



**HITACHI**  
Inspire the Next



第23回福岡県地域エネルギー政策研究会

# 洋上風力発電と関連産業

2019年3月1日

日立製作所 新エネルギーソリューション事業部  
新エネルギーシステム本部  
松信 隆



## 目次

1. 市場動向
2. 風車と関連産業
3. 洋上関連産業
4. エネルギーインフラ
5. まとめ



# 1.市場動向

# 1.1.洋上風力発電の意義



1. 地球環境への貢献： 生涯CO2発生量が少ない  
経済的な電源、**豊富な洋上の風資源**

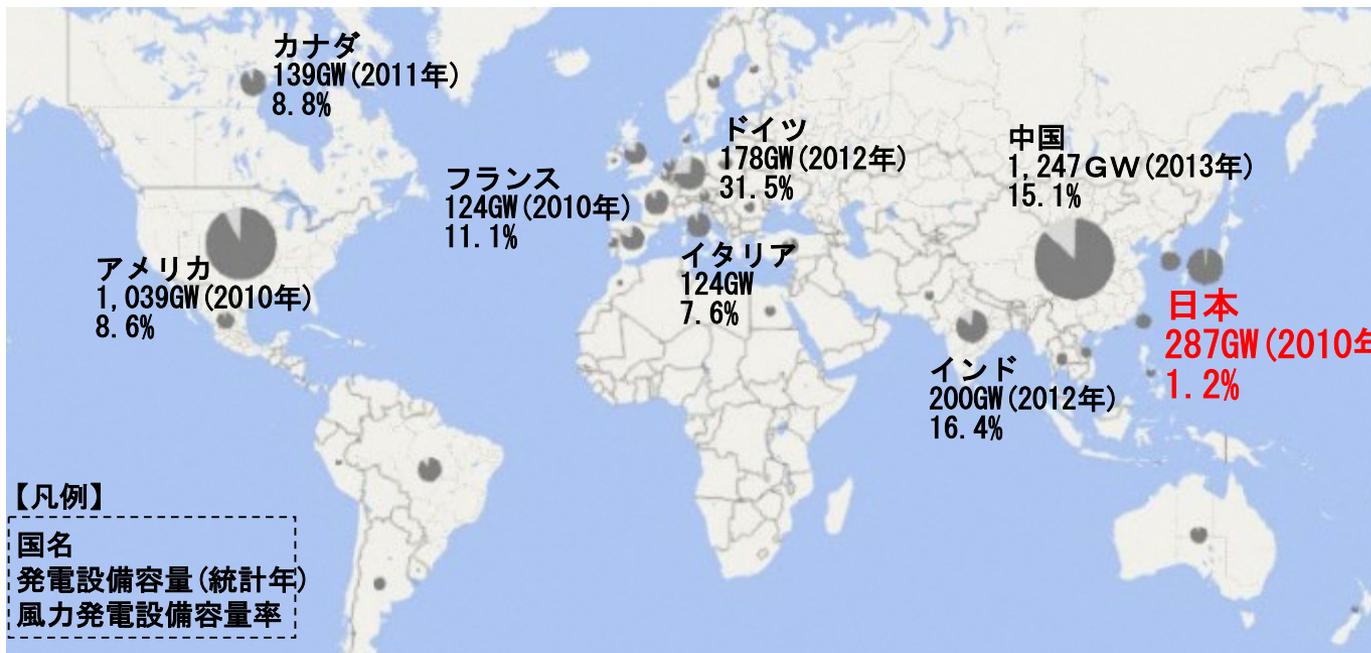
2. エネルギーセキュリティ：  
風資源は国産エネルギー、**広い排他的経済水域**

3. 産業波及効果：**港湾・船舶、工事、据付、**  
運転保守に至る **国内企業が参画し得る複合的な産業**

## 1.2.発電設備と風力導入

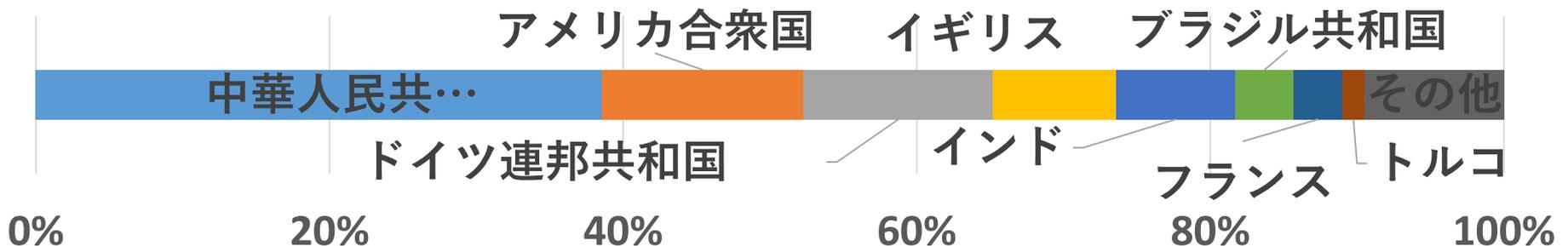
■ 日本は世界第3位の発電設備容量を有するも風力発電は1.2%で伸び代が大きい

### 主要国の発電設備と風力の設置割合



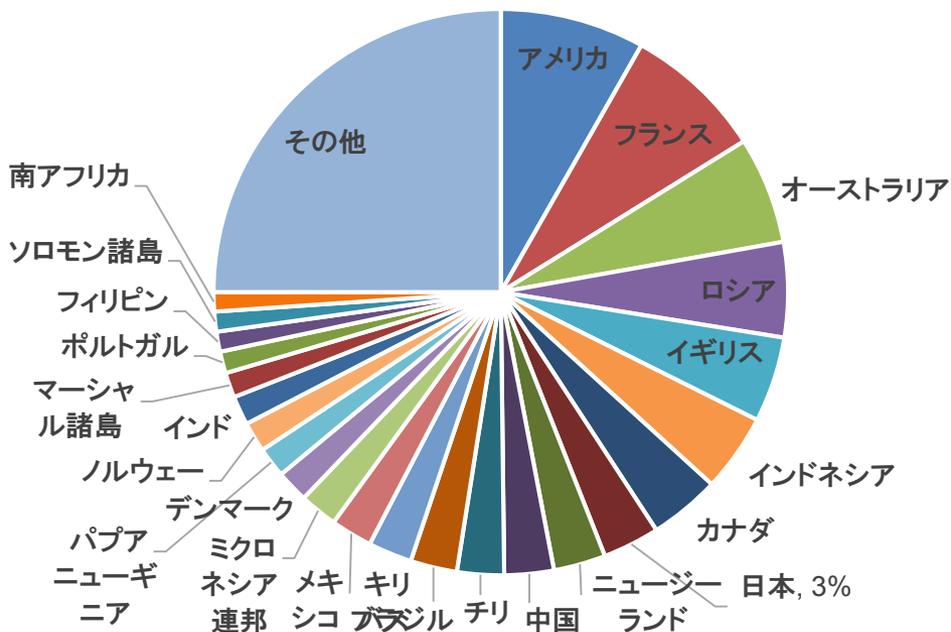
No.	国名	発電設備	風力
1	中国	1,247GW	15.1%
2	アメリカ	1,039GW	8.6%
3	日本	287.0GW	1.2%
4	インド	199.9GW	16.4%
5	ドイツ	178.4GW	31.5%
6	カナダ	138.6GW	8.8%
7	フランス	124.3GW	11.1%
8	イタリア	124.2GW	7.6%
9	ブラジル	113.7GW	11.2%
10	スペイン	101.7GW	22.8%
11	イギリス	89.2GW	21.1%
12	大韓民国	84.7GW	1.3%
13	メキシコ	62.0GW	6.5%
14	オーストラリア	59.1GW	7.7%
15	トルコ	49.5GW	13.8%

### 新規設置内訳(2017年、52.5GW、11兆円)

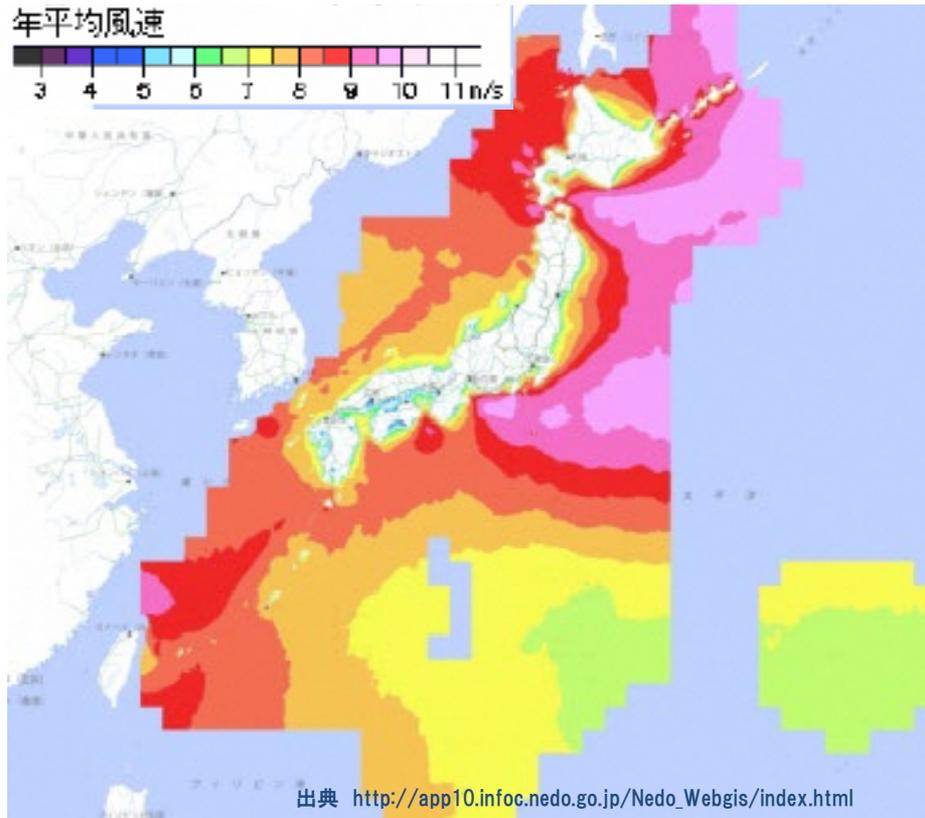


# 1.3. 広い排他的経済水域と豊富な風資源

- 日本の排他的経済水域の面積は、世界8位  
(ドイツやデンマークよりはるかに多い)
- 着床式に対応可能な近海や、浮体式に適する遠洋に広く風資源が分布する
- 風は欧州に比べ弱い、地震、台風、雷など過酷な環境 → 日本に特化した風車モデルの投入が必要



排他的経済水域の分布



# 1.4.国内の風力による雇用予想

- 建設費は、2030年に1兆円(洋上58%)、雇用は、12万1千人(洋上59%)と想定
- O&M費は、2030年に6,260億円(洋上64%)、2050年に1兆4千億(洋上80%)、雇用は、19万3千人(洋上77%)と想定

