



ROYAL DANISH EMBASSY
Tokyo

デンマークにおける セクターカップリング の実践

デンマーク大使館 エネルギー担当官
高橋叶



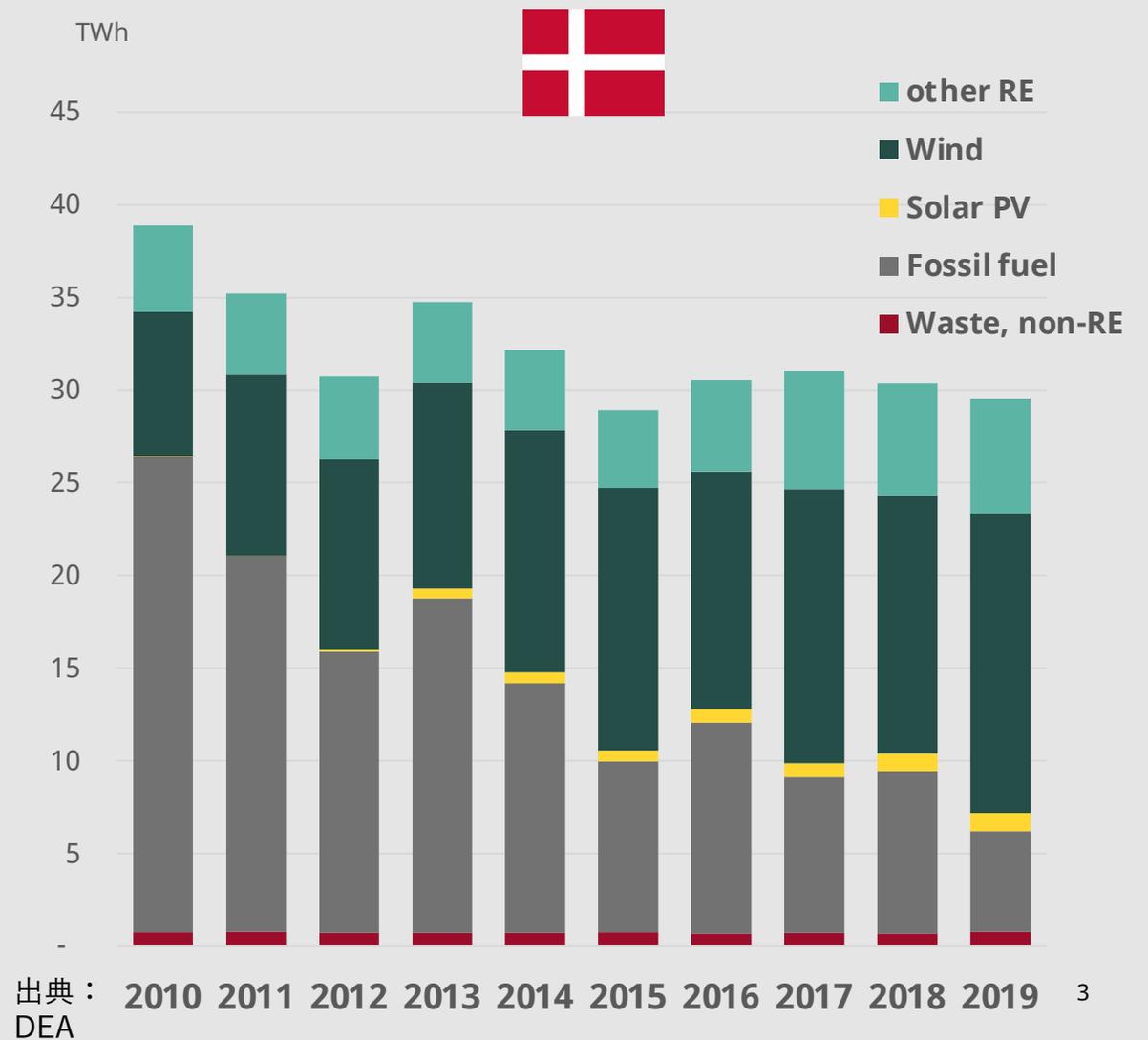
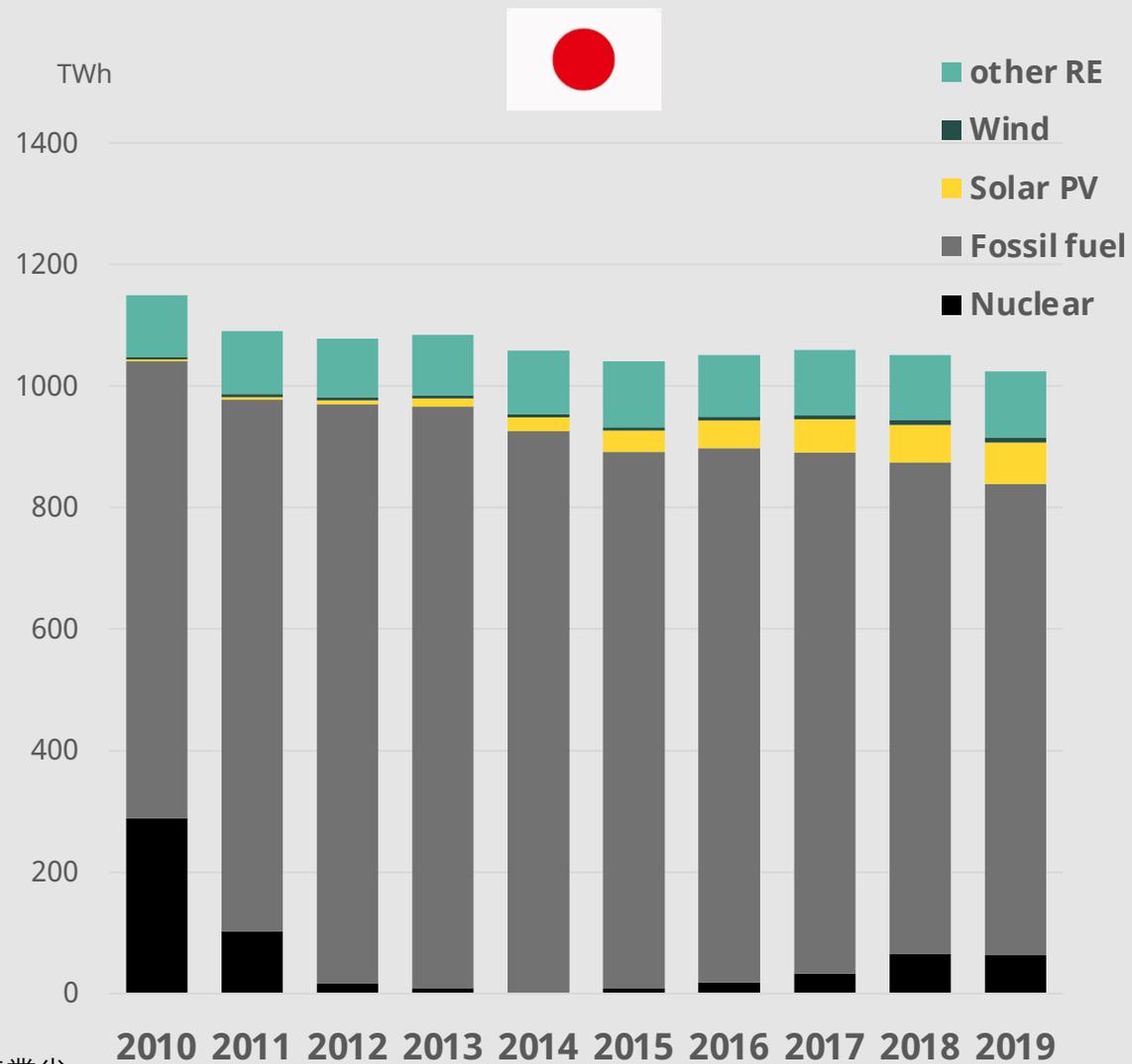
本報告のねらい

