

長崎海洋大使・海外先進地
派遣事業報告書

稲満 隆文（長崎大学）
深谷 智（長崎総合科学大学）
宮崎 結（佐世保工業高等専門学校）

令和5年3月

目次

1. 背景	1
2. スケジュール	2
3. Vestas Wind Systems 社訪問	3
4. Maersk Training 社訪問	6
5. DTU Riso キャンパス訪問	12
6. Stiesdal 社訪問	16
7. COP (Copenhagen Offshore Partners) 社訪問	20
8. 印象に残ったことや感想など	24
9. 謝辞	26

1. 背景

近年、日本では脱炭素社会の構築に向けて海洋エネルギーが注目されており、2022年12月には日本で初めてとなる大規模洋上風力発電が秋田県沖で営業運転を開始した。我々の住む長崎県は、全国でも有数の漁獲量や海岸線の長さを誇る海洋県であり、海洋エネルギーも豊富に存在する。実際に五島市沖では、全国で初めて洋上風力発電の促進区域に指定され、2024年1月には8基の浮体式洋上風車が稼働予定である。また、ウインドファームの建設に伴い、洋上風力発電の先進国である欧州との協力は盛んに行われ、長崎県ではグローバル人材の育成や雇用創出が期待されている。しかし、長崎県の人口流出は全国でも高く、多くの若者が流出している。

そこで、我々長崎海洋大使は洋上風力先進国であるデンマークを訪れ、最先端の研究施設や実験施設を視察し、その施設関係者との交流を行った。そして、日本では得られないグローバルな知見を得ること、長崎県で実施されている海洋開発への理解を深めること、および訪問により得られた体験を多くの人へ伝えることで、長崎を含めた日本全体の再生可能エネルギー分野が発展することを目的として本プロジェクトは実施された。

2. スケジュール

以下に示す通り 2023 年 2 月 25 日 (土) から 3 月 5 日 (日) の 9 日間の日程で視察を行った。

1 日目 2/25 (土)

長崎空港集合

長崎空港→東京/成田空港

東京/成田空港→ソウル/インチョン空港

ソウル/インチョン空港→

(機中泊)

2 日目 2/26 (日)

→アムステルダム空港

アムステルダム空港→オーフス空港

オーフス空港→オーフス駅 (バス)

オーフス市内 ホテル泊

3 日目 2/27 (月)

Vestas 社 訪問

オーフス→エスビアウ (鉄道)

エスビアウ市内泊

4 日目 2/28 (火)

Maersk Training 社 訪問

エスビアウ→コペンハーゲン (鉄道)

コペンハーゲン市内泊

5 日目 3/1 (水)

デンマーク工科大 RISO 訪問

コペンハーゲン市内泊

6 日目 3/2 (木)

Stiesdal 社 訪問

COP (Copenhagen Offshore Partners) 社訪問

コペンハーゲン市内泊

7日目 3/3(金)

コペンハーゲン空港→アムステルダム空港

アムステルダム空港→

(機中泊)

8日目 3/4(土)

→ソウル/インチョン空港

ソウル/インチョン空港→東京/成田空港

成田市内泊

9日目 3/5(日)

東京/成田→長崎

長崎空港にて解散

また、主要訪問先を図 1 に示す。



図 1 主要訪問先概略

(① Vestas 社、② Maersk Training 社、③ DTU Riso Campus、④ Stiesdal 社、⑤ COP(Copenhagen Offshore Partners)社)

3. Vestas Wind Systems 社訪問

【日時】：2月27日(月) 9:00-11:00

【対応者】：Nicolai Asbo Ahrenkiel、Wadia Frueugaard、Hidehiro Urata(Web 参加)

Vestas 社は、1945 年に設立されデンマーク第 2 の都市であるオーフスに本社をもつ大手

風力発電機メーカーである。2014年4月に洋上風力発電設備に特化した MHI Vestas Offshore Wind A/S を三菱重工との合弁によりオーフスに設立したが、2020年秋に三菱重工分の株式を Vestas 社に譲渡し事実上この MHI Vestas 社は Vestas 社の一部になった。2021年2月1日に、風力発電機事業を中心とした再生可能エネルギー分野における協業強化の一貫として、三菱重工株式会社と Vestas 社の共同出資により MHI ベスタス・ジャパンが設立された。また、ベスタス・ジャパン株式会社は東京に本社を、全国の12か所にサイトオフィスおよび倉庫を構えており、長崎県の平戸付近にも設置する計画がある。

Vestas 社は、29,000人の従業員が在籍し、世界中の風力エネルギーとハイブリッドプロジェクトの設計、設置、開発および保守を含めたさまざまなサービスを提供する。さらに、同社は風力分野で40年以上の経験を持っており、88カ国に160GW以上の風車を設置し、すでに15億トンのCO₂が大気に放出されるのを防いでいる。

風力発電機の開発・製造・販売について Vestas 社陸上用風力発電機と洋上風力発電の二種類の風車を開発から製造販売までを行っている。風車の開発は発電量、風況、技術面などを加味して進められる。風車の主な材料は鋼鉄と FRP でありそれぞれの強度・価格・発電効率・生産コスト・ランニングコストなどを加味して設計している。

現在日本では3.6MWと4.2MWの風力発電機を提供しているが4.2MWプラットフォームは全世界で累計51GWの発電量を持つ優れた発電機である。現在は15MWの風力発電機をさらに開発しておりさらなる大型化が想定される。

Vestas 社では風力発電機の維持・保守・整備サービスも提供しておりリアルタイムでの監視と定期点検によって効率的かつ安全に風車を運用できるようにしている。また各拠点に部品をストックしており故障時などに迅速に対応が出来るようにしている。

また風車のアップグレードと最適化の経済性をさらに改善しようとしている。具体的には49,000機以上の風力発電機から送られてくるデータをもとにエンジニアが運転の効率化や気象状況などからの発電量予測、状況に応じたパーツ交換などである。

