



ROYAL DANISH EMBASSY
Tokyo

デンマークの 風力主力化モデル

デンマーク大使館 エネルギー担当官
高橋叶



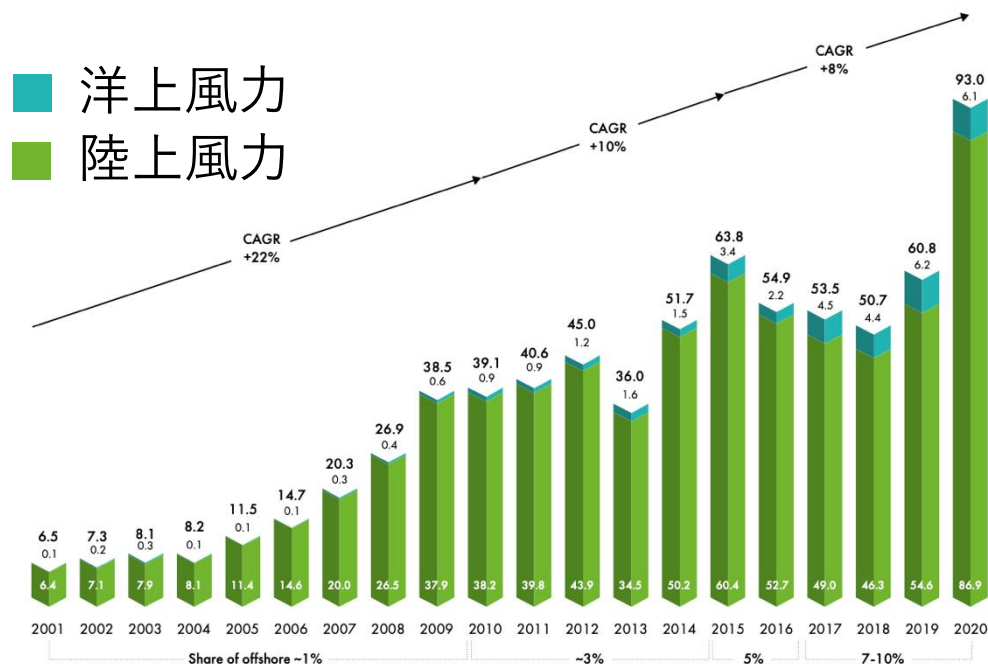
本ご紹介する内容

- 脱炭素化における風力の立ち位置
- デンマークにおける脱炭素化の取組み
- デンマークの風力開発：過去・現在・未来
- 風力の大量導入を支える政策：ファイナンス・計画枠組み・入札制度
- 風力の大量導入を支えるエネルギーシステム
- 日本への展開に向けて