- デンマークにおけるセクターカップリングの実践
- デンマークのエネルギーシステムの将来展望

以上を紹介した上で、

日本におけるセクターカップリング・熱セクターのあり方について考える
議論の土台としたい。

電気は何から作られている？



VRE50%超の道のり

2000-2004

第一期

2005-2009

第二期

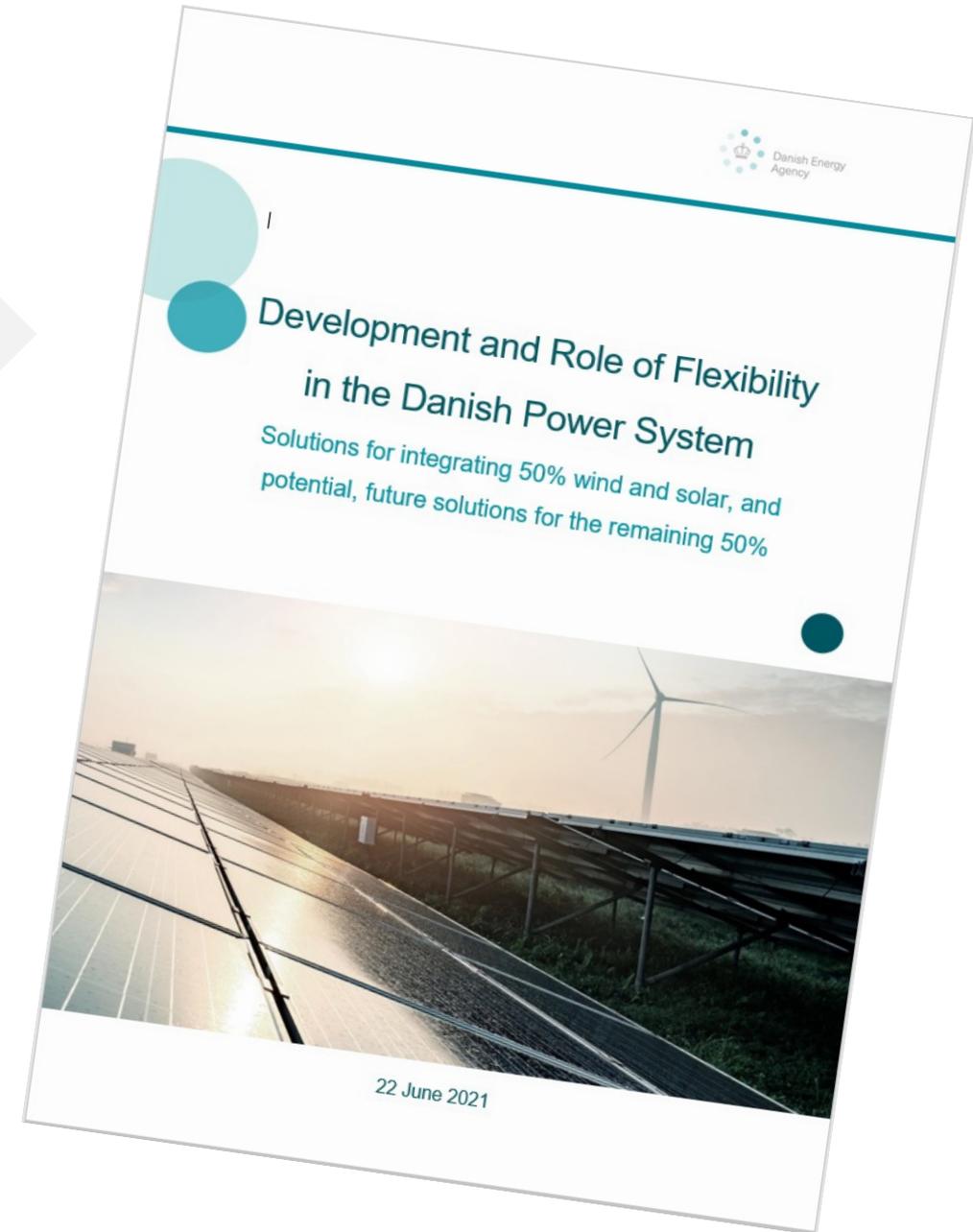
2010-2015

第三期

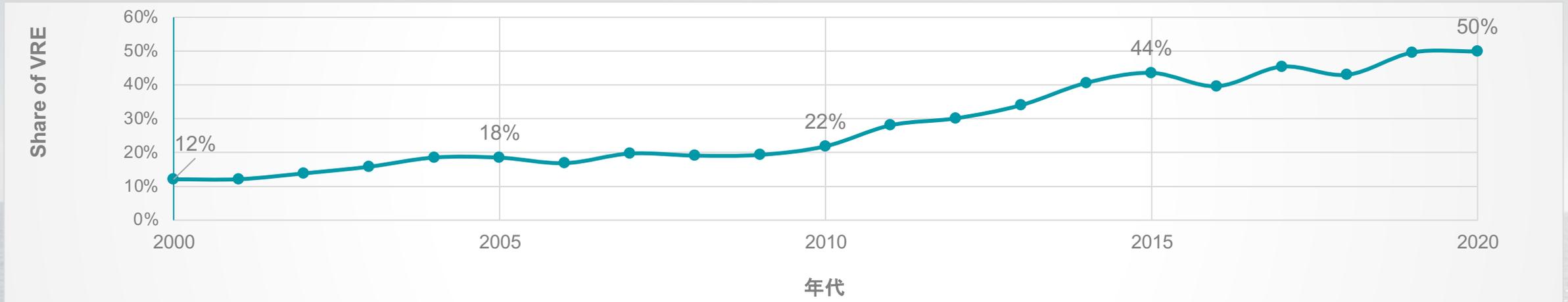
2016-2020

第四期

フレキシビリティ手法の変遷と
デンマークの電源構成における
変動性再生可能エネルギー（VRE）のシェア



各ステージにおけるフレキシビリティ（柔軟性）確保手段



	2000-2004	2005-2009	2010-2015	2016-2020	2020年以降
フレキシブルな火力発電所	Yes	No	No	No	No
連系線の利用	Yes	Yes	Yes	Yes	No
予測およびスケジューリングシステム	No	Yes	Yes	Yes	Yes
セクターカップリング	No	Yes	Yes	Yes	Yes
需要側フレキシビリティ	No	No	No	Yes	Yes

