寄稿文

日本技術士会北海道本部　社会活動委員会（リージョナルステート研究委員会）有志

令和５年度　東北地方エネルギー施設 現地見学会の報告　その２

市　川　浩　樹・小　島　誠　一

1. はじめに

前回の東北地方エネルギー施設現地見学会の報告その１に続いて、今回は、その２として、8/22 日に見学した秋田市や能代市の洋上風力発電施設、8/24 日の福島水素エネルギー研究フィールドについて報告させて頂きます。

2. 洋上風力発電施設

(1) 事業概要

2021 年６月に経済産業省及び国土交通省から海洋再生可能エネルギー発電設備促進区域（以下「促進区域」という。）の指定となった秋田県の能代港、秋田港における洋上風力発電施設の事業概要について紹介します。この事業は、日本初の大規模商業発電計画であり、秋田港で 4200kW が 13 基の 54,600kW、能代港では、20 基で 84,000kW、合計 33 基による約 14 万 kW を発電する予定となっています。これは秋田市の電力需要を十分賄う供給量になります[1]。

能代港における洋上風力発電施設は、能代市にある「はまなす展望台」（高さ 27m、階段数 100 段）より一望できます。

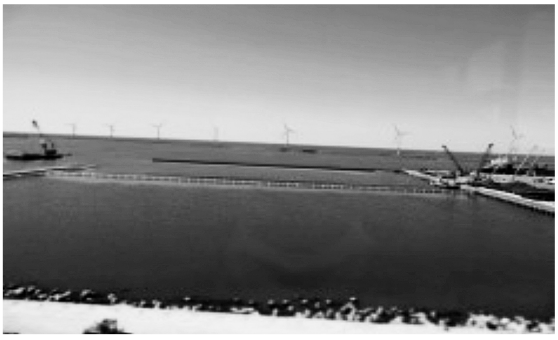


写真-1　はまなす展望台横丘から見える能代港洋上風力発電風車設置状況

私たち４人で、老体に鞭を打ちながら、大量の汗を掻きながら、展望台の頂上に上り、この洋上風力設備をこの目に焼き付けてきました。

なお、この発電設備の事業主体は、特別目的会社「秋田洋上風力発電株式会社（県内企業７社、県外企業６社）」（以下「AOW」という。）で、保守・運転も実施することとなっています。

(2) 事業の計画経緯と工程内容

この事業の経緯を簡単に説明します。秋田県は、県内の再生可能エネルギー導入拡大、並びに産業振興を目的に、秋田港及び能代港において洋上風力発電事業者の公募を行いました。

その結果、2015 年２月５日に丸紅株式会社を中心とする計 14 社からなる共同事業実施者が事業者として選定されました。

当初の計画では、合計出力が 14.5 万 kW（秋田港 6.5 万 Kw、能代港 8.0 万 Kw）で、着床式洋上風力発電施設を想定し、丸紅が中心となって開発可能性調査を実施しました[2]。

両港における洋上風力発電工事は、AOW が発注者となり、基礎及び海底ケーブル工事の施工は鹿島・住友電気工業特定共同企業体が請負いました。

洋上風力発電設備は、MHI ヴエスタス社が供給と 20 年間の保守・メンテナンスを請負うことになっています[3]。なお、MHI ヴエスタスは、2014 年にデンマークのヴエスタス社と三菱重工が出資折半して設立した洋上風力発電設備合弁会社です。

工事は 2020 年２月から実施し、運転は 2022 年 12 月からとなっています。

工事工程は、以下のとおりです。

① 基礎部材資材製作、日本への輸入
② 洋上工事（洗堀防止、モノパイル、トランジションピース、海底ケーブル据付）
③ 風車部材製作、日本への輸入（写真 2 を参照）
④ 陸上での仮組立
⑤ 洋上工事（タワー、ナセル、ブレード据付）
⑥ 試運転・法定検査
⑦ 運転開始[4)]

写真-2　能代港風車の部材

上記の洋上工事の詳細の手順は、以下のとおりです。

① 磁気探査・深浅測量
② 線堀防止工（第 1 層）
③ 基礎（MP/TP）据付（写真 3 を参照）
④ 海底ケーブル据付
⑤ 線堀防止（第 2 層）
⑥ 風車据付
⑦ 試運転・運転[4)]