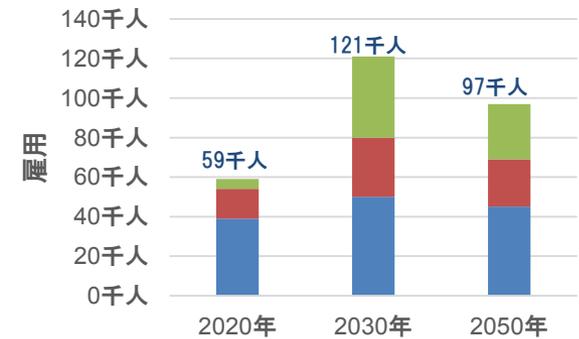
## 建設関係



建設費



波及効果



雇用創出効果

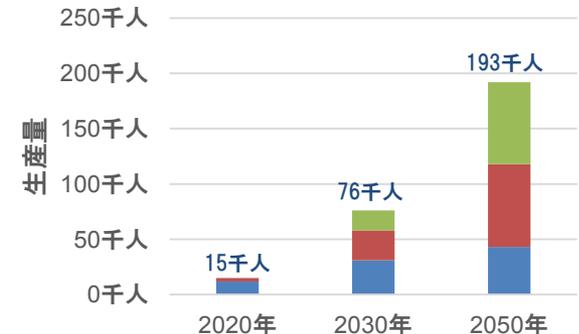
## O&M関係



O&M費



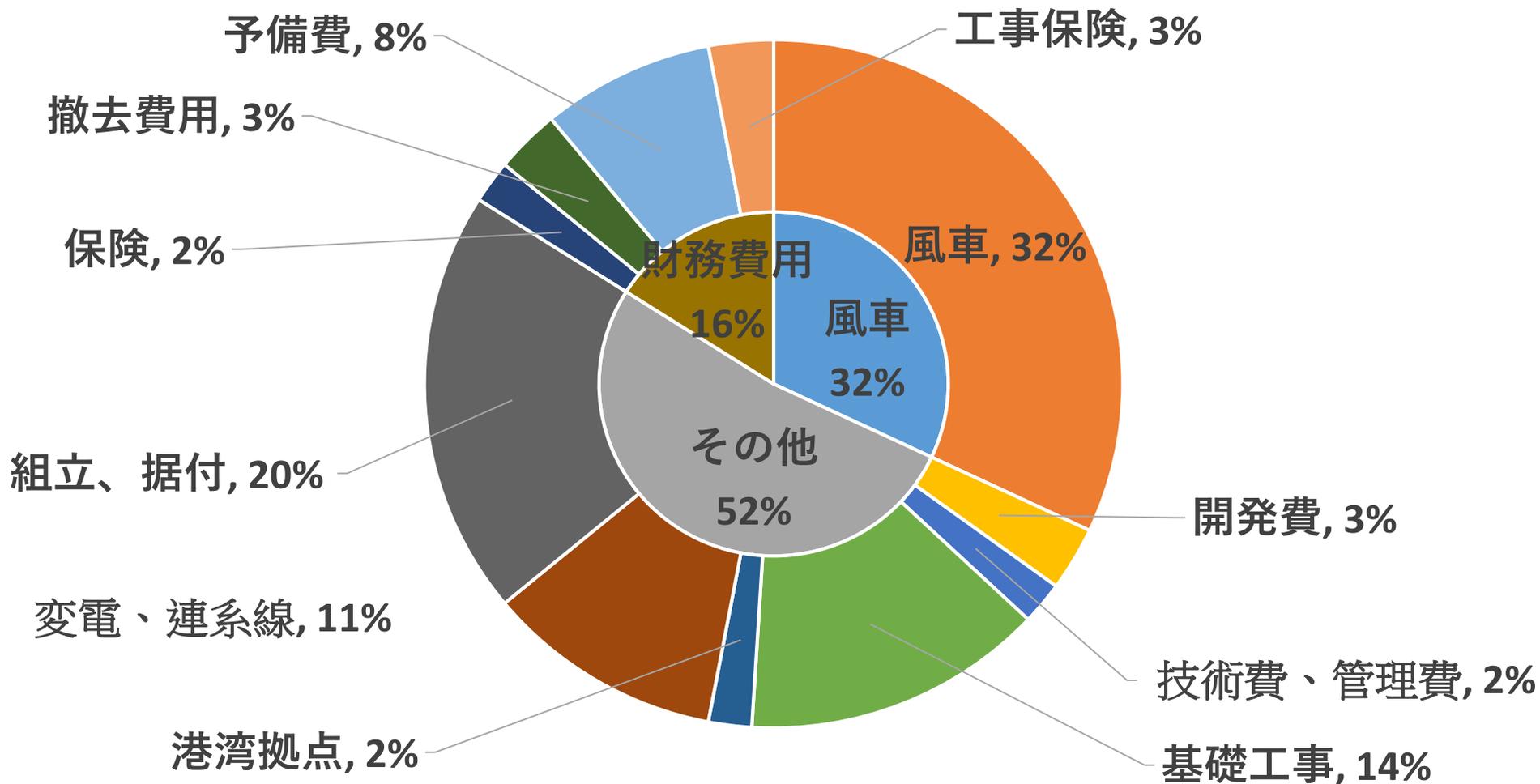
波及効果



雇用創出効果

## 1.5.資本的支出CapExの内訳 (洋上)

- 洋上風力の資本的支出のうち、洋上組立て作業や港湾、海底ケーブルの割合が多く、相対的に風車本体の割合は32%に低下

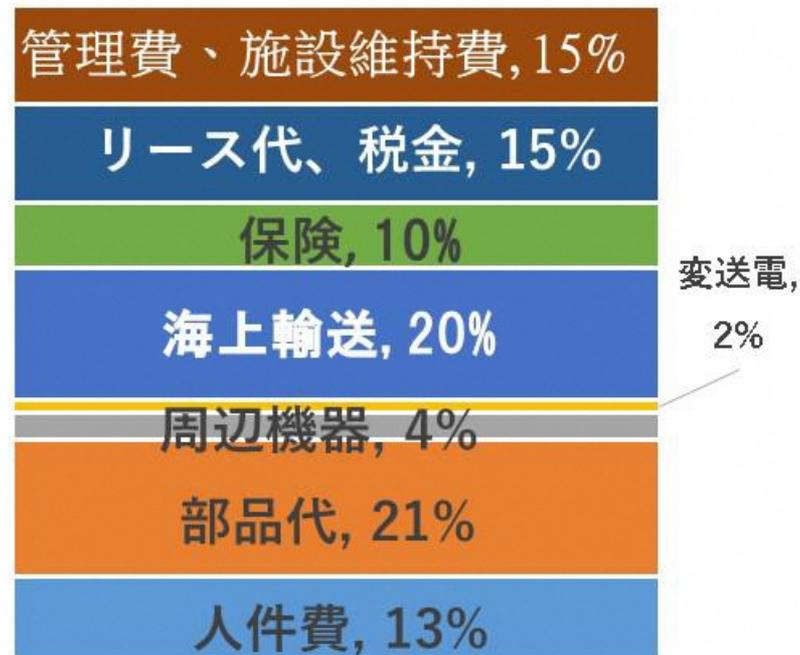


# 1.6.0&M費用 (OPEXの一部)

- 洋上風力のO&Mは、陸上より割高、特に海上輸送や船舶関連の費用が特徴的
- 計画的な保全により、原価低減が進むも、20年間のO&M費用は、大きい(風車機器価格を上回ることも有る)



陸上保守費用の内訳

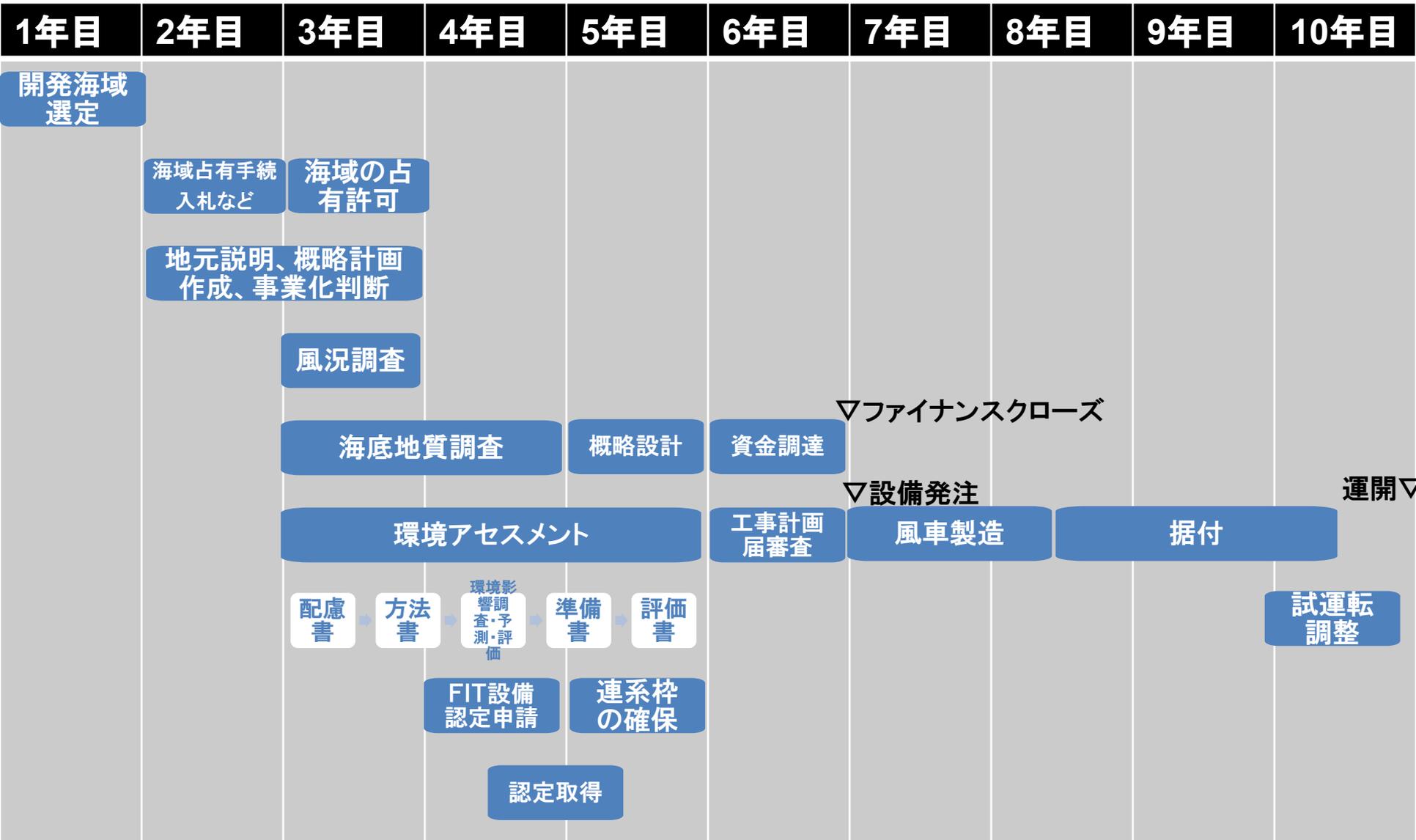


洋上保守費用の内訳

出典 Bloomberg New Energy Finance

出典 Wind Energy - The Facts (WindFacts), Operation and Maintenance Costs of Wind Generated Power  
<http://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>

