

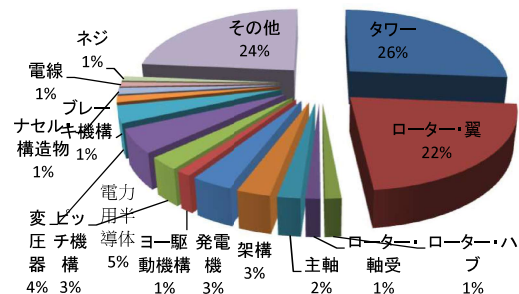
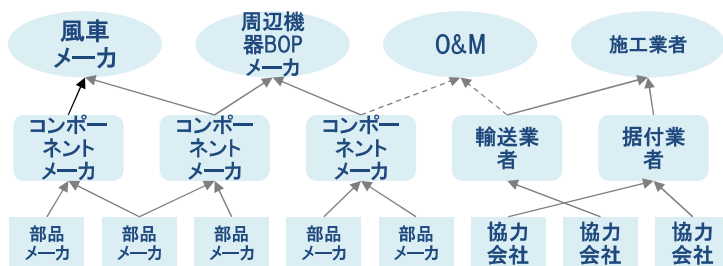
3. サプライチェーン

3.1. 風力関連産業の構造

- 風車関連産業は、典型的な「組立産業」、部品を生産する部品メーカーと部品を購入して完成品を組み立てる組立てメーカーによって構成
- 風車の部品点数は、 2×10^4 個レベル、(マシン、ラジオ、カメラが 10^2 、テレビが 10^3 、自動車 10^4 、航空機が 10^5 、コンピューター、ミサイルが 10^6 と言われる^[1]。)
- 風力の基幹電源化のためには、関連技術の強化が必要



[1] 出典 | 株式会社平凡社/世界大百科事典 第2版



風車コスト構造^[3]



洋上風力発電所の事業費内訳^[4]

[2] <http://www.seajacks.com/wp-content/uploads/2016/05/gallery-zaratan-WindMW-Zaratan.jpg>

[3] 日本産業機械工業会、風力発電関連機器産業に関する調査研究、2019.6
[4] 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>

3.2.ブレードのサプライチェーン

風車メーカー	内製	LM	TPI	Tecsis	MFG	Aeris	Sinoma	LZ Blade	Sino-Wind	Aeolon
Goldwind										
Vestas										
GE										
Siemens										
Gamesa										
Enercon										
United Power										
Mingyang										
Envision										
CSIC										

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update, Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 26

3.3.増速機のサプライチェーン

風車メーカー	内製	ZF	Winergy	NGC	Moventas	石橋製作所	Chongqing Gearbox	TYHI	Chongqing Wangjiang
Goldwind									
Vestas									
GE									
Gamesa									
United Power									
Siemens									
Mingyang									
Envision									
CSIC Haizhuang									

【凡例】

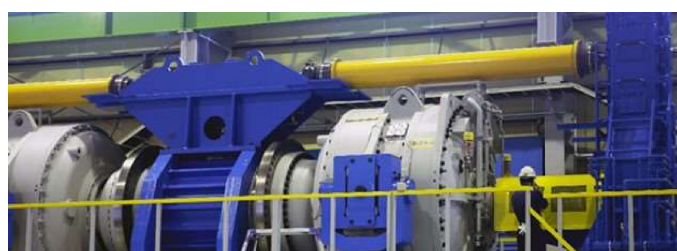
■ 主サプライヤー

■ 小サプライヤー

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update, Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真: 石橋製作所提供



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 27

3.4.発電機のサプライチェーン

風車メーカー	内製	ABB	The Switch	Ingeteam	Elin	VEM	Siemens Industries	GE Power Conversion	Leroy Somer (Nidec)	日立製作所	Zhuzhou	Nanjing Turbine	XEMC	Yongji
Goldwind														
Vestas														
GE														
Gamesa														
Enercon														
United Power														
Siemens														
MingYang														
Envision														
CSIC Haizhuang														

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update. Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真出典: 明電舎ホームページ、https://www.meidensha.co.jp/knowledge/know_03/enote/no2/index.html

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 28

3.5.ナセルハウジングのサプライチェーン

本社・工場 風車メーカー	Jupiter Group	BICHI Composite Industry	EM Fiberglass	Fassmer	Grossmann	INPRE, S.L	MFG	Tecsis	Shuangyi	Sinoma Wind Power	EULIKIND	Huaye Group	Sunnui Group	Jiangsu Peisheng	AVIC Hongbo
デンマーク ポーランド	デンマーク	デンマーク 中国、ロシア 中国、ポランド	デンマーク	ドイツ ポーランド、中国	ドイツ	スペイン	米	ブラジル	中国 山東省	中国	中国 天津市	中国 山東省	中国 河南省	中国 上海	中国 江蘇省
Goldwind															
Vestas															
GE															
Gamesa															
Enercon															
United Power															
Siemens															
MingYang															
Envision															
CSIC Haizhuang															
Nordex-Acciona															
Senvion															
Adven															
FWT															
PROKON															
PowerWind															
Clipper															
Windey															
SANY															
CCWE															
Sinovel															
CNR															
Sewind															

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update. Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 29

3.6.ブレーキシステムのサプライチェーン

風車メーカー	Antec Wind	GKN Stromag	Svendborg Brakes	Sibre	Frenos Iruña	KTR	Hanning & Kahl	Carlisle Brake & Friction	Huawu	JZB	Jiaozuo Industrial Brake	Shanghai Sansi	CSIC Chengde Hydraulic Mechanical-Electrical	CSIC Shendi Jiangsu Heavy Industry
Goldwind														
Vestas														
GE														
Siemens														
Gamesa														
Enercon														
United Power														
Mingyang														
Envision														
CSIC Haizhuang														

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update, Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真: Svendborg Brakes A/S 提供

3.7.コントロールシステムのサプライチェーン

風車メーカー	内製	ABB	Beckhoff	Bachmann	Freqcon	Ingeteam	KK Wind Solutions	DEIF
Goldwind								
Vestas								
GE								
Siemens								
Gamesa								
Enercon								
United Power								
Mingyang								
Envision								
CSIC Haizhuang								

