



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK

デンマーク × 北海道

再エネ100%を目指すデンマークの挑戦と 北海道への適用可能性

北方圏講座 北欧に学ぶ環境にやさしい地域づくり～北海道の脱炭素社会の姿を考える～

デンマーク大使館 エネルギー担当官 高橋叶 2022年1月21日



**MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK**

ご紹介内容

- デンマークについて
- 北海道とデンマーク
- デンマークの気候・エネルギー政策
- 再エネ主力のエネルギーシステム
- まとめと北海道への展開



Danish embassy, designed by Fumihiko Maki



デンマークについて

現地の雰囲気を感じ...







現地の雰囲気を感じを少し...



現地の雰囲気を感じ...

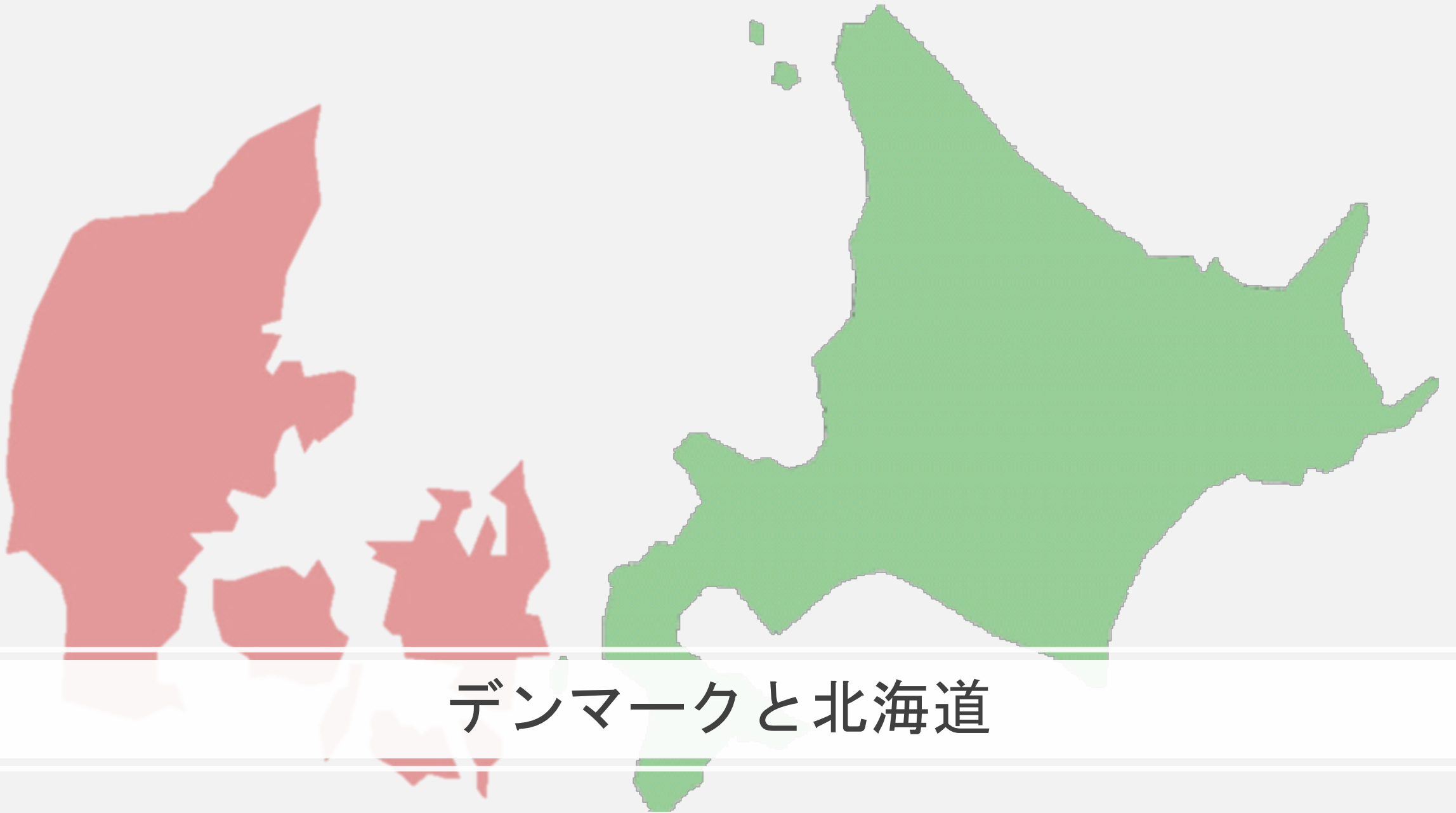


国際ランキング：政治・ビジネス

#	幸福度	汚職指数	ビジネス環境改善指数	デジタル政府
1	Finland	Denmark (shared 1 st) 	New Zealand	Denmark 
2	Iceland	New Zealand (shared 1 st)	Singapore	Republic of Korea
3	Denmark 	Finland	Hong Kong, SAR	Estonia
4	Switzerland	Singapore (shared 4 th)	Denmark 	Finland
5	Netherlands	Sweden (shared 4 rd)	Korea, Rep.	Australia
6	Sweden	Switzerland (shared 4 rd)	United States	Sweden
7	Germany	Norway	Georgia	United Kingdom
8	Norway	Netherlands	United Kingdom	New Zealand
9	New Zealand	Germany (shared 9 th)	Norway	United States of America
10	Austria	Luxembourg (shared 9 th)	Sweden	Netherlands
出典	UN (2021)	Transparency International (2020)	World Bank (2020)	UN (2020)

国際ランキング：環境・エネルギー

#	環境パフォーマンス指数	最も優れたエネルギーシステム ランキング	SDGS達成度	再エネシェア
1	Denmark 	Sweden	Finland	Iceland
2	Luxembourg	Switzerland	Sweden	Norway
3	Switzerland	Denmark 	Denmark 	New Zealand
4	United Kingdom	UK/Finland	Germany	Latvia
5	France	Austria/France	Belgium	Sweden
6	Austria	Canada	Austria	Finland
7	Finland	Germany	Norway	Denmark 
8	Sweden	Norway	France	Austria
9	Norway	United States/NZ	Slovenia	Chile
10	Germany	Spain/Luxembourg	Estonia	Portugal
出典	<i>YALE University (2020)</i>	<i>World Energy Council (2021)</i>	<i>SDG Index (2021)</i>	<i>SDG Index (2020)</i>



デンマークと北海道

実は似ている...？北海道とデンマーク

北海道



デンマーク



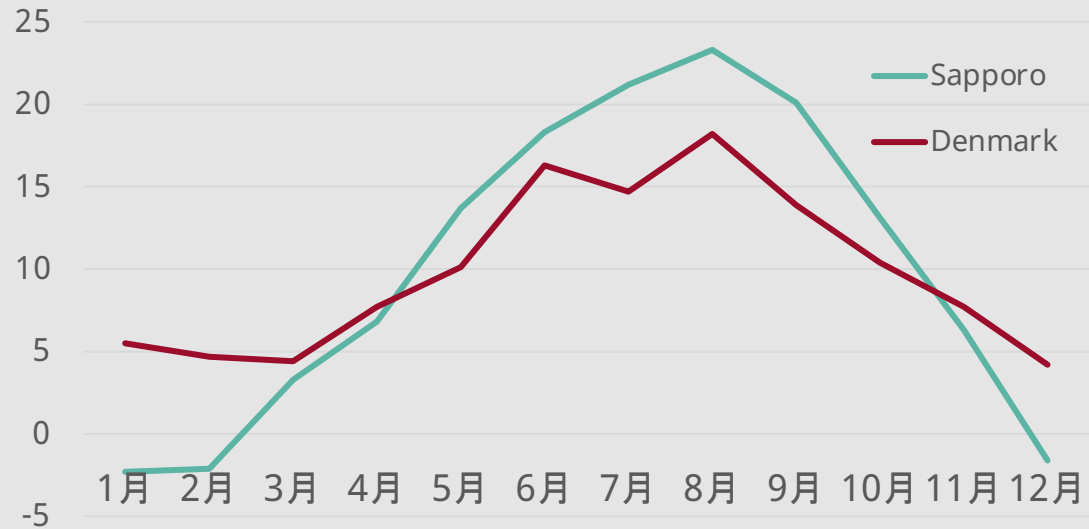
- 530万人
- 83,500 km²
- 風が強く寒冷的な気候
- 豊富な沿岸部
- 農業・畜産・酪農が主産業の一つ

- 580万人
- 43,000 km²
- 風が強く寒冷的な気候
- 豊富な沿岸部
- 農業・畜産・酪農が主産業の一つ

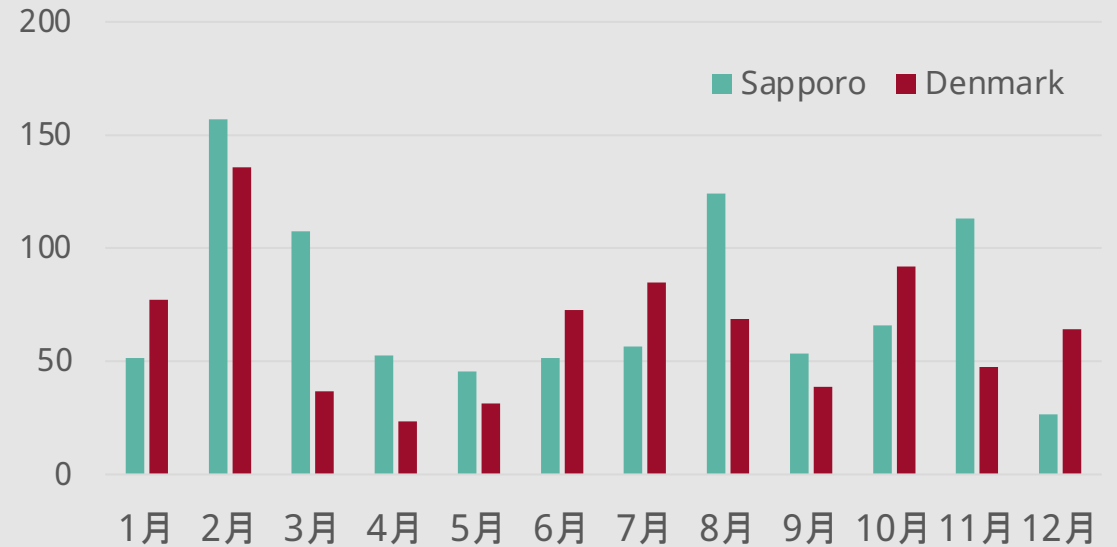
気温・降水量

... 北海道のほうが少し極端

平均気温 [°C]

