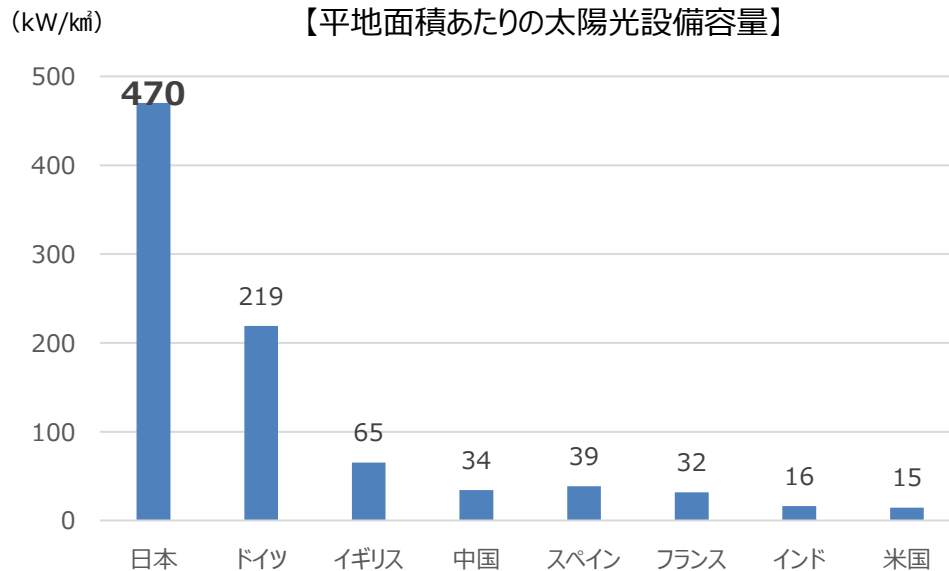


(参考資料) 次世代再エネ
(次世代型太陽電池、浮体式等洋上風力、
次世代型地熱)

次世代型太陽電池を開発する必要性

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、太陽光の導入を拡大するためには、立地制約の克服が鍵。
- 日本は既に平地面積あたりの導入量は主要国で1位であるが、地域と共生しながら、安価に事業が実施できる太陽光発電の適地が不足しているという声があがっている。
- 既存の技術では設置が困難だった場所（耐荷重の小さい工場の屋根、ビル壁面等）にも導入を進めるため、軽量・柔軟等の特徴を兼ね備え、性能面（変換効率や耐久性等）でも既存電池に匹敵する次世代型太陽電池の開発が不可欠。



ビル壁面等に太陽光パネルを設置するイメージ



出所：大成建設（株）

（出所）外務省HP (<https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/index.html>)、

Global Forest Resources Assessment 2020

(<http://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf>)

IEA Market Report Series - Renewables 2020（各国2019年度時点の発電量）、総合エネルギー統計（2020年度確報値）、FIT認定量等より作成

ペロブスカイト太陽電池の特徴

■ ペロブスカイト太陽電池は、既存の太陽電池と異なり、

① **少ない製造工程**で製造が可能（**製造コスト↓**）

② プラスチック等の軽量基板の利用が容易であり**軽量性や柔軟性を確保しやすい**。

③ 主要な材料であるヨウ素の生産量は、**日本が世界シェア30%（世界2位）**を占めている。
といった特徴を有し、**シリコン系太陽電池以外で実用化が可能な技術として期待**される。

日本における主な取組状況

<積水化学工業（株）>

ビルの壁面や耐荷重の小さい屋根などへの設置が可能な軽量で、柔軟なフィルム型太陽電池を開発。

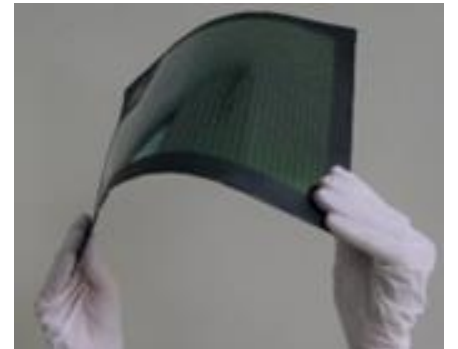
出所：積水化学工業（株）



<（株）東芝>

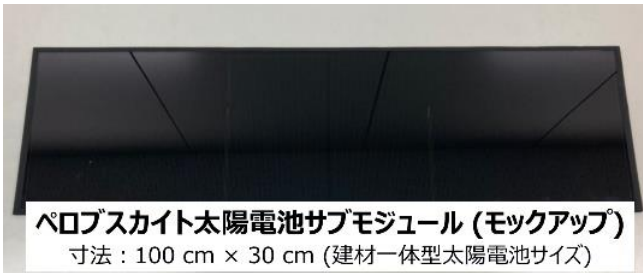
メニスカス塗布法を用いて、フィルム型の太陽電池を作製。
エネルギー変換効率の向上と生産プロセスの高速化の両立を目指す。

出所：（株）東芝



<（株）カネカ>

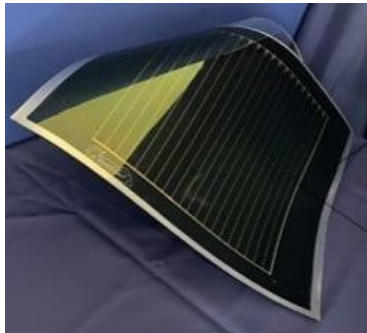
建材一体型への展開を目指し、既存のシリコン太陽電池製造技術を活用した技術開発。



ペロブスカイト太陽電池サブモジュール（モックアップ）
寸法：100 cm × 30 cm（建材一体型太陽電池サイズ）

出所：（株）カネカ

<（株）エネコートテクノロジーズ>

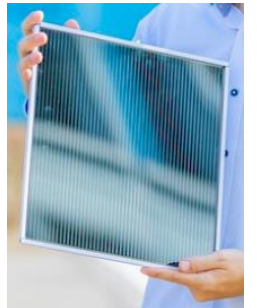


出所：（株）エネコートテクノロジーズ

京大発ベンチャーIoT機器、建物などへの展開も念頭に太陽電池を開発。

<（株）アイシン>

ペロブスカイト材料を均一に塗布するスプレー工法の技術を開発。



出所：（株）アイシン

諸外国におけるペロブスカイト太陽電池の開発動向

- 中国では、**2015年頃からペロブスカイト太陽電池関連のスタートアップ企業が複数設立**。多数の企業や大学が中国国内での特許取得を進めていると見られ、**研究開発競争は激化**。**Dazheng**や**GCLPerovskite**などをはじめとして、**量産に向けた動き**が見られる状況。
- 英国では、オックスフォード大学発スタートアップの**オックスフォードPV**は、**タンデム型（複数種を組み合わせた電池）太陽電池技術**の商品化・量産化・製造プロセスの開発に注力しており、**2025年前後の大量生産**を目指している。
- ポーランドのスタートアップ企業である**サウレ・テクノロジーズ**は、**屋内向けの電子商品タグ等**のペロブスカイト太陽電池の開発を進めており、**2023年内の商用化を計画**するとともに、**壁面を用いた実証の取組を開始**。

<中国・DaZheng Micro-Nano Technologies（大正微納科技有限公司）>

- 2012年から研究開発に着手。2020年にペロブスカイト太陽電池で**21%の変換効率**を実現（3mm角程度のセル）と発表。
- **2023年7月14日に100MW級の生産ライン構築に向けた調印式を開催**。ただし、**モジュールの性能（特に耐久性）については不明**。

<中国・GCL Perovskite>

- 太陽光パネルメーカー大手のGCLを親会社に持つ2019年創業のスタートアップ企業。
- **発電効率16%以上を達成し、2024年には、生産ライン整備に100億円を投資し、量産に向けた体制構築を進める**ことを計画中。

<英国・オックスフォードPV>

- 2023年に**ペロブスカイト・シリコンのタンデム型で28.6%の変換効率**を実現（160mm角のセル）。
- タンデム型が中心であり、住宅・発電事業用などがターゲット。**2025年前後の大量生産**を目指す。



<ポーランド・サウレ・テクノロジーズ>

- **スーパーなどで用いられる電子値札**について、**パイロットラインで量産化**を進めている。
- **2023年内に少量から商用化**を行う計画。
- この他、**オフィスの壁面**を用いて、**52枚のペロブスカイト太陽電池モジュール（1.3m×0.9m²）規模での実証**の取組を実施。



この他、UtmoLight（中国）、Microquanta（中国）、CATL（中国）、Meyer Burger（スイス）、Caelux Corporation（米国）など、各国の多数の企業で研究開発が進められている。

（出所）各社HP、公表情報及び委託調査による

日本におけるペロブスカイト太陽電池の研究開発状況

- ペロブスカイト太陽電池は、ヨーロッパや中国を中心に技術開発競争が激化している状況にあるが、日本は世界最高水準に位置し、特に製品化のカギとなる大型化や耐久性の分野でリードしている状況。
- 例えば、積水化学工業は、現在、**30cm幅**のペロブスカイト太陽電池のロールtoロールでの連続生産が可能となっており、耐久性10年相当、発電効率15%の製造に成功。既に建物壁面への実装工事も行われるなど、実証の取組も進捗が見られており、**11月15日には、世界初となる1 MW超の建物壁面への導入計画が公表**された※。
※なお、現行のシリコン系太陽光パネルは出力保証20～25年、発電効率20%程度が一般的
- 今後、**1 m幅での量産化技術**を確立させ、**2025年の事業化**を目指している。