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update, Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真出典: Beckhoff Automation GmbH 提供

3.8.コンバータのサプライチェーン

Supplier	内製	ABB	DELTA	Emerson	Freqcon	Power Conve	Hopewind	DeutschePu	Ingeteam	The Switch
Goldwind										
Vestas										
GE										
Siemens										
Gamesa										
Enercon										
United Power										
Mingyang										
Envision										
CSIC Haizhuang										

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update. Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真出典: 安川電機、<https://www.yaskawa.co.jp/newsrelease/product/5831>

3.9.ピッチ機構のサプライチェーン

Electric Pitch	Bonfiglioli	Comer Ind	Brevini	C.H.Schaff	Liebherr	NGC	Chongqin	Chongqin	Zollern	Hydratech	Fritz Schu	Fluitechnik	Parker	PMC Tech	HINE Ren	Glual
Goldwind																
GE Wind																
Enercon																
United Power																
Mingyang																
Envision																
CSIC Haizhuang																
Vestas																
Siemens																
Gamesa																
Mingyang																

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update. Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.

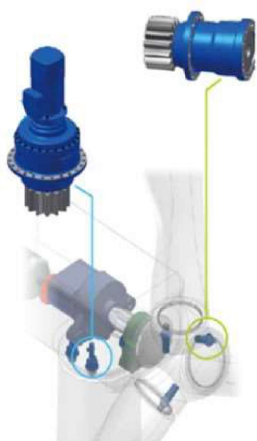


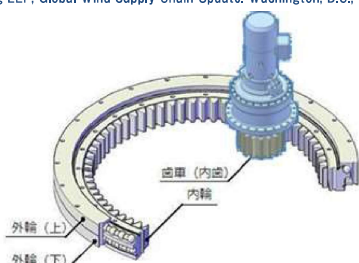
写真: ナブテスコ提供



3.10.ヨー駆動装置のサプライチェーン

風車メーカー	Bonfiglioli	Comer Industries	Brevini	Liebherr	Zollern	NGC	Chongqing Gearbox	Chongqing Qingping
Goldwind								
Vestas								
GE								
Siemens								
Gamesa								
Enercon								
United Power								
Mingyang								
Envision								
CSIC Haizhuang								

データ出典: FTI Consulting LLP, Global Wind Supply Chain Update. Washington, D.C., 2017. ISBN-10: 0992897912.



写真出典: 第2回風力発電関連産業セミナー「風力発電産業の動向と将来展望」2014.6.12



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 34

3.11.風車製造/地元企業ができること、求められる役割

地元主導の風力発電プロジェクト始動

- 市場の醸成(県、国など)
- 地元への産業誘致要求(県、国など)
- 地元関連産業の設備投資支援、国庫補助などの斡旋(県、国など)

風車や部品メーカーの誘致

- 港湾隣接の工業団地などの提供、インセンティブ付与(県、国など)

地元企業ができること

- 要素技術の発掘と部品などの開発、認証取得



写真出典: <https://www.kitashiba.co.jp/power-system/>



写真出典: <https://aikawatk.co.jp/>



4. 建設工事

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 36

4.1. 洋上に特徴的な設備の例

HITACHI
Inspire the Next

- 洋上風力発電所のBOP^[注]と建設工事費用は、風車本体より大きな割合を持つ



http://www.jsmea.or.jp/offshore/pdf/004_hamanaka_chain.pdf

浮体用係留チェーン



Seajacks Zaratán:
http://www.seajacks.com/seajacks_in_the_news/2012/08/seajacks-zaratan-successfully-undertakes-om-work-for-dong-energy/

JUV:ジャッキアップ船傭船

[注]BOP: Balance of Plant: 残りの設備(風車を除く設備)



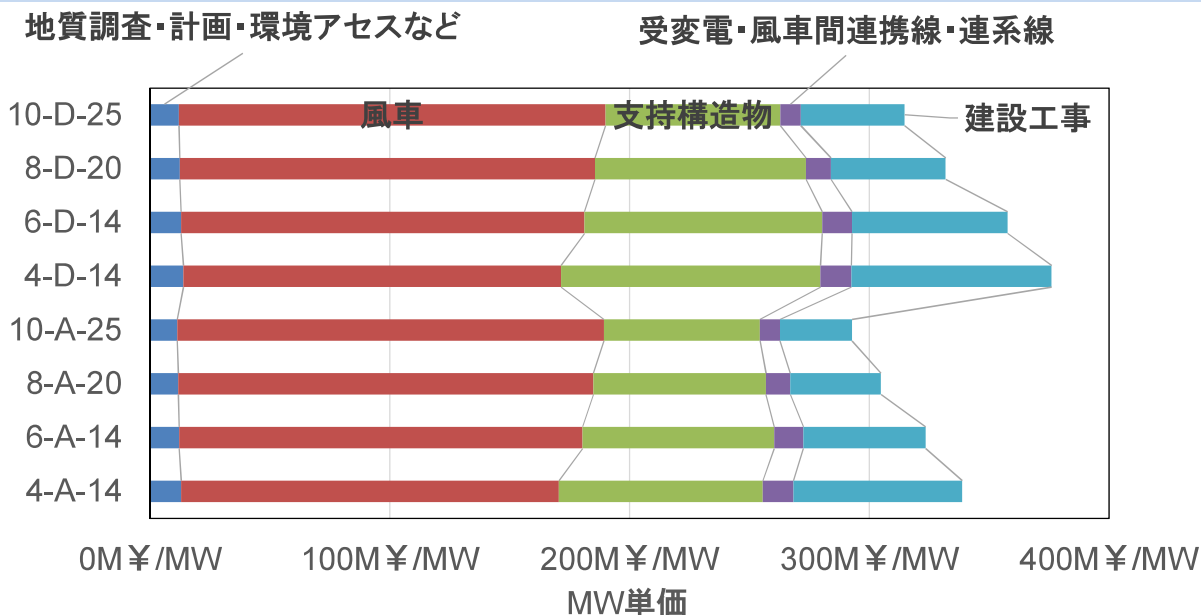
トリポット基礎



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 37

4.7.ヨーロッパにおける洋上風力事業費の内訳

- 全体として、30万円/kWから46万円/kW程度まで低減
- モジュール化などによる据付工数の合理化で、風車の割合が50%弱まで増加
- 離岸距離の大きいプロジェクトでは、陸上変電所、連系線、海底ケーブルなどは、含んでいない



