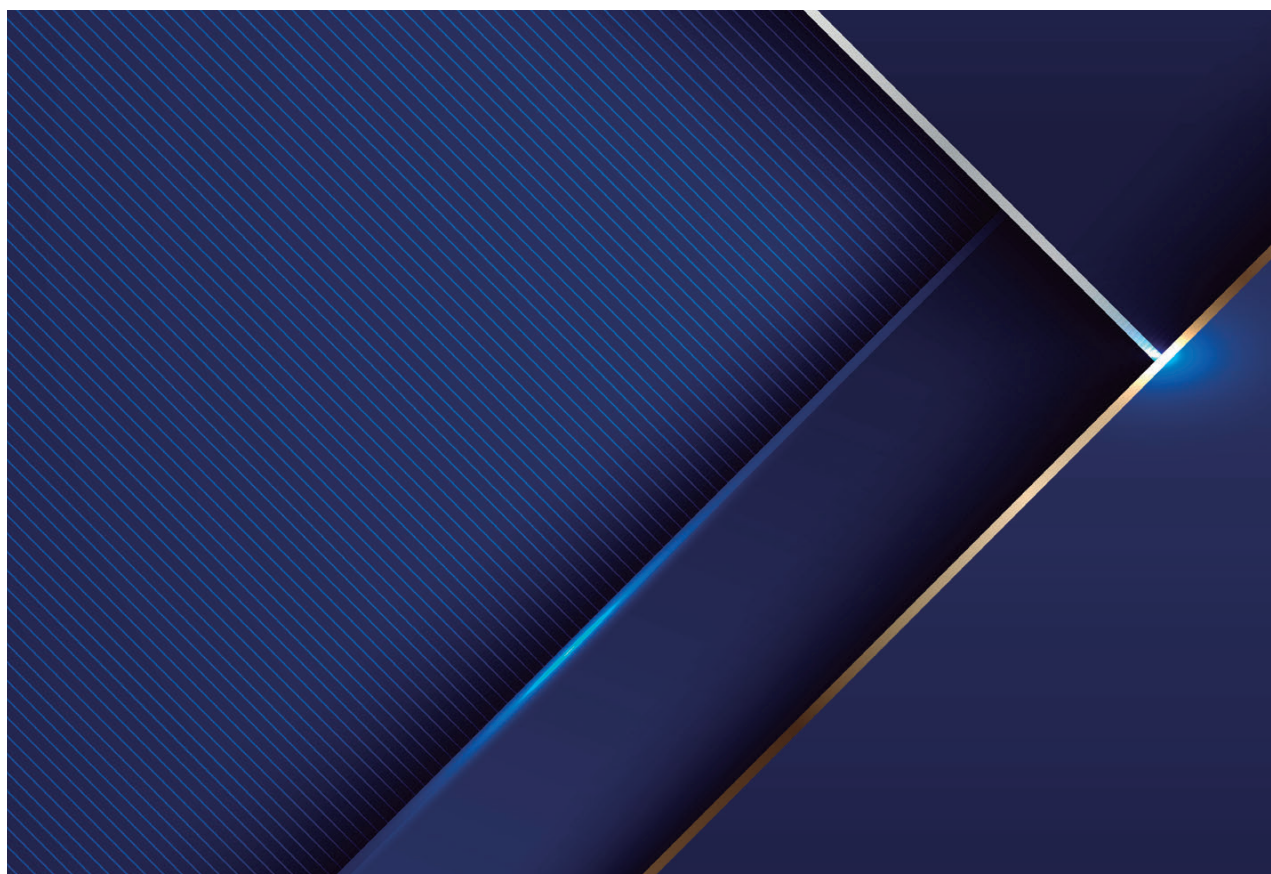


2. 技術開発・実証

## 2-1. エネルギーシステム分野

2-1-1. エネルギーシステム技術

2-1-2. 再生可能エネルギー技術



# 2-1-1. エネルギーシステム技術

## 燃料電池・水素



歴史と背景

### 新たな低炭素エネルギーの柱に

パリ協定で定められた温室効果ガス (GHG) 削減目標の達成のためには、電力セクターのゼロエミッション化のみならず、運輸・産業・民生分野などすべての領域で低炭素化が必要であり、様々なセクターにおいて低炭素化に貢献できる燃料電池・水素への期待が国際的にも高まっています。

NEDOは、1981年から燃料電池・水素分野の技術開発を推進しています。初期段階においては、燃料電池の高い発電効率に着目し、火力発電の代替を視野に入れたMWクラスの燃料電池システムの開発を進めました。1990年代に入り、定置用のみならず自動車用電源としても期待される固体高分子形燃料電池の開発に着手。また、水素を直接エネルギーとして利用するための国際的なサプライチェーンをイメージした「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発 (WE-NET)」を立ち上げました。

2000年代は、よりアプリケーションを意識した取り組みを進めました。分散型電源として家庭用の燃料電池システムを開発。日本各地で約3,500台のシステムを設置して性能などの検証を行い、2009年に「エネファーム」として一般販売開始に結び付けました。燃料電池自動車 (FCV) に関しては、700気圧での充填が可能な水素ステーションの開発、公道でのFCVやバスの走行検証などを経て、2014年のFCVの市場投入につなげました。これらアプリケーションの導入にあたっては、いずれも規制の見直しや基準・標準の策定が不可欠であり、NEDOは安全に関するデータの取得・分析を中心に、この新たなルール策定に貢献してきました。

2014年6月に策定された経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を踏まえ、水素を燃料とするガスタービン発電技術や長距離・大量輸送技術の開発を開始しました。また再生可能エネルギーと水電解装置を組み合わせた、パワー・ツー・ガス (P2G) の技術開発にも着手するなど、水素の利活用的大幅な拡大、低炭素社会に向けた新たなエネルギーシステムの実現に向けた取り組みを進めています。

### 最近10年の主なプロジェクト >> 水素活用

#### ❖ 水素利用技術研究開発事業 [2013～2017年度]

国内の自動車メーカーと水素供給事業者によるFCVの市場投入とユーザーへの販売開始を目指した動き、さらに水素供給事業者による水素供給インフラの先行整備を目指す動きを背景に、水素ステーションの設置や運用に関する規制見直

し、初期・運用コストの削減に寄与する実用化技術開発を行いました。またNEDOがこれまで実証水素ステーションで得た知見を活用し、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心に配慮した次世代水素ステーションの技術開発にも取り組みました。

図1 ● 実証事業を行った水素ステーションの様子



#### ❖ 水素利用等先導研究開発事業 [2014～2022年度]

本事業は2040年以降という長期的視点を睨み、水素などの「カーボンフリーなエネルギーの新たな選択肢」としての地位を確立させることを目指した基礎研究を推進しています。具体的には、再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術、水素の長距離輸送・長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術や大規模水素利用技術といった、水素社会の実現に必要な大規模サプライチェーンの構築に向けた先導的な研究開発に取り組んでいます。本事業の研究成果が次の大型研究開発事業の技術シーズとなるよう運営していきます。

#### ❖ 水素社会構築技術開発事業 [2014～2022年度]

再生可能エネルギー由来の電力による水素製造・輸送・貯蔵と利用技術を組み合わせたエネルギーシステムを社会に実装するためのモデル確立を進めています。このほか、水素を燃料とするガスタービンなどを用いた発電システムや、海外の未利用資源を利用した大規模な水素サプライチェーンの構築といった今後の本格的な水素社会の構築に向け、水素エネルギー利用を大きく拡大するための研究開発・実証を世界に先駆けて行っています。

#### ❖ 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 [2018～2022年度]

2025年以降の水素ステーションの自立化、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向け、水素ステーションの整備費・運営費を低減することを目指し、国内の規制適正化に関するデータ取得と基準案の作成・提言を行っています。また本格普及期を想定した水素ステーションの技術基準案を作成し、日本の水素ステーション関連技術の国際競争力の観点から、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発も実施しています。

### 最近10年の主なプロジェクト >> 燃料電池

#### ❖ 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 [2008～2012年度]

固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基盤技術の確立を目的として、固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上のための熱力学的解析、化学的解析、機械的解析を行い、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立などに取り組みました。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行いました。また、固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、運用性を向上する起動停止技術や超効率運転を可能にする高圧運転技術開発を支援しました。

### ❖ 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発 [2010～2014年度]

固体高分子形燃料電池の本格商用化に要求される低コスト化・信頼性向上と国際標準化の推進などに寄与する基盤技術開発、市場拡大・普及促進などに寄与する実用化技術開発、革新的な低コスト化・信頼性向上などに寄与する次世代技術開発を総合的に推進しました。また、これらの技術・研究開発における一層のブレークスルーを促すため、産学連携やシステム、材料・部品などの垂直型連携体制によって、燃料電池セルスタックの反応・劣化メカニズムの解明、革新的な材料開発、解析・計測技術の開発などの基盤技術を確立しました。

### ❖ 固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発 [2013～2019年度]

民間企業が主体になって、家庭用燃料電池システム「エネファーム」の本格普及を想定した際に必要となる、低コストと高耐久性を両立した固体酸化物形燃料電池スタック、固体酸化物形燃料電池システムの開発を進めました。本事業では、前半の2013～2017年度ではこれら民間企業の開発を加速させるために共通基盤技術として、4万時間を見通す耐久性迅速評価方法を確立しました。また、業務用固体酸化物形燃料電池の実証試験を行い、実用化に向けた課題を抽出しました。後半の2017～2019年度には、業務用固体酸化物形燃料電池のさらなる導入普及の拡大を図るためにモノジェネレーション用途も視野に入れ、発電効率65%以上(LHV:低位発熱量基準)という従来以上の高効率化を目指した燃料電池システムの開発指針を創出しました。

### ❖ 固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発 [2015～2019年度]

日本が世界に先駆けて市場投入したFCVの着実な普及拡大を図るとともに、日本の技術的優位性を維持するため、2030年頃までに市場投入が見込まれるFCV用に実装される材料などに関する設計指針を検討しました。具体的には、普及拡大化基盤技術開発として、燃料電池の劣化や性能向上などと、材料の構造変化などを関連付けて膜・電極接合体(MEA)の評価手法と設計指針の構築に取り組みました。また、プロセス実用化技術開発として、燃料電池の生産性を向上させるための実証研究を支援しました。

### ❖ 燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業 [2020～2024年度]

世界に先駆けて市場導入を開始した日本の燃料電池技術の競争力を強化し、世界市場において確固たる地位を確立することを目的として、2030年以降の自立的普及拡大に寄与する高効率、高耐久、低コストの燃料電池システム(水素貯蔵タンクなどを含む)を実現するための産業界のニーズに基づく協調領域の基盤技術を開発します。また、従来以外の用途に展開するための技術開発や大量生産を可能とする生産プロセス、または検査技術の取り組みを支援します。

図2 ● 普及が進む「エネファーム」





## 現状と課題

### 基礎・基盤技術から応用技術まで横断的に実施

日本では長年にわたる取り組みの結果、家庭用燃料電池システム「エネファーム」やFCVの市場導入など、成果が着実に社会実装に結びつつあります。一方、本格的な普及や国際的な競争力の確保のためには絶え間ない技術の向上が不可欠です。そのため、燃料電池については、効率、耐久性、信頼性の向上といった課題の解決に向け、燃料電池内部の現象とメカニズムを根本的に理解し、新規の材料開発に展開することが重要です。これまでの研究開発プロジェクトでは、大気圧下での電極触媒の挙動観測方法や燃料電池の反応生成液水の可視化、電解質膜の耐久性を4倍以上とする触媒技術など、世界初となる技術を開発しました。

新たに展開した水素のエネルギーシステムとしての利活用については、水素を燃料とするガスタービンシステムを開発し、世界で初めて市街地において熱電併給試験を行いました。

将来の大規模水素利用の鍵となる長距離輸送に関しては、メチルシクロヘキサンを水素キャリアとしたサプライチェーンを開始、液化水素についても液化水素運搬船や受入基地が完成し、2020年10月から試験運用を開始しました。

さらに、世界最大級の水電解装置を備えたP2Gシステムを福島県浪江町に設置、再生可能エネルギーを最大限利用し水素を製造・供給する試験を行っています。まずは技術を確立して信頼性を高め、将来的には水素製造や供給コストを大幅に低減するための取り組みを進めています。

図3 ● 進水した液化水素運搬船



図4 ● 完成した福島水素エネルギー研究フィールド (FH2R)



## 今後と展望

### 国際的な協創と競争

水素エネルギーへの国際的な期待が高まる中、この動きを確固たるものとするべく、NEDOは経済産業省と「水素閣僚会議」を共催しました。各国の閣僚クラスが参加し、水素のポテンシャルや国際協調の下で進むべき方向性などを議論するもので、2018年10月と2019年9月に開催された際には、「東京宣言」や「グローバル・アクション・アジェンダ」としてその成果が取りまとめられました。

この中で、水素の普及に不可欠な規制・規格・標準の国際的な調和、安全性やサプライチェーンに関する情報共有や共同研究の推進、水素の有するポテンシャルの

評価、情報発信などが重要な領域として挙げられており、NEDOはこの方針の下、各国の関係機関と具体的な協力の実施に向けた取り組みを進めています。

一方、水素・燃料電池関連の世界的な技術開発動向を見れば、バス・トラックといった大型車両、鉄道車両、船舶といった多様なアプリケーション開発や再生可能エネルギーで製造した水素の工業プロセスでの利用といった取り組みが各国で進められています。現在の日本の強みは長年にわたる研究や市場での実践に基づく多くの知識に支えられていますが、諸外国の動向も踏まえ、このような新たな領域にも挑戦していく必要があります。

NEDOは各国と協調し国際的な市場を創出していくとともに、その市場の中での優位性を確保するための技術力を維持・向上するため、絶えず世界の動向を注視しながら技術開発を進めていく考えです。

図5 ● 「水素閣僚会議 2019」での閣僚集合写真



## 蓄電池



## 歴史と背景

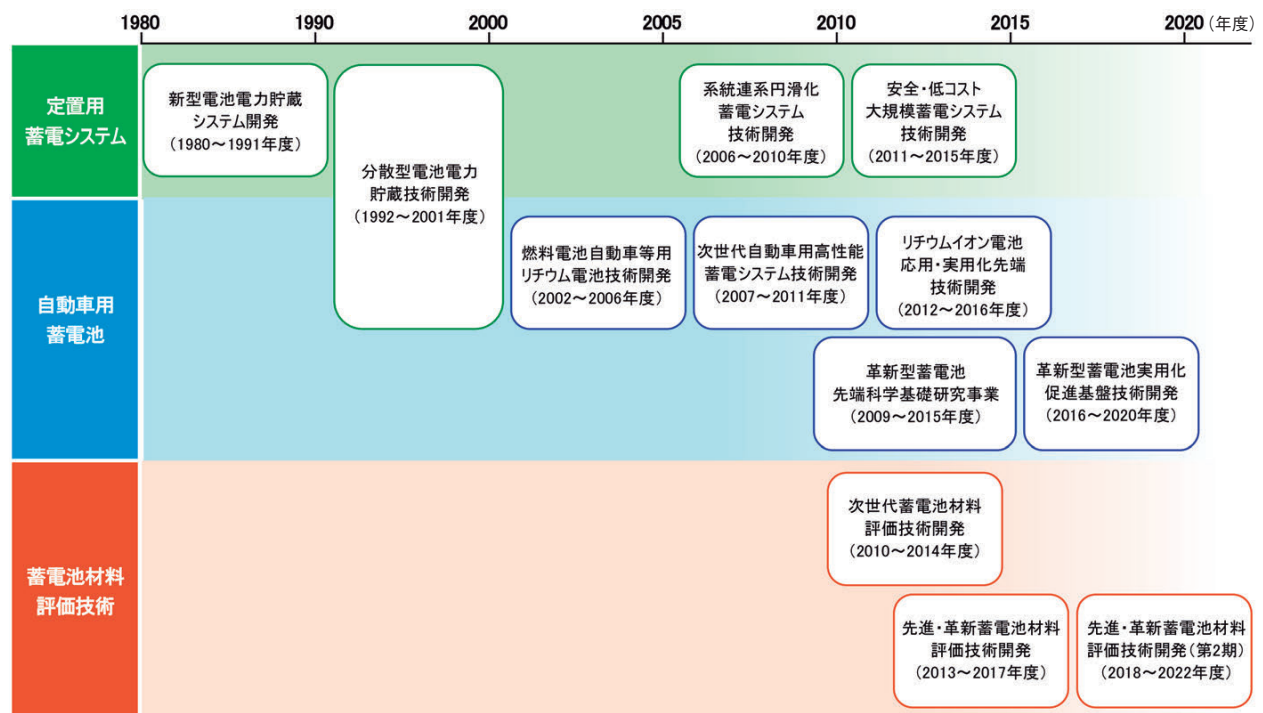
## 重要性増す蓄電池の技術開発

電気を蓄え、繰り返し使用可能にする電気化学デバイスが蓄電池です。1980年代後半から1990年代前半にかけ、ニカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池 (LIB:Lithium Ion Battery) と続く技術革新が起こり、蓄電池は情報端末・エレクトロニクス機器の電源として広範に普及しました。その結果、世界各地の社会・大衆にコミュニケーションの自由や豊かな生活スタイルといった恩恵をもたらしました。こうした蓄電池の技術革新と量産化で世界をリードしてきた日本の功績は計り知れず、2019年には、LIBの開発に貢献した旭化成株式会社の吉野彰氏にノーベル化学賞が授与されています。そして今日、蓄電池は自動車の電動化、電力システムの自由化、再生可能エネルギーの導入量拡大、災害対応、スマートコミュニティの社会実装など、様々な分野で重要な役割を担う産業技術となり、技術開発による高性能化・低コスト化への期待が高まっています。

