

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)

令和 5 年度総会・第 1 回研修会報告

～北海道を豊かな地とする風力発電事業の可能性について～

中 田 光 治・椎 谷 悟

1. はじめに

リージョナルステート研究委員会では、令和 5 年 5 月 26 日(金) 18:30～20:30 に、令和 5 年度総会及び第 1 回研修会を開催しました。会場は、エルプラザ札幌研修室 1・2 で、会場参加とオンライン形式(Zoom)併用のハイブリッドで開催しました。

リージョナルステート研究委員会では、エネルギーポテンシャルの高い北海道において、自然エネルギーを有効活用することで、地域に新たな産業や雇用が生まれ地域が豊かになる「自然エネルギーを有効活用した豊かな北海道の実現へ向けて」の検討を進めているところで、エネルギーの地産地消は重要なファクターと考えています。

今回の研修会では、室蘭工業大学名誉教授の岸浪紘機先生を講師にお迎えし、「北海道を豊かな地とする風力発電事業の可能性について」と題してご講演して頂きました。

参加者は、会場参加が 16 名(講師含む)、Web 参加が 4 名の合計 20 名となりました。以下、総会及び研修会の概要を報告させていただきます。

2. 令和 5 年度総会報告

総会では、1999 年 8 月発足以来 24 年目となるリージョナルステート研究委員会の活動方針として「北海道の自律と活性化へ向けた提言と技術士の役割の研究」を進めるため、水素・循環システム研究分科会と地域主権分科会の 2 つの分科会で活動を進めていることが、滝澤嘉史代表から報告されました。その後、令和 4 年度の全体活動報告、各分科会の令和 5 年度の事業計画、当面の活動方針、さらに、会計報告(令和 4 年度決算と 5 年度予算計画)について審議しました。

令和 4 年度活動報告としては、5 月 27 日に令和

4 年度総会・第 1 回研修会をオンラインで開催したことが報告されました。引き続き開催された研修会では、北海道グリーンファンド理事長の鈴木徹から「脱炭素社会に向けて地域でつくる風力発電」と題してご講演を頂いたこと、11 月 28 日に開催された第 2 回研修会・施設見学会の状況などが報告されました。

令和 5 年度の活動計画としては、水素・循環システム研究分科会では「自然エネルギーを有効活用した豊かな地域社会の実現」というコンセプトをさらに掘り下げ、令和 6 年 4 月を目途に「ゼロカーボン北海道」の実現に向けた技術士としての提言を取りまとめることを目指すことになりました。また、地域主権分科会では「30 年後の都市と地方の在り方」と「限界集落に直面する地方行政のあり方」をテーマとして、当面、限界集落の課題やそれに対する解決策を、現在、地方公共団体で導入が推進されているインフラ DX について研究を深めることが報告されました。

さらに、令和 5 年度は、研修会を 2 回、見学会を 1 回開催することとし、分科会内の定例会や幹事会を積極的に開催していくことが報告されました。また、10 月に開催される北東 3 地域本部の技術交流会や 2024 年 10 月に開催される日本技術士会全国大会で、第 3 分科会やテクニカルツアーについて、当研究委員会としてサポートしていくことが決定されました。

3. 第 1 回研修会(講演)の内容

3. 1 室蘭工業大学機械工学科熱流体工学講座 研究室の概要

室蘭工業大学は、平成 10 年に始まった大学改革で学科統廃合が進み社会の変化に対応した変革が進

んでいます。当時、岸浪紘機先生が所属された機械系熱流体講座では、伝熱工学現象の解析・研究を主体に関連する熱機関・伝熱工学・冷凍空調工学・演算工学などの講義を大学院院生、学生などに教育し、岸浪先生は、流体の対流伝熱現象の数値解析を定年まで 40 年以上遂行されたとのことでした。