ロールtoロールによる製造

出所：積水化学工業（株）HP



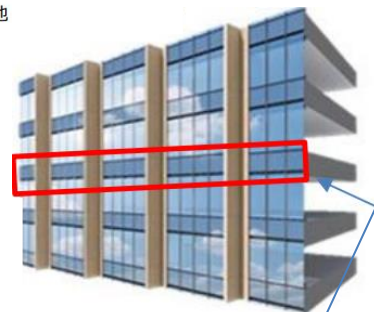
建物壁面への実装工事の様子

出所：積水化学工業（株）HP

内幸町一丁目街区南地区第一種市街地再開発事業 世界初 フィルム型ペロブスカイト太陽電池による 高層ビルでのメガソーラー発電を計画

第一生命保険、中央日本土地建物、東京センチュリー、
東京電力P.G、東電不動産、東京電力HD

内幸町一丁目街区南地区第一種市街地
再開発事業完成イメージ



スパンドレル部（※）外壁面内部

（※）本計画では、ビルの各階の床と天井
の間に位置する防火区画に位置する外壁面

1 MW導入計画プレスリリース

出所：中央日本土地建物グループ・東京電力HD HPより一部加工

次世代太陽電池の早期社会実装に向けた今後の政策の方向性

第56回再エネ大量導入・次世代電力NW小委員会（2023年11月7日）資料2より抜粋・一部加工

- 次世代太陽電池については、中国や欧州など諸外国でも研究開発競争が激化している状況にあり、諸外国に先駆け、早期の社会実装が必要。
- 早期の社会実装に向けては、量産技術の確立、生産体制整備、需要の創出に三位一体で取り組んで行く。
 - ① 引き続き低コスト化に向けた技術開発や大規模実証を支援し、社会実装を加速。
 - ② 2030年までの早期にGW級の量産体制を構築し、国内外市場を獲得。
 - ③ 次世代型太陽電池の導入目標の策定を通じて、官民での需要を喚起するとともに、予見性を持った生産体制整備を後押し。

量産技術の確立

【GI基金によるR&D・社会実装加速】

- 「次世代型太陽電池の開発プロジェクト」（498億円）を通じて、2030年の社会実装を目指す。
- 本年8月、WGを開催し、支援の拡充（498億円→648億円）について合意。
- 技術開発に加えて、導入が期待される様々なシチュエーションにおけるフィールド実証を行うべく、今年度中に、③次世代型太陽電池実証事業を公募開始予定。

生産体制整備

【サプライチェーン構築】

- 2030年までの早期にGW級の量産体制構築に取り組む。
- 令和6年度予算案として、GXサプライチェーン構築支援事業（R6年度548億円（国庫債務負担行為含め総額4,212億円））を計上。
- Tier1に限らず、Tier2以下も含めたサプライチェーン全体に対する生産体制整備支援を実施することで、高い産業競争力を有する形での国内製造サプライチェーンの確立を目指す。

需要の創出

【需要創出に向けて想定される取組】

- 導入目標の策定（特に公共施設は先行検討）
- FIT・FIP制度における導入促進策や大量生産等による価格低減目標を前提とした需要支援策などの検討
- 太陽電池の製造からリサイクル・廃棄までを見据えたビジネスモデルの普及・制度設計やルール作り
- 諸外国とも連携した耐久性などの評価手法等の国際標準化
- アジア、欧米など、有志国と連携した海外市場獲得

(参考) 次世代型太陽電池の早期社会実装に向けた追加的取組 (国費負担額 (見直後) : 上限648億円)

※「次世代型太陽電池の開発」プロジェクトの拡充

(見直前) : 上限498億円

令和5年8月31日 第6回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 グリーン電力の普及促進分野ワーキンググループ 資料を一部加工

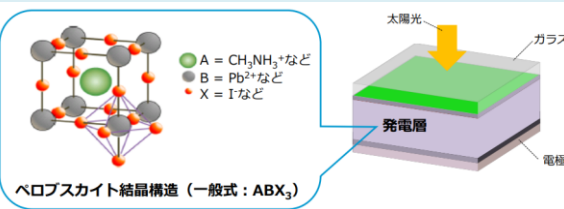
- 次世代型太陽電池のペロブスカイト太陽電池は、軽量、柔軟といった特徴を有することから、これまで設置が困難であった場所にも設置を可能とするとともに、主な原料であるヨウ素は、日本が世界シェアの30%を占めるなど、強靱なエネルギー供給構造の実現にもつながる次世代技術。
- こうしたことから、グリーンイノベーション基金において、「次世代型太陽電池の開発プロジェクト」(498億円)を立ち上げ、2030年の社会実装を目指している(目標: 2030年度までに、一定条件下での発電コスト14円/kWh以下)。
- これまでの支援を通じて、例えば、積水化学工業(株)は発電効率15%&耐久性10年相当を達成するなど、研究開発の成果が実りつつある一方、中国や欧州をはじめとして、諸外国との競争が激化する状況にある中、我が国が競争を勝ち抜くためには、支援の拡充を通じて、2030年を待たずして社会実装を実現することが必要。

研究開発内容の拡充

【研究開発内容①】

次世代型太陽電池基盤技術開発事業

- ・変換効率と耐久性の向上に向け、最適な材料を探索し、分析評価技術を開発。
- ・実際に事業化される大型モジュールに対応したデバイスの欠陥評価や特性・耐久性に深く関与する組成分布の分析などの基盤技術の拡充等を行い、企業の開発・実証と連携を前提に、フェーズ3の最終年度を念頭に、期間を最大5年間延長。



【研究開発内容②】

次世代型太陽電池実用化事業

- ・製品レベルの大型化を実現するための各製造プロセスの個別要素技術の確立に向けた研究開発を実施。
- ・製造技術の確立と合わせて、テスト的に実証を行い、その結果を性能向上等にフィードバックすることを通じて発電コストの向上に取り組むべく、拡充。



2023年度以降公募予定

【研究開発内容③】

次世代型太陽電池実証事業

- ・安定した品質かつ大量生産可能な量産技術の確立と設置方法・施工方法等を含めた性能検証のため、引き続き製造プロセスの個別要素技術の改善に取り組むとともに、導入が期待される様々なシチュエーションにおけるフィールド実証を行うべく、拡充。

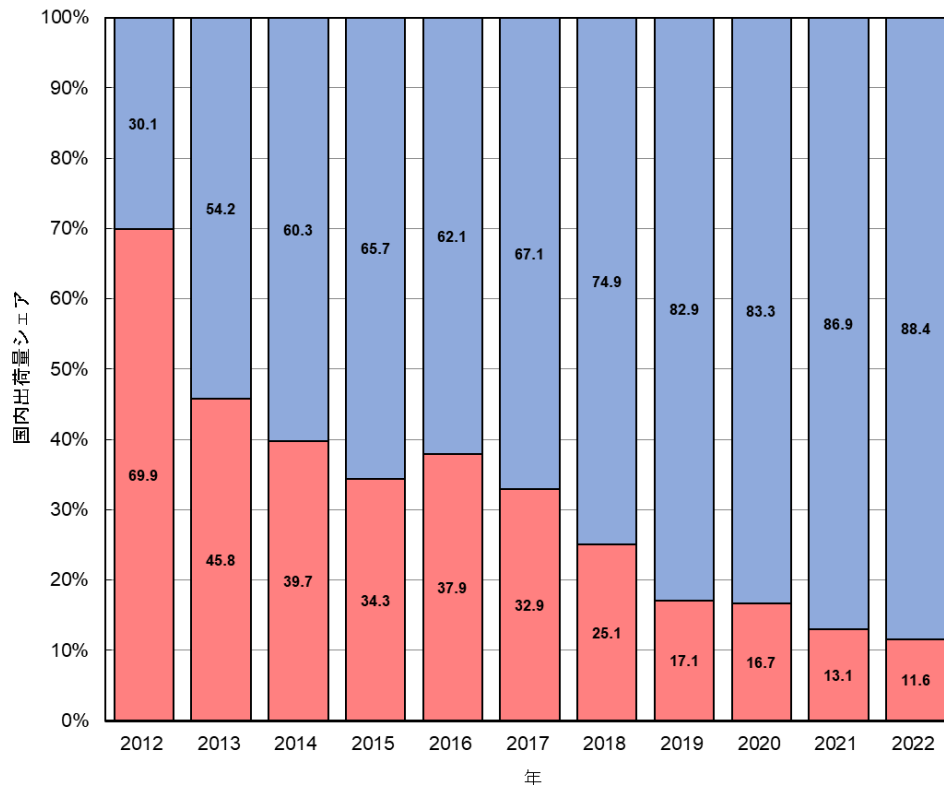


出典) 大成建設(株)

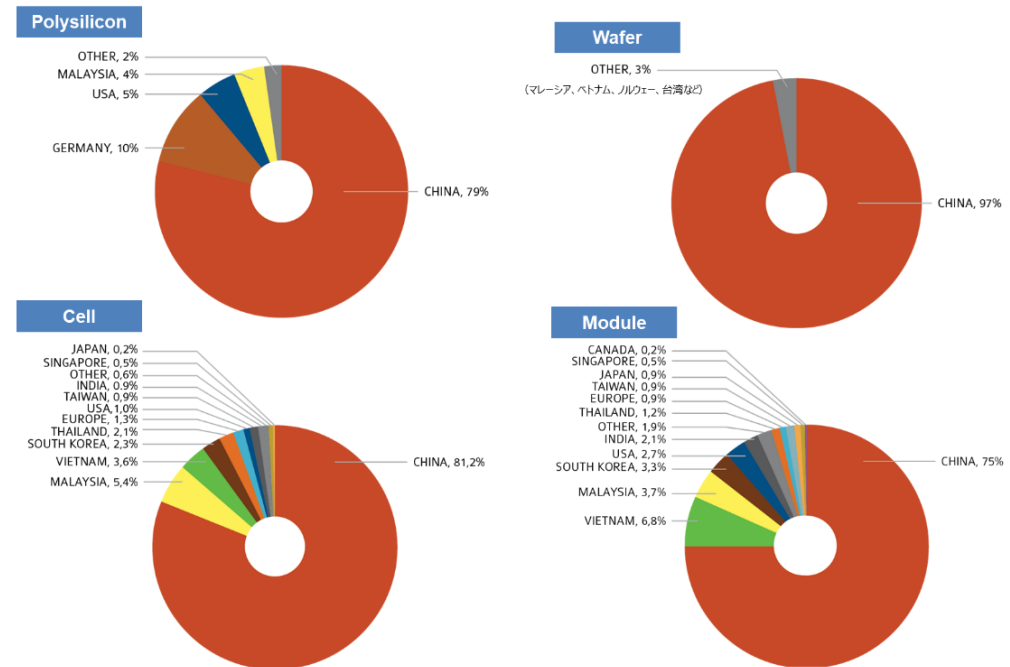
(参考) 太陽光パネルの日本企業のシェアの変遷

- 太陽光パネルの世界市場は、欧州や中国等での導入が加速化し、海外市場が猛烈なスピードで急拡大する中で、市場の拡大を見通した設備投資の不足や厳しい価格競争により、日本企業はシェアを落とした。

