

エネルギーを起点とした産業の GX（グリーントランスフォーメーション）について

2022年3月1日

産業技術環境局・資源エネルギー庁

1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

(2) 各産業のGX戦略検討

- ① 自動車
- ② 原子力

(3) 2050年CN実現に向けて必要となる技術について

- ① CCS

(4) 2050年CN実現に向けて将来期待される新技術

- ① ネガティブエミッション技術

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

－ 新たな産業を創出し、産業構造を転換していくための視点 －

- 第1回グリーンエネルギー戦略検討合同会合において、GX時代に成長が期待される分野について、以下の3つの視点で産業分析を行うこととされた。
- また、この産業分析をベースに、ビジネス環境の分析や海外の政策動向も踏まえ、次頁の技術レイヤー、ビジネスレイヤー、マーケットレイヤーについて、課題や政策要素を検討していくこととされた。
- 本日は、GX時代に成長が期待される産業である自動車産業、原子力産業について、ご議論いただきたい。

● 現状のビジネス環境

- (例) 現在のビジネスモデル、我が国の国際的な立ち位置、各分野の競争力の源泉、サプライチェーンにおける高付加価値をもたらす分野、デジタル化など構造的変化の現状、新規プレイヤーの存在 等

● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- (例) 商品・サービス面での変化 (新商品、新規需要など)
製造プロセスにおける変化、サプライチェーンにおける要請
これらが競争力や企業戦略にどのような影響を与えるのか 等

● 海外プレイヤーの動向

- (例) 海外における既存プレイヤーや新規プレイヤーの状況
－ 各プレイヤーの立ち位置や戦略
－ グローバルなビジネス環境を踏まえた、各プレイヤーの動向 等

第1回グリーンエネルギー戦略検討合同会合
(2021年12月16日) 資料2より抜粋

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

－ 2050年CN実現に向けて、今後、必要となる技術について－

- 2050年カーボンニュートラルを達成するためには、CO₂を回収・貯蔵するCCS技術やどうしても避けられないGHG排出を吸収するネガティブエミッション技術が不可欠。
- 将来の成長産業の萌芽として、どのように技術を磨き、ビジネスとして育成していくか検討が必要ではないか。
- 本日は、2050年カーボンニュートラル実現に向けて、足元から必要となるCCS技術と、将来期待されるネガティブエミッション技術について、現状の取組について分析した上で、ビジネス化に向けてどのような戦略が必要か、御議論いただきたい。

今後必要とされる政策要素の検討の視点

ビジネス環境の分析や海外の政策動向も踏まえ、例えば、以下のような視点で、どのような政策を行っていくか検討していくべきではないか。

- 各分野における「勝ち」の定義が必要（技術開発、社会実装スピード、市場ルールメイキングなど）
- 技術レイヤー、ビジネスレイヤー、マーケットレイヤーそれぞれについて、課題や政策要素を整理。

技術レイヤー	<ul style="list-style-type: none"> • 付加価値の高い分野への支援徹底 • 海外技術の囲い込み/連携 等
ビジネスレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> • 先行需要創出、国際サプライチェーンへの参画、海外勢との連携 • オープン&クローズ戦略、ライセンス活用、 • 炭素価値、経済的メカニズム • 新技術・ビジネスへのリスクマネー供給 等
マーケットレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> • 国際市場 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 国際ルール整備（条約、国際標準・規格） ➢ アジア各国への働きかけ ➢ 技術移転リスクへの対処 ➢ トランジションファイナンスのアジア等への普及・海外展開における資金需要と官民協調のファイナンス 等 • 国内市場 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 国内市場の規律（重要インフラや戦略物資確保の観点） ➢ 技術・データの流出防止 等

(参考) グリーン市場獲得に向けた国内外の動向・情勢例

各国の脱炭素技術への研究開発 :

EU : Horizon Europe
日 : グリーンイノベーション基金
英国 : 10point plan

欧州バッテリー規則案 :

製造・廃棄時の温室効果ガス排出量による規制、責任ある材料調達 (デュー・デイルジェンス)、リサイクルに関する規制案。

イノベーションファイナンス :

米Breakthrough Energy Catalystは、「商用化」を念頭に、初期需要創出のためのオフテイク確保にも力点。

EUタクソノミー :