CHP発電所が ベースロード電源から フレキシビリティの主要源に



CHPのフレキシブルな運用に
インセンティブを付与する新構造の市場



発電所の運用が改善
最低出力の低減
負荷追従速度向上

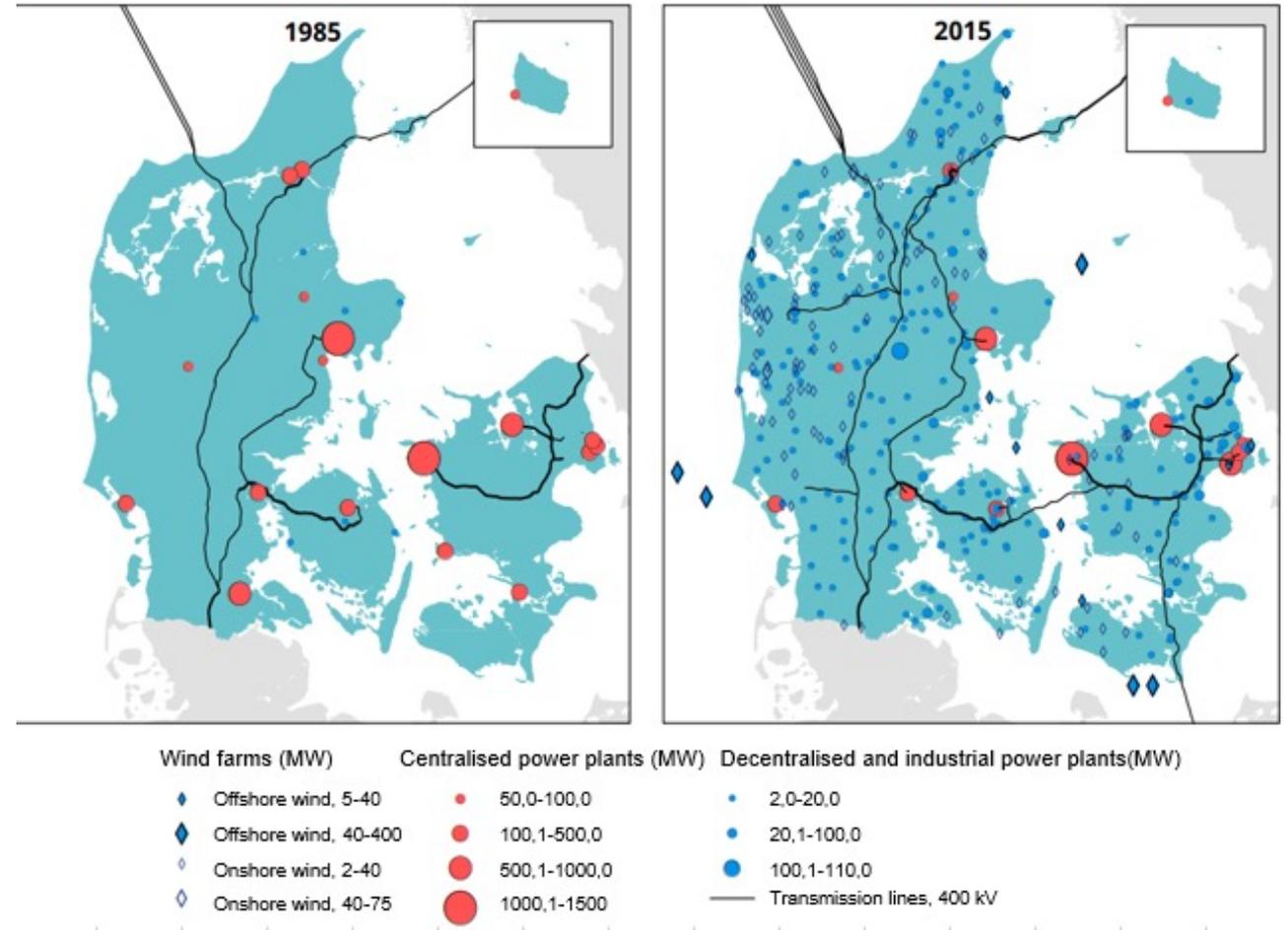


図11: CHP発電所の集中型から分散型への移行

マーケットデザイン - 固定価格買取制度から 時間単位の電力価格へ

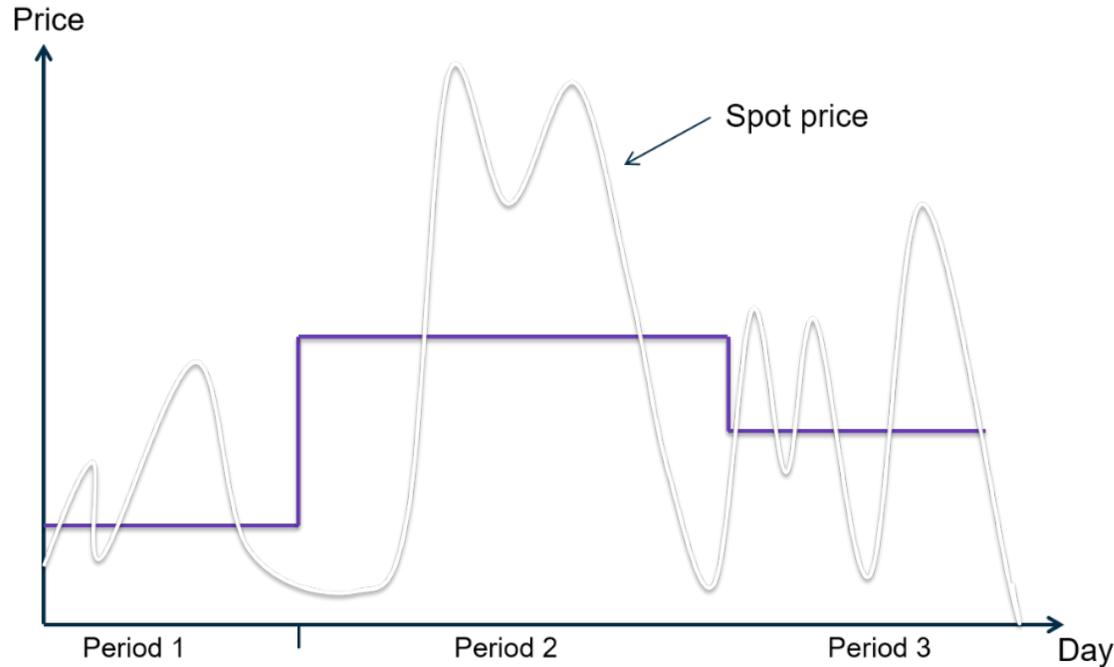
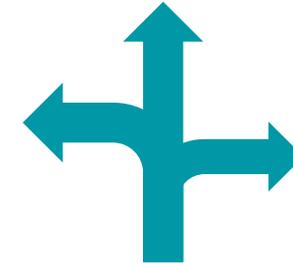
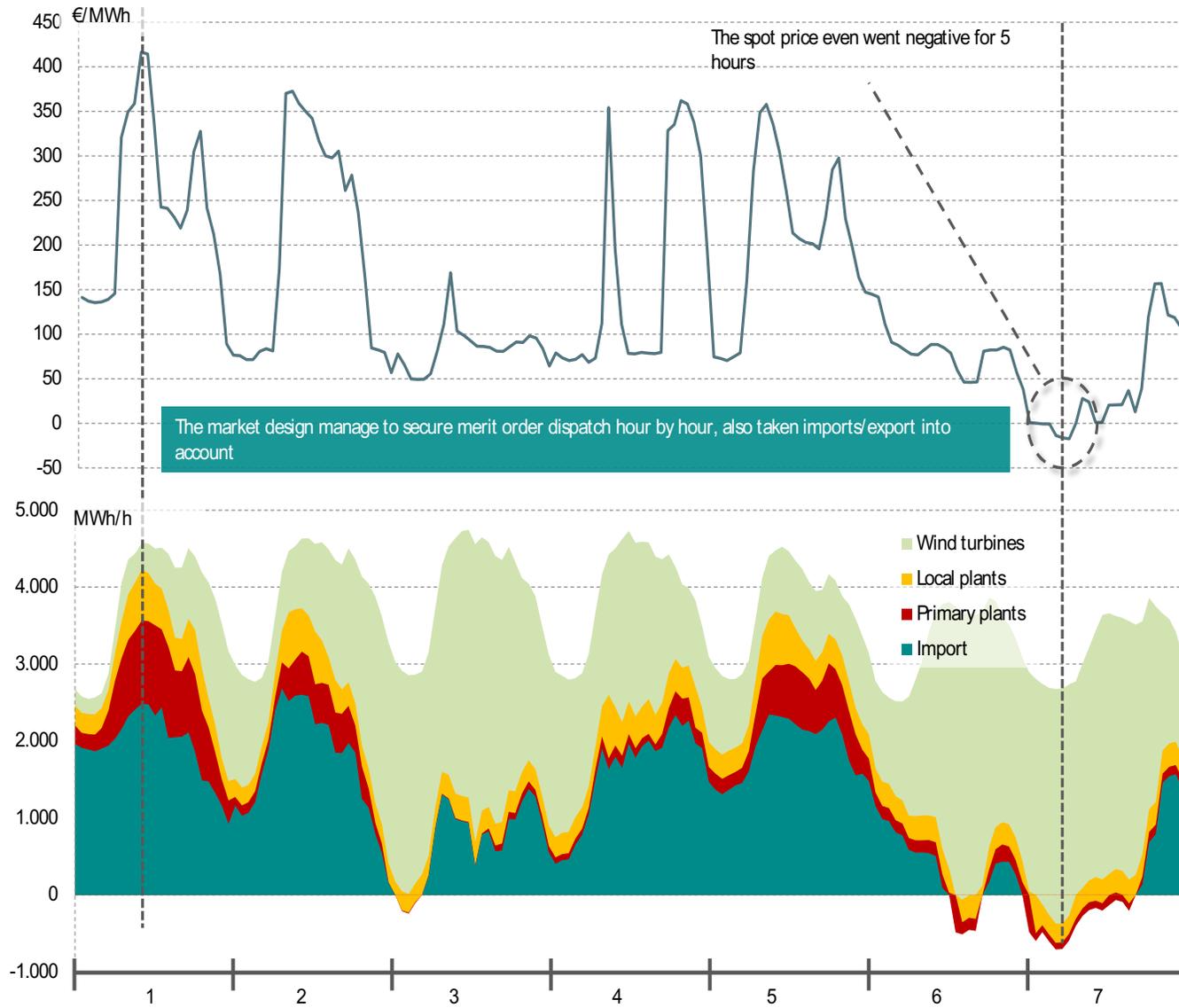