# 1.7.計画から建設までのプロセス(例)



---

## 2.風車と関連産業

## 2.1.発電コスト低減/受風面積の拡大

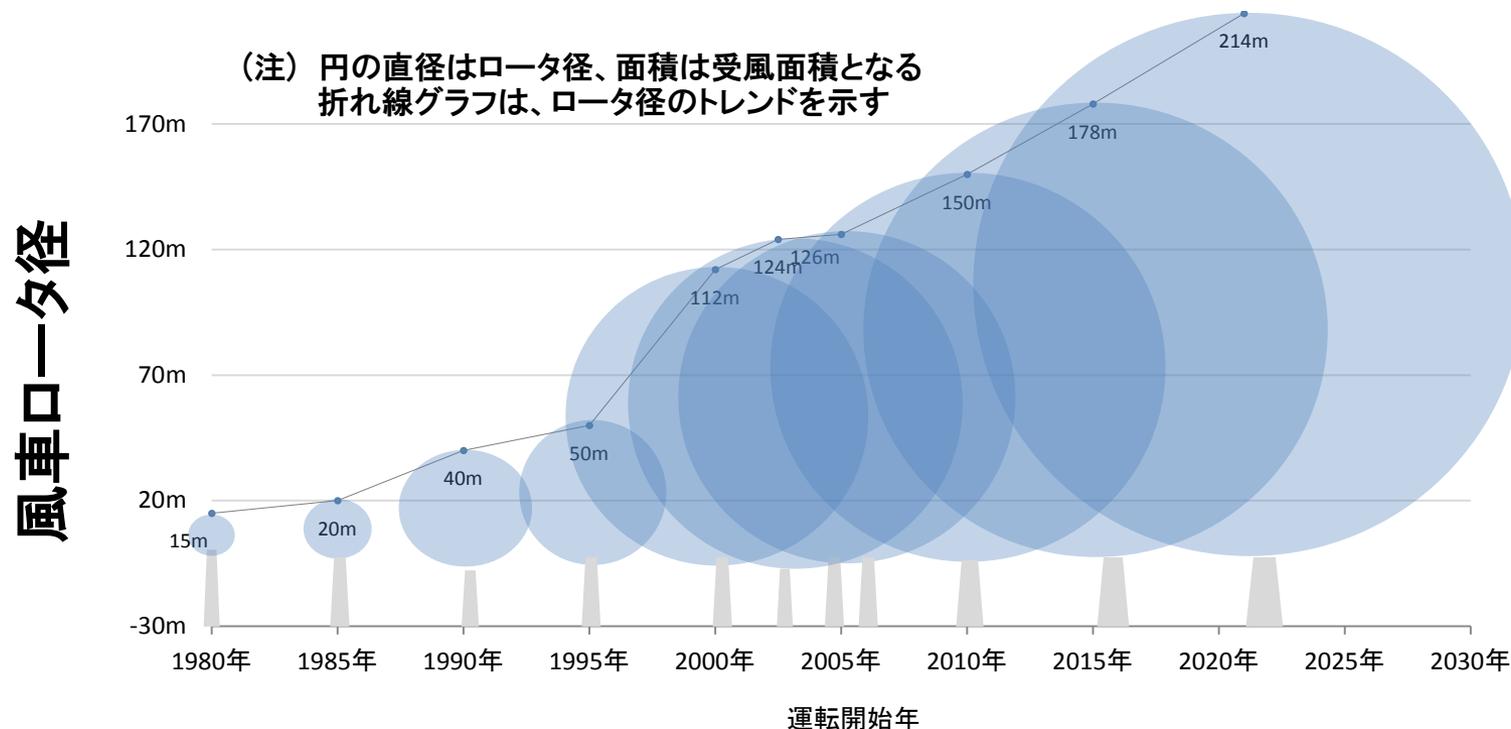
- 発電コスト(LCOE)は、経費を発電電力量で除したものの、受風面積に比例して発電量が増加するので、受風面積の拡大はLCOE低減に有効

$$LCOE = \frac{CAPEX + OPEX}{\int P dt}$$

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3$$

$$A = \pi r^2$$

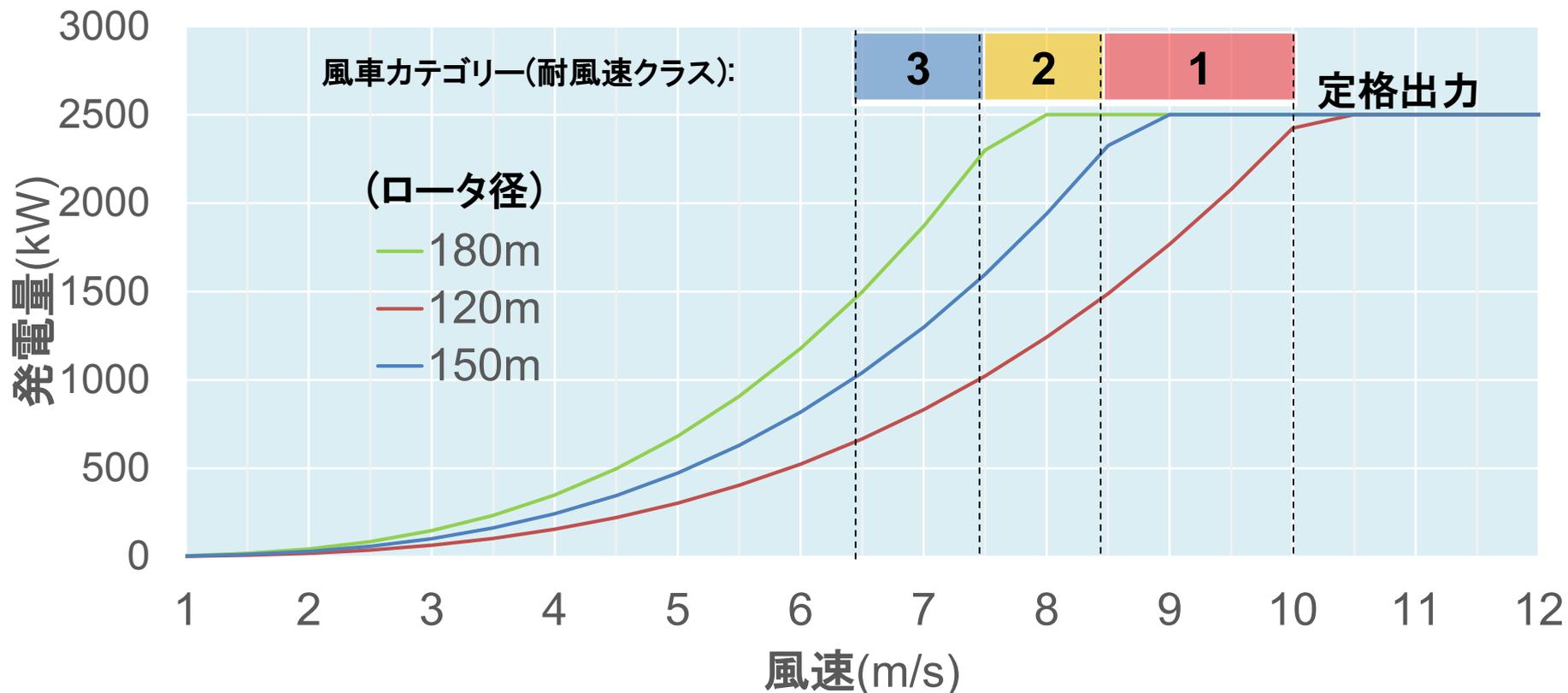
ここで、CAPEX: 資本費、OPEX: 運転経費 P: 発電量(W)、 $C_p$ : パワー係数、 $\rho$ : 空気密度、A: 受風面積(m<sup>2</sup>)



風車の大きさと商用機市場投入の実績と予想

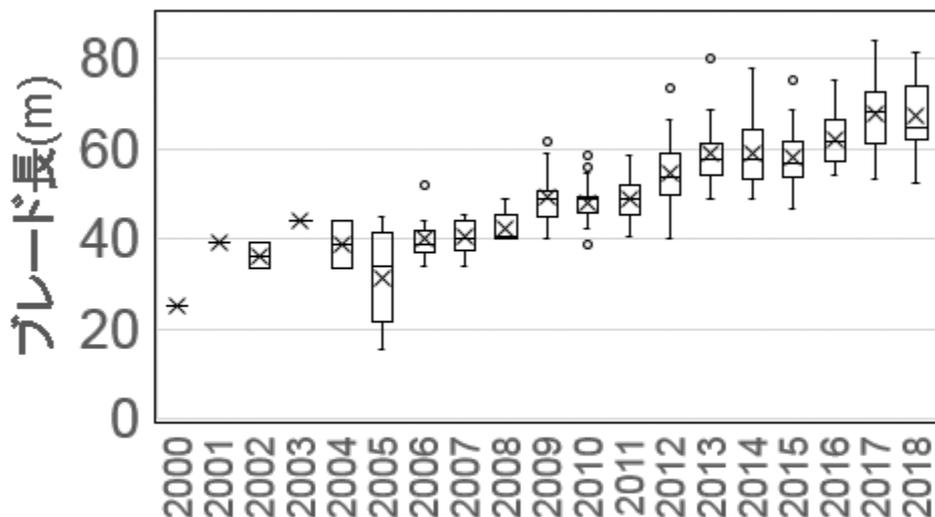
## 2.2.風況に適合した風車カテゴリーの選定

- 風力エネルギーは受風面積に比例し、風速の3乗に比例
- 風速の低い地域では、定格出力より受風面積の大きな風車が求められる



## 2.3.ブレード長拡大による発電量増加

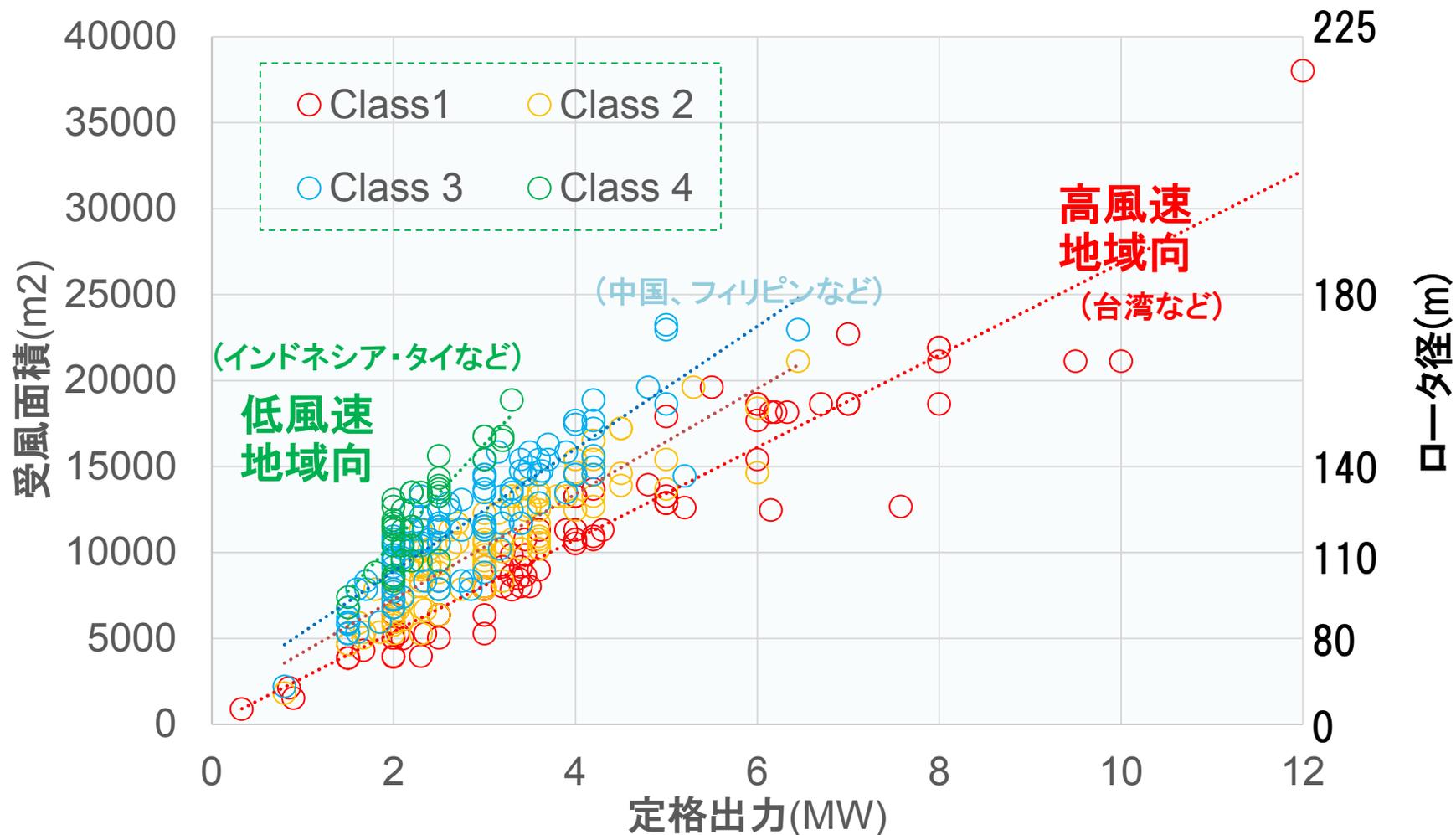
- 2006年頃までブレード長が40m程度(ロータ径80)で推移
- 2018年に商品化された風車は、ブレード長さが70m、Q1/4: 第1四分位点(lower quartile)からQ3/4: 第3四分位点(upper quartile)の範囲は、ブレード長で60mから70m



