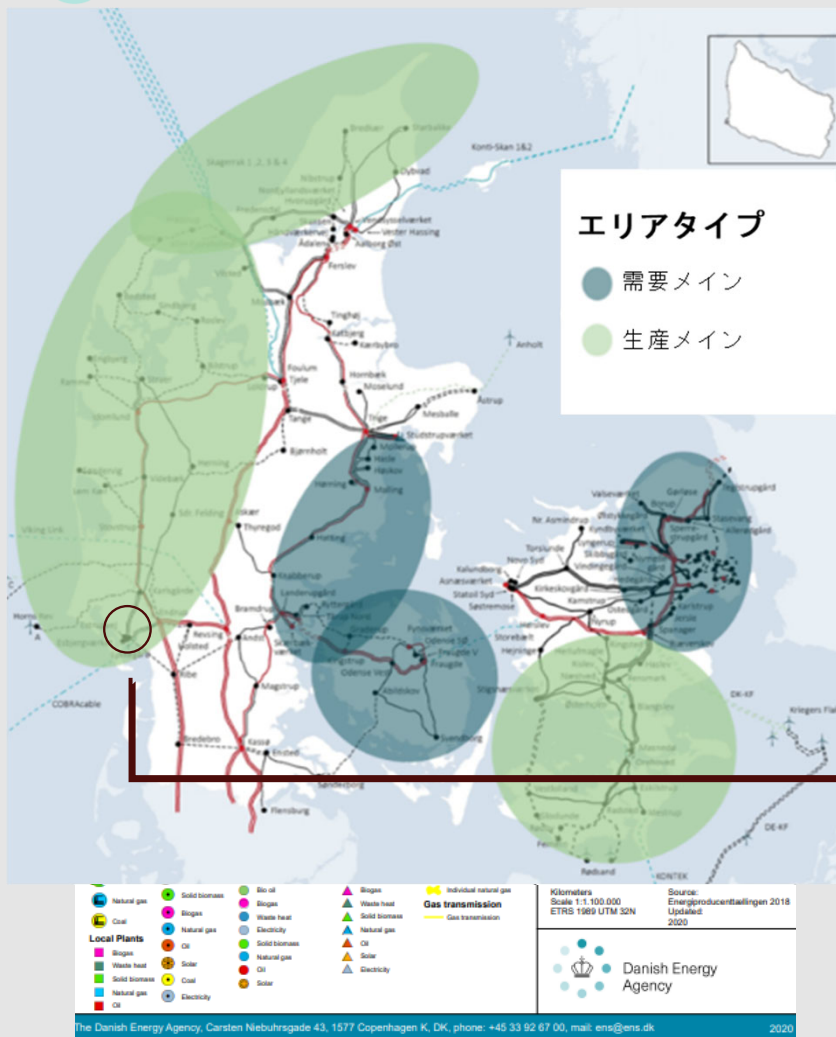
- ・直接利用 ないし
- ・ヒートポンプ併用

の可能性があり、直接利用できる  
低温地域熱供給がコスト面で有利

## 水素と廃熱活用

- コペンハーゲン・インフラストラクチャ・パートナーズ(CIP)社は、1GWの電解に基づくグリーンアンモニアと船舶燃料の生産から得られる余剰熱で、エスビャウ(Esbjerg)市とヴァルデ(Varde)市の一般家庭15,000軒にグリーンな熱供給を行うことができると想定
- 余剰熱の活用と電力による熱利用の料金引き下げに関する合意:  
2021年9月、PtXプラントからの余剰熱を地域熱供給を促進する法規制を利用する好ましい機会を創出する。
- [Strategi for Power-to-X \(stateofgreen.com\)](https://stateofgreen.com)