今回訪問したオーフスの Vestas 社本社敷地内にある Technology R & D 部門の建屋の広いロビーには、Vestas 社で開発されたタービンのブレードが展示されており、ブレードを雷から守るために取り付けてある電子回路や、ブレードの材料についての説明を受けた。また、Vestas 社が開発したナセルや、全種類の縮小モデル版風車も展示されており、風車の大型化が進められていることに加え現在最大級となる風車がどれだけ巨大なのかを感じることができた。図2はナセル前での記念撮影写真である。ちなみに、オーフスを訪問した2月は曇りでどんよりとした天気が多く、晴れることは珍しいため、晴れの日オーフスを訪れることができたのは幸運であった。その後、かつて MHI Vestas に在籍し、現在は Vestas 社にて新製品導入のマネジメントを行っている浦田さんよりリモート会議で話を伺った。Vestas は国内外の様々な場所に工場を持っており、デンマークにおいては土地や労働者の関係からナセル工場やブレード工場などが複数の場所に存在している。なお、中国およびインドにおいては、工場は1つにまとまっている。浦田さんは工場でナセル作成のスタートア

ップに携わり、現在は世界中に存在する Vestas の工場管理を行っている。そんな日本企業と外国企業の両方で勤務経験のある浦田さんに、仕事および働き方について話していただいた。

浦田さんは勤務において、工場でできることをなるべく増やすということを重要視していた。それは、offshore（沖合）ではどんな作業を行うにしても陸上と比較してコストが高くなることが1つの理由であり、実際に Vestas では仮組立てを工場で行いフーリエ解析などを行うことで、高い信頼性とコスト削減に繋げている。このほか、4M（Man、Machine、Material、Method）が準備できているかをもとに、工場での生産時間が長いステップをいかに短縮し、生産をスムーズにできるかの改善がなされている。また、日本とデンマークでの一般的な働き方の違いとして、日本人には助け合いの精神がある一方で、デンマークで働く人は仕事とプライベートを明確に分けており、ワークライフバランスがしっかりしているとのことである。しかしながら、そんなデンマーク人たちも仕事が一番ではないにしても結果を出さなければいけないため、タイムマネジメントが得意であると浦田さんは考えていた。そして意外なところに日本との共通点もあり、Vestas で働く人たちにも日本語である KAIZEN という言葉が周知されていた。もちろん、Vestas でも”KAIZEN”は日本語の「改善」と同じ意味で使われており、日本企業の考え方が世界の企業でも用いられていることに驚いた瞬間だった。

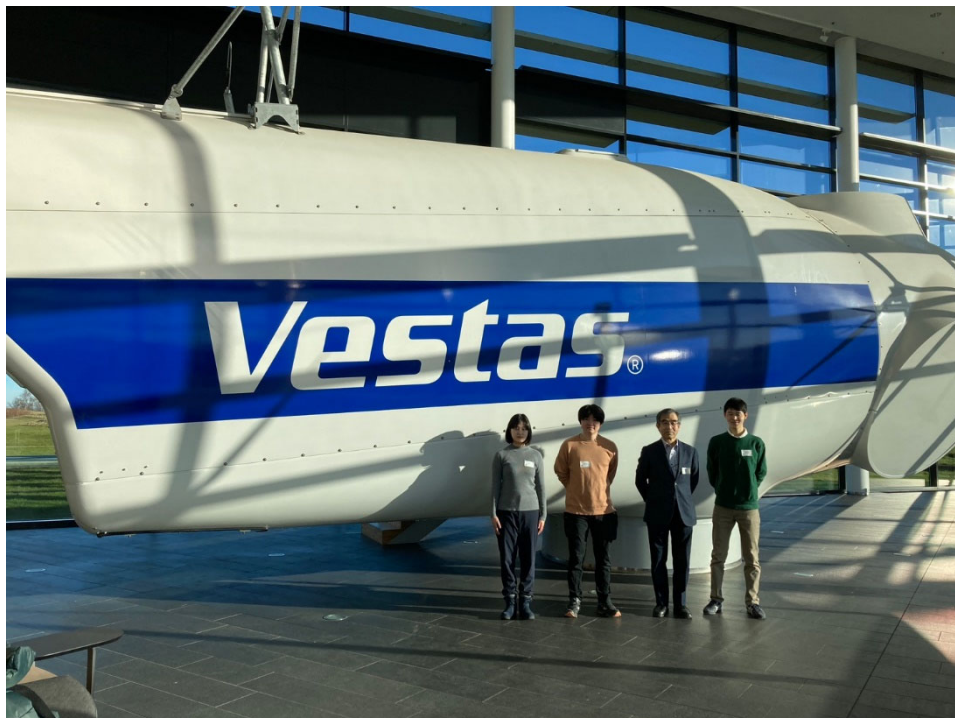


図 2 ナセル前での記念写真

ここからは、Vestas の経営について伺った話を抽出して記載する。現在、Vestas が開発

した分野で最大級となる 15 MW の V236-15.0 MW は 115.5m のブレード長をもっており、海水面から最高点までの高さは 300m 近くある。Vestas の YouTube チャンネルやホームページには、V236-15.0 MW プロトタイプを陸上で組立てる様子が公開されており、風車がどれだけの大きさであるのかを容易に理解できる。また、後ほど説明するが工場により生産されたナセルやブレードなどの部品は、デンマーク西部の港湾都市エスビアウに集約され、そこを拠点に設置海域へ運搬、出荷されている。ここで、風車 1 基自体の規模が大変大きくなっている近年、洋上風力発電に使われる風車はどこまで大きくなるのかという質問に答えていただいた。現在のところ港湾設備や輸送、製造そして組立てに用いるボルトの大きさによる制約から、風車の大きさには限界があるとも考えられている。しかし、Vestas では 7-8 MW 級の風車を作っている際にはギアボックスなどの問題から 10 MW 以上は作れないと思われていたが、技術革新によりその限界を超えたということがあり、技術革新によって今では考えられない規模の洋上風車が海で発電をしている可能性もある。

最後に、図 3 Vestas 社員の方との記念写真に我々のお世話をしていただいた Vestas 社員の方との記念撮影を示す。



図 3 Vestas 社員の方との記念写真

4. Maersk Training 社訪問

【日時】：2月28日(火)