データ出典: BVG Associate, Future renewable energy costs: offshore wind, http://www.innoenergy.com/wp-content/uploads/2016/09/KIC-InnoEnergy-Offshore-Wind-anticipated-innovations-impact-2016_A4.pdf

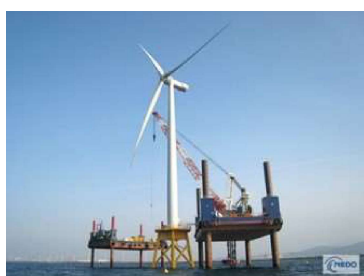
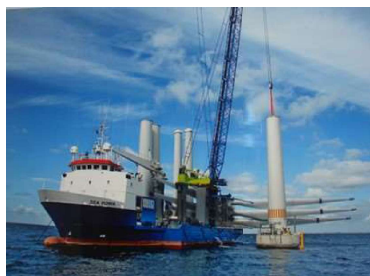
© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 38

4.2.風車の据付工事の概要

- 風力発電の建設に関連する業者は、大手ゼネコンをはじめとし、中小の建設会社、電気会社など、様々な業種が関わる
- 洋上風力発電では、さらに、鉄鋼会社、海洋土木工事会社、海運・船舶会社などの企業加わる



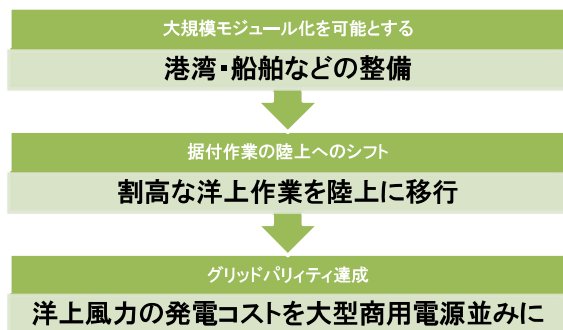
写真出典: 4.建設・運転・保守技術(鹿島建設)、NEF風力研修会、2014/12/2



写真出典: 大型発電機の建設について(鹿島建設)、JWPA協会誌、2009年7月、http://jwpa.jp/2011_pdf/90-18mado.pdf
五洋建設ニュースリリース、<http://www.penta-ocean.co.jp/news/2019/190108.html>

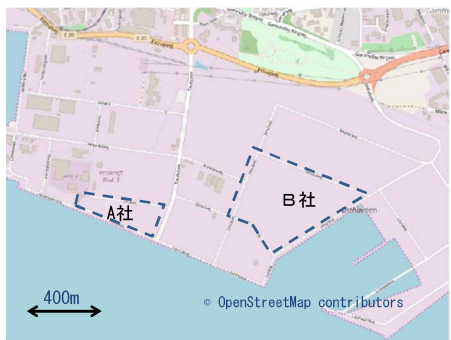
© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 39

4.3. 港湾拠点整備 / 洋上風力の組立が陸上にシフト



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 ²
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



エスビエア港モジュール化ヤード (2017年)





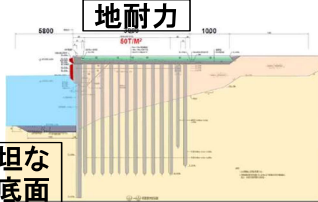
エスビエア港利用状況

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

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 40

4.4. 日本の船舶と港湾の技術

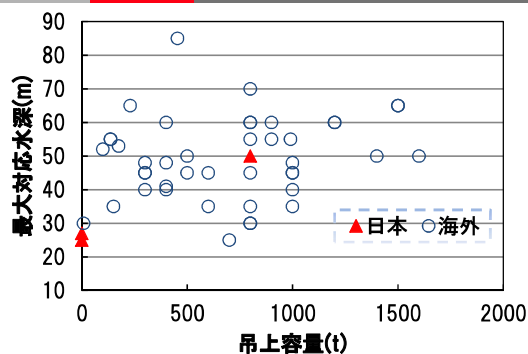
- 自航式のジャッキアップ船(JUV)が欧州で主流、レグの着底、移動が効率的
- 国内では、五洋建設のJUB(非自航)が2019年2月に竣工、清水建設が世界最大のJUV(自航)の建造に着手

	2010年	2015年	2020年
自航	 <p>推進機</p> <p>タグボート</p> <p>出典: https://www.nyk.com/release/dps_data/material/_files/000/000/004/344/photo3.jpg</p>		 <p>居住区</p> <p>クレーン</p> <p>DPS</p> <p>推進機</p> <p>ヘリポート</p> <p>JUV</p>
非自航	 <p>JUB (SEP)</p> <p>出典: https://www.dai1-sep.com/tech/sea.php</p>	 <p>居住区</p> <p>クレーン</p> <p>DPS</p> <p>ヘリポート</p> <p>JUB (SEP)</p> <p>出典: http://www.penta-ocean.co.jp/news/2019/190108.html</p>	 <p>地耐力</p> <p>平坦な海底面</p> <p>埠頭の断面形状例</p> <p>出典: Shinoteec, Environment Study Of The Offshore Wind Farm in The Central Taiwan and The Planning of Fabrication Yard</p>

