

日本のエネルギー戦略 ～水素・洋上風力～



AKKODiS

はじめに

本稿は、日本のエネルギー政策に関する現状と将来の展望を明らかにし、カーボンニュートラルに向けた具体的な施策や課題を探ることを目的としている。日本はエネルギーミックスの最適化と長期目標の達成に向けて、多様な政策を展開しており、特に再生可能エネルギーの導入促進に注力している。しかし、これらの取り組みは依然として多くの課題に直面している。

本稿では、エネルギー政策、カーボンニュートラル、再生可能エネルギー、教育と人財育成に焦点を当て、これらの分野での最新の動向と具体的な施策を紹介する。また、柏木孝夫氏、大平英二氏、竹内彩乃氏という3人の有識者へのインタビューを通じて、現場の声を取り入れ、今後の展望について考察する。

日本のエネルギー政策の進展とその背景には、技術革新と地域ごとの取り組みが重要な役割を果たしている。再生可能エネルギーの普及とともに、グリーン水素や洋上風力など新たな技術の導入が進んでおり、これらを支える人財育成の必要性も増している。本稿が、エネルギー分野における今後の政策形成と実践に貢献することを期待する。

AKKODiS Tech Reportについて

AKKODiS Tech Reportは、クライアントが直面する現在と未来の課題に対し新たな視点を提供することを目的に、社会課題と技術動向を深く洞察し、その解釈としてホワイトペーパーやインタビュー、対談記事を発行するものです。

エネルギー政策の基礎知識

日本のエネルギー政策

1. エネルギーミックスと長期目標

日本のエネルギー政策は、エネルギーミックスの最適化を図りながら、エネルギーの安定供給と環境負荷の低減を目指している。エネルギーミックスとは、発電に用いるエネルギー源の割合を示すものであり、日本政府は2030年までに再生可能エネルギーの割合を36~38%に、原子力を20~22%に、火力発電を41%に設定している。これにより、温室効果ガスの排出削減とエネルギーの安定供給の両立を図ることを目指している。2050年、カーボンニュートラルを実現するにあたり、再生可能エネルギーの割合を50%程度に、化石燃料を20%程度に抑制し、発生したCO₂はCCUS※1により回収することなどが議論されている。原子力発電においては、稼働期間の40年基準を超える延長運転の是非が議論の焦点となっており、老朽化リスクと安定供給のバランスが求められている。新規設置については、福島第一原発事故以降の社会的抵抗があるものの、最新の安全技術を活用した運用が検討されている。原子力発電は、カーボンニュートラル達成に向けたベースロード電源としての重要性が再評価され、安全性の確保と社会的合意形成が今後の課題である。

2. 政府の政策と施策

表1 日本のエネルギーミックス目標

	2019年	2030年	2050年
	実績	エネルギー基本計画 (6次計画)	検討中
CO ₂ 削減量 (2013年基準)	▲24%	▲46%	▲100%
エネルギーミックス	化石燃料	41%	~20%(+CCUS)
	原子力	20~22%	~15%
	水素	1%	~10%
	再生可能エネルギー	36~38%	~50%
	うちPV	4%	11%+α

日本政府は、エネルギー政策を総合的かつ戦略的に推進するために、「エネルギー基本計画」を策定している。2021年に改定された第6次エネルギー基本計画では、2050年までにカーボンニュートラルを達成するための具体的な方針が示されている。これには、再生可能エネルギーの導入拡大、エネルギー効率の向上、電力の脱炭素化、次世代技術の研究開発などが含まれる。

3. 再生可能エネルギーの導入促進

再生可能エネルギーの導入促進は、日本のエネルギー政策の柱の一つである。特に、太陽光発電と風力発電の

導入が進んでおり、これに伴い関連する技術開発も進展している。政府は、再生可能エネルギーの導入を支援するために、固定価格買取制度（FIT）や再生可能エネルギー促進法などの政策を導入している。また、地域ごとの特性を活かしたエネルギー戦略も推進しており、例えば北海道では風力発電、九州では太陽光発電が積極的に導入されている。

4. エネルギー効率の向上

エネルギー効率の向上は、エネルギー消費の削減とともに温室効果ガスの排出削減に直結するため、重要な施策と位置づけられている。政府は、省エネルギー法やエネルギー効率化促進法を通じて、企業や家庭のエネルギー使用効率の向上を図っている。例えば、企業向けにはエネルギーマネジメントシステムの導入支援、家庭向けには高効率家電の普及促進が行われている。

5. 電力の脱炭素化

電力部門の脱炭素化は、カーボンニュートラルの達成に不可欠である。再生可能エネルギーの導入拡大に加え、原子力発電の安全性向上と再稼働、火力発電の効率化とクリーン化が進められている。特に、石炭火力発電の削減とともに、天然ガス火力発電の導入が進んでおり、これによりCO₂排出量の削減が図られている。また、水素エネルギーや蓄電池技術の活用も検討されており、これらの技術が実用化されることでさらなる脱炭素化が期待されている。

6. 次世代技術の研究開発

次世代技術の研究開発は、エネルギー政策の長期的な目標達成に向けた重要な要素である。政府は、燃料電池や水素エネルギー、CCUS技術などの研究開発を支援しており、これにより新しいエネルギーシステムの構築を目指している。例えば、水素エネルギーの利用拡大に向けて、水素ステーションの整備や水素サプライチェーンの構築が進められている。また、CCUS技術についても、実証プロジェクトが進行中であり、これによりCO₂の排出削減が図られている。

カーボンニュートラルへの取り組み

日本は、2050年までにカーボンニュートラル（温室効果ガス排出実質ゼロ）を達成することを目指している。この目標は、気候変動対策の国際的な枠組みであるパリ協定に基づき、温室効果ガスの排出削減を進めるために設定された。現状、日本の温室効果ガス排出量は依然と

※1 CCUSとは、Carbon dioxide Capture, Utilization and Storageを略したもので、「CO₂の回収・有効利用・貯蔵」を意味する言葉である。

して高水準にあり、特にエネルギー供給における化石燃料依存が大きな課題となっている。エネルギー転換と効率化、再生可能エネルギーの導入拡大が求められている。

1. 主要な取り組みと課題

カーボンニュートラルへの取り組みは多岐にわたるが、以下の主要な施策と課題が挙げられる。

エネルギー効率の向上：エネルギー効率の向上は、温室効果ガス排出削減に直結する重要な取り組みである。日本政府は、省エネルギー法を通じて、産業部門や家庭部門でのエネルギー使用効率の向上を推進している。具体的には、高効率機器の導入支援やエネルギーマネジメントシステムの普及促進が行われている。しかし、これらの施策の効果を最大化するためには、企業や家庭の意識改革も必要であり、普及啓発活動が重要である。

再生可能エネルギーの導入拡大：再生可能エネルギーの導入は、カーボンニュートラル実現に不可欠である。特に、太陽光発電や風力発電の普及が進められている。政府は、FITを通じて再生可能エネルギーの導入を支援しているが、導入の初期コストや発電の不安定性が課題となっている。これに対処するために、蓄電池技術の開発や送電インフラの整備が求められている。

水素エネルギーの活用：水素エネルギーは、将来的なカーボンニュートラル社会の鍵となる技術として期待されている。日本政府は、水素基本戦略を策定し、水素の製造、

輸送、利用の各段階での技術開発を推進している。特に、再生可能エネルギーを利用したグリーン水素の製造や、燃料電池車の普及が注目されている。しかし、水素エネルギーの普及には、コストの削減とインフラ整備が重要な課題となっている。

2. 具体的な施策とその効果

日本政府は、カーボンニュートラルに向けた具体的な施策を次々と打ち出している。以下に主要な施策とその効果を示す。

グリーン成長戦略：2020年に策定された「グリーン成長戦略」は、再生可能エネルギーや水素エネルギー、電動車（EV）の普及を推進するものである。この戦略の下で、技術革新と市場拡大が図られており、カーボンニュートラル社会の実現に向けた道筋が示されている。具体的には、再生可能エネルギーの発電容量を大幅に増加させる目標が設定されており、これにより温室効果ガス排出の削減が期待される。政府は図2に示すような工程表を作成、図の上から優先的に対応し、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて戦略を策定している。

FIT制度とFIP制度：FITは、再生可能エネルギーの普及を促進するための重要な政策である。FIT制度により、再生可能エネルギー発電事業者は固定価格で電力を売電することができ、投資の安定性が保証されている。しかし、FIT制度の適用範囲が広がるにつれて、電力料金への影響

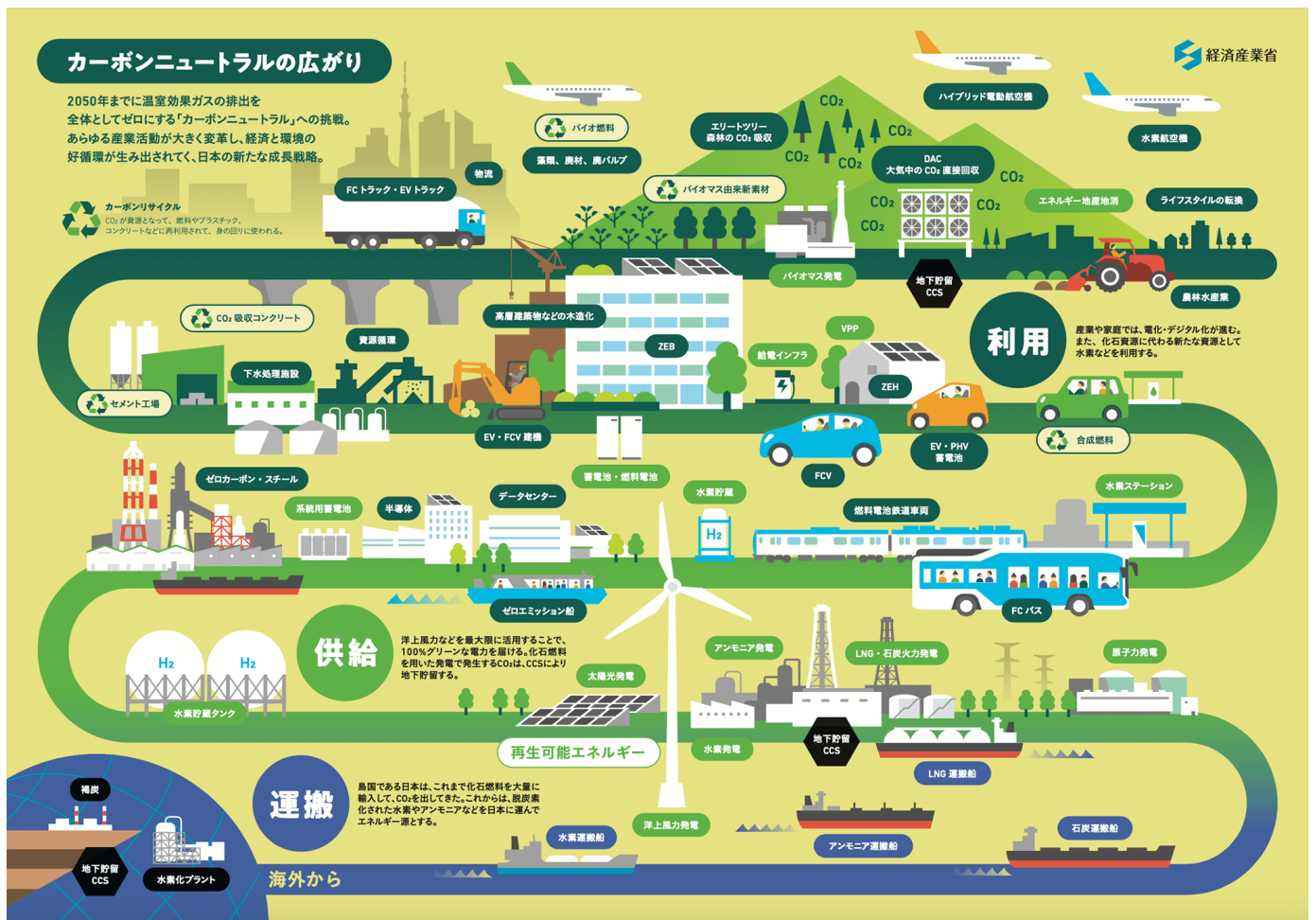


図1 カーボンニュートラルの広がり 出典：経済産業省 グリーン成長戦略

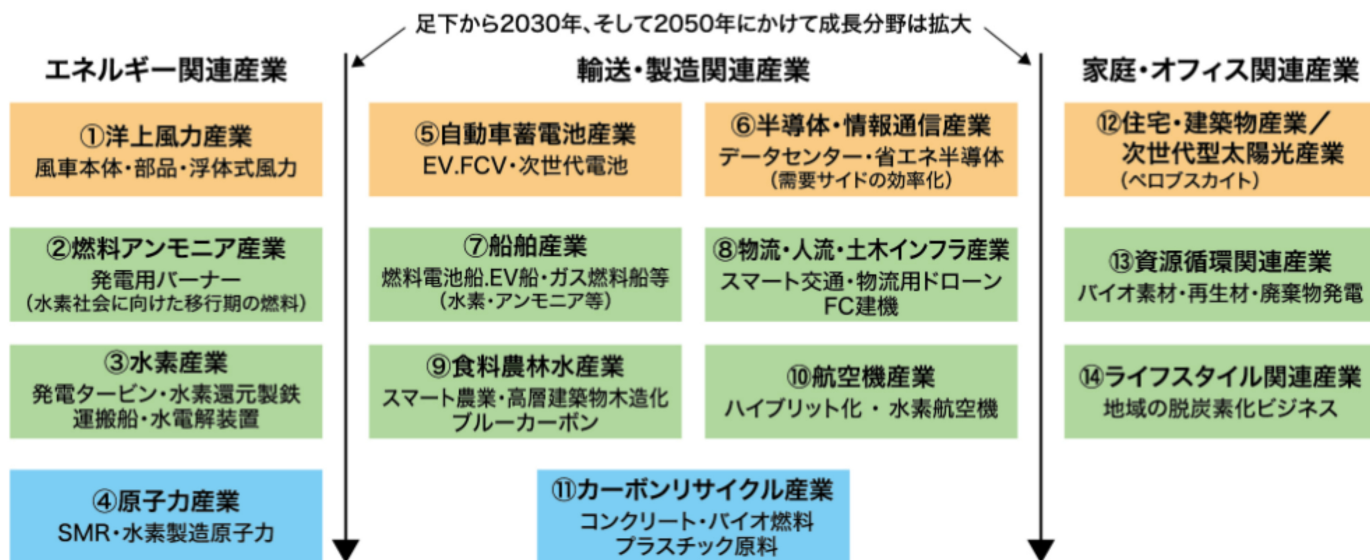


図2 グリーン成長戦略 工程表 出典：経済産業省 グリーン成長戦略

や国の財政負担が課題となっている。これを受けて、新たに導入されたFIP制度は、市場価格にプレミアムを加算する形で再生可能エネルギーの普及を支援するものであり、電力市場の競争を促進しつつ、再生可能エネルギーの導入を進めることが期待されている。