NEDOは、設立当初から蓄電池の技術開発に取り組んでおり、40年の歴史があります。当初は定置用蓄電システムと自動車用蓄電池を2つの柱としてプロジェクトを推進してきましたが、2010年からは新たな柱として蓄電池材料評価技術を加えた3つの柱でプロジェクトを推進しています。プロジェクトで取り扱う蓄電池のタイプも、1980年代はナトリウム硫黄電池やレドックスフロー電池でしたが、1990年代からはLIBが主な開発対象となりました。そして現在は、全固体LIB<sup>注1)</sup>やフッ化物電池、亜鉛空気電池などの次世代蓄電池の開発に軸足を移しています。

注1) 現在実用化しているLIBで使用される有機溶媒電解液を無機固体電解質で代替し、安全性・耐久性を向上させたLIB

図6 ● NEDOにおける蓄電池開発プロジェクトの系譜



## 最近10年の主なプロジェクト

## ❖ 安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発 [2011～2015年度]

再生可能エネルギーの導入量拡大時における電力系統安定化ニーズの高まりを背景として、本プロジェクトでは、電力系統全体の需給バランス調整や周波数変動調整などに適用する蓄電システムを開発しました。プロジェクトの主な開発目標は、エネルギー効率80%以上、コストについては需給バランス調整用で2万円/kWh以下、周波数変動調整用で7万円/kWh以下、寿命20年以上、誤動作や内部短絡による安全性の確保、となります。

本プロジェクトにはLIB、ニッケル水素電池、鉛蓄電池、フライホイールを用いたMW級蓄電システムの実用化を目指す7つの企業グループが参加し、各蓄電デバイス・システムの安全性向上、長寿命化、低コスト化などを図る要素技術の開発に取り組むとともに、その成果を盛り込んだ実証システムを日本、米国、英国、スペインの電力系統に設置してフィールドテストを行い、効果を検証しました。

図7 ● 電力系統安定化において蓄電池が担う役割

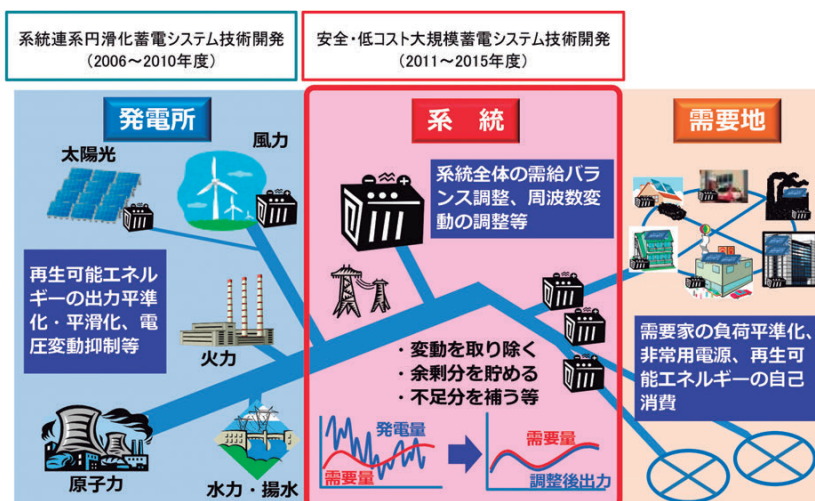


図8 ● 東芝エネルギーシステムズが開発したリチウムイオン電池・蓄電システム

2MW-0.8MWh 級システム

(Duke Energy・オハイオ州発電所に設置)



0.5MW-0.8MWh 級システム

(GNF・マドリッド州発電所に設置)



図9 ● 日立製作所・昭和電工マテリアルズが開発した鉛蓄電池-LICハイブリッド蓄電システム

鉛蓄電池

リチウムイオンキャパシタ



## ❖ リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発 [2012～2016年度]

2000年代後半、日本の自動車メーカーはLIBを搭載した電気自動車(EV)とプラグインハイブリッド自動車(PHEV)を世界に先駆けて市場投入しました。しかしその価格・スペックは、多くの自動車ユーザーにガソリン車からの乗り換えを訴求するレベルに到達していませんでした。そこで、本プロジェクトにおいて、EV、PHEVの価格・スペックの支配因子となっている車載バッテリー用LIBの低コスト



図10 ● 日立製作所・日立オートモティブシステムズが開発した30Ah級セル



図11 ● 東芝が開発した30Ah級セル



図12 ● パナソニックが開発した20Ah級セル



ト化・高性能化を図るための技術開発に取り組みました。プロジェクトの主な開発目標は、EV用バッテリーパックの性能についてはエネルギー密度250Wh/kg以上、出力密度1,500W/kg以上、PHEV用バッテリーパックの性能についてはエネルギー密度200Wh/kg以上、出力密度2,500W/kg以上、コスト目標については2万円/kWh以下(EV用とPHEV用で共通)、となります。

本プロジェクトには6つの企業グループが参加し、新規の電極活物質・電解液の開発、合剤電極・セルの高エネルギー密度化技術の開発などに取り組むとともに、その成果を盛り込んだセル・バッテリーパックの試作・評価を行い、効果を検証しました。

### ❖ 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 [2016~2020年度]

NEDOは、LIBの延長線上にない超高エネルギー密度の蓄電池、すなわち、革新型蓄電池の実用化を目指した世界初の産学連携プロジェクトである「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」を2009~2015年度に実施しました。その結果、独創的な蓄電池のコンセプトが創出されるとともに、世界初の蓄電池専用放射光ビームラインを用いた蓄電池のメカニズム解明技術が開発されました。

本プロジェクトでは、革新型蓄電池の車載バッテリーとしての実用化を狙い、上記のプロジェクトの開発成果を活用して、電極活物質、電解質、セル化技術などの共通基盤技術の開発を進めています。

本プロジェクトでは、産学連携の集中研究拠点を京都大学と産業技術総合研究所・関西センターに設けています。ここに日本を代表する自動車・蓄電池メーカー11社の研究者がビジネスの競合・売買関係といった垣根を越えて結集し、サテライトの大学・公的研究機関21法人とも緊密に連携しながら、サイエンスに立脚した研究開発を推進しています。また、京都大学の集中研究拠点にはNEDO職員が常駐し、日常的に研究開発マネジメントを実施しています。

プロジェクトの開発目標は、容量5Ah級のフルセルでエネルギー密度500Wh/kg以上を確認するとともに、車載バッテリーに求められる出力特性、耐久性、安全性などに克服不可能な課題がないことを検証することです。

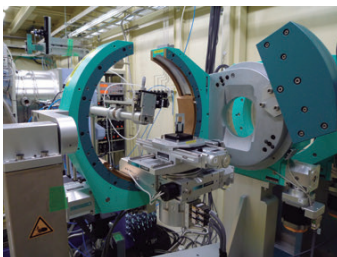
安価で調達リスクのない材料を使用し、高エネルギー密度と安全性の両立が可能となる革新型蓄電池の候補として、現在、①フッ化物電池、②亜鉛空気電池、③コンバージョン電池、④金属硫化物電池の4タイプを検討しています。このうち、②~④はプロジェクト3年目に5Ah級セルで300Wh/kg以上のエネルギー密度を確認しています。これ以降も新規の着想が続々と生まれており、①も含めての目標達成が大いに期待できる状況にあります。

図13 ● 世界初の蓄電池専用放射光ビームライン

実験ステーション (BL28XU)



8軸×線回折装置



高分解能中性子回折装置



図14 ● 開発中の亜鉛空気電池



セル設計容量：8Ah  
電極サイズ：5×5cm  
エネルギー密度：312Wh/kg

図15 ● 開発中のコンバージョン電池



セル設計容量：6Ah  
正極活物質：FeF<sub>3</sub>  
負極活物質：Li Metal  
電解質：1M LiPF<sub>6</sub>/EC+DMC  
電極サイズ：5×5cm  
電極積層数：15-layers  
エネルギー密度：319Wh/kg

図16 ● 開発中の金属硫化物電池



セル設計容量：8Ah  
正極活物質：VS<sub>4</sub>  
負極活物質：Li Metal  
電解質：1M LiPF<sub>6</sub>/EC+DMC  
電極サイズ：5×5cm  
電極積層数：20-layers  
エネルギー密度：314Wh/kg

## ❖ 先進・革新蓄電池材料評価技術開発

[ 第1期：2013～2017年度、第2期：2018～2022年度 ]

蓄電池の高性能化には電極活物質や電解質などの新材料の適用が必須ですが、その開発においては、セル内での他の材料との相互影響やセル製造プロセスへの適合性も見極める必要があります。そのため、蓄電池材料の実用化には5年以上の長期間を要し、この中には材料メーカーと蓄電池メーカーの評価方法や評価基準などの違いに起因する開発非効率が存在します。この非効率を解消するため、NEDOは産業界の共通指標として機能する蓄電池材料の評価技術の開発に取り組んできています。

その第一歩として実施した「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2010～2014年度)では、既に実用化されているLIBの高性能化を狙い、標準電池モデルとこれを用いた性能評価法を開発しました。標準電池モデルとは、新規材料の評価に使用するセルのことで、蓄電池メーカーのセル製造プロセスを再現した設備で作製したものです。それにより、材料メーカーから400以上の新材料サンプルを受け入れ、性能評価と評価結果のフィードバックを行いました。

本プロジェクトでは、将来の実用化が想定される蓄電池に適用する新規材料の評価技術を開発しています。第1期では、高電圧・高容量の電極活物質や難燃性電解液などを用いた先進的なLIBと、安全性と耐久性のポテンシャルの高さから実用化の期待が急速に高まり始めた全固体LIBの評価技術を開発しました。加えて、材料メーカーから受け入れた300以上の新材料サンプルを評価しました。第2期では対象を全固体LIBに絞り込み、車載バッテリーとしての実用化に対応する評価技術の開発に取り組んでいます。

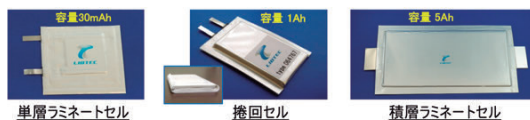
本プロジェクトでは、産学連携の集中研究拠点を技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター(LIBTEC)に設けています。ここに自動車・蓄電池・材料メーカー24社の研究者・エンジニアが結集し、サテライトの大学・公的研究機関19法人とも緊密に連携しつつ、様々な技術ニーズ・シーズを好循環させながら研究開発を推進しています。

現在は、界面の抵抗低減、電解質の薄層化、合剤電極内での活物質の高分散化といった全固体LIB特有の課題解決に注力しています。標準電池モデルは2cm角と7cm角の単層ラミネートセル(8～200mAh級)を開発済みであり、1Ah級の積層ラミネートセルの開発に着手しています。並行して、セル・バッテリーパックの充放電特性や発熱特性などを予測するシミュレーション技術や国際標準化を念頭に置いた試験評価法の開発も進めています。

図17 ● プロジェクトにおける新材料評価の流れ



図18 ● 先進 LIB の標準電池モデル



標準電池モデル	A-1	A-2	A-3	A-4
標準材料	正極 LiNi <sub>0.5</sub> Mn <sub>1.5</sub> O <sub>4</sub>	Li過剰NCM	NCA	NCM523 (811)
	負極 黒鉛	黒鉛	SiO/黒鉛	黒鉛
セル電圧 (V)	4.5	3.5	3.6	3.8

図19 ● 全固体 LIB への期待

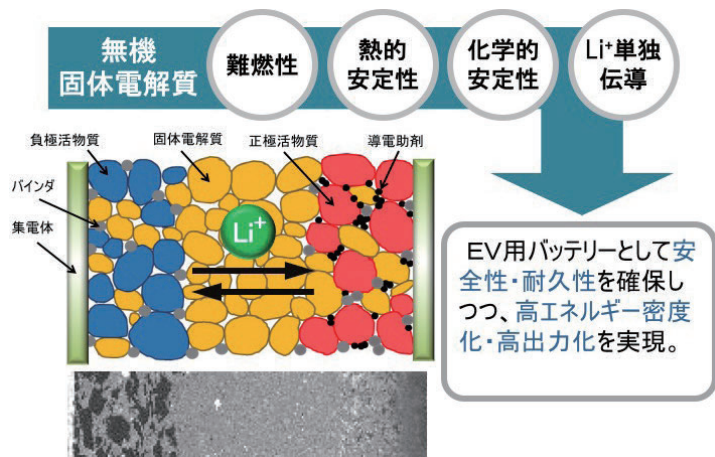
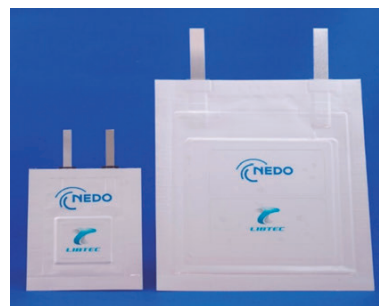


図20 ● 開発中の全固体 LIB の標準電池モデル (単層ラミネートセル)



### ！ 現状と課題 転換期迎えた車載バッテリー技術

2019年のEV・PHEVの世界販売は約210万台と過去最高を記録し、保有台数は累計で約720万台となりました。しかし、自動車全体に占める割合は販売台数で2.6%、保有台数で0.6%であり、まだ身近な存在にはなっていません。消費者意識として、EV・PHEVが環境性に優れ、維持費(燃料コスト)が安いといったメリットは浸透しつつも、航続距離、充電時間、新車価格・中古車下取り価格、スタイリング・車内空間の物足りなさなど、マイナスのイメージが数多く存在します。

一方、環境・エネルギー問題の深刻化を背景に、主要国は自動車の燃費規制・排出ガス規制を強化すると同時に、自動車メーカーに一定比率以上のEV・PHEVの販売を義務付ける政策を推進しています。加えて、段階的にガソリン車の販売を禁止する政策を打ち出している国もあり、今後、EV・PHEVの飛躍的な普及が予想されます。例えば、国際エネルギー機関(IEA)は2040年の世界販売に占めるEV・PHEVの割合が35%以上になるとの普及シナリオを示しています。