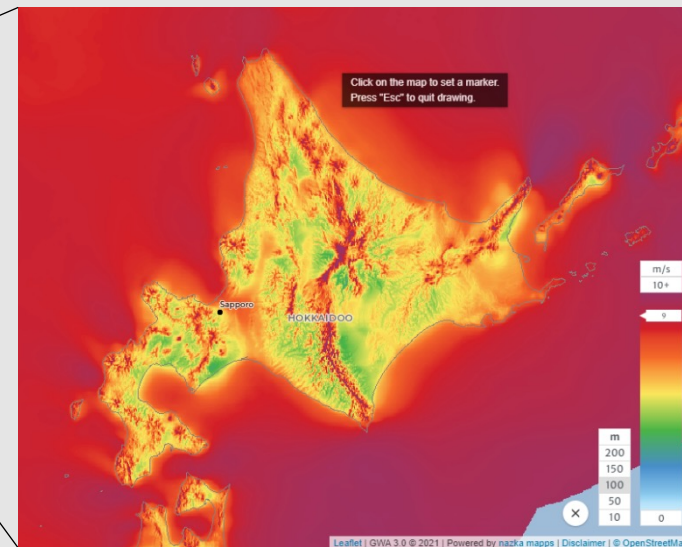
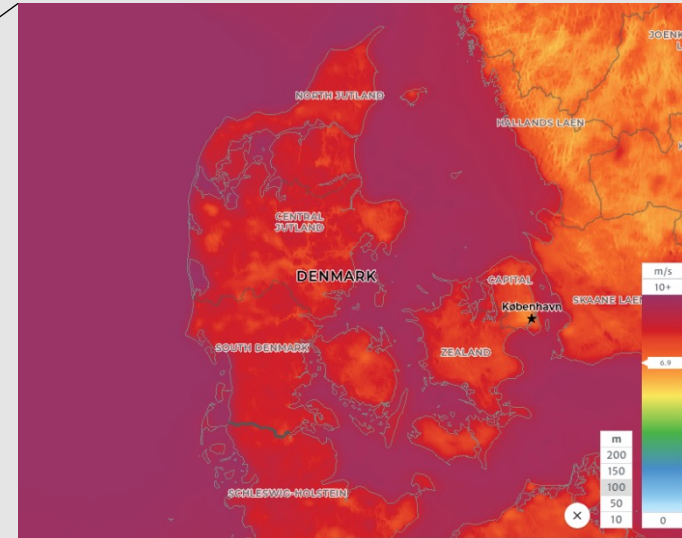
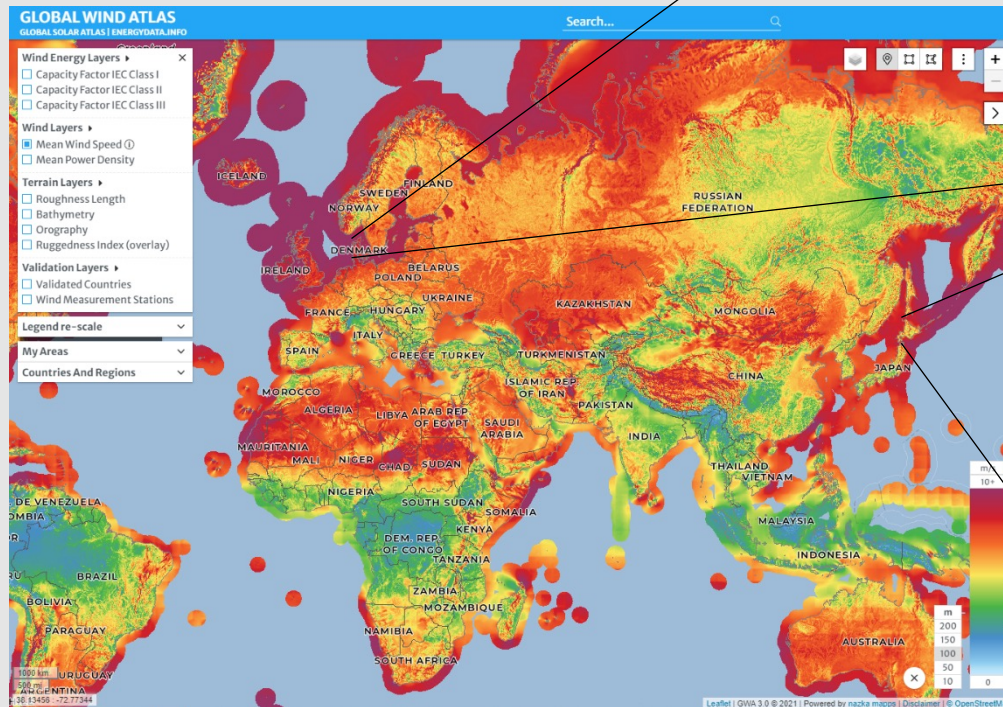


降水量 [mm]



風況

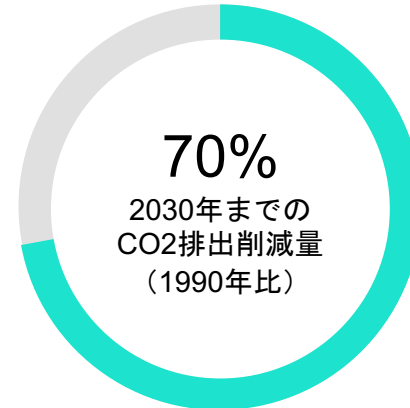
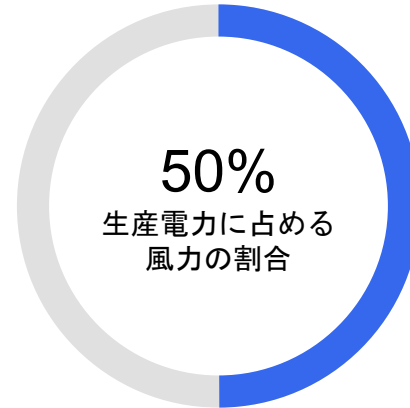
...デンマークのほうが少しだけ強い