日本国内出荷量シェアの推移



シリコン系太陽電池のサプライチェーンのシェア



出所 IEA (2022), Trends in PV Applications 2022, IEA PVPS, Paris https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2022

凡例 赤棒：国内生産／国内出荷量
青棒：海外生産／国内出荷量

(出所) (一社) 太陽光発電協会 出荷統計

出所 IEA (2022), Trends in PV Applications 2022, IEA PVPS, Paris https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2022

(参考資料) 次世代再生エネ

**(次世代型太陽電池、浮体式等洋上風力、
次世代型地熱)**

洋上風力発電導入の意義

- 洋上風力発電は、①導入拡大の可能性、②コスト競争力のある電源、③経済波及効果が期待される。
- 同時に、①導入に当たり、防衛レーダーとの干渉や漁業との共生が不可欠。また、②昨今のインフレを背景に、米国や英国では入札参加事業者の撤退も発生。加えて、③高い経済波及効果が期待される一方、大型風車メーカーが国内に存在しないといった課題がある。
- エネルギー政策と産業政策の両面から洋上風力に係る取組を推進していくことが必要。

①導入拡大の可能性

- 欧州を中心に世界で導入が拡大
- 四方を海に囲まれた日本でも、北海周辺とは地形や風況が異なるものの、今後導入拡大が期待されている。

洋上風力発電の各国政府目標

地域／国	目標（2023年時点）	
EU	60GW	(2030年)
	300GW	(2050年)
ドイツ	30GW	(2030年)
	70GW	(2050年)
アメリカ	30GW	(2030年)
	50GW	(2040年)
中国	112GW	(2040年)
台湾	5.6GW	(2025年)
	40～50GW	(2050年)
韓国	12GW	(2030年)
	25GW	(2040年)

②コスト競争力のある電源

- 先行する欧州では、遠浅の北海を中心に、落札額が10円/kWhを切る事例や市場価格（補助金ゼロ）の事例等、コスト低減が進展。

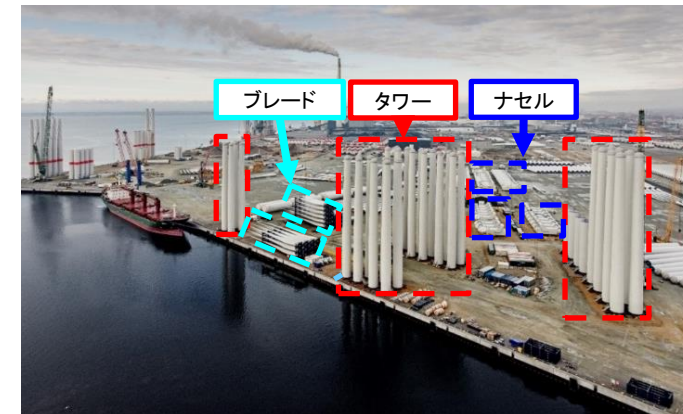
国	プロジェクト名	価格 (€ = 131.4円 £ = 155円) ※2021年平均相場	運転開始年
オランダ	The Princess Amalia	200EUR/MWh (26円/kWh)	2008年
オランダ	Borssele III + IV	54.49EUR/MWh (7.1円/kWh)	2021年
オランダ	Hokkandse Kust Noord V	市場価格 (補助金ゼロ)	2023年
オランダ	Hollande Kust Zuid 3 & 4	市場価格 (補助金ゼロ)	2023年
イギリス	Sofia	44.99EUR/MWh (5.9円/kWh)	2024年
イギリス	Doggerbank Creyke Beck A	44.99EUR/MWh (5.9円/kWh)	2024年
フランス	Dunkirk	44 EUR/MWh (5.8円/kWh)	2026年
イギリス	Hornsea3,4	37.35ポンド/MWh (5.7円/kWh)	2027年

③経済波及効果

- 洋上風力発電設備は、部品数が多く（数万点）、また、事業規模も大きいことから、関連産業への波及効果が大きく、地域活性化にも寄与。

欧州の港湾都市の事例（デンマーク・エスビアウ港）

- ・建設・運転・保守等の地域との結びつきの強い産業も多いため、地域活性化に寄与。
- ・エスビアウ市では、企業誘致にも成功し、**約8,000人の雇用を創出。**



洋上風力政策の現状と今後の方向性

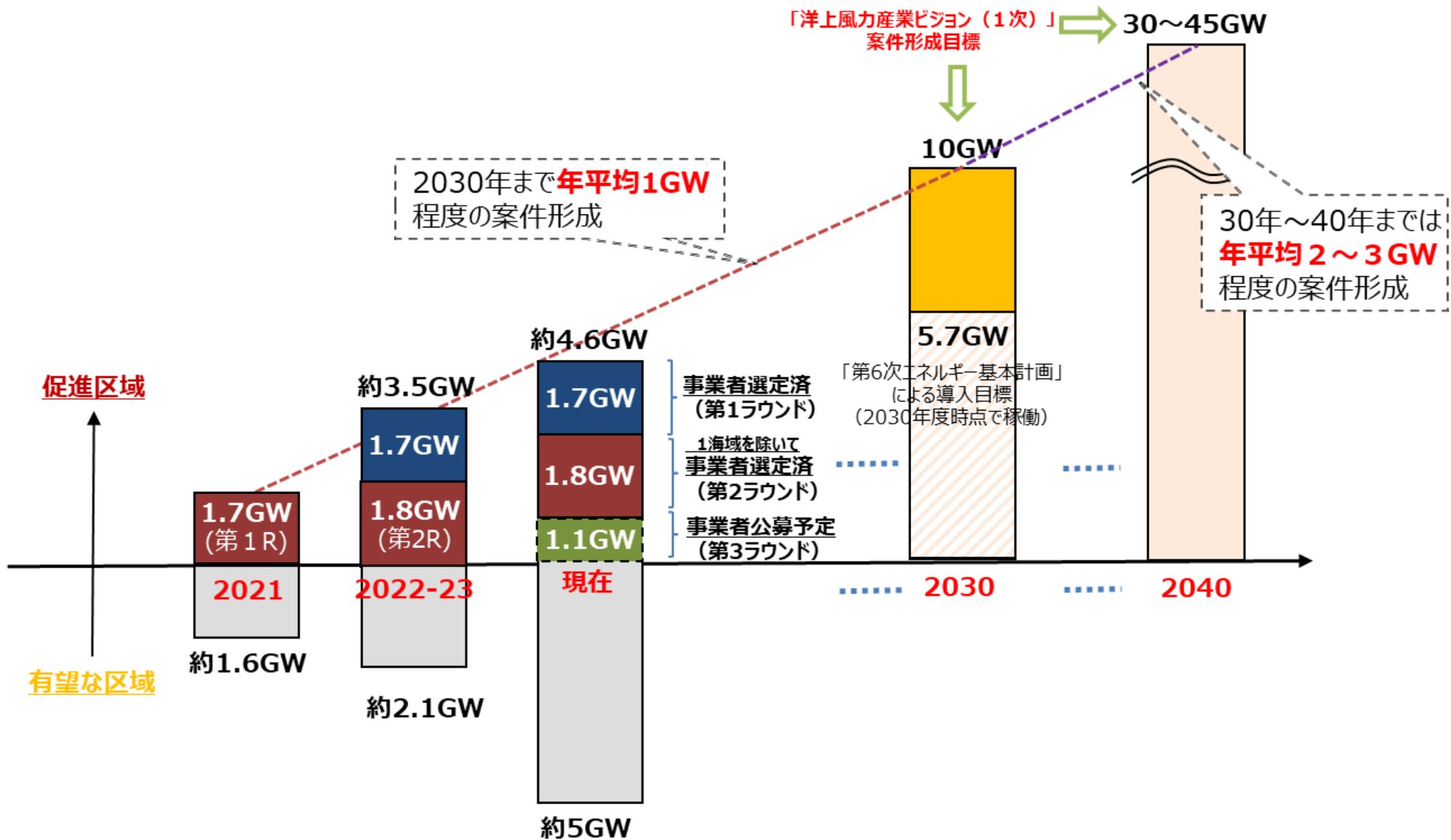
<現状>

- 「洋上風力産業ビジョン」（2020年、官民協議会）において、政府として2030年10GW、2040年30～45GWの案件形成、産業界として2040年までに国内調達比率60%の目標を設定。
- 現在、再エネ海域利用法に基づき、沿岸海域における着床式を中心に、年平均で1GWのペースで10箇所の促進区域を創出（合計4.6GW）。この他、港湾区域において、2023年1月に秋田港・能代港の洋上風力が運転開始、2023年末には石狩湾新港の洋上風力が運転開始予定。
- また、さらなる案件形成の加速化に向け、セントラル方式の一環として今年度からJOGMECが設備の基本設計に必要な風況や地質構造の調査を実施。
- こうした区域の創出に加えて、サプライチェーン補助金を呼び水に、国内における投資が進展。
例えば、
 - ✓ 第1ラウンド公募（秋田2区域、千葉1区域）に関して、風車のナセルを東芝京浜工場で製造・組立。永久磁石はTDKが生産。電気キャビネット等については、秋田県の地元企業の参画に向けたマッチングが進む。さらに、O&M（Operation（運用）& Maintenance（保守））は北拓が実施予定。
 - ✓ 石狩湾新港のプロジェクトでは、日鉄エンジニアリングによるジャケット基礎の建設に加え、清水建設のSEP船による施工等により、国内調達比率60%超を達成。
国内で生産できない主要部品は大型風車のブレードのみ。