また、先生は 48 歳の時、日米第二回熱工学国際シンポジウムがハワイで開催された際に、自然対流の論文を発表されました。この時アメリカ機械学会のご厚意でハワイマカニモアイにあったウインドファーム見学会に参加されたそうです。そこに設置された 12 基の 600Kw 機と組み立て中の径 90m、3000Kw の巨大風車機群を見たことが、風力発電の将来性を実感し風車研究の嚆矢となったと伺いました。当時、国外でも径 5m、2kw 級が最大機であり、その規模の大きさと可変ピッチ機構に驚愕し、風力発電が未来のエネルギーの一翼を担う可能性を啓発されたそうです。その 35 年後の現在 220 ～ 250m、15000 ～ 20000Kw 級の洋上超大型風力発電が世界のエネルギー供給の主体となることまでには思い至らなかったと述懐されてます。

岸浪先生は、帰国後、これまでの対流伝熱現象の研究に加えて、柔軟な大学院生の協力で風車研究に着手しました。12 年後の 2000 年ドイツカッセル市で開催された国際風力会議に参加された際、三重大学清水幸丸教授主催の欧州風力技術調査団に随行し、デンマークとドイツの 4 風車企業と組み立て工場群を見学されたそうです。現地では既に 100m、2000Kw 級風車の実験が始まっていましたが、この貴重な体験を通して風力発電は機械、航空、電気・電子、金属化学素材、建築土木工学などの広範囲の基礎工学を基盤とした技術で成立していることを実感し、自身の風車研究の対象を拡げる契機となりました。

以上、岸浪先生の風車研究の経緯と来歴を紹介しましたが、その他、岩石層蓄熱、太陽熱吸熱器、高性能熱交換器の開発・研究などの再生可能エネルギーの研究・技術開発等にも取り組んで来られました。

風力タービンの研究では、風力発電機のプロペラ型ブレードの空力解析、即ち風車の性能解析を進めたことで、空力性能(揚力、抗力特性)の判明してい

る翼型ブレード条件に対し、各種風速条件での風車の出力特性を予測できる解析体制を確立したことが以降の大きな財産となったそうです。さらに、径 88cm、風速 5m/s の開放型風洞を組み立て、最新のトルク、回転数測定器をパソコンにつなぎ各種負荷条件に対する連続的な風車実験が可能な実験装置を完成させ、当研究を一段と進めることになりました。岸浪先生は、昭和 52 年から定年後の特任教授 6 年間を含めて 38 年間にわたり、新型翼の開発を含めて地道な研究を続けられました。特出すべき技術開発としては、主ブレードと連動するハブ部に直交する副翼を取付け、主翼ブレードの回転と共に副翼に作用する揚力・抗力・遠心力を利用して安価で確実作動する可変ピッチ出力・回転数制御(定速回転、定出力機構)機構を開発したことが挙げられます。

3. 2 風力エネルギーの特性

次に、風力エネルギーについて重要な基本事項として、風車の基本についてのお話がありました。

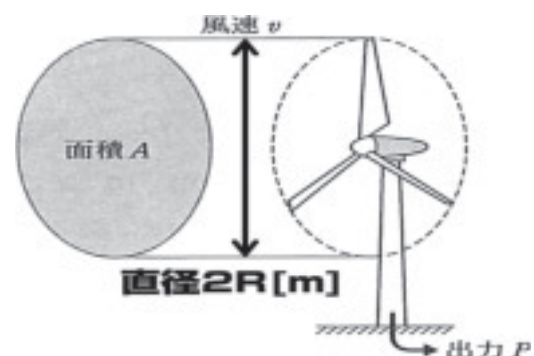


図-1 風力エネルギーの基本

固体・流体の保有する運動エネルギー E_v はその質量 m 、保有する速度 V m/s とすれば

$$E_v = m \cdot V^2 / 2 \quad (1)$$

となります。然るに、固定位置上を通過する流体の質量 m は、通過面積 A (m^2)、その密度 ρ とすれば

$$m = \rho \cdot A \cdot V : \text{Mass Flow Rate (Kg/s)} \quad (2)$$

となり、従いまして、固定位置上の断面 A 通過する流体のエネルギー E_v は

$$E_v = \rho \cdot A \cdot V^3 / 2 = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 / 2 \quad (3)$$