ブレード長箱髭図

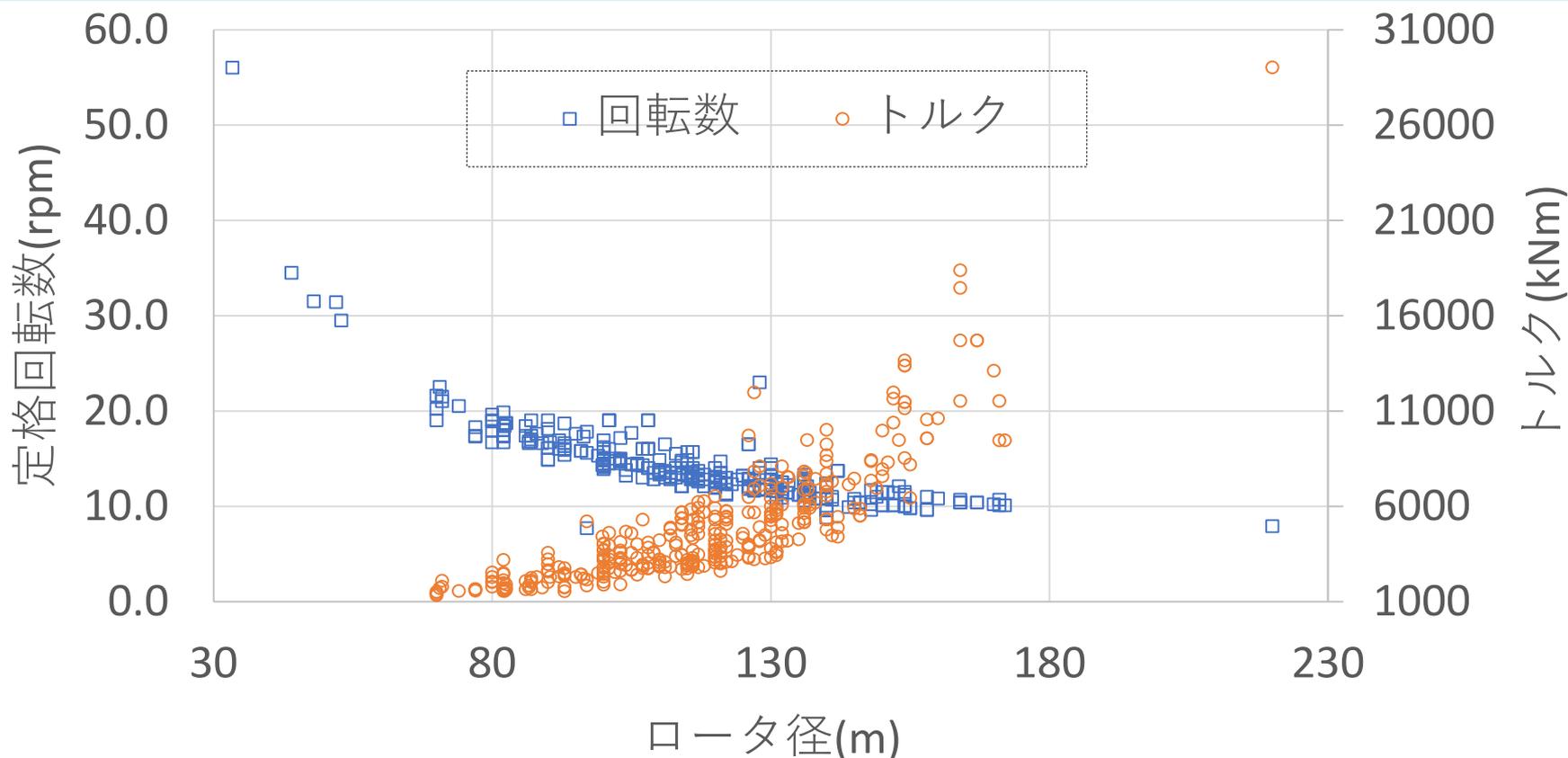


## ■ 低風速から高風速領域をくまなくカバーする風車のラインアップの拡充



## 2.5.大型化に伴う風車技術

- ロータ径の増加、回転数の低下に伴い、ロータのトルクが16,000kNmを超える風車が出てきている
- 電機システムの設計難易度の高まり、大型機開発投資の増加 → 大型機製造メーカーの集約が進む



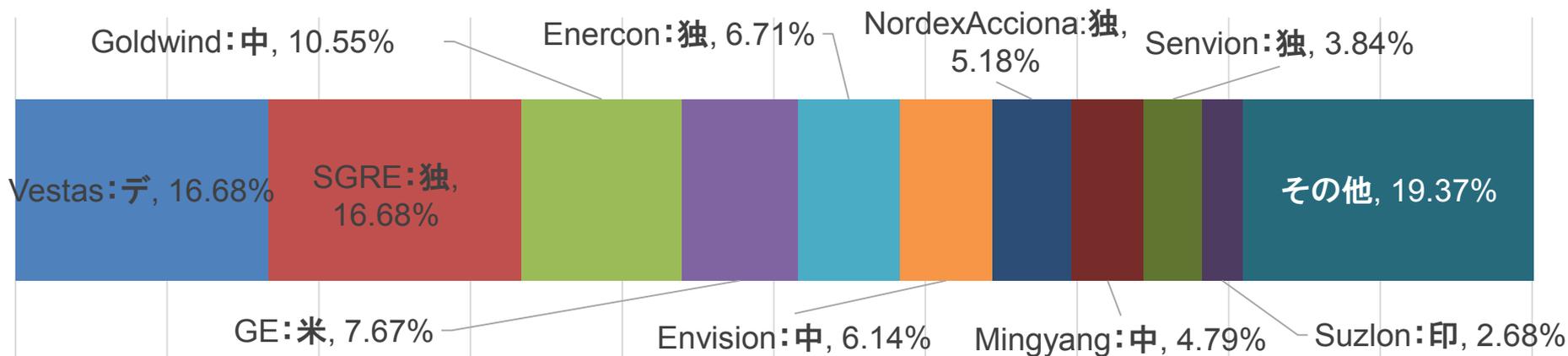
$P = T \times \omega$  ここで、P: 出力(W)、T: トルク(Nm)、 $\omega$ : 角速度(rad/s)

## 2.6.世界の風車メーカー

- 中国の風車メーカーが世界のトップ10のうち3社を占める
- 日本のメーカーは、ランク外、日本メーカーの世界シェアは0.1%以下

### 2017年の世界風車メーカーのシェア

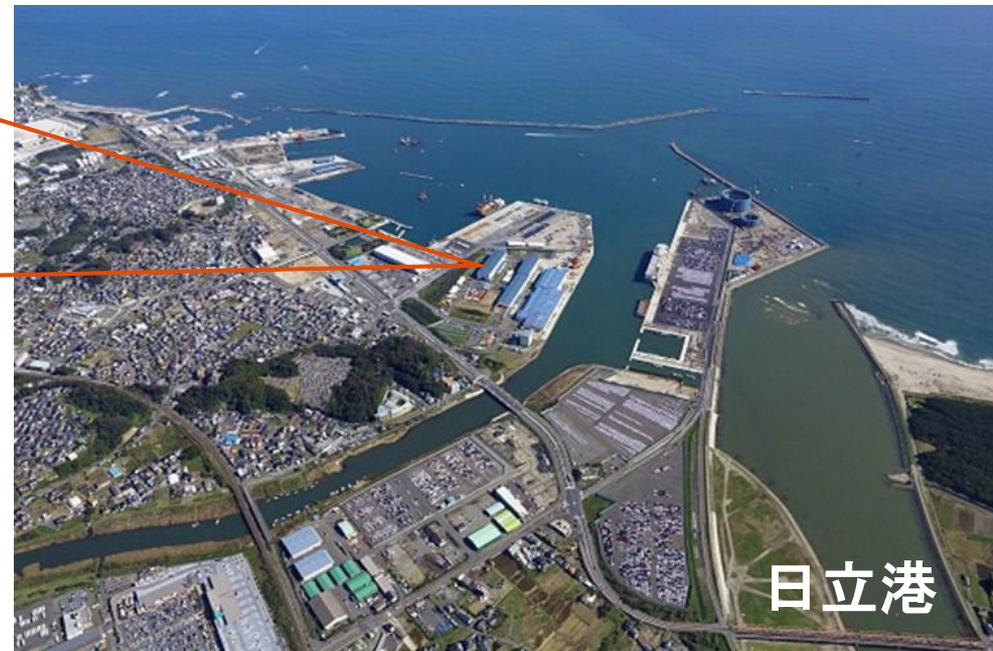
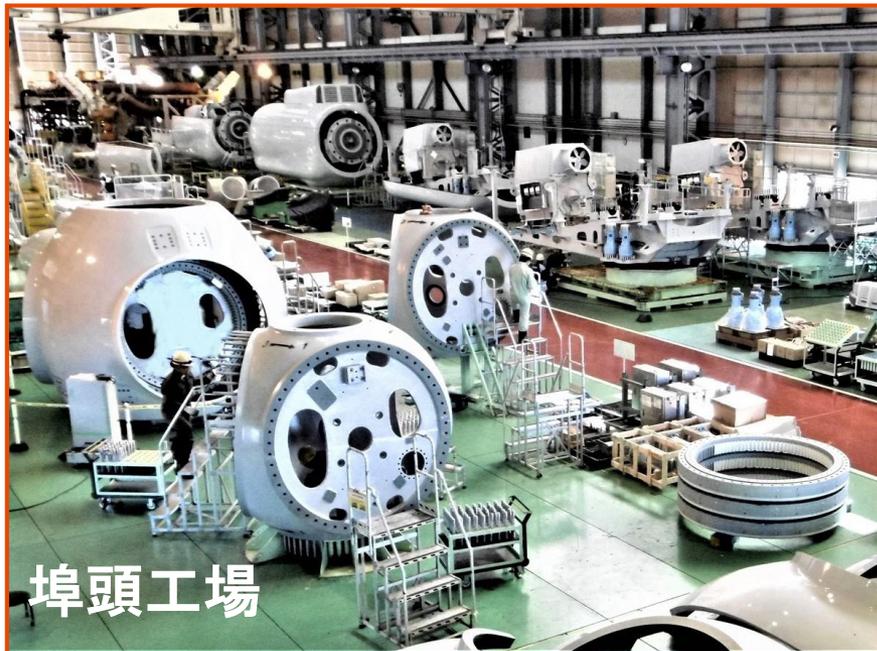
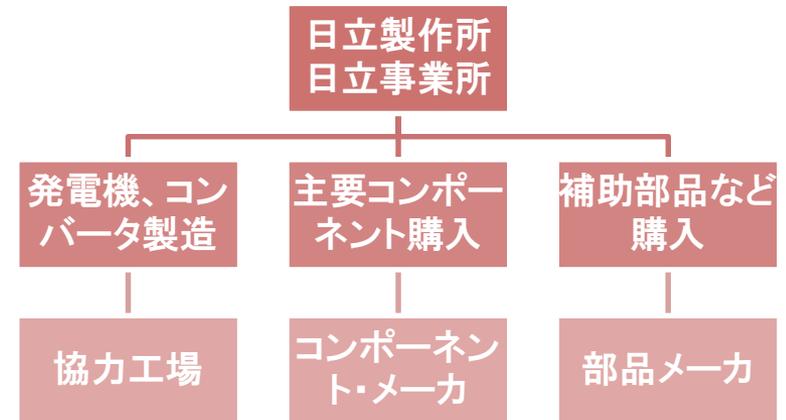
Vestas	SGRE	Goldwind	GE	Enercon	Envision	NordexAcciona	Mingyang	Senvion	Suzlon	その他	日立
16.68%	16.68%	10.55%	7.67%	6.71%	6.14%	5.18%	4.79%	3.84%	2.68%	19.37%	0.02%
8.7GW	8.7GW	5.5GW	4GW	3.5GW	3.2GW	2.7GW	2.5GW	2GW	1.4GW	10.1GW	0.01GW



