

デンマークのPtX戦略とさらなる セクターカップリングの展開

デンマーク大使館 エネルギー担当官
高橋叶

本ご紹介する内容

- デンマークの脱炭素の現在地
- 100%再エネへの今後の展開
- デンマーク政府の「Power-to-X戦略」
- PtXと地域熱供給の連携





デンマークの 脱炭素の現在地



脱炭素で世界を先行するデンマーク

これまでとこれから



現在



2030



2050



Source: Energinet, IPCC

しかしながら、デンマーク国では...



... 世界人口に占める
割合は**0,07 %**



... グローバルなCO2排出
に占める割合は**0,1 %**



だからこそ、連携を

2022年10月現在、24か国と連携体制下に



結果として、パートナー国を合わせると...



... 世界人口に占める
割合は**61 %**



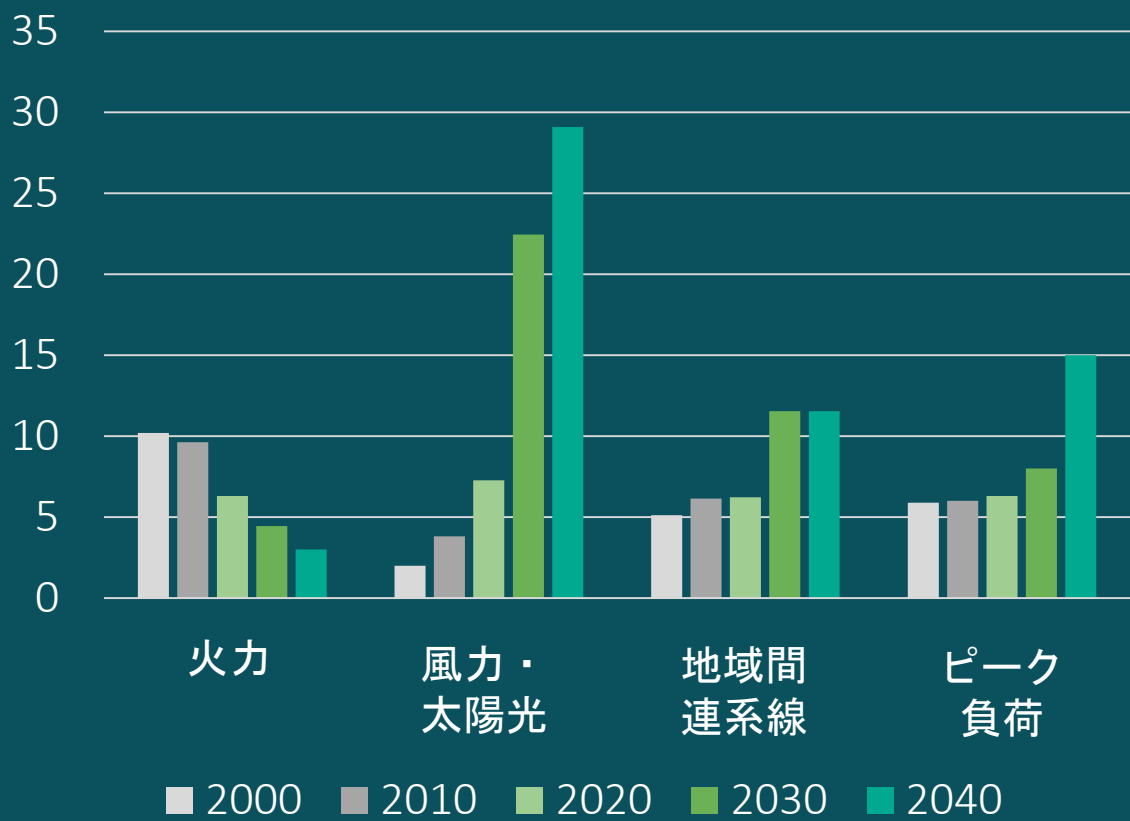
... グローバルなCO2排出
に占める割合は**70 %**

再エネ100%への
今後の展開

デンマークのこれから

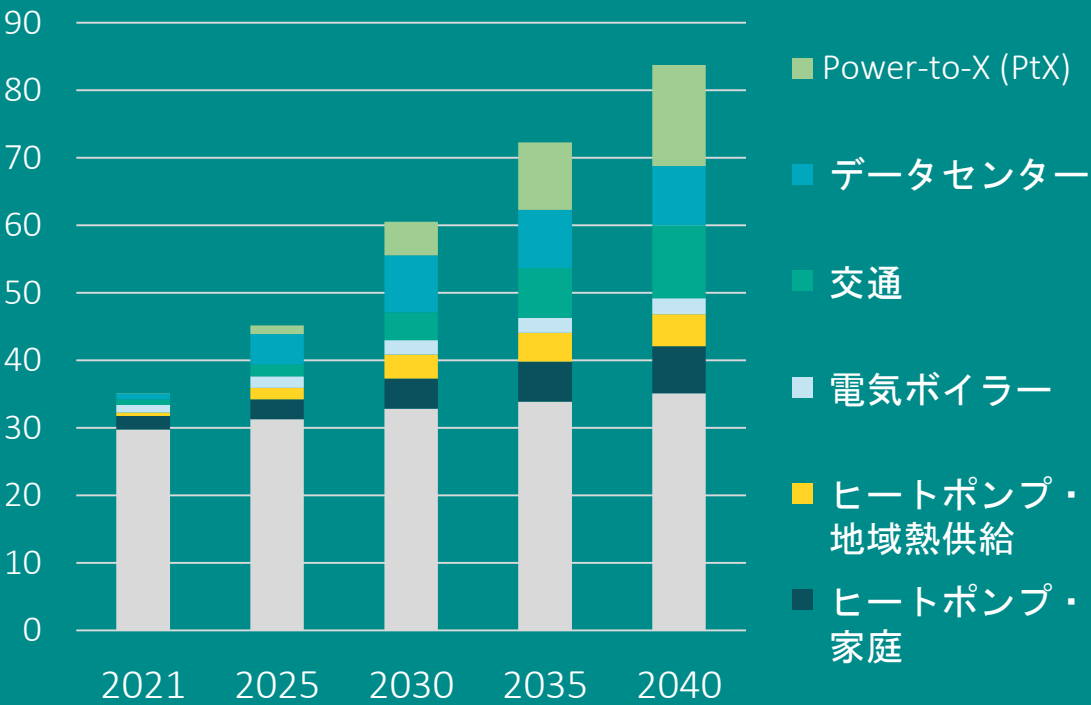
過去20年間のトレンドが今後さらに加速

電力生産とピーク容量, GW



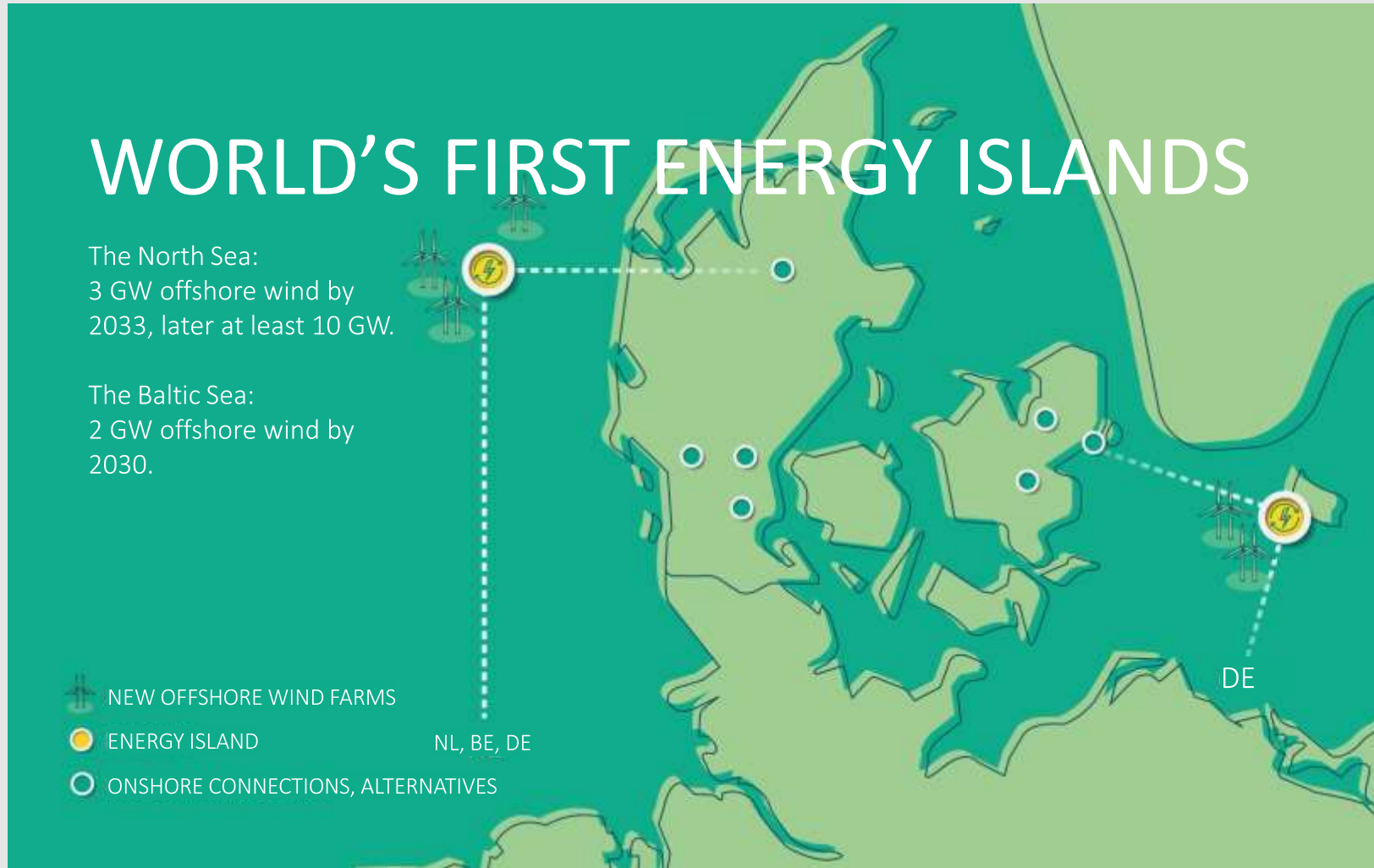
電化が気候ニュートラルなエネルギーシステムへの変革における推進力に

電力消費, TWh



Source: Danish Energy Agency

デンマークのこれから



2つのエネルギー島

- 合わせて5GWの洋上風力
(+将来的にさらに導入)
- 洋上に点在するタービン
から電力を集約する拠点
- 電力は近隣諸国にも供給
- PtXでグリーン燃料を生産