となります。すなわち、固定位置上に設置された風

車はこのエネルギーの全てを出力することは出来ませんが、風速 V の 3 乗、風車径 R の 2 乗に比例して出力が増加する原理となります。

したがって、風速 7 m/s に設置された風車より風速 9m/s に設置された風車のほうが同一径で 2.125 倍、風車径が 2 倍となれば 4 倍出力が増加することになります。従って、風車が大型化するほど高層部の高速気流を捉えて高出力・高稼働率となり、高設備利用率型風車が実現できます。

3. 3 洋上風力発電の取組みの状況

この 10 年、国内の有識者の再生可能エネルギーに関する見解は風力発電の重要性に傾斜し、その余剰電力の水素変換を含め、次のようにまとめられます。

1. 日本国内で最もエネルギー資源量があるのは、太陽光でも、陸上風力でも、ましてや地熱発電でもなく主役は「洋上風力」です。

2. 洋上風力発電のメリットは、大きく分けて次の 4 点だと考えられます。

①エネルギーの賦存量(理論的に算出された潜在的な資源量)が決定的に多いこと。

②太陽光発電は設備コストが安価ですが、風力発電の電力変換効率の 1/4 以下、更に稼働時間が日中に制限されること。

③大規模化してコストを下げやすいこと。

④環境の影響が少ないこと。

3. 余剰電力の水素エネルギー変換(電力貯蔵)については、次のようにまとめられます。

①風力発電での余剰電力の水素変換による電力貯蔵が可能なこと。

②砂漠国家の太陽光発電の水素変換による海外からの水素輸入が可能なこと。

③水素のアンモニア化と燃料電池さらに e-Fuel 化によるフリーカーボン社会が想定されること。

近年、青森県、秋田県などの北東北と北海道では、洋上風力発電の大型化が推進されています。

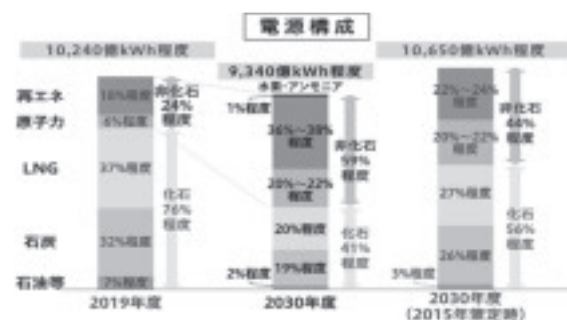
風車の高さは 300m におよび、風車塔の直径は 8m にもなります。建設にあたっては、十数個に分割された部品を陸上で統合化組立てされ、SEP 専用輸送船で海上に運ばれ船上の大型クレーンで海上に

設置されます。風車の本体や部品の大半は、残念ながら海外で製造され輸入されています。日本でも、風車を製造する技術はあるのですが、これまで政府の政策として奨励されてこなかったため、コストが高すぎて、現状ではオランダやデンマークなどのヨーロッパ勢に太刀打ちすることが困難な状況になっています。

北海道の風力発電奨励区域として、最近 5 カ所の区域が、経済産業省により選定されました。これを良い契機として、北海道が風力発電の製造、輸送、組立て、設置する場所として最適なことを全国に、広報していくことが極めて大切です。

中でも室蘭市を中心とする地区は、鉄鋼・機械産業を基盤として風力発電設備を製造する場所に、石狩湾新港を中心とする地区は、日本海上の組み立て、保管・設置する場所に相応しいと考えられます。

最近、道北地方に送電網が新規に建設され、北海道内で発電された再生可能エネルギー電力を、道内外に移送する設備が整ってきました。



出典：資源エネルギー庁

図-2 日本の電源構成計画

日本政府筋の電源構成計画を図 2 に示しますが、2030 年度までに再生可能エネルギー占有率を 38%、その内洋上風力発電 1000 万 Kw、2040 年までに 4500 万 Kw(100 万 Kw 原子力発電所 45 基分)の設置計画となっています。さらに 2050 年度までにフリーカーボン社会とする壮大なものです。そして、その任を担うのは洋上超大型風力発電機の普及・設置です。