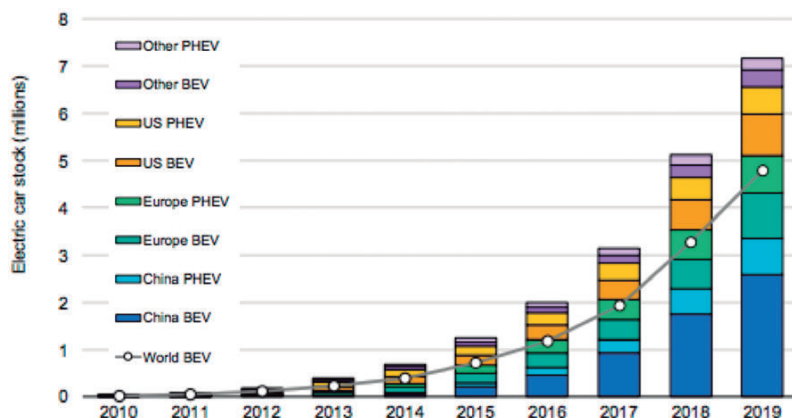
大手自動車メーカーもEV・PHEVの大胆なモデル拡充やセールスマックス計画を競うように公表しています。これに追従し、中国・韓国の蓄電池メーカーはLIBの生産設備投資を精力的に進めています。特に中国政府の手厚いEV・PHEV

導入補助金政策の恩恵を受けた中国蓄電池メーカーの技術キャッチアップのスピードは目覚ましく、欧米自動車メーカーからも大型受注を獲得するようになりました。この結果、日本の蓄電池メーカーは車載バッテリー用LIBの生産・販売量を増やしているものの、シェアは徐々に低下しています。また、この傾向は、LIB用材料を手掛ける日本の材料メーカーにも当てはまります。

このように、EV・PHEVは黎明期にあるものの、車載バッテリーは競争激化の一途にあります。そのため、LIBの高性能化・コストダウンの取り組みは今後も続くと思われられます。しかし、性能・コストと相反関係にある安全性・耐久性の確保を考慮すると、有機溶媒電解液を使用した現行LIBの技術改良では、購買ハードルを一気に下げたEV・PHEVを実現するのは困難と考えられます。加えて、LIBに用いるリチウムとコバルトは、採掘地域の偏在と寡占的な供給構造から、EV・PHEVの大量生産時には価格高騰の可能性があるという課題もあります。

このようなことから、EV・PHEV、車載バッテリーは今後、高い確度で市場成長が見込まれるものの、日本の自動車・蓄電池・材料メーカーにとっては、ビジネス面と技術面の両方で現行LIBからの転換期を迎えていると思われられます。

図 21 ● EV・PHEVの世界保有台数の推移



出典：IEA「Global EV Outlook 2020」



## 今後と展望

### 次世代蓄電池目指しオープンイノベーションを推進

NEDOは、オリジナリティーの高い次世代蓄電池を車載バッテリーとして世界に先駆け開発・実用化し、これを搭載した魅力度の高いEV・PHEVを世界市場に投入することにより、日本の産業競争力の向上を目指します。

具体的には、市場投入が2020年代中盤の全固体LIBと2030年前半の革新型蓄電池の二段構えの技術シフトを想定し、これら蓄電池の技術で世界の先手を取り続けながら、堅固な知財網の構築や国際標準化などを計画的・戦略的に進めることにより、国内企業にとってうまみのあるビジネス環境やサプライチェーンの創造にチャレンジします。

次世代蓄電池の実用化に向けて解決すべき課題は数多く、その技術ハードルも非常に高いことも事実です。しかし、日本の産業界・アカデミアは蓄電池開発のパイオニアであり、世界トップの技術力を保有しています。また、蓄電池の材料や製

造装置などの周辺技術・産業も国内にピラミッド構造として形成されており、これらの技術力も世界トップです。加えて、日本の自動車メーカーは優れた環境性能と顧客ニーズを両立した電動車をいち早く開発・量産してきた実績があります。NEDOは、こうして培ってきた日本の経験、技術力、技術資産、人材などを最大限に生かす産学連携・企業間連携のプロジェクトを推進することにより、ブレークスルーにつなげていきます。

図22 ● 国内大手自動車メーカーの電動車生産と車載バッテリーの技術シフトに関するNEDOの想定

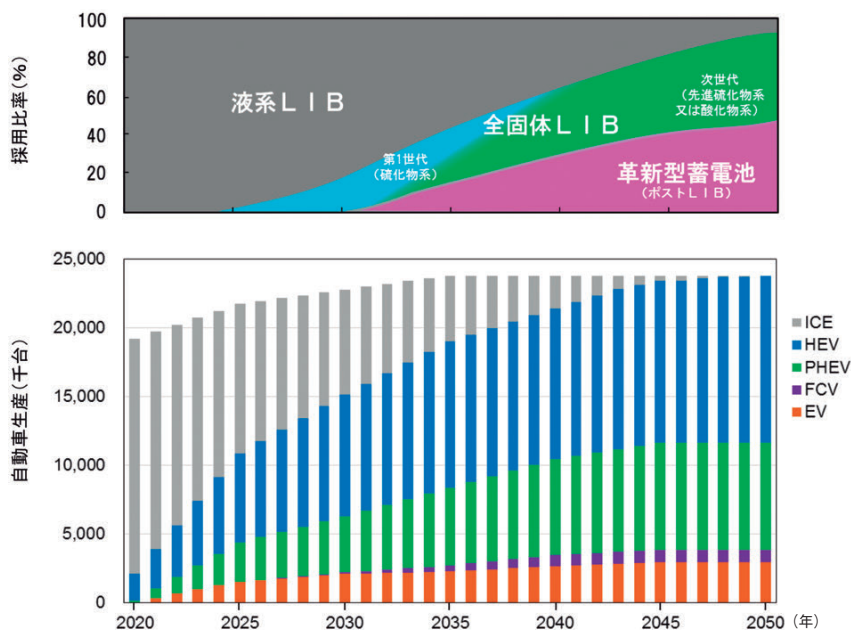


図23 ● NEDOの蓄電池開発がもたらすもの



## スマートコミュニティ



歴史と背景

### 世界的な広がり見せるスマートコミュニティ

スマートコミュニティとは、情報通信技術を活用して電力や熱といったエネルギーを地域単位で統合的に管理するとともに、交通システムなども融合した次世代の社会システムを指します。

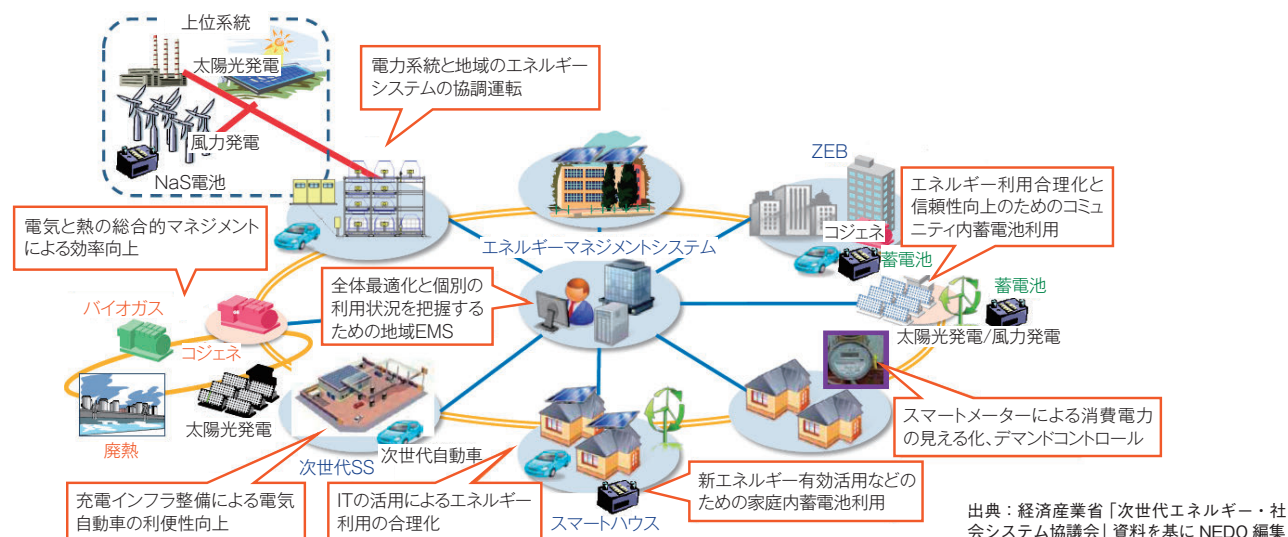
スマートコミュニティの基幹となる技術は、太陽光発電（PV: Photovoltaic）などの分散型エネルギーを電力系統に適切に接続するための系統連系技術です。その技術開発は、NEDOが設立した1980年から、太陽光発電システムの研究と同時に始まりました。当時、PVから電力系統に電力を送る際には、通常の電気の流れと逆になる逆潮流であることから多くの技術的課題があり、それらを解決するための技術開発や実証が行われてきました。その後も太陽光発電などの再生可能エネルギーを始めとした分散型エネルギーの普及が世界で進み、多くの分散型エネルギーが系統連系するようになり、そうした状況に対応できるスマートコミュニティが注目されるようになりました。

2000年代に入り、北米や欧州では電力システムの自由化が始まり、近年では再生可能エネルギーの推進政策であった固定価格買取制度（FIT制度）やネットメータリング制度<sup>注2）</sup>を終了させる国や地域も増えてきました。日本でも、2016年に電力小売りの全面自由化がスタートし、2020年には電力会社の発送電分離が、また今後は電気料金規制の完全撤廃が計画されており、自由化が進みつつあります。このように、スマートコミュニティの基幹となるエネルギー分野で大きな変革が世界レベルで進んでおり、それとともに新しいビジネスモデルが模索されるようになりました。

一方、世界的に脱炭素化の取り組みが進む中、日本では2018年に策定された「第5次エネルギー基本計画」で2030年度に再生可能エネルギーの比率を22～24%

注2) 米国における家庭向けなどの太陽光発電システムの余剰電力を買い取る制度。発電量から電力消費量を差し引いて余剰電力量が発生した場合、余剰分を次の月に繰り越して、消費量を発電量で「相殺」する仕組み

図24 ● スマートコミュニティ概念図



とする目標が掲げられ、再生可能エネルギーの「主力電源化」を目指す取り組みが示されました。こうして日本でも今後再生可能エネルギーの大量導入が進むこととなり、系統連系の課題はますます深刻化し、電力需給に大きな変動が見込まれる中、それに備える技術開発と新たな電力ビジネスが求められています。

そこで、強く要請されているのが、エネルギーの安定確保と地球温暖化防止、経済成長を同時に実現する持続可能な社会の構築です。それを実現する鍵として、期待されているのが系統連系技術を中心とするスマートコミュニティであり、世界各国でそれに関する活発な取り組みが行われています。

## 最近10年の主なプロジェクト >> 実証

図25 ● ドイツ・ニーダーザクセン州における実証サイト



大規模ハイブリッド蓄電池システムを使った需給調整市場への参加を検証

注3) 欧米など電力システムの自由化のうち、発送電分離が進んでいる国や地域で、系統運用者が系統網を安定して維持するために運用している市場で、アンシラリーサービス市場とも呼ばれる。調整力を入札により調達する

### ❖ 独逸ニーダーザクセン州における大規模ハイブリッド蓄電池システム実証事業 [2016～2019年度]

ドイツは、2050年までに国内電力需要の80%以上を再生可能エネルギーに代替するエネルギー転換政策(エネルギーヴェンデ)を掲げており、火力発電の役割を代替する再生可能エネルギー技術へのニーズが急速に高まっています。また、ドイツでは1998年に電力市場が全面自由化され、需給調整市場<sup>注3)</sup>で調整力を取引するビジネスが活発化しています。こうした中、NEDOはニーダーザクセン州政府、同州の電力取引管理組織であるEWE-VerbandおよびEEW Holdingと合意書を締結し、リチウムイオン電池とナトリウム硫黄電池の2種類の系統用蓄電池と系統情報制御システムを用いて、需給調整市場の中でも瞬時の調整力の提供が求められる一次調整力や二次調整力の電力取引、バランスング・グループへのバランスング供給、ローカルな電圧安定化に寄与する無効電力供給の実証を実施しました。

図26 ● 米国ハワイ州の実証サイト



急速充電ステーションと電気自動車を搭載し、V2Gなどの実証を実施

注4) 太陽光発電システムを多く導入している米国のカリフォルニア州やハワイ州において、日中は太陽光発電で電力消費を賄うため実質電力需要が少なくなり、電力需要のピークを迎える17時以降に実質電力需要が急増する現象。1日の実質電力需要の推移を表すグラフが、アヒルのような形を描くことから「ダックカーブ」と呼ばれる

注5) 電気自動車に搭載している蓄電池を電力系統に連系し、系統網との間で電力融通を行って電力市場に参加し、電力系統の不安定化を解消する手法

### ❖ ハワイにおける日米共同世界最先端の離島型スマートグリッド実証事業 [2011～2016年度]

2045年までに再生可能エネルギーによる電力供給100%の目標を掲げているハワイでは、2013年頃から太陽光発電の導入拡大に伴ってダックカーブ<sup>注4)</sup>問題が顕在化してきました。電気自動車(EV)の普及拡大に伴い、電力需要のピーク時に多数のEV充電が重なりこの問題が深刻化することが懸念されていました。この解決のため、NEDOはハワイ州政府及びマウイ郡政府と合意書を締結し、マウイ島で200世帯以上のEV利用者の協力を得て、デマンドレスポンスやバーチャルパワープラント、V2G (Vehicle to Grid)<sup>注5)</sup>などの実証を実施しました。これは、世界で初めてEVを大規模に活用して電力システムを安定化させる試みでした。

本実証事業は、EVによるV2G実証として世界的に注目されるとともに、実証事業に参加した日本企業が、英国やオランダでスマートコミュニティ実証を実施することにつながっています。

## 最近10年の主なプロジェクト >> 系統連系

### ❖ 次世代洋上直流送電システム開発事業 [2015～2019年度]

陸上風力のポテンシャルが限定的な日本において、洋上風力は再生可能エネルギー拡大の鍵となります。しかし、大規模な洋上風力発電を設置する場合、沿岸部

の送電網の整備状況などによっては、洋上で長距離送電した上で、接続可能量を持つ陸上の電力系統に直接接続する必要があります。本事業は、高い信頼性を備え、かつ低コストで複数の洋上風力を電力系統へ接続することを目的にし、電力会社や複数のメーカー、大学によるコンソーシアムを構成しました。結果として、マルチベンダー化にも対応した多端子直流送電システムと、それに必要な要素技術を開発し、目標である「交流送電システムと比較してコスト20%削減」を大幅に上回る成果を達成しました。

図27 ● 多端子直流送電システムのイメージ

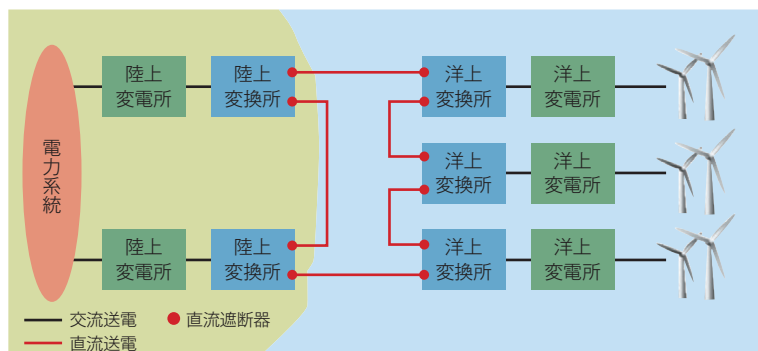


図28 ● 「次世代洋上直流送電システム開発事業」で想定した送電ルート



### ❖ 電力系統出力変動対応技術研究開発事業 [2014～2018年度]

風力発電や太陽光発電は天候によって発電出力が大きく変動するため、大量に電力系統に接続された場合、電力の安定供給に悪影響を及ぼす可能性があります。NEDOは産学官の連携推進体制を構築し、これまで対応できていなかった風力発電の急激な出力変動の予測技術や、出力変動を抑制する出力制御技術を高度化させ、発電予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法の開発と実証を行いました。また、風力と太陽光発電の遠隔出力制御システムの設置義務化への迅速な対応のため、システムの高度化とともに発電事業者の出力比率に応じて決定するための出力制御手法の開発と実証を行いました。