【対応者】：Frank Holst Christoffersen、Alex Øbel Nielsen

Maersk Training はデンマーク物流大手企業である A.P. Møller - Maersk グループのグローバルなトレーニングおよびコンサルティング組織である。Maersk Training は 1978 年に北海油田で起こったガス爆発がヒューマンエラーによるものであったことを受け、マースク社が長年培ってきた海に関わる様々な経験を活かしながら、実際の作業環境における安全性や行動、運用パフォーマンスの改善などを目的として設立された。同社は能力開発およびスキル向上における国際的な業界リーダーで、世界中に 16 か所以上の拠点を持っているうえに 40 年以上の経験があり、石油およびガス、再生可能エネルギー、海事産業向けに安全性と経済性の強化を目指したトレーニングの提供を専門としている。また現在は訓練のコンサルタントやデジタル化支援、他社の社内訓練メニューの提供など訓練以外にも次に示す様々なサービスも提供している。

① 各種トレーニングの提供

マースクトレーニングでは業種や施設などによってさまざまな訓練と座学の間を提供している。主なトレーニングのメニューとしては生存訓練、エネルギープラント等での業務訓練、海上訓練、緊急脱出訓練、応急処置訓練、その他の業務用の訓練などがある。それぞれの訓練で座学と実習を通したメニューであり世界中にそれらの訓練が可能な設備が用意されている。

② トレーニングのデジタル化・コンサルタント

マースクトレーニングではこれまでに様々な企業との仕事の中で得た経験と技術をもとに海事、再生可能エネルギー施設、掘削などの専門的な内容についても訓練の最適化やデジタル化などの管理もサポートしている。

我々はデンマーク西部にある港湾都市エスビアウ (Esbjerg) の Maersk Training を訪れ、Frank さん、Alex さんのお二人に案内していただいた。はじめに緊急時の避難経路などについての説明があり印象的だった。来客にも緊急時の対応を把握させておくところに安全訓練施設としての意識を感じた。Alex さんは本プロジェクトでお世話になっている小林さんの在籍する長崎海洋産業クラスター形成推進協議会（以後、NaMICPA）が関わっている、長崎県伊王島への最先端の GWO トレーニングセンターの建設に携わっている。GWO (Global Wind Organization) とは、2012 年に Vestas、GE、Siemens Gamesa 等の風力タービンメーカーや風力発電設備オーナーより、風力発電業界で働く労働者の業務上のリスクを低減させ業界全体で安全な労働環境をつくることを目的として設立された労働安全の認証を与える非営利組織であり、風力発電作業員に対する訓練基準を設けている。提供される訓練は主に、BST (Basic Safety Training) と呼ばれる危険遭遇時や緊急事態時の対処法を取り入れた基礎安全訓練や、BTT (Basic Technically Training) と呼ばれる風力発電設備の構造に関する基礎技術訓練がある。訓練は風力発電所やガス油田、船舶をはじめとした海上で人間が作業を行う必要のある様々な分野で提供されている。そして、各分野において提供される訓

練は、豊富な経験をもとにあらゆる事案を考慮して作られたもので、日本には無いノウハウがたくさん詰まっていた。例えば、洋上風車の設置ではジャッキアップ船と呼ばれる4本の杭を海底に打ち込むことで船体を海面から離し、波浪に影響されることなく建設作業を可能とする作業船が使われている。そこで、Maersk Training では、ジャッキアップ船が地面の軟らかい海底に杭を打ち込む際に起こりうる、突然船が大きく傾く体験をできる施設がある。また、洋上風力発電の作業員はヘリコプターによる輸送が考えられているが、ヘリコプターが墜落した場合の水中脱出訓練や、海上において負傷者が出た場合の救護訓練なども行われている。

最初に見学した訓練設備は座学を行うエリアで実際に機材などがあり非常に実務的な物が驚きが大きかった。次に見学したエリアは室内での工具や制御版、溶接、配管工事などの訓練をするエリアで企業の専用エリアもあり企業ごとに必要な技能も取得できるようになっていた。

図4は、脱出訓練用の深さ6m大型淡水のプールが設置されており水難訓練などが出来るように準備されていた。ヘリを模した箱型の装置や膨張式の救命いかだのモデルなどがあり訓練では風や波なども再現する。

図5にガス油田作業員の消火訓練施設を示す。ガス油田分野における訓練では、火災が発生した場合に消火する必要があるため、実際の作業環境に即した状況で鎮火を体験できる施設などもあり訓練内容が充実していると感じた。

なお、風力タービン大手メーカーであるVestas、GE、Siemens Gamesaなどのメーカーでは、整備点検や建設などにおいて各社異なる作業等がある関係で、それぞれのメーカーごとに異なる訓練を作業員に受けてもらっている。Maersk Trainingは各風車メーカーと協力し、各社に個々の訓練を提供しており、広大な敷地面積を有していた。そして、驚くべきことに複数のコンテナによって構成された移動可能なモバイルトレーニング施設もあり、訓練プールや作業船を模した構造で訓練を実施していた。

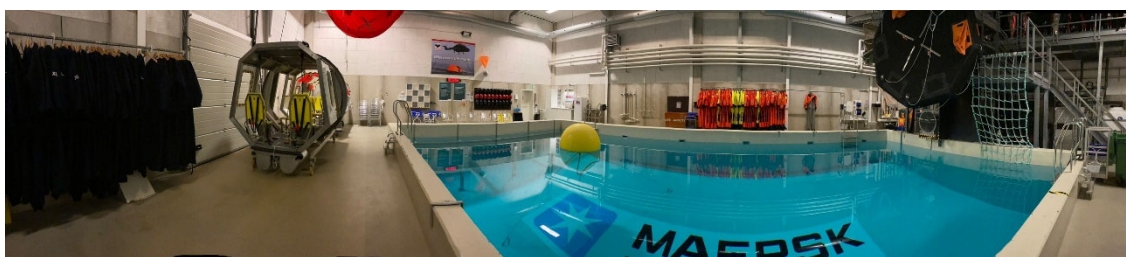


図4 サバイバル訓練用プール施設の概要



図 5 ガス油田における消火訓練施設

NaMICPA が創設に携わっている、長崎市伊王島に 2024 年 8 月オープン予定のトレーニングセンターでも、私が現地で見してきたような作業員の生命を守るような立派な施設ができることを期待したい。しかしながら、Maersk Training は日本の海を熟知しているわけではなく、津波等の現象については日本が多くの知識を持っているため、お互いが協力してその地域に適した訓練を風力発電作業員へ提供する必要があるとの話を聞いた。説明中にも Maersk Training の方が言われていたが、洋上での作業で起こりうることを海へ出る前に多く想定し準備することが重要であるため、お互いが協力してプロジェクトを進めていければと思った次第である。