<今後>

- 2040年目標の達成を見据え、着床式の案件の加速化に加え、沖合における浮体式に着手する必要。
 - ①浮体式に特化した導入目標を策定・公表し、国内外の投資を促進
 - ②EEZにおける洋上風力の導入に向けた具体的な制度措置等の検討
 - ③欧米等と連携した研究開発・調査を実施し、国際標準等を実現
 - ④風車メーカーを含むサプライチェーンの国内立地の促進に向けた大規模な設備投資を支援
 - ⑤必要なスキルを取得するための政策支援と併せて、地域における人材育成の拠点構築を支援

(参考) 目標達成に向けた案件形成状況について

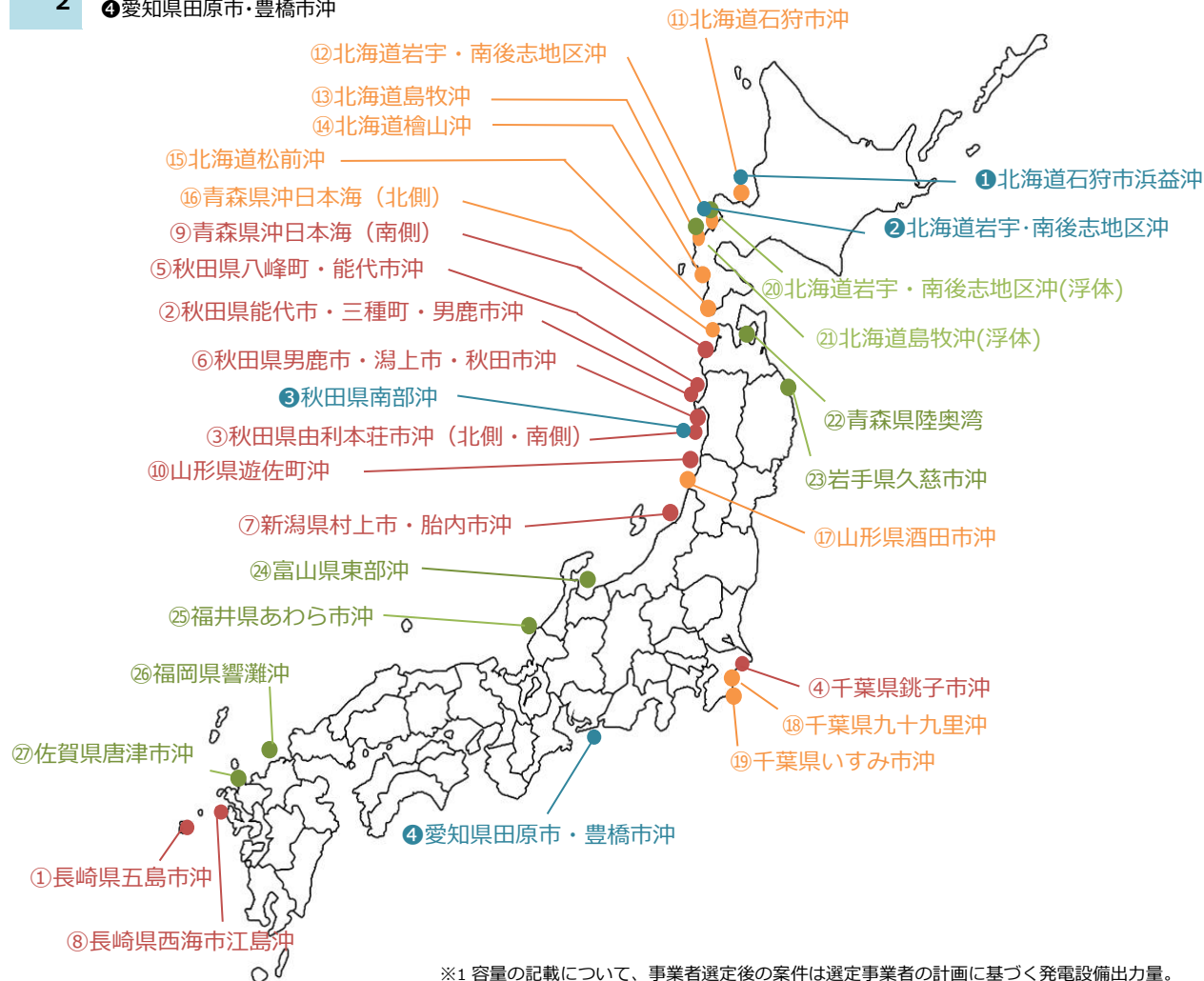


(参考) 再エネ海域利用法等における各地の区域の状況

区域名	万kW
事業者選定済	①長崎県五島市沖（浮体） 1.7
	②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖 49.4
	③秋田県由利本荘市沖 84.5
	④千葉県銚子市沖 40.3
促進区域	⑤秋田県八峰町能代市沖 36
	⑥秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖 31.5
	⑦新潟県村上市・胎内市沖 68.4
	⑧長崎県西海市江島沖 42
事業者選定済	⑨青森県沖日本海（南側） 60
	⑩山形県遊佐町沖 45
	⑪北海道石狩市沖 91～114
	⑫北海道岩宇・南後志地区沖 56～71
有望区域	⑬北海道島牧沖 44～56
	⑭北海道檜山沖 91～114
	⑮北海道松前沖 25～32
	⑯青森県沖日本海（北側） 30
準備区域	⑰山形県酒田市沖 50
	⑱千葉県九十九里沖 40
	⑲千葉県いすみ市沖 41
	⑳北海道岩宇・南後志地区沖(浮体) ㉔富山県東部沖(着床・浮体)
	㉕北海道島牧沖(浮体) ㉖福井県あわら沖
	㉗青森県陸奥湾 ㉘福岡県響灘沖
	㉙岩手県久慈市沖(浮体) ㉚佐賀県唐津市沖

浮体実証を行う候補海域	
フェーズ2	①北海道石狩市浜益沖
	②北海道岩宇・南後志地区沖
	③秋田県南部沖
	④愛知県田原市・豊橋市沖

【凡例】	
●促進区域	●一定の準備段階に進んでいる区域
●有望な区域	
●GIフェーズ2の候補海域	



※1 容量の記載について、事業者選定後の案件は選定事業者の計画に基づく発電設備出力量。それ以外は、系統確保容量又は調査事業で算定した当該区域において想定する出力規模。

「セントラル方式」の推進とJOGMECによる調査

- 洋上風力の案件形成における課題として、複数の事業者が同一海域で重複した調査を実施し非効率であるほか、それに伴い地元漁業における操業調整等の負担の増加が生じている。
 - これら弊害を解消するために、案件形成の初期段階から政府が主導的に関与し、より迅速・効率的に調査等を実施する仕組みとして、「セントラル方式」を確立すべく、必要な制度設計を進めている。
 - 「セントラル方式」の一環として、JOGMEC（独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構）が担い手となり、洋上風力発電事業の検討に必要な調査を実施。調査結果は事業者提供（令和5年度予算額36億円、令和6年度予算案額65億円）。
- ※JOGMECに当該調査業務を追加することを含む改正法を、2022年5月20日に公布。

「セントラル方式」における案件形成プロセスのイメージ



洋上風力サプライチェーンの全体像

- 風力発電機器は、風車製造のみならず、基礎製造やO&M（Operation（運用）& Maintenance（保守））
などを含めサプライチェーン全体で多くの関連部品等があり、その数は約3万点にのぼる。

洋上風力サプライチェーンのコスト構造（着床式の例）

調査 開発 2.9%	風車製造 23.8%	基礎製造 6.7%	電気系統 7.7%	設置 15.5%	O&M 36.2%	撤去 7.2%
------------------	---------------	--------------	--------------	-------------	--------------	------------

風車本体組立製造

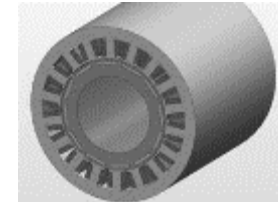
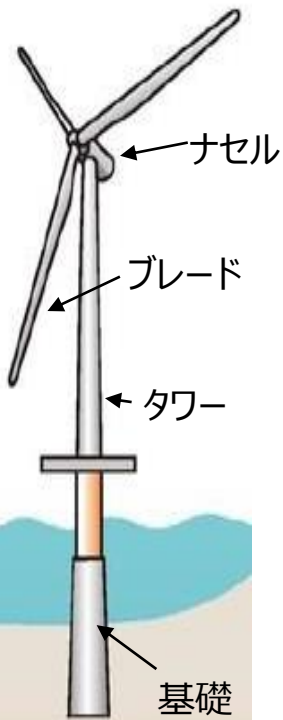
発電機

ベアリング

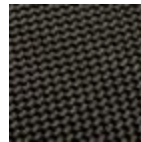
増速機

永久磁石

電力変換器



ブレード用



タワー



ケーブル



ボルト



浮体式
基礎

係留索

アンカー

着床式
基礎



浮体式
基礎



係留索



アンカー



高電圧
ダイナミックケーブル



洋上風力サプライチェーン構築に向けた動き

- 2021年から2022年にかけて、サプライチェーン補助金等の支援を実施。それを呼び水に、海外企業との協業や地元企業の活用を含め、日本に立地する鉄鋼産業、重電産業、機械産業等の競争力を活かした、基礎（モノパイル、ジャケット）、ナセルをはじめとする各種資機材等への国内における新たな設備投資が進んでいる。