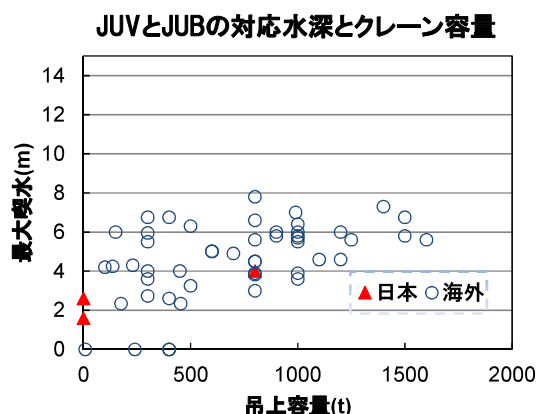
JUB: Jack-up barge 自己昇降式台船, JUV: Jack-up Vessel ジャッキアップ船, DPS: Dynamic Positioning System 船体安定装置

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 41

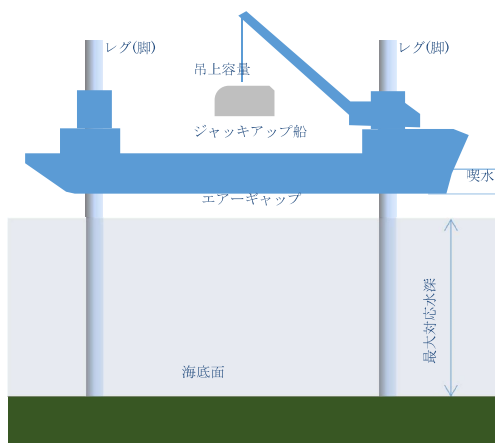
4.5.船舶・港湾インフラとの整合



- 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の最大喫水とクレーン容量



4.6.その他風力発電所関連製品 (BOP) 産業の分布

- 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、韓国などに立地



地元の強み分析と洋上風力への展開

- 海底ガス田の関連技術、海底油田用船舶(ジャッキアップリグ)などの関連技術蓄積
- コンクリート浮体などの製造への展開
- 地元造船業の活性化

港湾の整備

- 福島沖に計画中的新規洋上プロジェクトと協調した港湾ヤードの整備



出典: <https://www.inpex.co.jp/news/pdf/2010/20100428.pdf>



出典: 小名浜造船 株式会社ホームページ、<http://www015.upp.sonet.ne.jp/iwakinzoku/member/ona-zosen.html>

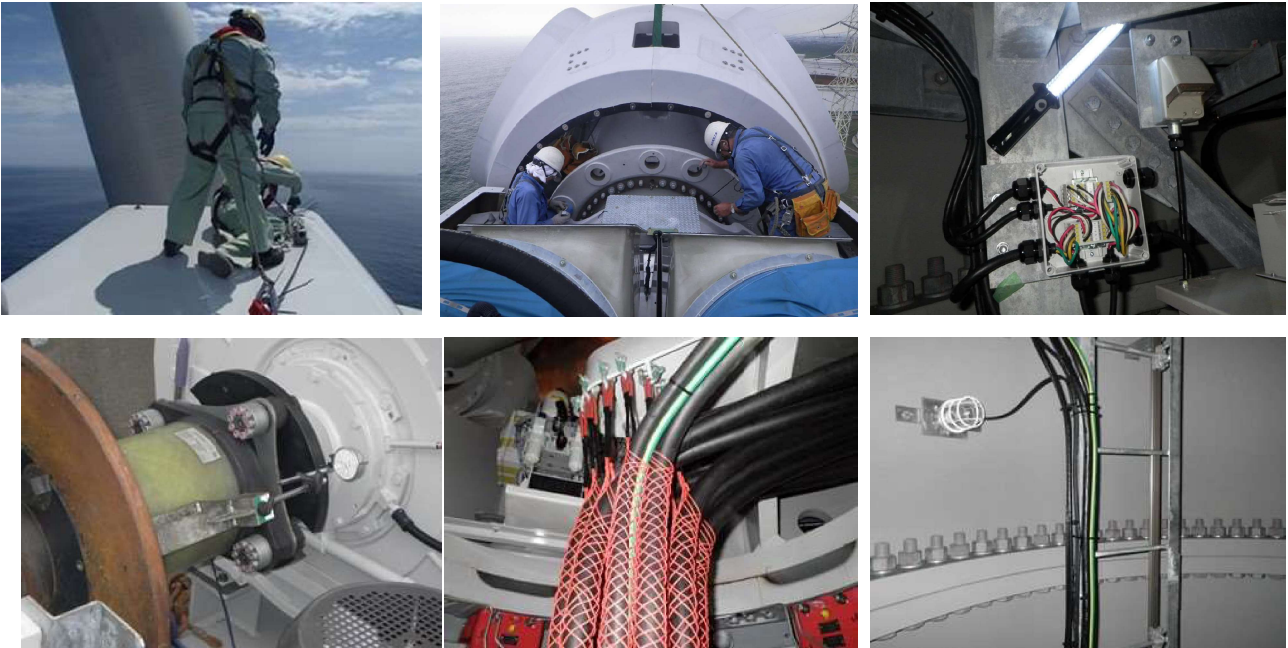
© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 44