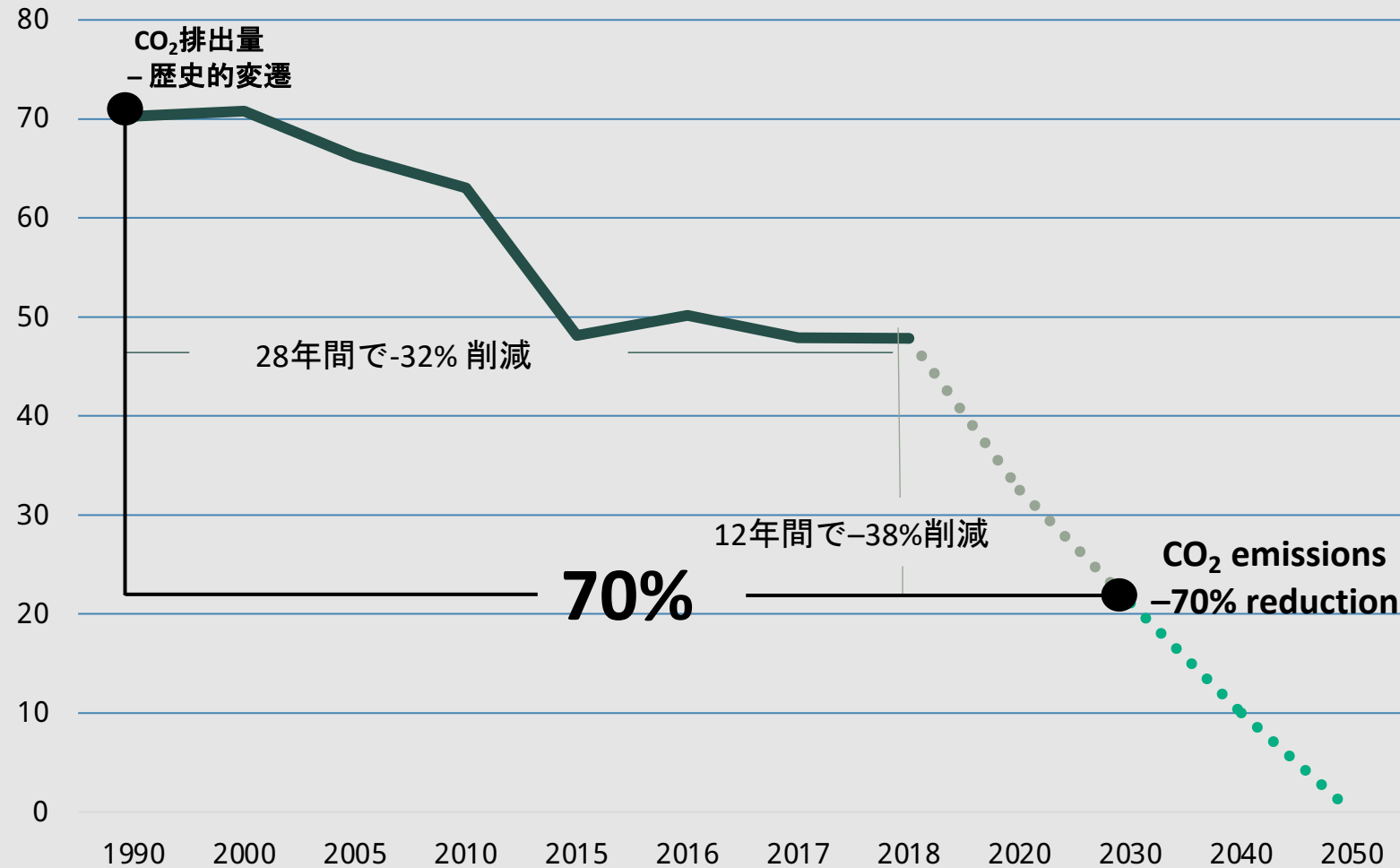
デンマークの気候・エネルギー政策

実績と目標



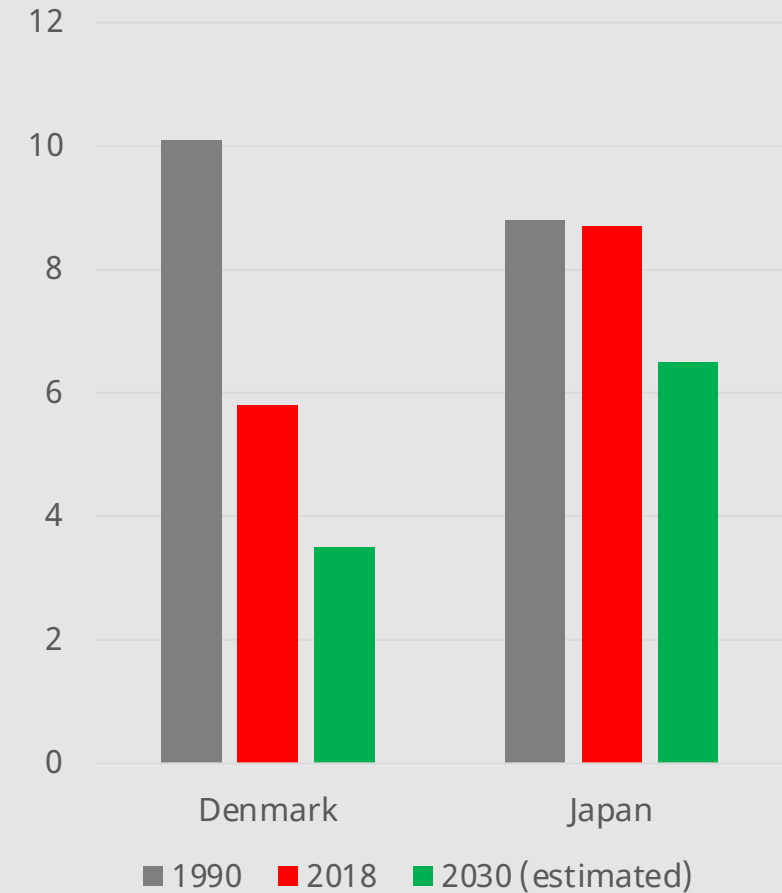
CO2排出削減のこれまでとこれから

Mio. ton of CO₂ equivalent



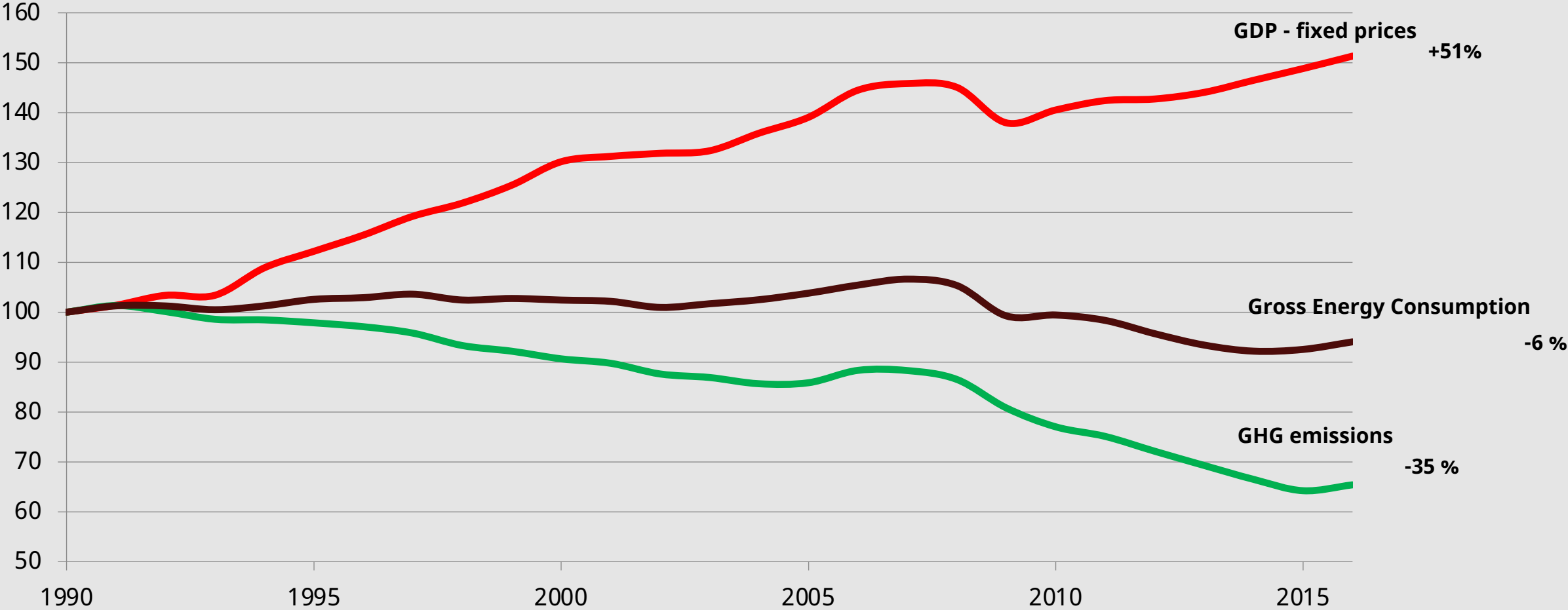
Source: State of Green

CO₂排出/一人あたり



Source: World Bank (1990 and 2018), 2030 own calculation

経済成長とCO2排出削減の両立

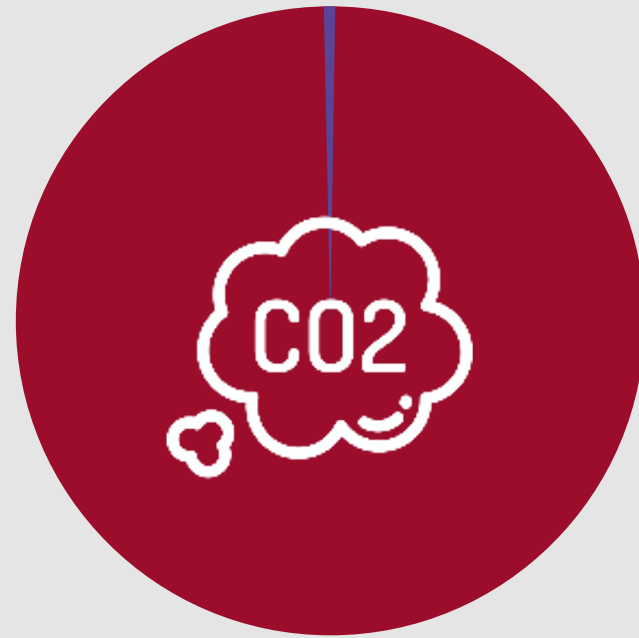


気候政策の更なる展開：グローバルな影響力

デンマークー国では...

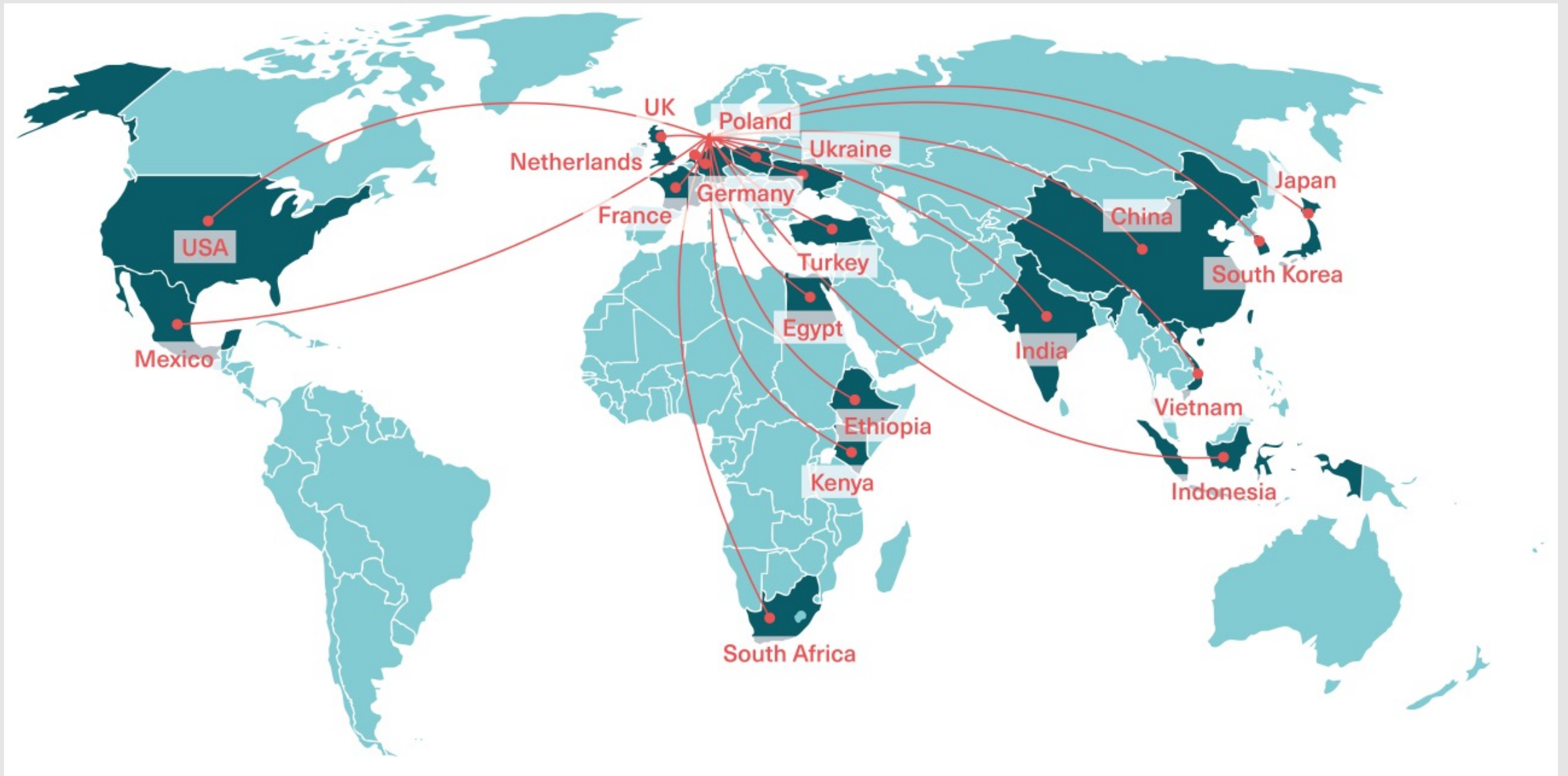


... 世界人口の**0,07 %**
にしか満たない



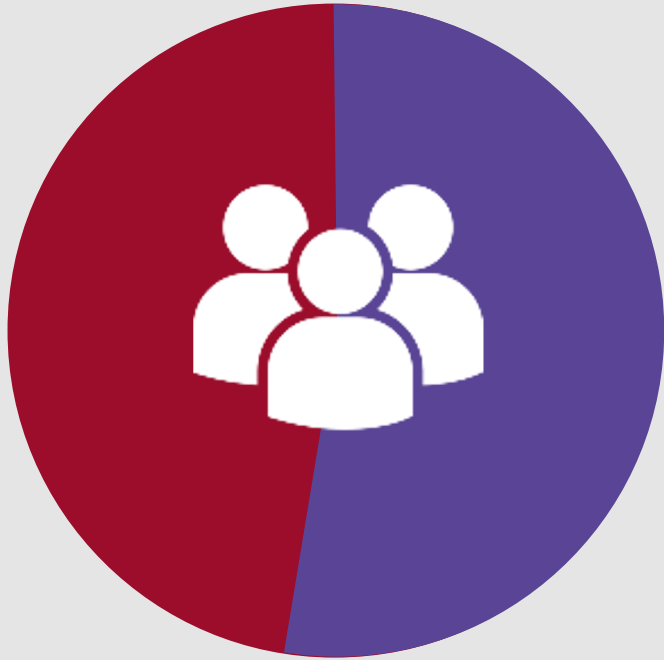
... 世界のCO2排出の
0,1 %に寄与

19カ国とのコラボレーション

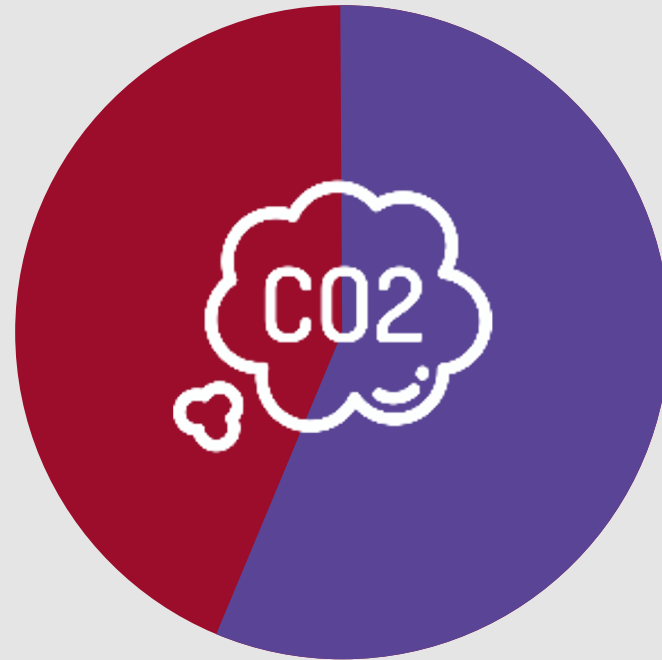


気候政策の更なる展開：グローバルな影響力

パートナーと合わさると...