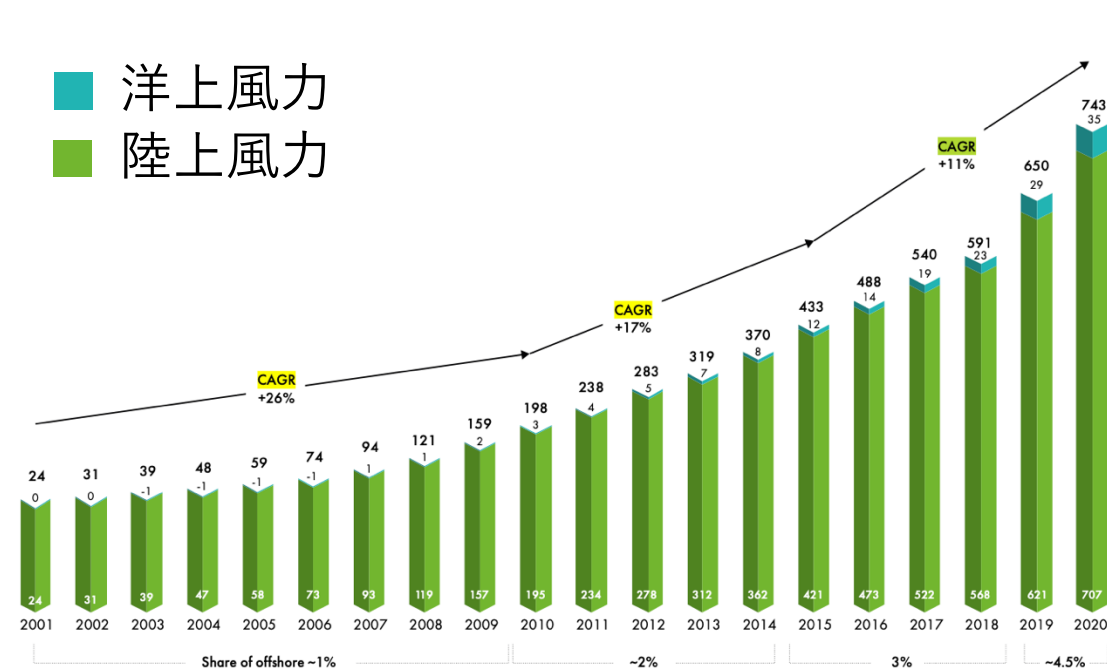
脱炭素化における 風力の立ち位置

- 導入量は着実に拡大
- 2020年の新規導入量は93GW、
累積設備容量は743GWに達した

世界の年間新規導入量[GW]



世界の累積導入量[GW]



Global Wind Energy Council. (2021). Global Wind Report 2021.に筆者和訳加筆

脱炭素化における 風力の立ち位置

陸上風力もまた、広く支持され急速にスケールアップが可能な市場に適応する低コスト技術であり……。
洋上風力は近年急速に習熟しており、眼前に迫る導入加速に備えているところである。現在は着床式に焦点が当たっているが、浮体式についても2030年ごろから重要な貢献を果たすと見られる。（筆者和訳）



costs, widespread policy support and maturity of an array of renewable energy technologies. Solar PV is first among them: it is the cheapest new source of electricity in most markets and has policy support in more than 130 countries. Onshore wind is also a market-ready low cost technology that is widely supported and can be scaled up quickly, rivalling the low costs of solar PV where conditions are good, though it faces public opposition and extensive permitting and licensing processes in several markets. Offshore wind technology has been maturing rapidly