HITACHI
Inspire the Next

5.運転保守

5.1. 運転保守の概要

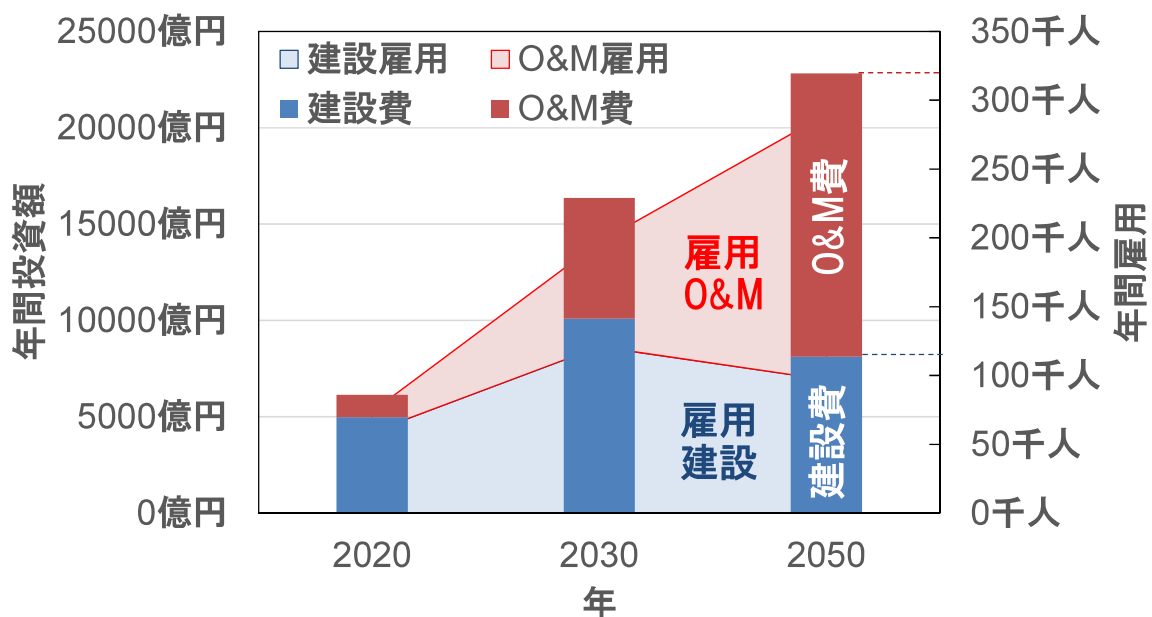
- 風力発電所の運転の保守に関わる会社は、風車メーカー、コンポーネントメーカー、メンテナンス会社などが挙げられる



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 46

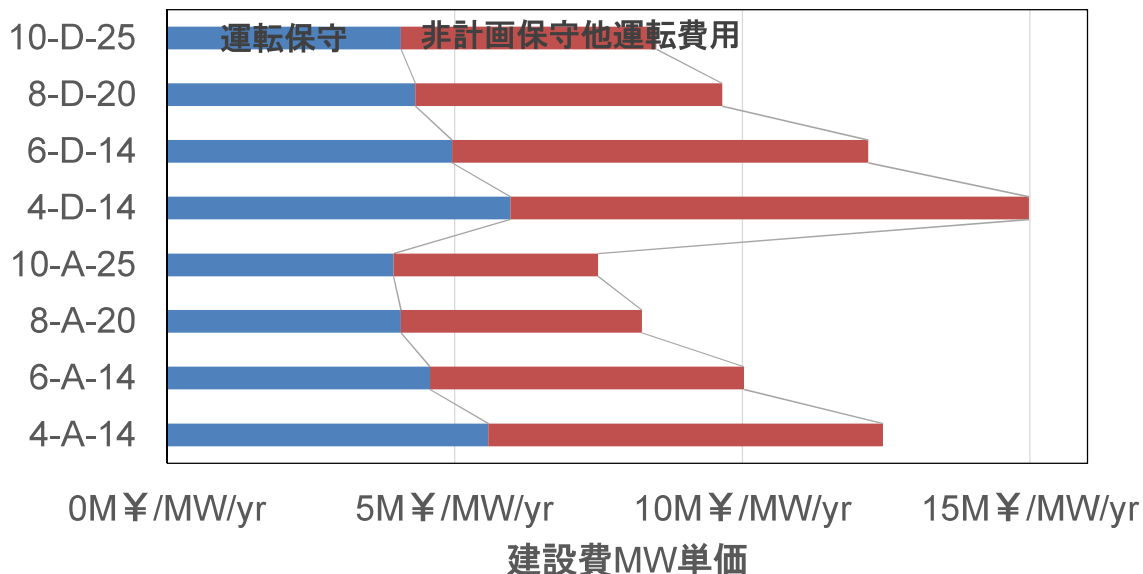
5.2. O&M費・雇用予想

- 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



5.3.洋上風力/計画および非計画保守費

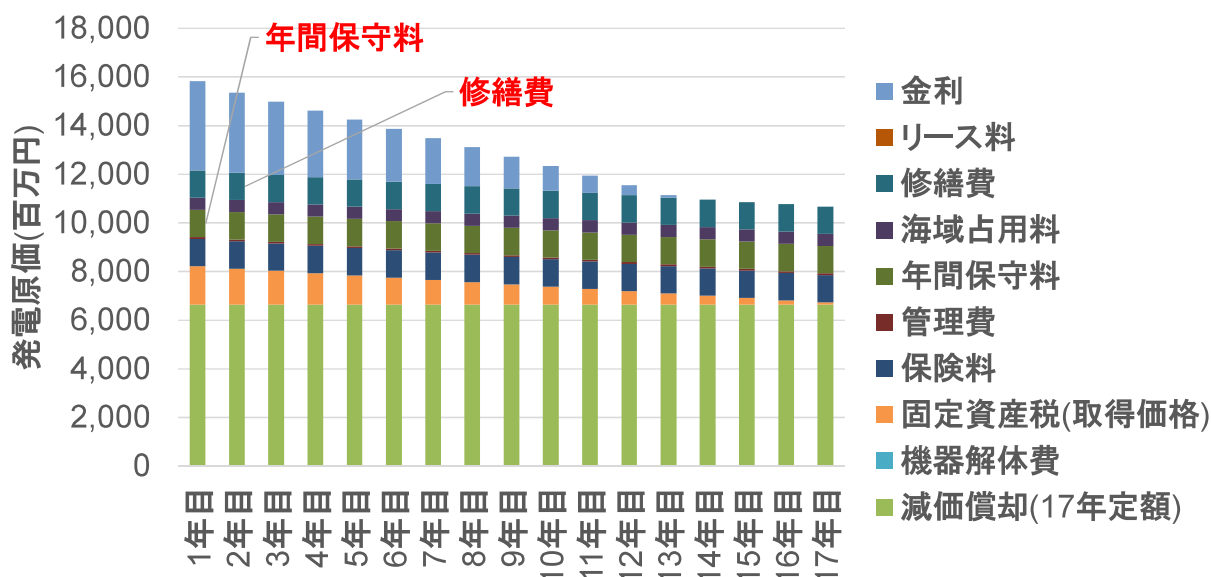
- 保守費は、7千円/kW/年から1万5千円/kW/年と20年から10年で風車価格に匹敵するレベルで、拠点港近傍への経済波及効果は比較的大きい
- 洋上風力の保守費用のうち約50%が突発的な費計画保守