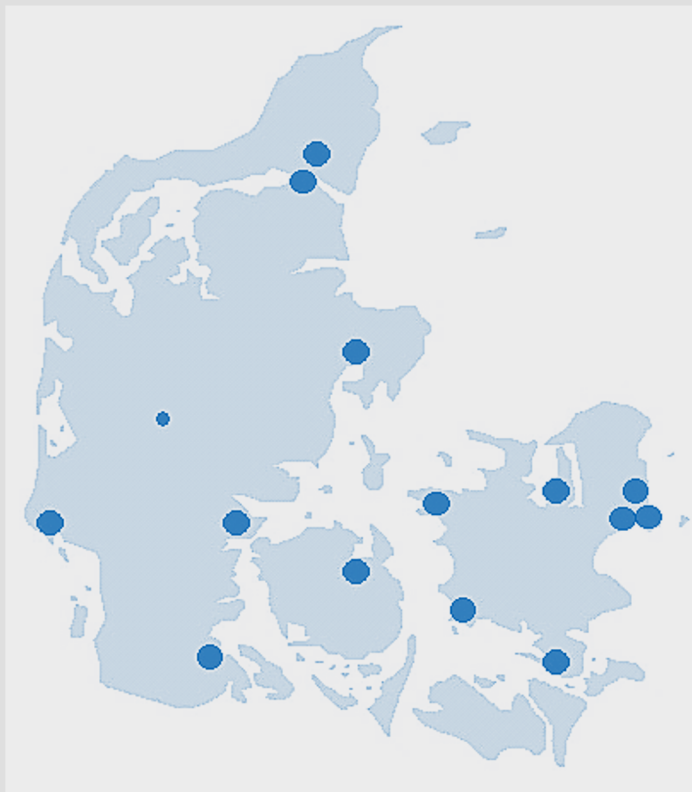


... 世界人口の
~58%に相当

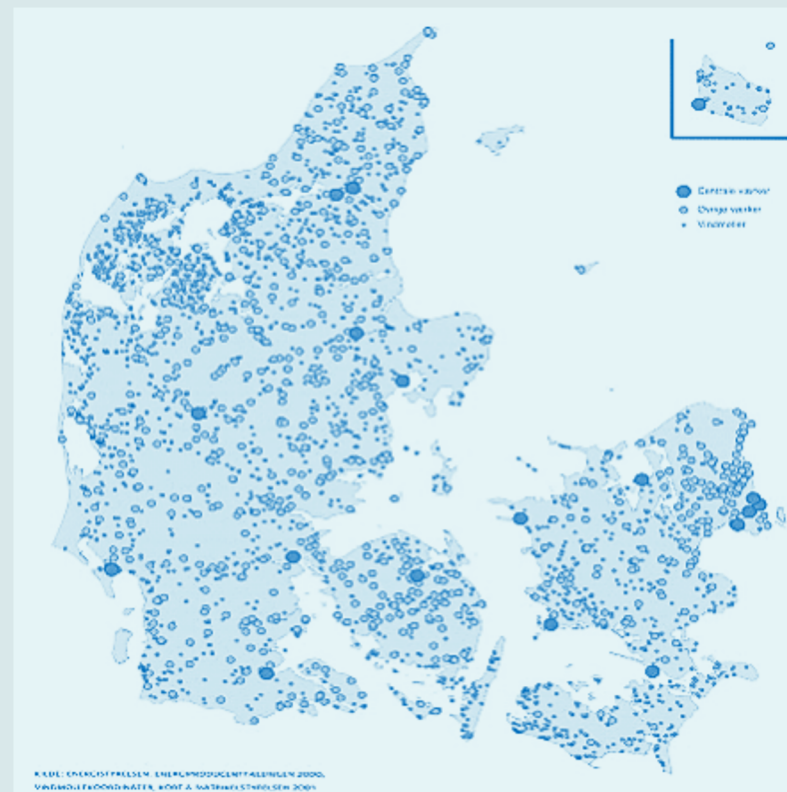


... 世界のCO2排出の
60%を占める

Power production
in mid-1980s

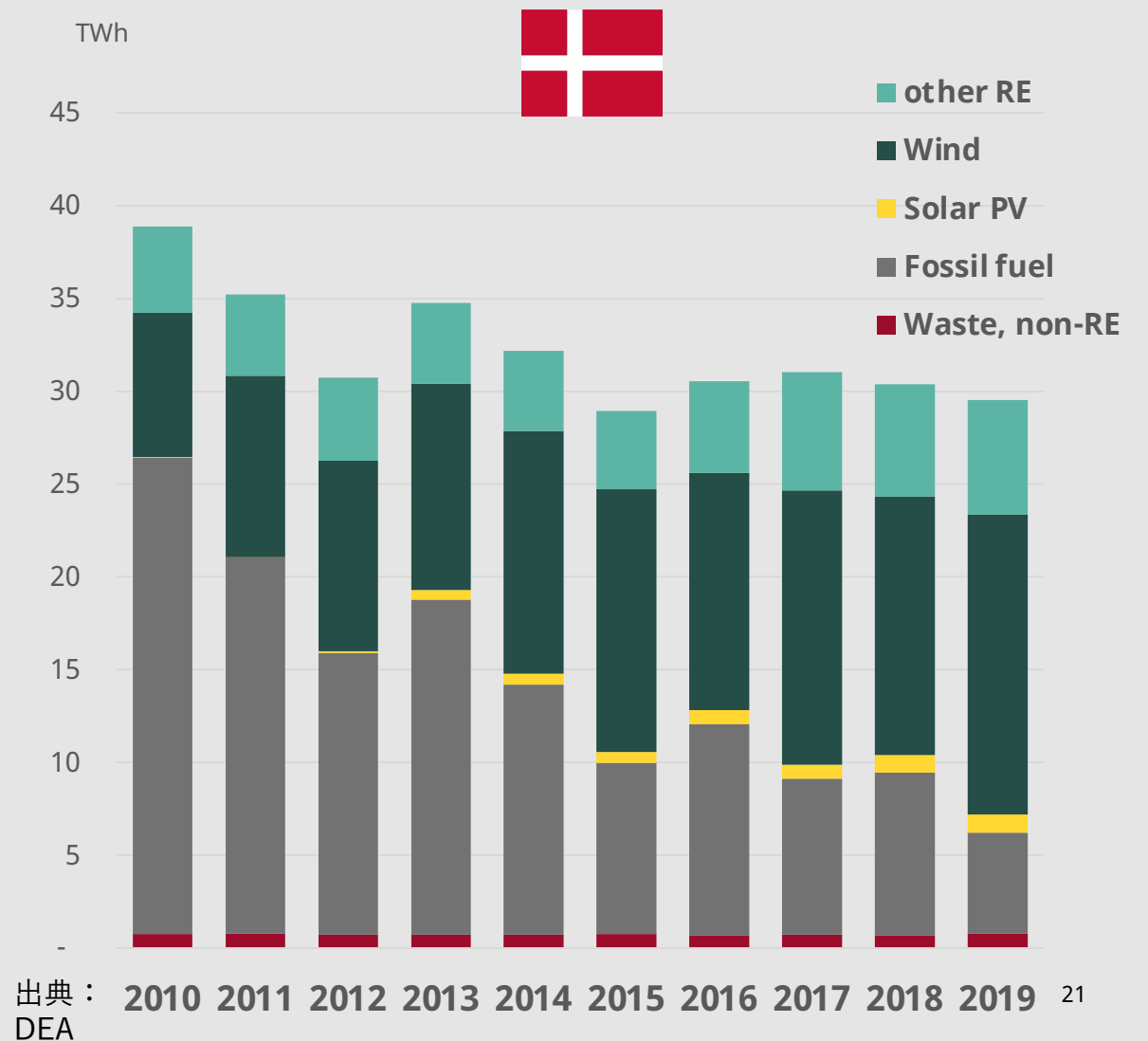
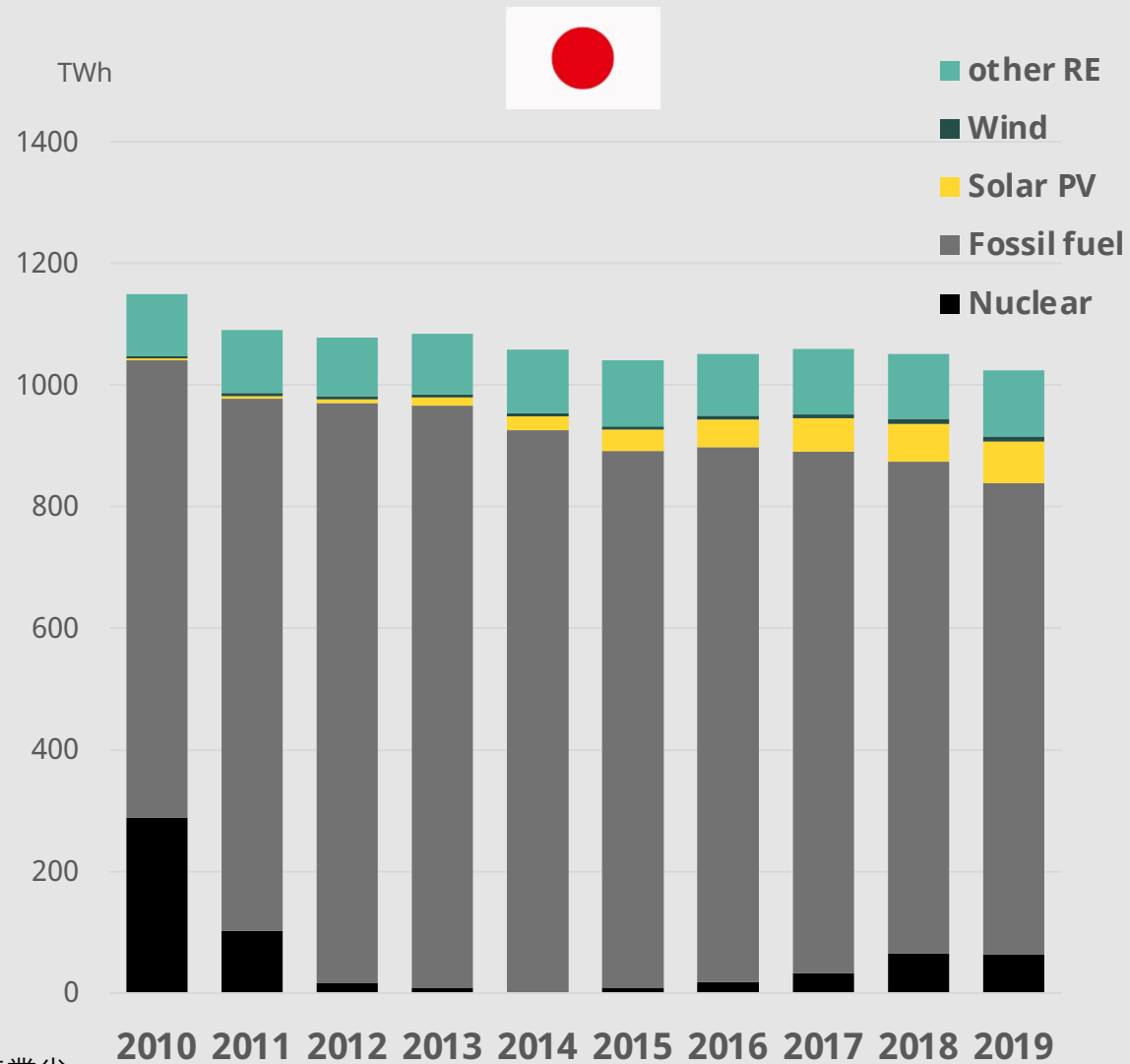