図29 ● 「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の全体像

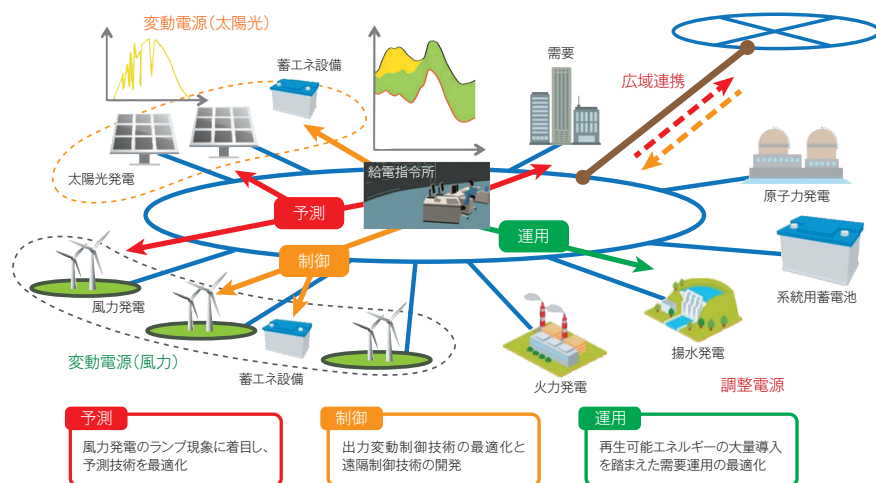


図30 ● 開発した技術の実証のため設置した風力及び太陽光発電設備（東京都新島村）

< 阿土山風力発電所 >



< 大原太陽光発電所 >



図31 ● 発電量の予測情報に基づく制御技術を用いた圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES: Compressed Air Energy Storage) システムの実証施設







## 現状と課題

### さらなる系統連系技術開発と新たな電力ビジネス

日本では、2012年以降のFIT制度が呼び水となって再生可能エネルギーが積極的に導入されるようになりました。

再生可能エネルギーの導入にあたっては、事故時の復旧、電力需給の調整、配電網における電圧安定化などの対策を検討する必要があります。NEDOはその技術開発や実証で一定の成果を得てきました。これらの成果が電力の安定供給・品質維持に貢献したこともあり、日本の再生可能エネルギー発電比率は2010年度の9.5%から2018年度には16.9%と増加しています。今後再生可能エネルギーの大量導入に向け、系統連系運用時の容量制約の解消や電力周波数変動時の安定性確保などが課題として浮上しており、NEDOはこの分野でも多くの検討を進めています。

海外に目を向けると、2015年の「パリ協定」を契機に脱炭素化の動きが加速しており、欧州主要国の再生可能エネルギー発電比率は2017年時点で30%前後に到達しています。スマートコミュニティ市場では、再生可能エネルギーや蓄電池価格の大幅低下、EVブーム、分散型エネルギー資源を活用したデマンドレスポンスやバーチャルパワープラントビジネス、事業継続計画（BCP）などのレジリエンス向上を目的としたマイクログリッドなどを実現しようとする動きが活発化しています。こうした世界レベルで変革が進む事業環境を見据え、NEDOは新たな電力需給モデルを技術面及びビジネス面から検証する実証事業を実施してきました。今後もさらなる再生可能エネルギーの普及が見込まれる中、海外におけるスマートコミュニティ市場の動向を注視し、新興国を含む世界のエネルギー関連需要への確に対応していくことで、日本のエネルギー・環境分野における優れた技術・システムを積極的に海外展開し、エネルギーセキュリティーの向上や脱炭素化に貢献することが求められています。

図32 ● 大型EVバスの事例



10分間充電走行による大型EVバス実証事業（マレーシア）（2015～2020年度）

図33 ● マイクログリッドシステム構築の事例



風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業（ロシア連邦サハ共和国）（2017～2020年度）



## 今後と展望

### 再生可能エネルギーの主力電源化に向けて

再生可能エネルギーを普及促進するためには、エネルギー分野の技術開発に加え、国・地域ごとの特性に合わせた技術をシステムとして提供することが必要です。

今後、日本におけるさらなる再生可能エネルギーの普及のため、系統安定化に貢献する技術開発を行うとともに、国・地域ごとに異なるニーズに対して、NEDOが

これまで培ってきた新エネルギーや蓄電池、エネルギーマネジメント、送配電制御技術などを分野横断的に融合させ、日本の技術を一つのパッケージとして展開することで、様々な社会でのスマートコミュニティの実現に寄与していきます。

また、スマートコミュニティ市場では熾烈な国際競争が始まっており、その展開には官民一体となって取り組むことが重要です。NEDOは、スマートコミュニティ・アライアンス (JSCA) の事務局として、幅広い分野の企業や団体の連携を強め、国際標準化の獲得に向けた活動を行うなど、業界の垣根を越えて経済界全体としての展開を推進していきます。

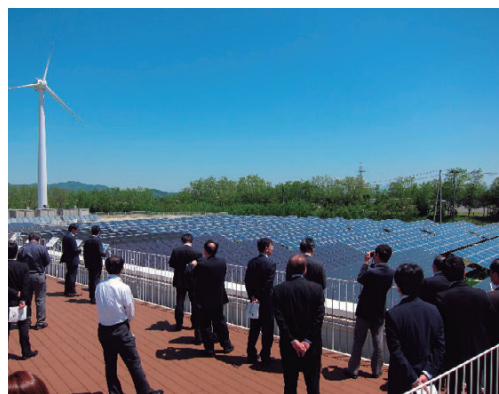
## Column : スマートコミュニティ・アライアンス

スマートコミュニティ・アライアンス (JSCA) は、次世代のエネルギーインフラとして着目されるスマートグリッドやその周辺サービスまで含めた社会システムである「スマートコミュニティ」を国内外に展開するため、2010年4月に発足しました。製造、情報通信、建設、電気・ガス、不動産、サービスなど、幅広い業界から様々な企業や組織など約250の社・団体が参加しているアライアンスです。

JSCAは、スマートコミュニティの展開を進める上で、個々の企業では解決しづらい課題に対し、企業、大学、研究機関などがその垣根を越えて一つになり、経済産業省の協力を仰ぎながら解決を目指す活動を行っています。

### 【JSCAの主な活動】

- ◎ ワーキンググループ：JSCAでは、個別の企業では取り組むことが難しい「国内外ネットワークの構築」「標準化への対応」などの共通的な課題の受け皿となるべく、ワーキンググループ (WG) を設置し、活動しています。  
国際戦略WGでは、インフラ輸出につなげる活動や国際機関との共同研究を実施しています。また国際標準化WGでは、スマートコミュニティの推進に必要な標準化すべき領域について、経済産業省と連携しながら検討しています。
- ◎ 海外との連携強化：国際的な団体との提携を通じて、ネットワークの形成や情報発信・収集をしています。
- ◎ 情報共有／発信：スマートコミュニティの最新動向や海外実証プロジェクトなどについて、国内外の専門家などによるセミナーや、国内の先進的なプロジェクト実証地の見学会などを開催しています。また、最新のニュースやイベント情報、関連機関からのレポートなどをニュースレターで発信しています。



見学会の様子

>> <https://www.smart-japan.org/>

## 2-1-2. 再生可能エネルギー技術

### 太陽光発電



#### 歴史と背景

#### 高効率化と低コスト化が進展

日本における太陽光発電に関する本格的な技術開発は、1973年の第1次オイルショック後、通商産業省（現在の経済産業省）が石油代替エネルギーの技術開発に取り組んだ新エネルギー技術研究開発の長期計画、通称「サンシャイン計画」から始まりました。

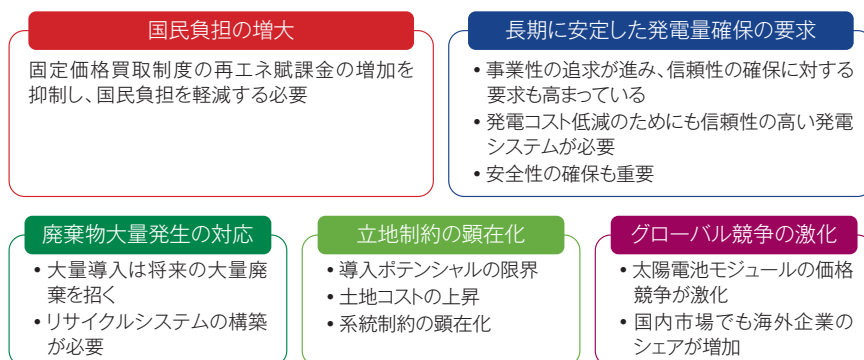
NEDOは、1980年の設立時からサンシャイン計画の推進を担う機関として太陽光発電技術の開発に取り組んできました。それまでサンシャイン計画で取り組んでいたシリコン材料の開発や結晶シリコン系と化合物系太陽電池の開発を引き継ぎ、低コストシリコン材料の開発、角形キャストウエハ作製技術などのシリコン基板作製技術開発、実用化を支えるための技術開発を推進しました。

当時の太陽電池は、電卓などの民生用製品や独立電源として一部実用化していたものの、電力用途として一般に普及するためには、さらに低価格化を進める必要がありました。

NEDOは、太陽光発電のさらなる普及と太陽光発電産業の持続的成長を実現するための技術開発指針として、2004年に「太陽光発電ロードマップ (PV2030)」を策定、2009年には技術課題にとどまらず、2050年までを見据えたシステム関連課題や社会システムなども盛り込んだ改訂版「PV2030+」を発行し、それに基づいて技術開発を行ってきました。

その後、2012年に固定価格買取制度 (FIT 制度) が始まってからは、太陽光発電の導入は加速し、日本における太陽光発電の大量導入社会の実現も視野に入りつつありました。そうした状況を踏まえて、2014年には将来の大量導入社会を支え

図1 ● 太陽光発電大量導入社会における5つの課題 (2014年 PV Challenges より)

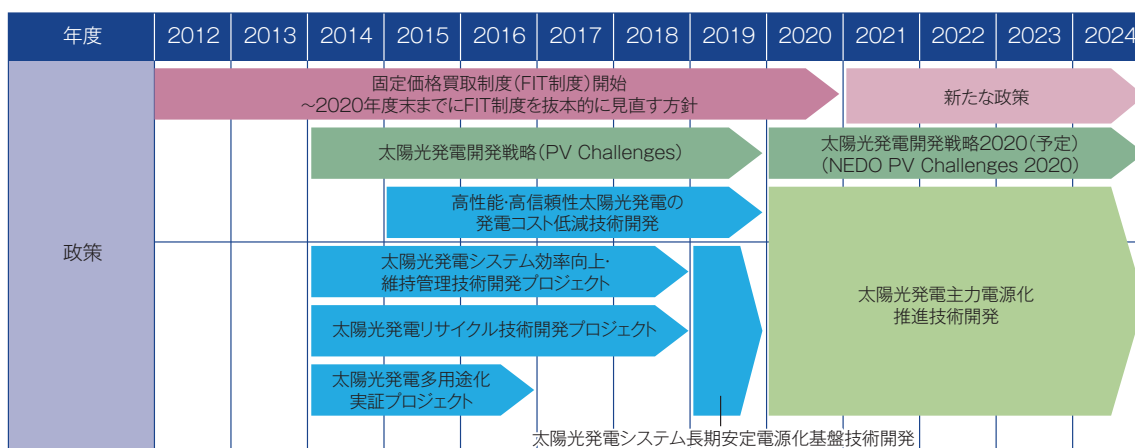


るために必要となる課題解決策を検討した「PV Challenges」を策定しました。「PV Challenges」では、発電コストの低減、信頼性向上、立地制約の解消、リサイクルシステムの確立、産業の高付加価値化といった戦略が示され、NEDOは同戦略に基づいた技術開発を行いました。

特に、太陽光発電の大量導入社会を迎えるにあたり、国民負担の増大、長期に安定した発電量確保の要求、廃棄物大量発生への対応、立地制約の顕在化、グローバル競争の激化という5つの課題が顕在化してきており、NEDOではそれらの課題に対処するためのプロジェクトを推進してきました。

具体的なセル・モジュール関連の技術開発としては、1990年代当初はまだ高価であった太陽電池の低コスト化を目指して、低シリコンで製造可能な薄膜型や、脱シリコンを目指したCIS型などの新たな化合物系太陽電池の研究を実施しました。加えて、2015年度からは次世代型太陽電池として、高効率のⅢV系太陽電池、フィルム形状化が可能なペロブスカイト太陽電池についても将来の事業化に向けた技術開発を進めています。

図2 ● NEDOの太陽光発電に関するプロジェクト年表



### 最近10年の主なプロジェクト

#### ❖ 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発

【2015～2019年度】

既存の電源との競争性を持つため、2020年までに発電コストを14円/kWh、2030年までに7円/kWhを実現すべく、高性能と高信頼性を両立した太陽電池の開発を実施しました。実用化が進んでいる結晶シリコン太陽電池とCIS系太陽電池については、太陽電池のコスト低減と効率向上を、また、次世代のⅢV系太陽電池やペロブスカイト太陽電池については、将来の量産化に向けた要素技術の確立に取り組みました。

また、これらと並行して様々な条件下での太陽光発電の評価技術の開発や、太陽光発電システムの高精度な発電量評価において役立つ日射量データベース構築などの分野でも成果を上げています。

## ❖ 太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト [2014～2018年度]

太陽光発電システムの大量導入社会を支える基盤をつくるため、システム設置や維持管理の高機能化・低コスト化の技術開発を進め、発電コスト低減を目的としたプロジェクトを実施しました。併せて、発電設備の安全性に関するガイドラインの策定や建築物のエネルギー自給を目指し、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）に向けた技術を開発しました。従来の発電設備全体のシステム効率と比較し10%以上の高効率化、また発電量を維持しつつ維持管理費を30%以上削減する発電コスト低減技術などで成果を上げました。

## ❖ 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト [2014～2018年度]

太陽光発電システム関連の廃棄物が大量に発生する事態を見据えて、使用済み太陽電池モジュールの主な成分であるガラスに関して、低コストで分解処理できる技術を確認しました。さらに本技術を適用した試作プラントで実証実験を行い、実モジュールサイズでの技術開発にも成功しました。また使用済み太陽電池モジュールのリユース技術の確立においても成果を上げました。