データ出典: BVG Associate, Future renewable energy costs: offshore wind. http://www.innoenergy.com/wp-content/uploads/2016/09/KIC-InnoEnergy-Offshore-Wind-anticipated-innovations-impact-2016_A4.pdf © Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 48

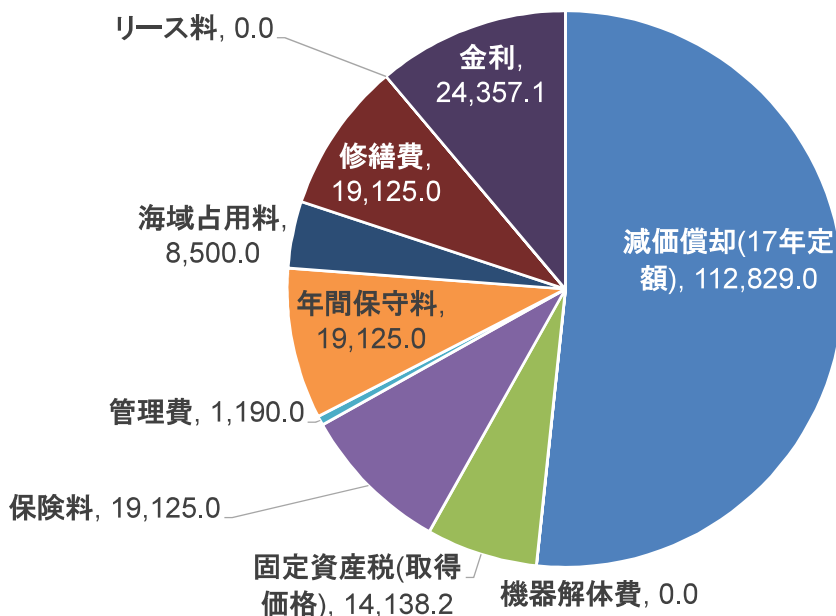
5.4.発電原価の推移 (5MW・50基洋上の試算例)

- 保守費用および修繕費は、原価の14%程度を占める。
- 他の発電システムに比べ保守量の割合は高い。洋上風力の場合は、陸上に比べ割高になる。



5.5.洋上発電原価（17年間の累計）の内訳

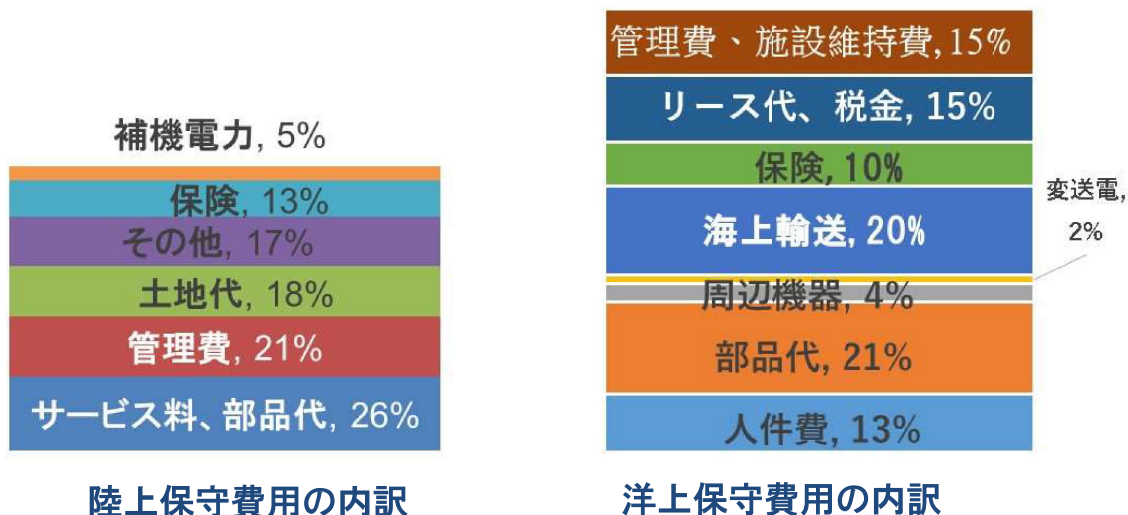
- 修繕費および保守費用は、17年間の累計原価に対して18%となる。（撤去関連の費用は、考慮していない）



© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 50

5.7.0&M費用

- 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

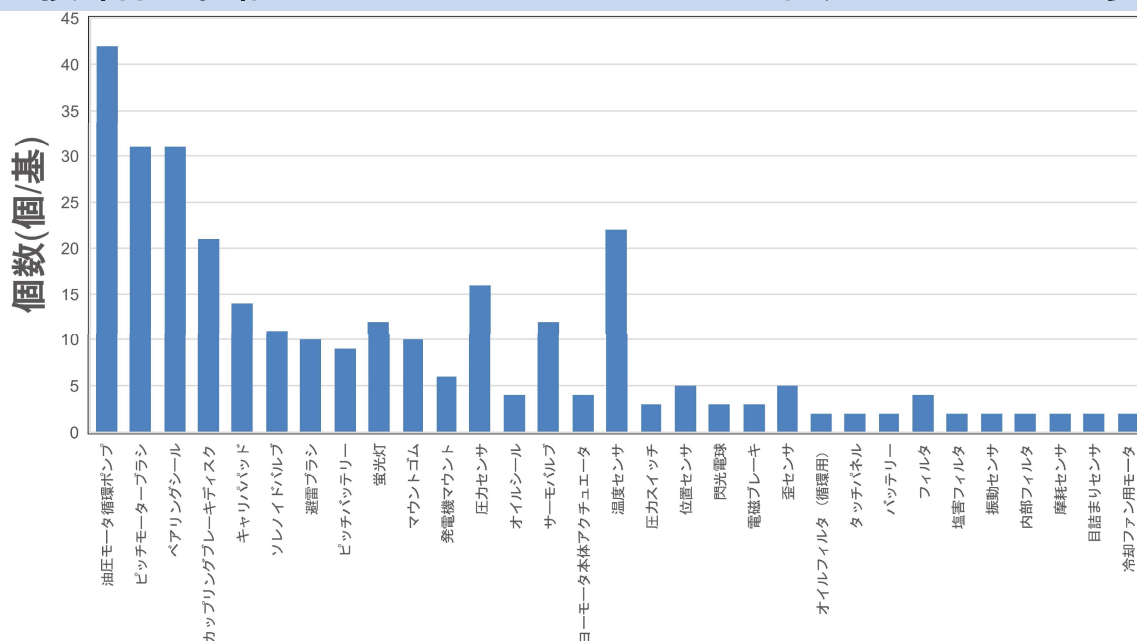
出典 Wind Energy - The Facts (WindFacts), Operation and Maintenance Costs of Wind Generated Power
<http://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>