写真-3　能代港洋上風力基礎分構築船

この事業は、AOW が 20 年間の商業運転計画を策定し、売電価格が 1kWH 当り 36 円、工事費が約 1000 億円を予定しています。

また、国と県が大規模埋め立工事を進めるに伴い洋上風力発電の売上の一部を漁業振興に活用する仕組みを進めています。[5)]

当該洋上風力発電は着床式が採用されています。その構造図及び風車仕様は図 1 のとおりです。

風車はデンマークの Vestas 社製で、4200Kw 風車を採用しています。風車の部材の製作はタワー部が中国製、ナセル（動力伝達装置、発電機、制御装置等を格納するもの）がデンマーク製、ブレード（風車の回転羽根）がドイツ製で直径 117m になります。

残念ながら、日本製の部材は使用されていませんでした。

最高長は海水面から 150m、ナセルは海水面から 90m、トランジションピース（図 1 の黄色塗装部でモノパイル基礎とタワーを接続する部材）は海面から 33m の位置にあります。水深は 10 ～ 30m となり、モノパイル根入（風車を支える円筒軸の長さ）は 30 ～ 40m となります。

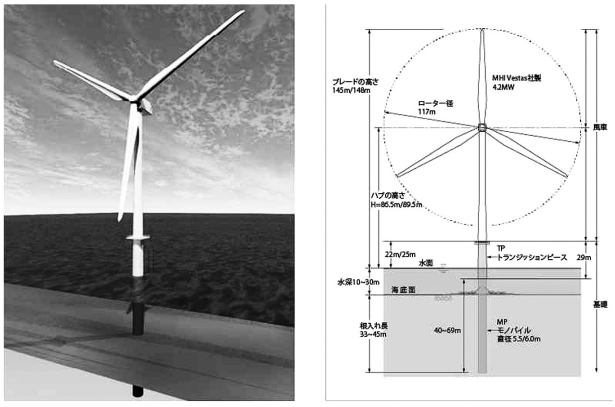


図-1　風車構造図及び風車仕様
出典：鹿島建設ダイジェスト 2021.05　3P/6

風車電圧は、1 基当り約 800-600V を 3 相 33000V に変換後に地中海底の CV ケーブルを介して、秋田港及び能代港付近に新設された陸上昇圧変電所で、特別高圧 66000V に変換され、東北電力ネットワーク株式会社に送電されています。

東北電力ネットワーク株式会社は、現在、秋田港、

能代港及び他の風力発電電力の安定供給を行うために送電線幹線網の整備を鋭意進めている状況です[6)]。なお、秋田県内の他事業として、2019 年 9 月に「八峰町・能代市沖」が 36 万 kW で促進区域に指定されています。(事業者の公募は遅れている状況です[7)]。) 2019 年 12 月には、「能代市・三種町・男鹿市沖」と「秋田県由利本荘市沖」が各々 47.88 万 kW と 81.9 万 kW で促進地域に指定され、運転開始の予定時期が各々 2028 年 12 月と 2030 年 12 月となっている発電計画があります[8)]。

(3) 洋上風力発電施工上の問題点と対応

通常、岸壁を整備する際には、2 ～ 3t/m^2 の上載荷重を条件として設計されています。しかし、洋上風力発電の建設に当たっては、風車を支える基礎が大口径鋼管杭のモノパイル (MP) や風車を支える接続部材トランジションピース (TP)、さらには、風車のタワー部及びブレード、ナセルを設置するための機材等が必要となり、総重量物としての取扱いで 35t/m^2 の地耐力が必要となります。

このため、秋田県港湾事務所では 2019 年から 2020 年に深層混合処理工法等による地盤改良工事を行いました。また、風力発電の建設時には、仮置き場、組立に地耐力の有する広い敷地と地耐力の大きな岸壁も必要となりました。このため、施工用地の狭隘を防ぐ方法として、秋田県より別途用地を借り上げています。