図3 ● 各種太陽電池

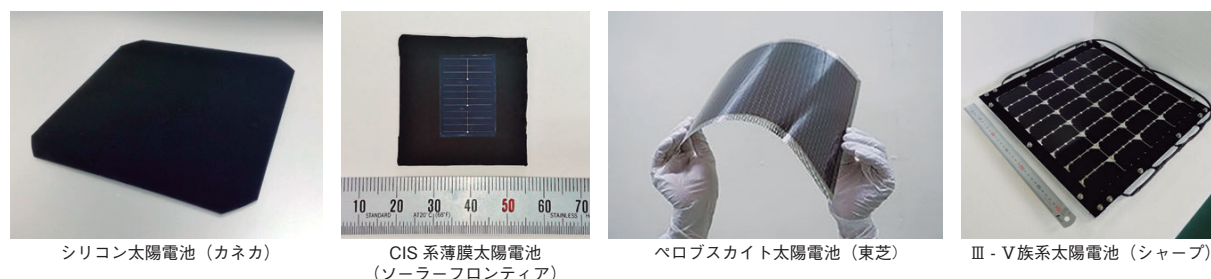


図4 ● 試作したモジュールと窓への施工例

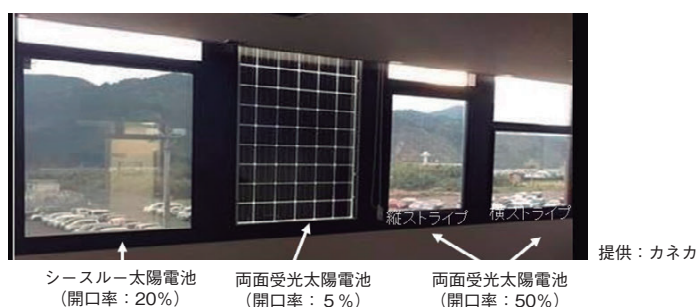
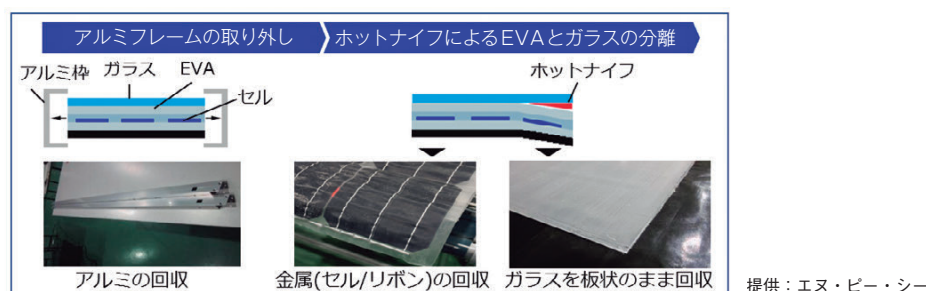


図5 ● 試作したモジュールと建物への設置工法例



図6 ● NEDO 事業で開発したガラスと金属との分離処理プロセス





## 現状と課題

## 導入量拡大と顕在化している課題

太陽光発電システムは、モジュール価格の低下により、この10年間で発電コストも大きく低減して、既存電源とも競争力を持つようになってきました。これも相まって、世界の太陽光発電の導入量は急激に増加し、2018年における世界の累積導入量は500GW(DCベース)を超えました。

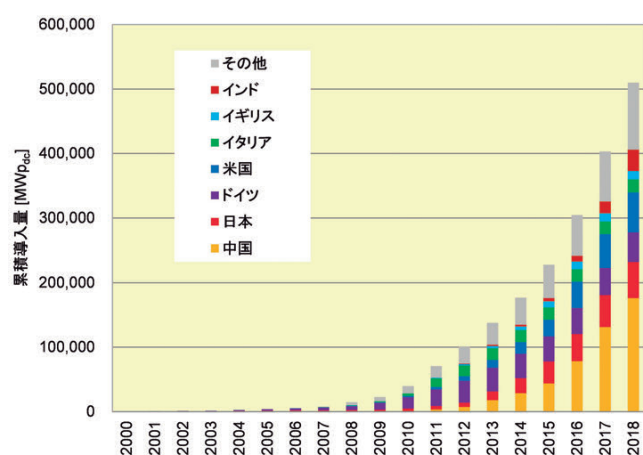
日本では、2012年6月末時点の導入量は5.6GWでしたが、FIT制度によって急速に導入量が増え、2019年3月末では49.5GW(ACベース)の設備が稼働しており、日本国内の電源構成の約6%を太陽光発電が賄うまでになっています。

一方で国内企業のシェアは海外製の安価なパネルの流入により低下してきました。セル・モジュール関連の国内産業の競争力強化のためには、モジュールの効率向上とコスト低減だけでなく、高付加価値化や新たな設置環境への対応が必要となっています。特に、太陽光発電設備の設置場所の適地は減少しており、これまで導入が困難な場所にも設置を可能とする技術が望まれています。例えば、曲面追従を可能としたり、軽量化や同じ面積で発電量を格段に上げたりする技術などが実現することで、ビル壁面や自動車など移動体、強度の弱い屋根などへの展開が可能となります。

また、既に導入されている既存設備に関する課題も顕在化してきました。例えば、風水害による太陽光発電設備の破損なども想定した太陽光発電設備の安全性の確保が喫緊の課題となっており、さらに、小規模な太陽光発電設備ではFIT制度の買取終了とともに設備が廃棄されることも想定され、2030年代には大量の廃棄モジュールが発生する懸念があります。このため、発電設備を安全に長期間稼働させる信頼性評価技術、信頼性回復技術や廃棄後のリサイクル技術も不可欠になってきました。

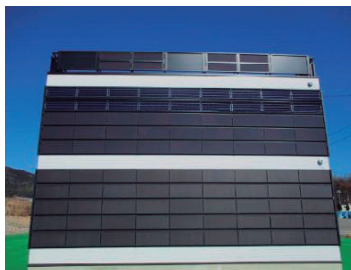
併せて、太陽光発電が大量導入されることで、系統容量が逼迫するといった系統連系における課題への対応も必要な状況となっています。

図7 ● 世界の太陽光発電の累積導入量



出典：IEA PVPS : Trends in Photovoltaic Applications 2018、Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2019

図8 ● 2020年度から始まる新たな開発プロジェクトイメージ（新市場の例示）

壁面に太陽光パネルを  
設置した例狭い面積でも十分な発電量が  
得られる車載用太陽電池

## 今後と展望

### 太陽光発電の主力電源化に向けて

2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」においては、太陽光発電などの再生可能エネルギーの主力電源化への方向性が示されています。また、2020年6月に成立した「エネルギー供給強靱化法」ではFIT制度が改正されることが示されました。今後、この新しい制度の下で、太陽光発電のさらなる導入が図られることとなります。

このような背景から、NEDOでは2020年度から2024年度の期間で実施する新たな開発プロジェクト「太陽光発電主力電源化推進技術開発」を立ち上げました。同プロジェクトでは太陽光発電を主力電源化とすべく、前述の課題に対応する有効な技術開発を推進していきます。とりわけ、グローバル競争が激しさを増す中で、国内企業、国内産業が海外展開を含め競争を勝ち抜く力を持てるよう、川下産業への展開だけでなく、高付加価値事業で戦える成長市場の創出と獲得も視野に技術開発を進めていきます。併せて、太陽光発電の長期安定電源化に向けた信頼性・安全性の推進、低コストのリサイクル技術開発、太陽光発電の系統影響緩和に取り組む予定です。

## 風力発電



歴史と背景

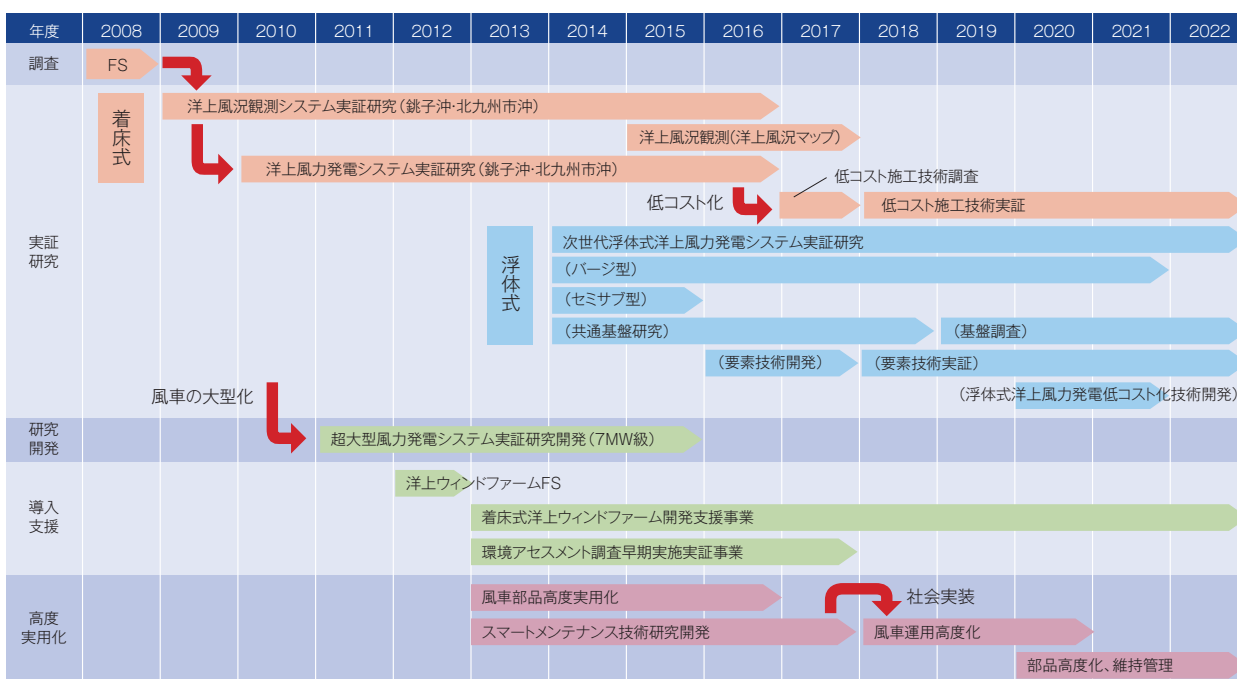
### 洋上風力発電の導入を目指して

NEDOは、1981年度から風力発電に関する事業を行っており、2009年度からは日本初となる着床式洋上風力発電の実証を開始しました。現在は、洋上風力発電に関する先進的な技術開発や実証事業などを推進しています。

洋上風力発電に関する技術研究開発は、政府が策定した「新成長戦略」(2010年6月閣議決定)や「第5次エネルギー基本計画」(2018年7月閣議決定)に基づいて実施しています。2015年に公表された「長期エネルギー需給見通し」においては、2030年度の総発電電力量のうち、22～24%を再生可能エネルギーとするとされています。また、第5次エネルギー基本計画においては、これまでの方針に加え、洋上風力発電の導入促進と着床式洋上風力発電の低コスト化、浮体式洋上風力発電の技術開発や実証を通じた安全性・信頼性・経済性の評価を行うことが盛り込まれています。こうして、洋上風力発電を含む再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取り組みが国の方針として明示されています。

一方、2018年に公表された「第3期海洋基本計画」においても、海洋資源の開発と利用の推進として、海洋由来の再生可能エネルギーに関して、とりわけ洋上風力発電コストについて一層低減しつつ、長期エネルギー需給見通しの水準を目指し、さらなる導入拡大を促進するとされました。その具体的な施策の一つとして2019年4月に「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律(再エネ海域利用法)」が施行されたことにより、今後ますますの洋上風力発電の導入促進が見込まれています。

図9 ● 洋上風力発電等技術研究開発のスケジュール





## 最近 10 年の主なプロジェクト

## ❖ 洋上風況観測システム実証研究(銚子沖・北九州市沖)

[2009～2016年度]

## ❖ 洋上風力発電システム実証研究(銚子沖・北九州市沖)

[2010～2016年度]

洋上風力発電の本格的な実証として、千葉県銚子市の沖合約 3 km の海域に国内初の着床式洋上風力発電設備(定格出力 2,400kW)を設置し、2013年 3 月に実証運転を開始しました。当時、沖合に設置するのは国内で初めてでした。実際に洋上風車で発電した電力を陸上へ送電することで、風車の信頼性や継続的に発電するために不可欠なメンテナンス技術など、沖合洋上風力発電の導入や普及に必要な技術の確立を目指しました。

また、日本海側での実証研究として、北九州市の沖合約 1.4km の海域で着床式洋上風力発電設備(同 2,000kW)を建設し、2013年 6 月に実証運転を開始しました。

これらの結果を踏まえ、2015年に着床式洋上風力のガイドブックなどを国内で初めて作成し、ウェブサイトで公開しました。

図 10 ● 銚子沖洋上風力発電実証設備(当時)



図 11 ● 北九州市沖洋上風力発電実証設備(当時)



## ❖ 洋上風況観測システム実証研究(洋上風況マップ)

[2015～2017年度]

洋上風力発電の導入拡大に際し事業性を判断するためには、精度の高い風力ポテンシャルマップが必要とされています。加えて、水深や海底地質といった環境情報と、港湾区域や航路などの社会環境情報など種々の情報を一元的に把握できる洋上風力発電に特化したマップの整備が強く望まれていました。こうした要望を鑑み、本事業では、高精度の数値シミュレーションから得られる風況情報に加えて、環境情報や社会環境情報など、洋上風力発電を計画する上で必要な種々の情報を国内で初めて一元化しました。さらに、洋上風力発電事業者が事業化を検討する際の基礎情報に加え、ファイナンスや保険など様々な場面に活用される「洋上風況マップ」を作成し、洋上風力発電の事業化の加速を目指しました。マップは改訂を加えたのち、2018年にウェブサイトで公開しました。

## ❖ 次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 [2014～2022年度]

浮体式洋上風力発電については、これまで比較的深い水深の海域に適用されて

きました。NEDOでは、水深50～100mという比較的浅い水深の海域にも適用可能であり、コスト競争力のある浮体式洋上風力発電システムの開発を目的に事業を進めてきました。そのために、バージ型実証機「ひびき」を開発し、2019年5月21日に本格的に運転を開始しました。実証運転中は、妥当性の評価や、効率的な維持管理技術の開発などに取り組み、安全性・信頼性・経済性を明らかにすることで、低コストの浮体式洋上風力発電システム技術の確立を目指します。

加えて、要素技術の開発として、ガイワイヤ支持やタレットを用いた一点係留による浮体・タワー・係留システムの軽量化などについて、実証海域の選定や計画、事業性評価を行うフィジビリティ・スタディー（FS）を実施しました。実現可能性や事業性が認められた場合、実海域で1年間以上の運転を行う実証試験で、性能やコストを検証する予定です。

これらFSの結果を踏まえ、2019年にウェブサイトで浮体式洋上風力発電技術ガイドブックを公開しました。

図12 ● バージ型浮体式洋上風力発電システム実証機



#### ❖ 着床式洋上ウインドファーム開発支援事業 [2013～2022年度]

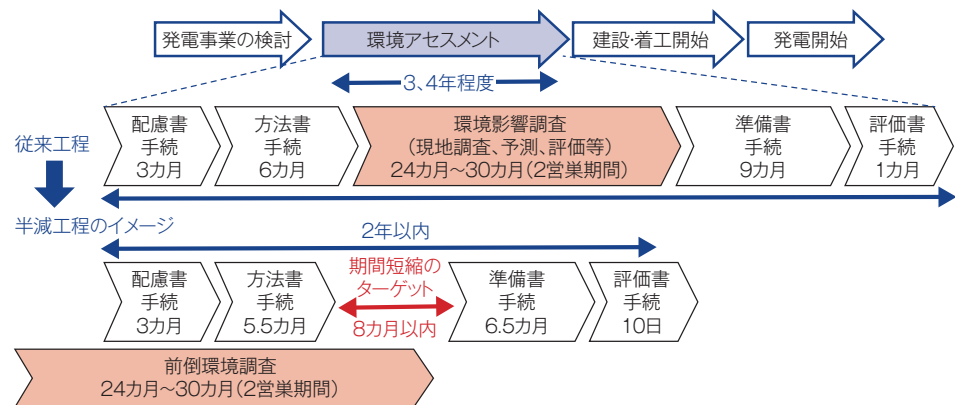
洋上風力発電の導入を推進していく上で重要なことは、風車の建設だけではなく、事前調査の効率的な実施や得られた情報に基づいた事業性評価です。そこで、洋上風力発電の導入拡大に役立てることを目的として、これまでに港湾区域に設置を予定している複数の海域で、海底地質調査や環境影響評価、基本設計などにかかる費用の一部を支援しました。同事業では、調査結果と事業性の評価に向けた試算などの情報を収集するとともに、ガイドブックなどとして取りまとめ、ウェブサイトで公表してきました。