## 今後の検討内容: 地域熱供給とPTXの立地



PTXは、地域熱供給に立地が近いほど

- 余剰熱の活用による熱収入が見込め、
- バイオマスプラント等からの生物由来炭素の回収に有利

一方で、風力・太陽光に近いほど

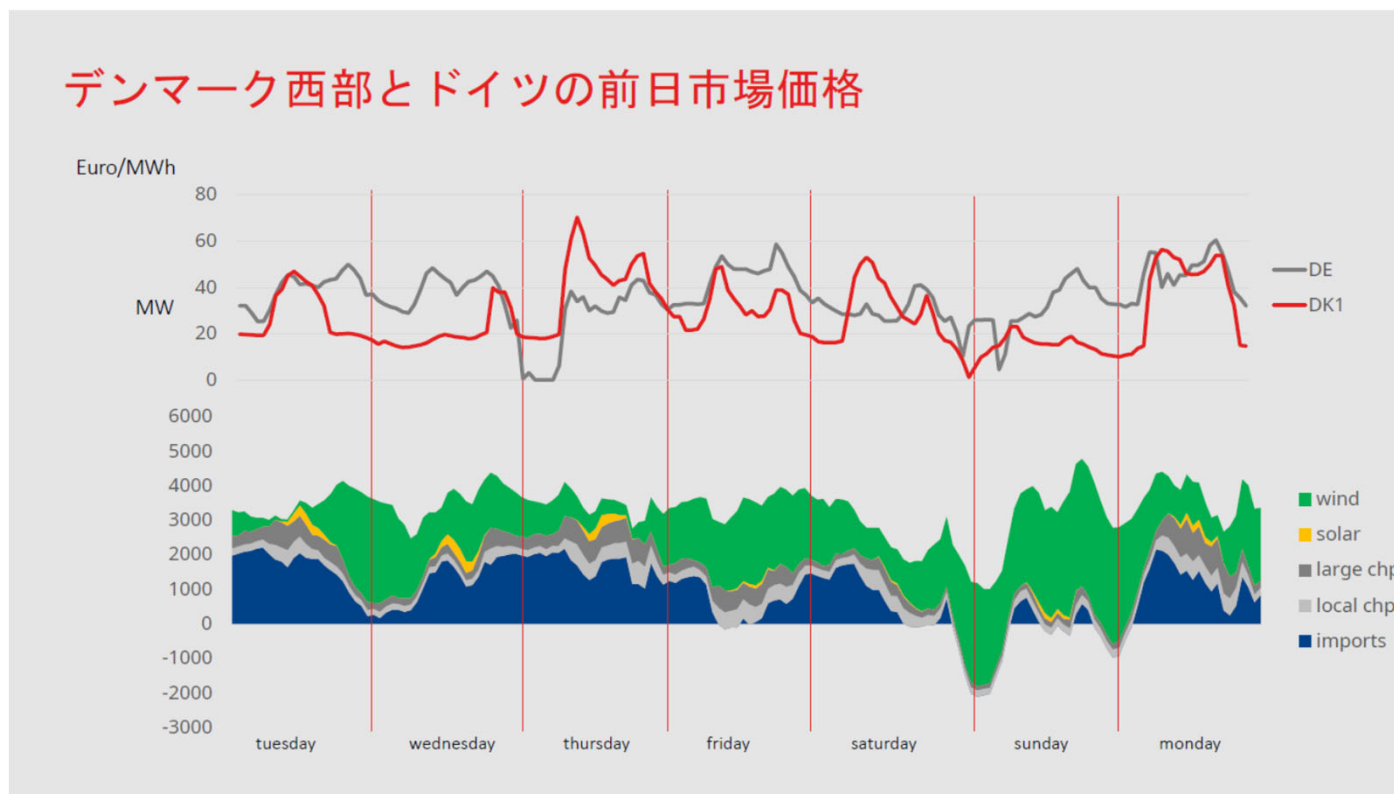
- 安価な再エネ電力へのアクセスが良く、
- 送電網強化の必要性を低減できるが、

地域熱供給の分布域と風力・太陽光の立地は必ずしも重ならない

1GWの電解装置でグリーンアンモニアと船舶燃料を生産する  
 エスビャウでは、その余剰熱を地域熱供給で15,000世帯へ供給する予定であり、両方の旨味を持ち合わせた適地も一定数存在する