地域熱供給の電化はますます進行：2019年時予測 VS. 2022年時予測

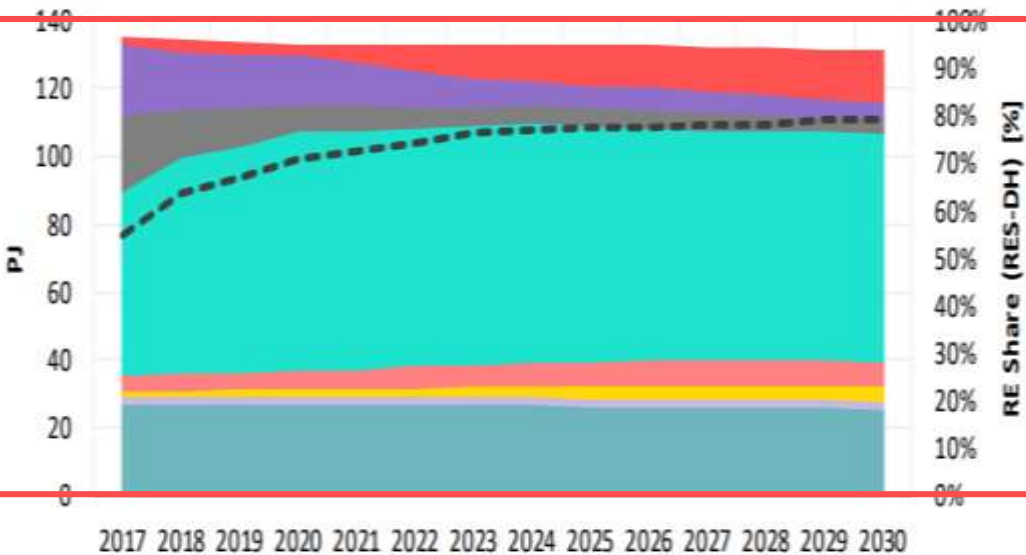


DEA. 2019. Denmark's Energy and Climate Outlook 2019

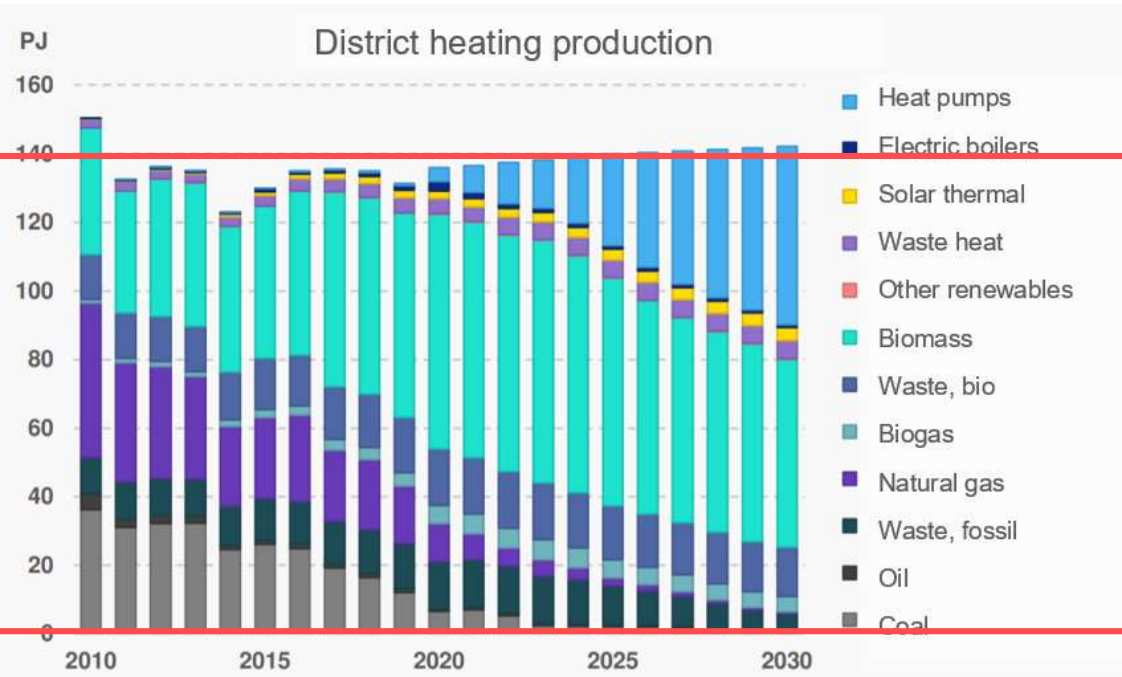


DEA. 2021. Denmark's Climate Status and Outlook 2021

Figure 30: District heating production by type of energy and renewables share in district heating 2017-2030 [PJ]. Heat pumps cover production from ambient heat and surplus heat. Surplus heat is without use of heat pumps.



- MSW
- Industrial waste heat
- Natural gas (and oil)
- Biogas
- Biomass
- Heat pumps (and el. boilers)
- Solar heat
- Coal
- RE Share (RES-DH) [%]



140PJ

0



地域熱供給の電化はますます進行：2019年時予測 VS. 2021年時予測

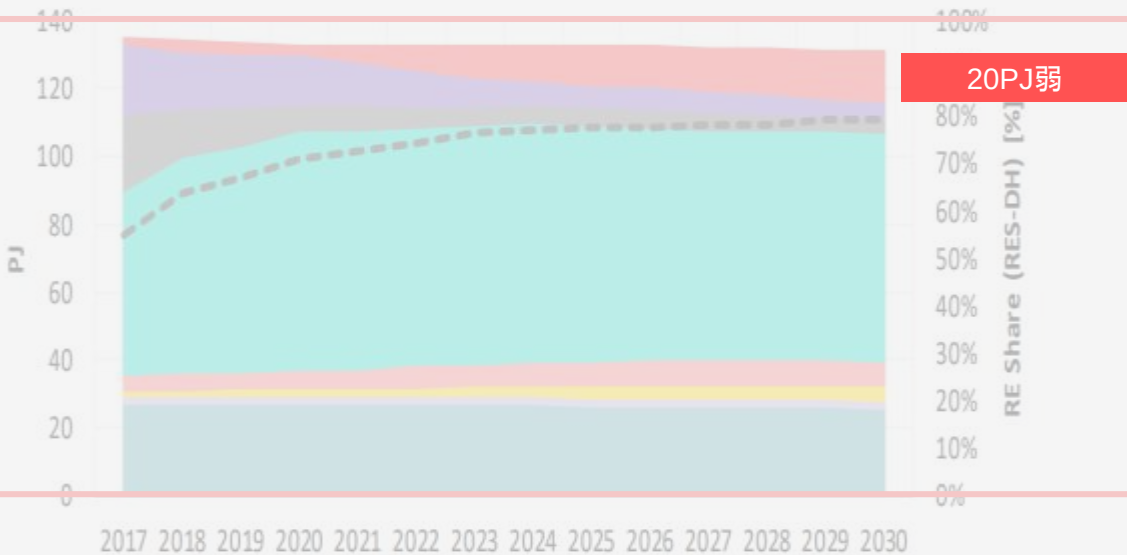


DEA. 2019. Denmark's Energy and Climate Outlook 2019

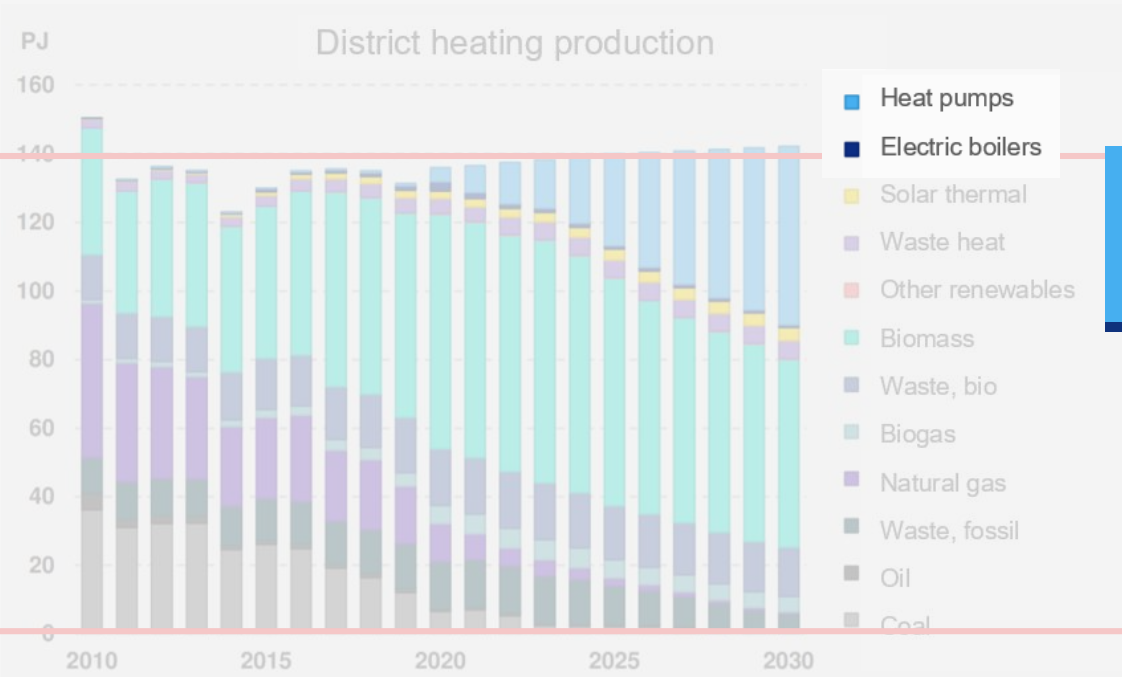


DEA. 2021. Denmark's Climate Status and Outlook 2021

Figure 30: District heating production by type of energy and renewables share in district heating 2017-2030 [PJ]. Heat pumps cover production from ambient heat and surplus heat. Surplus heat is without use of heat pumps.