図6: 三部料金制の固定価格買取制度とスポット市場価格
形成の違い



ダイナミック・プライシング

- デイリーオークションによる全電力生産者間の競争
- 時間単位の電力価格はその時間の各入札ゾーンにおける発電量の短期限界費用を反映
- 変動するエネルギー源により適合
- デンマークがNord Pool（北欧の電力市場）に加入



マイナス価格が認可

マイナス価格の導入により、電気ボイラー利用を通じて従来のプラントをより動的な運用に移行

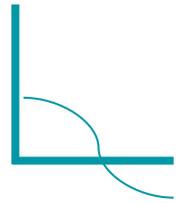
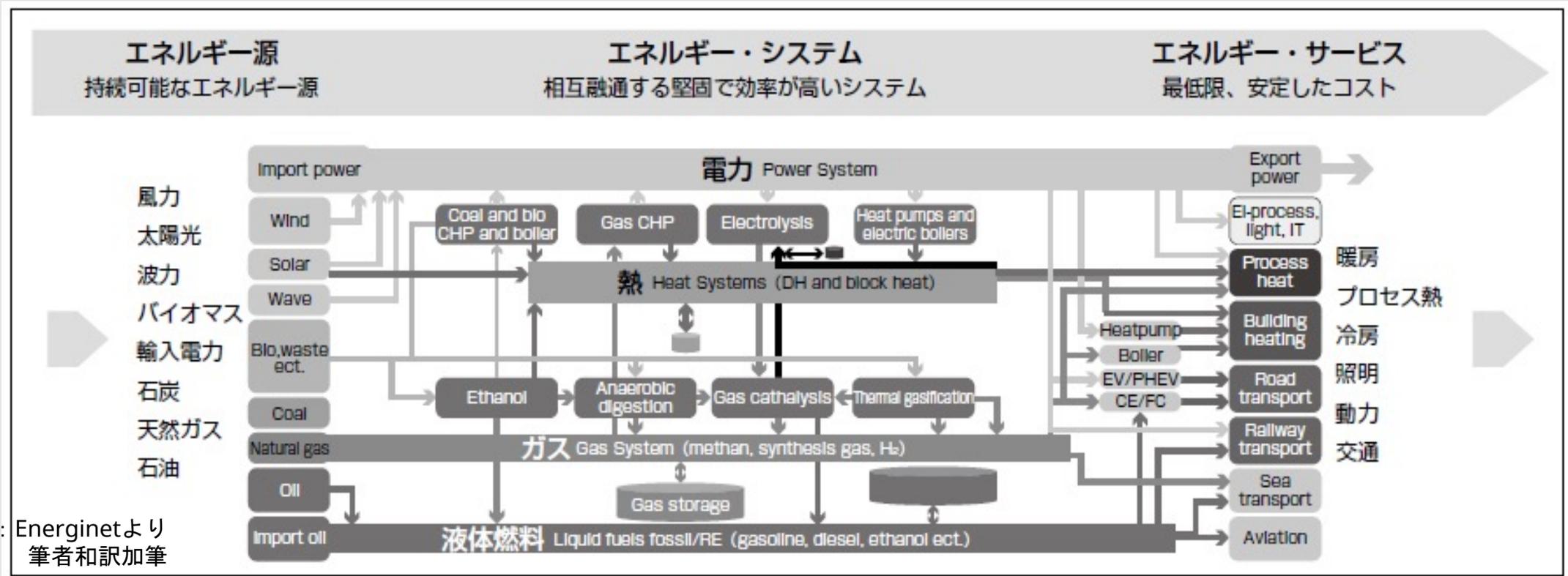


図13: マイナス価格の導入が発電所の電力消費を促す例

再エネ大量導入を支えるセクター連携



出典: Energinetより
筆者和訳加筆

再エネ余剰電力が安く購入できる時間帯での「蓄熱」[熱生産]、
高い時間帯でのその逆 を広く展開することで、需給をマッチング（デマンドレスポンス）

→様々なセクターの「電化」が安く効率的な選択肢に。

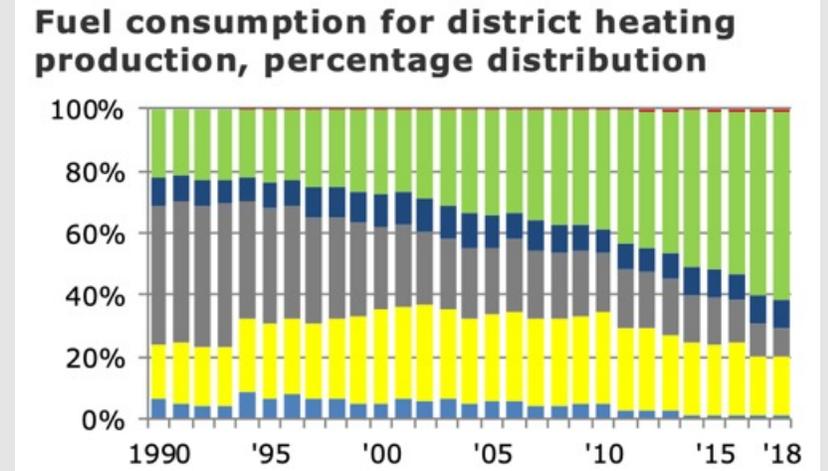
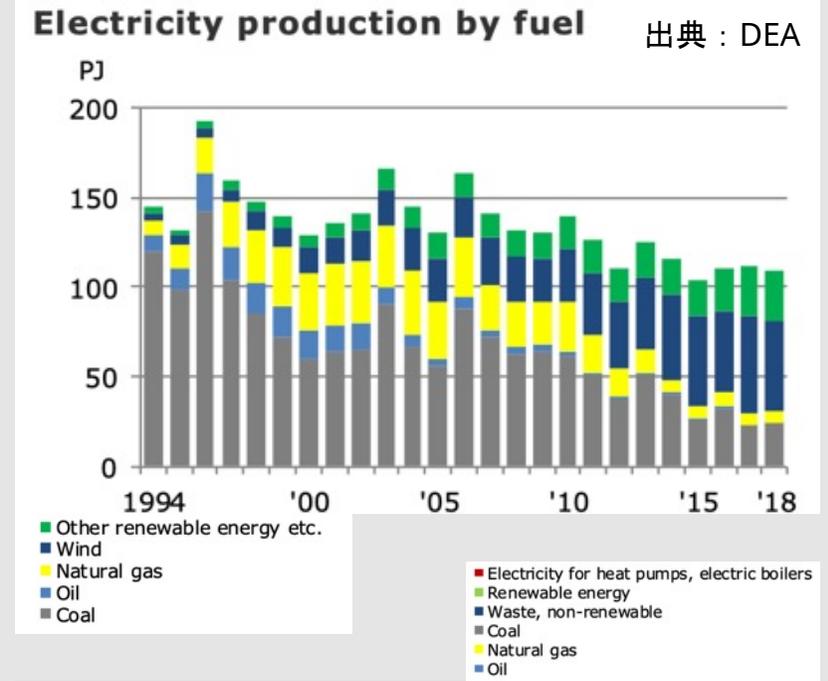
DKエネルギーシステム（現在）の概観