スマートシティの推進:スマートシティの推進もカーボンニュートラルに向けた重要な施策の一つである。スマートシティは、ICTを活用してエネルギー効率の高い都市を実現することを目指しており、エネルギーマネジメントシステムや再生可能エネルギーの導入が進められている。例えば、横浜市では、地域全体でエネルギーを効率的に利用するためのスマートグリッドの導入が進められており、これによりエネルギーの無駄を削減し、温室効果ガス排出の削減が図られている。

燃料電池車の普及:燃料電池車（FCV）の普及もカーボンニュートラルへの重要な取り組みである。FCVは、水素を利用して電力を発生させ、走行するため、CO₂を排出しない。政府は、FCVの普及を支援するために、水素ステーションの整備や購入補助金制度を導入している。これにより、2025年までに8万台のFCVの普及を目指している。しかし、普及に向けた課題として、水素ステーションの整備コストや運用コストの削減が挙げられる。日本のカーボンニュートラルへの取り組みは、多岐にわたる政策と施策を通じて進められているが、これらの取り組みを成功させるためには、技術革新とともに、社会全体の意識改革と協力が不可欠である。政府、企業、地域社会、市民が一体となって取り組むことで、カーボンニュートラル社会の実現に向けた道筋が開けると期待される。

再生可能エネルギーの取り組み

1. 再生可能エネルギーの現状と普及状況

再生可能エネルギーは、カーボンニュートラルの実現

に向けて不可欠な要素であり、日本でもその導入と普及が急速に進められている。特に、太陽光発電と風力発電が主要なエネルギー源として注目されている。2020年時点で、日本の総発電量に占める再生可能エネルギーの割合は約18%となっており、政府の目標である2030年までに36~38%を達成するために、さらなる取り組みが求められている。

太陽光発電は、日本の再生可能エネルギーのなかでも最も普及が進んでいる分野である。住宅用や産業用の太陽光パネルの設置が増加しており、その発電能力は年々拡大している。しかし、天候に左右されるため、発電量が不安定であることが課題となっている。これを補完するために、蓄電池技術の進展が期待されている。

風力発電も重要な再生可能エネルギー源である。特に、洋上風力発電の導入が注目されている。洋上風力は、陸上風力に比べて風力資源が豊富であり、大規模な発電が可能である。日本の広大な海域を活用した洋上風力発電プロジェクトが進行中であり、これにより再生可能エネルギーの供給能力が大幅に向上することが期待されている。

2. 技術革新と導入促進策

再生可能エネルギーの普及をさらに促進するためには、技術革新と導入促進策が不可欠である。日本政府は、再生可能エネルギーの導入を支援するために、さまざまな政策を導入している。

グリーン水素の技術開発:グリーン水素は、再生可能エネルギーを利用して水を電気分解することで得られる水素であり、カーボンニュートラル社会の実現に向けた重要なエネルギー源とされている。日本政府は、グリーン水素の製造、輸送、利用の各段階での技術開発を支援している。特に、再生可能エネルギーを利用した水素製造技術の研究開発が進められており、水素ステーションの整備も加速している。

水素キャリアの利用：水素キャリアは、水素を安全かつ効率的に輸送・貯蔵するための技術である。アンモニアやメチルシクロヘキサン（MCH）などの水素キャリアを利用することで、水素エネルギーの供給チェーンが強化される。これにより、水素の大量輸送が可能となり、産業分野での水素利用が拡大することが期待されている。

洋上風力発電の技術革新：洋上風力発電は、再生可能エネルギーのなかでも特に注目されている分野である。日本の広大な海域を活用した洋上風力発電プロジェクトが進行中であり、これにより再生可能エネルギーの供給能力が大幅に向上することが期待されている。浮体式風力発電の技術開発も進められており、深海域での発電が可能となることで、さらに多くの風力資源を活用できるようになる。図3に、Japan Energy Databaseで公開されているエネルギーフローの例を示す。発電ポテンシャルは洋上風力が圧倒的に多く、ついで太陽光が多い。このデータベースでは都道府県ごとのマップが表示できるが、特に北海道、東北など日本海側のポテンシャルが大きい。一方、人口集中地や工業地域近くでは相対的にポテンシャルが低いという問題がある。

3. 地域別の取り組み事例

再生可能エネルギーの普及には、地域ごとの特性を活かした取り組みが重要である。日本各地でさまざまな再生可能エネルギーの導入事例が見られる。尚、同データベースでは、都道府県ごとの再生可能エネルギー導入ポテンシャルも表示可能となっている。

北海道

北海道は、風力発電のポテンシャルが高い地域である。特に、苫小牧市では大規模な風力発電プロジェクトが進行中であり、地域の再生可能エネルギー供給能力を大幅に向上させている。また、太陽光発電を含めた複数の再

生可能エネルギーを組み合わせた地域エネルギー戦略が推進されている。

東北地方

東北地方は、震災復興の一環として再生可能エネルギーの導入が進められている地域である。福島県では、再生可能エネルギーを活用した「福島新エネルギー社会構想」が推進されており、太陽光発電や風力発電の導入が加速している。また、地熱資源も豊富であり、地熱発電の開発が進められている。これにより、東北地方は再生可能エネルギーの導入モデル地域として注目されている。再生可能エネルギーの普及と技術革新は、カーボンニュートラルの実現に向けた重要なステップである。日本各地で進められている地域ごとの取り組みを通じて、再生可能エネルギーの導入がさらに進展し、持続可能な社会の実現に貢献することが期待されている。

中部地方

中部地方は、風力発電や水力発電が盛んな地域である。特に、長野県や岐阜県では、小規模な水力発電施設が多く稼働しており、地域のエネルギー自給率を向上させている。また、愛知県では、工業地帯におけるエネルギー効率の向上や再生可能エネルギーの導入が進められており、地域全体でのカーボンニュートラル達成に向けた取り組みが強化されている。

九州

九州地方は、太陽光発電の導入が進んでいる地域である。特に、鹿児島県や宮崎県では、多くの太陽光発電施設が稼働しており、地域全体での再生可能エネルギーの導入が進められている。また、地熱資源も豊富であり、地熱発電のポテンシャルも高い。これにより、九州地方は多様な再生可能エネルギーを活用したエネルギーミックスが実現されている。

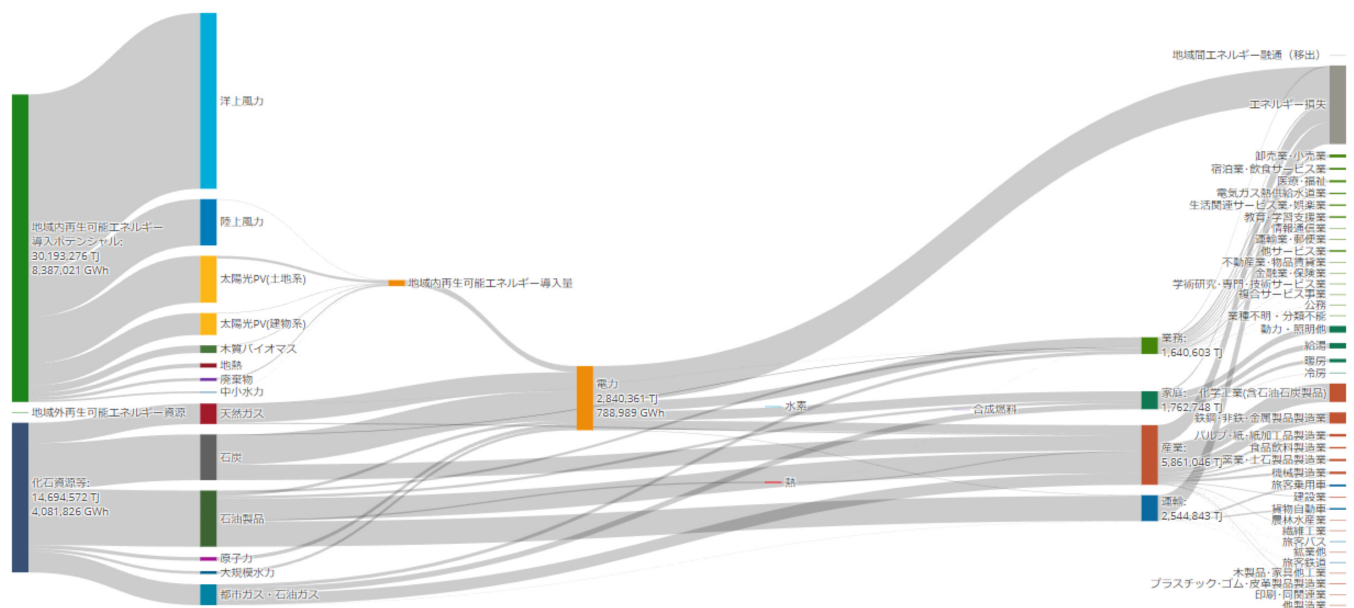


図3 日本のエネルギーフロー 出典：Japan Energy Database

技術開発部門
理事長賞

ドライ・水素専焼 高効率1.8MW級
ガスタービンコージェネレーションの製品化

川崎重工業株式会社

特長

- 低NOx・高効率・高信頼性の実現
- 燃料多量の水素を用いて低NOx化可能な自然燃焼技術のAMC燃焼装置により、水素専焼で低NOx化のための燃焼や燃焼装置に大気汚染防止水素専用。
- ドライ・水素専焼の燃焼装置により、自然の燃焼燃焼・水素専焼ガスタービンコージェネとの比較で発電効率4.4ポイント、総合効率2.7ポイント向上。
- 実用規模のPCCに7%搭載される高効率ガスタービンエンジンM1A1.75MW燃焼装置を搭載することにより、高信頼性を維持しながら、カーボンニュートラルに貢献。

幅広い運用範囲

- 自然燃焼の燃焼装置と併用して、水素専焼、水素/都市ガス混焼ともNOx値は大気汚染防止法を遵守でき、幅広い運用範囲で運用が可能であり、再生可能エネルギーの調整用電源としての役割も期待可能。
- 水素専焼は100~500%まで燃焼割合に対応、運転中の水素割合変化に対応して自動燃焼調整することで安定運用を実現。

既存の施設が活用可能

- 既存のガスタービンに対し、燃焼装置のみで対応可能であり、燃焼装置以外のガスタービンはそのまま活用可能。

システム概要

燃焼機形式	PCC1.75MW
燃焼機種類	ガスタービン
定格発電出力	水素100%時 1,766kW 都市ガス100%時 1,744kW
燃料	水素、都市ガス
燃焼効率	水素100%時 38.0%
総合発電効率	水素100%時 27.7%
燃焼効率	水素100%時 35.3%
燃焼効率	都市ガス100%時 35.5%

CO2削減効果

マイクロピストン(MMC)

- 燃焼装置(水素専焼・水素/都市ガス混焼)とマイクロピストン
- NOxの低発生、大気中のオゾンポットを抑制
- 高圧ガス中の燃焼時間を短縮
- 予燃焼装置を持たないためリスクが低い



コージェネ財団
エネファーム50万台突破!