in recent years; its deployment is poised to accelerate in the near term. The current focus is on fixed-bottom installations, but floating offshore wind starts to make a major contribution from around 2030 in the NZE, helping to unlock the enormous potential that exists around the world. Hydropower, bioenergy and geothermal technologies are well established, mature and flexible renewable energy sources. As dispatchable generating options, they will be critical to electricity security, complemented by batteries, which have seen sharp cost reductions, have proven their ability to provide high-value grid services and can be built in a matter of months in most locations. Concentrating solar and marine power are less mature technologies, but innovation could see them make important contributions in the long term.

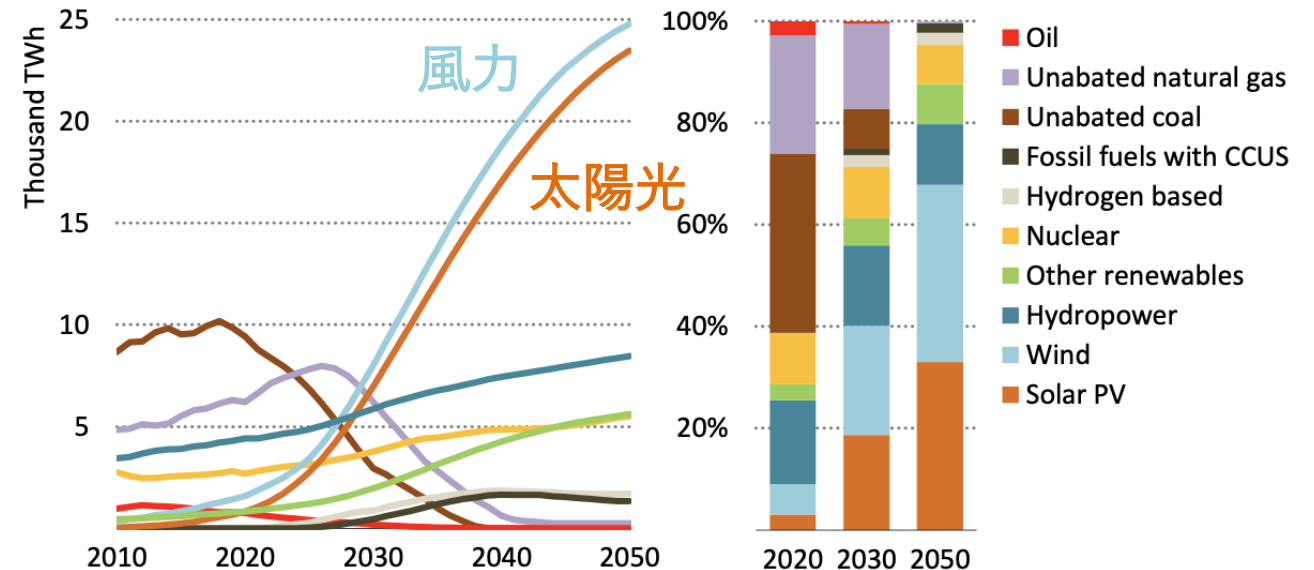
International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. 116.