政策目標

- 2050年までに「化石燃料フリー社会」に。（国会議員95%の合意）
うち、電力と熱は2035年までに再エネ100%を、交通は2050年の100%を目指す

現在

- 再エネ電力は風力が圧倒的に多く、次点にバイオマス、続いて太陽光。
- 国内総熱需要の約半分は熱インフラ（地域熱供給）で賄う。地域熱供給の約60%が再エネ由来で、その9割はバイオマス。
- 高温熱需要（工場など）、郊外などの家庭は個別熱源で対応。
- 酪農国家であり、バイオマスは畜糞や麦わら等が多い。木質ペレットの輸入などもしている。



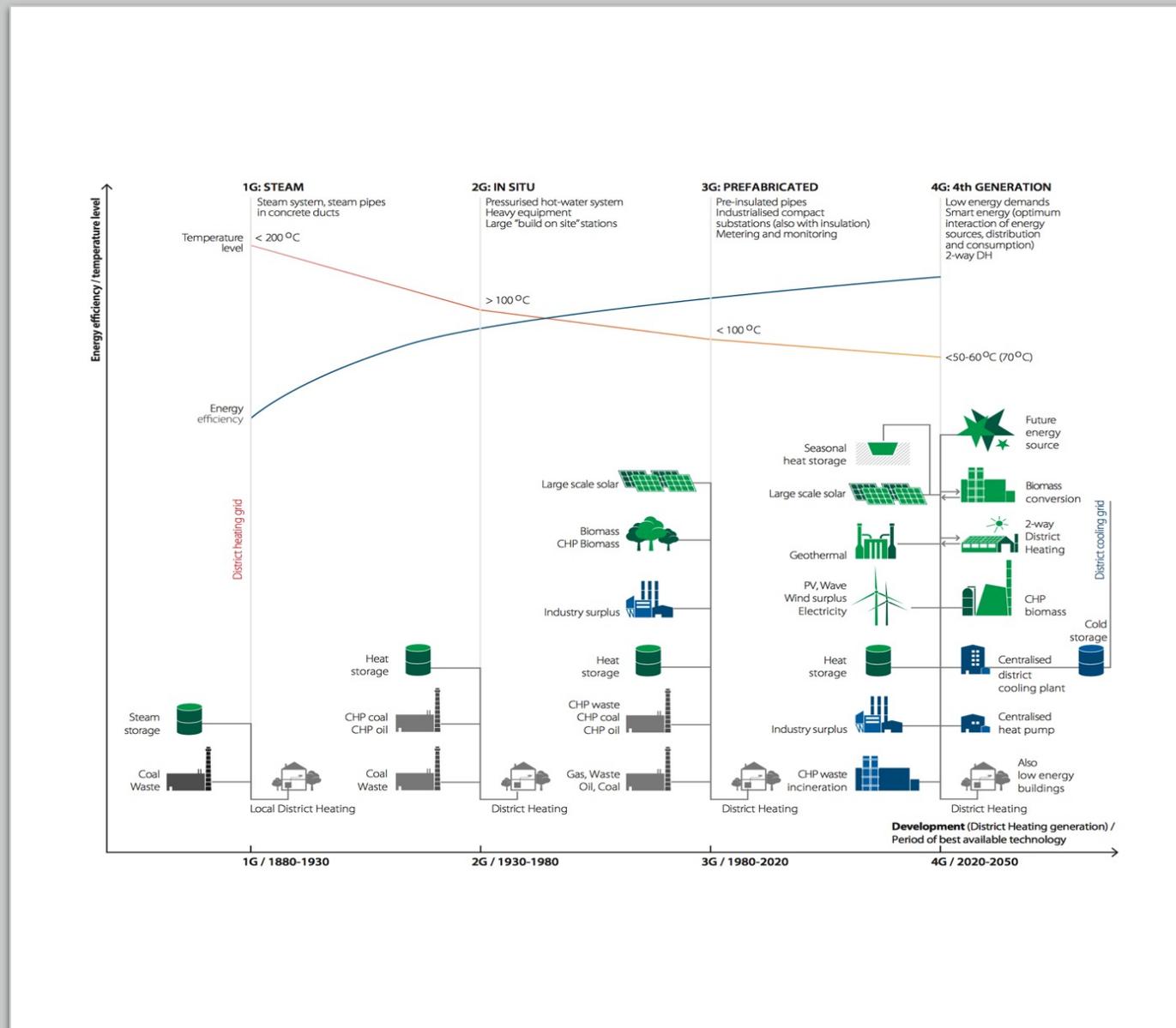
DKの 地域熱供給

- 供給温度の低温化とともに、高効率化・長寿命化・熱源の多様化…がすすむ

- スマート熱メーターによる運用の最適化

- 漏洩検知システムによるリスク低減

- 大規模蓄熱槽を基軸とした多様な熱源設備のスマート運用

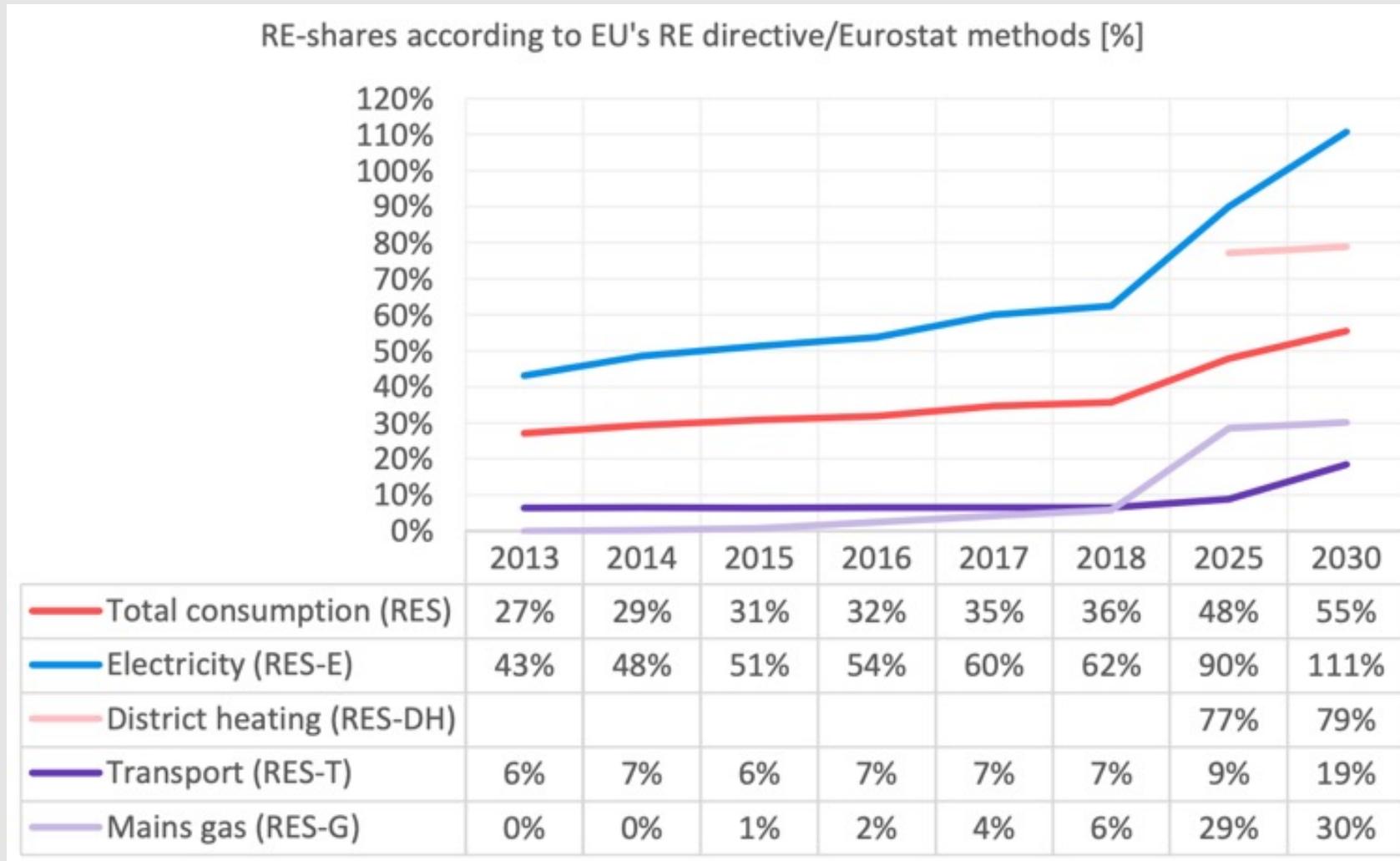


小括：
デンマークの
セクターカップリング

- 広く普及した地域熱供給という熱インフラが、熱と電気の間でセクターカップリングを結ぶハブとなっている
- 余剰再生電力を熱セクターで活用する上では、ダイナミックプライシング・ネガティブプライシングが大きなインセンティブとなっている
= 電力市場の透明性・公平性・競争性が鍵

DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

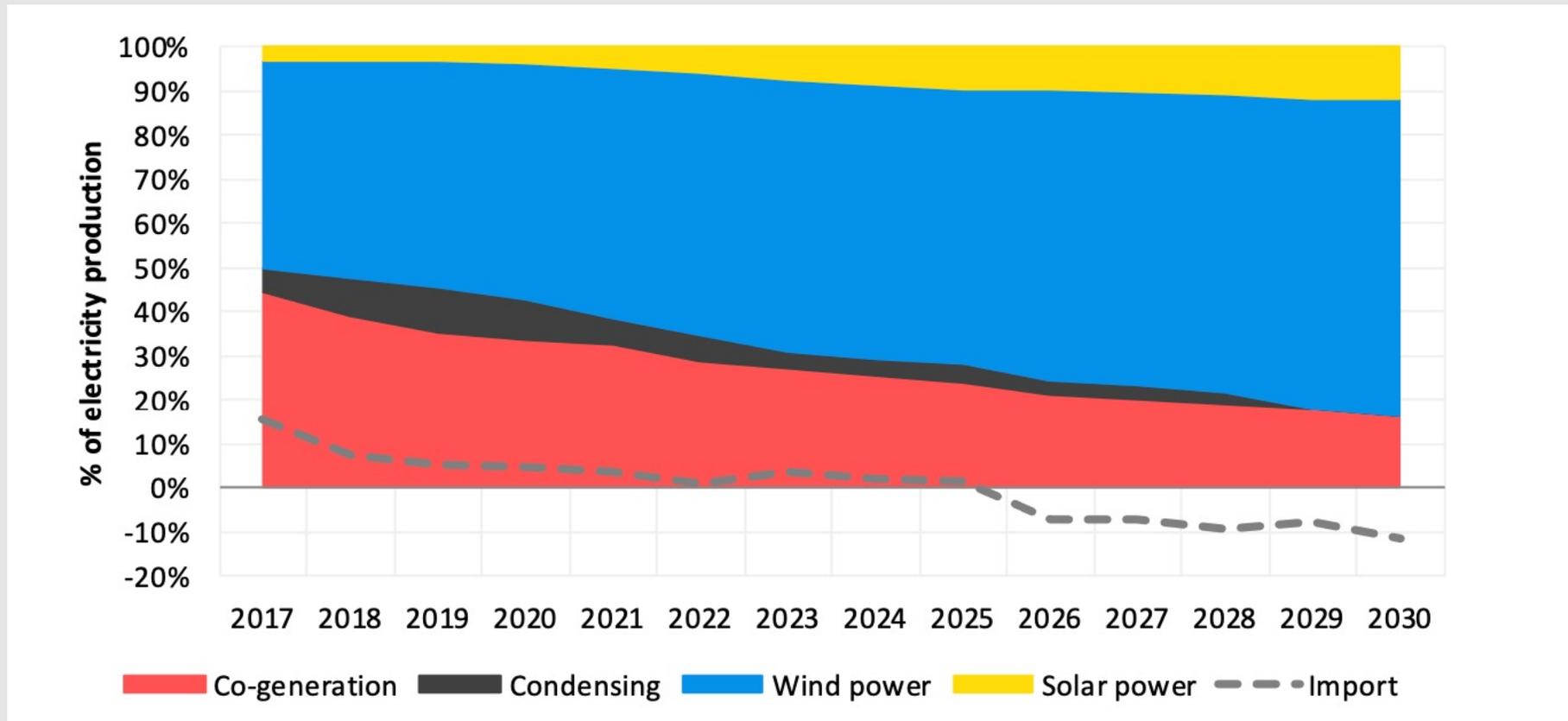
- 電力セクターの今後さらなる急速な再エネ化が見込まれる



DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

①電力生産の手段別シェア

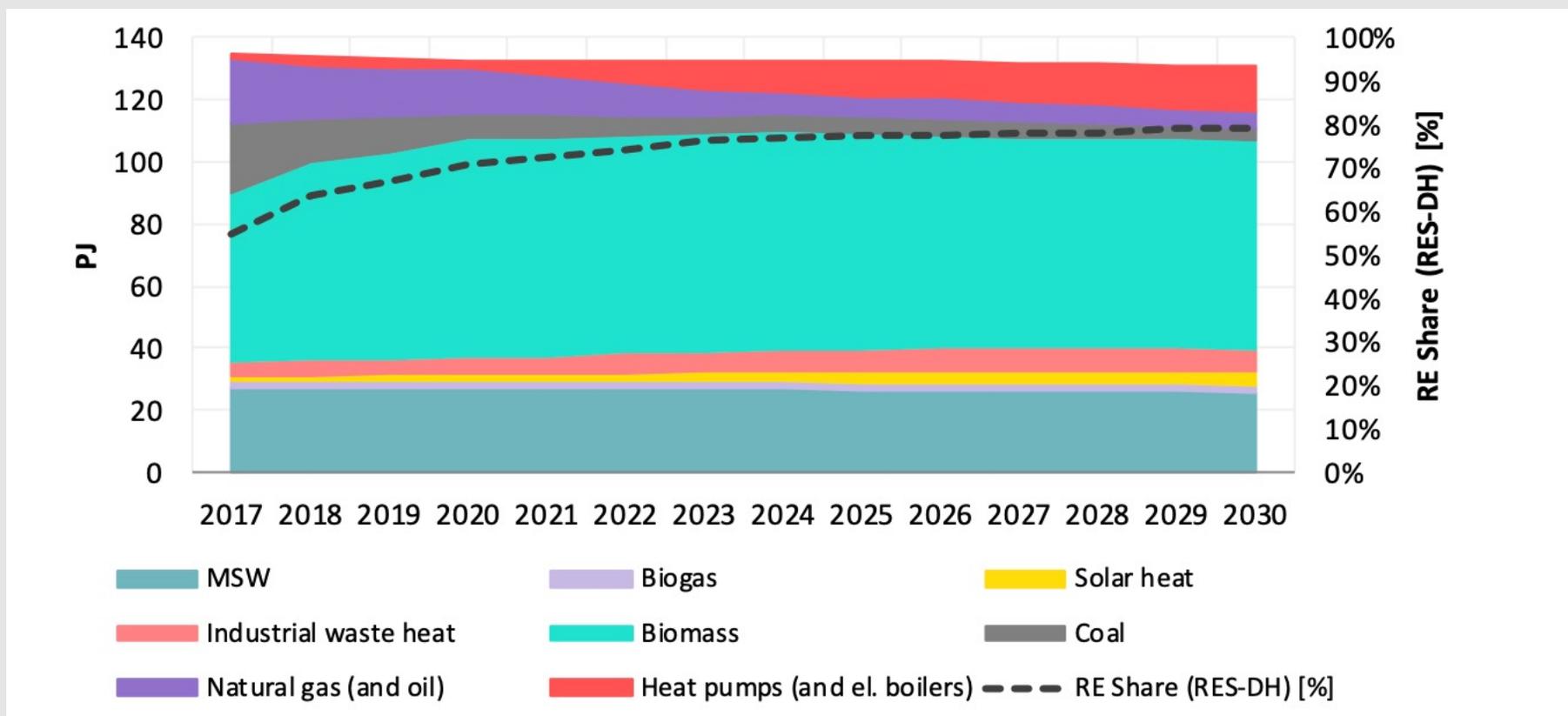