エネファームとは、都市ガスやLPガスから取り出した水素と空気中の酸素の化学反応により発電する家庭用燃料電池システムです。発電と同時に排熱を給湯などに利用することで、家庭での省エネ・省CO₂に大きく貢献します。

今までの道のり

2009年5月に世界で初めて家庭用燃料電池として固体高分子形燃料電池(PFC)タイプが発売されて以降、2011年の固体酸化燃料電池(SOFC)タイプの発売に加え、燃料供給システムの開発、省エネルギー性能の向上、小型化を実現した機器などラインナップの拡充が図られるなど事業に注力が進み、2023年11月に累計販売台数50万台を突破いたしました。

また近年の自然災害時の大規模停電等においては、停電時発電機器によって携帯電話の充電や、冷蔵庫、洗濯機、扇風機など一部の家電や、お湯をお使いいただくことから、災害対策の利便性(信頼性)にも注目が集まっています。

将来に向かって

「エネファーム」数千台を連続稼働し、系統電力に対する調整力の供出や系統安定状況に応じた制御の確立に向けたパートナーシップへの参加など、「エネファーム」の技術革新に向けた取り組みも進められています。

また2023年8月に公表された水素戦略において「エネファーム」は水素社会実現に向けたフロントランナーと位置づけられており、国や地方自治体の導入促進策が実施されるなど、その普及に大きな期待が寄せられています。

エネファーム メーカー販売台数 (2023年12月時点)

年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
販売台数(台)	4,197	11,477	22,253	35,213	52,357	78,547	113,357	164,319	224,319	301,319	391,319	491,319	591,319	691,319	803,378
累計販売台数	4,197	15,674	37,927	73,140	125,497	203,044	316,401	429,758	543,115	656,472	769,829	883,186	996,543	1,109,900	1,223,257

sonic

電圧	700W
燃焼効率	41.0%
総合効率	98.0%
燃料	都市ガス、LPガス

AISIN

電圧	700W
燃焼効率	55.0%
総合効率	87.0%
燃料	都市ガス、LPガス

KYOCERA

電圧	400W
燃焼効率	50.0%
総合効率	85.0%
燃料	都市ガス、LPガス

ポイントは原子力と洋上風力。 カーボンニュートラル実現に向けた日本の取り組みについて

1946年東京都生まれ。70年東京工業大学工学部生産機械工学科卒。79年博士号取得。80~89年米商務省NBS招聘研究員、88年東京農工大学工学部教授などを経て2007年東京工業大学大学院教授に就任。12年東京工業大学特命教授に。18年内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期 エネルギー・環境分野プログラムディレクターに就任。専門はエネルギー・環境システム。03年日本エネルギー学会学会賞(学術部門)、08年文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)など受賞多数。経済産業省総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会長、同調査会総合部会委員等でも活躍。著書に『スマート革命』『エネルギー革命』『コージェネ革命』『超スマートエネルギー社会5.0』。

パリ協定により、世界的に2050年までにカーボンニュートラルの実現が急務となっている。そこで近年注目を集めているのが、水素を中心とした次世代エネルギーと原子力発電の取り扱いだ。化石燃料を使わないクリーンなエネルギーは、カーボンニュートラル実現のためには必須と言える。特にEUはカーボンニュートラルへの取り組みが進んでいるように見えるが、日本ではどのようなになっているのだろうか。

設立40周年を迎えた一般財団法人 コージェネ財団 理事長である柏木孝夫氏にお話を伺った。

■ヨーロッパのカーボンニュートラルについて

—世界的に見て、カーボンニュートラルの取り組みはどのように進んでいるのでしょうか。

原子力自体がカーボンニュートラルの一つの重要な電源として認識するという動きが出ています。ヨーロッパでは、再生エネルギーだけに特化した政策が増えており、少しやり過ぎではないかという意見も出ています。

フランスでは、現在でも70%ほどを原子力が占めているのが現状ですが、マクロン大統領が就任した時、2025年度までに原子力発電を50%まで削減するという政策を発表しました。しかし達成するのが難しくなり、2035年までに変更されました。

2023年には、原子力、SMR（Small Modular Reactor、小型モジュール炉）を含めて、原子力の高度利用、安全利用を推進して原子力を増やしていくということも言っています。EUのなかでも、国によって政策は違います。つまり、EU全体としてエネルギーミックス最適化の方向に向かっています。

■カーボンニュートラルの3つのキーワード「省エネ」「電化」「水素化」

—ヨーロッパ全体としてはフランスで原子力、北欧では風力、というようにヨーロッパは全体で最適化を行っている状況ですが、日本は島国ということもあり、日本のなかだけでやらなければならない状態です。

カーボンニュートラルは、2016年に発効されたパリ協定からスタートした考え方です。それから紆余曲折を経て、2019年にヨーロッパで、2050年までにカーボンニュートラルを実現しようという目標が定められました。

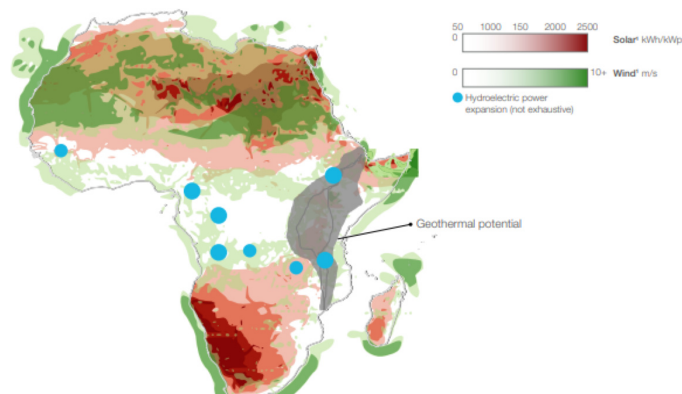
それを達成するためには、GX（グリーントランスフォーメーション）やDXを進めていくこと以外に、「省エネ」「電化」「水素化」という3つのキーワードがあると思っています。

カーボンニュートラルの実現に関して、水素はとても重要視されてきました。水素は、熱源としても使え、エネルギー源としても使え、合成燃料にも使えるという、汎用性の高さがあります。

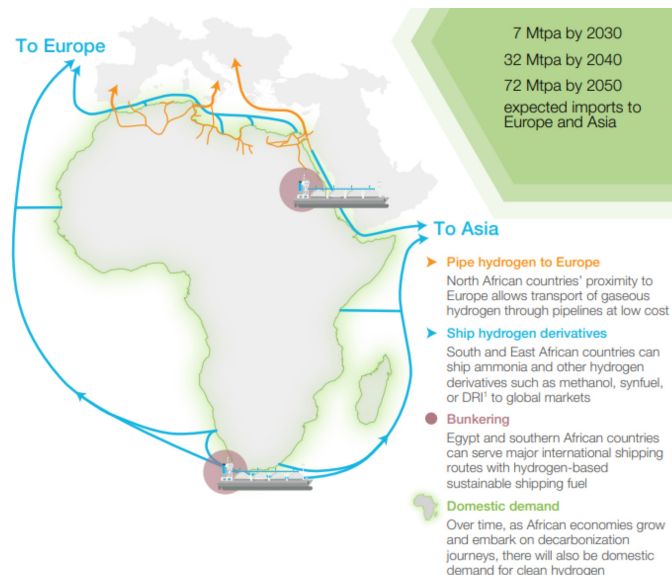
そこでEUは水素に関する取り組みを一気に始めました。特にドイツが早く、2020年6月には「ハイドロジェングローバル」というプロジェクトを開始し、ドイツだけではなくヨーロッパ全体で推進しています。

ハイドロジェングローバルでは、北アフリカにメガソーラーや風車を設置し、そこで作った電力をヨーロッパまで自営線と通信線で電力を送るという計画を立てています。ヨーロッパで電力が十分にある場合は、電気を分解して水素にして、水素パイプラインで送るということになっています。

これはサーキュラーエコノミー、いわゆる経済循環という方向性になります。今までのようにEU内だけで経済を循環させるのではなく、これからはEUとアフリカ間でグリーン電力や水素を使って経済を循環させるという考え方です。



アフリカの再生可能エネルギーポテンシャルマップ
出典：Hydrogen Council



アフリカからの水素パイプライン
出典：Hydrogen Council

日本がよくなかったのは、細かいルール作りをしなかったことです。そのため、外資系ファンドなどを扱う企業が広い土地を借りるだけ借りて、メガソーラーなどを作るだけ作って売り切ってしまう。あとの面倒を見るのは地元の人ということになってしまい、保守などができないという状態になってしまっています。これはルールが甘かったということです。

ドイツの場合は、東西統合の際に格差を埋めるために再生可能エネルギーに目を付けました。農家や工場に風車を設置すれば、本業以外の収入が生まれるようになります。そのようなサーキュラーエコノミーを2000年頃から行っていました。そのようなルール作りがドイツはうまくいったなと思います。同じことを、ドイツは水素でやろうとしています。

パリ協定では、2050年までに世界の平均上昇温度を産業革命以前と比較して2℃上昇以内に抑えるという目標がありますが、それでは生態系がついていけないということで、1.5℃目標が示されています。そのためにはカーボンニュートラルが必要だということで、各国で取り組んでいる状態です

そのための移行期は、EUでは2035年から2040年くらいと考えていたのが、今は2045年くらいまでずれ込んでいます。

EUは全体で取り組むからやりやすい面がありますが、日本はそう簡単にはいきません。そのような意味でも、日本では日本に合ったエネルギーミックスをやらなければならないと思います。そこでは、選択肢を削らないという政策をとるべきだと、私は思っています。国民と対話をし、原子力発電も残していく。そのほうが全体の電力コストが安くなりますし、カーボンニュートラルにも貢献します。その最適なパーセンテージはどれくらいなのかということ、今後決めていく必要があるでしょう。

エネルギー関連の2040年問題という観点では、現時点では2050年にカーボンニュートラル達成というシナリオのまま進むので、2040年時点で原子力発電の新設リプレイスをしなければ、原子力の割合を20%に保つことができなくなります。そこが一番のポイントになると思います。

■原子力発電の割合が20%にならなければカーボンニュートラル達成は難しい

一第6次エネルギー基本計画では、2030年度に温室効果ガス排出量46%削減を目標にしており、電力のエネルギーミックスの目標は、再生可能エネルギーが36~38%、原子力が20~22%、火力が41%となっています。

その計画目標は第7次エネルギー基本計画でも変わらないと思います。火力発電には化石燃料が使われるので、温室効果ガスが排出されてしまいますが、排出量が吸収量とプラスマイナスゼロになれば、カーボンニュートラルは達成できます。多少排出されることは問題ではありません。

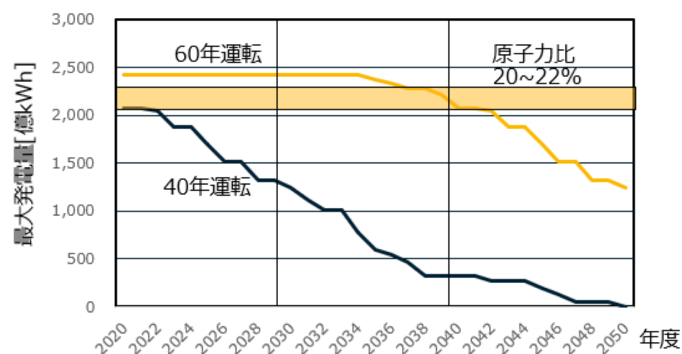


ただし、航空機のように温室効果ガスを空中に放出してしまうと、空気中からガスを取り除く必要が生じます。その場合はダイレクトエアキャプチャー（DAC）という技術が必要になります。DACで除去したCO₂は、CO₂ケミカルやセメント生成などさまざまなCCU（Carbon dioxide Capture, Utilization）に活用したり、海の下に埋めるCCSといった処置を行えば、カーボンニュートラルに近づきます。

問題としては、DACの導入が高価なことが挙げられます。CCSの費用は現状では1トンあたり1万円ほどと言われていますが、DACでは1トンあたり3万円から4万円となります。これを導入した場合、空調費用などにもかなり影響が出るだろうと予測されます。

一2050年のカーボンニュートラル実現のためのエネルギーミックスで、数字の見直しがあるとなれば、原子力の割合を増やせるかどうかのポイントになると思います。現在は15%ほどとなっていますが、それを増やしていく方向性になるのでしょうか。

最終的には20~25%ほどにならないければ、達成は難しいのではないのでしょうか。再生可能エネルギーは変動成分のあるものしか増えていきません。地熱発電は現在0.3%ほどですが、それを1%にしようと思ったら今の3倍やらなければなりません。しかし地熱発電は温泉組合との調整などがあり、そう簡単には規模を大きくすることができない状況です。



原子力発電所が全て稼働した場合の発電電力量予測

要は環境省がどのように考えているかです。現在は省庁間の連携があまり取れていないので、行政改革でどれだけ省庁内のDX化が進むのかによって、未来が変わっていくのではと思います。

■再生可能エネルギーは太陽光発電と風力発電が主力になる

—再生可能エネルギーの現状と普及状況についてお話をお聞かせください。

現状では、太陽光発電と風力発電しか伸びないと思います。あとの方式はリスクが高すぎて、効率的ではありません。

例えば、地熱の場合は、取り出した熱を温度を下げずに送るのが難しい。水力の場合は、大型水力は今まで通りやっていくとしても、中小水力は設備が高額になってしまいうのであまりメリットが出ません。

バイオマスもそれほど伸びないと思います。廃材も量が限られてしまいます。環境省がプラスチックリサイクル法を制定したため、どこもプラスチックの利用を控える傾向になっています。となると、バイオマス発電はゴミ焼却炉で普通の一般ゴミと木製の産業廃棄物を一緒に燃やして規模を大きくしていく必要があります。そのためには、より広域でゴミを収集する必要が出てくる。このやり方では多少は伸びるかもしれませんが、画期的な伸びは期待できません。

すると、残りは太陽光と風力ということになります。太陽光発電では、ペロブスカイトという薄膜で大量生産ができる太陽電池が開発されました。非常に薄くて効率も高いので、屋根のような平らな部分だけではなく、湾曲した部分にも取り付けられます。色も変えられるので、クルマの屋根などに埋め込むことで、その電力だけで走行できる十分な電力を発生させることができる可能性もあります。これが普及すれば、太陽光発電は大きく前進すると思います。



千葉県銚子沖洋上風力発電 出典：資源エネルギー庁

風力発電は、大きさの問題があります。小型のものは強い風力に耐えられないため、都度停止する必要があるため、効率が悪くなります。かといって弱い風力では発電できない。風力が強すぎても弱すぎてもダメということになります。