- MSW
- Industrial waste heat
- Natural gas (and oil)
- Biogas
- Biomass
- Heat pumps (and el. boilers)
- Solar heat
- Coal
- RE Share (RES-DH) [%]





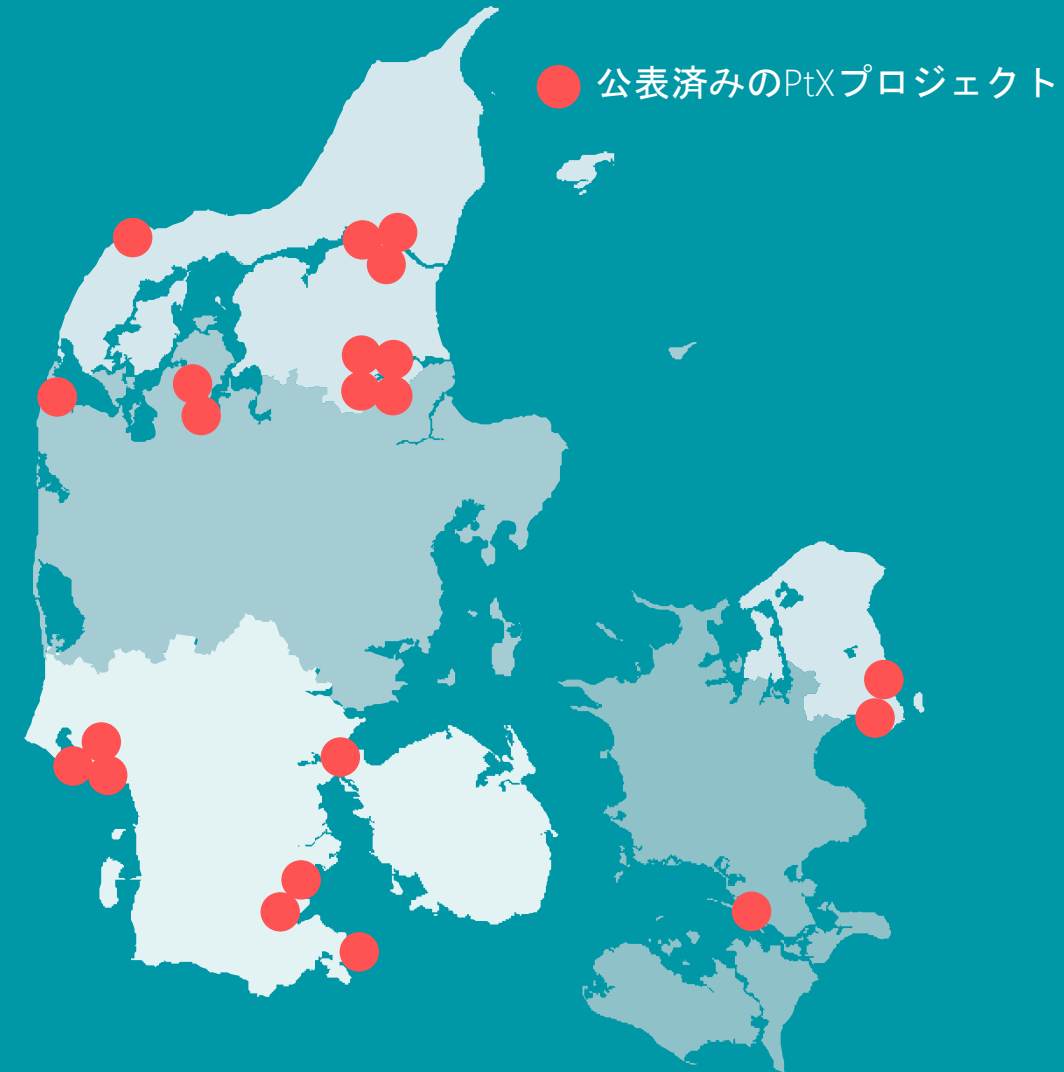
デンマーク政府の 「Power-to-X戦略」



デンマークのPOWER-TO-X戦略

—加速する新分野

- 2021年12月にデンマーク政府から公開されたPower-to-Xの方向性を示した戦略
- 合計500ページ超の20件以上の分析に基づいて決定
- 「グリーン水素」のみに注力と明記
- デンマーク国内で20件を超えるPower-to-X プロジェクトがすでに公表され、合計で7GWを超える規模に
- 政府は2030年に国内線をグリーンな航行に転換することを目指しており、2025年に初のグリーン国内線が航行する予定





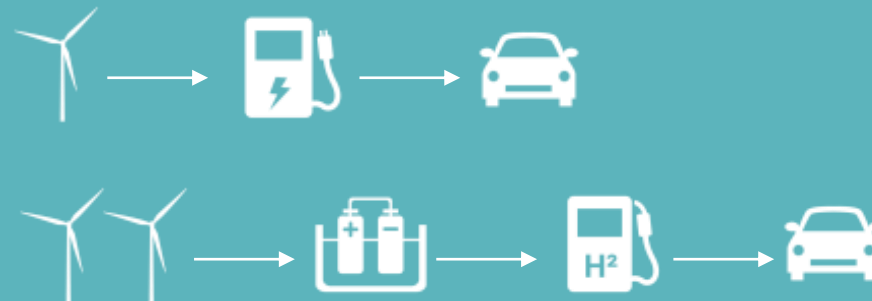
デンマークにおけるPTXの使途

ー電化によるエネルギー効率化の例

- 直接電化はより少量の再エネ、エネルギーロスで可能
- 直接電化は安価な選択肢であり、分野によらず可能な限り優先されるべき
- 早すぎる段階でのPower-to-Xの適用はグリーン転換や温室効果ガス削減を遅らせる可能性がある
- 直接電化とPower-to-Xのエネルギー需要：
 - ー 水素自動車は電気自動車の2倍以上のエネルギーを消費
 - ー 暖房用途の水素ボイラーはヒートポンプと比較してエネルギー消費が約5倍

直接電化とPower-to-Xのエネルギー需要

電気自動車 vs 水素自動車



2倍以上のエネルギーが必要

暖房: ヒートポンプ vs 水素ボイラー



約5倍のエネルギーが必要



デンマークにおける**PTX**の用途

—他に安価な選択肢がない分野に限定

- Power-to-Xは直接電化が可能な分野では競争力を持たない
- グリーン水素やe-fuelは中長期でバイオ燃料より安価になる見込み
- 船舶や航空分野では中心的役割を担う可能性大
- そのほか陸上交通、産業、農業や（軍事）防衛等の分野では不確実性が高い
- 熱分野や電力生産においては、デンマークでは下記が安い
ため何ら役割を持たない:
 - 地域熱供給や暖房におけるヒートポンプ利用
 - ピーク電源としてのバイオガス利用

移行ポテンシャル:

Robust potential



Robust potential of indeterminate



0% 25% 50% 75% 100%

● その他再エネ

● 直接電化

● バイオ燃料・PtX

グリーン水素と生物由来炭素の強調

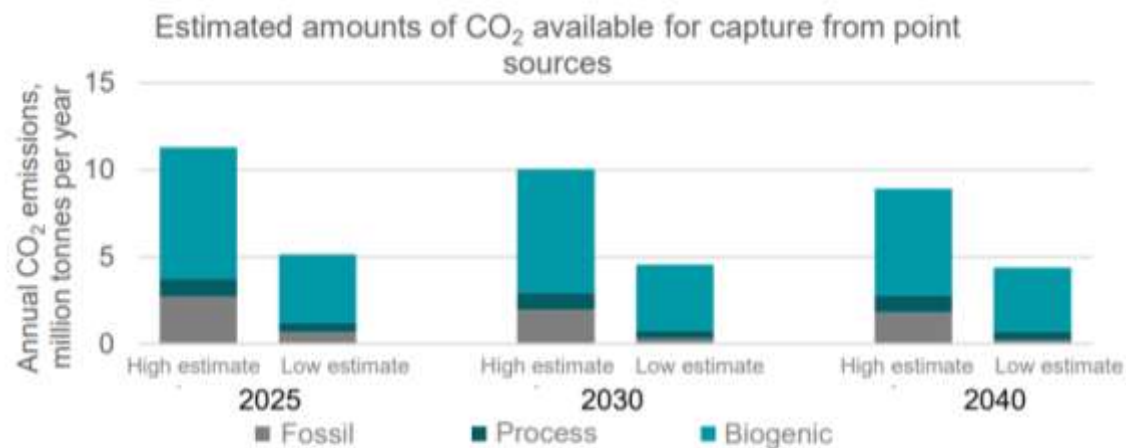
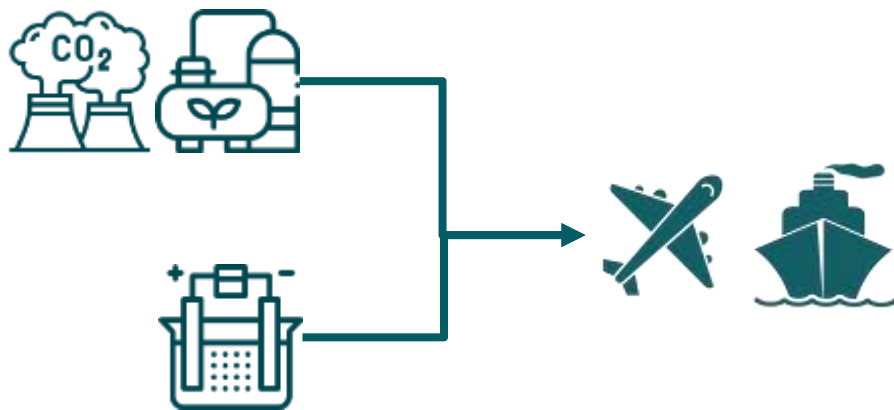


Figure 2: Estimated amounts of CO₂ emissions that can be captured and sequestered/used from Danish point sources within the waste sector, industrial sector, CHP plants and biogas upgrading plants.
Source: The Danish Energy Agency

- 化石燃料由来のCO₂を使った場合、カーボンニュートラルとみなせるのは回収元か利用先のどちらかだけ
- そのためデンマークでは生物由来CO₂のみに注力
- バイオマスプラント等からのCO₂回収がメインとなるが、その資源量は限られている
- 将来的にはDAC（Direct Air Capture）等の技術革新が重要になる

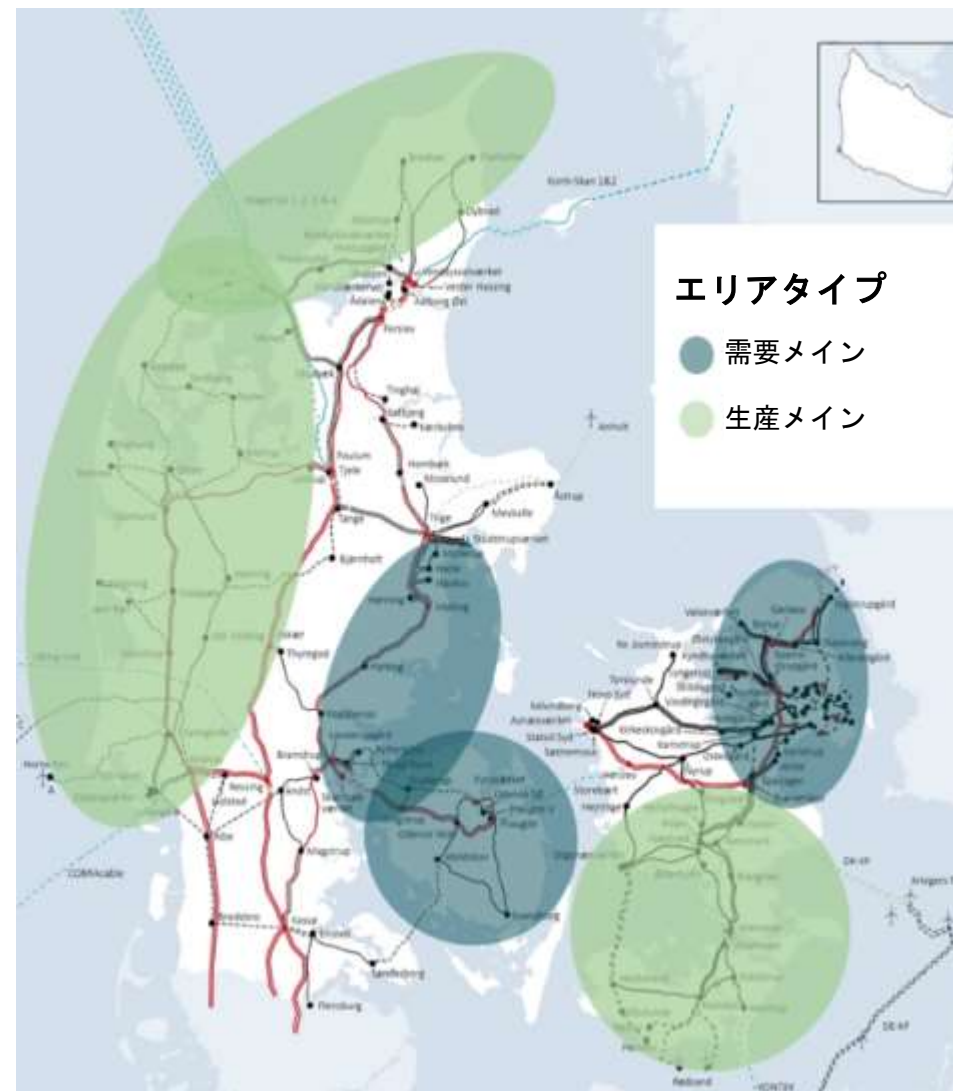


Power-to-Xはエネルギーシステム全体にも貢献

ー正しく設置された電解装置の柔軟な運用を前提として

電解プラントは電力価格に沿って運用される見込み

- スポット価格が安いときー多くの場合再エネ電力がシステム内で余っているときーに稼働
- スポット価格が高いときー多くの場合再エネ電力の発電量が少ないときー、プラントは出力を下げるか生産を止める
- 大規模電解プラントは、設置場所によってさらに価値を発揮：
 - ー 送電網強化の必要性を低減または先送りに出来る
 - ー 再エネ電力生産の売上価格改善