その後、我々は Alexさんと共にエスビアウ港へ移動し、見学ツアーをしていただいた。図 6 -図 9 はエスビアウ港にある Maersk Training in Esbjerg Harbour という訓練施設である。洋上風力発電施設に近づく際に使われるボートの転覆を想定した訓練や船の操縦を模擬的に体験できる設備などが整っていた。図 10 は、水泳の訓練を行っている様子であるが、水温は 5℃程度のように実際に海水の中でイマーシブスーツを着用して泳いだり救命艇や救命いかだの投下の訓練をするための設備があった。特に救命艇に関してはフリーフォール式と吊り下げ式の両方がありそれぞれ室内と屋外で訓練できるようになっていた。また図 11 に示すように訓練施設建屋に隣接し模擬タワーが設けてあり移乗時の訓練ができるようになっている。



図 6 エスビアウ港の訓練施設外観



図 7 訓練に使用するドライスーツ

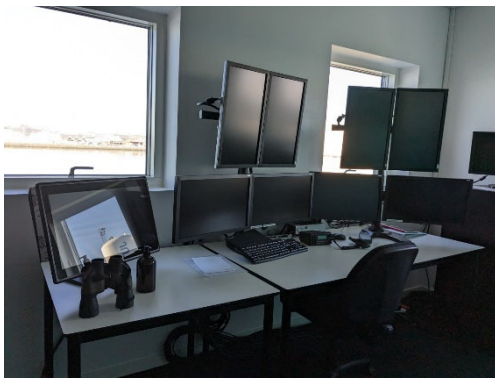


図 8 デジタルトレーニング設備



図 9 船舶の操縦訓練設備



図 10 屋外訓練場



図 11 エスビアウ港訓練施設

また、図 12、図 13 は、多くの風車メーカーのナセルやブレード等の部品が集められたエスビアウ港を車の中から視察したときの写真である。そこには、日本ではまず見ることのできない光景があり、海上輸送に用いられるコンテナよりも大きいナセルや、長さが 50m 以上もあるブレードなどが数えられないほどあった。風車の部品を船に積み込む際に使われるクレーンも大変大きく、洋上風力発電の部品集約地となる港が巨大である所以を理解した。

最後に、Maersk Training の前で記念撮影をした際の写真を、図 14 に示す。



図 12 エスビアウ港に集約したナセル



図 13 エスビアウ港に集約したブレード



図 14 Maersk Training 社員の方との記念撮影

5. DTU Riso キャンパス訪問

【日時】：3月1日(水)

【対応者】：Morten Nielsen 他

① 風力エネルギー活用研究の概要

DTU (Technical University of Denmark; デンマーク工科大学) はハンス・クリスチャン・エルステッドの主導で建学されたデンマーク初の工科大学である。デンマーク全土に4つのキャンパスがあるほか研究施設、実験施設も多く持っており、ヨーロッパでもトップクラスの大学である。現在DTUには大学職員約2,000名、スタッフ1,500人、学生11,000名が在籍しており9つのキャンパス及び研究所を持つ。また学部も多岐にわたり水産・科学・化学・経済・食品・応用数学・食品等がある。2020年、世界大学研究ランキングにおいてDTUは世界で2番、ヨーロッパで1番のランクを獲得している。またDTUでは、持続可能な開発目標をもとに大学の活動が行われ、主に自然科学と技術科学を中心とした研究がなされており、水産資源やバイオエンジニアリング、風力エネルギーをはじめとした様々な分野がある。

今回我々が訪れた、DTU Riso キャンパスは、デンマークの首都コペンハーゲンより40kmほど西にあるロスキレという町の近郊に位置し、262ヘクタールの敷地を有する自然に囲まれた研究および実験施設である。リソキャンパスは1957年に当初は原子力エ

エネルギーの研究所として設立されたが 1980 年代にデンマークのエネルギー政策の転換に伴い風力の研究がメインとなった。主に気候への影響が最小限となるエネルギー技術に焦点を当てて産業開発を強化しており、化学工学、電気工学、エネルギー、マネジメント、機械工学、ヘルステック、物理学、風力エネルギーの研究施設などがある。

この RISO キャンパスの代表的な研究部門である DTU Wind(DTU WIND AND ENERGY SYSTEMS)では大きく次の 4 つの分野の研究を進めている。

(1) 材料とコンポーネント(WMC section)

風力発電機の方法およびコンポーネントの設計・製造・テスト・運用プランの計画などを研究している。

(2) 風力タービンの設計(WTD section)

費用対効果の高い風力発電機を設計するために科学的、技術的な開発を行っている。具体的な研究内容としては空力設計・タービンの制御シーケンス・モデリングとテストなどがある。

(3) 風力エネルギーシステム(WES section)

風力発電事業に携わる事業者をサポートするため様々な学問との接続および教育などを企業などと連携して行っている。主に気象学と資源量の評価・社会市場政策・システムエンジニアリングなど企業と連携し様々な取り組みを行っている。

(4) 電力システム(PES section)

新しい市場ベースのエネルギーシステムの開発と普及を行っている。

② 風力エネルギー活用研究の説明

ここでは、WES (Wind Energy Systems) について DTU の研究者より、説明をしていただいた。WES には、気象学とリモートセンシング、エネルギーシステムにおける再生可能プラント、資源評価と気象学、社会・市場・政策、システムエンジニアリングと最適化の 5 部門がある。