3. 4 洋上風力発電の実装で期待される未来

次に、洋上風力発電の実装で期待される未来として、次のような社会の到来が予想されるとのお話がありました。

1. 風力発電で得られる 1MWh のエネルギーは石油換算 2MWh のエネルギー（火力発電効率 50%）に対応するため莫大な石油・石炭・天然ガス節減に寄与することができます。

2. 年間海外からの化石エネルギー購入は、日本国家予算の 20%、20 兆円となります。このため国家体制から化石エネルギーに頼らない、エネルギー自立は、国家財政上からも、今後の化石エネルギーの国際価格上昇の経済上からも、地球環境上からも最重要課題となります。

3. 国立研究開発法人産業技術総合研究所の見解ですが、洋上風力発電の導入拡大の背景には、新たなエネルギーミックスの実現に向け、再生可能エネルギーの割合を増やすという国策があります。

さらに、その先に温室効果ガス排出の削減という、世界が成し遂げなければならない環境課題があります。

4. 洋上風力発電産業の拡大に伴って、部品製造のほか運用やメンテナンス面でのマンパワーも必要となりますので、雇用創出といった経済効果も期待できます。現在の技術では、風車の耐用年数は 25 年程度、最終的に 10000 基設置すれば年間 400 基ほど更新し続けることになり、保守点検を含め永続的な産業となり得ます。世界的に見ても、洋上風力発電は産業として拡大しており、日本で今後本格化する成長産業になります。国際的には毎年数十兆円、あるいは最大で 100 兆円ほどの産業規模になる非常に大きな産業です。日本企業には、国際的な洋上風力発電産業の競争に勝ち抜くための土台として、まずは国内市場にて参入し、成長、発展せねばなりません。日本は産業の裾野が広く、十分な技術基盤があるため中長期的には国際競争に対応して行けると確信します。

5. 風力発電の設置コストは陸上用で 1kW あたり 22 万円で、年間のメンテナンス費用が 1kW あたり 0.6 万円です。従いまして、陸上用の 1000Kw 級は 2.2 億円、メンテナンス年間 600 万円、90m 級は、2500Kw 機は 4 億円、1000 万円になります。

3. 5 洋上風力発電の仕組みと規模

世界の大型洋上風力発電機の発展状況を図 3 に示します。2000 年当初ローター径 80m、

2000Kw 風力発電機が開発され、世界の標準機となり日本各地に設置されましたが、2010 年 90m 級、3000Kw 機が開発され、標準機として普及し、松前に 2019 年（108m 径、3.4MW・12 基、NA-S18Mwh）が竣工しました。また、2016 年には欧州で 164m 径、8000Kw の洋上大型機が開発（図 4 参照）され、2017 年イギリス、ドイツの洋上風力発電機の標準機となりました。

2019 年には、220m、12Mw 機が開発されました。2022 年現在では、洋上着床式 164m、8000 ～ 9500Kw 大型機が欧州で 900 基設置され、2023 年現在、220m、14000Kw 級着床式大型機が 300 基程欧州を中心に着工・施工中です。