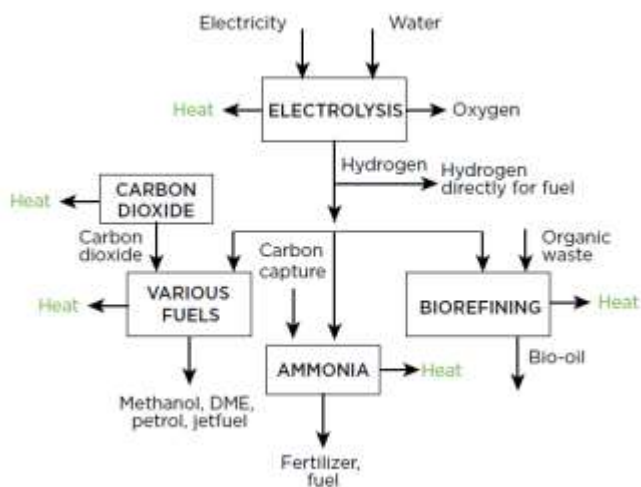
PtXと地域熱供給の連携

PTXからの余剰熱の活用可能性

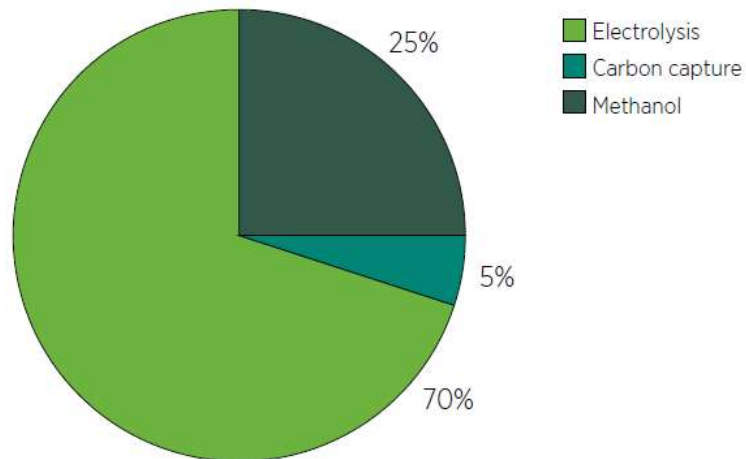
PtXバリューチェーンの各段階、とりわけ電気分解から多くの余剰熱が発生。
PtX戦略でもその活用可能性について言及

PtX戦略における余剰熱利活用の可能性への言及（p.44）

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”

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

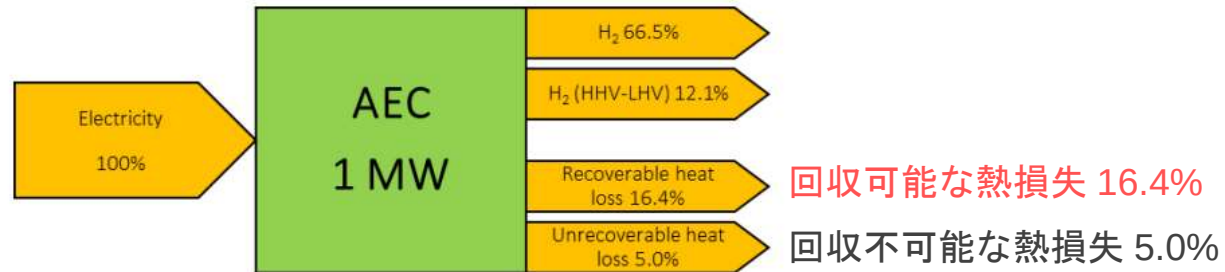


Figure 2: Energy balance (2020) for a 1 MW alkaline electrolysis cell compared on LHV basis.

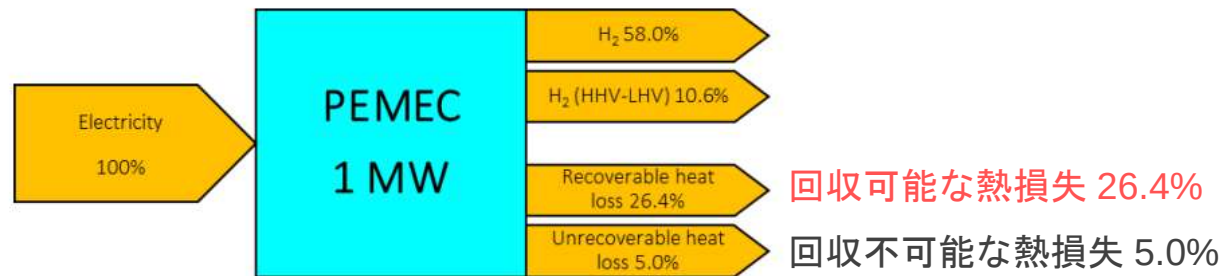


Figure 3: Energy balance (2020) for a 1 MW polymer electrolyte membrane electrolysis cell compared on LHV basis.

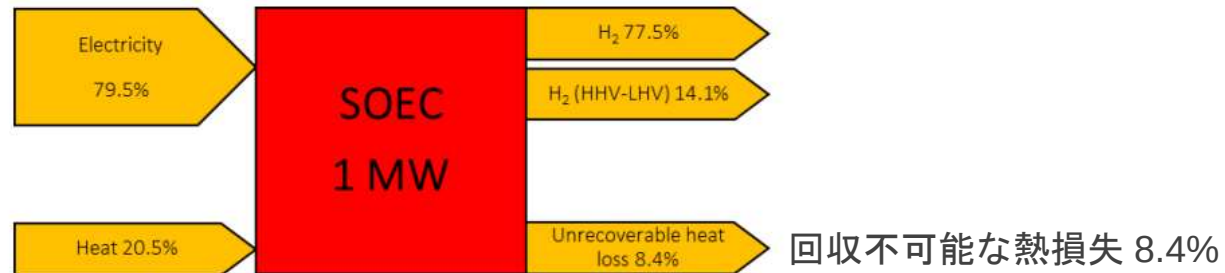


Figure 4: Energy balance (2020) for a 1 MW solid oxide electrolysis cell compared on LHV basis.