□ 資機材等の国内生産の動き

事業者名	製品	事業実施場所
東芝エネルギーシステムズ(株)	風力発電設備部品（ナセル）	神奈川県
NTN(株)、(株)NTN宝達志水製作所	発電機等部品（軸受）	石川県
thyssenkrupp rothe erde Japan(株)	発電機等部品（軸受）	福岡県
(株)山田製作所	発電機等部品（シャフト）	愛知県
TDK(株)	発電機等部品（磁石）	千葉県
(株)ヤマヨ	発電機等部品（墨染）	富山県
福井ファイバーテック(株)	ブレード・ハブ	愛知県
JFEエンジニアリング(株)	基礎（モノパイル等）	岡山県
JFEスチール(株)、JFE物流(株)、JFE瀬戸内物流(株)	基礎（鋼材）	岡山県
日鉄エンジニアリング(株)、日鉄鋼構造(株)	基礎（ジャケット）	福岡県
三菱長崎機工(株)	基礎	長崎県
東光鉄工(株)	基礎（架台）、タビッドクレーン	秋田県
和田山精機(株)	その他（金型）	岐阜県

■ ナセル（GE・東芝 ナセル組立工場） ■ 磁石（TDK 磁石製造工場）

洋上風力発電システム分野において戦略的提携契約を締結※1

GE-東芝 戦略的パートナーシップ

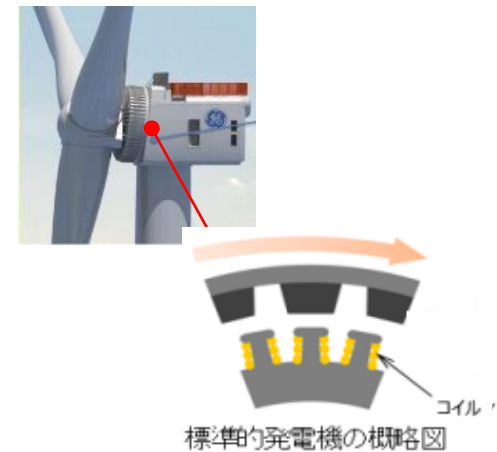
GE リニューアブルエナジー 東芝エネルギーシステムズ

- ✓ Hallade-X（洋上12MW級）の要素技術を共有
- ✓ 東芝と共に日本のサプライチェーンを共同で構築
- ✓ ナセルに関する組立て、品質管理、輸送および予防保全サービスを提供
- ✓ 日本市場における販売と商取引に関する責任を担う

国内企業および発電所の地元企業の皆さまで協力して日本における洋上風車のサプライチェーン構築を目指します

※1 2021年5月11日プレスリリース https://www.toshiba-energy.com/info/info2021_0511_02.htm
 ※2 GE Renewable Energy HP <https://www.ge.com/renewableenergy/>

風車向けコンボイネット 電気コンボイネットの国産化も推進



■ 基礎（JFE モノパイル工場）



■ 基礎（日鉄 ジャケット設置）



洋上風力サプライチェーン等形成における取組事例

風車（ナセル等）

東芝とGEは、2021年5月に洋上風車分野での提携を発表。風車のナセルを東芝京浜工場で製造・組立を行い、第1ラウンドの3海域（1.7GW）の風車134基に供給予定。

風車発電機には**TDKの永久磁石を使用予定。**

＜国内・地域サプライチェーンの構築＞



＜地元企業・港湾・金融機関の活用＞

	建設関係	O&M関係
作業・業務	建設、砂利、サービス業(廃棄物処理) 各種リース・レンタル(機械・設備等) 等	警備、電気・水道工事、情報通信、機械器具設置、 運輸業、一般ゴミ収集/資源回収 等
関係者	交通(タクシー等)、カーリース・レンタカー、燃料小売 等	飲食サービス(弁当・仕出等)、宿泊(旅館・ホテル)、 清掃、クリーニング、不動産、 小売(食料飲料、燃料等)、保険、娯楽 等
生活 環境関連		卸売業・小売業 等
流通		シニアローン 借入
金融機関		拠点港湾/地元港湾
港湾		

例) 秋田県内地元企業(100社超)と様々な面で連携 サプライヤーマッチングイベントを実施済

- 風車調達 (GE/東芝) : (連携候補先) 地元企業17社、国内企業14社
- 建設工事 (鹿島/GE他) : (連携候補先) 地元企業94社、国内企業12社
- O&M (北拓・日本郵船他) : (連携候補先) 地元企業88社、国内企業3社

三菱商事 三菱商事エナジーソリューションズ

(出所) 第11回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会洋上風力促進ワーキンググループ 交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会 合同会議 資料2 三菱商事エナジーソリューションズ作成資料より抜粋

基礎（ジャケット）

石狩湾新港内事業（GPI）及び北九州港内プロジェクト（九電みらい等）では、**日鉄エンジニアリングのジャケット基礎構造を採用。**



石狩湾新港内事業

設置（SEP船）

清水建設が保有する世界最大級のSEP船「BLUE WIND」が、石狩湾新港内事業など先行するプロジェクトで利用されている。



SEP船での風車設置

O&M（人材育成）

日本郵船は、メンテナンスを担う作業員輸送船等の営業体制強化や人材育成等のため、東北初の秋田支店を2022年に開設。男鹿海洋高校の施設を利用し、専門作業員向け訓練施設を秋田県内で整備中。



操船シミュレーター

再エネ人材の育成に向けた計画的な対応

- 洋上風力の事業開発を担う人材、エンジニア、専門作業員の育成に向け、カリキュラム作成やトレーニング施設整備に係る支援を2022年度から実施（R4年度6.5億円、R5年度6.5億円）。
- 令和6年度においては、引き続き、洋上風力分野において、地域の高専等を含め産学が連携し、必要なスキルを取得するための政策支援、を行うとともに洋上風力分野以外も含め、再エネ導入拡大やサプライチェーン構築に必要な人材育成・獲得を計画的に推進すべく、「再エネ人材育成戦略」の策定に向けて、検討を進めていく（R6年度予算案額7.5億円）。

カテゴリ	専門作業員 （建設・メンテナンス関連） 	事業開発 （ビジネス・ファイナンス・法務関連） 	エンジニア （設計・基盤技術・データ分析関連） 
対象	洋上での風車の組立や設置、O&M、撤去フェーズで必要な高所作業や作業船の操作等の特殊作業に関する専門の知識や技能を有する専門人材	事業計画立案・調整、財務計画を管理するのに必要な <u>ビジネス・ファイナンス知識、法務知識</u> を有し、 <u>プロジェクトを総括・主導</u> する人材	風車本体や支持構造物などの構造設計や工事計画、 <u>管理やリスクマネジメントに必要な電気や機械の基盤技術</u> に関する専門的知見を有する人材
採択事業者例 （2023年度）	● 日本郵船 ・ 秋田県において、地元の男鹿海洋高校の施設（訓練用プール等）を利用した、専門作業員対象の教育プログラムを2024年4月に開講予定。 ・ 開講に向けて、2022年度より、<u>国際認証を取得した安全訓練施設及びシミュレータを活用した船員の訓練設備</u>の整備や、トレーナー訓練を実施している。	● 長崎大学 ・ 長崎大を中心とした、秋田大、秋田県立大、北九州市立大、千葉大や三菱商事、JERA等4事業者による<u>産学連携</u>。 ・ 人材育成カリキュラム策定に向け科目構成等の検討を行っており、<u>2024年度より一部の科目を開講予定</u>。また、産業界と連携し、<u>洋上風力発電施設を用いた研修やインターンシップ等</u>を実施中。	● 九州大学 ・ 洋上風力風車に係る設計、計画、設置、運用・保守及び撤去の一連のプロジェクトフェーズに必須となる<u>エンジニアリングの専門知識・能力を培うことができる人材育成プログラムを構築を目指す</u>。 ・ 2023年度より一部科目を開講しており、受講者からのアンケート等に基づき教材の開発・改良を行っている。

浮体式洋上風力の導入拡大に向けた課題

- **日本の排他的経済水域（EEZ）の面積は世界第6位**。浮体式洋上風力の大きなポテンシャル。他方、現行の再エネ海域利用法は領海を対象。このため、**EEZでの実施に向けて、国外の取組を参考にしつつ、案件規模の拡大や効率的な案件形成を実現する、制度的措置が必要**。
- 加えて、**導入目標を策定・提示**することにより、グローバルに揺籃期にある浮体式洋上風力分野について、**内外の投資を呼び込む**。洋上風力に係る**サプライチェーンの国内立地を促進し、新たな産業を創出**すると同時に、日本がこの分野について国際的なプレゼンスを十分に発揮し、**グローバルに議論を主導**していく必要がある。



順位	国名	領海と排他的経済水域を 合わせた海域の面積		国土面積
1	アメリカ	762万平方km	国土面積の0.8倍	963万平方km(3位)
2	オーストラリア	701万平方km	国土面積の0.9倍	769万平方km(6位)
3	インドネシア	541万平方km	国土面積の2.9倍	190万平方km(15位)
4	ニュージーランド	483万平方km	国土面積の17.9倍	27万平方km(73位)
5	カナダ	470万平方km	国土面積の0.5倍	998万平方km(2位)
6	日本	447万平方km	国土面積の11.8倍	38万平方km(60位)

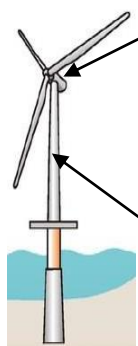
出典)各国の海域面積は、アメリカ国防省LIMITS IN THE SEAS, Theoretical Areal Allocations of Seabed to Coastal States
日本の海域面積は、海上保安庁ホームページ、各国の国土面積は総務省統計局「世界の統計2009」より

GI基金を活用した浮体式洋上風力の技術開発

- GI基金を活用し、現在、浮体式洋上風力の要素技術開発（フェーズ1）を実施中。
- 今後、フェーズ2として、国内の海域を活用した浮体式洋上風力の実証事業を実施予定（4候補海域より2海域程度をNEDOの公募で決定）。高いコストや大量生産に係る技術が未確立といった課題を解決するため、1基あたり10MW以上の大型風車を用いて、コスト目標等を設定し、我が国と気象・海象が類似するアジア等への海外展開も見据えたプロジェクトを実施していく。
- また、「風車・浮体等のインテグレーションに係る共通基盤の開発」を新たに追加する方向で検討中。