現在は2,000~3,000kWクラスのもの稼働しています。もっと大きなものを設置すればいいのですが、陸上輸送の問題が出てきます。羽1枚で40~50mというサイズになるため、陸上輸送は困難です。

そこで注目されているのが洋上風力発電です。洋上風力発電は、風の3乗に比例し、羽の長さの2乗に比例します。強い風が吹いた場合は止めてしまいましたが、弱い風でも効率よく発電ができるというメリットがあります。

日本は島国ということもあり、洋上風力発電に積極的な姿勢を見せています。現在は、国が洋上風力発電を行う場所を選定して進めています。

現在計画されているのは浮体式というものです。直径20m、長さ80mほどのドラム缶を3つ浮かべて、それを海底の岩盤に固定します。海上に設置する風車本体は、1万3,000kWクラスのもので、高さはおよそ190mです。これを複数台設置するとなると、かなり広大な面積が必要となります。

それほどの巨大なものを設置するのだから、ただ洋上風力発電のためだけに作るのではなく、海洋都市構想と同時に進めていくのがいいと思います。国のほうで2km四方の海洋都市を作り、そこにマリンスポーツ施設や釣り堀などのアミューズメント施設を併設したり、漁業組合と組んで魚介類の養殖場を作ったりすれば、その施設を有効活用できるのではないのでしょうか。

ただ、これだけの巨大な施設となると、沿岸から近い場所ではできません。最低でも1~2km離れた場所を作る必要があります。そうすると、かなり太い送電線が必要になります。そこで、発電した電気を液体水素に変えて、水素サプライチェーンを構築することなども想定していく必要があるでしょう。

一確かに、洋上風力でグリーン水素を作るというのは、周囲を水で囲まれている日本では親和性が高そうです。

風力発電は、現在発電量の1%弱です。日本の総発電量が1兆kWhほどですから、現状では100億kWhくらいしか風力では発電されていません。それを2030年までに5%まで伸ばそうとしています。これを実現しようとしたら、陸上ではなかなか難しい。

例えば、北海道で大規模な風力発電をしても、それを本州まで送る手段がありません。仮に北海道内にデータセンターを増やして電力需要を上げるのであれば意味はあるかもしれませんが、ただやみくもに供給量を増やしても、需要と供給がマッチングしていないので意味がありません。

その点、水素に変えておけばいろいろな場所へ運べるので、かなりメリットが大きくなります。

■カーボンニュートラル実現に水素は不可欠

一e-fuelやアンモニアに関しては、どのようなお考えでいらっしゃいますか。

e-fuelは液体水素にして運ぶのが一番効率的だと思います。ただし、約20K (-253℃) で保管しなければいけないという面があります。水素タンクを作っても、輻射熱が入ってしまうために内部を約20Kに保持するのは結構難しい。その解決策としては、水素をすぐに使ってしまう方がいいわけですが、そうもいかない面もあります。

アンモニアは、燃焼スピードが遅いのが特徴です。石炭火力の微粉炭とほぼ同じ燃焼スピードです。超臨界では、石炭比で約38%の変換効率となります。これが超々臨界では約43%になるため、実用的なレベルと言えます。

現在愛知県碧南市で、JERAや中部電力がアンモニアを使った発電を行おうとしています。碧南市は今後水素供給・貯蔵のハブとなる場所です。碧南市のほかにも、神戸、水島、川崎、山梨、福島なども水素供給・貯蔵のハブと

なっています。今後は、国が20兆円の国債（GX移行債）のなかから補助金を出していくということになっています。

水素は近い将来、1m³、80円位で卸され、100円位で販売されます。天然ガスから水素を1kg作る時に化学式上では5.5kgのCO₂を排出します。水素に関する法律では、CO₂の排出量が3.4kg以下の場合にはグリーン水素と認められます※2。

晴海にある元選手村に、エネファームを4,000所帯分導入しました。しかし都市ガスを使用しているため、CO₂排出量が3.4kgを下回らないので、グリーン水素とは呼べない状態です。CCSや植物園を作るなどして、CO₂を吸収する手段を作らなければなりません。

石炭火力からガス化して水素を作るという方法で、CO₂は20kgほど排出されます。すると、9割近くのCO₂を処理するための施設が必要となります。森林を植えてCO₂の吸収量を増やすしてオフセットするというようなことも考えなければ、グリーン水素として認められません。この辺りは、これから経済的なマーケットができてくるのではないのでしょうか。

この経済的な部分はEUが担っていくのではないのでしょうか。日本で水素に関する法律を作ったときに、EUのライアン委員長が日本に来て、国際的なルールを一緒に作ろうと言ってきたのも、そのためだと思います。

EUはこの辺りの動きが早く、カーボンニュートラルという言葉が出てきて水素が注目されたら、2020年6月に先ほどのハイドロジェングローバルを掲げて、2023年1月には入札を始めています。



※2 現行は7kg、2030年を目途に3.4kgにしている（東京都産業労働局HP）
<https://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.lg.jp/energy/3236dbb38c28baf1ff9d832a2e88b4eb.pdf>



ーカーボンニュートラルの実現においては、やはり水素が重要な位置を占めているということですか。

そうです。水素タービンはこれから重要になってくるのではないのでしょうか。しかし、一番大切な燃料がありません。燃料は hidrocarbon が一般的に使われます。hidrocarbon は、カーボンと水素でできているので、そこからカーボンを除去すれば水素になります。

水素タービンの排熱は水蒸気とNOxとなるので、NOxを除去して水蒸気だけにして、それをパイプラインで送れば、地域冷暖房になります。

熱を発生させるためには、通常はボイラーで石油や天然ガスを燃やす必要があります。電気ボイラーでは効率が悪かったわけですが、今は水素タービンで電気を発生させて、排熱で水蒸気が出てくるというのは、大きなメリットとなります。

■エネルギー業界にはリベラルアーツの専門家が必要

ーエネルギー関連では、今後どのような人材が必要になると思われますか？

日本は元々技術力のレベルは高いものがあります。エンジンやタービンはもちろん、燃料電池にも強い。だから水素に関する技術開発においても、日本は世界に勝てるものを持っています。

その代わりに、ビジネスモデルが弱い傾向にあります。これは、リベラルアーツが機能していないためだと思います。

リベラルアーツは、自分でものを考えて自分で意思を判断する科目群というもので、倫理、哲学、社会学、心理学など、さまざまな分野の教養を学ぶことです。

アメリカではリベラルアーツを学ぶための専門学校がありますが、日本では東京大学の教養学部やICUくらいしかありません。ほかの大学では、1、2年生で一般教養を終え、専門の学部・学科に進んで専門分野を追求します。しかし、これでは幅広い分野の教養が身につきません。

そこで我々は、大学の教育機関をくさび形にしようと思いました。1年生から専門課程の基礎の授業を行う一方で、4年生になっても一般教養の科目を履修できるようにするというものです。これにより、文理融合で幅広い知識を身につけることができます。

リベラルアーツの専門家がいることで、さまざまな専門家を一つのコンセプトの基に当てはめていくことができるようになります。技術のことだけでなく、法律面や倫理面も理解する人間がいれば、よりビジネスモデルの構築がスムーズに進むはずですよ。

■国の支援によりエネルギー関連のベンチャー企業も発展しやすい状況に

ー最近では、大学発のスタートアップのような、技術をビジネス化していく動きを大学が進めている傾向がありますが、エネルギー分野におけるベンチャー企業についてはどのようなお考えでしょうか。

アメリカでは、有望なベンチャー企業に対して国が税金でその企業の株を半分買うという制度があります。その株は10年間売却しないということになっているので、ベンチャー企業は少なくとも10年間、安心して事業に打ち込むことができます。これはSBIR(Small Business Innovation Research)制度と呼ばれています。

日本でも日本版SBIRである「中小企業技術革新制度」が始まりました。補助金制度や事業化支援、そして採択も視野に入れています。そういう意味では、日本のベンチャー企業も発展しやすくなってきたのではないのでしょうか。その代わりに、ベンチャー企業側もリベラルアーツを取り入れて、世の中に受け入れられる安全なものをきちんと作っていくという努力が必要になると思います。

ーエネルギー関連では、インフラを伴うものが多いため、スモールビジネスで始めるというのは難しい面があると思います。

その辺りは、スマートコミュニティのようなコンセプトをしっかりと持った人たちがメインを担い、そのなかで必要とされるサービスやハードウェアなどをいろいろな企業が作っていく。それらをうまく取り込んで全体の最適化を行っていくというのが必要になると思います。

■世界の均衡を保ちつつ持続可能な開発をしていくことが重要

一最後に、カーボンニュートラル社会の実現に向けた今後のビジョンや目標について、メッセージをお願いいたします。

今まで化石燃料系をずっと使ってきた結果として、気候変動問題などを引き起こしています。これは、人類、特に先進国が自分たちの快適性を求めるためにインフラを

整備してきた結果、大量のCO₂を排出したからでしょう。

これからは「DES」(Developer, equity, sustainability)がキーワードになってくるでしょう。Dは開発者、Eは公平性、Sは持続可能性です。それぞれの国が、均衡を保ちながら持続可能な開発をするにはどうしたらいいのかということは常に考えていかなければなりません。一つの専門性だけではなく、多角度に専門性を重ね合わせていかなければ、汎用的なものは生まれてこないのではないかと思います。

パリ協定により、2050年までのカーボンニュートラル実現が世界的に急務となっているなか、水素を中心とした次世代エネルギーと原子力発電の取り扱いに注目される。EUでは再生エネルギーに特化した政策が多く、ドイツは「ハイドロジェングローバル」プロジェクトを通じて、北アフリカで生成した電力をEUに送る計画を進めている。一方で、日本はルール作りが不十分で、外資系企業によるメガソーラー設置が進む一方、保守管理が地元任せとなる問題がある。

コージェネ財団の柏木孝夫理事長は、カーボンニュートラル達成には「省エネ」「電化」「水素化」の3つのキーワードが重要であり、特に水素の汎用性に注目している。水素は熱源、エネルギー源、合成燃料として利用でき、その重要性は高い。ドイツは水素技術を積極的に推進しており、洋上風力発電や太陽光発電と連携して水素を生成・利用する計画を進めている。

日本のエネルギーミックスにおいては、原子力発電の割合を一定(~20%)以上に保つことが必要とされ、再稼働のみならず新設の検討も必要となる。再生可能エネルギーでは太陽光と風力が主力となる。太陽光発電では、湾曲した表面にも取り付け可能なペロブスカイト太陽電池が開発されている。風力発電は洋上風力が注目されており、浮体式の巨大風車の設置が計画・推進されている。

柏木氏は、カーボンニュートラル実現には水素が不可欠であり、液体水素やアンモニアを使った発電の実用化が進められていると強調する。特に水素タービンは排熱を地域冷暖房に利用できるため、効率的なエネルギー利用が可能となる。また、エネルギー業界にはリベラルアーツの専門家が必要であり、幅広い教養を持つ人財が技術開発やビジネスモデル構築に貢献すると述べる。

カーボンニュートラル社会の実現に向け、国と企業が協力し、持続可能な開発を進めることが求められている。エネルギーミックスの最適化と技術革新を通じて、カーボンニュートラルの達成を目指す。



大平 英二

新エネルギー・産業技術総合開発機構
ストラテジーアーキテクト

カーボンニュートラルの実現に水素は不可欠： 世界的な水素社会で日本が果たす役割

1968年、秋田県生まれ。1992年東京理科大学理学部卒、同年NEDO入構。主にエネルギー・環境関連の技術開発プロジェクトに携わり、NEDO蓄電技術開発室長などを経て、2021年4月より現職。水素エネルギーの普及展開に向け、多くの企業、大学が参画する技術開発プロジェクトのマネージャーとして、次世代の燃料電池や、水素を活用する新しいエネルギーシステム構築のための研究開発を推進。地方自治体における水素エネルギー普及計画策定のための委員会への参画や、国内外での数多くの講演をこなしつつ、TVなどメディアを通じた水素エネルギーのわかりやすい情報発信に尽力するなど、多方面で活躍。共著に『NEDO水素エネルギー白書』『図解 燃料電池技術』（ともに日刊工業新聞社）がある。

2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、世界各国がクリーンエネルギーの創出に注力している。そのなかで注目されているのが「水素」だ。日本では、世界に先駆けていち早く水素エネルギー関連の研究を行ってきた。その中心となるNEDOで、11年にわたり水素エネルギー関連に携わってきた大平英二氏に、再生可能エネルギーにおける水素の現状についてお話を伺った。

■水素エネルギーの基盤技術開発から社会実装のルール策定まで幅広い範囲をカバー

—NEDOでは、さまざまな社会技術開発が進められていますが、エネルギー関連、主に水素に関する技術開発やイノベーションについて教えてください。

NEDOは1980年に設立され、1981年から社会に必要な技術開発に取り組んでいます。初期は、省エネルギーという観点から大型燃料電池の技術開発をメインに行っていました。そして1993年頃から、海外で水素を作って日本に輸送して活用するプロジェクトを開始しました。

具体的には、家庭用燃料電池、自動車、自動車を走らせるための水素ステーションの技術開発を続けており、2014年には水素自動車「MIRAI」が発売されました。また、水素自動車の技術をさらに発展させるために、燃料電池や水電解の大型水素製造装置といった、さらに基礎基盤になる技術開発にも注力しています。

近年、技術を迅速に社会に提供するため、社会実装や実際の規模での技術検証も大きく進展しています。それが、2021年に開始したグリーンイノベーション基金事業です。これは、社会実装を加速させるための取り組みです。