まず、風車を如何に効率よく運転するかを考えると、風向や風の乱れなどの気象は風車の効率に関係する重要な要素である。WES では、大気圏の最下層に焦点を当て、風力発電に関連する気象理論やモデルを検証するために、走査型ドップラーライダーの開発および利用を行っている。ドップラーライダーとは、観測機から大気中へ発射するレーザー光が風により運ばれる空中の粒子と衝突し、反射された光の周波数変化を測定することにより、風況を観測できる装置である。このドップラーライダーを用いることで、風車のタワーでは観測できない広範囲の風況を観測することができ、風車の設置場所が適当であるかを調べることもできる。また、数十秒後に風車へ到達する風の状況を予測し、ブレードの向きを変えることで効率よく発電を行えるシステム開発のほか、洋上風力発電の後流(wake)を計測したり、風車配置の最適化を行ったりしている。さらに、衛星を用いて沖合の風況を観測し、風力発電所周辺の流れを把握するほか、風車に

とって不利な条件を作り出す乱気流や降雨の特徴の解明なども行われている。

③ 材料強度研究施設見学

ここでは、DTU Riso キャンパスに所在する風力発電に用いるタービンおよびタービン材料の研究施設を見学したことについて記す。図 15 は、Riso キャンパスの研究施設に展示されていた風力発電用ブレードの断面図である。遠心力や厳しい自然環境に耐える必要がある風車のブレードには、軽量で強度があり、耐食性、耐水性などにも優れる FRP (Fiber Reinforced Plastics) が材料として用いられている。図 16 に、展示されていた FRP の材料となる繊維を示す。FRP は、ガラス繊維や炭素繊維などで樹脂を強化した材料であり、成型法により製品としての寸法や形状、コスト、機械的特性などが大きく変化する。Riso キャンパスでは、ファイバーラボ、テストラボ、マイクロラボ、センサーラボ、3D プリントラボ、ベアリングラボの 6 つのラボにおいて様々な研究が行われている。ファイバーラボでは、ブレードの製造プロセス改善を目的として、硬化速度や浸透性、ガラス転移温度などを研究している。テストラボでは、疲労時に異なる R 比のもとで複合材料の損傷メカニズムを解明することなどを目的としており、16 台の油圧サーボマシンや電気機械、パルセーターマシンがあり、試験室内の温度や湿度は任意に変更することができる (例えば温度は -50°C ~ 100°C)。マイクロラボは、顕微鏡調査を行うための試料を準備する金属学的実験室で、切削加工や研磨加工などが行える。センサーラボでは、対象物の正確な損傷検出や位置特定、特性評価を目的として、アコースティック・エミッション測定技術を提供している。アコースティック・エミッションとは、材料が応力により変形する際に放出される局所的な超音波応力波を検出、監視する非破壊検査技術である。3D プリントラボは、繊維複合材構造の積層造形技術 (additive manufacturing) および自動ロボット製造に取り組んでおり、複合材料の機械的特性の解析や製造プロセスの最適化などを行っている。ベアリングラボは、内径 60mm の小型ベアリングを試作するための試験施設で、風力発電機およびドライブトレインで発生する過渡負荷や迷走電流をシミュレーションすることができる。

実験設備では有害な粒子が大量に飛散するためカバーなどを装着し飛散防止策を講じていた。



図 15 風力発電タービンの断面図



図 16 FRP に用いられる繊維

④ 大型構造試験施設視察

ここでは、DTU Riso キャンパスに所在する大規模施設について記す。大規模施設は、文字通り大規模な試験が行える施設である。この施設では 15m、25m、45m の長さのブレードについて試験が可能で、風車メーカーのブレードなどをテストしている。現在、大型な風車ではブレードの長さが 100m を超えるものもあるが、45m を超えるブレード長さの試験には莫大な時間がかかり費用対効果が低いため、45m のテストスタンドを用いて得られた試験結果を利用し、補完することで近似的に試験結果を得ている。試験は、静的サーボ油圧アクチュエータにより 1 軸または 2 軸でブレードのある場所に任意の方向に荷重を負荷することで行われ、静的荷重試験や動的荷重試験、S 字や C 字などの様々なパターンで繰返し応力を負荷できる疲労試験などができる。また、測定機器は、試験材料に取り付けられたひずみゲージはじめ、高速度カメラや赤外線カメラ、モーダル解析用の走査型レーザードップラー振動計、アコースティック・エミッション、超音波検査、X 線検査などがあり、各種データの取得を行っている。ひずみゲージで得られたデータは即時サーバーにアップされるほか、アコースティック・エミッション、超音波検査、X 線検査を用いて故障やクラックを調べることができる。

図 17 は、DTU Riso キャンパス内にある 2017 年に実際に使われていた風車のブレードである。実際に使われたタービンは DTU Riso キャンパス内の研究室で検査され、タービンの開発に活かされていた。



図 17 2017 年に実際に使われていた風車のブレード

6. Stiesdal 社訪問

【日時】：3月2日(木)

【対応者】：Jesper Møller、Oliver Terman Pedersen

Stiesdal 社には Offshore、Storage、Hydrogen、SkyClean の 4 つの子会社があり、それぞれが気候変動の緩和に大きな影響を与える技術の開発および商業化を目的とする企業である。

Stiesdal Offshore は、浮体式洋上風力発電の基礎部分を Tetra と呼ばれる現実的な製造方法に依り産業化し、低コストの洋上風力エネルギーを無制限に使えるようにすることを目標としている。また、Stiesdal Storage では、10 時間から 10 日容量のグリッドスケール蓄電池を用いた再生可能エネルギーによる安定した電力を、Stiesdal Hydrogen では、低コストの水素製造のための電気分解装置を用いた再生可能エネルギー全分野への適用を、Stiesdal SkyClean では、グリーン燃料の生産と炭素の回収および隔離を組み合わせた SkyClean システムを用いた炭素の回収と隔離を目標としている。今回我々が訪ねた、Stiesdal 社は日本の東京電力リニューアブルパワー株式会社などと共同でテトラ・スパー型浮体式洋上風力発電の実証プロジェクトを実施しており、そこで一時的に働いている日本人の方ともお会いして話をすることができた。我々が訪問した午前 9 時ごろは、軽食とともにコーヒーを飲みながら談笑する社員が多く見受けられたが、いろいろな国の