Power production
today



再エネ主力のエネルギーシステム

電気は何から作られている？



デンマークにおける再エネ拡大の道具箱



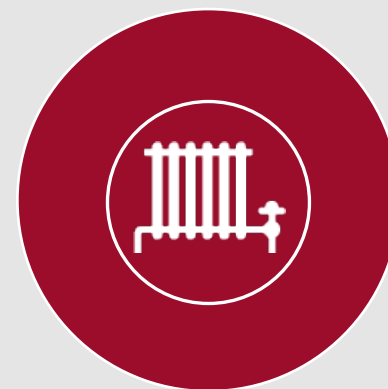
エネルギーシステム
・シナリオ



風力

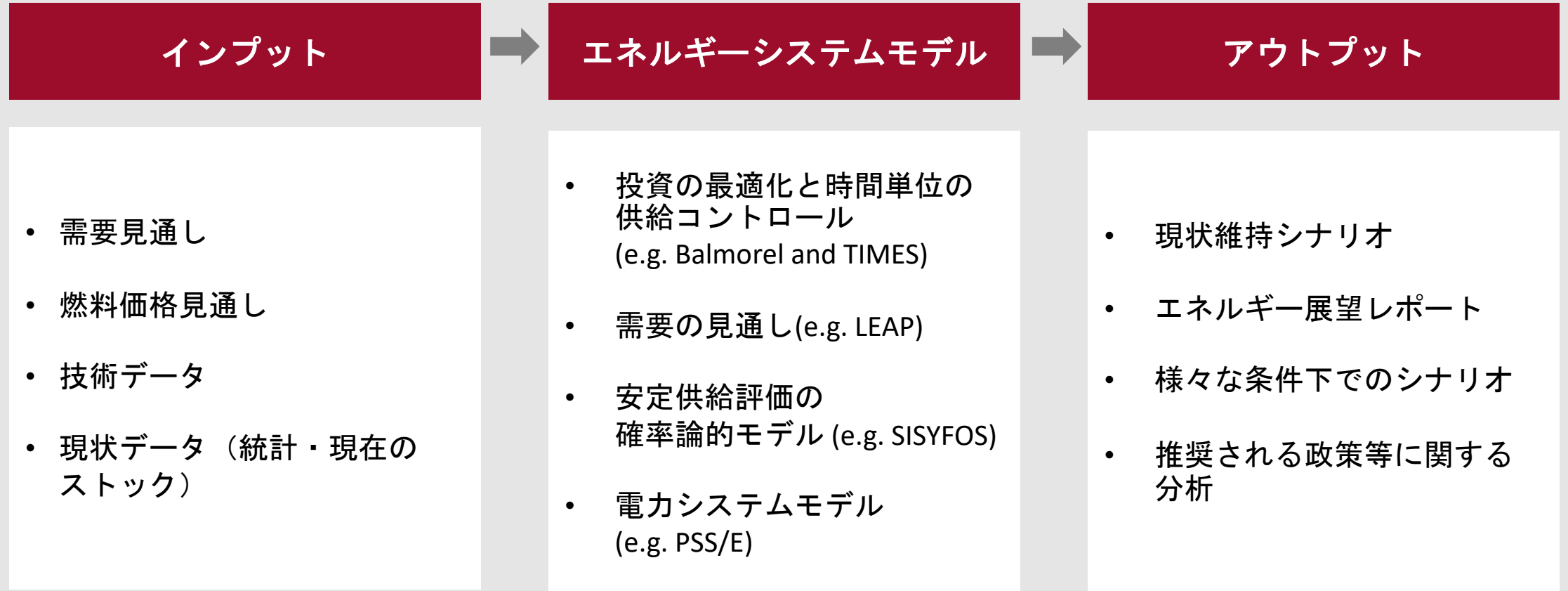


フレキシビリティ
・発電所



エネルギー効率化
・地域熱供給

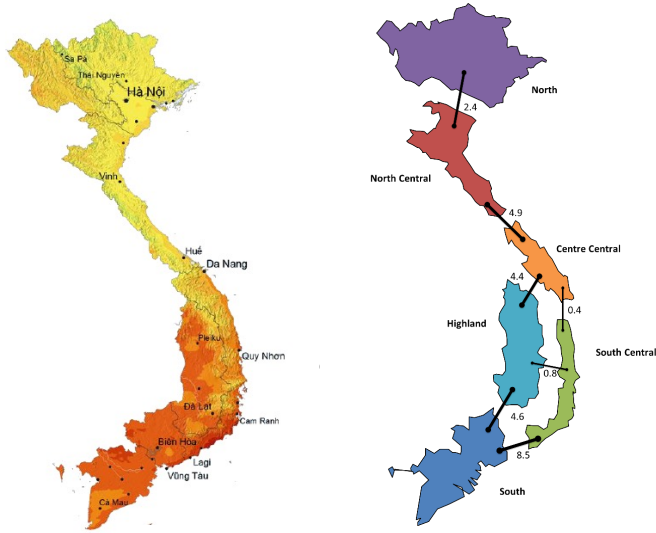
エネルギー計画づくりのアプローチ



- コンピュータモデルの積極活用
- 長期視野・複数シナリオの分析

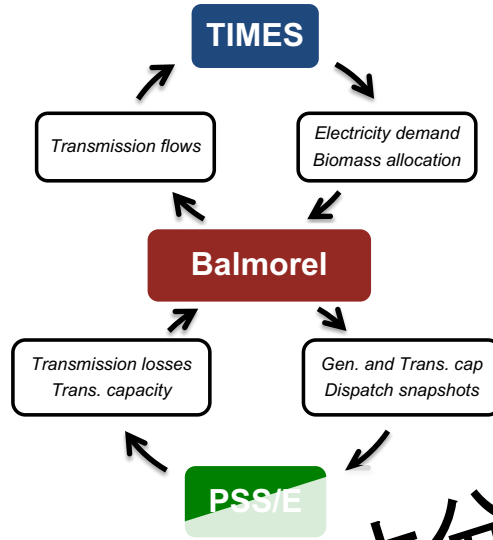
The machinery behind the EOR19

Solid data and advanced modelling



RE resource data

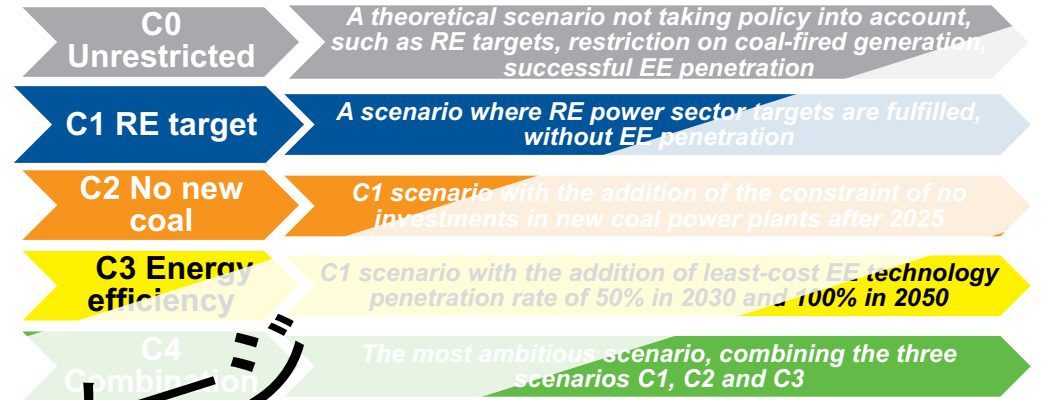
6 model regions



3 models linked

The five EOR19 scenarios

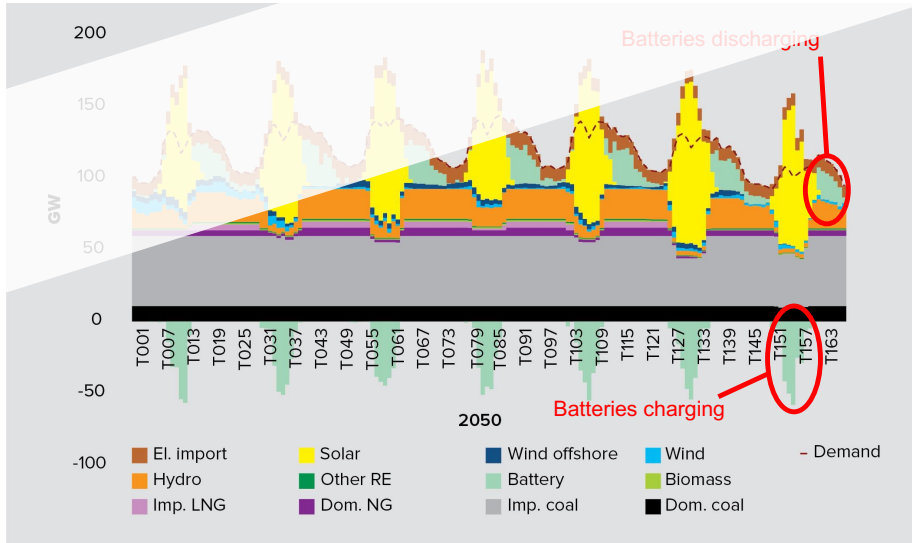
Each with a different feature to clearly analyse energy system development



"The scenarios are not intended as the 'recommended' energy system pathways, but rather meant as indicative 'what-if' scenarios from which insights have been drawn on the relevant themes for the Vietnamese context."

Electricity storage in a key role

Power system balancing



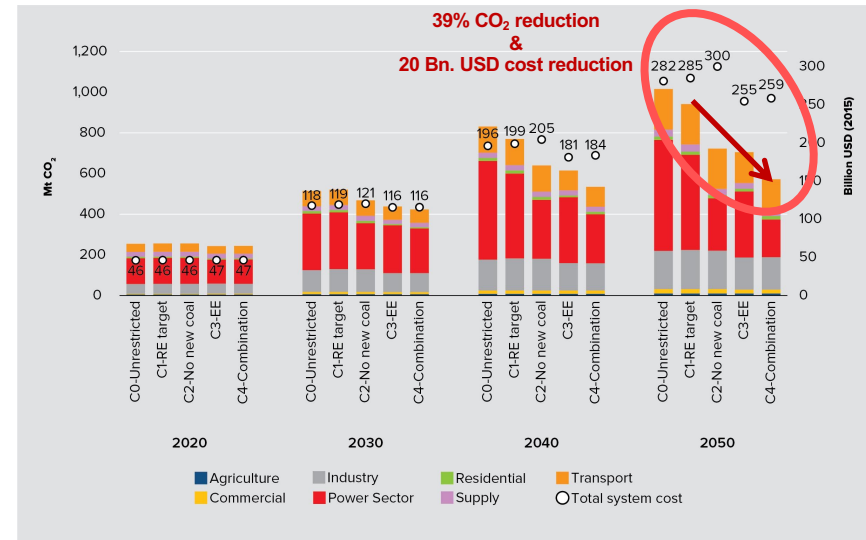
Hourly dispatch in week 39 (high demand) in 2050

2050:
0.5 GW batteries for each GW wind and solar

RECOMMENDATION
Stepwise RE integration
Short term: Grid
Long term: storage

CO₂ emission is increasing fast but the trend can be reduced

Climate impact and pollution



Energy CO₂ emissions (left axis) by sector and total system cost (right axis)

EE + RE + LNG can reduce CO₂:
19% in 2030
39% in 2050

RECOMMENDATION
2030 CO₂ target aligned with restriction on coal, cost effective EE and RE expansion