出典 Bloomberg New Energy Finance

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 51

5.8.消耗品、交換部品の例

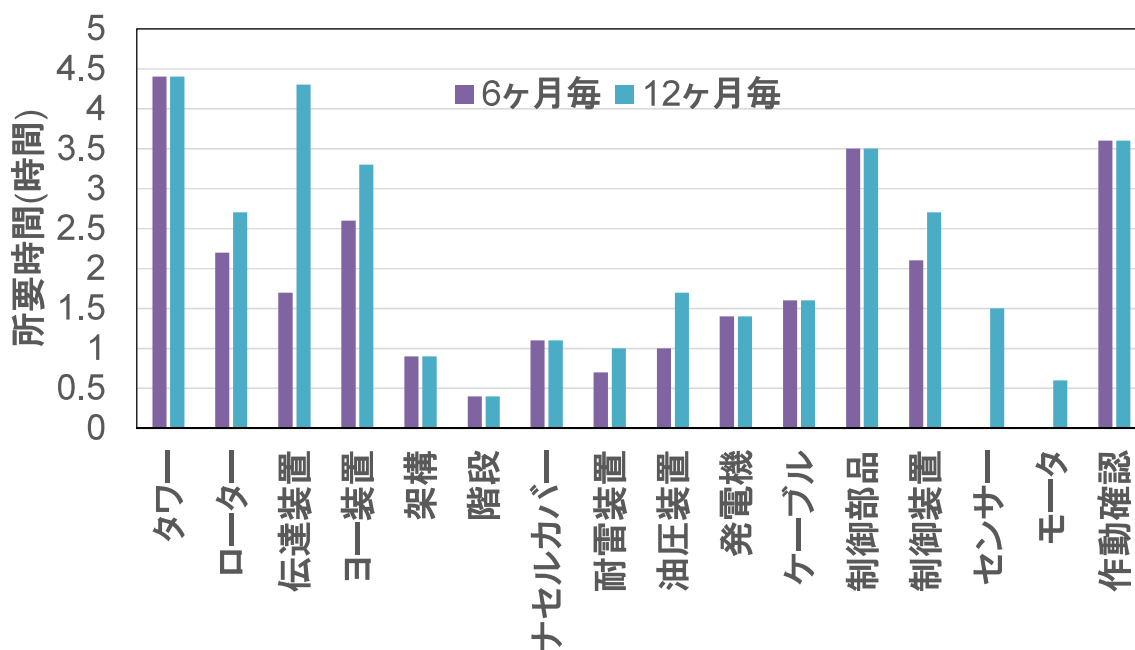
- 各コンポーネントのうち一部部品が消耗品交換部品となる
- 交換部品の供給には、コンポーネントメーカーから認定されることが必要



【個数の少ない消耗品】 ヨーモータギア減速機オイル、ヨー旋回軸受レース面グリス、ヨー旋回軸受歯面グリス、ラジエター、ラジエターファン、ランプ類、リミットスイッチ、リレー各種、レベルスイッチ、圧カスイッチ、圧力センサ、安定化電源、温度センサ、外部温度センサ、換気ファン、気圧計、軸受、遮断器各種、主軸軸受グリス、振動センサ、制御回路基板、接触器各種、旋回ベアリングシール、補機変圧器本体、窒素ガス、直流電源装置、電解コンデンサ、電源装置、電池パック、電力用コンデンサ、内部温度センサ、入出力モジュール、入力軸シール、燃料、発電機軸受グリス、発電機遮断機(52G)、表示灯各種、風速計、風速計、冷却ファン、冷却液ポンプ、1.8kV高圧盤、ディーゼル発電機、ナセル制御盤、ピッチコントロールボックス、ヨーインバータ盤、航空障害灯管制盤、昇圧変圧器