環境的にサステナブルな経済活動を分類・定義。

米国政府のイニシアティブ :

Industrial・Decarbonization・Agenda : 産業の脱炭素化にむけて、「市場の規制」「標準の策定」「投資/公共調達の戦略」「共同研究」等において協力。

First Movers Coalition :

ネットゼロ技術の早期市場創出に向け、主要企業が購入をコミットするためプラットフォーム。

技術

マーケット

ビジネス

炭素国境調整措置 :

輸入品に対し炭素排出量に応じて水際で負担を求める

TCFD :

企業活動が気候変動に及ぼす影響について開示する任意枠組み。

海外の関連動向

念頭におくべき課題

技術×ビジネス :

我が国は、太陽電池のコストを1/250に下げるイノベーションを実現。他方で、太陽電池の日本のシェアは徐々に低下。また、半導体も水平分業化が急速に進展した結果、競争力が低迷。

デジタル×グリーン :

CNに伴いCO₂排出量の見える化のニーズが高まる中、デジタル技術を用いたCFPデータの共有等に関する取組が活発化。

サプライチェーン :

CNに伴い必要性の高まるレアメタル等の一部は、特定国に埋蔵・生産が偏在することによる供給リスクあり。

(参考) 第1回クリーンエネルギー戦略検討合同会合 委員意見

- アンモニアについては、サプライチェーン構築に向けてグリーン・ブルーに特化しない形で進めることが重要。だが、将来的にはグリーンにしていることが重要。
- こうした議論を進めると、ナフサの全量輸入といった話にもなる。そうした想定を踏まえて産業構造をどうするか検討すべき。需要家の選択を通じた社会変革が重要。そのためには、**CO2の可視化**が王道。可視化されていないと価格転嫁も出来ない。可視化により納得してもらった上での価格転嫁の議論をすべき。
- 大きな方向性がぶれてしまうと対応が出来ない。需給両サイドについて予見可能性が無いと自社投資が難しい。民間投資を引き出すことが重要であるため、予見可能性を確保する戦略が重要。
- 特定の技術を排除せず、様々な地域特性を加味した、日本版タクソミーのような検討をどうするか考えていきたい。日本は災害が多いため、ガソリンが確保できない場合に価格高騰するが、その場合の経済負担は大きくなる。そうした事情も加味して検討する必要。
- DACや核融合を含め、実装が2030年など先になるものについても海外では商用化に向けて取組が進んでいるものがあるが、これらに係る検討も重要。
- 日本社会の負担を覚悟せよというメッセージという理解。日本の産業を守るという発想は重要。脱炭素を進める中で、製造業は物を作ると損するという構造になっているため、製造をやめましょうという話になる。モノをつくるのは必要だが、稼げないということが問題。いかにモノを作りつつ稼ぐか。そうすると、少なく作ってたくさん使ってもらうことで
沢山稼ぐ、という発想が大事。

1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

(2) 各産業のGX戦略検討

① 自動車

② 原子力

(3) 2050年CN実現に向けて必要となる技術について

① CCS

(4) 2050年CN実現に向けて将来期待される新技術

① ネガティブエミッション技術

GX分析 ①自動車産業

● 現状のビジネス環境

- 自動車産業は、製造業出荷額の約2割、関連産業を含め約550万人の雇用を支える基幹産業であるが、CASE(※)と呼ばれるグローバルな潮流により、100年に一度と呼ばれる大きな転換期に。
- カーボンニュートラル実現の鍵となるE(電動化)に関する取組については、「2050年の自動車のライフサイクル全体でのカーボンニュートラル化」、「2035年までに、乗用車新車販売で電動車100%」という目標を掲げ、EVやFCV、燃料の脱炭素化など多様な技術の選択肢を追求していくこととしているが、自動車産業のビジネス環境分析に際しては、電動化だけでなく、CASE全体を俯瞰する必要。
- GX・DXの流れが加速化し、以下のように自動車の使い方・作り方が大きく変革していく中で、いかにこうした動きに迅速に対応し、新たな事業構造構築や付加価値創出を図れるかが、競争を勝ち抜く鍵となっている。※Connected(つながる)、Autonomous(自動化)、Shared & Service(利活用)、Electrified(電動化)