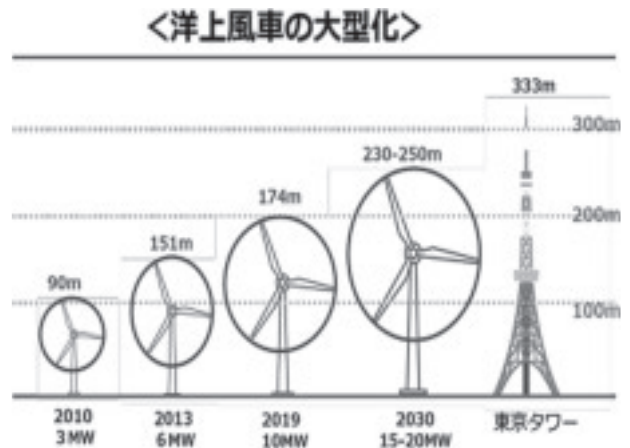


図-3 世界の洋上大型風車の発展



図-4 MHI Vestas 社の主力機 V164 の概要

洋上風力発電は、陸上風力発電が有する①騒音問題・低周波振動問題、②景観問題、③事故や故障の

危険性などの問題がなく大規模化が可能などの優れた長所を有しています。しかし、海上にいかにか安全かつ確実に設置するかが最大の問題となります。

北海、アイリッシュ海を含めたイギリス海峡などは水深が 20 ～ 40m と浅いため、海底を基盤とする着床式が殆どです(図-5 参照)。しかも、建設費と本体価格が、陸上では 4 : 6、洋上では 6 : 4 と逆転し設置費用が高くなります。そのうえ水深 60m 以上では着床式では採算が取れないと言われています。

海に囲まれた日本は、着床式風力発電機の設置は一部を除き沿岸部に限定され、水深 60m 以上に適用可能な浮体式が提案されています(図-5 参照)。

特に有力視されているのは図 5 右端に示すモノスパー(パイル)式と言われる方式です。以下、図-6 にこの詳細を示します。

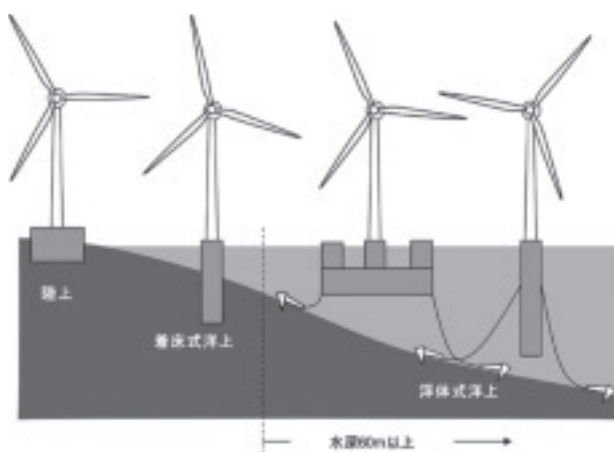


図-5 洋上風力発電設備の仕組み

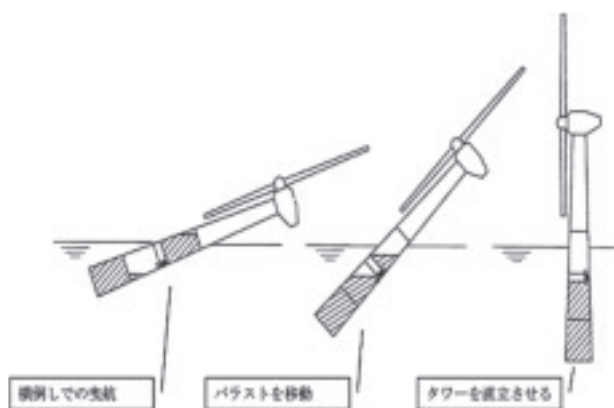


図-6 モノパイル浮体式の概要

水深 200m、海上で 220m 級超大型機の組み立て作業は、風車本体の固定が難しく、揺れが 1 度であっても 250m 上空では 4 ～ 5m の横揺れとなり巨大ブレードの取付作業は極めて困難です。図 6 に示すように横倒しにして海上で巨大機を組み立て、完成後バラスト移動により風車タワーを直立させる方式が一般的に採用されています。保守・点検作業も、バラスト移動により、倒立させることで高所作業を避けられる有力な手法と考えられています。

風車本体に作用する外力と揺れ制御機構の一例を図-7 に示します。外力には回転ブレードに作用する風力のほか海面上の波力、海面下の浮体に作用する潮流力、それらの力を減衰する海水粘性力などが考えられます。ここでは、風車ブレードに作用するスラスト風力による風車支持塔の傾きを防止する一つの制御法を紹介します。