水素分野では二つの取り組みを進めています。一つは、水素を大量に消費する水素ガスタービン発電と、海外から水素を輸入するための大規模水素貯蔵・輸送技術です。海外から水素を輸入し発電で利用するコンセプトは1993年に立ち上げたWE-NETというプロジェクトで掲げられましたが、30年後の今、形になるようとしています。



世界初の液化水素運搬船「すいそふろんていあ」
出典：NEDO 水素社会構築技術開発事業

もう一つの重要な取り組みは、水電解水素製造装置の大型化開発と産業利用です。再生可能エネルギーからの電力を水素に転換し、化学品製造や産業プロセスに活用するもので、非電力部門の低炭素化に貢献することができるため、世界的にも注目されている分野となっています。



福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)
出典：NEDO 水素社会構築技術開発事業

グリーンイノベーション基金事業以外にもさまざまな取り組みを進めています。地域の資源を活用し、その場で水素のサプライチェーンを構築するという、水素の利活用モデルの構築という取り組みを国内外で行っています。水素バーナーやボイラーを利用した工場の低炭素化プロジェクトや、ロサンゼルス港では燃料電池を活用して港湾機器やトラックの電動化を進めるプロジェクトを進めています。

■水素に注力する三つの理由

—今、日本だけでなく世界が水素に力を入れています。なぜ水素が注目されているのでしょうか？

それにはいくつか理由があります。

一つはカーボンニュートラルです。これを実現するためにはCO₂の排出力を極限まで抑える必要があります。火力発電所から排出されるCO₂は、全体の40%ほどになります。これを極限までゼロにするということは、発電だけを低炭素化しても実現できません。なにかほかのアプローチも必要になります。

バイオマスやCCS (Carbon dioxide Capture and Storage)、最近ではCO₂を直接吸収するダイレクトエアキャプチャーといった技術もありますが、産業、交通、熱などさまざまな分野で低炭素化に貢献できる水素は非常に有力なオプションであるというのが、世界の共通認識になっています。

もう一つは、エネルギーセキュリティです。いろいろなアプローチがありますが、そのなかの一つがエネルギーの多様化、資源の多様化です。水素は、再生可能エネルギーや化石燃料など、さまざまな物質から作り出せる柔軟性があります。これまで資源国ではなかった国が、水素の生産によって資源国や輸出国になる可能性がありますし、調達先の多様化という観点においても水素は有効です。

最後に、産業競争力の強化があります。水素を作る、水素を運ぶ、水素を使うというように、水素関連の技術は非常に広範囲にわたります。自動車、重工、電機、素材、機械など多くの産業が関係するため、市場の拡がりも期待されます。

さらに再生可能エネルギーとも結びつくため、電力マネージメントなどの産業に対しても恩恵をもたらす可能性があります。

カーボンニュートラル、エネルギーセキュリティ、産業競争力が、今のところ水素技術関連を牽引するモチベーションになっていると言えるでしょう。

■長年の技術の蓄積が日本の強み

一水素関連技術における日本の優位性はどこにあるのでしょうか。

さまざまな優位性がありますが、個人的には経験の蓄積が重要だと思っています。NEDOの事業として、長期間にわたり相応の研究費を費やしてプロジェクトを進めてきたことで、経験やデータが蓄積されていきます。これらは、水素関連の規制作りに非常に有効です。

規制を策定するには、規制の適正性の評価が不可欠です。厳しすぎてもいけませんし、感覚で作れるというものでもありません。経験値やデータで規制の適正性を示していく必要があります。この点が、日本が海外からリスペクトされている理由の一つではないでしょうか。

例えば、燃料電池自動車が日本で初めて公道でナンバープレートを付けて走ったのが2002年です。実際に販売されたのは2014年。10年以上かけてさまざまなデータを収集し、水素の供給に関してもさまざまな方法を試みました。

燃料電池バスに関しても、2003年に実証実験を開始し、愛知万博での走行や、エアポートリムジンの運用などを行いました。その取り組みがようやく実を結びつつあります。このような経験の蓄積が日本の強みです。

■一番の問題は水素のコストではない

一水素社会を実現するにあたり、現在直面している重要な課題は何でしょうか。

水素製造コストが高すぎるということが課題とよく言われています。確かに、今の化石燃料に比べれば水素は高価です。しかし、それで水素の導入をやめるのか、とい

う問題です。2040年、2050年のカーボンニュートラルの実現を考えると、現状の燃料のコストとの比較だけで考えるべきではありません。

カーボンニュートラルの実現には、現在使用している化石燃料はそのままでは使えなくなります。カーボンタックスがかかるという問題もありますが、それがあつた意味ペナルティのような意味合いを持ち始めたときにどうなるのか。今のエネルギーコストでの議論の延長線上では解決できないと個人的には思っています。重要な課題は如何に継続するか、です。これは日本に限らず、各国共通の課題です。すぐに水素社会が実現するわけではないので、国費を投入するなどをして進める必要があります。その際、パブリックアクセプタンスを得られるかが重要だと思つています。水素を止めるべきだという意見が多数になれば継続が困難になります。



FC-EXPOにおける燃料電池自動車試乗会



小学生を対象とした見学・体験会

社会受容性向上に向けた情報提供の取り組み

出典：NEDO 水素エネルギー白書

もちろん、さまざまな意見があり、水素が100%正しいとは限りませんが、これは大事なことなんだという共通認識をどこまでとれて、どこまで維持できるかということが、根底として大事な部分です。

エネルギートランジションには時間がかかります。すぐに水素社会が実現するわけではありません。そのなかで、短期的な期待値が高まってしまうのはリスクです。例えば水素ステーションを全国150カ所ほどで運営しています。これはかなり頑張った結果なんですけど、期待の高さゆえ、「たった150カ所」と報道されることもあります。もっと長期的な視点で継続してやっていくということがすごく大事なことです。

一コストに関して、化石燃料と比べて水素はどのくらい高いのでしょうか。

それはケースバイケースです。水素は二次エネルギーになります。二次エネルギーは、何かを出発原料にして作るものですから、一次燃料に対して一定のコストが加わります。そのため、天然ガスといった化石燃料よりも水素の価格が高くなることは避けられません。

コスト削減の方策の一つとして、如何に安価な、言い換えれば価値の低い出発原料を見つけるかということが

挙げられます。例えば褐炭は輸出することが難しいため価値が低い、また再生可能エネルギーが大量に導入された際、需要以上の電力は使えませんので、この余剰分も低い価値と言えるでしょう。このような原料を活用することで、コストを抑えていくことは可能だと思います。

■水素は再生可能エネルギーを最大限使うための一つの手段

一太陽光や風力などの再生可能エネルギーは、安定供給が難しいという面があり、その意味で水素の役割は大きいと思います。電力の安定供給についてはどうお考えでしょうか。

電力は「生もの」であり、需給のバランスは極めて重要な問題です。需給バランスの方法としては、蓄電池を使う方法や、ガスタービンで調整するなどがあります。それに加えて、最近検討されているのが、水素製造装置で需要サイドから調整力を提供する方法です。これは電力を貯めるというよりも、新しく電力需要を創出してバランスをとるという考え方です。

先ほどカーボンニュートラルに向けて発電部門以外の二酸化炭素削減が重要であり、再生可能エネルギーのようなゼロエミッション電源の導入拡大だけでは難しいと述べました。

一安定的な火力発電や原子力発電があり、それに大量の再生可能エネルギーが導入されることを前提として、その上に水素社会が実現するという感じでしょうか。

再生可能エネルギーの導入が拡大されると、調整力、電力のレベリングはさらに大事になります。これまでは火力発電所の稼働率の変動で対応してきましたが、再生可能エネルギーが大量に導入されると、仮に火力発電所を止めても供給が過剰になります。そこで揚水発電や蓄電池を使って電力を貯蔵する方法もとられています。

水電解装置による調整力は蓄電とは異なったアプローチです。水電解装置は大きな電力需要を生み出しますので、これを上手く運転して需要側から調整力を提供する。さらに製造した水素は発電だけでなく、熱源や運輸向けのエネルギー、また工業原料として活用できますので、再生可能エネルギーを間接的に非電力部門で活用できることになる。

国内においては、再生可能エネルギーの大量導入が、水素社会実現の一つの鍵になってくると思います。再生可能エネルギーと水素というのは対立軸にあるわけではなく、再生可能エネルギーを有効に使うための手段の一つとして水素があると考えていただければと思います。

■水素ステーションの建設コストは下がってきている

一水素自動車に水素を供給する水素ステーションについて、現在の状況はどうなっていますか。

日本全国に150カ所ほどの水素ステーションが運営されています。150という数字が多いか少ないかという議論がありますが、現状は初期の計画通りに進んでいるという感じです。一気に1万カ所に伸ばせるかということ、それは難しいと感じています。日本は全国的に見てもガソリンスタンド自体が減少傾向にあり、地方に行くほどその傾向は顕著になっているので、それと同数程度の水素ステーションを作るとは思えません。

一水素ステーションの建設費は、ガソリンスタンドよりも桁程度高いと聞きますが、今後水素ステーションの数が増えることでコストが下がる見込みはありますか。

水素ステーションの建設費は、初期に比べて下がっています。水素ステーションはさまざまな機器で構成される、プラントなので、設置数が増えるほどプラントを構成する機器の価格も下がり、建設費も低下するでしょう。

一方で、水素ステーションの建設にかかる費用のかなりの部分は工事費です。昨今の情勢から工事費も上昇しつつありますので、しばらくの間は国で支援を行いながら水素ステーションを建設する必要があるでしょう。

もう一つの問題は、水素ステーションの稼働率をどう上げていくのかということです。まだ燃料電池自動車の台数が少ないため、バスやトラックといった商用車への期待が高まっています。商用車はだいたい同じ時間帯に充填をするので、商用車の普及が水素ステーションの稼働率向上につながることを期待しています。



福島水素充填技術研究センター内水素ステーション

出典：JARI プレスリリース



—電気分解での水素製造の話がありましたが、送電して需要地で水素を製造する方法と、製造した水素を運搬する方法では、どちらが効率的でしょうか。

単純な効率では需要地で水素を製造する方が良いですが、ケースバイケースでしょう。水素の輸送方法はさまざまありますが、水素そのものを輸送する方法に加えて、送電するというのも一つの輸送形態として認識していく必要があります。

—北九州市では、パイプラインを使って水素を供給する実証実験がありました。その施設を見学させていただいたのですが、とても細かった印象です。漏洩の危険性なども考慮すると、パイプラインでの水素輸送は難しいのでしょうか。

パイプラインでの輸送が難しいということはありません。実際に海外では大規模なパイプラインを敷設する計画があります。ただ全面的に新規に増設するとなるとかなりのコストになりますので、長期的な視点で取り組んでいく必要があります。

北九州市の実証実験のお話がありましたが、最近ではオリンピック選手村を再開発した晴海フラッグでも地域での供給を行っています。まだ本格的な普及は先の話ではありますが、このような取り組みを通じて経験を蓄積していくことは大事です。

—水素の輸送形態として、液化水素、アンモニアやメチクロヘキサンなど多様な水素キャリアが存在します。今後どのような方向になっていくのでしょうか。

個人的には、キャリアの種類は特に問わないと思っています。最終的にどれくらいの水素価格になるかということが重要です。単純な効率やコストだけでなく、これまでの技術的蓄積などを踏まえて判断されるでしょう。液化水素、アンモニア、メチルシクロヘキサンはそれぞれ異なるハンドリングを求められますから、扱う技術者も含めたリソースを有しているかは大きなポイントになると思います。

■官民連携は水素導入のカギ

—水素エネルギーの社会実装を進めるための地域や産業界との連携に関する具体的な事例などありましたらお聞かせください。

これまで日本は官民一体となって水素を進めてきました。2014年に発表された経済産業省の水素・燃料電池ロードマップや、世界で初めての国家水素戦略である2017年の水素基本戦略といった政策の策定過程では、地域や産業

■世界各国の低炭素水素の取り組みについて

—グリーン水素について、現在の国内外での取り組みと計画について教えてください。

日本だけではなく、世界的にも低炭素な水素を進めようという方向にあります。ただし、グレー水素、ブルー水素、グリーン水素とあるなかで、どの色を重点的に進めるのかというのは、世界的なコンセンサスにはなっていません。各国がそれぞれ保有する資源を最大化したいという思惑もあると思います。

再生可能エネルギーを大量に持っている国は、グリーン水素を推し、化石燃料が豊富な中東であればCCSを進めてブルー水素を推進するというように、国によって考え方は変わってきます。

ところで、低炭素水素の定義というものも大事になってきます。例えばグリーン水素といえば、太陽光発電や風力発電と水電解水素製造装置が直結しているようなイメージを持たれるかもしれませんが、実際には系統の電力を使用しています。欧州では電力における再生可能エネルギーの割合が高いのでグリーンと言っていますが、グリーンとできる割合をどうするかは、これからの検討課題になります。

再生可能エネルギーのコストが低下してきているなか、水電解による水素製造への期待が高まっています。欧米では水素製造の実証が行われていますが、この動きはインド、アフリカ、南米といった新興国にも拡がりつつあります。

日本でも福島や山梨で、水電解水素製造装置の大型化検証を行ってきました。ここで培った技術は国内だけでなく、拡がりつつある海外市場への展開も視野に入れています。

■水素を運ぶ方法は多種多様

界のステークホルダーも参加しています。

産業界のコミットメントも重要な要素です。燃料電池自動車について、市場投入される前の2011年に自動車メーカーと水素供給業者で共同声明を発表しました。これは水素ステーションというインフラを先行して整備し、市場環境を整えた後に、燃料電池自動車を販売するというもので、これに併せて、水素ステーション設置のための補助金制度が作られました。