この様なことを踏まえると、今後の洋上風力発電設備の施工に当たっては、港湾施設の岸壁整備、施工敷地面積が確保できる場所を考慮し施工地域を選定していく必要があると考えます[9)]。

なお、今回私たちが施設見学した 1 か月後に、能代市の洋上風力発電設備において、運転開始後に風車内ナセルの潤滑油が洋上に漏油したトラブルが発生していました。

直ちに海への漏出した油分は吸着マットで回収完了されていますが、この漏油原因はメンテナンスを担う技術者のヒューマンエラーによるものであったようです。

このため、AOW では従業員教育や作業管理を厳しく指示し、管理体制の強化を図ることとしています。また、秋田海上保安部では環境保全における対応も必要なため詳細な調査が進められています[10)]。

今後は、洋上風力発電の維持管理にあたっては、人材育成と共に維持管理体制の強化・充実が必要になると再認識しました。

3. 福島水素エネルギー研究フィールド (Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R))

1) 設立経緯と事業概要

福島水素エネルギー研究フィールド (FH2R) は、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構)、東芝エネルギーシステムズ (株)、東北電力 (株)、岩谷産業 (株) が、2018 年から福島県浪江町で建設を進めてきた施設です。

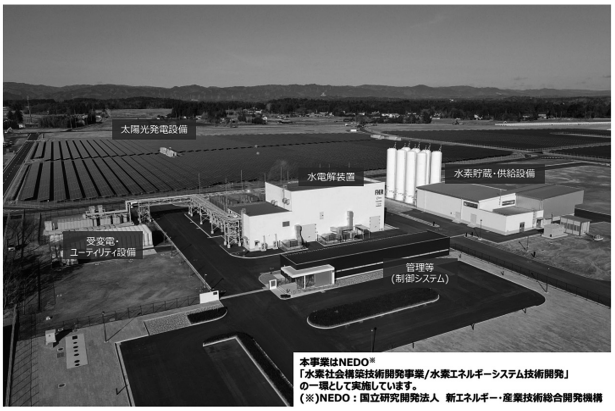


写真-4 福島水素エネルギー研究フィールド (FH2R)

出典：02-2_福島水素エネルギー研究フィールドについて_Fix_2021_r0-002-1.pdf (akitacci.or.jp)

当該施設は、ディマンドリスポンスとしての水素活用事業モデルと水素販売事業モデルの確立を目指した技術開発事業であり、2020 年 3 月に完成し、現在稼働中です。この事業背景には、国が 2017 年 12 月に公表した「水素基本戦略」があり、再生可能エネルギーの導入拡大や電力系統の安定化に資する技術として、太陽光発電等の自然変動電源の出力変動を吸収し、水素に変換・貯蔵する Power-to-Gas 技術が必要とされていました[11)]。

そこで、この水素を用いたエネルギー貯蔵等には、出力変動の大きい再生可能エネルギーを最大限活用するための電力系統需給バランス調整機（ディマンドリスポンス）だけではなく、水素需給予測に基づいたシステムの最適運用機能の確立が必要となっていたため、この施設がつくられ事業化されました。

なお、水電解装置を運用していた旭化成は 2021 年 4 月から 2023 年 3 月まで実証事業者として加わっていましたが、現在は、旭化成は離脱し、東芝エネルギーシステムズ（株）、東北電力（株）、岩谷産業（株）が実証事業者となっています。

各社の役割分担は、東芝エネルギーシステムズ（株）がプロジェクト全体の取り纏めおよび水素エネルギーシステム全体を、東北電力（株）が電力系統側制御システムおよび電力系統関連を、岩谷産業（株）が水素需要予測システムおよび水素貯蔵・供給関連となっています。

2）水素をつくる・ためる・はこぶ

この施設の案内は、東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーアグリゲーション事業部水素エネルギー技術部フェローの山根史之様にお願いしました。最初に約 10 分間の DVD の説明があり、その後、展示室内の概要説明をして頂きました。