（参考）フェーズ1 採択事例

①次世代風車技術開発事業



●ナセル内部部品（軸受・増速機）

【大同メタル工業株式会社】

風車主軸受の滑り軸受化開発

【株式会社 石橋製作所】

15MW超級増速機ドライブトレインの開発など

【NTN株式会社】

洋上風力発電機用主軸用軸受のコスト競争力アップ

●タワー

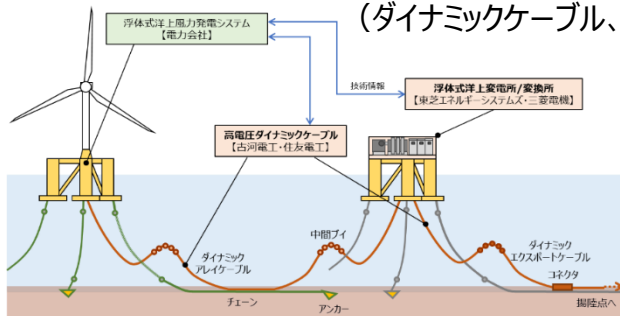
【株式会社駒井ハルテック】

洋上風車用タワーの高効率生産技術開発・実証

③洋上風力関連電気システム技術開発事業

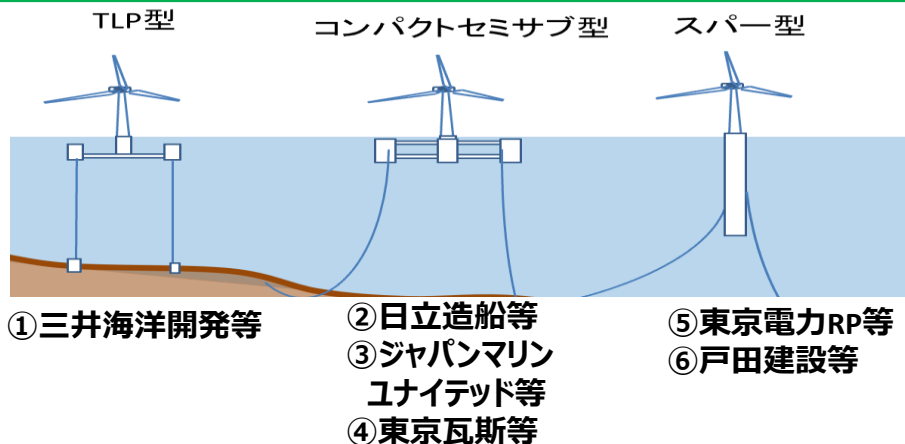
【東京電力RP等】

低コスト浮体式洋上風力発電システムの共通要素技術開発
（ダイナミックケーブル、洋上変電所等）



出所：東京電力リ
ニューアブルパワーHP

②浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業



④洋上風力運転保守高度化事業

【関西電力等】

ドローンを使った浮体式風車ブレードの革新的点検技術の開発
【古河電気工業等、東京汽船等の2者】

海底ケーブル敷設専用船(CLV)、風車建設・メンテナンス専用船(SOV)
【東京電力RP等、株式会社北拓、NTN、戸田建設の4者】
デジタル技術やAI技術による予防保全やメンテナンス高度化

フェーズ2：風車・浮体・ケーブル・係留等の一体設計を行い2023年度から実証事業を実施

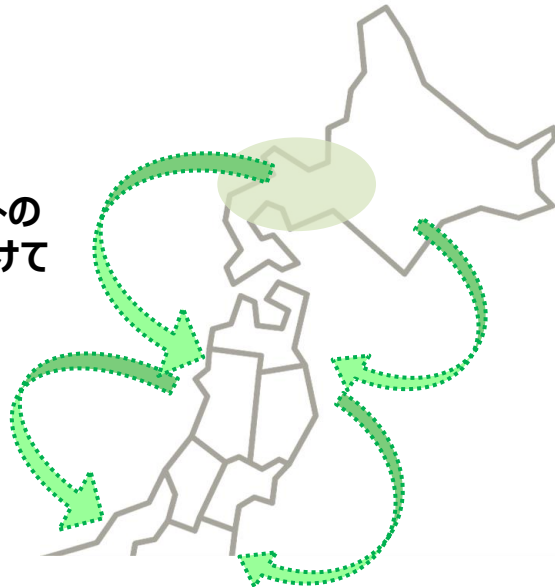
4つの候補海域：①北海道石狩市浜益沖、②北海道岩宇・南後志地区沖、③秋田県南部沖、④愛知県田原市・豊橋市沖 20

北海道～本州間の海底直流送電について

- 北海道～本州間の海底直流送電の整備は、洋上風力等の適地である北海道の再エネポテンシャルの最大限の活用や、再エネ出力制御の低減、東日本の電力ネットワークのレジリエンス強化を目的としたもの。
- こうした送電網整備について、例えば、米国では送電網の新設・改良に助成金として130億ドルを拠出することが決定され、また、欧州でも数千億円単位のプロジェクトが複数進むなど、海外でも需要が高まっている。
- 我が国においては、2023年2月10日に閣議決定した「GX実現に向けた基本方針」において、「北海道からの海底直流送電については、2030年度を目指して整備を進める」とするとともに、本年5月に成立したGX脱炭素電源法においても、広域連系系統整備に関する資金調達の環境を整備。

北海道～本州間の海底直流送電

※まずは、日本海ルート
の200万kWの増強に向けて
検討



GX脱炭素電源法における関連措置

- 電力の安定供給の確保の観点から特に重要な送電線の整備計画（整備等計画）を、経済産業大臣が認定する制度を新設。
- 認定を受けた整備等計画のうち、再エネの利用の促進に資するものについては、従来の使用開始後に加え、工事に着手した段階から系統設置交付金（再エネ賦課金）を交付。
- 電力広域的運営推進機関の業務に、認定を受けた整備等計画に係る送電線の整備に対する貸付業務を追加。

浮体式洋上風力の早期社会実装に向けた今後の政策の方向性

第56回再エネ大量導入・次世代電力NW小委員会（2023年11月8日）資料2より抜粋、一部加工

- 浮体式を含む洋上風力に関し、我が国の産業競争力を強化し、早期導入を実現していくことを目的に、以下に取り組む。

セントラル方式

- セントラル方式の一環としてJOGMECが設備の基本設計に必要な風況や地質構造の調査を実施することで、案件形成を加速。

浮体式を含む洋上風力の案件形成

- 浮体式に特化した我が国の導入目標を策定し、公表することにより、国内外の投資を促進。
- 世界第6位の面積を有するEEZにおける洋上風力の導入に向けた具体的な制度的措置等の検討を行う。

研究開発・実証

- GI基金による研究開発・大規模実証を行い、社会実装を加速。
- 欧米等と連携し研究開発・調査を実施。あわせて国際標準等の実現を目指す。

サプライチェーン構築

- GX経済移行債の活用を含め、風車メーカーを含むサプライチェーンの国内立地の促進に向けた大規模な設備投資を支援。

人材育成

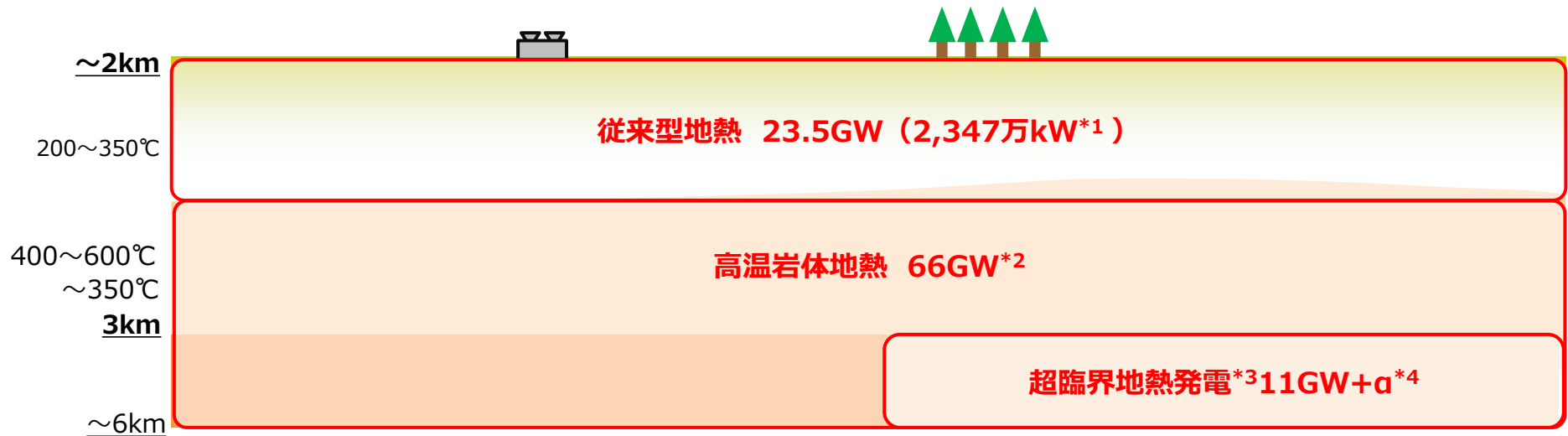
- 地域の高専等を含め、産官学が連携し、必要なスキルを取得するための政策支援と併せて、地域における人材育成の拠点構築を支援。

(参考資料) 次世代再エネ

**(次世代型太陽電池、浮体式等洋上風力、
次世代型地熱)**

(参考) 次世代地熱：日本の次世代地熱ポテンシャル

- これまで、従来型地熱発電様式で開発を進めてきた地熱ポテンシャルは23.5GW部分。
- 今後、さらに地熱発電の導入量を拡大していくため、未開発の地熱ポテンシャルである66GW + 11GWの部分の開発を進めるべく、次世代型地熱発電技術を早期に確立するとともに、開発に着手していく必要がある。