### 2017年の各メーカー世界シェア

## 2.7.風車組立の状況/日立製作所の例

- 主要コンポーネントを自社生産あるいは、生産体制が確立され国際認証を受けたメーカーから購入
- 自社生産しているコンポーネントは、協力工場など国内の企業から部品の供給を受けている



## 2.8.アジアの風車メーカー立地

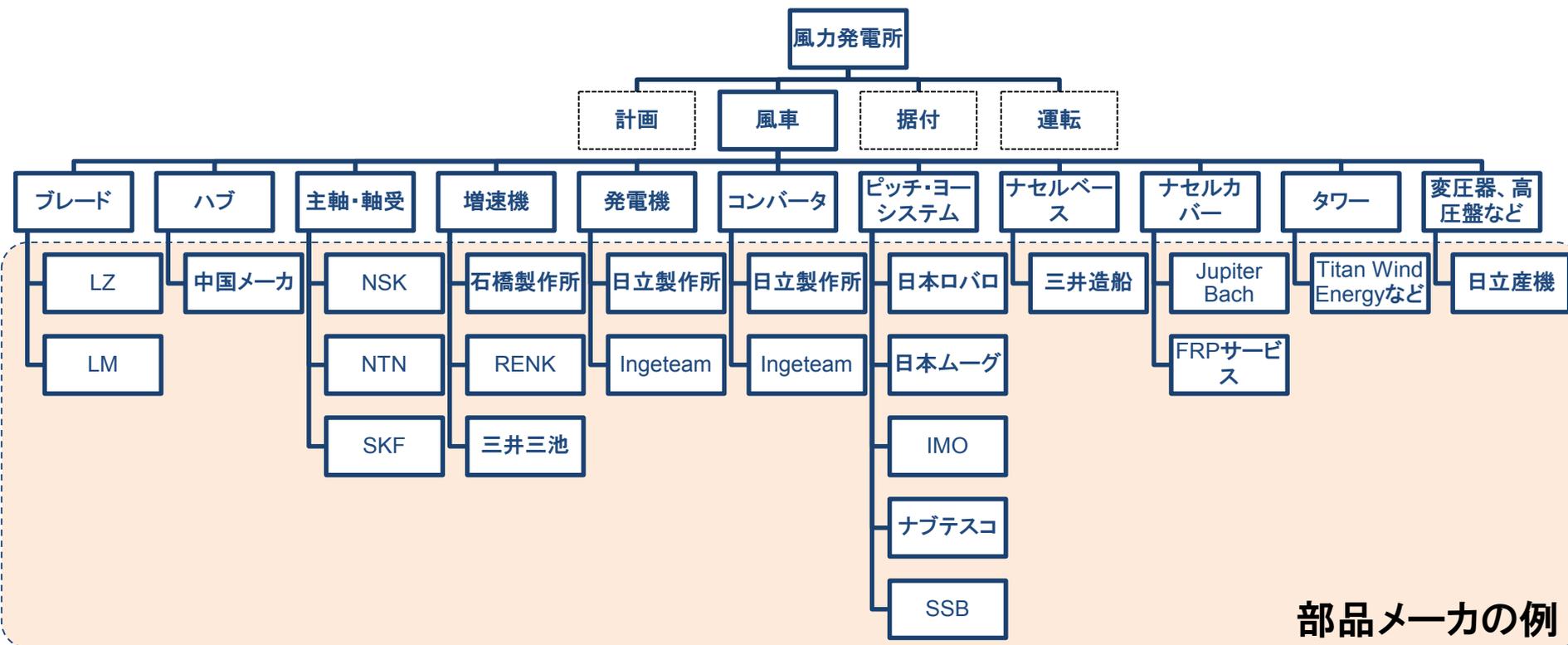
- 風車メーカーは、中国の沿岸部や重慶(Chongqing)、韓国南部、日本の沿岸部に立地
- 世界の10大風車メーカー、Envision、Ming Yangが沿岸に、Goldwindが内陸の新疆ウイグル自治区に立地





## 2.10.風車コンポーネント調達ルート of 例

- 主要コンポーネントは、全てコンポーネントメーカーから供給を受けた実績有
- 購入部品の風車コストに占める割合は、80%を超え、コンポーネントメーカーからの供給無しでは、風車の組立てができない状況
- 特に洋上風力において発電所計画、風車モジュール化、風車輸送、据付、運転保守などの業務で地元企業の支援は不可欠



## 2.11.主要風車メーカーの国内調達率低迷

### 主要風力メーカーの部品調達

凡例:  国内調達の範囲を示す

風車メーカー	ブレード	タワー	増速機	発電機	コンバータ
日立製作所	LM、LZ	Titan, AVIC	石橋製作所	内製	内製
三菱重工	内製、LM	Dongkuk	石橋製作所	Ingeteam	Ingeteam
日本製鋼所	内製、他	Taisheng	-	ABB、明電舎	明電舎
Unison(東芝)	LM, Sunrui	SPECO	NGC	内製	安川電機
駒井ハルテック	内製	会川鉄工	石橋製作所	ABB	ABB
ENERCON	内製	Dongkuk	-	内製	内製
GE	内製、LM	Titan	石橋製作所、他	GE Power	GE Power
Siemens GAMESA	内製	Jiangsu	Winergy	内製	ABB
Vestas	内製、TPI、Aeris	Titan	Winergy	ABB	内製

### 風力関連産業の課題

データ出典: 日本風力エネルギー学会誌、大型風車完成までのサプライチェーン図、Vol.41, No.3, p.553-556, 2017年

主要風車メーカーの国内調達率が低迷

- ・国内風力関連産業の衰退
- ・研究開発・生産技術などの技術者が不足

日本の主要産業たる製造業の衰退

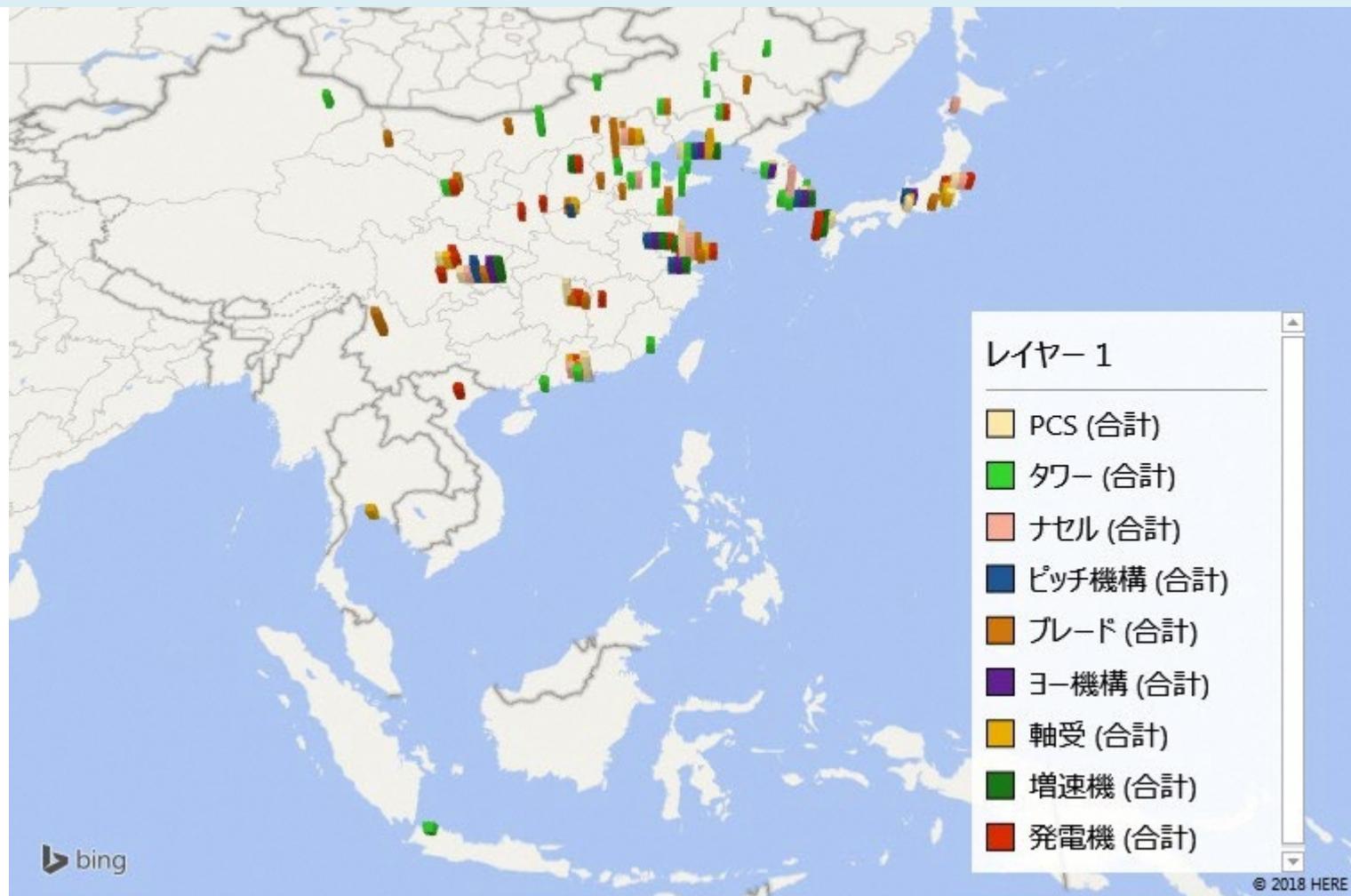
- ・海外への資金の流出
- ・地域経済の衰退

風車の安定的な運転に支障

- ・国内の技術者でトラブルシューティングができない
- ・国際紛争、為替リスクのヘッジができない

## 2.12.風力関連産業の分布

- 中国が国内風力関連産業をバランス良く育成
- 日本は、軸受、アクチュエータなど国際競争力を有するも、ナセル、ブレードなどは、発展途上



## 2.13.風力関連産業の工場分布

- 風力発電機本体工場は主に大企業などの拠点の中に存在
- 部品工場は機械工業の集積が有る中京工業地帯や北九州工業地域などに集中





## 3.洋上関連産業

# 3.1.洋上に特徴的な設備の例



[http://www.jsmea.or.jp/offshore/pdf/004\\_hamanaka\\_chain.pdf](http://www.jsmea.or.jp/offshore/pdf/004_hamanaka_chain.pdf)