さらに、港湾区域と比較して大規模な風力発電（ウインドファーム）の開発が期待される一般海域を対象とした調査を新たに開始し、広大な面積に対する効率的な調査手法を検討する事業を実施しています。加えて、洋上風力発電事業計画の検討において事業性を評価する際に必要不可欠な精度の高い風況データを取得するために、多大なコストを要する洋上観測タワーに代わる観測手法として、ドップラーライダーなどのリモートセンシング技術を活用した日本の海域における洋上風況の合理的な観測手法を確立するための技術開発として、「洋上風況調査手法の確立」に取り組んでいます。

### ❖ 環境アセスメント調査早期実施実証事業 [2013～2017年度]

一定規模以上の風力発電設備を建設・増設する際には、環境アセスメントを実施することが環境影響評価法により定められています。しかし、その手続きには4年程度を要することから、アセスメントの質を落とさずに手続期間を短縮することが求められていました。そこで環境アセスメントに要する手続期間の半減を目指して、2014年度から「環境アセスメント調査早期実施実証事業」を実施しました。これらの結果を踏まえ、2018年「環境アセスメント迅速化手法のガイド」をウェブサイト上で公表しました。

図13 ● 環境アセスメント手続期間半減行程のイメージ



#### 現状と課題

### 洋上風力発電の産業競争力の強化へ

洋上風力発電は、2019年4月に「再エネ海域利用法」が施行されたことにより、今後ますますの導入促進が見込まれています。実際に、2019年12月末時点で計画中の洋上風力発電は約14GW（2019年12月末時点、日本風力発電協会「2019年末日本の風力発電の累積導入量速報値」から抜粋）に上っており、2020年度は洋上風力発電の本格導入・拡大のターニングポイントです。この機を逃さず、今までも重要視されてきた国内の産業競争力と技術力をさらに高めることが必要となっています。

洋上風力発電が各地で本格導入され、さらに長期的な導入拡大に向かうためには、着床式と浮体式の両者において「低コスト化」と「日本国内でのサプライチェーンの構築」が重要です。低コスト化においては、基礎構造をはじめ、メンテナンス技術についてもリモートセンシング技術を活用していくことがポイントとなります。また、サプライチェーンについては、国内産業の活性化を含め、部品の高度化や維持管理技術を構築することが必要です。加えて、洋上における設置施工を巡る実践的なロジスティック支援も欠かせません。

一方、洋上風力発電が産業として成り立つためには、事業性や安全性の観点も重要となり、洋上の精緻な風況観測が必要です。風況観測では日本特有の気象海象に鑑み、平均風速のみならず乱流強度の計測も重要となります。とりわけ、陸上からのリモート観測技術の確立に加え、洋上風況観測タワーなどによる、高精度・高信頼性のデータの収集が必要となっています。



今後と展望

## 洋上風力発電の本格導入へ向けて

洋上・陸上を含む風力発電市場は世界的に急速な拡大が続いており、2010年には約200GWだった世界の総発電量は、2018年に約600GWにまで達しました。また、洋上風力発電市場に限った場合においても、2010年には約4GWだった世界の総発電量は、2018年に約24GWにまで達しました。

厳しい気象や地理的な要因などから、導入が遅れていたアジア地域においても、洋上風力発電は中国や台湾で導入が進んでいます。2018年の導入量では中国が世界最大となりました。また、法律制限などの制約条件が多い日本においても2019年4月に「再エネ海域利用法」が施行されたことにより、今後ますますの洋上風力発電の導入促進が見込まれています。一方、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減やエネルギーセキュリティの向上といった観点でも、ポテンシャルの高い洋上風力発電の普及拡大が一層求められています。

そのためには、技術力を強化し、産業として国内市場の拡大を目指していかねばなりません。日本の特徴である、「世界的にも厳しい気象・地理的条件」を、「厳しい環境にも耐えうる風車=日本の風車は信頼性が高い」という強みに変えていく取り組みが重要です。ここ10年においては、特に洋上風力発電に必要な技術開発に多角的に取り組んできました。その結果、例えば熱帯性低気圧による強風をカバーする「風車クラスT」を日本から国際電気標準会議(IEC)に提案して採用されるなど、国際標準化に結び付いています。

現在、日本では洋上風力発電の実証が複数のサイトで行われ、環境アセスメントに取り組んでいる計画中のプロジェクトが多くあります。まさにこれからの本格導入が予想されると共に、安定性・信頼性が重要視される市場です。

洋上風車は初期投資コストが高いことに加え、故障・事故などが発生した際に多額の費用が発生しますが、これらのコストを削減する研究開発が進んでいます。

NEDOでは今後、本格導入に向け、低コスト化やサプライチェーンの構築といった課題への対策技術の開発を進め、国内の洋上風力発電の本格導入に貢献していきます。

図14 ● 世界の風力発電の導入量 (CAGR：年平均成長率)

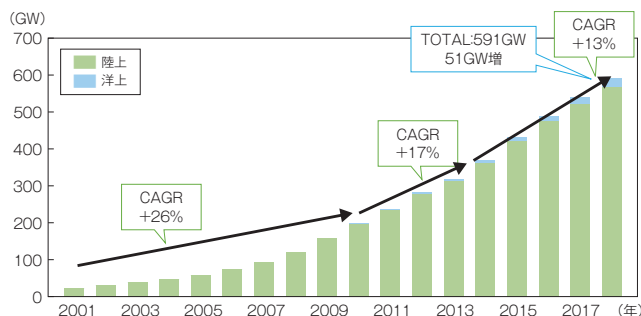
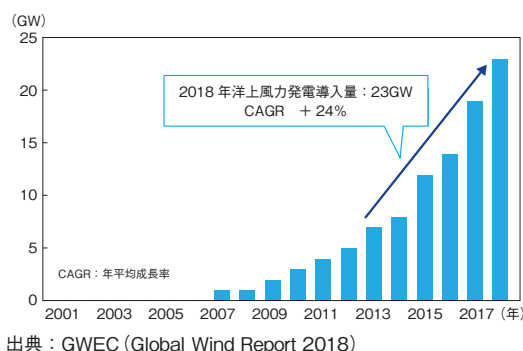


図15 ● 世界の洋上風力発電の導入量



## 海洋エネルギー



### 歴史と背景

### 実用化に向けた技術開発

海洋は、地球の自転や月・太陽の引力、風などの力によって、絶えず海水の移動や運動が起きており、膨大なエネルギーを有しています。このエネルギーを利用した海洋エネルギー発電は、周辺海域の波力・潮流エネルギーのポテンシャルに恵まれた欧米を中心に、技術開発が進められてきました。

一方、日本では、オイルショックを契機に、石油・天然ガスの代替エネルギーとして海洋エネルギー、特に波力発電への期待が高まり、1970年代に実証試験がいくつか行われました。しかし、石油価格の沈静化とともに研究開発は先細りとなり、その後日本では大規模な実証プロジェクトは行われていませんでした。

政策的には、「海洋基本計画」<sup>注1)</sup>や「再生可能エネルギー導入拡大に向けた関係府省庁連携アクションプラン」<sup>注2)</sup>、「エネルギー基本計画」<sup>注3)</sup>において、技術開発の推進と実用化の見通しが高い技術を見極めながら、経済性の改善や信頼性の向上などの技術開発、実証試験と環境整備に取り組むとされており、海洋エネルギー発電の早期実用化に向けた取り組みが期待されています。

このような状況の中NEDOは、2009年度から海洋エネルギーに関する調査を行い、2011年度から「海洋エネルギー技術研究開発」を立ち上げ、2017年度までの7年間にわたり海洋エネルギー発電の開発に取り組んできました。

これらの成果を踏まえ、現在NEDOは、さらなる実用化に向けた取り組みとして、実海域における長期実証研究を推進しています。

注1)「第2期海洋基本計画」(2013年4月閣議決定)では、海洋再生可能エネルギーの利用促進として具体的に、海洋エネルギーを活用した発電技術として、40円/kWhの達成を目標とする実機を開発するなど、多角的に技術研究開発を実施するとされている。「第3期海洋基本計画」(2018年5月閣議決定)では、これまでの研究開発の成果を踏まえて、実用化の見通しが高い技術を見極めながら、電力供給コストが高い離島において、長期連続運転に係る実証研究に取り組みつつ、離島振興策との連携を図るとされている

注2) 2017年4月11日に再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議が公表した計画で、関係府省庁が連携して、今後重点的に取り組むべき海洋エネルギー発電技術の有望分野における課題解決に向けて、技術開発の推進を図るとされている

注3)「第4次エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)、「第5次エネルギー基本計画」(2018年7月閣議決定)では、「取り組むべき技術課題」の中で、波力・潮流等の海洋エネルギーは、低コスト化・高効率化や多様な用途の開拓に資する研究開発等を重点的に推進するとされている

### 最近10年の主なプロジェクト

#### ❖ 海洋エネルギー発電システム実証研究〔2011～2017年度〕

海洋エネルギー発電システムの実証試験を実海域で実施し、事業化時の試算で、発電コスト40円/kWh以下を見通せるシステムを確立することを目標としています。発電システムを設置するための設計、施工・設置方法の検討、地元関係者との合意形成や設置に必要な許認可などの取得を行い、発電性能やコストなどの検証を行いました。

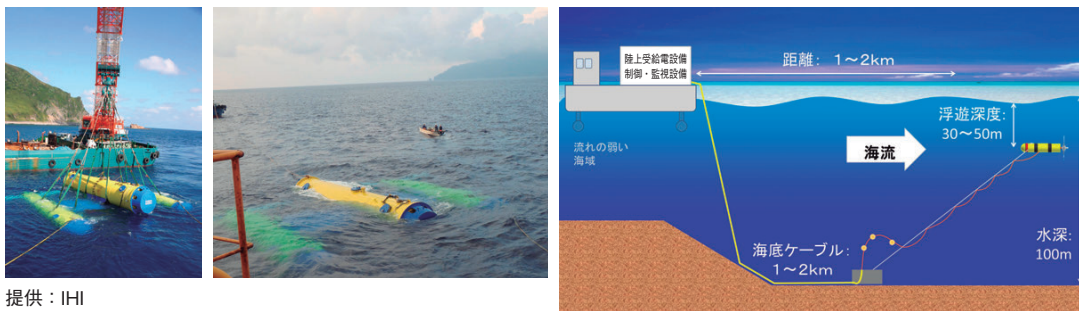
図16 ● 空気タービン式波力発電の外観



提供：エム・エムブリッジ

これらの実証試験の結果に基づき、発電システムの種類ごとに様々な条件の下でコストを試算した結果として、一定の条件下で発電コスト40円/kWh以下を見通し得ることを確認しました。

図17 ● 口之島沖に設置中の100kW級水中浮遊式海流発電実証試験機及び、2017年度実証試験の概要



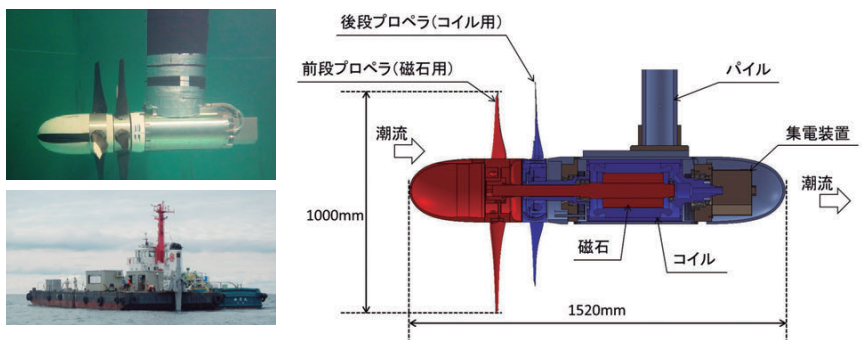
提供：IHI

### ❖ 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発 [2011～2017年度]

スケールモデルによる性能試験と評価を実施し、事業化時の試算で発電コスト20円/kWh以下を見通せる海洋エネルギー発電装置に関わるコンポーネントや部品などの要素技術を確立することを目標にしています。

必要なスケールモデルの設計・製作を行い、水槽試験や海域での曳航試験により発電性能、制御や信頼性などの検証を行いました。これらの結果に基づき、施工や発電機の製造などの費用を検討した結果、発電コスト20円/kWhの可能性を見いだしました。

図18 ● 相反転プロペラ式潮流発電の1/7スケールモデルと外観、装置概要、曳航試験の様子



提供：協和コンサルタンツ

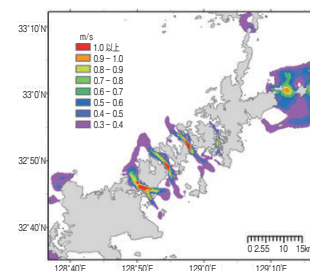
### ❖ 海洋エネルギー発電技術共通基盤研究 [2011～2017年度]

海洋エネルギー発電技術に関する性能試験・評価方法の検討、国内の海洋エネルギーのポテンシャルなどの情報基盤の整理、海洋エネルギー発電技術の共通の技術課題を明らかにすることを目標に共通基盤研究を実施し、それらの結果を広く公開しました。

### ❖ 海洋エネルギー発電実証等研究開発事業 [2018～2021年度]

長期実証試験を実海域で実施し、その結果に基づき、離島用電源として十分な経済性(発電コスト40円/kWh)、施工・メンテナンス性・耐久性(20年以上の見通し)

図19 ● 公開された海洋エネルギーポテンシャルマップ(地域詳細版)



出典：みずほ情報総研、九州大学、鹿児島大学 <http://me.oce.kagoshima-u.ac.jp/me/index.html> の海洋エネルギーポテンシャルマップより。潮流の流速[m/s]平均値(五島列島、2014年、海底上10m)の条件で作成

を備え、実用レベルに達していることを示すことを、最終目標としています。

この中で、実証機の発電特性、施工・設置方法、塩害・生物付着対策技術、遠隔監視システムなどの性能や環境影響などを検証するとともに、発電コスト算出に資するデータを収集し、離島電源としての実用性などを見極めようとしています。

## ！ 現状と課題 水槽試験から実海域試験へ

海洋エネルギー発電については、まだ世界的に研究開発もしくは実証研究の段階にあるといわれていますが、それは海洋エネルギーの実用化の難しさを表していることに他なりません。技術的な課題を克服し商用化の段階に持っていくには、水槽試験から実海域試験へと発電システムをスケールアップし、実海域試験では、単機から複数機へと発電能力を向上し、性能、信頼性、施工や運転保守などを検証し、各種技術を段階的に検証しながら確立する必要があります。

NEDOは海洋エネルギー発電の実証研究や要素技術開発などによって、いくつかの発電システムの基本性能や信頼性などを検証し、技術課題を克服する取り組みを進めてきましたが、それらを実用化、商用化するためには、さらにこれらのステップを繰り返し行い、信頼性を向上することが求められています。

また、日本の海洋エネルギーの利用推進に向けては、日本特有の気象や海象条件に適した発電システムの技術開発を行うことが不可欠であるとともに、電力コストが高い離島への電力供給など、離島振興策との連携や海域を利用する産業や地域の方々との調整や協調関係を醸成することも重要となります。

## ▶ 今後と展望 事業化に向けた基盤整備に寄与

海洋エネルギー発電は、欧州を中心に発電システムの複数機配列や大型化などの検討が進められており、事業化前の段階にあるといわれています。

NEDOは、国内での海洋エネルギー発電の導入や、日本企業の産業競争力を強化するため、実証研究や要素技術開発などを実施してきました。特に、実海域での実証研究では、各々の海域での自然条件を考慮した設計・製作を行い、各種運転データの収集・分析、あるいは運転保守を通して様々なノウハウが蓄積されており、実用化への道が見えてきました。