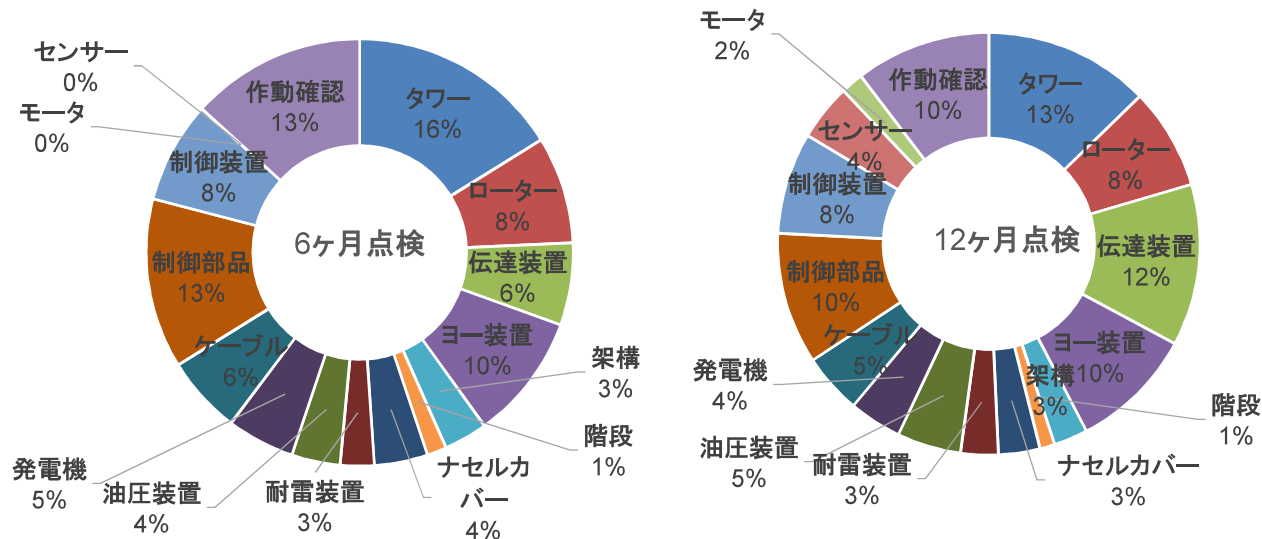
5.9.定期に要する時間の目安

- 各項目ごとの点検所要時間は、6分から4.5時間程度、点検作業には、2から3名が従事するのが通例



5.10.点検時間の項目別分布

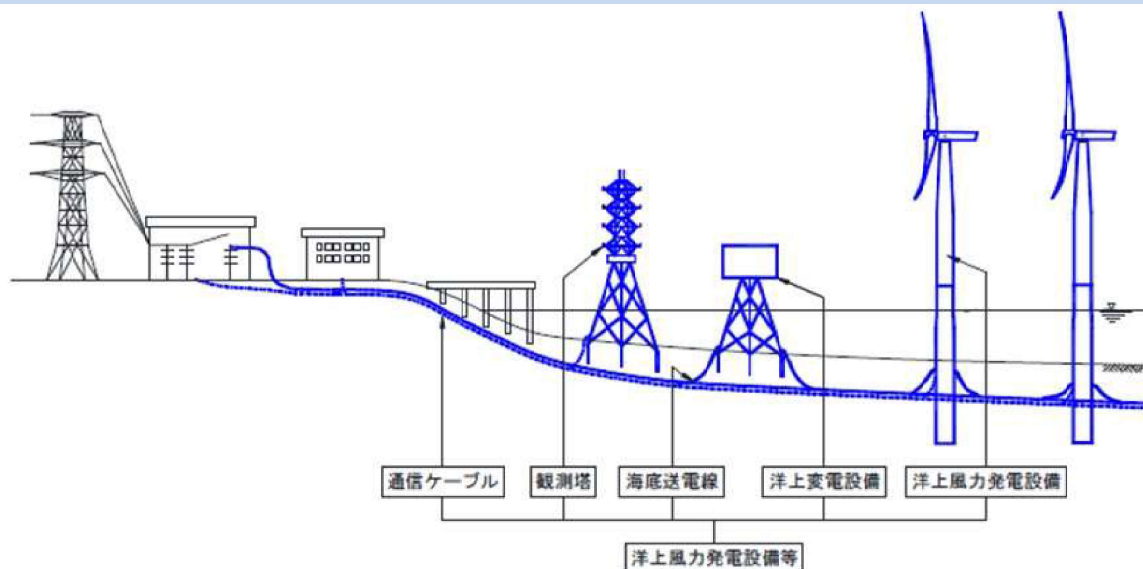
- 取付ボルトの本数が多い、タワー、ロータなどが、点検時間が長くなる傾向が見受けられる



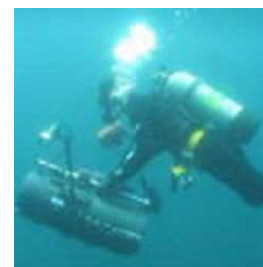
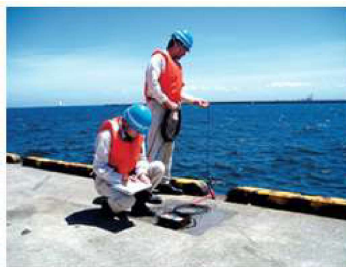
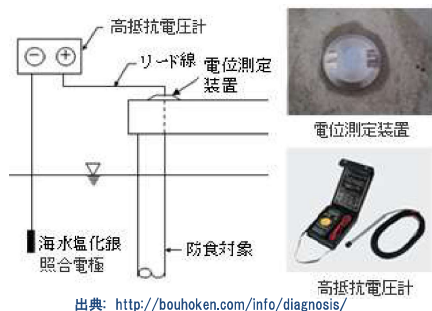
© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 54

5.11.BOPの点検対照

- BOP部分に関して、経済産業省と国土交通省が点検のガイドラインを作成開始し、2019年3月末に発表予定
- ガイドラインは、上部工と下部工のうち、タワーを除く下部工の点検基準を制定の見込
- 陸上部分の対象は、受変電設備などとなる



- 下部工のうち着床式基礎の主要点検対象は、犠牲電極、電位、洗掘となる見込
- 点検技術は、港湾施設などとほぼ同等の内容となる見込

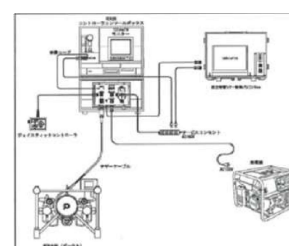


電位測定

潜水士



板厚測定



ROV

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 56

5.13.運転保守/地元企業ができること、求められる役割

保守技術者の育成

- 県内の大学、高専、工業高校などと共同での人材育成
- 県内港湾関係者の洋上点検業務への参入機会の提供

雇用機会の確保

- 保守会社の創業支援、県内への保守拠点施設や保守拠点港の誘致



CTV(要員輸送船)



英国の洋上風力保守拠点港

© Hitachi, Ltd. 2019. All rights reserved. 57