デンマークの 風力開発

2019年のデンマーク風力

設備容量 6,103MW

うち陸上風力 4,402MW

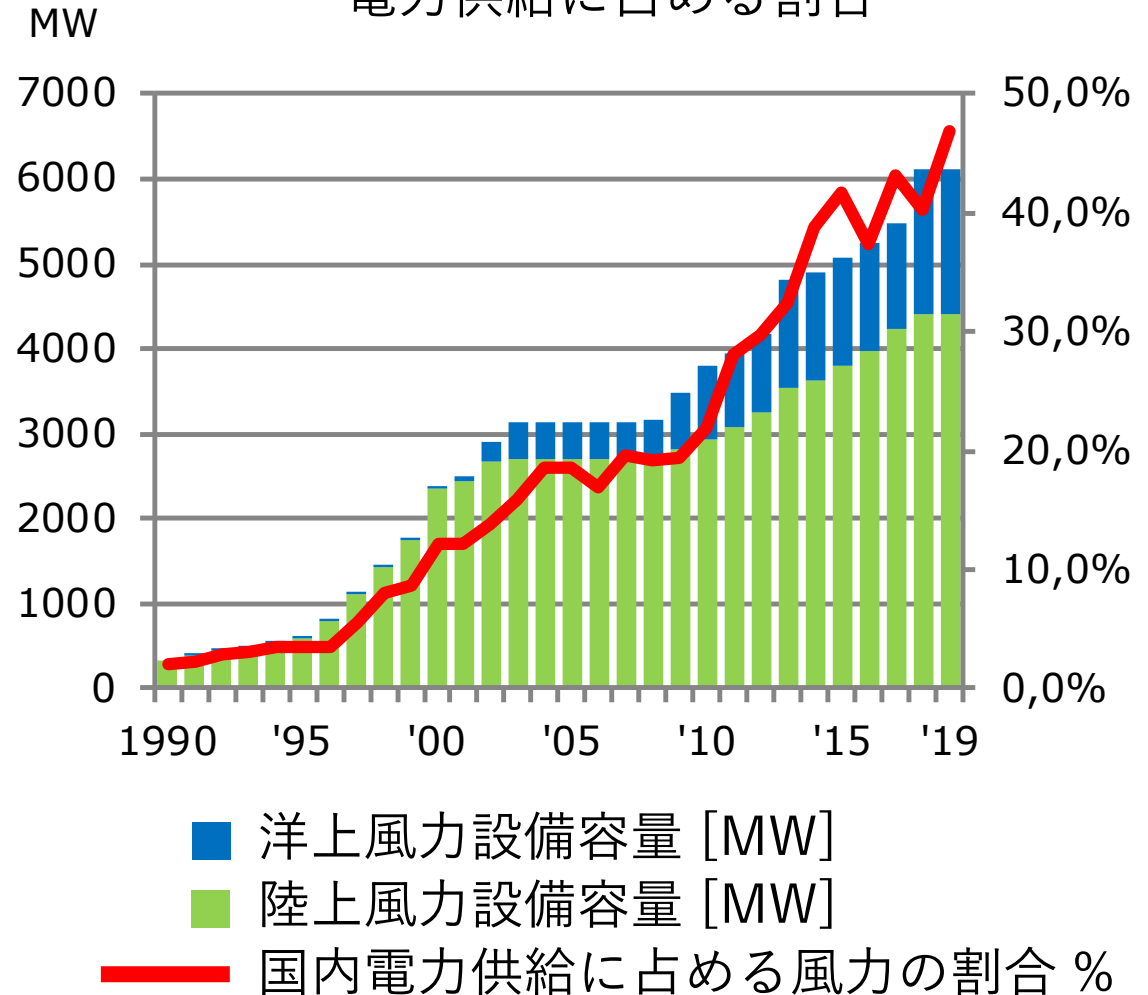
うち洋上風力 1,701MW

電力供給に占める割合 46.8%

トレンド

- 洋上風力の拡大
- 風車の大型化

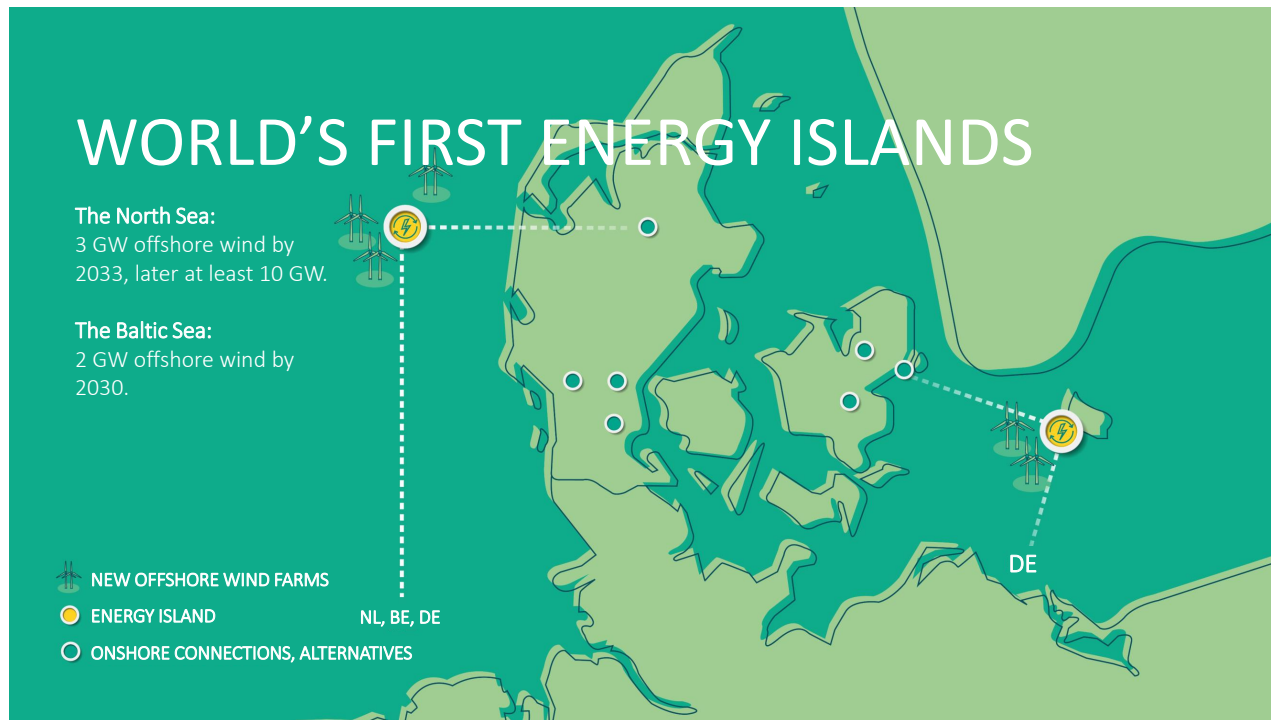
デンマークの風力累積設備容量と
電力供給に占める割合



デンマークの 風力開発：今後

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



出典：Energinet

風力開発の 拠点港： エスビャウ



エスビャウ港の歴史

漁港



1873 - 2007

北海における漁業、英国への輸送等において存在感

石油・ガス生産の拠点



1972 →

北海における国産エネルギー資源の生産において重要な拠点となる

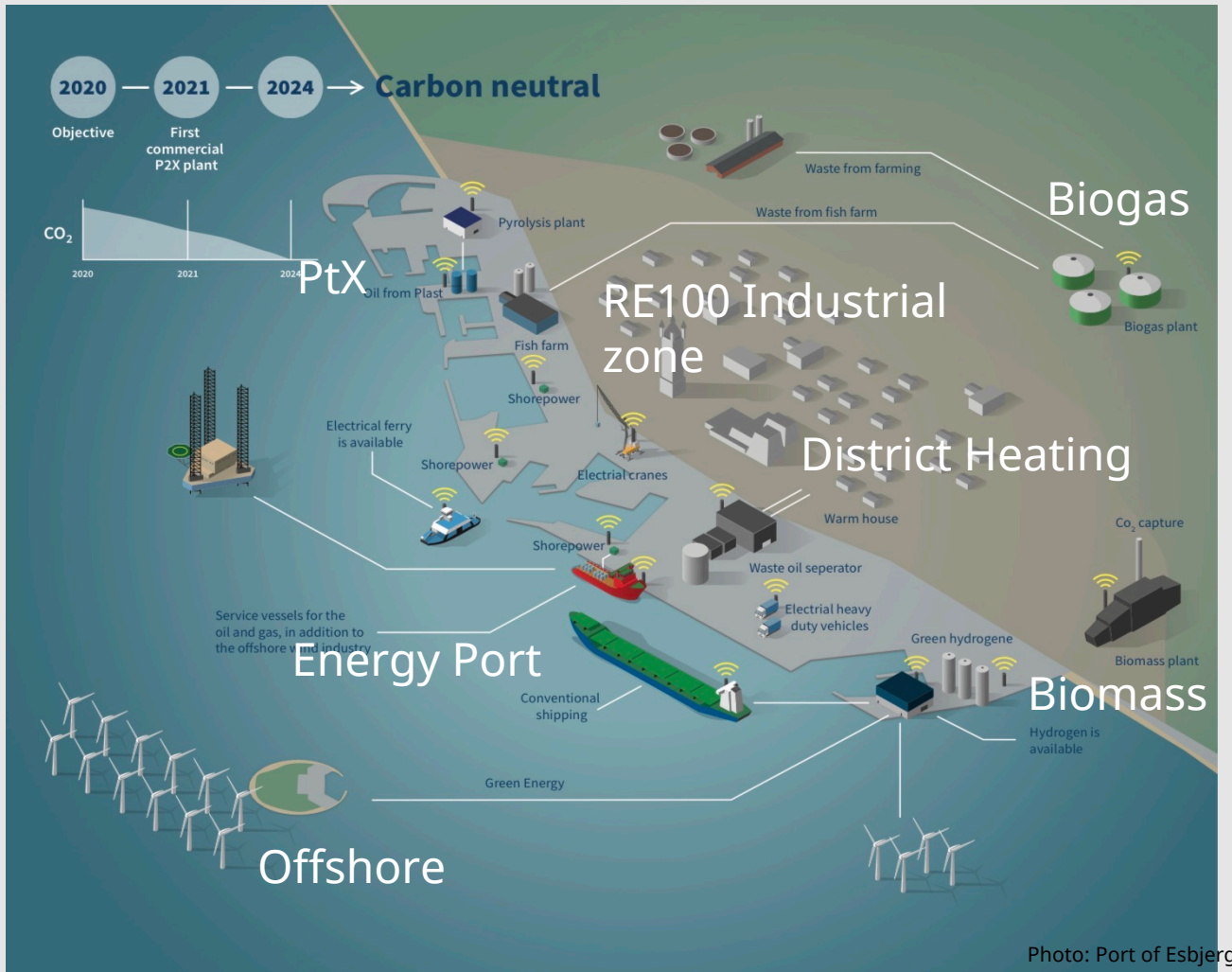
北海の洋上風力の導入・保守拠点



2000 →

北海における洋上ウインドファーム・風力タービンの開発において拠点となる

エスビャウ港周辺の取組み



- 洋上風力
- エネルギー港(風力拠点港)
- 再エネ100%産業団地
- 地域熱供給
- バイオマス、バイオガスの活用
- PtX: 再エネ電力由来の燃料製造