脱炭素化における 風力の立ち位置

IEAの2050ネットゼロシナリオにおいて、風力は太陽光とともに主力電源として重要な役割を果たすと想定

2050年のネットゼロシナリオにおける 電力の生産シェア（世界全体）

Figure 3.10 ▶ Global electricity generation by source in the NZE



IEA. All rights reserved.

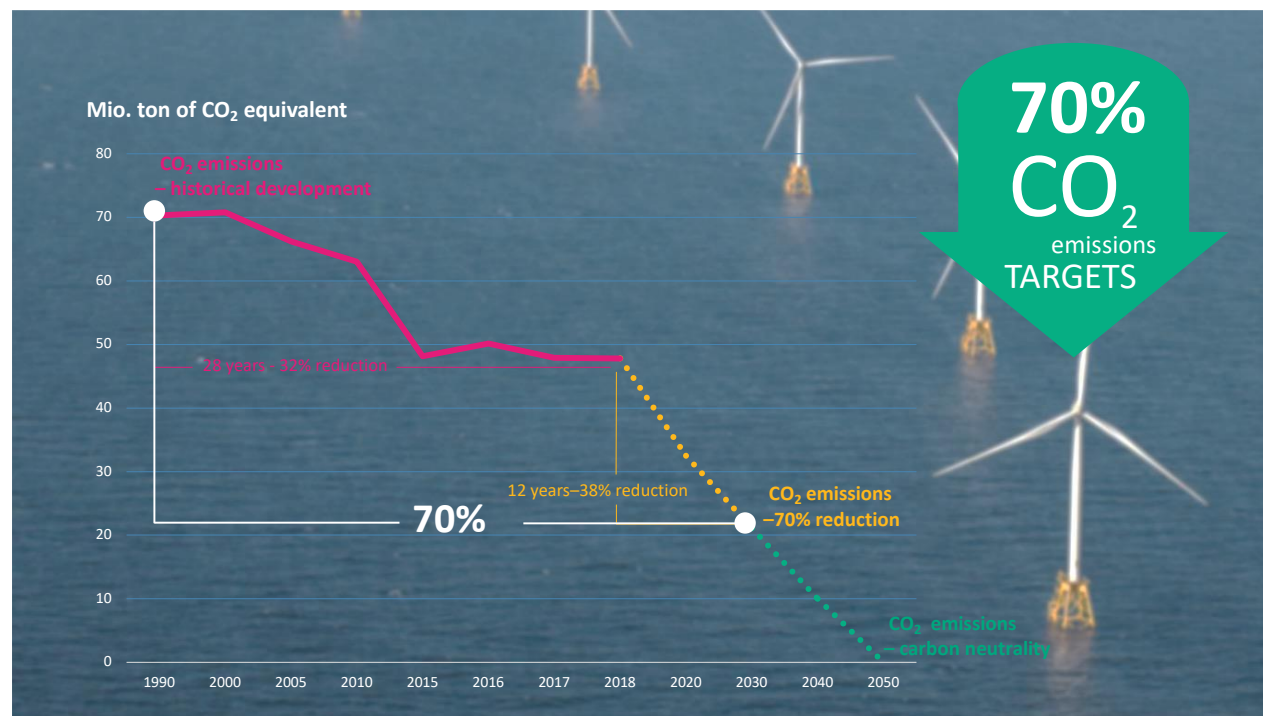
Solar and wind power race ahead, raising the share of renewables in total generation from 29% in 2020 to nearly 90% in 2050, complemented by nuclear, hydrogen and CCUS