現在は水素を利用した火力発電が海外からの輸入と併せて進められています。カーボンニュートラルを背景に、電力事業者も水素やアンモニアを利用した低炭素電源の導入に前向きな発表をしています。発電コストへの影響から、数年前にはそのような動きは活発ではなかったのですが、大きく姿勢が変わってきました。世界的に見ても主要プレーヤーになりうる電力事業者の参画は社会実装に不可欠であると思っています。

次に期待しているのは、重工や化学といった大規模産業です。

世界的に見ても、ヨーロッパを中心に製品トータルとしての炭素強度の低下が求められている状況です。自動車一台製造するのに、どのくらい二酸化炭素が排出されるのか、上流まで遡って評価されていくものと予想しています。そのような場合、最終製品だけではなく、素材自体にも低炭素化が求められるようになります。鉄鋼や化学といった大規模産業はもちろんのこと、各パーツメーカーにも低炭素化が求められるようになるでしょう。

一鉄鋼や化学産業に期待があるということは、まだそれほど積極的に水素に取り組んでいないということでしょうか。

エネルギーコストは製造コストに直結しますし、製造プロセスの抜本的な転換となると簡単ではありません。これからの取り組みという認識です。海外では水電解で製造した水素で鉄を還元する、石油精製等で既に使用されている化石燃料ベースの水素を水電解で製造した水素に置き換えるなどといった産業プロセスでの水素利用を進める実証研究が進められています。日本ではグリーンイノベーション基金を活用し、水素還元製鉄や水電解水素によるアンモニア製造技術といった取り組みを推進しています。

これら産業は発電所と同様に臨海部に位置することが多いことから、海外からの輸入水素を活用するクラスターを形成することも期待できます。2024年に成立した水素社会推進法では、この大規模利用創出のための財政的支援も盛り込まれています。



一産業界との連携について伺いましたが、これをさらに発展させるためのカギは何でしょうか

カーボンニュートラルの取り組みが経済活動の障壁ではなく、新たな市場の獲得に繋がるようポジティブなものになるようにしなければなりません。そのためには海外の市場に如何にアプローチするかでしょう。

水素推進の流れが継続しているのは、一か国だけでなく、世界中で水素を進める動きになっていることが大きいです。2016年のパリ協定成立を契機に欧州では水素の機運が高まってきましたし、この動きは先進国のみならず新興国にも広がっています。ここには大きな水素市場の可能性ががあります。

一方で、世界に向けて活動するには、多くの人的リソースが必要になります。これはものを作って売ることではありません。各国と協業してトータルなシステムを構築し、さまざまな政府から援助を引き出すために、関係性を深めていく必要があります。一昔前なら、どんな辺鄙なところにも商社の社員がいるということがあったらしいのですが、水素関連でもそういうことをやっていかなければいけないのではないかと思います。

今は、水素メインのビジネス市場が形成されていないため、十分な人的リソースが確保できてないという課題があります。単にものを作って売ることではなく、どうやって海外のグループのなかに入って日本の存在感を出していくのかということが、間違いなくこれから求められることでしょう。

■水素関連のルール作りや知見の提供が日本に求められている

一水素エネルギーの技術発展について、日本が発揮すべきリーダーシップや役割についてはどのようにお考えでしょうか。

水素への関心が世界で高まっていますが、まだ確固たるものになっていません。日本の役割は、「水素を推進しよう」というモメンタムをいかに継続していくかということです。水素への理解度は国によって異なります。水素に対する知見があまりない国に対して、理解を深めてもらえるような活動が求められます。

市場創出という観点からは技術基準、標準化も含めたルール作りが必要です。グローバルな市場を作るためには、特定の国だけが得をするのではなく、各国が公平に参加できるルールが不可欠です。日本にはこれまでの経験やデータの蓄積がありますから、これを活用してルール作りにも貢献することが、日本に期待されていることだと思います。

NEDOとしても、経済産業省と分担をしながら、国際的な水素のフレームワークやフォーラムに参加して、日本としての立ち位置を明確にし、さまざまな形で貢献していこうとしています。

■技術関連だけではなく、行政関連の人財も継続性が大事

一水素関連の人財育成が重要との指摘がありました、NEDOが行っている取り組みや、今後水素社会において必要な人財像について教えてください。

明確な人財育成プログラムではありませんが、プロジェクトのなかで意識しながら取り組んでいます。直近では、NEDO講座というものを開催しています。NEDOプロジェクトを実施する事業者をお願いをして、大学生や若手研究者の方々を対象に講義を行っていただいています。

実務的には、水素ステーション運営のための資格取得やトレーニングのために、NEDO事業で山梨に設置した設備が活用されています。各企業が独自に資格取得やトレーニングにはコストがかかってしましますが、この施設を使っていただくことでコスト削減をしていただこうという趣旨です。

すでに水素関連の職業に就いている人だけではなく、これから水素関連の分野に興味を持つ人をどれだけ増やせていけるかというのも課題の一つです。特に将来この分野の中核的存在となりうる中高生に如何に関心を持ってもらうか、という想いがあります。このため中高生を対象とした出前授業や、NEDOプロジェクトのサイトへの見学も企画しました。この活動を通じて少しでもエネルギー関連、水素関連に興味関心を持っていただき、この分野に進んでみようという人数を増やしていきたいですね。

また、行政関連の人財も重要だと感じています。国内外のステークホルダーと濃密な関係を築き上げることの大事さを感じています。

海外では長く同じ分野で働く人が少なくありません。例えば米国のエネルギー省の水素・燃料電池の事実上のトップは、20年くらいそのポストに就いていて世界でも顔になっています。制度の問題もあり簡単ではありませんが、可能な限り長く働けるのが良い。NEDOも近年そのような考えを持ちつつありますし、水素を積極的に推進する自治体でも是非検討いただければと思っています。

■2030年の中間マイルストーンで未来が実感できるものを提示したい

一着任されてから11年が経過しましたが、現在の状況をどう感じていますか？

世界的にこれほど水素が拡がるとは思っていませんでした。社会実装に向けた巨額の資金が世界で投じられようとしていますが、全く想像していませんでした。期待値の急速な高まりは一方でリスクも内在しています。現実には簡単に実現するものではないのですが、期待値との現実のギャップは失望とか逆ブレになる懸念もあり、いわゆる期待値コントロールが大事になってきます。

多くの国際的な企業が意欲を示しているのも大きな変化ですね。例えば、Hydrogen Council(水素協議会)という民間団体は2017年に13の企業で発足しましたが、現在は世界各国の140の企業が参加しています。これは非常に嬉しいことですが、他方、裾野が広がったことで、相対的に日本企業のプレゼンスは下がっているのではないかと。カンファレンスに出席しても、発表しているのは海外の企業が中心です。もちろん日本企業が取り組んでいる内容は先進的なものであることは間違いないのですが、日本の企業が引き続き選ばれていくためにも世界でのPRの仕方も考えていきたいです。



ー2050年のカーボンニュートラルに向けて、水素エネルギーのビジョンと目標について教えてください。

2030年が重要なマイルストーンと考えています。水素発電や水素の輸入、国内再生可能エネルギーを活用した水素製造が本格化します。量的には大きなものではありませんが、将来の社会実装を実感できるものでなければなりません。その上で2050年のカーボンニュートラルは、不透明な部分も多く本当に頑張りますとしか言いようがありません。ただ、20年あれば、エネルギーの大転換は

できるのではないかと考えています。技術のブラッシュアップ、海外との連携構築、市場環境の整備と取り組むべきことは盛りだくさんです。2030年の時点で、しっかりとした展望を見せるというのは、それほど簡単なことではないかもしれません。しかし、わずか10年前にはイラストでしか紹介できなかった水素運搬船や水素製造装置が実物として見せることができるようになりました。地道に着実に歩みを進めていく、これによって水素社会は実現できるものと信じています。

大平氏は、NEDOが進める水素社会構築技術開発事業の進捗状況を詳述し、日本が水素技術において世界をリードする背景と強みを強調している。日本は1980年代から省エネ技術の一環として水素技術に取り組み、燃料電池や水素ステーションといったインフラ開発を進めてきた。その結果、燃料電池車「mirai」の市場投入や水素ステーションの設置など、具体的な成果を上げている。しかし、技術的な課題やコストの問題が依然として残っており、それらの解決が社会実装の鍵となる。

特に注目すべきは、水素エネルギーの製造、貯蔵、輸送技術の開発とその普及である。現在、日本国内の水素ステーションは約150箇所にとどまっており、需要を満たすには不十分である。さらに、化石燃料よりも高コストである水素をどのようにして経済的に持続可能な形で普及させるかが課題である。そのためには、技術革新と大規模な設備投資が必要であり、政府の支援と規制緩和が求められる。また、地方自治体や企業と連携し、地域ごとの特性に応じた水素利用モデルを構築することも重要である。

水素エネルギーの社会実装を進めるためには、地域や産業界との連携が不可欠である。地域での水素利用モデルを確立し、地元企業や自治体と協力してインフラを整備することが求められる。例えば、都市部では水素ステーションの設置を進め、地方では地域の特性に応じた水素利用の仕組みを構築することが重要である。さらに、産業界全体での水素利用の拡大を図るためには、化学工業や鉄鋼業などのエネルギー多消費産業においても、水素を活用した低炭素化の取り組みを進めることが求められる。

今後、日本が水素エネルギーのリーダーシップを維持し、社会実装を加速するためには、技術開発とコスト削減を両立させるための研究開発投資を強化すること、及び政府や産業界が連携し、水素の普及を加速するための政策を推進することである。第三に、国際的なルールメイキングに積極的に参加し、日本の水素技術の優位性を国際社会に示すことである。これにより、日本の水素技術が国際競争力を持ち、持続可能なエネルギー社会の構築に貢献できると考えられる。



竹内 彩乃

東邦大学 理学部生命圏環境科学科
環境ビジネス研究室 准教授

技術から海洋生態まで。 洋上風力発電と地域の共生に必要な人財とは？

市民参加・協働をテーマに博士論文を執筆後、ドイツの環境コンサルタント、再生可能エネルギーのディベロッパー、名古屋大学を経て2016年から現職。再生可能エネルギーと地域共生や気候変動問題への市民参加をテーマに、現場と関わりながら研究を進めている。著書（共著）に『都市を学ぶ人のためのキーワード事典 これからを見通すテーマ24』（学芸出版社）など。

2007年、早稲田大学理工学部環境資源工学科卒、2012年、東京工業大学大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻博士後期課程修了、2012年Öko-Zentrum NRW GmbH ジュニアコンサルタント、2013年PN Power Plants AG プロジェクトマネージャー、2015年、名古屋大学大学院環境学研究科洋上風力発電事業と地域の共発展寄付講座特任助教、2016年より現職

2019年に施行された再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法（再エネ海域利用法）により、洋上風力発電の普及が加速すると期待がかったものの、秋田港や能代港、石狩湾でのウインドファームの建設が進む一方で実際には思ったほどの広がりを見せていない。世界的に注目されている洋上風力発電だが、日本はやや遅れを取っている状況だ。現在日本が抱えている、洋上風力発電に関する課題と、今後必要となる人財について、社会工学の視点から再生可能エネルギーの研究を行う東邦大学理学部生命圏環境科学科の竹内彩乃准教授にお話を伺った。

■洋上風力発電設備の国内開発が産業展開のポイント

ー現在の国内での洋上風力発電の導入状況についてお聞かせください。

数年前までは、着床式の洋上風力発電機が、銚子市、北九州市に1基、福島県に数基設置されている程度でしたが、最近では秋田港や能代港、石狩港などにウインドファームが建設されました。ようやく日本も洋上風力発電の推進に向けて動き出したという印象です。

ー私も今までいくつか視察させていただいたのですが、日本は2050年までに最大で45GWの導入目標を掲げる一方で、案件形成が思ったほどスピード感を持って行われていない印象です。

現在建設が進められている着床式は比較的海外で知見が蓄積されていますが、浮体式の場合はまだ実証段階です。浮体式では、風や波の影響を考慮し、浮体と風車の連成解析が必要になります。

浮体部分は船の構造と似ているため、日本が得意とする技術だと思いますし、浮体の基礎と一体設計したタービンを日本でデザインできれば良いのではないかと思います。

現在、着床式から浮体式に移行していく段階に入っており、国産タービンに関してはまだ開発の余地はあると思っています。

最近では、風車の部品の開発に国内企業が関わっていたりもしますので、少しずつ国産化の流れも出てきました。

ー風力発電に関わる設備、例えば風車などはブレード1つが数百mにもなります。このような大型のものを海外から運んでくるのは大きな負担になると思いますので、国内でライセンス生産する方法もあると思います。

タービンは、以前からブラックボックスと比喻されており、海外で製造された場合、内部構造の詳細が分からないことが多いです。今後洋上風力発電が広まっていくなかで、海外製のものだけに頼っていくのは難しい部分もあります。

また、大きな風車のブレードの運搬費用もかなり高額になってしまうため、そういったものは国内で生産し、運搬コストのかからない小さな部品は海外のものを利用するという方法も考えられるので、そのような議論ができるようになっていくのが理想です。

ただし、国内の製造拠点に際しても十分検討する必要があります。

ドイツでは洋上風力発電系の産業が集積している港湾がいくつかありますが、2011年にブレーメン州・ブレーマーハーフェン市に洋上風力発電の組み立てのための港湾を整備する計画が立ち上がりました。港湾を埋め立てて建設する予定でしたので、環境補償の検討を行なっていましたが、環境団体の反対があって難航していました。