図 7 に示しますように、空力中心部近くに 20m スパンの翼桁を設置して風車抗力 F_b に対応する翼揚力 F_w でモーメントを釣り合わせる方式で、B は翼桁重量に釣り合わせるバランサーです。

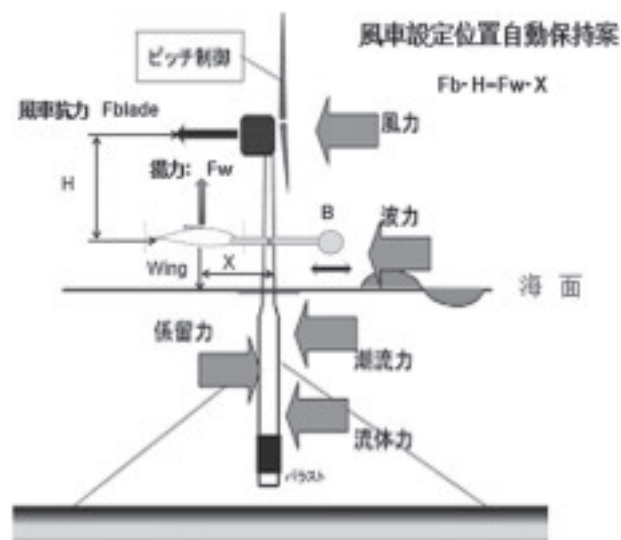


図-7 風車本体に作用する外力と揺れ制御

制御工学の進歩によりいかなる強風、突風でも微動だにせずに、安定する制御が必要です。同様に、大波による海面上下運動に対しては、浮力中心部に何らかの浮体を設置して吸い込み放出作動口開閉で浮体内への空気の放出、吸い込みにより浮体の浮力

を調整して大波による上下運動を制御する方式が考えられます。このように、いかなる気象条件下でも安定制御技術の確立は、本浮体方式の実現と風車の耐久性の向上の観点から必須の対策事項です。

3. 6 海外の洋上風力発電の取組みの紹介

海外の洋上風力発電の取組み例として、イギリス、オランダ、デンマークに設置されている洋上大型風力発電の設置状況を、表 1 に示します。これらの特徴としては、次のようなものがあります。

1. 最初に大型機開発・量産に成功した Vestas 社の V164 (164 mΦ、9000Kw) 等は、既に 900 基以上の量産を行い、北海・イギリス海峡に設置されています。
2. 当初、Vestas 社のこれまで方式の風車ブレードの重量は、一枚当たり 35 トンでしたが、これを炭素繊維材と翼桁の採用により 26 トンまでの軽量化に成功しています。
3. SG (ジーメンスガメサ) 社は、この技術を踏襲して 2022 年から、風車径 236m、出力 15000Kw の SG15-236 機を開発実験を始めています。なお、SG 社の発電機はインバーター・コンバータ変換の直結式のため発電機価格が歯車式の 5 倍ほど高価となり普及が遅れています。

表-1 海外における超大型風力発電機設置状況

Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning date
1. Humbly Grove Project 1	1,218	UK	174 x Siemens Gamesa 7MW	2019
2. Marray East	950	UK	180 x MHI-Vestas 9.5 MW	2022
3. Triton Knoll	817	UK	90 x MHI-Vestas 9.5 MW	2021
4. Jiangsu Qidong	802	China	Four different domestic manufacturers	2021
5. Borssele 1&2	752	Netherlands	84 x Siemens Gamesa 8MW	2020
6. Borssele 2&4	731.5	Netherlands	77 x MHI-Vestas 9.5 MW	2021
7. East Anglia ONE	714	UK	102 x Siemens Gamesa 7MW	2020
8. Walney Extension	659	UK	40 x MHI-Vestas 8.25 MW 47 x Siemens Gamesa 7 MW	2018
9. London Array	630	UK	175 x Siemens 3.6MW	2013
10. Kriegers Flak	605	Denmark	72 x Siemens Gamesa 8.4 MW	2021