Seajacks Zaranat:  
[http://www.seajacks.com/seajacks\\_in\\_the\\_news/2012/08/seajacks-zaranat-successfully-undertakes-om-work-for-dong-energy/](http://www.seajacks.com/seajacks_in_the_news/2012/08/seajacks-zaranat-successfully-undertakes-om-work-for-dong-energy/)

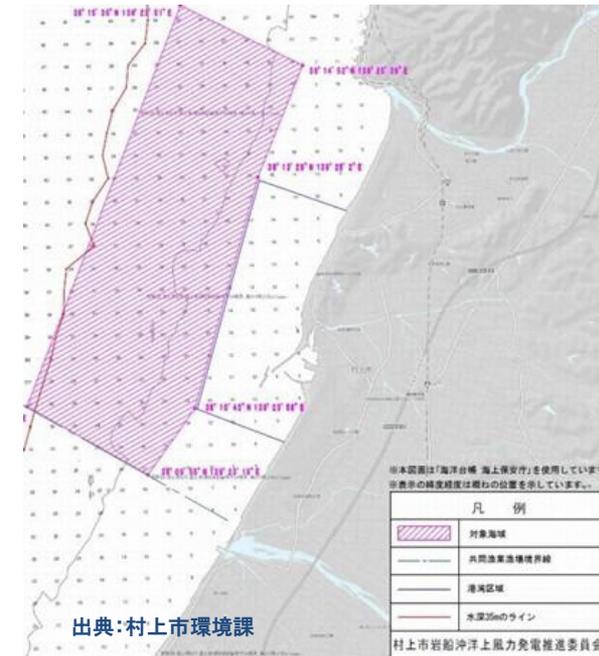
## 浮体用係留チェーン JUV:ジャッキアップ船



## トリポット基礎

## 3.2.計画関連業務（洋上の例）

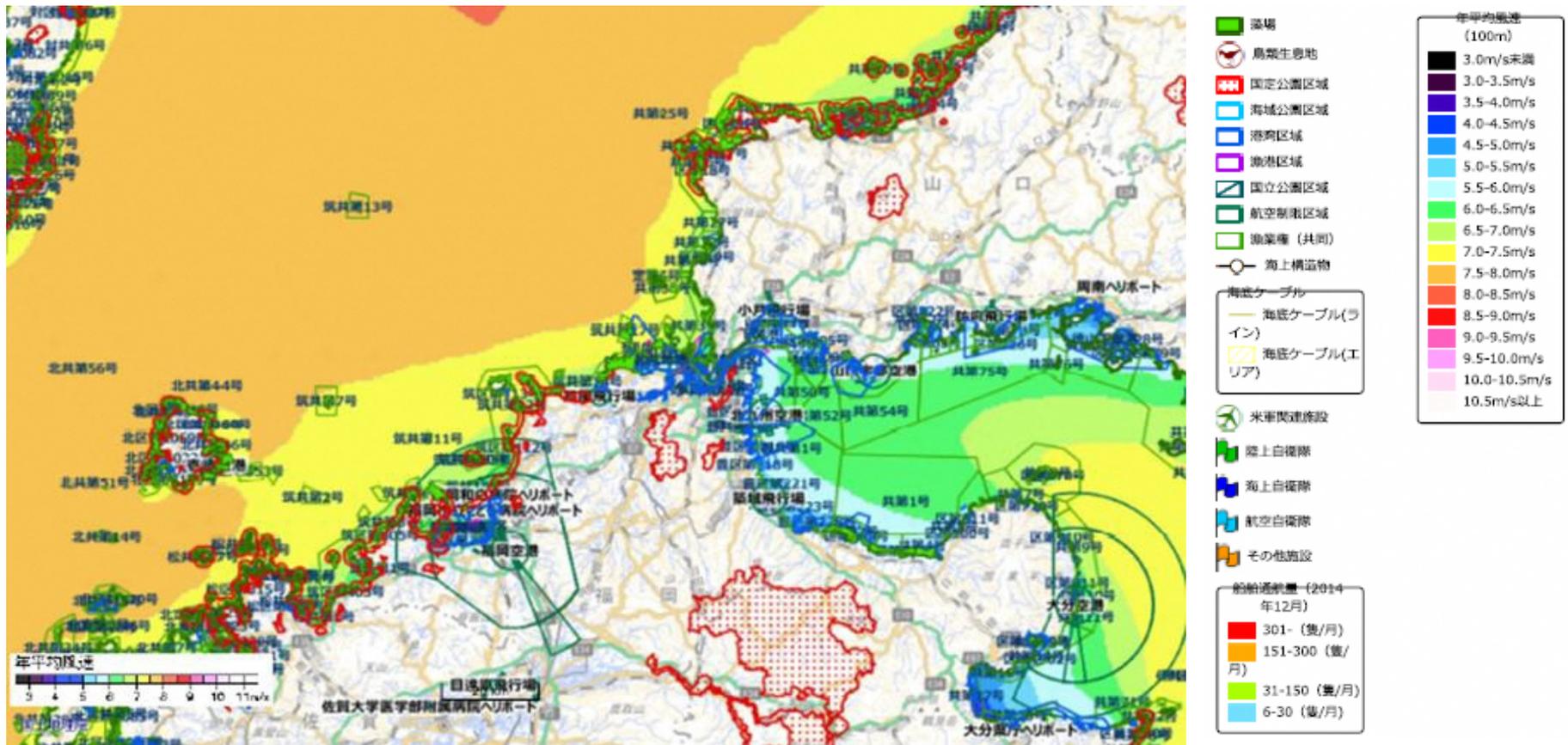
■ 一般の洋上風力は、大型プロジェクトで、計画、調査、資金調達の業務が多い



発電所計画図

### 3.3.風況観測、環境影響評価（洋上の例）

- 風況観測、水深、海底地質等の自然環境情報把握、港湾区域、航路等の社会環境情報の取得が必要
- 法に基づく海域占有手続、関係各機関との調整が必要



出典 [http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo\\_Webgis/top.html](http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html)

### 3.4.その他風力発電所関連製品 (BOP)

- 洋上基礎構造: 中国、台湾、韓国に立地、海底ケーブル: 日本、中国、韓国



# 3.5.港湾拠点整備/洋上風力の発電単価低減

大規模モジュール化を可能とする

港湾・船舶などの整備

据付作業の陸上へのシフト

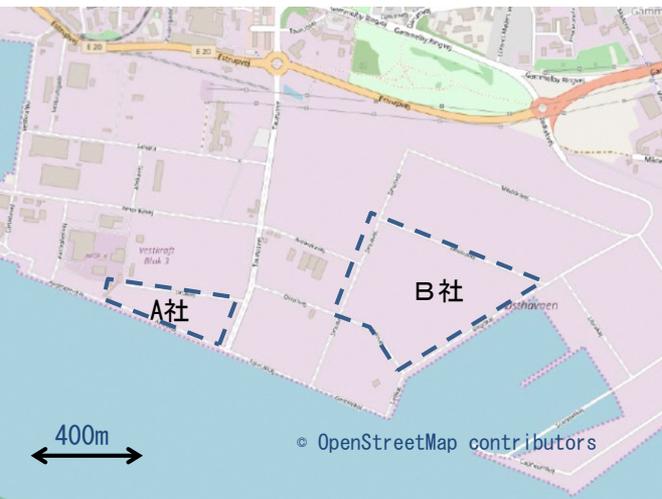
割高な洋上作業を陸上に移行

グリッドパリティ達成

洋上風力の発電コストを大型商用電源並みに

項目	仕様など
投資金額	1.1billion DKK 約170億円
ヤード面積	1,000,000 m <sup>2</sup>
埠頭長	1,800 m
水深	10.5 m MLWS*
ランプ数	4 ローロー船

\* Mean Low Water Springs



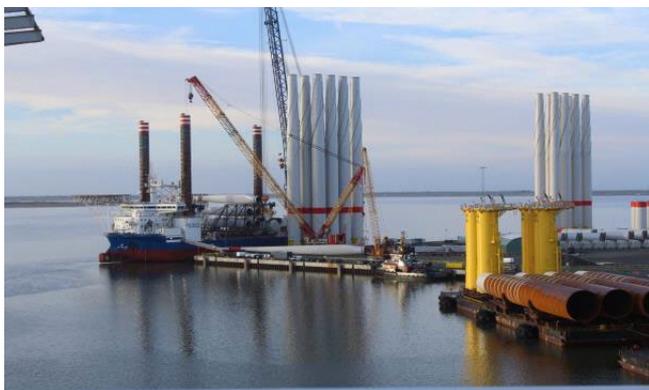
エスビェア港モジュール化ヤード  
(2017年)

エスビェア港利用状況

出典 P. o. Esbjerg, "PORT OF ESBJERG - IN GENERAL, 2017," ESBJERG,DK, 2017.

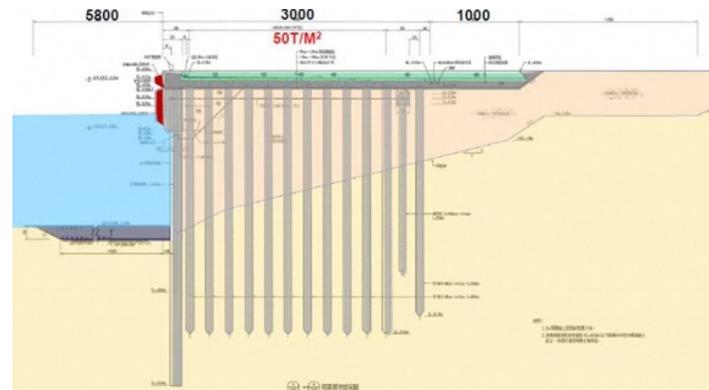
# 3.6.台中港の整備構想

- 台中港湾事務所などと調整しつつ柔軟な設計対応: 港湾や船舶の状況に適合した最適なモジュールサイズが選定中



港湾拠点でのモジュール化例

出典: Port of Esbjerg, PORT OF ESBJERG - IN GENERAL, 2017

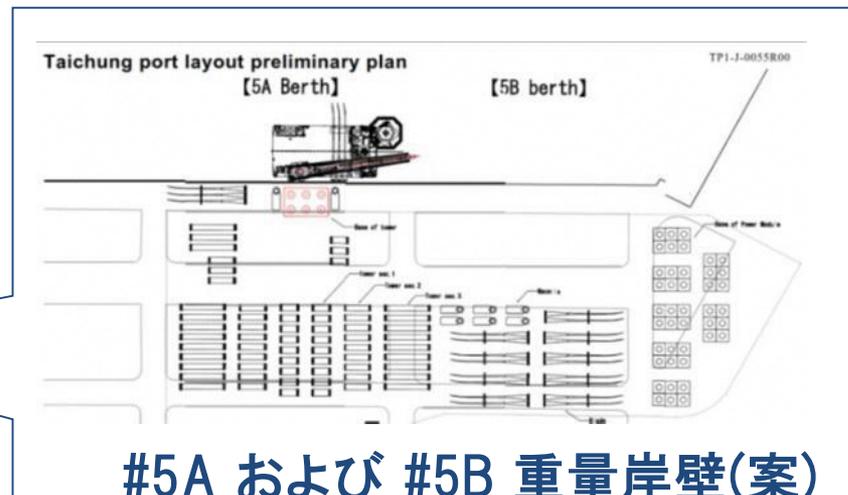


バースの断面形状例

出典: Shinoteec, Environment Study Of The Offshore Wind Farm in The Central Taiwan and The Planning of Fabrication Yard