展示室のある建物を出た後は、山根様からの説明を受けながら水素製造施設内を見学し、次にガストレーナの設備、水素貯蔵タンク（ガスホルダー）の外観等を見学しました。

この FH2R では、18 万 m^2 の敷地内に東京ドーム 5 個分に相当する敷地に設置した太陽光パネルによる太陽光発電により、20MW の電力を用いて、世界最大級となる 10MW の水素製造装置で水の電気分解を行い、最大時 2,000Nm^3、定格運転時で毎時 1,200Nm^3 の水素を製造し、貯蔵・供給しています。

1 日稼働すれば約 150 世帯の 1 か月分の消費電力量、あるいは燃料電池車約 560 台分の燃料に相当するエネルギーをつくりだすことができます。

図-2　FH2R における 1 日あたりの水素製造量
出典：浪江町「福島水素エネルギー研究フィールド」
https: //www. town. namie. fukushima. jp/uploaded/attachment/9142.pdf, p.1

この時の水素の製造・貯蔵は、水素需要予測システムによる市場の水素需要予測に基づいて行い、電力系統側制御システムによる電力系統の調整ニーズにあわせて、水素製造装置の水素製造量を調節することにより、電力系統の需給バランス調整を行っています。

何故、この様な調整が必要になるかと言うと電力の安定供給のためには、需要と供給は常に一致している必要があり、バランスが崩れると大規模な停電となるリスクがあるためです。

しかも、季節や天候の変化によって出力が変動する太陽光発電や風力発電が電力系統に大量に導入されると、需要と供給のバランスの調整が困難になります。

そのため、再生可能エネルギーの電源化のためには、出力変動を吸収し、需給バランスを常に一定に保つことのできる安定的な調整力の確保が必要となります。

現在の電力系統では、この出力変動の調整の役割を火力発電が担っている状況です。（図 3 を参照）

しかし、化石燃料を使用する火力発電は、地球温暖化の原因の一つと言われている CO_2 排出量が多いため、2050 年のカーボンニュートラルに向けて、施設の老朽化とも併せて、将来的には減少せざるを得ないものと思われます。

このため、現状の火力発電に替わる調整力の一つして、水素製造・貯蔵システムの活用が期待されています。

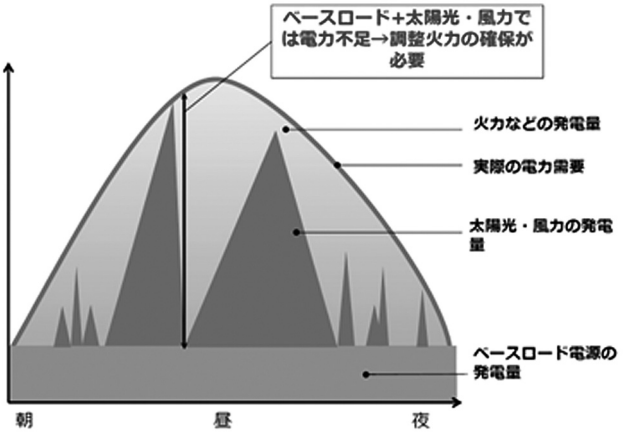


図-3　電力需要と発電量のイメージ
出典：資源エネルギー庁「再生可能エネルギー拡大に欠かせないのは『火力発電』！？」(2017)
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/tyoseiryoku.html

水素製造・貯蔵システムによる需給バランス調整は、上記でも記載した「デマンドレスポンス」という方法で行われ、供給に合わせて需要側をコントロールすることでバランスを取っています。

電力系統の供給が需要を上回る時は、水素を製造・貯蔵することで需要を創り出し、反対に需要が供給を上回り、電力が不足する時は、発電する再生可能エネルギーの出力抑制を行い、水素製造・貯蔵量を減らすことになります。

このため、再生可能エネルギーの出力抑制を回避することができれば、水素を製造・貯蔵することができ、クリーンな電気をそのまま活用できます。

さらに電力需要が十分無く、送電線の整備が十分でない地域においても、再生可能エネルギーを余すことなく活用できれば、非電力部門も含む脱炭素化の推進(セクターカップリング)も可能であり、脱炭素社会の構築に貢献することができます[12)]。

さらに、ここの FH2R では、この電力系統制御(デマンドレスポンス)システムだけではなく、低コストで需要量に応じて無駄のない水素を製造するシステムの「水素需要予測ステム」が導入されています。これは、供給先の水素需要量と電力系統の需給バランスを維持するために必要な電力量の情報を基に、10 日間ほどの先までの運転計画を作成し、水電解装置を稼働させる方法です[13)]。