人たちがいてグローバルな環境であった。

我々は、Stiesdal Offshore の Oliver さん、Jesper さんらにより浮体構造の設計や実証実験についての説明を受けた。まず、Stiesdal Offshore が浮体の基礎を作るにあたって重要視しているのが、費用対効果である。また、課題としてどのように建造するのか、どのように製造するのかという点がある。浮体式洋上風力発電にはスパー型、TLP 型、セミサブ型、バージ型などがあり、それぞれの型に設置や生産にかかるコスト、構造の複雑さ、安定性などの差がある。

図 18 に、Stiesdal Offshore が開発しているテトラ・スパー型の浮体を図 19 に、製造から設置までの様子を簡単に示す。テトラ・スパー型は、四面体構造に組立てた鋼管および吊りキールから構成されており、ほかの型と比べて製造、組立、設置の簡略化が可能であらゆる風車のサイズ、水深に適応できるため、コスト面および安全面においても他の型よりも競争上優位性があるといわれている。そして、テトラ・スパー型は海水面と浮体が触れる面積が小さく、波や潮流の影響を受けにくいいため日本の自然環境下においても適応可能である可能性がある。組立ては水深 10m ほどの港において行われ、溶接などの特別な工程が不要であり、作業時間も短い。onshore で組立てられたテトラにタービンを取り付けた状態で船により設置場所へ曳航した事例もある。15 MW 級タービンを取り付ける場合、浮体の質量は 2500～4000 トンほどで、大変巨大な構造物となるだろう。しかし、部品交換などのために港へ曳航する際には、キールがある関係で複雑な処理が必要となるデメリットがある。

また、現在、テトラ・スパー型浮体を用いた浮体式洋上風力発電の実証プロジェクトがノルウェー西部のスタヴァンゲル近くの水深 200m のテスト海域において行われている。浮体はデンマーク中央部に位置するグレーノ港で組立てられ、3.6 MW 級風車に取り付けられた。この実証運転では、風車はノルウェー本土の送電網に接続されており、3～5 年の期間でデータ収集を行い運用における技術の確立を図っている。実際に地図などを用いてこの風車の基礎部分の大きさを確認したが三角形の一辺の長さが 70m でありこれからさらにいろいろな形状も検証していくとのことだった。

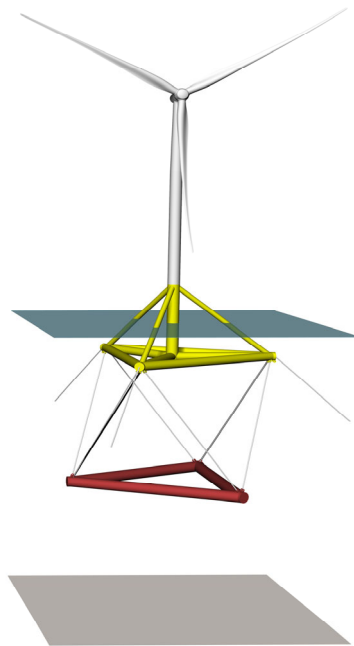


図 18 テトラ・スパー型浮体

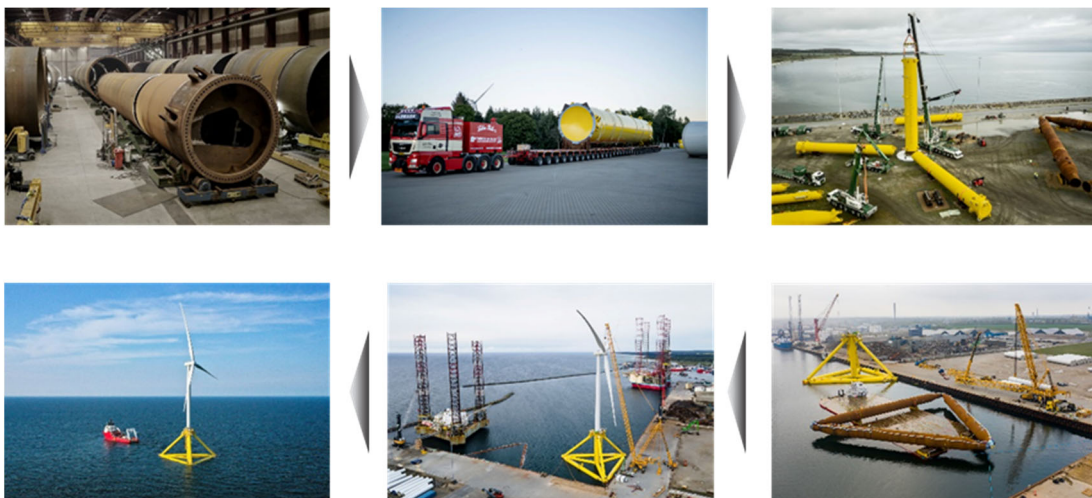


図 19 テトラ・スパー型の製造から設置までの工程

図 20 は Stiesdal Offshore A/S が開発しているテトラサブ型の浮体である。テトラサブ型には、図 21、図 22 に示す通り、円筒状のバラスト安定構造であるタンクが 1 つまたは 2 つ付く 2 種類がある。タンクやピン結合で固定される各部材は、すべて鉄が材料であり 15 MW 級の風車をテトラサブ型浮体に取り付ける場合、浮体は 2500～3500 トンになる。1 タンクのもの、2 タンクのもの比べてタンク 1 つあたりの大きさが大きいいため、製造コストが高くなるが約 800 トン軽いという特徴がある。部材にかかるモーメント

は約 1GNm で、例えるならばトヨタのアルファードほどの重量が長さ 50km の腕の先端にかかっていることと同等の大きな負荷がかかっているが、ノーメンテナンスで 25 年使えるような設計がなされている。3.6 MW 級タービンの取り付けに用いるテトラ構造は部材の長さは約 70m で組立てに特別なクレーンを必要としないことに加えて、1 週間で 2 ユニットの組立てられるスピード感がある。現在最大のテトラサブ型は、2 つのサッカー場を長辺同士くっつけた大きさとなり、面積はおよそ 19,000m² と非常に大規模な構造となる。テトラサブ型については、現在生産中の開発段階であるが、広い設置条件に適用できるため実用化に向けて注力されている。