- 風力の大幅拡大が進行していく。コジェネは減少（主に化石燃料）、発電専用プラントは消失



DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

②地域熱供給のエネルギー源別シェア

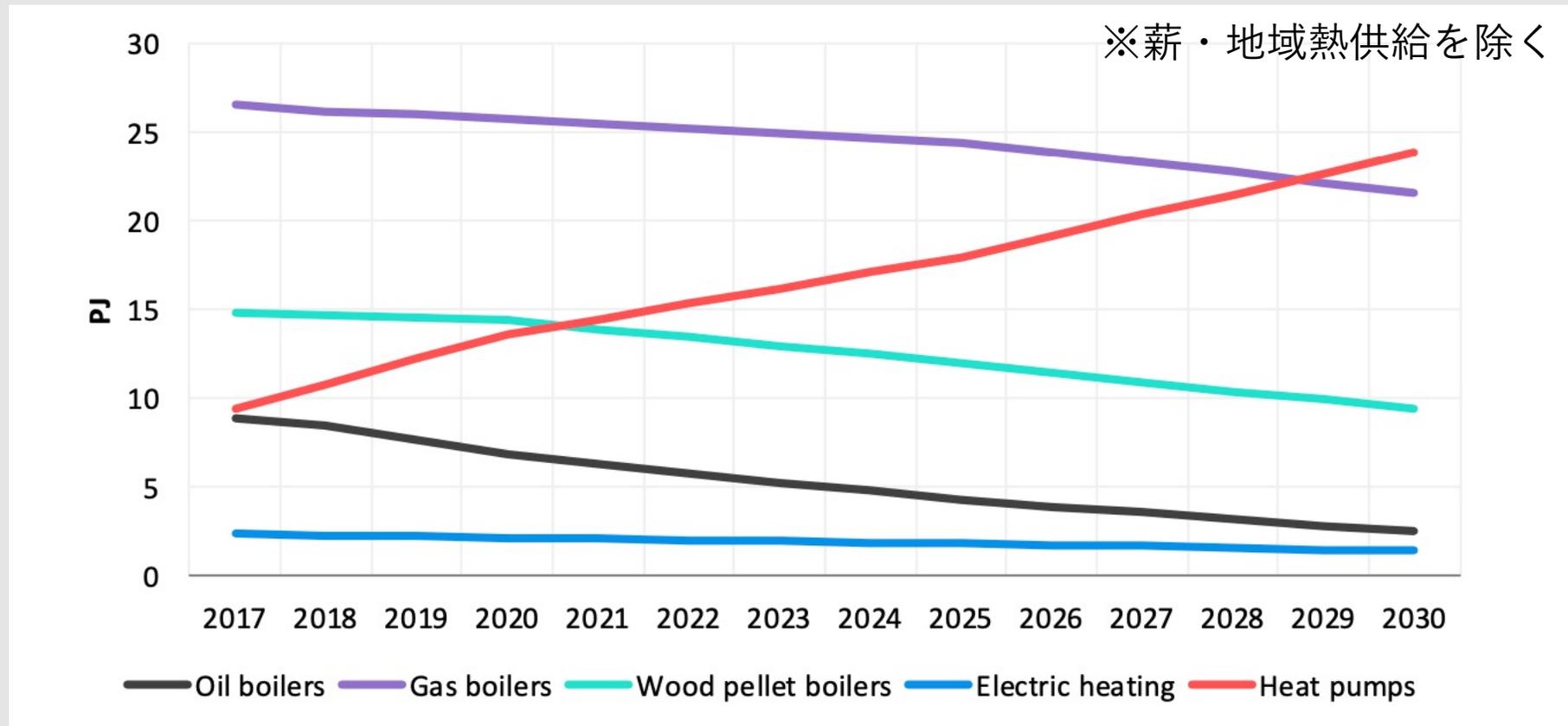
- バイオマスは2020年がピークで、以降は停滞
- 化石燃料の減少がそのままヒートポンプに置き換わるような格好



DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

③家庭部門の最終エネ消費シェア

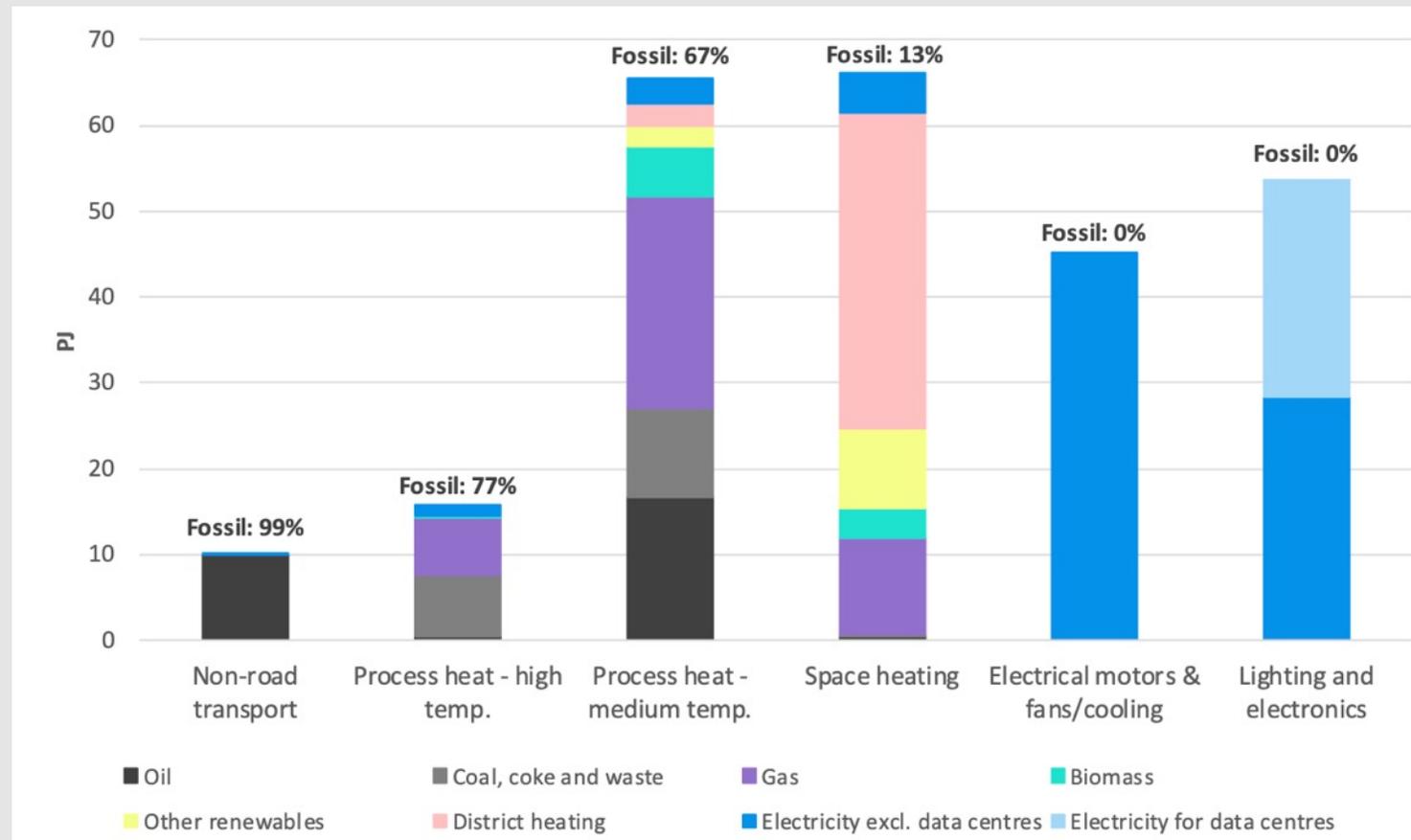
- 今使われているあらゆる熱源機器は減少し、ヒートポンプに置き換わっていく見込み。



DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

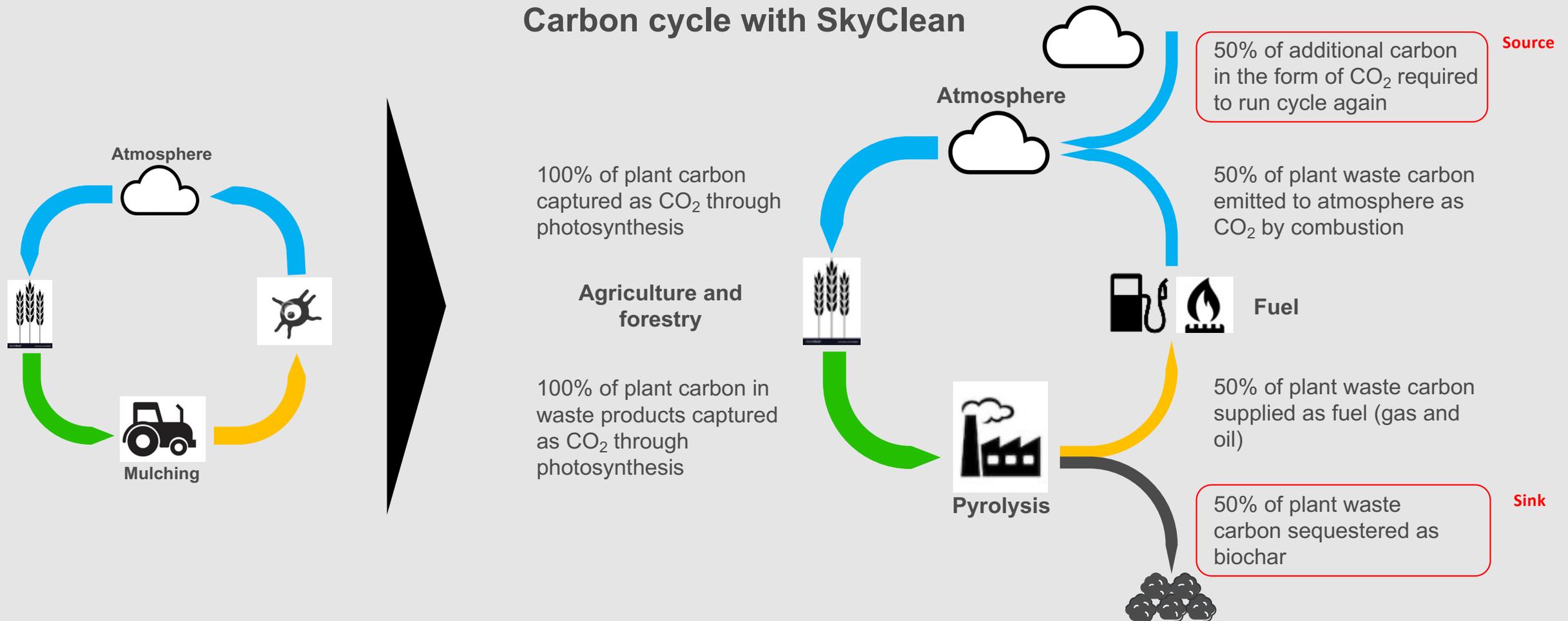
④産業部門エネルギーシェア（2030年展望）

- 非道路交通・中温プロセス熱（ $\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）、高温プロセス熱（ $150^{\circ}\text{C}\sim$ ）に関しては2030年時点でも化石燃料に依存



DKのエネルギーシステムは今後どうなっていくのか？

(参考) カーボンネガティブなバイオマス利用



**小括：
デンマークにおける
今後のエネルギー供給**

- 電力の100%脱炭素化（主に風力・太陽光）を2020年代後半に達成
- 余剰再エネ電力を活用する安い熱源として、ヒートポンプがDHでも家庭でも拡大
- バイオマスの活用はCO2排出面でも熱or電気生産コストの面でも、競争相手が化石燃料から他の再エネになっていく？

総括 & 議論に向けて： 日本のセクターカップリング・熱セクターの未来は？

- 限界費用・CO2排出ともにゼロの再エネ余剰電力が大量に入ってくる
→ 「熱は電気で」が正当性を持つ。
日本で熱設備を新設/リプレースする際の望ましい選択肢はどうなっていく？
- 今後の地域熱供給の強みは「余剰熱・副生熱の活用」。
日本において、その価値はインフラ導入コストを上回るか？
- 地域熱供給を介さない「セクターカップリング」は、
単なる「熱の電化」以外のソリューションを展開できるか？
- 熱セクターにおいて水素・アンモニアは最適解となりうるか？

参考資料

現状紹介編

- DEA(2021) Development and Role of Flexibility in the Danish Power System
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/development_and_role_of_flexibility_in_the_danish_power_system.pdf
- Bjarke Christian Nepper-Rasmussen氏 講演資料@デンマーク大使館主催ウェビナー
https://stateofgreen.com/jp/uploads/2021/08/02_Bjarke-JP.pdf

将来展望紹介編

- DEA(2019) Denmark's Energy and Climate Outlook 2019
<https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/denmarks-energy-and-climate-outlook>