International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector.に筆者和訳加筆

デンマークにおける 脱炭素の取組み

- 2050年までに化石燃料から完全撤退（国会議員9割以上の合意）
- 2030年までに1990年比で70%減を目指す

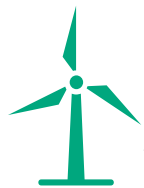
デンマークのCO₂削減：実績値と展望



State of Green. 70% emission reduction by 2030.

※State of Greenの公開する、デンマークのグリーン産業プロモーション用スライドを借用
<https://stateofgreen.com/en/toolbox/category/presentations>

デンマーク風力開発の歴史



1891

風力発電の「創始者」ポール・ラクールが政府ファンドで風車建設



1970～

石油危機以後

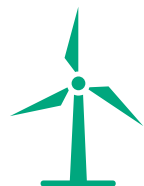
- 当時9割以上を輸入資源に依存、壊滅的なダメージ
- デンマーク初のエネルギー計画策定の後、電力供給法、熱供給法、天然ガス供給法が形作られる



1980～

大規模集中型エネルギーシステムの構築

- 原発の導入は行わないことを決定
- 石油への依存度を下げつつ、大規模石炭火力の開発を進行



1991

世界初の洋上風力を建設（Vinderby町、450kW×11基）



1990～

気候変動対策・小規模分散型エネルギーシステムへの移行

- CO2削減目標の設定が始まる
- CHPと風力による小規模分散型エネルギーシステムへ



デンマークの 風力開発：現在

2019年のデンマーク風力

設備容量 6,103MW

うち陸上風力 4,402MW

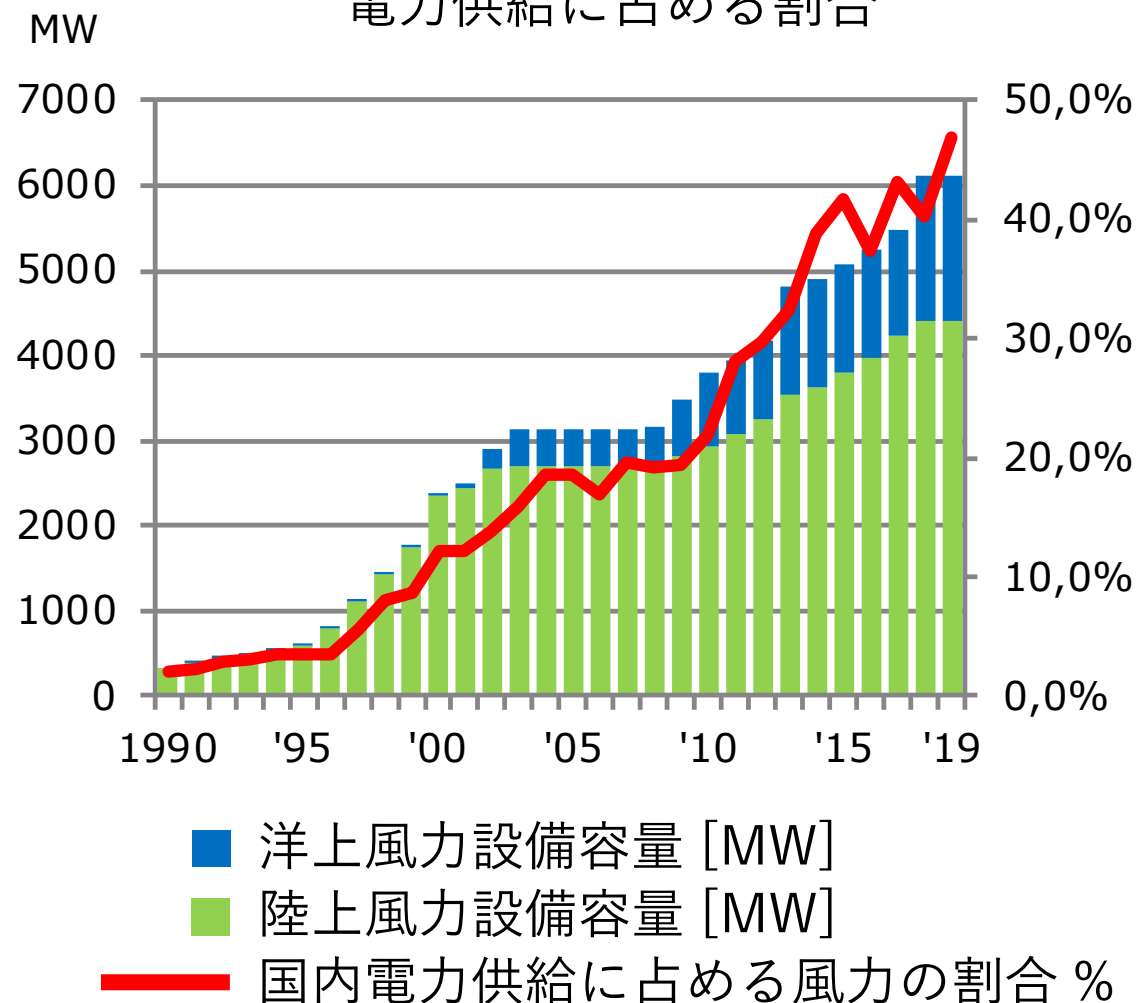
うち洋上風力 1,701MW

電力生産に占める割合 46.8%

トレンド

- 洋上風力の拡大
- 風車の大型化

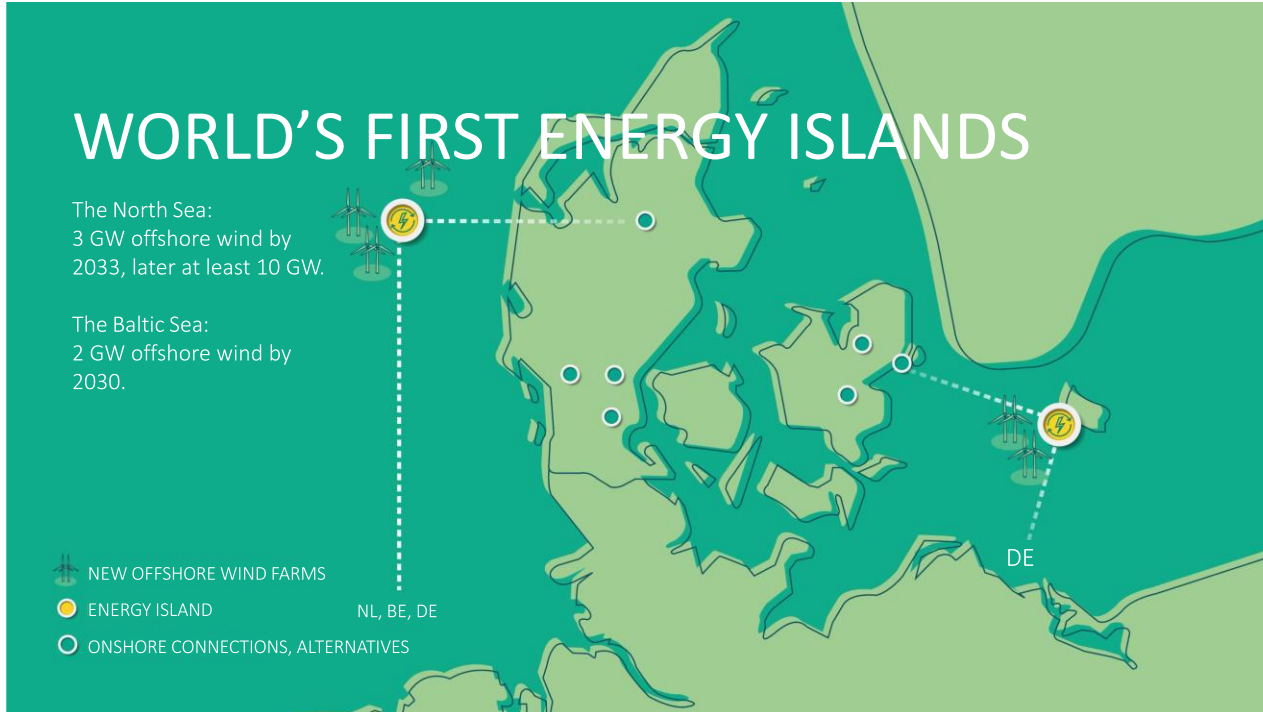
デンマークの風力累積設備容量と
電力供給に占める割合



デンマークの 風力開発：未来

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

風力大量導入を支える政策：ファイナンス

1979~1989

事業費補助

- ピーク時で事業費30%の補助

1992~2008

Feed-in-Tariffs (FIT), 固定価格買取制度

- 固定価格での売電を保証
- 民間投資に安定的で信頼できるインセンティブを与え、産業にとっての主要な推進力となる

2008~

Contract for Difference (CfD), 差額決済取引

- 市場価格に上乗せしてプレミアムを受け取る（合計値に上限あり）
- 市場価格がマイナスの場合プレミアムは受け取れない
- 市場価格と「CfD価格」の差で決まるため、逆に発電事業者側が支払いをするケースもある