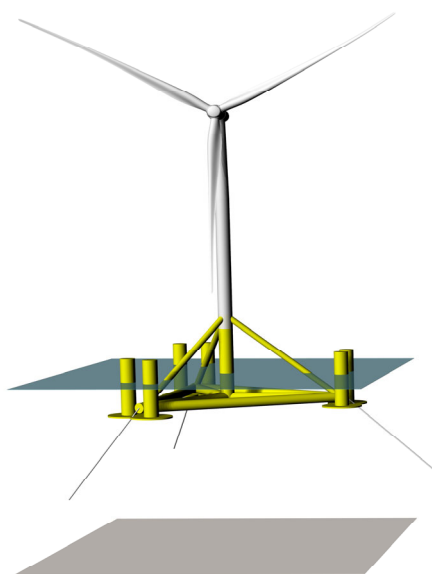


図 20 テトラサブ型浮体

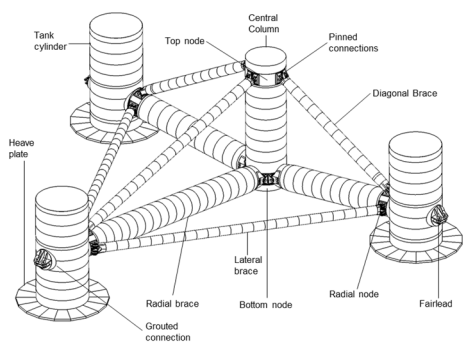


図 21 1 タンク版テトラサブ型

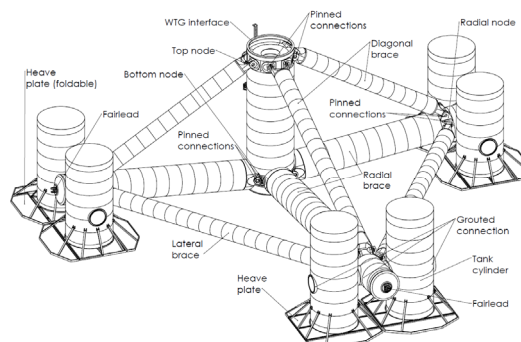


図 22 2 タンク版テトラサブ型

テトラ・スパー型浮体やテトラサブ型浮体等の設計には、実験も行われており水槽に浮かべた浮体がどのような挙動を起こすのかを踏まえたうえで、バラストタンクやダンパーなどの構造を決定している。もちろん、浮体に用いる部品は、鉄鋼業が発展した場所で作られることになるが、巨大な部品をどのように製造するかという問題も存在している。しかし、WAC(Weight Average Price：加重平均評価法)という販売可能な商品の原価を販売可能な単位数で除した評価方法においては、低コスト化や工業化により 2019 年の WAC は 2014 年と比べて 72%減となっており、今後も Stiesdal Offshore Technologies の動向に注目したい。

図 23 は、Stiesdal Offshore A/S の皆さんから説明を受ける海洋大使の写真である。



図 23 Stiesdal Offshore Technologies の皆さんから説明を受ける海洋大使

7. COP(Copenhagen Offshore Partners)社訪問

【日時】：3月2日(木)

【対応者】：Mads Mohr Madsen

COP(Copenhagen Offshore Partners)は、世界中の新規および既存の市場における洋上風力発電プロジェクトの開始、開発、建設をリードしている会社である。COPは2015年に再生可能エネルギーのインフラに特化した金融投資家であるCIP(Copenhagen

Infrastructure Partners) のパートナー関係として設立された。CIP は、北米、ヨーロッパ、アジア、オーストラリアで 30 を超える運用、建設、開発中の洋上風力発電プロジェクトのポートフォリオを保有している。また、COP はデンマークに本社を置いているほか、台湾、アメリカ、オーストラリア、日本、韓国、イギリス、ベトナムにもオフィスを構えており、日本では北海道および青森県南部の次に示す 2 つのプロジェクトを持ち、それぞれにおいて資金調達、ローカルサプライチェーン、技術活動および調達活動などの開発活動を牽引している。

今回我々は、Mads さん、バオさんのお二人に案内していただいた。図 24 は COP が入っているビル内の風景、図 25 は説明を受けている様子である。バオさんは、以前日本に滞在していたこともあり親切に日本語で話してくれた。CIP および COP の違いについてだが、CIP は世界中の再生可能エネルギーに投資を行っており、大変成功している会社である。一方で、COP は、洋上風力発電にのみ焦点を当てており、三菱重工とパートナーシップを結びプロジェクトの獲得も狙っている。COP は、他の訪問企業とは異なりお金を専門的に扱う企業であるが、経済的な知識の他に工学の知識なども持ち、様々な情報を広いながらプロジェクトを進めていた。また、バオさんは日本語が話せるためか日本で行われる洋上風力発電のプロジェクトを担当しており、英語だけではなくローカル言語を少しでも話すことができれば自身のキャリアを広げる可能性があると感じた。

図 26 は、ビルの屋上から記念撮影をした際の写真である。ちなみに、写真左側の船はノルウェーのオスロ行きフェリーであり、写真右側後方に写る風車は着床式の洋上風力発電である。