今後、長期の実証研究を通して、連続運転に関する性能や信頼性の評価を行い、施工方法や運転保守技術などの技術課題の克服を目指すとともに、発電コストや環境影響評価などを検証する予定です。

さらに、世界的には国際標準の策定に向けた検討が進められていることから、日本の実海域試験から得られる各種データなどを活用した国際貢献も視野に入れ、海洋エネルギー発電の事業化に向けた基盤整備に寄与していきたいと考えています。

図20 ● IHIの100kW級実証機「かいりゅう」



提供：IHI

## バイオマス



歴史と背景

### 利用価値が高いエネルギー源

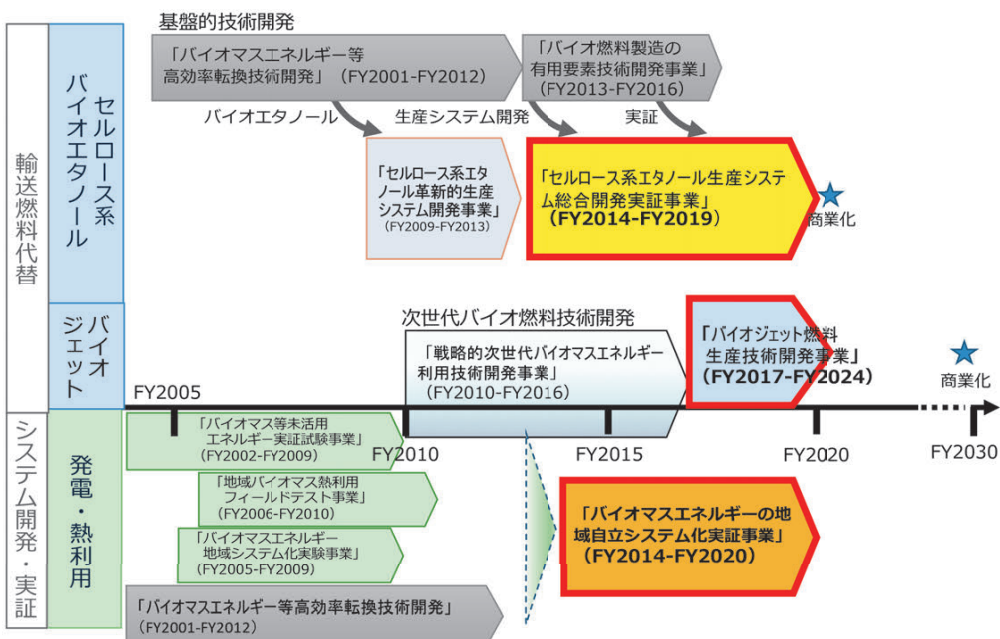
バイオマスとは、枯渇性の資源ではなく、現生生物を起源とした産業資源のことで、紙、家畜糞尿、食品廃棄物、建設廃材、黒液、下水汚泥、生ごみ、稲わら、麦わら、林地残材、資源作物、飼料作物、でんぷん系作物などを指します。これらを直接燃焼やガス化、液化などを行って得られる電気や熱、ガス、液体燃料などをバイオマスエネルギーと呼んでいます。

1990年代以降、バイオマスはカーボンニュートラルであるという考え方から、地球温暖化対策や循環型社会への取り組みを通じて脚光を浴び、伝統的な薪や炭などの利用から、付加価値の高い液体燃料などへのエネルギー変換・利用へと広がりました。日本でも、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネルギー法）」の改正（2002年1月施行）により、バイオマス発電やバイオマス熱利用、バイオマス燃料製造などが新エネルギーとして明確に位置付けられ、多種多様な技術開発が行われるようになりました。

特に、燃料分野は、再生可能エネルギーの中ではバイオマスだけが直接製造できるエネルギーと言えます。NEDOは2000年代以降、原油価格や食料価格が高騰する状況を踏まえ、食料と競合しないセルロース系エタノールに着目した技術開発を実施しました。2010年代以降は、航空輸送部門における温室効果ガス（GHG）排出量を削減するため、バイオジェット燃料の開発プロジェクトも始まりました。

また、2012年の再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）施行後も、健全な事業運営の下で、地域に分散するバイオマスを持続的に利活用できる地産地消型エネルギーのシステム化実証プロジェクトを進めています。

図21 ● バイオマスエネルギーに関するNEDOの取り組み





## 最近10年の主なプロジェクト &gt;&gt; エネルギー

## ❖ 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業

[2010～2016年度]

バイオマスエネルギーの中期的な導入普及を目的として、要素技術や周辺技術の強化を図る「実用化技術開発」と、2030年頃までのバイオマス燃料製造技術の確立を目指した「次世代技術開発」を行いました。前者は、メタン発酵やガス化、固形燃料化、混焼などの導入コスト削減を目指した12件の技術開発を行いました。後者は、セルロース系エタノールの発酵技術と比較して理論的に高いエネルギー転換効率が得られるBTL (Biomass to Liquid) や、微細藻類を培養して燃料を作る次世代バイオ燃料技術など、28件の技術開発を行いました。

## ❖ バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業

[2014～2020年度]

バイオマスエネルギーの利用拡大を推進するため、地域のバイオマス資源を地域のエネルギーとして持続的に活用できる地域自立システムの構築を行っています。熱利用などを有効に図り効率よく運用するとともに、FIT制度や補助金などに頼らないことも念頭に置いた「バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針」を策定し、これに基づいた地域自立システムの実証を実施しています。原料調達、エネルギー変換技術、エネルギー利用、システム全体の4項目について、技術面や経済性、地域社会への影響などの観点からこれまでに35件のFSを実施し、この中から事業性があると評価できた7件の実証事業と1件の技術開発を実施しています。

図22 ● 「バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業」の概要

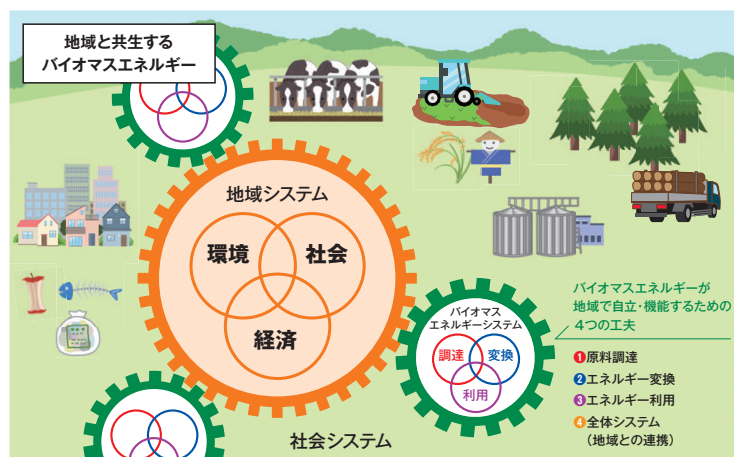


図23 ● バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針



[https://www.nedo.go.jp/library/biomass\\_shishin.html](https://www.nedo.go.jp/library/biomass_shishin.html)

## 最近10年の主なプロジェクト &gt;&gt; 燃料

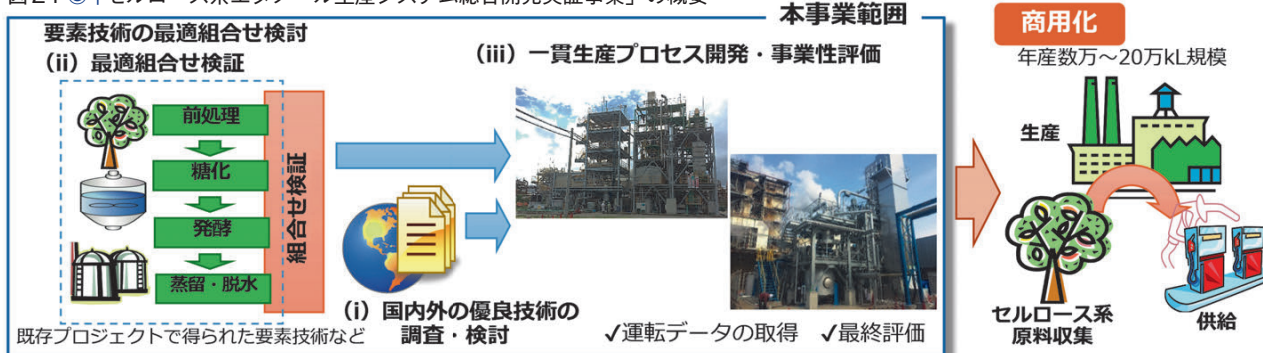
## ❖ セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業

[2014～2019年度]

海外のエタノール価格と競合できる生産コストで、数万～20万kL/年のエタノール生産を実現することを目標としました。木質系バイオマス、廃パルプ、廃菌床などのセルロース系バイオマス原料からエタノールの製造に至る一貫生産システ

ムとして、酵素回収による並行複発酵プロセス、水蒸気爆砕法と糖化発酵法によるプロセスの開発を行い、化石エネルギー収支2.0以上、GHG削減効果50%を達成しました。

図24 ●「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業」の概要

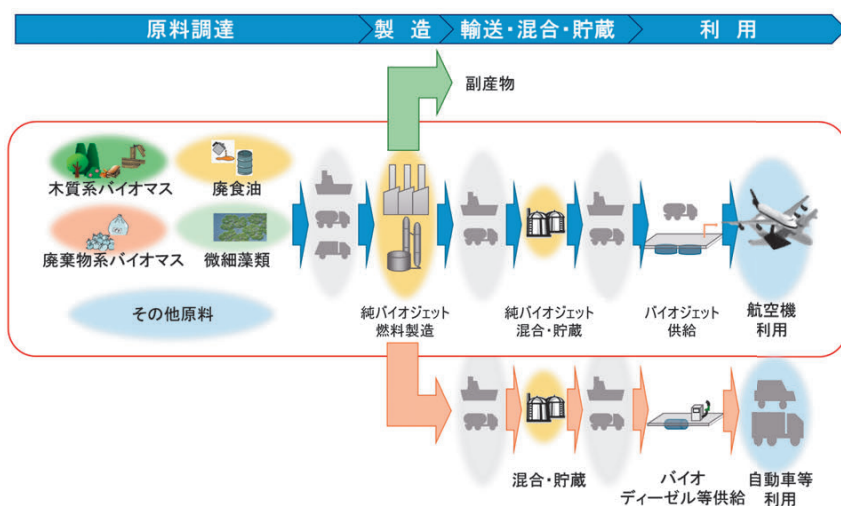


### ❖ バイオジェット燃料生産技術開発事業 [2017～2024年度]

将来的に拡大が予想される航空需要を背景に、国際民間航空機関 (ICAO) は長期的な低炭素化目標を策定し、その達成にはバイオジェット燃料の導入が不可欠としています。NEDOはバイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに実用化するため、ガス化・FT合成技術<sup>注4)</sup>や微細藻類培養技術、アルコールからジェット燃料を製造するAlcohol to JET技術などによるバイオジェット燃料製造技術開発を進めています。国際的な純バイオジェット燃料規格ASTM D7566に適合する燃料製造のプロセスを確立するとともに、原料調達や製品供給を含めたサプライチェーンの構築も視野に入れた実証を経て、社会実装を図っていきます。

注4) バイオマス由来の合成ガス（一酸化炭素と水素の混合ガス）から軽油などの石油代替燃料、アルコール、オレフィンといった基礎化学品を合成する触媒反応のこと。この場合は、バイオジェット燃料を合成

図25 ● 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築



現状と課題

### 地域との共生、そして空へ

2030年度のエネルギー需要構造の見通し(エネルギーミックス)によれば、バイオマス発電は総発電電力量1兆650億kWhのうち、3.7～4.6%(394億～490億

kWh)の寄与が期待されており、設備容量として602万～728万kWの導入が目標となっています。FIT制度で認定された設備がすべて稼働すれば目標達成は十分に可能ですが、再生可能エネルギー大量導入時代の調整力としても期待されるバイオマス発電を、買い取り期間終了後も健全に事業継続させていく必要があります。そのためには、発電コストの大部分を占める原料調達を含めて、システム全体を最適化していく努力が欠かせません。また、2018年に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」の中で、木質バイオマス発電と熱利用は、日本の貴重な森林を整備し、林業を活性化する役割を担うだけでなく、地域分散型、地産地消型のエネルギー源としての役割を果たすものと位置付けられています。そのため、低コスト化・高効率化や多様な用途の開拓に資する研究開発などを重点的に推進していく必要性が高まっています。

バイオジェット燃料製造技術は、経済産業省が2014年にとりまとめた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、2030年頃の実用化を目標とする技術として位置づけられました。また、「科学技術イノベーション総合戦略2016」においても、バイオジェット燃料の研究開発は「重きを置くべき取組」として位置づけられ、2050年に向けた長期的視野に立って開発を推進していくことが重要です。さらに「第5次エネルギー基本計画」では、2050年までの温室効果ガス(GHG)80%削減の目標、エネルギー転換・脱炭素化への挑戦が掲げられたこととともに、CO<sub>2</sub>を炭素資源(カーボン)と捉える「カーボンリサイクル」の実現に対応すべくカーボンリサイクル技術ロードマップが2019年に策定されました。その一環としてのバイオジェット燃料の製造技術開発を進めることも求められています。



#### 今後と展望

### 持続可能な循環型社会に貢献

バイオマスエネルギーは、電気、熱、燃料として幅広い用途があり、地産地消エネルギーとしても地域活性化への貢献が期待されます。その一方で、経済性の面ではまだまだ改善の余地が残されています。そのため、発電や熱利用については、導入補助や実証研究といった支援制度を継続しつつ、国内における導入普及を効果的に進めていく必要があります。

バイオジェット燃料については、航空機由来のGHG排出量の削減に向けて、世界の潮流を見越して製造技術の確立を目指しています。このように、大きな社会的意義や便益がありながらも、研究開発の成果が直ちに市場性と結び付かない公共性の高い事業については、今後もNEDOが主導的に関わっていくべき分野と考えています。市場の形成段階で地歩を固めていくには、副製品製造を組み合わせたカーボンリサイクル技術の確立なども視野に入ってきます。同時に、ライフサイクル全体でのGHG削減効果や供給安定性、食料競合の回避、生物多様性の保護といった持続可能性についても十分に配慮して導入・拡大を進めていくことも重要です。

## 地熱



歴史と背景

### 地球内部の熱エネルギーを積極利用

地熱発電は、今から100年以上も前の1913年にイタリア・ラルデレロで商業発電を開始し、日本でもオイルショック以前の1966年に岩手県の松川地熱発電所が稼働しました。世界的に見ても、イタリア、ニュージーランド、米国に次ぐ4番目の地熱プロジェクトでした。地熱資源は火山周辺などに限定される偏在性という特徴がありますが、近年、地熱資源を有する米国、インドネシア、トルコ、ニュージーランド、ケニア、アイスランドなどでの地熱開発には目覚ましいものがあります。2018年時点では、世界の地熱総発電容量は12.6GWで、最近では年間約270MWずつ増大しています。

NEDOは、1980年の設立当初から地熱事業に携わっており、地熱資源の調査として、「地熱開発促進調査」を実施しました。これは、1980～2010年度に全国の地熱資源が賦存すると推定される約70地域を対象にしました。こうした当時の事業の成果が多くの上業者に利用され、現在、新規地熱発電所の立地に大いに貢献しています。

また、これらの地熱資源調査に加え、技術開発事業においても1980～2002年度に、「地熱探査技術等検証調査」や「熱水利用発電プラント等開発」を実施しました。地熱探査技術、地熱井掘削技術、貯留層評価・貯留層管理技術、地熱増産システム(EGS)技術、地上設備・発電システム技術などの研究開発により、地熱開発の導入・促進に貢献しました。

その後、NEDOは地熱開発において一定の役割を果たしたとみて、開発事業を休止していました。しかし、2012年の再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT制度)の施行を機に、再びNEDOへの期待が高まり、2013年度から開発事業を再開しました。