これにより、効率的かつ確実な水素製造や太陽光の再生可能エネルギーの有効活用を図ることができます。これらのシステム運用は、全国でも FH2R だけの取組みで、今後、実証運用を重ね、運転周期の異なる装置で、電力系統のディマンドリスポンス対応と水素需給対応を組み合わせた最適な運転制御技術を検証していく予定となっています。

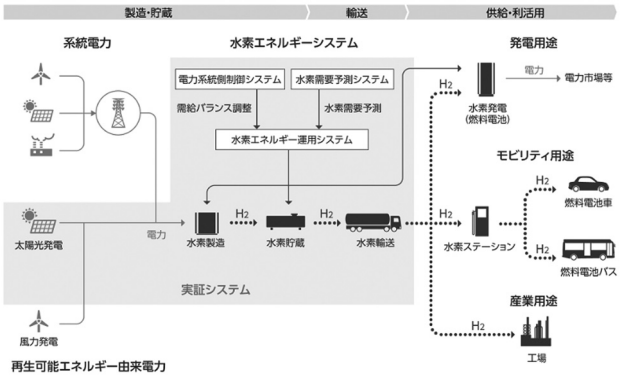


図-4　FH2R のシステム概要図
出典：浪江町「福島水素エネルギー研究フィールド」
https://www.town.namie.fukushima.jp/uploaded/attachment/9142.pdf, p.2

水電解装置は、浪江町の上水を原水として、一般的なアルカリ性電解液(KOH を含む)により、60 ～ 80℃で H_2 の水素と O_2の酸素が生成します。O_2 は別のライン配管から大気へ放出されます。

この時の精製水素の純度は 99.75%程度ですが、その後、水素供給設備内にあるフイルター等を通じた精製装置で、水分や不純物を除して、高純度な 99.75%の水素ガスにします。これは、FCV でも使用できる純度(ISO14687-2 準拠)にするためです。

水素製造施設内では、写真撮影は禁止となっていましたが、旭化成の HP 内に水電解装置の写真が掲示されていましたので、写真 5 に示します。

なお、水電解装置の稼働時に、地震等が起きた場合には、水電解装置の水素製造を停止すると共に、窒素を配管に入れて、配管中にある全ての水素を窒素で置換します。

置換される側の水素は、水電解建屋の屋上にある

管から大気中に放出される仕組みです。

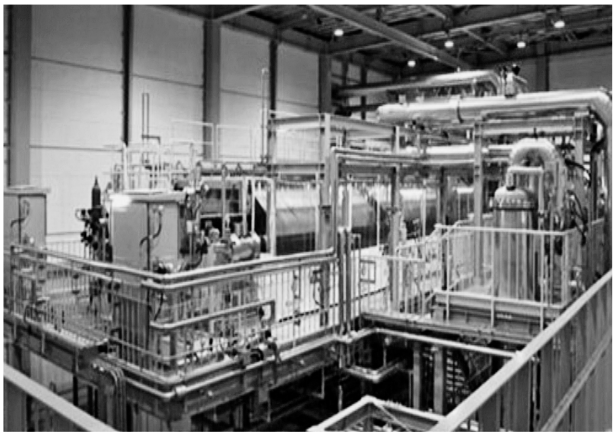


写真-5　10MW 級大型アルカリ水電解システム
出典：旭化成、米国の脱炭素化を支援する「日本水素フォーラム」へ加入｜ 2023 年度｜ニュース｜旭化成株式会社（asahi-kasei.com）

精製水素は内容量 150m^3 の水素貯蔵タンク（ガスホルダー）8 本に一時貯蔵されます。

写真-6　水素貯蔵タンク（ガスホルダー）

その後、水素ガスは 1/200 に圧縮され、約 20Mpa（約 200 気圧）の圧力で水素を 240kg、3,000m^3 まで充填可能な細長いチューブ型容器の集合体である水素ガストレーラーで運搬されます。