# セクターカップリングのプレーヤーとしての熱供給

- 蓄熱
- 電力市場との関係



## 蓄熱の必要性

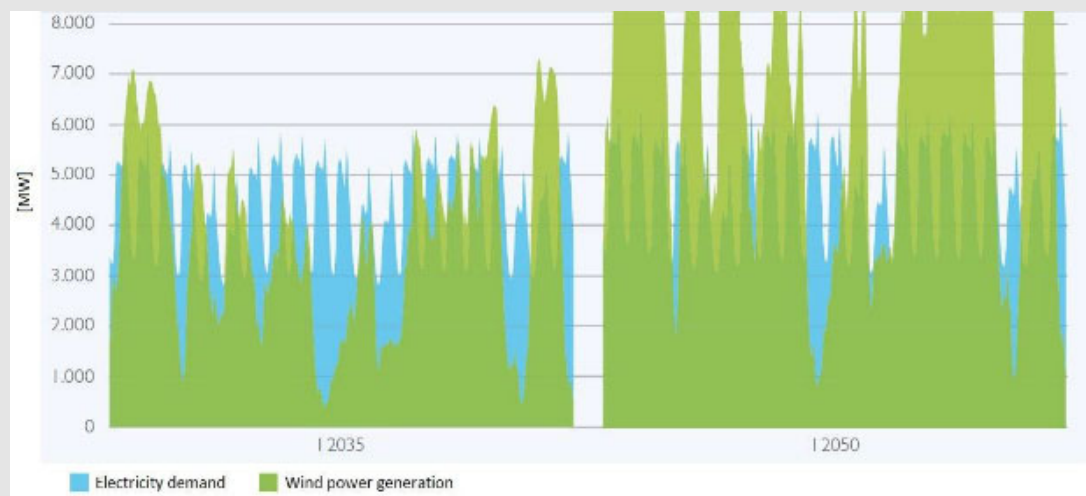
- 熱生産と消費のタイミングを分離
- 日々の蓄熱 (Daily Storage)
- 季節間蓄熱 (Seasonal Storage)





## 蓄熱設備 $\{ s \{ rgzux \hat{a}$ 電池

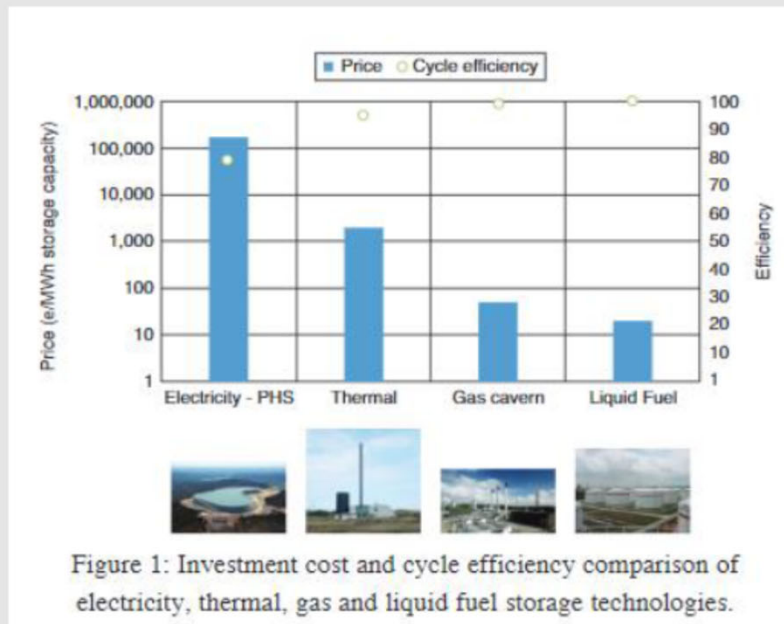
- 大規模の蓄熱設備は週末の電力価格が安い時にプラントを停止することができる
- 一日の中の熱需要の変動を吸収
- 売電価格の変動によって熱を(蓄熱設備から)供給
- 再生可能エネルギー(主に風力発電) 出力変動を吸収



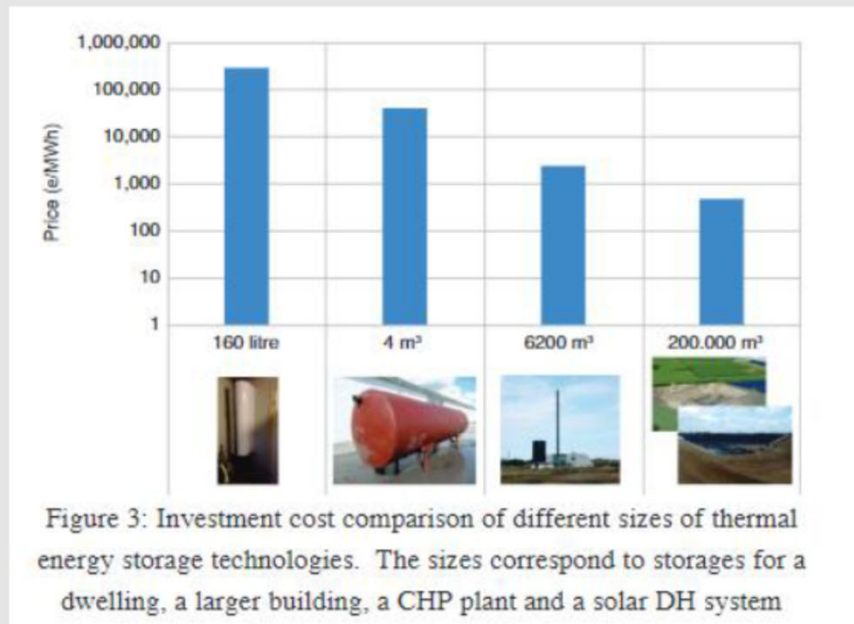
電力供給と需要(イメージ図)