タービン工場の誘致など、地元からは期待の声もありましたが、隣のハンブルグ州・クックスハーフェン市の港に大きなタービン工場ができることになりました。

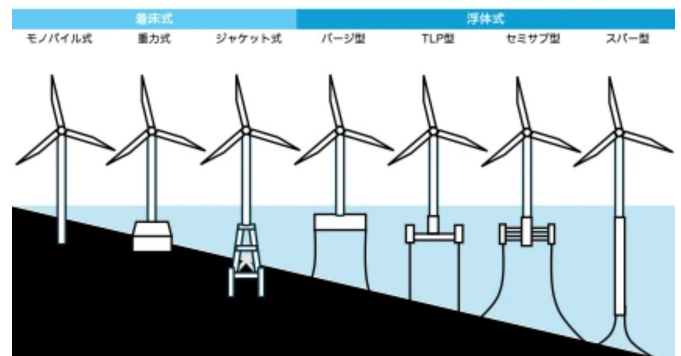
これは、洋上風力に関連する港湾整備について、国としてどうするかという方針ができていなかったことが原因です。洋上風力発電事業自体に関わるインフラについて、国が詳細まで管理するという体制になっておらず、民間企業や基礎自治体ベースで進んでしまっているため起こった事態だと思います。その部分がかみ合っていないと、非効率になったり最適化が図られない可能性が高くなります。

今後日本でもこのようなことが起きる可能性があるので、国全体としてどこに何を配置していけば効率的に洋上風力発電産業が展開していけるのかということは、しっかり話し合う必要があると思っています。

■着床式と浮体式のメリット・デメリット

ー着床式と浮体式の技術的な違いと、それぞれのメリット・デメリットについて教えてください。

着床式のメリットは、すでに海外で導入されているため技術的な知見が蓄積されている点です。一方、デメリットとしては水深が深いところには設置できないという技術的な制約があり、コスト的にも見合わなくなる点です。



洋上風力発電の種類（竹内准教授資料より）

浮体式は水深が深い場所でも設置可能なメリットがありますが、浮体部分が振動するため、その設計がチャレンジな要素となります。技術的な課題は多いものの、可能性は大きいです。

私が以前勤務していたドイツ企業は、ドイツで初めて洋上風力発電の実証に取り組んだ企業でした。小さなタービン会社を買収し、デザイナーや技術者と一緒に洋上風力発電専用のタービンの開発を行っていました。

そのときの重要なコンセプトの一つが、建設コストの削減です。陸上用のタービンはかなり重かったので、それを軽量化して設置期間を短くしました。現在では2つの風車を搭載したNezzy2という浮体式洋上風力発電設備を設計し、さらなる展開をしています。

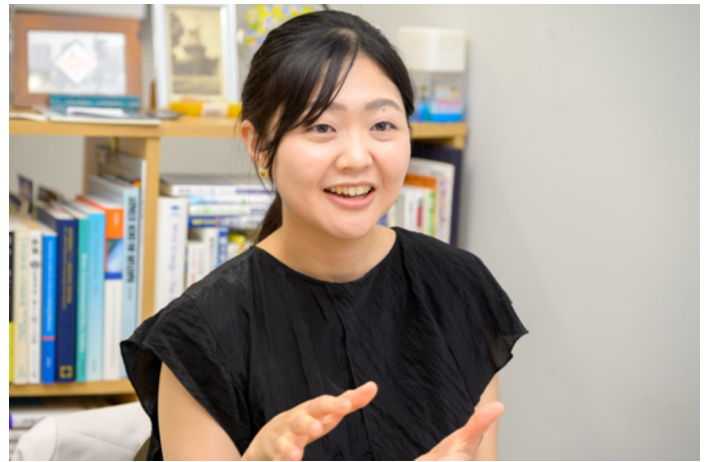
その設計者によれば、この形が浮体式では一番バランスが良いとのことでした。浮体式に関しては開発余地が多くあるので、チャレンジな面はありますが、うまくいけば大きなものをたくさん設置できるようになるという期待はあります。

韓国では、洋上風力発電で2030年までに14.3GWという政策目標※1を掲げています。そのくらいの規模になると、海外の事業者が韓国に工場を作ろうという話に発展するのですが、日本はまだそこまで大きな目標を掲げていません。その点で産業集積という意味ではなかなか進んでいかず、海外で作って運んでくるという方法にならざるを得なくなっています。

一発電のポテンシャルの面では、洋上風力発電への期待が高まっていると思いますが、まだ日本の政策が追いついていないという感じでしょうか。

再エネ海域利用法が施行され、それに基づいて風力発電事業の案件形成が全国的に進むと期待されていた部分があります。確かに、公募の第1ラウンド、第2ラウンド、第3ラウンドまではそれなりに話が進展していますが、第4ラウンドに入って少し勢いがなくなってきたという印象です。

しかし、現時点では浮体式の洋上風力発電の導入目標は設定されていません。浮体式洋上風力発電事業については、実証事業が進められておりますので、目標が設定されると洋上風力発電全体の勢いが高まってくる可能性はあると思います。



■浮体式洋上風力発電の可能性と課題

一着床式は比較的海岸線が近いところに設置されることが多く、都道府県主体で事業を進めていくということになります。一方浮体式の場合は国の政策として進めるということになるのでしょうか。

秋田港や能代港、石狩港における事業は港湾での事業となっており、国土交通省の管理のもと進められています。再エネ海域利用法に基づいて行われている事業は、一般海域を対象としており、経産省と国土交通省の共管となっています。地元調整等は都道府県や市町村が積極的に関与しておりますので、役割分担で進められています。浮体式に関しては、利害関係者が増えますので、国の関与がさらに求められるのではないかと考えております。

一浮体式は地元企業と自治体だけでは進まないということでしょうか。

洋上風力発電を建設する際、まずどこでどのような漁業活動が行われているかを把握することが重要です。浮体式は複数の地域が関わるため、合意形成には時間がかかりますが、適切なプロセスを踏めば実現可能だと思います。

着床式の場合、変化する地域の方からの懸念の声もありますし、魚の生態系が変化する可能性を懸念する漁業者もいらっしゃいます。そのようななかで、国が目指すところや地域の将来像といった中長期的なビジョンを一緒に考えていくことで合意できる可能性はあります。

一洋上風力発電を設置する場合、行政の許可は必要なのでしょうか。

※1 自然エネルギー財団「韓国のエネルギー政策」

https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI_SKoreaReport_202311_JP.pdf



2019年に再エネ海域利用法が制定される以前は、洋上の占用許可に関する具体的な規定はありませんでした。最長5年の占用許可があったとしても銀行からの融資は難しくなります。そのような状況を鑑み、再エネ海域利用法では占有期間が30年になりました。これで建設から運用、撤去までじっくり行うことができるようになりました。

■洋上風力発電と地域住民や漁業者との関係

一洋上風力発電が、漁業や環境などに与える影響についての対策や、地域との共生を実現するために、日本はどのような施策を講じているのでしょうか。

洋上風力発電事業の設置海域と漁業の操業海域は、重なることも少なくありません。そのままでは漁業者の操業に支障をきたす恐れがあります。また、掘削工事や打設工事では、周囲への騒音も発生します。また、浮体式の洋上風力発電機を設置した場合、変化する可能性もあります。

こうした課題を多くの漁業者の方が心配されています。それらの課題に関しては、再エネ海域利用法に基づいて設置される法定協議会で、漁業者に対して専門家が情報提供をしています。そこで問題のある部分、ない部分が明らかになってきますので、漁業者とコミュニケーションを深めているというのが現状です。

くわえて、洋上風力発電事業者が事業に関わることで、それらの課題を解決する事業提案もされています。

例えば、ICTを活用した新しい漁業の構築です。漁業者は、実際に海に出てからでないと、水温や風の状況など詳しい海の状況がわかりません。しかし洋上風力発電を設置するときに各種センサーを搭載し、近辺の海の状況を計測して、リアルタイムで漁業者に送信する計画や、水中カメラを設置するといった案も出ています。もちろん、実現が難しい計画もありますが、アイデアは集まりつつあります。

特に海の状態をリアルタイムで分析することは、漁業者の燃料代削減などにつながりますし、洋上風力発電事業者は漁業者に情報提供をすることによって、Win-Winの関係を構築できるのではないかと、考えられます。

そのほかにも、洋上風力発電機自体を魚礁として機能させることも考えられています。貝の専門家によれば、基礎部分に付着する貝の種類によって、魚礁部分に集まってくる魚が異なるため、環境DNAなどの手法も用いながら、魚礁効果について解析できるのではないかといいことでした。

洋上風力発電は、技術的な研究は数多く行われていますが、海洋産業を構築するための研究のシーズがたくさんあるのではないかと思います。

一景観の変化への懸念については、どのようにお考えですか？

洋上風力発電を進めている地域は海岸線に沿っているため、浜からの景観を観光資源にしていることが多くあります。洋上風力発電機が建設されることで、観光という面ではダメージになる可能性はあると思っています。

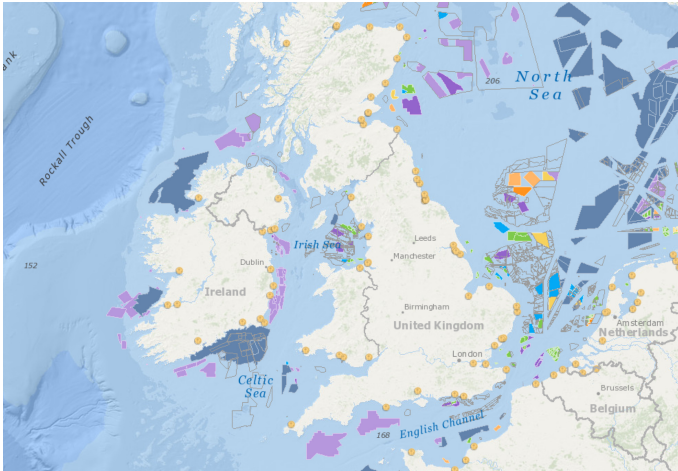
ただし、今までの景観のなかに洋上風力発電が付加されることで、新しい観光資源にもなり得るかというところが重要ではないでしょうか。それを地域の方が受け入れるプロセスがとても重要だと思います。

山形県の遊佐では、フォトモンタージュを作成しています。住民の方々が洋上風力発電機を設置したあとの景観をイメージしやすくするためです。もちろん、この景観が受け入れられないという住民の方もいらっしゃるといいます。



山形県遊佐のフォトモンタージュ 出典：遊佐町

日本の計画エリアを見ると、イギリスやドイツに比べて海岸線に近いということがわかりただけだと思います。ただし、日本に似た状況の国があります。それがアイルランドです。



アイルランド近辺の洋上風力発電計画エリア
出典：TGS 4C Offshore

アイルランドの状況は日本ととても似ていて、漁業者の懸念も大きいとのこと。今後は海外において、漁業者とのコミュニケーションの議事録の分析なども行っていきたいと考えています。

■浮体式洋上風力発電には大きなビジネスチャンスがある

一洋上風力発電が地域の経済や日本全体の経済競争力にどのような影響を与えるのでしょうか。

浮体式に関しては、風車の国産化や技術革新が進むにつれ、ビジネスチャンスが増えてくると考えています。海外でもこれからという段階です。

日本はかねてからタービンを作ってきた経緯があります。五島市の洋上風力発電機は、日本製のタービンに日本製の浮体という組み合わせで設置されているので、これを事例に国内調達比率を高めていくことができればいいですね。

また、日本の海底は水深が深く、着床式よりも浮体式に適した海域が多くあるという特徴があるので、浮体式でのビジネスチャンスは大きいと考えられます。

風車の国産化により、国内調達比率を高めることも可能です。洋上風力発電産業で日本の産業を盛り上げていくということは可能でしょう。ただし、それらに見合うだけの政策目標が掲げられなければ難しいと思うので、そこは国がしっかりと検討していくことが必要です。

そのほか、地元の中小企業をしっかりと組み込んでいけるように検討することも重要です。メインの浮体やタービンといったところではなくても、五島市のように浮体のコンクリート部分や最後の仕上げ部分を地元企業が請け負うというように、一部分を地元企業に任せるといったことは可能です。

どの地域でも、地域の中小企業がどうやって洋上風力発電産業に参入できるのかということは議論されますし、大きな期待をされています。地元の方のやる気が出れば、それが地域から全国へと広まっていくので、洋上風力発電に参入する企業や地域が増えてくるのではないかと考えています。

■メンテナンスに関する人財育成は日本独自の取り組みが必須

一洋上風力発電機はとても巨大なものです。必然的に設置やメンテナンスに関しても莫大なコストがかかりますが、それらに関する課題と解決策について教えてください。

現在、日本ではGWO（グローバル風力機構）による認証制度を基に、メンテナンス人財の育成が進められています。また、日本独自のトレーニング装置や自動化技術を導入し、安全性を高めたメンテナンス体制の整備も急務です。