この運搬トレーラーは全部で 12 台あり、また、小型容器をまとめて固定した集合容器で 300m^3 を充填できる水素ガスカードルが 15 台、150m^3 を充填できるタイプの水素ガスカードルが 4 台あり、トラックなどに乗せて需要地に運ぶ仕組みとなっています。

写真-7　水素ガストレーラー

展示ホールには、水素の製造から運搬に至る模型があり（写真 8 を参照）、また、常時運転状況を確認するモニターがありました。（写真 9 を参照）

写真-8　展示ホール内の模型

写真-9　8/24　13 時 45 分頃の FH2R の稼働状況のモニター画面

現在の水素の供給先は、福島県内のみとなっていますが、浪江町の「道の駅なみえ」、福島県楢葉町にある複合施設「J ヴィレッジ」、福島市にある「あず

ま総合運動公園」や、燃料電池車向け水素ステーション等になります。

写真-10　東京オリンピックで使用された聖火リレーのトーチ

なお、2021 年に開催された東京オリンピックでは、聖火台、聖火リレーのトーチ（水素吸蔵合金を使用）や、選手のリラクゼーションハウスや宿泊棟の一部で、FH2R で製造した水素が活用されていました。なお、展示ホール内に、東京オリンピックの聖火リレーで使用されたトーチが展示されていました。（写真-10 を参照）

3）施設等の耐震性や点検

FH2R の建物と設備は十分な耐震性を有しており、水素を扱う建物と、受変電・ユーティリティ設備は、建築基準法で想定する地震力の 1.5 倍に対応するⅠ類という最も高い耐震性基準に対応し、管理棟と研究開発棟は 1.2 倍に対応するⅡ類に対応しているとのことでした。

また、施設等の点検は、日常点検以外に、高圧ガス保安法対応のための点検・試験を 1 年に 1 回実施し、そのタイミングで施設全体の補修・点検等を実施しているようです。なお、FH2R は、研究開発施設であることから、特性確認等のために、他の時期にも停止することがあるようでした。

4. 終わりに

終わりに当たり、東北地方エネルギー施設の現地見学会の報告その 1 の地熱発電と併せて、幾つかの問題や今後の方向性等について気が付いた点を述べたいと思います。

東北地方の地熱発電事業は、日本でも古くから行われ、事業数も多くあり、火山立国である日本の地質資源を有効利用できるエネルギーと位置づけられています。その上で、ベース電源となる電気の安定的に供給に貢献しています。日本の地熱資源量はアメリカ、インドネシアに次いで、世界第三位ですが、その反面、地熱開発の時間がかかること、コストが高いこと、地元温泉事業者等との調整が難しいこと等の問題があります[14)]。今後は、技術開発の研究が進み、開発コストの低減化と共に地域住民や温泉事業者との理解が深まり、地熱発電事業が広く普及することを期待したいと思いました。

一方、日本の洋上風力発電の潜在可能量は、大きいと思いますが、洋上における風況調査の可能性調査（Feasibility Study）を実施し、精度の高い風況地点を見つけることが重要であると再認識をしました。

また、日本は遠浅の沿岸が少なく、水深が急に深くなる海底地形が多いです。そのため、洋上風力発電事業は、水深が深くなると土木基礎工事費が高くなり、沖合になれば送電線の延長距離が長くなり、設備工事費用が高くなります。さらに漁業者への権利影響等各種規制をクリアしなければならない問題も抱えています[15)]。

しかも、洋上風力発電の部材は、ほとんどが外国製の物が使用されていました。そのため、現状では、安全で適正な維持管理を行うためには外国語の習得や強化が必要となっています。

しかし、一方では、日本は洋上風力発電に係わる造船、海洋土木技術は高度なものを有しています。

そのため、今後は、日本のこれらの技術を最大限有効活用する仕組みを構築して、国内製造企業の経済的な強化を図ると共に国際競争力を確保していくことが必要ではないでしょうか。外国の価格競争等に負けないためには、設備の安全性確保や製造コストの低減化は勿論のこと、技術や語学力を持つ人材を確保しつつ、経済発展の著しいアジア地域への事業展開を進めるサプライチェーンの構築や強化・充実をしていくことが必要である[13)] と再認識させら