台中港配置例



#5A および #5B 重量岸壁(案)

## 3.7. 国内の状況を考慮した洋上工法や特殊船舶の選定

- 船舶は、国内のラインアップから慎重に選定予定
- 洋上での工法は、国内の海象条件や港湾の仕様に適合し最適化



ジャッキアップ船(JUV)

出典: Courtesy of Jan de Nul group



クレーン船

出典: Jan de Nul group提供



風車据付



多目的船

出典: Jan de Nul group提供



海底ケーブル敷設



## 3.8.洋上関連主要船舶

### 【建設・保守用船舶】

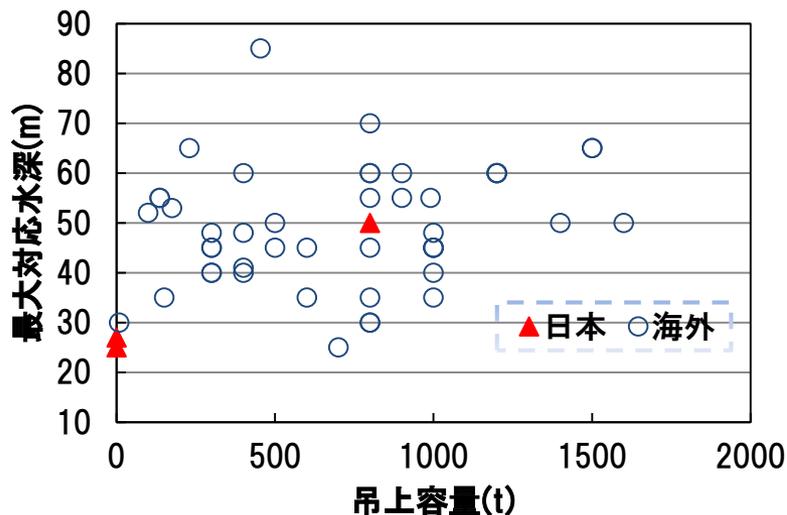
略称	和名	英文名	備考
JUV	自己昇降式船	Jack Up Vessel	自航式
JUB	自己昇降式バージ	Jack Up Barge	非自航
SEP	(同上)	Self-Elevating Platform Barge	非自航
CLV	ケーブル敷設船	Cable Laying Vessel	自航式
CTV	要員輸送船	Crew Transfer Vessel	自航式

### 【オフショア支援船: OSV】

略称	和名	英文名
AHTSV	アンカーリング、チェーン展張、曳航、資材輸送船	Anchor Handling Tug Supply Vessel
PSV	曳航、資材輸送船	Platform Supply Vessel

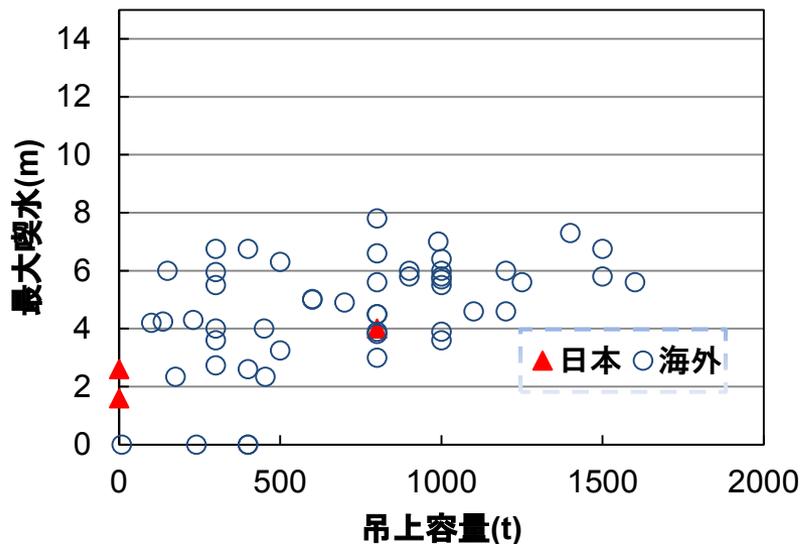


# 3.9.船舶・港湾インフラとの整合

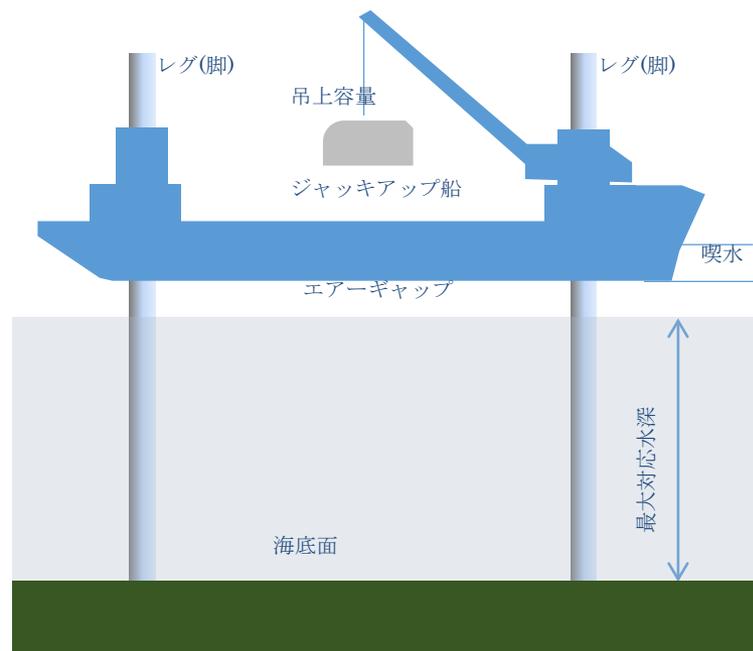


- 日本国内に自己昇降式プラットフォーム (JUBの一種SEP)があるも、ジャッキアップ船(JUV)は、現存しない。
- 五洋建設が汎用のJUBを建造
- JUVなどが港湾の岸壁に接岸し、レグを着底させた状態で積込作業をすることが最も合理的

JUVとJUBの対応水深とクレーン容量



JUVとJUBの最大喫水とクレーン容量

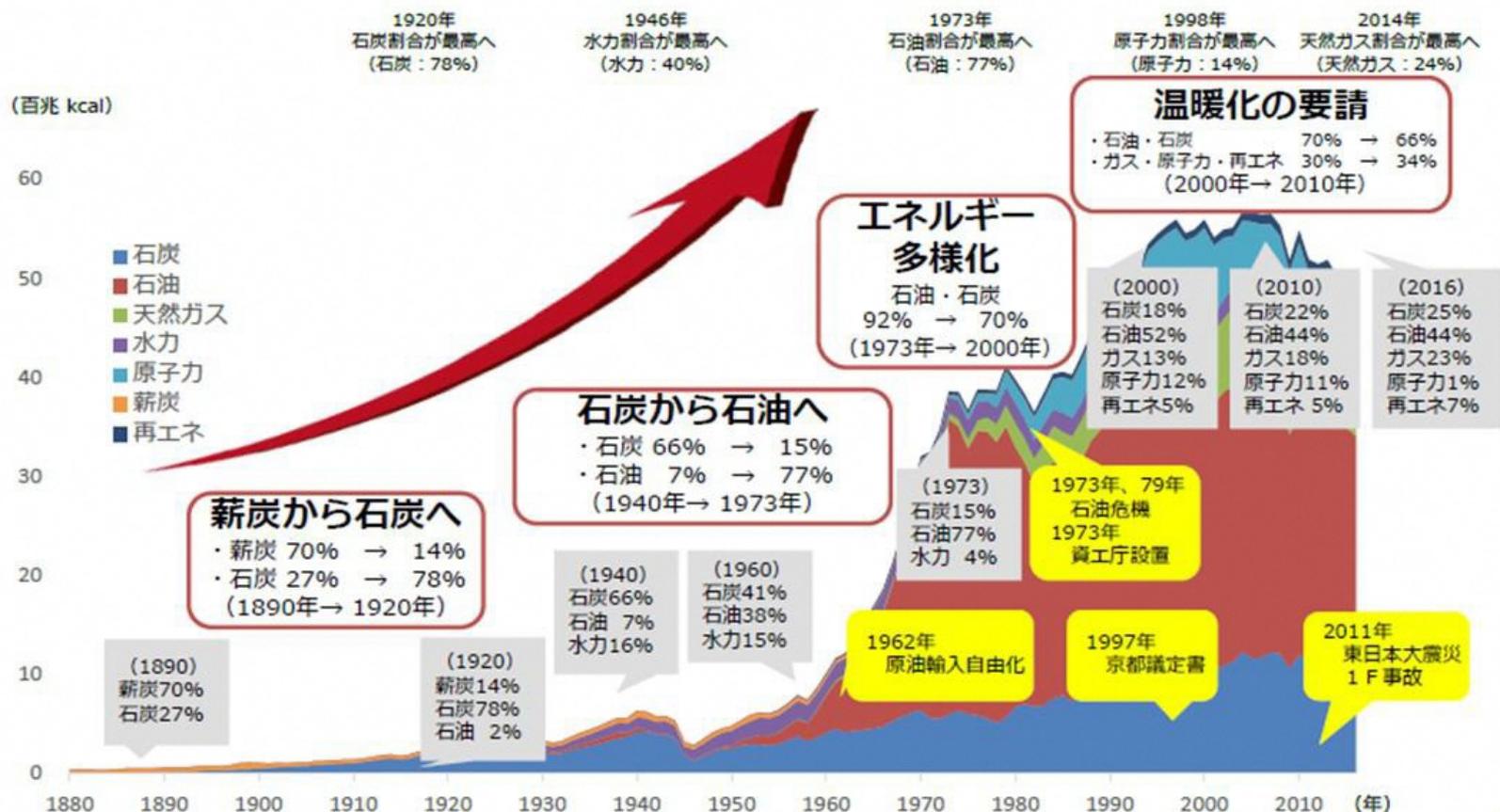




## 4.エネルギーインフラ

# 4.1. エネルギー革命 / 化石燃料から再エネへの流れ

- エネルギー需要の増加に伴い、石炭、石油、原子力と、よりエネルギー密度の高い資源利用が拡大
- 日本のエネルギーの歴史は、情勢変化を踏まえた選択の積み重ね。現在は次なる選択の節目