想定余剰熱温度 **50-80°C**



地域熱供給の供給温度によって、

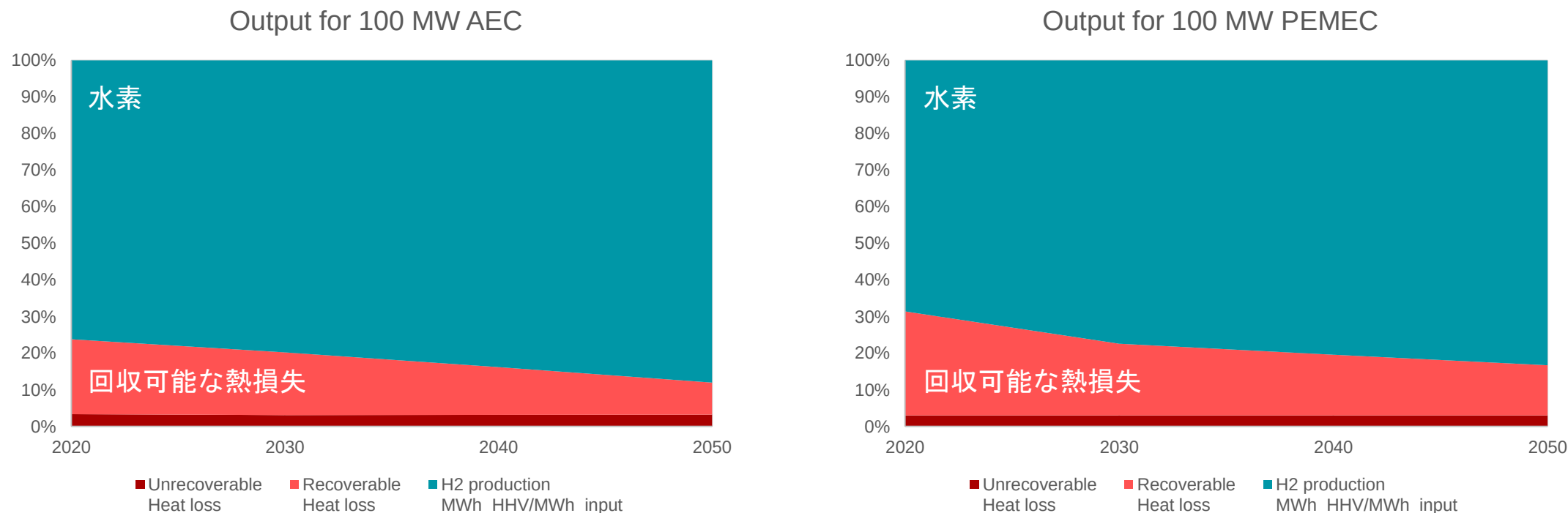
- ・ 直接利用 ないし
- ・ ヒートポンプ併用

の可能性がある、直接利用できる
低温地域熱供給がコスト面で有利



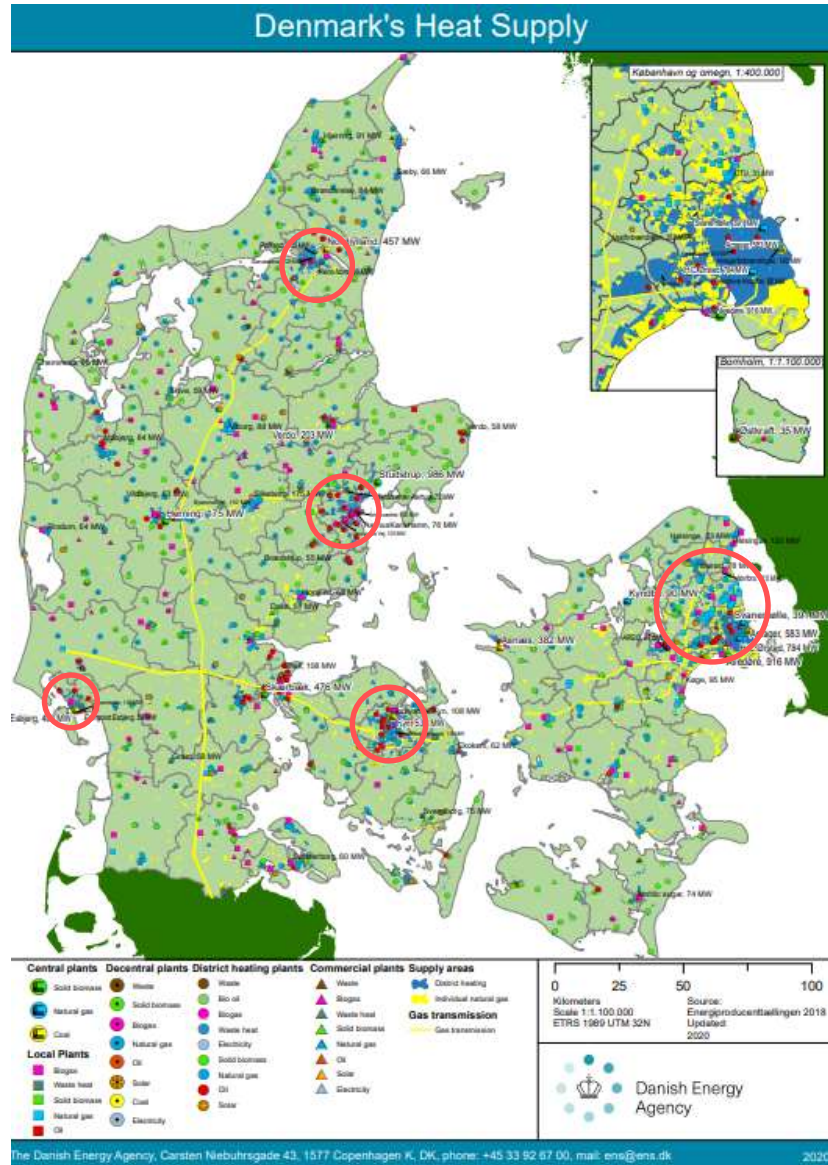
補足：今後の技術動向

電解プラントの水素生産効率向上と引き換えに、回収可能な余剰熱が（相対的に）減少する



出典：DEA “Technology Data – Renewable fuels” より筆者作成

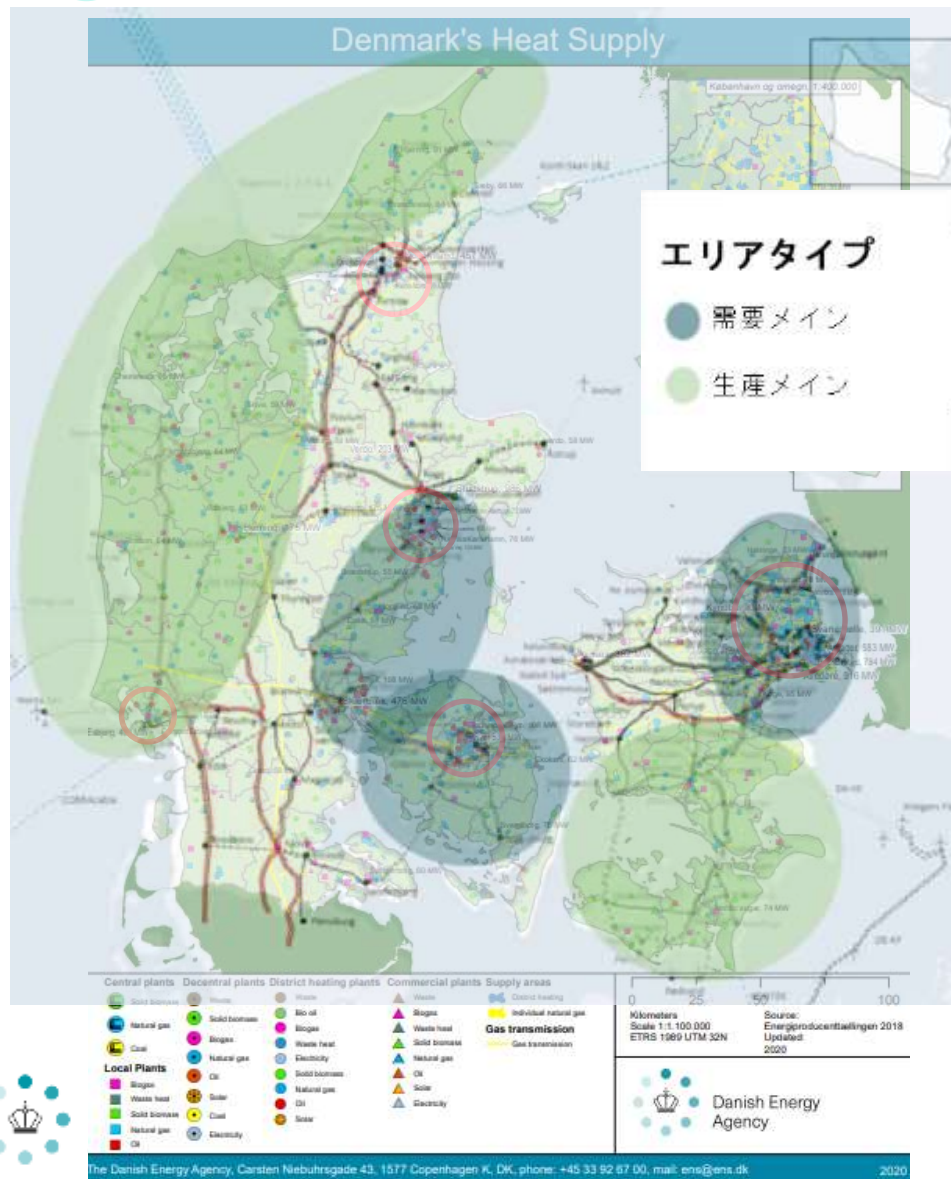
今後の検討内容：地域熱供給とPTXの立地



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

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

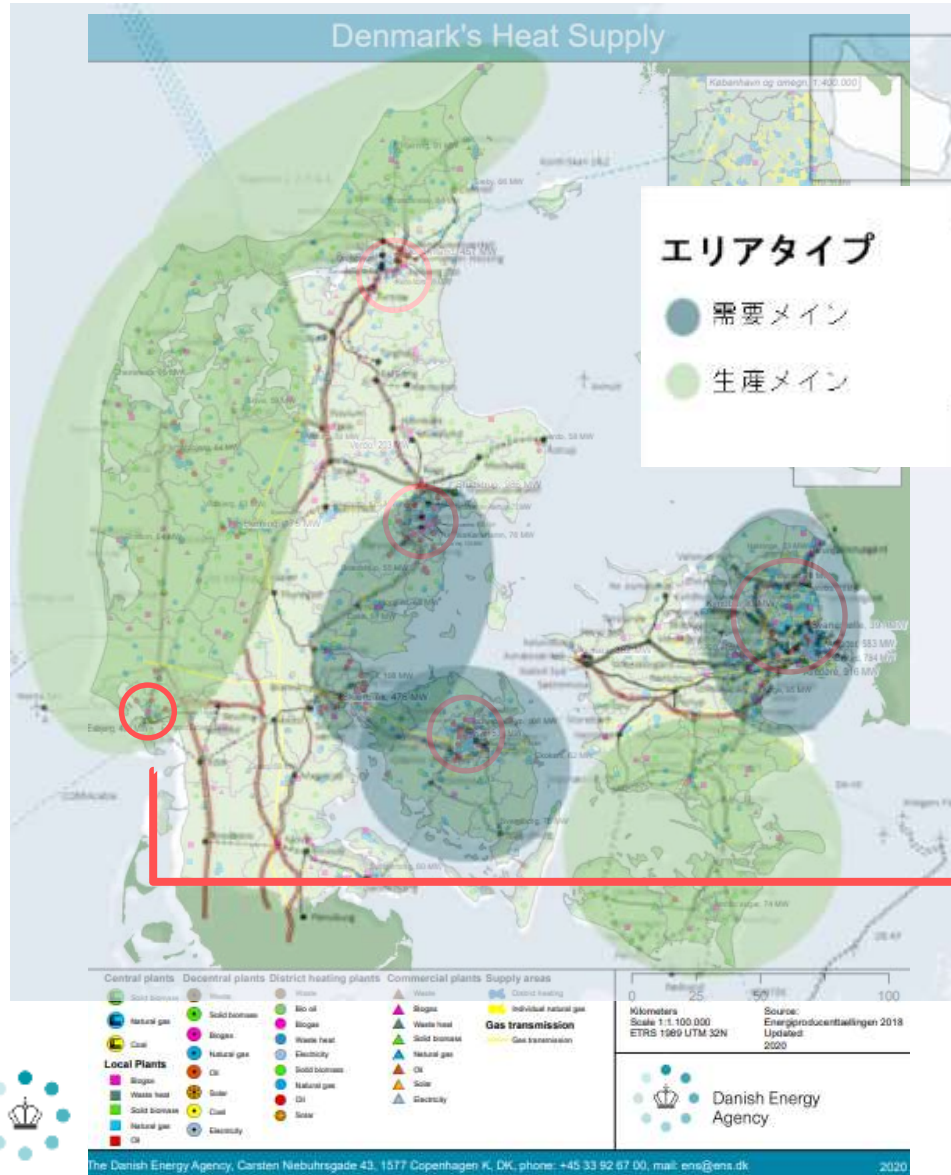
- 余剰熱の活用による熱収入が見込め、
- バイオマスプラント等からの生物由来炭素の回収に有利

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

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15000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



まとめ

デンマークの脱炭素の現在地

- 世界一のVRE統合比率を誇り、カーボンニュートラル達成へ一歩リード
- 小国ながらも各国と連携し、グローバルな排出削減への貢献を目指す

100%再エネへの今後の展開

- 熱・交通セクターの電化やデータセンターの誘致で電力消費は倍増見込み
- エネルギー島による大規模洋上風力の開発
- 地域熱供給の電化も過去の想定を超えて急速に展開

デンマーク政府の「Power-to-X戦略」

- 直接電化が最優先、PtXは特定のセクターに注力
- グリーン水素、生物由来炭素の強調
- 電力市場と連動し新たな柔軟性の源に

PtXと地域熱供給の連携

- バリューチェーンを通して多くの余剰熱が発生
- 直接、またはヒートポンプを介してDHへの活用が可能
- PtXと電力網、発電設備、DHそれぞれとの立地関係は今後慎重な検討の下、最適解を探る



Thank you

kantak@um.dk