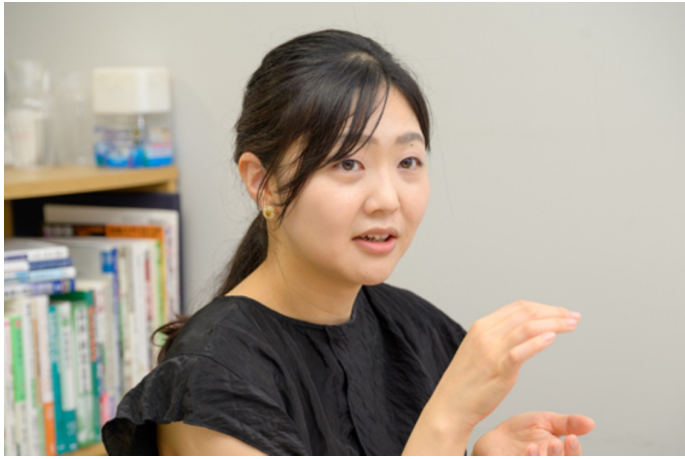
洋上風力発電関連企業の北拓では、国の支援を活用して日本独自のトレーニング装置を作成するなど、日本の海域の特徴を踏まえた人財育成を行っています。

海外とは、風土やリスク認識の違いがあり、メンテナンスの際の認識も異なってきます。その辺りを踏まえた上で、日本独自のメンテナンス人財育成を考えていく必要があると思います。

洋上風力発電のメンテナンスは、海上での作業がメインとなります。海上での作業は危険が伴いますので、自動化のためのロボットやAI技術の導入なども追求していく必要があるでしょう。

例えば海外では、ネジを締めるなどの単純なメンテナンス作業はロボットが行い、ネジを締める力加減や精度などをブロックチェーンなどで一元管理するような研究も進められています。

洋上風力発電の計画が順調に進んでいくと、数万人単位での人財が必要になるので、人財育成は急務な課題と言えます。



■ 浮体式洋上風力発電にまつわる課題

一法改正されたことで、排他的経済水域での洋上風力発電の設置が拡大されたことに伴う、制度設計に対する展望はいかがでしょうか。

既存利用者である漁業者との調整をいかに行っていくかというのが大きな課題です。まずは、漁業者がどの地域から漁をしにその海域に来ているのかということ把握することが必要となります。

漁船にはGPSが搭載されていることが多いので、操業実績の確認は可能かと思えます。そこに水産業がどこまで関わるのかということも大きな課題です。

もう一つは、浮体式洋上風力発電は大規模なプロジェクトということもあり、国を挙げて進められている一方、あまり国民に知られていないという面もあります。そこをいかに克服していくかということも重要な課題です。

そのほかには、送電の問題があります。洋上風力で発電した電力をそのまま送電するのか、別の形のエネルギーに変換して蓄えるのかということはもちろん、送電後にどこでどう電力を使っていくかという課題もあります。

電力の使い方の解決策として、コーポレートPPA ※2なども出てきています。秋田ではAmazon、北海道でもいろいろな企業を誘致して、そこで洋上風力発電の電力を使っていくという方向に向かっていますが、これにも問題はあります。実際コーポレートPPAということになると、地域と切り放されてしまう可能性が出てきます。

地元洋上風力発電があっても、電力は企業で消費されてしまい、自分たちが使えないという話になっては本末転倒です。地域とのつながりも作りつつ、洋上風力発電

で得た電力をいかにその地域で使っていくかということは、解決すべき課題の一つです。

洋上風力発電は海側の地域に関わりがあるので、船を活用する場面が多く、水素運搬船や蓄電池船などを作るといったアイデアも出てきています。そのほかでも、地域交通で困っている地域は多いので、公共交通機関に電力や水素が活用されるようになるといいのではないのでしょうか。

一発電に適した地域は必ずしも人口密集地ではありません。発電した電力を活用するためには、長距離運搬の必要性も考えられます。電力から水素を作り、それをパイプラインで送るといった方法も考えられますが、現時点では送電に関してはどのような見解でしょうか。

現時点では着床式は送電という形をとっています。浮体式の場合は、電力を水素に変換した後パイプラインや水素運搬船で運ぶというように、必ずしも送電線で送電する必要はないという話も出てきています。

一浮体式の場合は、沿岸からどのくらいの距離に設置されるのでしょうか。

水深にもよりますが、浮体式の場合は10~30kmほどの距離になります。着床式は10kmくらいまでです。浮体式の場合はかなり遠くに設置されることになります。

現在北九州市に浮体式の実証機がありますが、メンテナンスには船で片道1時間ほどかかります。これを毎日通うわけですが、もちろん、海が荒れると行くことはできません。



北九州にある浮体式洋上発電（竹内准教授撮影）

※2 コーポレートPPA（Corporate Power Purchase Agreement、電力購入契約）とは、電力の需要家である企業が、発電事業者との間で長期にわたって結ぶ再生可能エネルギー電力の購入契約を指す。契約期間は、一般的に5~20年間ほどとされている。

ーヘリコプターなどは使えないのでしょうか。

アイデアとしてあります。私がドイツで務めていた会社では、2枚翼にしてタービン上にヘリポートを作ること、ヘリコプターで行けるようにすると効率が良いと言われておりました。事故などの緊急時はすぐにヘリコプターで駆けつけなければいけません、ヘリポートがあったほうが対応はスムーズになります。コストは高くなりますが、メンテナンスに通う時間も大幅に短縮されます。

発電所の設計について、日本と海外では考え方が違います。ドイツの場合は、作業員が働きやすい環境を整えるために、人間の安全を配慮した構造にします。例えば、ドイツの企業が設計したバイオマス発電所は、建屋のなかに入っています。人間の体調管理のためにそのような構造になっているのですが、日本の工場はほぼむき出しということが多いかと思います。気候の違いもありますが、従業員の健康管理という部分での意識が大きく違うのかもしれない。

先ほどの話になりますが、人財育成の際に海外を基準にして行くと、海外で当たり前で認識されているリスクが認識されていないことがあるかと思えます。そのために、日本独自のカリキュラムが必要でしょう。

■技術面だけではなく海洋生態の研究も必要

ー洋上風力発電の分野において、今後どんな人財育成をしていけばいいのでしょうか。

技術者の育成は不可欠です。日本でタービンを作られてきた方々が50代60代になられているので、その技術力を引き継いでいける技術者は必要です。

そもそも、再生可能エネルギーは効率が低いと事業として成立しません。高効率のものを技術革新しながら作り続けていくということがかなり重要なので、技術者の育成は必須です。

また、国が再生可能エネルギーを進めていくにあたり「地域共生」を掲げています。それを推進していくためには、洋上電力発電の知識を持ちつつ、地域とのコミュニケーションを進めていける人財が必要です。

私が担当している再生可能エネルギー論は、再生可能エネルギーの技術的な部分、構造的な部分とともに、地域とのコミュニケーションもしっかり教える授業にしています。

長崎大学、秋田大学、秋田県立大学、北九州市立大学、千葉大学などの国公立の大学では、再生可能エネルギー



に関する人財育成の取り組みを進めています。また、東京大学でも寄付講座の検討が行われています。企業と連携しながら産官学の人財育成を進めている段階ですので、これからさらにそういう取り組みが増えていくといいなと思う一方、ずっと産官学でやっていくというのも難しいと感じています。

そこで、大学のなかもしくは単体として洋上風力発電や再生可能エネルギーに関する研究機関を作るといったことも必要ではないかと思えます。

もう一つ、とても不足していると感じているのが、海洋生態の研究です。日本の洋上風力発電実証機の海洋生態調査は、海外に比べるとかなり遅れています。

海外では、実証機が建設されたら海洋生態の研究者が集まり、モニタリングをしてどんな影響があるのかをしっかりと調査し、多数の研究論文を出しています。しかし、日本では行われていません。

これから浮体式を建設していくにあたり、漁業者との調整、漁業との共生がもっと必要になってきますので、日本の海で洋上風力発電機を設置したらどうなるのかということの研究していく人が必要です。

少ないながらも洋上風力発電に関わっている海洋生態の研究者もいます。そのような方は、ビジネス感覚や現場感覚を持っていらっしゃる方が多いと感じます。そういう方々の人財育成が進み、数が増えてくると、本当の意味での漁業共生が実現できるのではないのでしょうか。

■技術面を理解しつつ地域とのコミュニケーションを取れる人財が必要

ー洋上風力発電に関して、さまざまな課題があるかと思いますが、そのなかで洋上風力発電の普及の妨げになっている一番の課題は何でしょうか。

日本の地形ですね。海底や地域状況にあった技術開発というのが大きな課題です。コストを下げていく必要がありますが、着床式の場合は海底が深い部分には設置できないため、どうしても沿岸から近い場所になってしまいます。それにより景観の問題が起きます。ただし地形を変えることは難しいので、技術革新が必要です。

もう一つが、漁業者とのコミュニケーションです。技術的な問題と、漁業者や地域の方の期待というのは一致しない可能性もあります。そのコミュニケーションをどう進めていくか。そして効率性と地域性をどう組み合わせ

ていくかというのは大きな課題だと思います。

—その部分をうまく調整できる人財が必要になりますね。

そうです。技術的なことも把握しつつ、現場とのコミュニケーションができる人がいないと、後々お互いのズレが大きくなってしまいます。初期の小さなズレの段階で気付いて調整できればいいのですが、最後の最後で大きくなってしまったときに解決できないということになりかねません。それを防ぐためにも、人材育成は重要だと思っています。

日本の再生可能エネルギーの一翼を担う洋上風力発電は、着実な進展を見せている。特に秋田港や能代港、石狩湾でのウインドファームの建設が進んでいる。しかし、その発展を支える発電系企業の数に限られており、地元企業の参画が大きな課題である。東邦大学の竹内准教授は、社会工学の視点から市民参加型の再生可能エネルギーの研究を進めており、日本の洋上風力発電の現状と課題について洞察を提供している。

竹内准教授は、ドイツの事例を引き合いに出しながら、日本の洋上風力発電が抱える課題を指摘している。ドイツでは、産業政策として国が主体的に進める体制が整っており、民間企業と国家の取り組みが連携して効率的に進んでいる。しかし、日本では民間企業が主導する形で進んでおり、国の政策と民間の取り組みが噛み合っていない現状がある。この連携の不足は、非効率的な進行を引き起こし、洋上風力発電の普及を阻む要因となっている。

技術面においても、浮体式の技術的課題が大きな隘路である。竹内准教授は、日本の地形的制約を考慮し、浮体式の導入が必要であると指摘する。しかし、浮体式は技術的課題が多く、特に構造設計の精緻化が求められている。中国の事例では、浮体式の風力発電専用のタービンを開発し、建設コストを抑えるための軽量化や短工期化が進んでいる。これらの取り組みは、日本が学ぶべきポイントである。

さらに、地元企業の参画を促進することが洋上風力発電の発展に不可欠であると述べている。地域のローカル企業がウインドファームの検討や建設に関与することで、地元の経済活性化にも寄与するという考えである。実際、五島市では、浮体のコントロールや表面の仕上げに地場産業が関わっており、地域の特性を生かした取り組みが進んでいる。

以上の知見を踏まえ、日本の洋上風力発電の動きを加速するためには、まず、国と民間企業の連携を強化し、統一された産業政策の下で効率的なプロジェクト推進を図ることが必要である。次に、浮体式の技術開発を推進し、日本の地形に適した設計の精緻化を進めることが重要である。また、地元企業の参画を促進し、地域社会との連携を強化することで、地域経済の活性化と共に洋上風力発電の普及を目指すべきである。これらの取り組みを通じて、日本の洋上風力発電は、持続可能なエネルギーの確保と地域社会の発展に貢献することができるであろう。

編集後記

AKKODiSコンサルティングでは本稿では、日本のエネルギー政策とカーボンニュートラルへの取り組みを詳細に検証するために、3人の専門家にインタビューを行った。エネルギー政策の解説を通じて、現状の課題や今後の展望について理解を深めた後、それぞれの専門家から具体的な視点を伺うことにより、より実践的な知見を得ることができた。

柏木 孝夫 コージェネ財団理事長

エネルギーのマクロ戦略についてお話を伺った。日本のエネルギーミックスの現状や、長期的なエネルギー政策の方向性について解説頂いた。特に、再生可能エネルギーの導入拡大や原子力発電の位置づけについて、政策の背景と具体的な施策についての洞察を得た。

大平 英二 NEDO ストラテジーアーキテクト

水素社会構築技術開発事業の進捗を語り、日本が水素技術で先行している背景と強みを強調した。特に燃料電池車や水素ステーションの開発が進展し、地域や産業界との連携が社会実装の鍵となる。また、グリーン水素の推進と技術開発の重要性を指摘し、日本の経験が他国に対する優位性をもたらしている。

竹内 彩乃 東邦大学准教授

洋上風力発電の現状と未来について伺った。洋上風力発電の技術革新と地域ごとの取り組み事例について詳述し、特に日本の地理的特性を活かしたプロジェクトの現状と課題を説明いただいた。また、地域経済との共生や、市民参加型のエネルギー事業の重要性についても触れ、持続可能なエネルギー社会の実現に向けた具体的な道筋を示していただいた。

これらの洞察は、日本がカーボンニュートラルを達成するための重要な指針となる。今後も持続可能なエネルギー社会の実現に向けた取り組みを注視していきたい。

The logo for AKKODiS Consulting Ltd. features the company name in a bold, sans-serif font. The 'AKK' part is in white, 'ODiS' is in yellow, and the 'i' is in white. The 'S' is also in white. The background is a dark blue gradient.

@2024 AKKODiS Consulting Ltd.



AKKODiS Tech Report 2024 Vol.3

日本のエネルギー戦略
～水素・洋上風力～

2024年9月12日発行

AKKODiSコンサルティング株式会社
テクノロジー統括 アカデミー本部

谷本琢磨

AKKODiSコンサルティング株式会社

〒108-0023 東京都港区芝浦3丁目4番1号
グランパークタワー3F
<https://www.akkodis.co.jp/>