再エネ大量導入の鍵：フレキシビリティ（柔軟性）

2000-2004

第一期

2005-2009

第二期

2010-2015

第三期

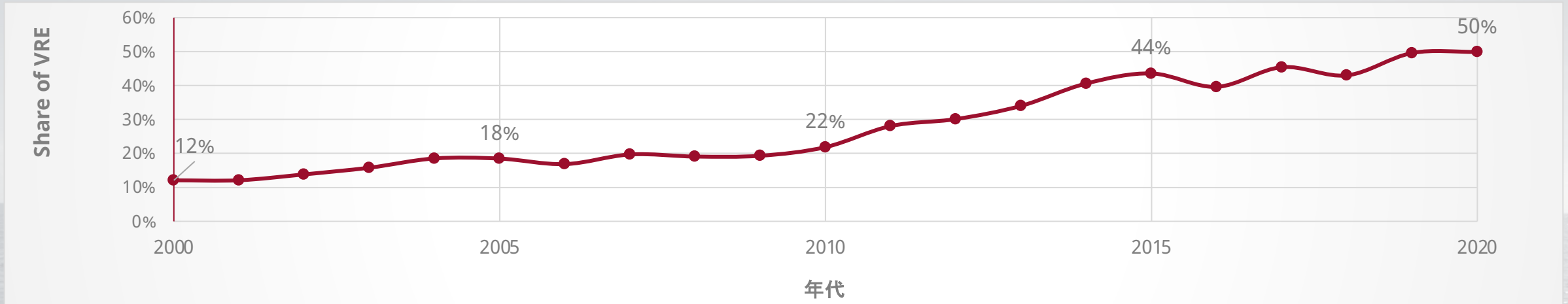
2016-2020

第四期

どのようにして、変動性再エネ（VRE）をエネルギーシステムに統合していったのか？



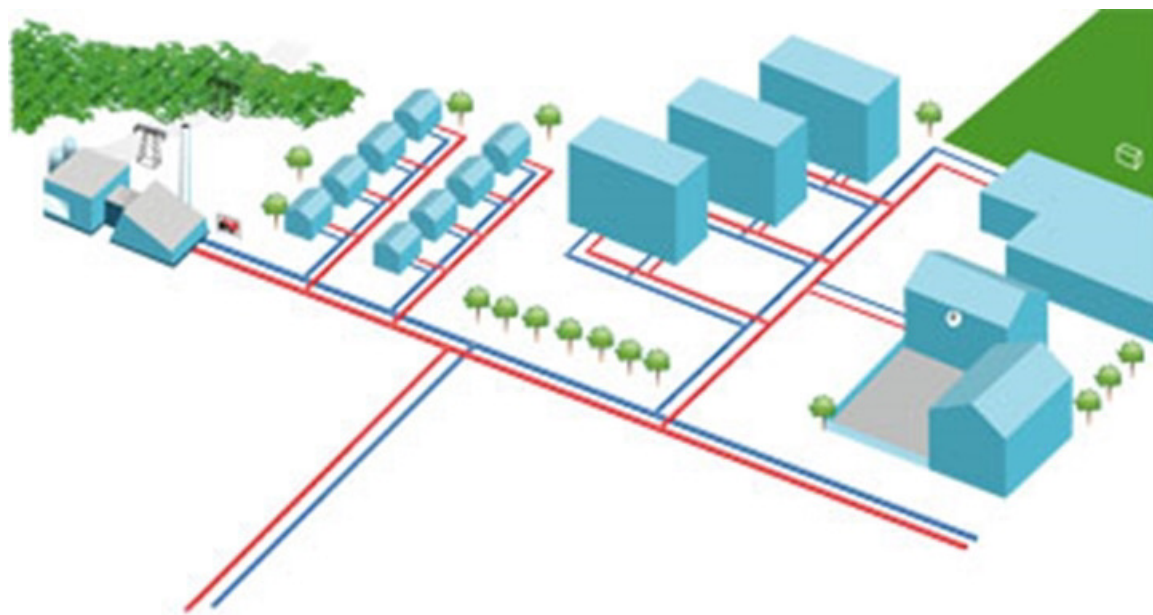
各ステージにおけるフレキシビリティ（柔軟性）確保手段



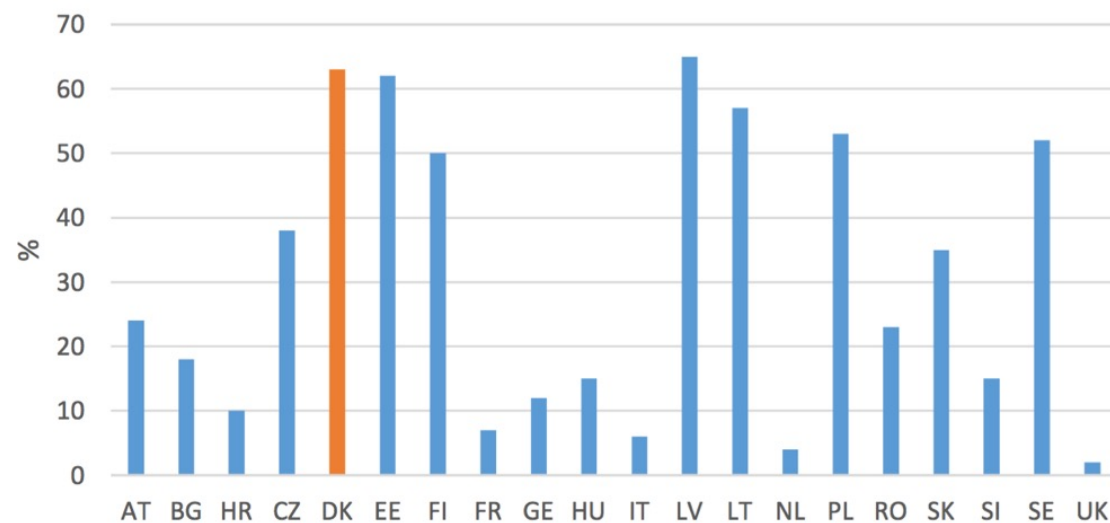
	2000-2004	2005-2009	2010-2015	2016-2020	2020年以降
フレキシブルな火力発電所	Dark Green	Dark Green	Dark Green		
連系線の利用	Dark Red	Dark Red	Dark Red	Dark Red	
予測およびスケジューリングシステム		Light Pink	Light Pink	Light Pink	Light Pink
セクターカップリング		Red	Red	Red	Red
需要側フレキシビリティ				Teal	Teal

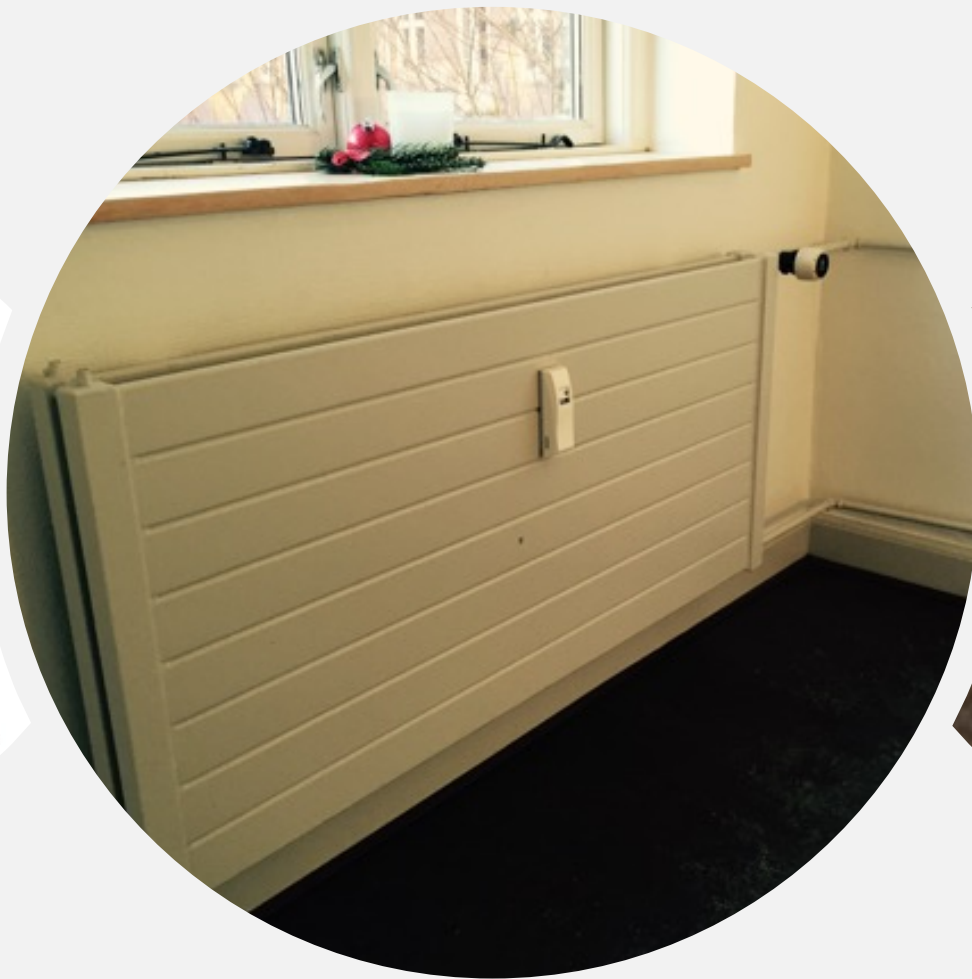
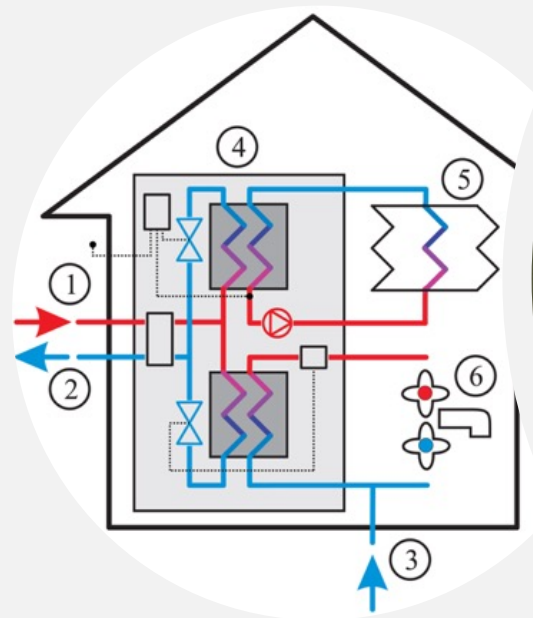
地域熱供給

- 大規模なボイラーや焼却施設から周囲に熱を供給
- 暖房や給湯に利用し、消費者は電力料金を支払うように熱料金を支払う（熱メーターで計測）



Percentage of citizens served by district heating





麦わらボイラー



発熱量	15.0MJ/kg (15% w.b.)
灰量	5%
効率	最大 95.9%
標準規模	100 – 15,000 kW

- わらべールをシュレッダーで粉砕してボイラーへ投入
- クリンカ発生防止&効率向上のための設計、燃焼コントロール
- 可動式階段型火格子

Electronic control and surveillance system

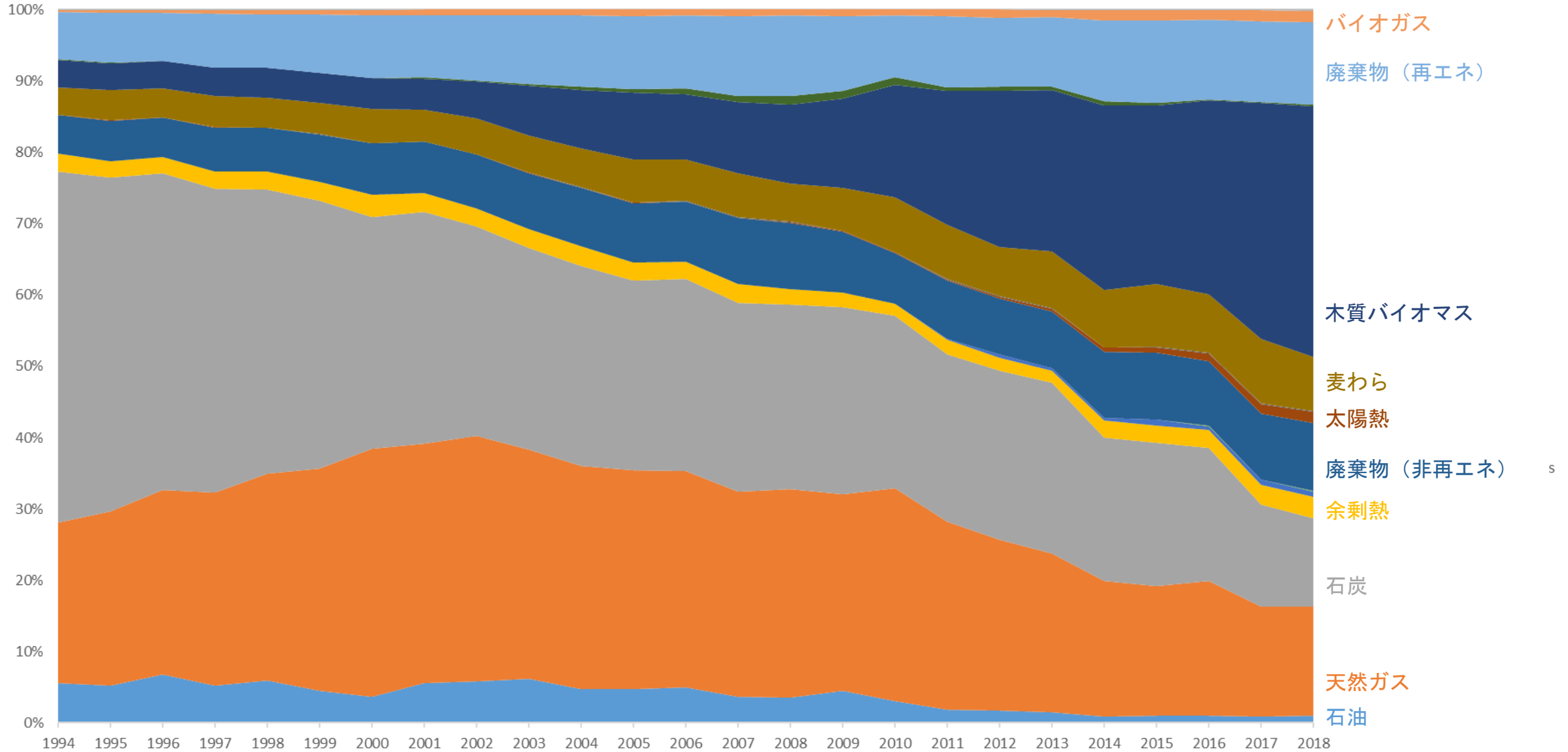
Control and surveillance of the plant is based on a PLC control system (Programmable Logic Controller). This ensures controlled regulation of fuel supply to maintain maximum heat production from the boiler. All set points are readable and can be adjusted on a touch screen display. The oxygen percentage can also be read simultaneously on the display. Furthermore there is an alarm outlet on the control system.