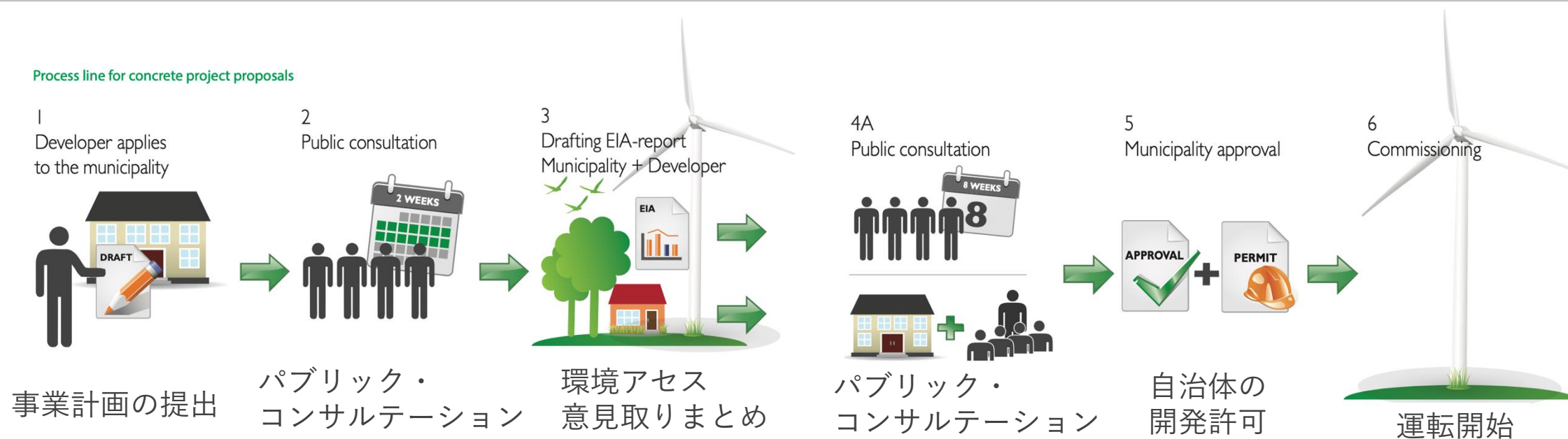


産業の習熟度を見ながら、どのタイミングで
どの程度・どのような補助を行うかが重要



風力の大量導入を支える政策：計画枠組み

- 初期には地域住民による風力協同組合が主導
- 風車の大型化に伴い民間企業の役割が大きくなると、社会的受容性確保のための枠組みが発展



2009年からは「所有権の少なくとも20%を地元開放する」ことが義務化
→風車が回れば地元にお金落ちる仕組みに。

風力大量導入を支える政策：洋上風力の入札制度

公募前

デンマークエネルギー庁（DEA）主導の開発海域指定

国営TSO（Energinet）による指定海域調査

- 戦略的環境アセスメントおよび事前調査
- 入札に当たって必要となる情報を取りまとめ、公開

公募・入札

DEAによる公募

1. 公募開始
2. 事業者適格性審査と入札条件に関する協議
3. 価格入札の最終公募
4. 事業者らによる入札
5. 落札者の決定

事業実施

事業者による事業実施

- 事前調査費用の払い戻しと詳細環境アセスの実施
- 建設、運転開始

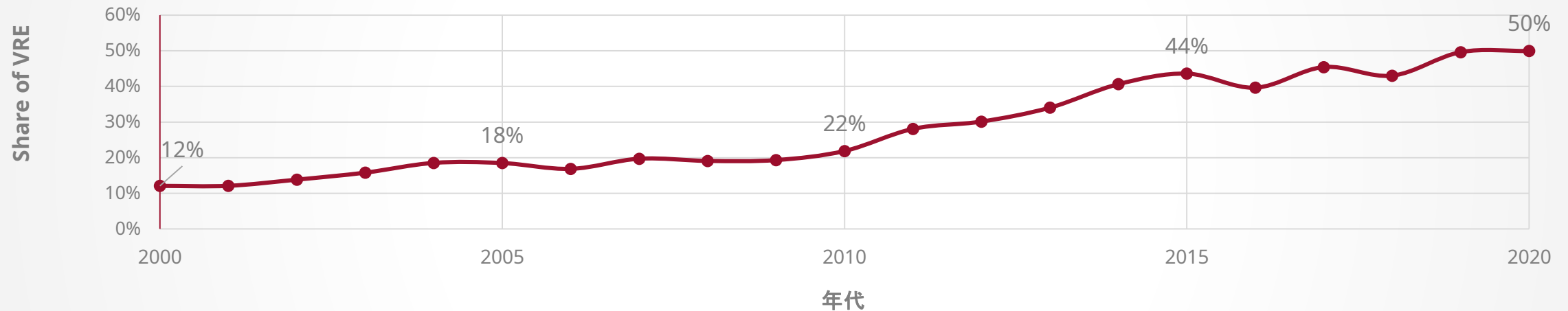


全ての必要な許認可を得るに当たって、事業者はDEAとのみやり取りすれば良い（セントラル方式）

→簡易で迅速な手続き



風力大量導入を支えるエネルギーシステム



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

日本への展開に向けて

日本においても、好ましい変化が進行中

- 風力導入の野心的な目標（2030年までに10GW、2040年までに30-45GW）
- 拠点港湾整備の進行
- 日本版セントラル方式の導入
- 電力系統のフレキシブルな運用への議論
- 電力市場の洗練への議論

一方で、30年以上取り組んできたデンマークと比較すると課題も山積

- セクターカップリングやデマンドレスポンスの活用（設備投資の蓄積がない）
- 風力サプライチェーンの構築

参考資料

- Global Wind Energy Council. (2021). Global Wind Report 2021.
- International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. 116.
- State of Green. 70% emission reduction by 2030.
- Danish Energy Agency. (2020). Energy Statistics in Denmark.
- Danish Energy Agency. (2015). Energy Policy Toolkit on Physical Planning of Wind Power: Experiences from Denmark
- Danish Energy Agency, Ea Energy Analysis, Energinet. (2017). Integration of Wind Energy in Power Systems – A summary of Danish Experiences