# 4.2.新たな社会Society 5.0を目指して

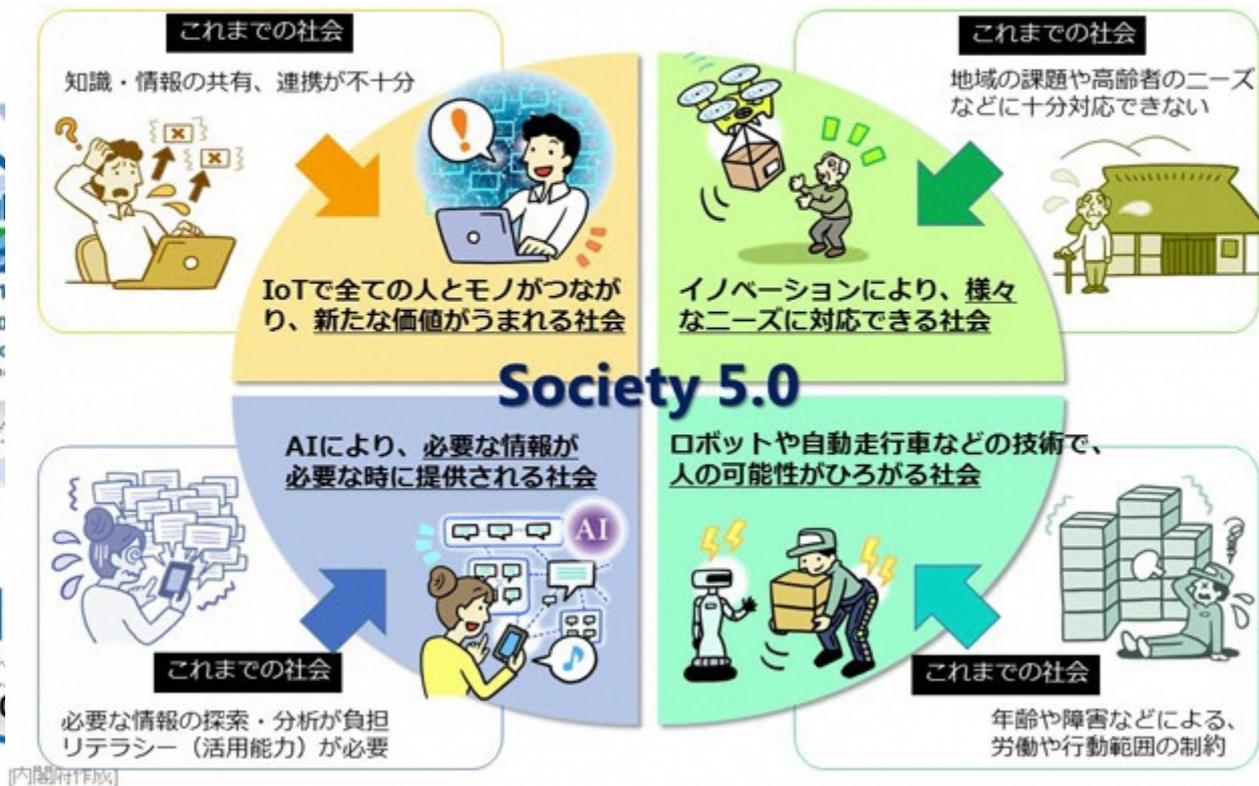
狩猟社会  
Society 1.0

農耕社会  
Society 2.0

工業社会  
Society 3.0

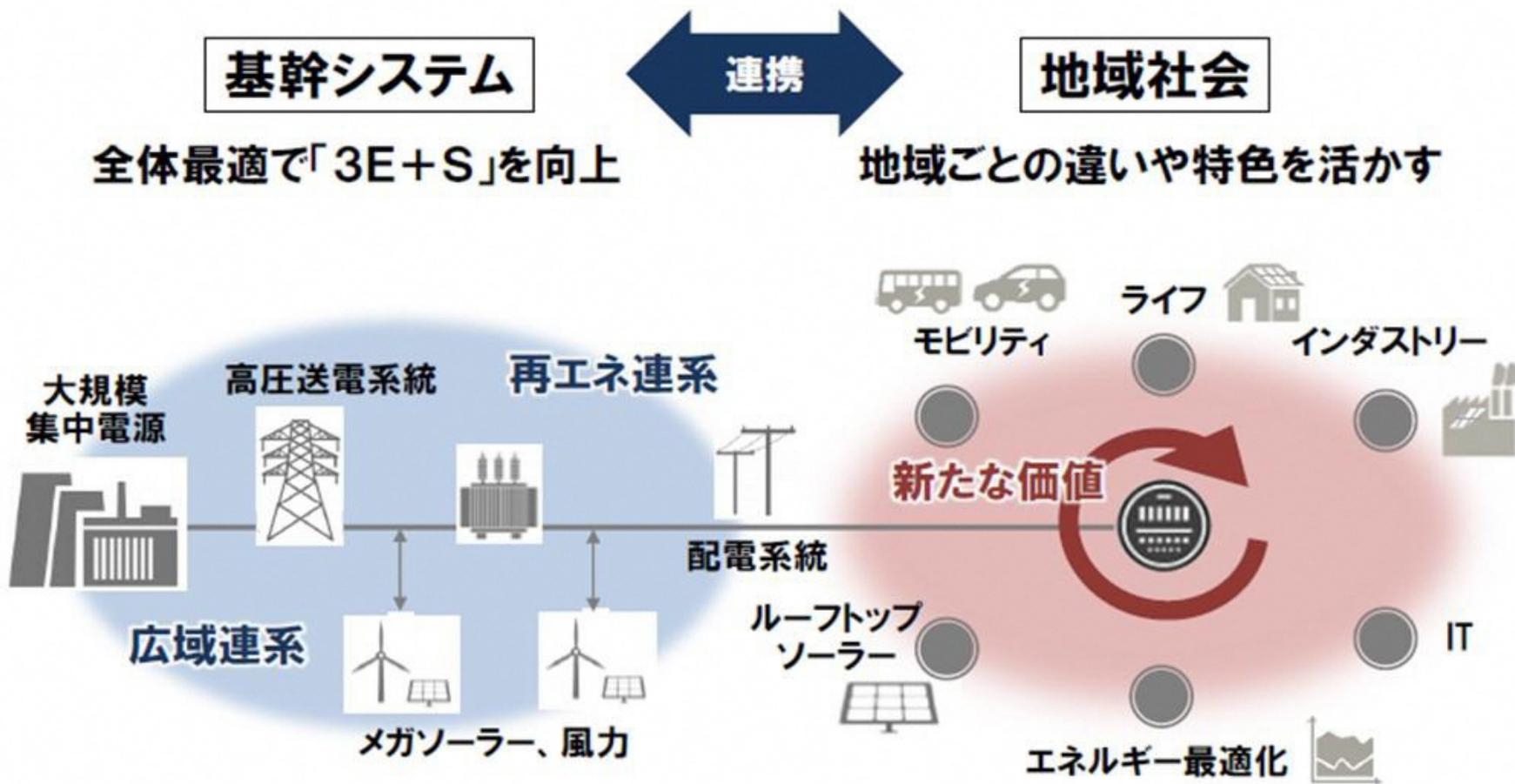
情報社会  
Society 4.0

新たな社会  
Society 5.0



## 4.3. ニーズに適合した配電システムの提供

- 再生可能エネルギー、電気自動車などの拡大によるエネルギーシステムの分散化やビジネスモデルの変化などにも対応





## 5.まとめ

## 5.1.近隣諸国が有する技術と水準

### ■ 技術の育成と適度な分業で風力発電事業と関連産業の活性化が見込める

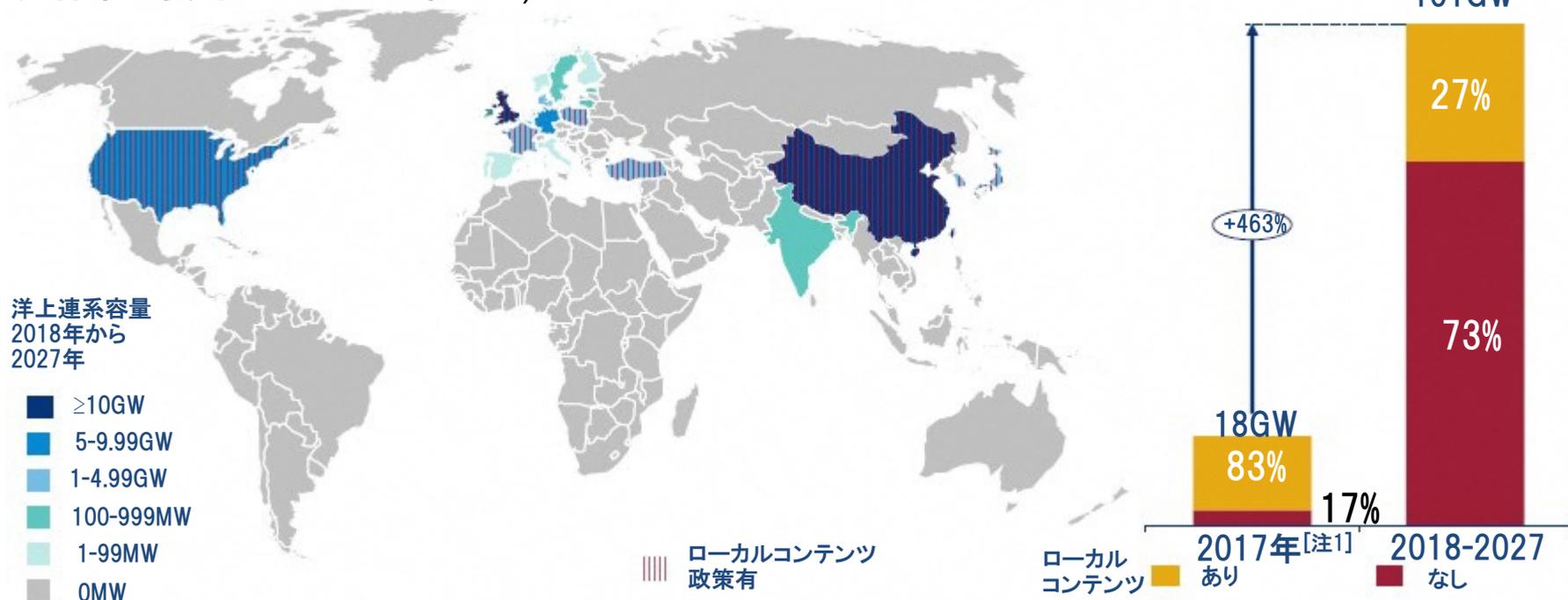
	総合計画		EPCI: 設計(Engineering)、資材調達(Procurement)、 建造(Construction)、据付(Installation)							運転 保守	
	発電所 計画	系統連 系	EPCI	風車	基礎構 造	変電	連系線	特殊船 舶	基礎工 事	風車据 付	点検 修理
日本	○	○	○	○	○	○	○	・	○	○	○
中国	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
韓国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
台湾	○	○		○		・		・	○	○	○
ベトナム	○	○				・			○	○	○
フィリ ピン	○	○				・			○	○	○
インド ネシア	○	○				・			○	○	○
タイ	○	○				・			○	○	○

凡例: ●世界をリードするレベル、○国内で事業できるレベル、・海外からの支援で事業できるレベル  
(技術レベルの評価は、日立の判断による)

## 5.2.適度なローカルコンテンツ政策

将来、洋上風力発電の72%がローカルコンテンツ政策で規制を受けると予想(日本もローカルコンテンツを導入すると予想されている。)

- ローカルコンテンツ向上は、既存の産業基盤により実現
- 各国の業界は、しっかりした有能なサプライチェーンを確立し、技術革新によりヨーロッパの技術から脱却することが重要
- 米国のローカルコンテンツ政策は、連邦政府でなく州政府により施行 (日本国内では、都道府県、政令指定都市の役割も大きいと思われる)



注1: 2017年 は、2017年末までに連系された累積容量。

米国のローカルコンテンツ政策は、国ではなく州レベル。ローカル・コンテンツ政策は州ごとに異なる。