### 最近10年の主なプロジェクト

#### ❖ 地熱発電技術研究開発 [2013～2020年度]

地熱発電の利用促進を図ることを目指し、研究開発項目は「高効率発電システム」「小規模バイナリー発電システム」「環境保全対策」「酸性熱水対策」「IoT-AI適用技術」の5つから構成されます。このうち、環境保全対策技術では、環境影響評価で重要な課題となる冷却塔から蒸気とともに排出される硫化水素の拡散モデルを開発し、従来実施されている風洞実験による予測手法よりも費用と期間をそれぞれ半減するという成果を得られました。既に実際の環境影響評価手続きでも3地域に適用され、今後も多くの事業での適用が期待されます。

#### ❖ 超臨界地熱発電技術研究開発 [2018～2020年度]

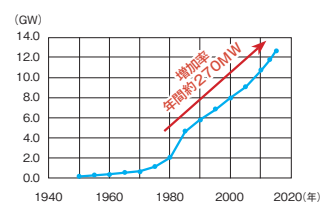
従来の開発深度よりも深部の高温度領域をターゲットとすることで、生産量を増大しようとする試みがいくつかの国で着手されています。既にアイスランドでは、2本の

図26 ● 松川地熱発電所(岩手県)



出典：JOGMEC

図27 ● 地熱発電設備容量の推移



出典：IGAウェブサイト

図28 ● 「地熱探査技術等検証調査」の成果(秋田県澄川地域での長期噴出試験、蒸気流量 194t/h を記録)

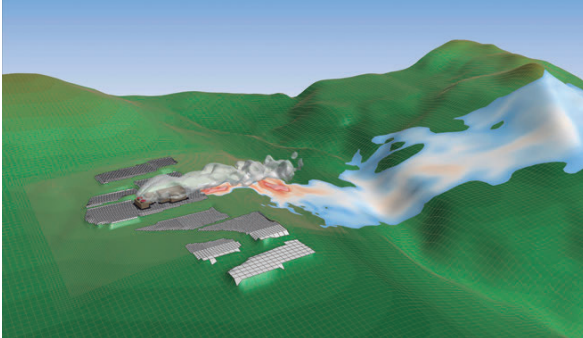


出典：三菱マテリアル

調査井を掘削し、そのうちの1本では噴気試験にも成功し、同技術の早期実用化の期待がもたれています。こうした動向を受け、NEDOでも2017年度から同技術の実現可能性調査に着手しました。現在、超臨界地熱資源の賦存状況を把握するためモデルフィールドを5地域選定し、資源量評価などの検討を実施しています。

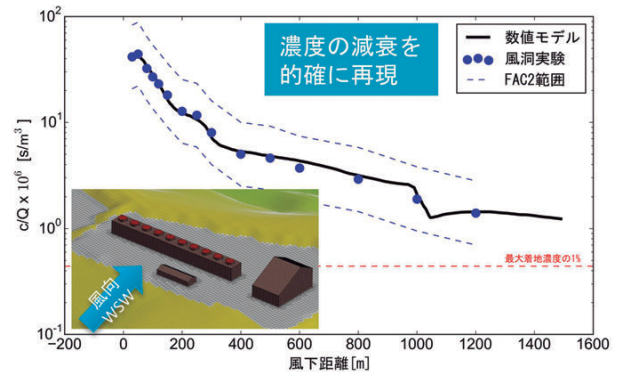
図29 ● 硫化水素拡散予測モデルの概要

①数値モデルによる拡散予測計算のイメージ



出典：電力中央研究所

②数値モデル結果と風洞実験結果の比較（濃度分布）



## ！ 現状と課題

### 2021年度以降の技術戦略を策定

地熱資源は、火山国である日本には豊富に存在する純国産エネルギーであり、発電だけではなく熱の多段階利用も可能であるという長所があります。しかし、開発リードタイムが長く、温泉地や自然公園内での開発において合意形成に時間を要するといった課題があり、その普及が遅れているのが現状です。

こうした状況の中で、2019年には国内では23年ぶりに秋田県で10MW以上の大規模発電所である山葵沢地熱発電所が運転開始するなど、少しずつ新規開発の動きもみられます。

一方、COP21（パリ協定の採択）以降、GHG削減に対する各国への要求レベルは高くなっています。その対応として「革新的環境イノベーション戦略」（内閣府、2020年1月統合イノベーション戦略推進会議決定）では、GHG排出量を削減するポテンシャル・インパクトが大きい有望な革新的技術として、エネルギー供給を含む5分野からなる16の技術課題と39テーマが抽出され、その中に「超臨界地熱発電の実現」が選定されました。

こうした動向を反映し、NEDOは2021年度以降の地熱技術戦略を立案しました。この中で、現状の課題を考慮し、地熱発電の導入拡大を図る上で重要となる技術開発目標としては、「資源量増大」、「発電原価低減化」、そして「環境・地域共生」の3つに集約されるとともに、長期的には次世代へ向けた取り組み（CO<sub>2</sub>対策、水素製造など）や日本で培った技術の海外展開も課題となることが整理されました。

## ▶ 今後と展望

### 超臨界地熱資源開発へ向けた着実な前進

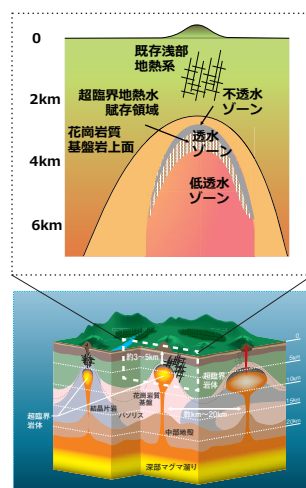
「第5次エネルギー基本計画」（2018年7月閣議決定）において、再生可能エネルギーの主力電源化と、それに向けた発電原価の低減化が求められています。その

中で、電源別の特性に応じて、大規模開発により価格競争が可能な電源と、価格競争は困難であるものの地域共生に適した電源に分けた議論が、政府で進められています。一方、日本は地震や火山、台風・豪雨といった自然災害に遭遇する機会が多く、最近では災害対応といったレジリエンスの確保も必要となる中、分散型電源・地産地消電源の重要性も求められる状況になっています。

超臨界地熱資源の開発は、大規模開発の経済的優位性や政府によるイノベーション戦略、そしてNEDO地熱技術戦略にいずれも整合する技術開発であり、期待が大きくなっています。今後、同資源賦存可能性の高い地域での調査井掘削・噴気試験による具体的な資源量評価を実施することが喫緊の課題となります。

地熱という地下に膨大に賦存するエネルギーの利用を地道に進めていくことが日本に適したエネルギー政策の一つであり、次世代以降、末永く利用していく必要があると考えます。

図30 ● 超臨界地熱資源システムの概念図



## 再生地熱利用

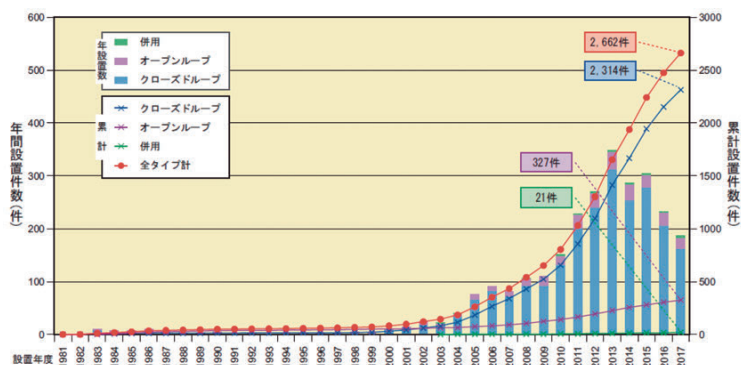
### 歴史と背景 「再生可能エネルギー熱」の定義と必要性

「再生可能エネルギー熱(再エネ熱)」とは、太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱などの自然由来の熱を指します。その活用を進めることで、省エネルギーや脱炭素化など持続可能なエネルギー社会の実現に貢献する重要な役割を担っています。本来、「熱エネルギー」から熱を直接利用することは極めて効率が良いことから、今後の利用拡大が大いに期待されています。

再エネ熱の有効性が再認識されたのは2014年、「第4次エネルギー基本計画」に具体的に明記されたことにあります。NEDOはこの年から再エネ熱全般に関する初の技術開発プロジェクトを開始しました。

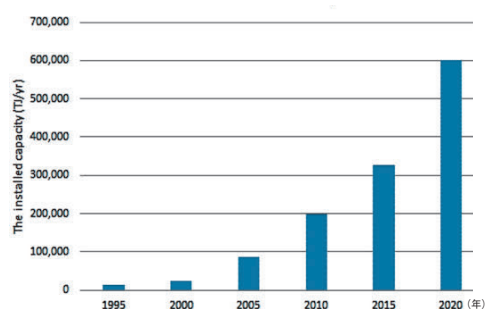
過去には太陽熱の住宅用給湯利用が1980年頃まで増加し、年間最大80万件の導入を記録しました。原油などの価格低下が続いたことで、その導入件数が次第に減少し、近年の太陽熱利用は年間2.5万件程度を維持している状況です。これに対して、地中熱は安定的な熱源として注目され、2000年頃より右肩上がりに増

図31 ● 国内における地中熱利用ヒートポンプシステムの導入件数



出典：NPO 地中熱利用促進協会 (2019) 平成30年度環境省地中熱利用状況調査業務報告書

図32 ● 世界の地中熱利用ヒートポンプエネルギー利用量(1995～2020年)



出典：John W. Lund, Aniko N. Toth (2020) Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review を基に作成

加を続け、2017年度時点では地中熱利用ヒートポンプシステムの導入件数が累計2,662件になっています。

他方、世界の潮流はCO<sub>2</sub>排出量削減問題を背景に、再エネ熱利用が増加の一途をたどっています。国際エネルギー機関(IEA)の調査報告書によると、2016年に再生可能エネルギーで最も多く利用されているのが風力で、それに太陽熱利用が続いており、2018年までの累計導入量は480GWth(IEA SHC, (2019) Solar Heat Worldwide)にも上ることが報告されています。また、地中熱利用は再生可能エネルギーとしてその有用性が注目され、導入量は2020年時点で年間約60,000TJ(12kWtヒートポンプ換算で646万台)であり、2015年比で約1.9倍と増加し続けています。

### 最近10年の主なプロジェクト

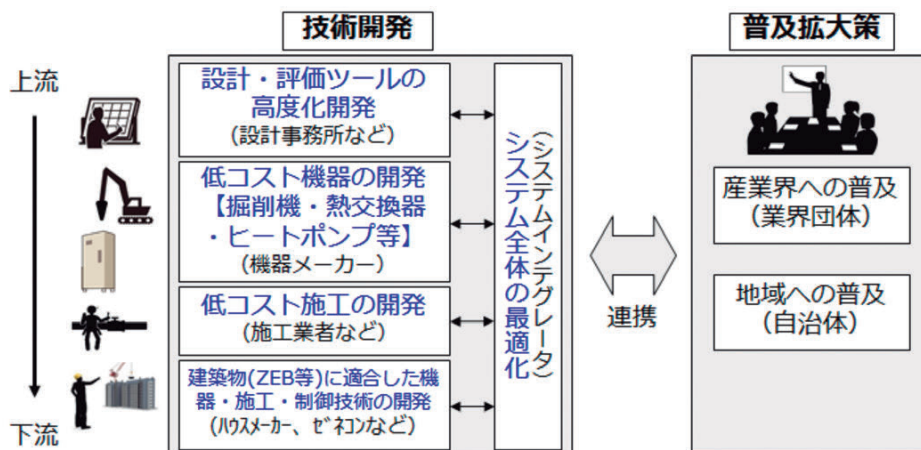
#### ❖ 再生可能エネルギー熱利用技術開発 [2014~2018年度]

新しい技術特有の課題であるコスト低減を定量的な目標として位置付け、国内での導入が進む地中熱を中心に、掘削技術や高効率機器をはじめとした要素技術や、それらを組み合わせたトータルシステムの高効率化、さらにはシミュレーションツールやポテンシャル評価技術を開発し、実用化を目指しました。全20テーマのうち、地中熱が15件、太陽熱が2件、温泉熱、雪氷熱、バイオマス熱が各1件と多岐にわたる熱利用技術開発プロジェクトで、目標値の導入コスト・運用コストの20%低減に向けて一定の成果を上げ、実用化の見込みをつけました。

#### ❖ 再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発 [2019~2023年度]

実用化技術の確立や、より一層のコスト低減を図るため自立的な再エネ熱の普及拡大を目的とした技術開発を実施しています。本プロジェクトではシステムの導入に関わる上流から下流までのプレーヤーがコンソーシアムを組み、一体となって技術開発に取り組むもので、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)などへの適用も視野に入れた事業を推進しています。また、システム設計の最適化に必要な設計ツールや、熱物性推定評価技術などの共通基盤技術開発にも取り組んでいます。

図33 ● 「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」の実施体制イメージ





## 現状と課題

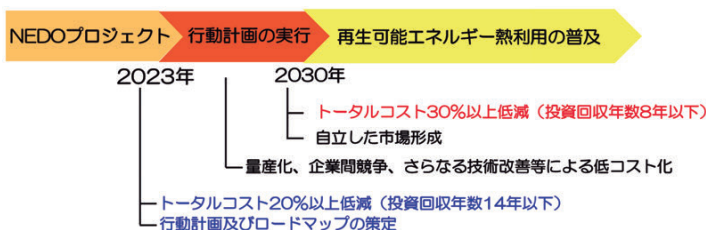
## ロードマップ策定とさらなる普及へ

再エネ熱利用の有用性が再確認されているものの、その普及が進まない理由としては、導入コストが高いことや専門人材の不足、認知度不足などがあります。そのため、NEDOプロジェクト「再生可能エネルギー熱利用技術開発」では、コスト低減を目的に数値目標を具体的に設定して技術開発を行い、同事業を通じた人材育成や成果発表などにより認知度の向上にも努めてきました。その成果は地中熱や雪氷熱において徐々にビジネスへとつながっています。

また、進行中のプロジェクト「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」では、ZEBなどの出口イメージを明確にした技術開発を進めています。これにより、上流から下流までの全関係者はもちろん、自治体をはじめとした需要者などを関与させることによって、普及拡大につなげる狙いがあります。

さらにNEDOは、本分野で政策的な支援を行う関係省庁や自治体、関係団体との連携をこれまで以上に緊密にする考えです。それと共に、世界的潮流である熱利用の普及拡大策や地域振興策への寄与も含め、研究開発課題として具体化していく必要があり、再エネ熱のロードマップ策定に取り組んでいく予定です。

図34 ● NEDOプロジェクト終了後 2030年までの道のり



## 今後と展望

## 適用拡大とユーザーニーズのマッチング

「第5次エネルギー基本計画」では、「熱利用を中心とした非電力での用途が過半数を占めており、再エネ熱を効果的に活用していくことがエネルギー需給構造を効率化する上で効果的な取り組みである」としています。また、「長期エネルギー需給見通し」(経済産業省、2015年)では、「再エネ熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取組を推進すること」として、2030年度の熱利用の導入見通し目標値(1,341万kL)を掲げています。

これらの政策方針は地球環境問題を解決し、持続可能かつ安定的なエネルギー供給社会を実現していくため、熱利用の普及拡大を促進することを意味しています。そのためには、施策の拡大や関係者の連携はもちろんのこと、具体策を講じていくことが重要です。

研究開発プロジェクトが、再エネ熱の起爆剤となるよう全力で取り組んでいくことがNEDOの役割であると考えています。熱源規模や地理的条件などを踏まえた多熱源での広域利用やネットワーク化のための技術開発、デジタル化社会の中での電力と熱利用の併用などに寄与する研究開発など、地域の特性やニーズを満たした再エネ熱の在り方を探るべき時期に来ていると考えています。