The control system can also be connected to the internet and accessed by computer, tablet or smartphone. This enables you to receive remote support from Linka during commissioning and maintenance, and in the event of a disruption.

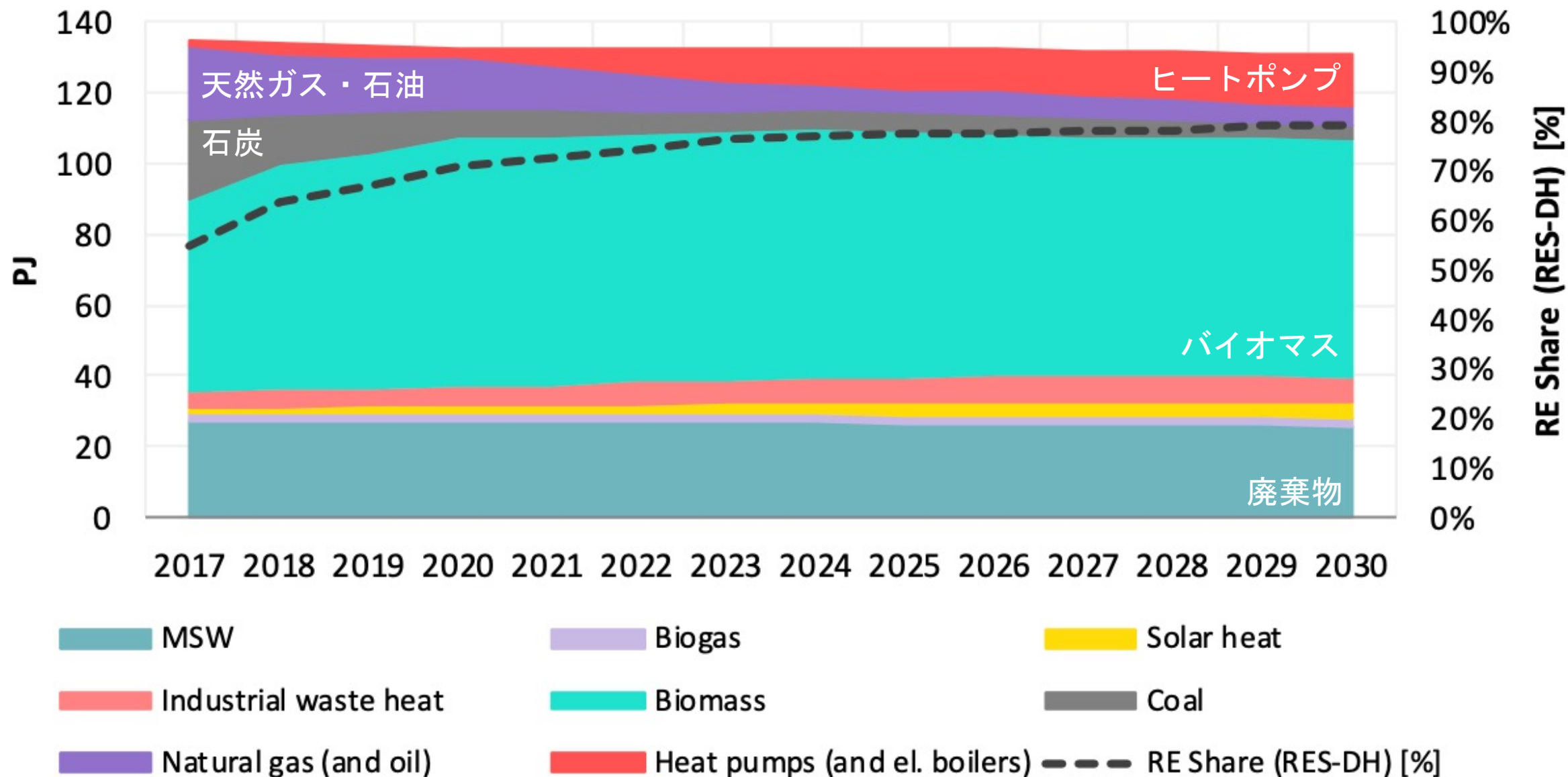


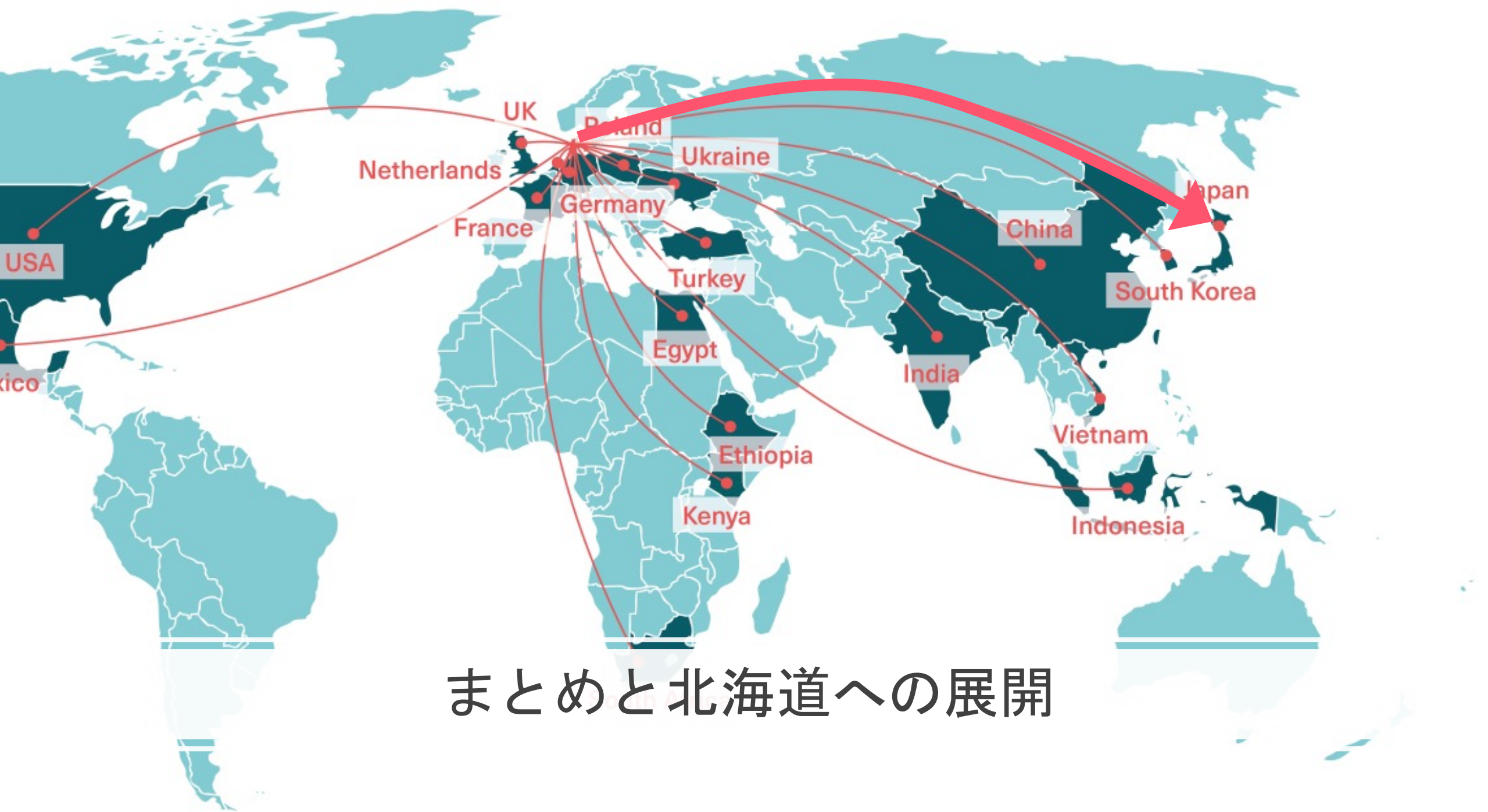
地域熱供給の熱源：これまで

District Heating Production by Fuel



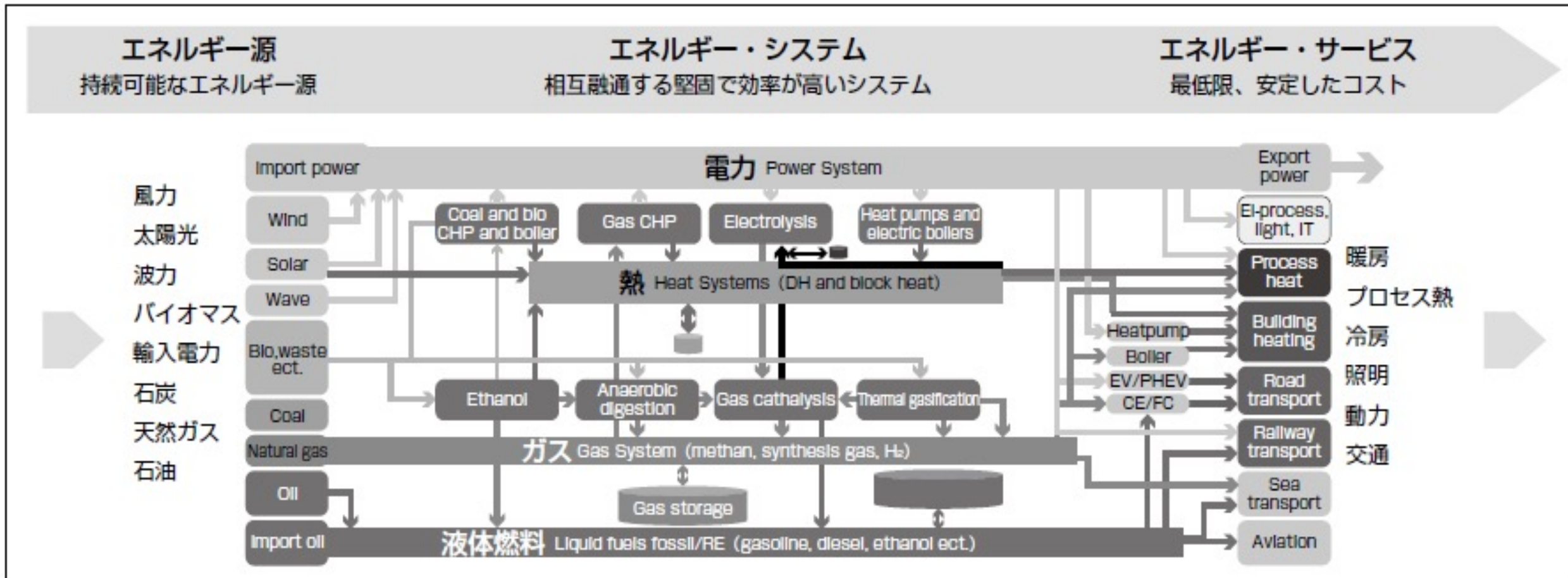
地域熱供給の熱源：これから





まとめと北海道への展開

デンマークのエネルギーシステム全体像



出典：Energinetより
筆者和訳加筆

北海道との相違点と適用可能性

豊富な風況と海に囲まれた地形

- 陸上風力、洋上風力の積極展開
- 風力拠点港の整備
- 風力由来電力による燃料生産

寒冷な気候、セントラルヒーティングによる暖房


- 地域熱供給の積極展開
- 熱と電気のセクターカップリングによる柔軟なエネルギーシステム運用

畜産、酪農など産業の相違

- バイオマス資源の積極活用

その他、残された論点（時間があればお話します）

- デンマークは1985年の時点で原子力を永久放棄。この背景は？
- デンマークはなぜここまで「グリーン移行」へのモチベーションが高いのか？
具体的なメリットは？
- 再エネ開発における、生態系や社会的受容性に関する取り組みは？
- 変化によって失われた雇用はなかったのか？
- 歴史や文化、社会システムから日本・北海道との違いを見るとどうか？
エネルギーの取り組みにも影響する？



ご静聴ありがとうございました

高橋叶
kantak@um.dk