れました。

洋上風力発電は、造船、重工機械、電気、建設、材料工学等にわたり複数の領域･業種が関係します。そのため、複数の領域に渡る新技術の研究開発と共に、洋上風力発電設備は、通信や航空障害がなく、低周波の健康影響の防止、環境汚染の防止や生態系の保全が十分図られるべきです。それと併せて、人材育成や雇用対策、地場産業の活性化に繋げていくことが重要であると再確認できました。

水素製造システムは、再生可能エネルギーの導入拡大に不可欠な調整力としての役割もあり、かつ再生可能エネルギーの出力抑制を回避し、クリーンなエネルギーとして有効活用することが可能です。

このため、水素エネルギーは環境負荷の低減やエネルギー自給率の向上への貢献に繋がると共に近年の自然災害時や不安定な世界経済情勢に伴う電力の安定供給に対する不安解消や電気コストの増大リスクの低減化の役割も期待されています。

その一方で、水素エネルギーの普及には、燃料電池自動車のための水素ステーションの整備や製造コストの低減化などの課題があります。

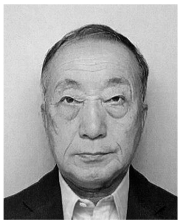
今後、水素が日本の主要なエネルギーの一つとして、利活用される水素社会の実現に向けて課題が経済的、技術的に克服され、順次、水素社会の実装に進展していくことを期待したいと思いました。

最後に、今回の施設見学を受け入れて頂いた関係者の皆様、さらには、お忙しい中で、丁寧な説明をして頂いた東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーアグリゲーション事業部水素エネルギー技術部フェローの山根史之様に心から感謝を申し上げます。

以上

参考文献

1）能代市資料、BIZ スクエア TBSNEWS 2023.6.10 放映資料
2）秋田県秋田港及び能代港洋上風力発電事業も開発可能性調査共同実施　丸紅株式会社広報 2016.
3）秋田港・能代港の洋上風力発電の概要、日本風力発電協会　JWPA、2020.3.27 ニュース
4）「能代港における洋上風力発電概要、2022.6」 秋田風力発電株式会社、資料
5）秋田風力発電株式会社の資料、BIZ スクエア TBSNEWS2023.6.10 社長会見
6）秋田風力発電株式会社の資料
7）「秋田県八峰町及び能代市沖」公募見直し　2022 年 3 月 18 日（経済産業省、国土交通省同時発表）
8）洋上風力発電業者選定について　2021 年 12 月 24 日（経済産業省、国土交通省同時発表）
9）基地港湾整備における課題―秋田県沖洋上風力発電の導入促進、4 洋上風車建設の現状から気づき　秋田県興和事務所海洋利用室
http: //www. thr. mlit. go. jp/Bumon/B00097/K00360/happyoukai/R4/list3/3-4.pdf
10）能代港洋上風力発電所における漏油再発について 秋田洋上風力発電株式会社
https: //aow. co. jp/jp/eventa/item. cgi? pro&104
11）水素基本戦略　再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議　平成 29 年 12 月 26 日
12）資源エネルギー庁「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理（案）」（2021.3.22）
13）福島水素エネルギー研究フィールドへの視察（一社）日本環境測定分析協会　出版・会誌委員会 環境と測定技術/VOL.48　No.3　2021　P4 ～ P9
14）日本はポテンシャルが高い！？地熱発電を地域観光や企業の自家発電に活用 | 新電力ネット（pps-net.org）
15）「洋上風力産業ビジョン」の概要　経済産業省、2020 年 12 月まとめ

市　川　浩　樹（いちかわ　ひろき）
技術士
（上下水道／衛生工学／総合技術監理部門）
日本技術士会北海道本部社会活動員会
リージョナルステート研究委員会委員
グローバル設計株式会社
　技術部技術顧問
環境計量士、AFP 認定者

小　島　誠　一（こじま　せいいち）
技術士（電気・電子部門）
日本技術士会北海道本部社会活動員会
リージョナルステート研究委員会委員
日本テクノ株式会社
　日本テクノ協力会・日電協　管理技術者
第 2 種電気主任技術者