欧州では164m超大型洋上発電機が900基近く設置稼働している。
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms

4. 2019 年に、米 GE 社は Haliade-X (220m 径、12Mw 機、直結式) を、スペイン SG 社は SG14 (222m 径、14Mw 機、直結式) を開発し、2023 年現在、着床式大型機が 300 機程、欧州を中心に着工・施工中です。

3. 7 カーボンニュートラル社会の 5 条件

カーボンニュートラル社会実現のための条件として、次の 5 条件に関するお話がありました。

1. カーボンニュートラル社会における最終エネルギーは、原則、電気か水素(+バイオエネルギー及び太陽熱等の直接熱利用)の利用が考えられます。このため、カーボンニュートラル社会の実現には、電力需要が増加します。
2. 電気、水素製造プロセスでは、脱炭素化が必須の要件となり、一次エネルギーとしては、原則、①再エネ、②原子力、③化石燃料+CCS のみで構成することになります。
3. 化石燃料を使用しないことは現実的ではなく、二酸化炭素排出量がゼロの社会であっても、ある程度の排出量は許容し、その分を植林、バイオマスエネルギー、CCS (BECCS)、DACCS (直接大気回収・貯留) 等の NETs 技術を活用していくことが現実的な対応です。
4. CCS、DACCS 技術(貯蔵 CO²)と水素によるメタニゼーションと合成燃料技術の適用とカーボンフリー化の再認識(これは、将来の航空機の主燃料となる)、状況によってはガソリン車の永続(これは、軽量高性能電池の開発が実現すれば EV 車の主力となり得る)の推進が必要になります。
5. 水素と容易に結合できるアンモニア化による間接的な電力貯蔵と燃焼技術の開発が、今後のカーボンニュートラル社会の構築には必要になります。

これらの要件を、経済的、大規模的に同時に満たす主役は「洋上風力」であり、最終的に大規模大型洋上風力発電の直接電力利用(本州への電力送電線の整備)とその余剰電力を活用した水素生成であると、確信します、という力強いお話しで、今回の講演を締められました。

4. おわりに

自然エネルギーを有効活用した豊かな北海道、さらにはゼロカーボン北海道の実現には、エネルギーの地産地消は重要な取組みになります。具体的には、地域での取組みを具体的に進めていくためには、政策や技術のみならず、地域に応じた再生可能エネルギーの種類、事業運営体制、事業資金の収集システム・ファイナンスが重要なポイントとなると考えられます。

今回の研修会では、北海道と室蘭港周辺地域や石狩湾新港周辺地域にスポットを当てながら、これからますます国内で導入が想定される大型洋上風力発電設備について、室蘭工業大学名誉教授の岸浪紘機先生から、多様な観点からご講演をいただきました。

本講演会を契機として、私たちリージョナルステート研究委員会は洋上風力発電や水素エネルギー活用に、一層勉強していく決意を新たにしました。

今回、講師を担当された岸浪紘機先生はじめ研修会開催にご協力を頂いた関係者の方々に深く感謝の意を表しまして、研修会の報告とさせていただきます。

最後に、岸浪紘機先生には講演会の講師をお務めいただくとともに、この活動報告の作成に当たりましても、私どもが作成した原稿を何度も、懇切丁寧に校正していただきました。このことに関しまして、感謝とお礼の言葉を申しあげたいと思います。

以上

中 田 光 治(なかた こうじ)

技術士(建設/総合技術監理部門等 6 部門)

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 副代表
地域主権分科会 幹事長
防災委員会・都市部会 防災委員会・防災教育 WG
(株)みちのく計画 札幌事務所所長



椎 谷 悟(しいや さとる)

技術士(機械部門)

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 幹事
地域主権分科会 幹事
(株)森のエネルギー研究所
北海道営業所 副所長