*1) 村岡ほか（2008）など。

*2) 日本地熱学会刊行 地熱エネルギーハンドブック、837-839頁では「基盤岩上面から深度1kmの範囲の地熱資源量を77GW」と推定し、これをEGSの資源量とみなしている。

これを元に簡易的に計算し、77GW-超臨界地熱11GW = 66GWを高温岩帯（延性域高温岩帯も含む）における地熱ポテンシャルとした。

*3) NEDOにより高温井が存在する18地域を対象にした調査結果より推定。

*4) NEDOが調査対象としなかった火山、カルデラ等にも相当量の超臨界地熱資源が存在すると想定される。

次世代型地熱発電の確立に向けた支援

- 現在、次世代型地熱発電については、世界各国で技術開発や実証事業に向けた支援等が行われている。今後、国内でも次世代型地熱技術を活用した地熱発電の事業化に向けた支援が必要。
- 具体的に、①次世代型地熱発電様式（クローズドループ、超臨界など）の探査・掘削技術、設備、部材等の開発への支援、②国内での開発した技術等を活用した実証事業への支援が必要不可欠。

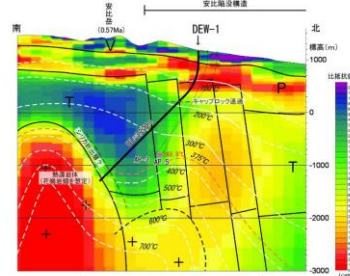
① 技術開発への支援

- 次世代型地熱発電においては、従来型の地熱発電で使用している技術や設備など以外に、それぞれの特徴・課題に応じた新たな技術や設備、部材等を開発する必要があるため、以下のような技術開発にかかる費用への支援が必要。

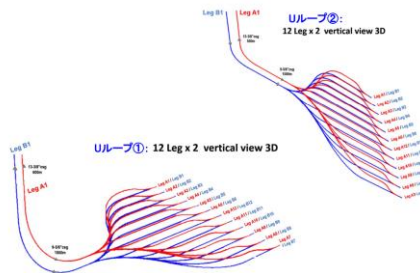
<設備等：発電タービン>



<探査技術>



<掘削技術：(例)クローズドループ>

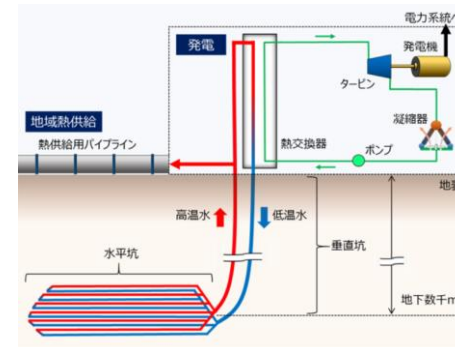


<掘削設備：坊噴装置>



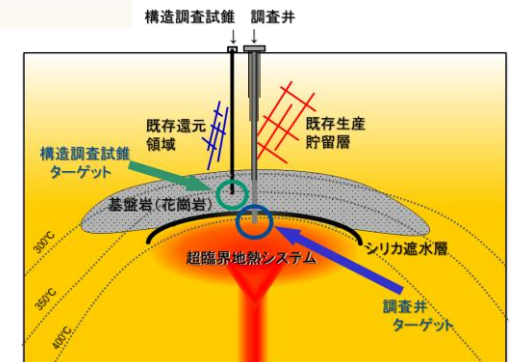
② 国内での実証事業への支援

- ①で開発した技術を活用して、実際に国内で次世代型地熱発電の様式に沿った実証事業を実施することで、その後の事業化に繋げていく。



実証イメージ図：
クローズドループ方式

実証イメージ図：
超臨界方式



次世代型地熱の取組意義

- 日本の地熱は世界有数のポテンシャルがあるため①**導入拡大の可能性が大きい**こと、それらの拡大によっては②**コスト競争力のある電源**となること、また**クリーンかつベースロード電源**となりうる**安定的な電源**であるため、今後の国内データセンター等による電力需要の増大などへの貢献が期待できる。
- 一方で、**資源開発特有である調査・探査等の開発リスクが大きい**、国内事業者の投資が少ないという状況。
- そのため、エネルギー政策と産業政策の両面から次世代地熱に係る取組を推進していくことが必要。

① 導入拡大の可能性

- 欧米を中心に地熱開発が急速に拡大。
- その中で、日本は元々世界第3位の23.5GWの地熱ポテンシャルを有する。
- また、さらに77GWの次世代地熱ポテンシャルが示唆されている。

<現在、確認されている地熱ポテンシャル>

国名	地熱資源量 (万kW)
アメリカ合衆国	3,000
インドネシア	2,779
日本	2,347
ケニア	700
フィリピン	600
メキシコ	600
アイスランド	580
エチオピア	500
ニュージーランド	365
イタリア	327
ペルー	300

② コスト競争力のある電源

- 米国では、現状3GWの地熱発電容量が、次世代地熱によって今後90GWまで拡大するとしている。
- DOEによると次世代地熱のうちEGSは\$45/MWh(8円/kWh)程度、NEDOによる調査によると超臨界地熱は10円/kWh程度の発電コストが見込まれている。

③ 経済波及効果

- 地熱ポテンシャルは、地方に偏在しており、従来型地熱の事例では地域と共生し、地域活性化にも寄与。
- また、米国Google社がデータセンターへの電力供給として地熱発電事業者とPPAを締結する等、安定的でクリーンな地熱は今後の日本のデータセンター需要の高まりへの貢献も期待される。

	従来型	EGS（高温岩体）	超臨界
発電規模 (kW/箇所)	～5万	～数万	10万～
コスト (円/kWh)	16.7円/kWh (10.9円/kWh※ 政策経費を除く)	8円～10円/kWh ※米DoE報告書より 引用。	11円～13円/kWh ※NEDO調査報告書： 必要技術が想定通りに 開発出来た場合の コスト

(参考) 地熱資源開発の歴史と今後

- 1970年代から、地熱開発促進策を講じてきたが、地熱発電の導入量は現在0.6GWにとどまり、近年、大幅には増加しておらず、2030年目標（1.5GW）の達成には、更なる開発促進が必要な状況。
- そのために、①現在、調査段階の従来型地熱プロジェクト（合計1GW弱）を着実に事業化につなげるとともに、②自然公園等のポテンシャルが高い有望地点の開発を推進し、③さらに国内でまだ実装されていない次世代型地熱について国内実証を通じた導入拡大を図ることにより、地熱発電の開発加速化を目指す。

1973年

1997年

2012年

2024年

第一次
オイルショック

拡張期

停滞期

復活期

新たな“促進”フェーズ

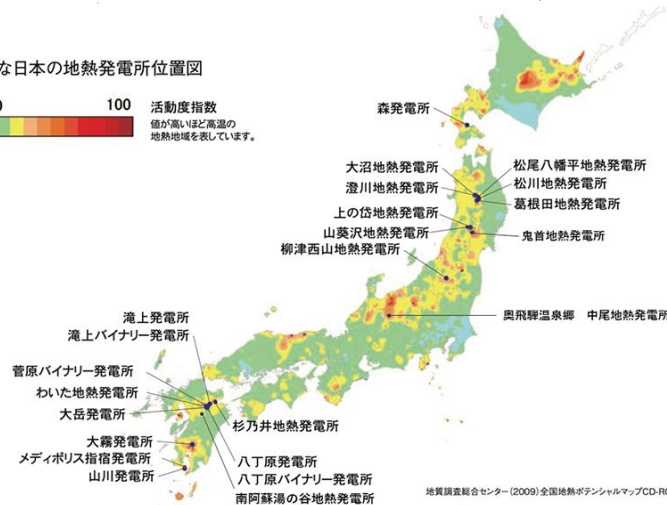
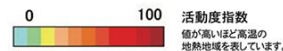
- NEDOによる自然公園等の規制が掛からない高い地熱ポテンシャルが見込まれる地点の全国地熱基礎調査の開始(掘削・噴気試験含む)。
- 1990年代に7か所の新規地熱発電所の運転開始などの成果。

- 原子力・火力発電の相次ぐ運転開始等のエネルギー環境の変化。
- 国立公園内規制・地熱特有の開発リスクにより、魅力ある開発地点が減少。

- 再エネが再びベース電源として注目を集める。
- 推進機関がNEDOからJOGMECに移管、FIT制度の導入により、事業者を主体とした開発が増加。
- 自然公園法の規制緩和、運用見直し

- 従来型地熱の促進：
 - 調査・開発中の案件への支援強化
 - 自然公園等のポテンシャルの高い 残された有望地点の開発促進
- 次世代型地熱の促進：
 - 開発領域の拡大
 - 早期の実証および事業化に向けた支援体制の確立