# 蓄熱という選択肢

- 蓄熱は蓄電より大幅に安価



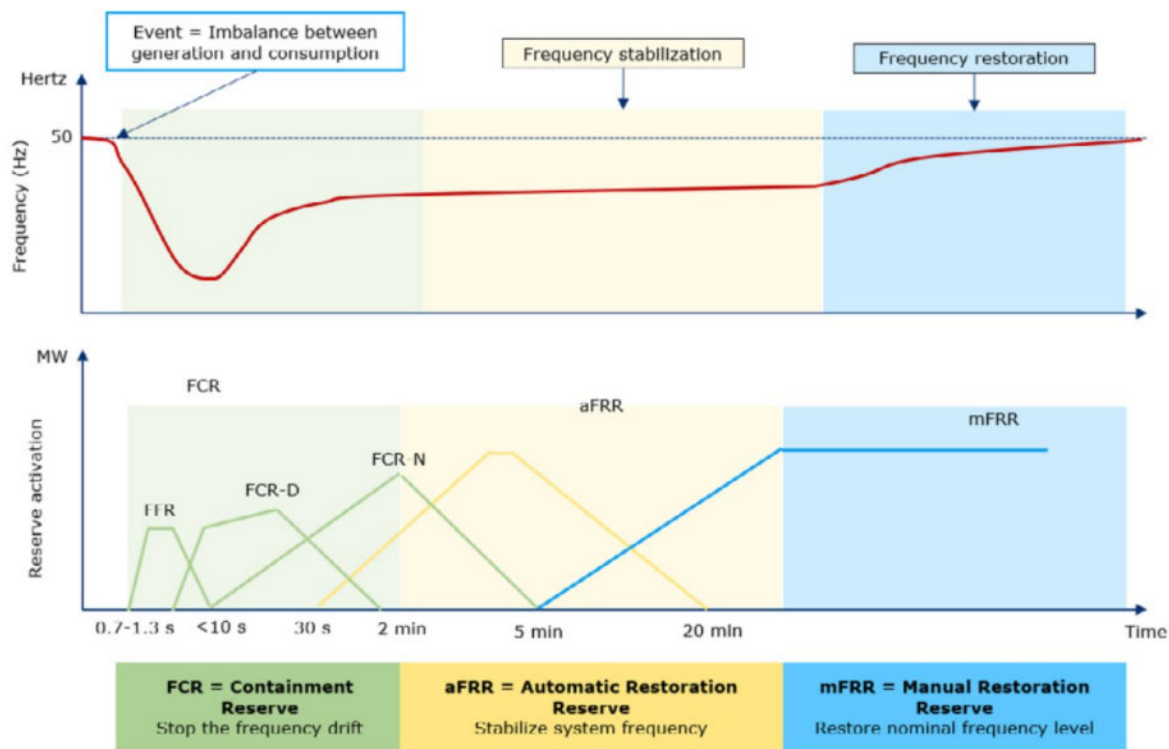
- 蓄熱規模が大規模であるほどなおさら安価



Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., Ridjan, I., Mathiesen, B. V., Hvelplund, F., Thellufsen, J. Z., & Sorknæs, P. (2016). Energy Storage and Smart Energy Systems. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 11, 3–14. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.11.2>



# 熱供給が電力網の安定化に大きく寄与

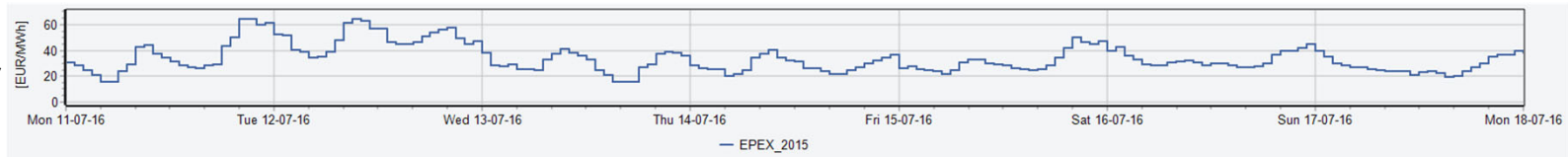


(MW)	FCR	aFRR	mFRR
DR	1.0		
電池			0.4
電気ボイラー	56.0	138.0	10.0
ヒートポンプ		0.7	
発電所	8.0		20.0
ディーゼルエンジン			3.8