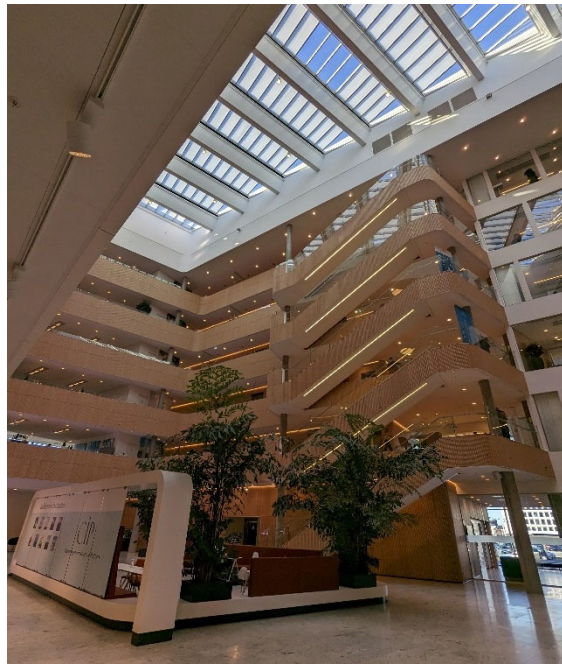


図 24 COP オフィスがあるビル内の写真



図 25 COP で説明を受けている様子



図 26 ビル屋上での COP 社員の方との記念撮影

8. 印象に残ったことや感想など

【稲満】

今回、私は長崎海洋大使として海洋開発の先進国であるデンマークを訪れたことで、今の日本ではできない大変貴重かつ有意義な時間を過ごすことができた。とても印象に残ったことを挙げるならば、2つある。1つは、欧州の洋上風力発電が日本と比べて圧倒的に進んでいたことである。訪問前にインターネットを使うことで風車が設置されている様子を見たり、風車の設計などを行う企業について調べたりすることはもちろんできる。しかし、私は実際に欧州で利用した飛行機や鉄道の中からたくさんの洋上ウインドファームを見たとえ、洋上風力発電の作業員と同じホテルにも宿泊した。デンマークは、洋上風力発電に関わる人や船ならびに風車が日常に溶け込んでいると感じた。2つ目の印象に残ったことは、日本は洋上風力発電を導入するにあたり、経済や雇用などを含めて大きなポテンシャルがあるということだ。私がデンマークで訪問した洋上風力発電に関わる企業は、日本と直接的な関わりがあり、かつ日本の海は注目されていた。もちろん、今回の訪問は日本との関係がある企業に絞って行われているかもしれないが、日本から遠く離れたデンマークの企業が日本に興味を持つくらい、日本の海は洋上風力発電を導入するにあたり魅力的であることには違いない。また、たくさんの人が日本でウインドファームを作るにあたり壁となる課題の解決に向けて尽力されていることを知った。

私は、インターネットにより世界中の情報を容易に知ることができる今だからこそ、実際に現地を訪れたことで初めて分かることや感じることには大きな意味があると考え。そして微力ながら、今回の派遣で得られた経験などをもとに周囲の人へ洋上風力発電や海外の魅力を伝え、私がそうであったように人生の選択肢を広げられたら幸いである。そして、今回の海洋大使としての派遣に援助をいただいた日本財団、並びに訪問先で我々に懇切丁寧に教えて下さった方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

【深谷】

今回の長崎海洋大使という形でこのような勉強になる時間をいただきありがとうございました。今回の研修を支えてくださった小林英一様をはじめ長崎海洋産業クラスター形成推進協議会の皆様そして研修先で様々な事を教えてくださった関係者の皆様本当にありがとうございました。

私は今回、研修という形ですが人生で初めての欧州でした。欧州では言語が違うだけでなく文化や考え方など様々な事が新しく新鮮でした。私は欧州で今回、再生可能エネルギー特に洋上風力発電について学びました。その中で得られた経験は多くありますが大きく三つです。

一つ目は働き方の違いです。実際にデンマークで今働いている方からも日本の会社中心

の助け合う働き方とデンマークのワークバランス中心の働き方の違いなど話し方や質問の中からも感じる事が出来ました。また働く時間が短くなる分業務を効率化させるための工夫や設備へのこだわりなど日本との違いを感じました。

二つ目は意外にも日本の考え方や価値観が世界に認められていたことです。“KAIZEN”等といった単語が実際に作業や業務の中に入り込んでいたり日本でしかしていないと思っていたことが海外でも当たり前のように取り入れられており今回、逆輸入する形で学ぶことが出来ました。

三つめは海外で実際に働いている人のキャリアなどについて知ることが出来たことです。今回、海外で働く日本の方と交流する機会が多々ありどのように洋上風力発電の世界に入ってきたのかなどその人の経験をもとに知ることが出来ました。私はこれまで海外で働く具体的なイメージを描くことが出来ませんでしたでしたが今回の研修を経てそうどのような人材が今海外で求められているのか知ることが出来ました。

今回の研修を通して現在日本が洋上風力発電業界でどのような立場にあり今後どのような発展が期待されているのかなどに加え海外と日本の違いや共通点などについても学ぶことが出来ました。今後は今回の研修で得られた経験をもとに今後の学習に生かしていきたいです

【宮崎】

この度は、貴重な経験をさせていただき本当にありがとうございました。人生で初めての海外渡航、触れたことのない分野の学習など不安なことも多かったですが、振り返ってみると長崎海洋大使としてデンマークに行くことができとても良かったと思います。現地へ行くまでは洋上風車を実際に見たことがなくどこか遠いものという意識が拭えなかったのですが、洋上風力発電に関する様々な企業、研究の見学を重ね欧州では以前から先進的に取り組みがなされており進化し続けているのだと痛感しました。またこうして現状を見てきたからこそ、自分が積極的に学び、広めるような取り組みをしなければならないと思いました。そしてこのような先進的な事業が地元長崎県で行われているのは長崎をより良くするチャンスではないかと感じました。

今回、事前学習や企業の方のお話は自分が学んでいる分野とは異なることが多く難しい部分もあったのですが、だからこそ専門をこの事業に活かすなら自分には何ができるか、これから何を学ぶべきかと考えさせられ、大変勉強になりました。

この経験を糧にし、洋上風車をはじめとする海洋再生可能エネルギー事業を活性化させ、土地や海洋・工業分野の振興に役立てるような人材になれるよう学び続けたいです

9. 謝辞

この海外研修を遂行するにあたり、日本財団様にはご支援をいただき厚く御礼申し上げます。大変貴重な体験ができ有意義な研修となりました。また、終始適切な助言を下さり、丁寧にご指導して下さった長崎海洋産業クラスター形成推進協議会の皆様に感謝いたします。

我々の引率を担当された長崎海洋産業クラスター形成推進協議会小林英一氏には現地で困った際、的確な指示をいただき、最後まで安全に有意義に研修を行うことが出来ました。有難うございました。視察では、VESTAS 社殿、Maersk Training 社殿、デンマーク工科大学大学殿、Stiesdal 社殿、Copenhagen-Offshore-Partenrs 社殿にこの場をお借りして深く御礼申し上げます