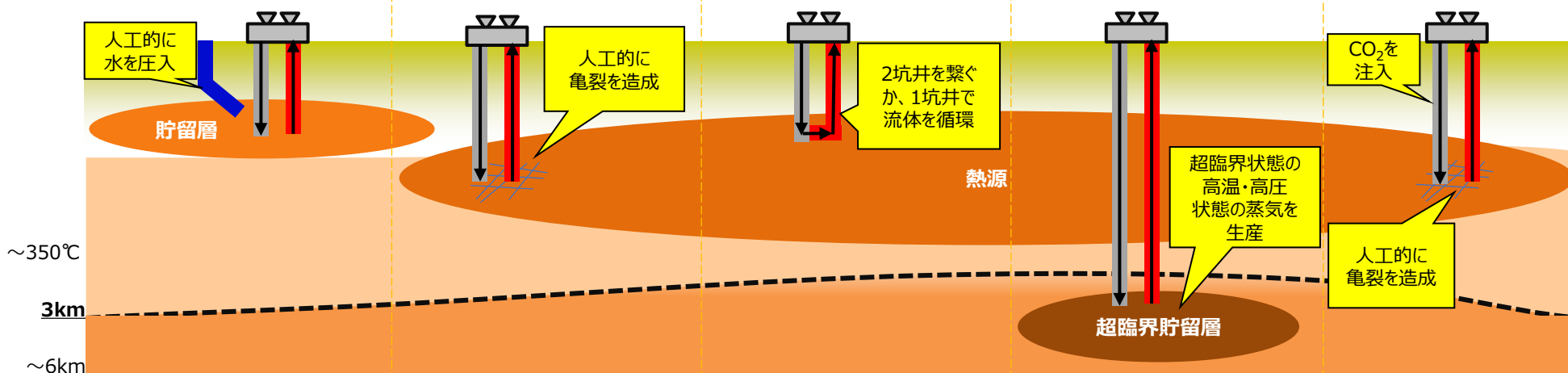
主な日本の地熱発電所位置図



地質調査総合センター(2009)全国地熱ポテンシャルマップCD-ROM版をもとに作成・加筆

(参考) 主な次世代地熱発電技術

	従来型地熱	次世代型地熱			
	人工涵養	EGS (高温岩体)	クローズドループ	超臨界地熱	カーボンリサイクルCO ₂
概要	地熱貯留層に人工的に水を圧入し、その蒸気を発電に利用。	地熱層貯留層を人工造成し、水を圧入・蒸気生産させて発電に利用。	亀裂のない高温の地熱層に坑井掘削し、流体を循環させ発電に利用。	マグマ上部の高温・高圧の流体(超臨界熱水)を発電に利用。	EGS (高温岩体) の貯留層造成・熱回収にCO ₂ を用いる。
現状	R6年福島・柳津西山地熱発電所で3年8ヵ月注水し効果を確認。	1984年～NEDO等が山形県肘折で、1989年～電中研等が秋田県雄勝で実証。	同軸二重管はH3年旧資環研が実証(370kW)。マルチラテラルは独で実証中。	NEDOによる調査・研究を実施中。有望地域4地点で資源量評価を実施。	JOGMECによる基礎研究段階。



(参考) 主な次世代地熱技術開発と課題

- 次世代地熱として期待される技術は幅広くあるが、**依然として多くの課題がある。**
- これらは**従来型地熱の課題解決にもつながることから、幅広く国の支援を継続、または拡充**することが必要。

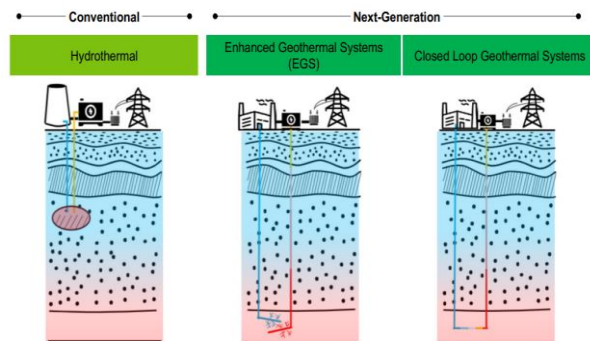
	従来型	EGS（高温岩体）	クローズドループ	超臨界
特徴	◎ 自然に対流する熱水を用いて効率的かつ持続的に地下の熱を採取できる	◎ 天然の熱水が不要なため広範囲な地熱資源が活用可能となる ◎ 貯留層造成にシェール開発技術が転用可能	◎ 天然の熱水が不要なため広範囲な地熱資源が活用可能となる	◎ 大深度に賦存する高熱量の超臨界流体を用いた大規模発電
発電規模 (kW/箇所)	～5万	～数万	～数千	10万～
コスト (円/kWh)	16.7円/kWh (10.9円/kWh※政策経費を除く)	8円～10円/kWh ※米DoE報告書より引用。	①158.2円～224.4円/kWh ※JOGMEC報告書：現時点で適用可能な技術とコスト情報に基づいて試算。今後の技術開発等による掘削コストの低減により、大幅に低下する可能性大。	11円～13円/kWh ※NEDO調査報告書：必要技術が想定通りに開発出来た場合のコスト
課題	× 適地探索が難しい × 温泉資源や環境資源との共生	× 水圧破碎による誘発地震懸念 × 発電システムの持続性懸念	× 熱伝導によるため採熱量に物理的限界があり、規模拡大には難易度の高い長大な坑井掘削が必要 × 日本の複雑な地質構造への適用懸念	× 利用可能な超臨界流体の存在は日本では未確認 × 腐食性流体の処理プロセスがない × 高温の掘削及び生産技術がない
実用化に向けた方策	—	・ 効率的な亀裂造成 ・ 誘発地震抑制（制御） ・ 上記2点の解決を目指してカーボンリサイクルCO ₂ 方式に取り組む中	・ 熱利用や掘削コスト低減を加味した事業モデルの構築	・ 掘削調査による超臨界流体の確認とそれによる課題の抽出 ・ 高温掘削技術、噴気試験・発電システムの開発

(参考) 世界的な動向

- 米国をはじめとして様々な次世代地熱技術が出てきており、それらが抜本的な地熱増大に寄与する可能性に各国は言及し、様々な技術支援を行っている。

米国

- 米国は次世代地熱として、**石油・天然ガスの技術（シェール技術等）を活用するEGS（Enhanced Geothermal System）**や**クローズドループ等の技術開発を推進中**。
- 2024年3月、米国エネルギー省（DOE）は「Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power」を公表。**2035年までに、EGSの発電コストを90%削減し、\$45/MWhとすることを目標としている**。また、次世代地熱によって、現状3GWの地熱発電容量が、**2050年までに90GW以上に拡大し得ると推計**。



引用：米国エネルギー省 Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power

アイスランド

- アイスランドの総発電量は、約73%は水力発電、残りの27%が地熱発電。
- **豊富な地熱発電のエネルギーを活用して、世界最大規模の年間3.6万トンのCO2を大気中から回収するDAC施設が稼働中**。
- アイスランド・エネルギー庁及び複数の企業から構成されるコンソーシアムが、
 - 2012年 IDDP-1号井を**超臨界地熱にも取り組んだ**掘削し、出力30MW相当の過熱蒸気を確認。
 - 2017 IDDP-2号井(4,650m)を掘削し、坑底温度427℃及び圧力34MPaにより、地熱流体が超臨界状態で存在していることを世界で唯一確認。
 - また、次に掘削計画（IDDP-3）も検討中。



IDDP-1の噴気試験の様子
(坑口状態で)
温度450℃・圧力14MPa
出力30MW相当

引用：2016年 NEDO 次世代地熱発電技術の全体像とその位置づけ

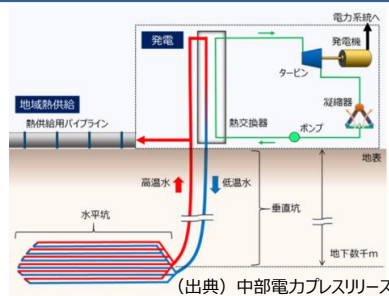
(参考) 次世代技術に関する国内外の動向

- NEDOを通じて過去に高温岩体利用によるEGSの実証や継続的な超臨界地熱技術開発を、JOGMECにおいて高温岩体発電の発展形として水の代わりにCO₂を用いる地熱発電の技術開発を実施。
- 一方、民間企業投資としては、近年、欧州や米国のスタートアップを通じて、クローズドループやEGSに対する投資が加速している状況。

クローズドループ

Eavor (カナダ)

- 概要：
マルチテラループ方式のクローズドループ発電技術を開発。システムの実証を終了し、欧州での実用化に注力中。
- 支援・出資の状況(再掲)：
2023年に総額180MM\$を調達したと発表。出資者は、**鹿島建設**、**ENECHANGE**、**中部電力**、**bp ventures**、**Temasek**、**Chevron Technology Ventures** 他。



EGS(人工フラクチャ)

Fervo Energy (米国)

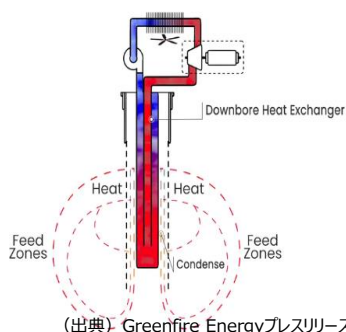
- 概要：
2023年11月、Googleと組んで3,500kWの新型地熱発電所を運開。Fervo社の技術は、地下を水平掘削して地層を破碎。亀裂に循環水を注入して地下熱で水を加熱し、発電用の蒸気を生産。水平坑掘削はシェール開発の技術に似ており、ヒューストンに集積する石油産業のノウハウを生かしている。
- 支援・出資の状況：2024年に総額244MM\$を調達したと発表。出資者はBreakthrough Energy Venturesや、Capricorn Investment Group、Galvanize Climate Solutions、John Arnold、Liberty Mutual Investments、**三菱重工**、**丸の内インベーションパートナーズ** 他



クローズドループ

Greenfire Energy (米国)

- 概要：
二重管方式のクローズドループ発電技術(GreenLoop)を開発。
- 支援・出資の状況：
California Energy Commissionが2.7MM\$を支援。Baker Hughes他からの出資でシステム実証を終了。2020年DOEの“American-Made Challenge for Geothermal Manufacturing”を受賞。
2021年MOECOと日本国内における設備設計・熱回収に関数技術支援契約締結。



(参考) 米国DOEのEGSに関する目標

- DOEは次世代地熱に関して次のような実績と目標を示している。
 - 次世代地熱は近い将来、他の電源に対して広くコスト競争力を持つようになる。
 - 過去2年間の実証実験により、EGSの推定開発費はほぼ50%削減された。2030年までにEGSの全国平均コストを1MWhあたり60～70ドルに低減させることが可能で、利益幅は現在のPPA価格で1MWhあたり10～30ドルになる。
 - DOEのEGS実証現場「FORGE」での掘削速度は、3年間で500%以上向上し、井戸開発費用は、米国での大規模商業EGS実証試験の間に、1井戸あたり1,300万ドルから500万ドル以下に減少した。