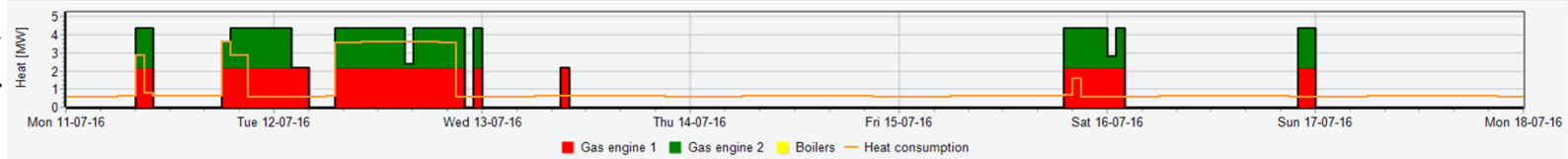
[HOT|COOL NO. 2/2024 "NEW HEAT SOURCES" \(flippingbook.com\)](https://www.flippingbook.com)

# データ

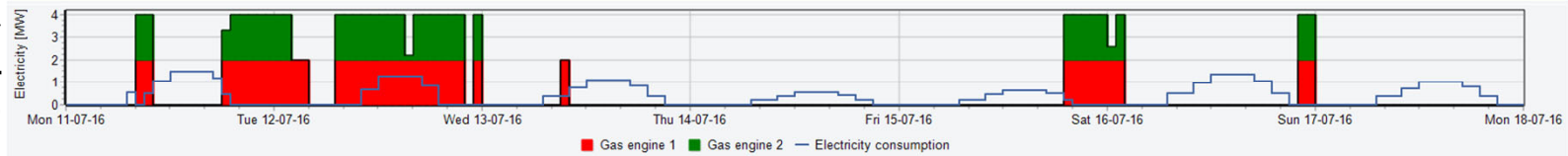
電力価格



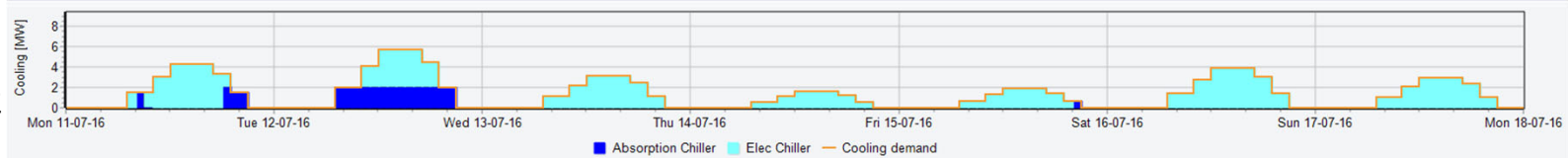
ガスエンジン  
ボイラー  
熱消費



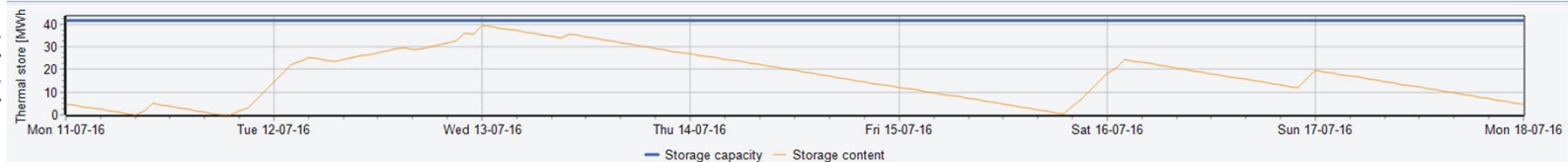
ガスエンジン  
ボイラー  
電力消費



吸収冷却  
電気冷却  
冷房需要



蓄熱槽容量  
蓄熱槽利用量



リアルタイムデータはこちらから <http://www.energyweb.dk/skagen/?english&history>

エネルギー媒体が市場原理を介して、相互に作用しあうことで実現しているエネルギー・システム

## お伝えできれば嬉しいこと、、

- 熱供給がエネルギーシステムの脱炭素化に向けて果たせる役割
  - 再生可能エネルギーの活用(バイオマス⇒再生可能エネルギー由来の電力)
  - 廃熱の活用
- 熱供給が電力網への大量の変動型再生可能エネルギーの導入を支えていること



# 日本語での参考資料