(車の使い方の変化)

- 環境に優しい車/安全な車といったユーザーニーズの拡大
- ユーザーサービス・コミュニケーションの高度化(単なる移動から移動時間の有効活用)
- 所有から利用に(シェアリング・サブスクの普及など)
- 地域モビリティ(ユーザーの高齢化、過疎地・都市部特有の課題など)
- VC(バリューチェーン)の付加価値の変化(販売・整備・充電・充てんなど包括的なサービスに)
- 物流サービス(積載効率、共同配送など)
- エネルギー・デジタルインフラとの協調(デマンドレスポンス、水素ネットワーク、交換式バッテリーなど)
- 新しいMobility価値の提供

(車の作り方の変化)

- グリーンな生産技術(省エネの促進、再エネの活用、リサイクルなど)
- データ利活用(MBD(モデルベース開発)、データシェアリング、モジュール化など)
- 他業種からの参入、水平分業を目指す動き
- ソフトウェア、半導体、電池・モーター、新素材(技術、人材、投資、パートナーなど)
- サプライチェーンマネジメント(レジリエンス、カーボンフットプリント、人権デューデリジェンスなど)
- オープンイノベーション、協調領域の拡張
- 新しいSupply Chainの構築

GX分析 ①自動車産業

● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- GXを含めたCASE全体の動きの中で、ソフトウェア化、モジュール化など既存の産業構造を変革する動き。また、川上の部品・素材や川下のサービスの付加価値が高まることが予測されるなど、付加価値構造も変化。
- 車の使い方・作り方が変化する中で、単にパワトレを電動化するだけでなく、CASE技術全体を活用し、開発段階のデジタル化や、データの利活用を通じたモビリティの最適な運行など新たな付加価値を提供する動き。その中で、これまでとは異なるビジネスモデルを志向する異業種からの新規プレイヤーも登場。
- 電動化そのものについては、国によってエネルギーやインフラの整備状況等が様々であることから、各国によって異なる戦略。新車販売に占めるEVの割合が拡大する中で、ZEV（ゼロエミッション車）化を急速に進める国もあれば、多様な選択肢を模索する国も。いずれにせよ、現時点では完全な技術は存在しておらず、蓄電池、水素、燃料の脱炭素化など各分野においてイノベーション競争が活発化。次世代に技術をいかに確保するかが競争力の源泉に。
- 電動化社会の実現の鍵であり、今後需要の拡大が見込まれる蓄電池については立地競争が激化。また、車両の普及と充電・充てんインフラ整備を一体で進める中で、関連ビジネスの拡大が見込まれる。
- 部品サプライヤーや販売・整備業等の関連産業においては、GX・DXへの対応や新たな領域への挑戦（「攻めの業態転換」）など“産業構造の変化”が始まりつつある。

● 海外プレイヤーの動向

- 世界的なCASEの流れの中で、海外プレイヤーにおいても、電動化・ソフトウェア化などの動き。各社の戦略に応じて、多様な選択肢を追及していく企業もあれば、EV生産に特化することによりリソースを集中する動きも。また、水平分業を通じた価値構造の転換を目指す動きと、垂直統合により付加価値の集中を図る動きなど、大変革期において多様な動きが生じている。
- また、ICT等の他業種からの参入や、中国の一部企業による低価格EVの投入など、これまでの産業構造を揺らがす動きが生じ始めている。
- その中で、米国、欧州、中国などにおいては、電池・素材工場の立地支援、バッテリー規則といった産業政策・環境規制、大規模なEV等の次世代車導入支援、充電・充てんインフラ整備、データ流通基盤整備など、大胆な産業政策を講じている。

課題と打ち手の例 ①自動車産業

【技術レイヤー】

- CASE全体の動きが加速化する中で、製造工程のGX・DX、コネクテッド・自動運転機能を通じた交通流の最適化、エネルギー管理・運行管理の高度化などの自動車の作り方・使い方の変革を通じて、カーボンニュートラルに必要なイノベーションをどのように進めるか。
 - 電動化・ソフトウェア化により車の設計・製造手法が変革する中で、MBD等のデジタル技術を活用した新たな開発・製造手法の開発・普及策を進めるとともに、SC・VCを含めてカーボンフットプリントや車の使い方に関するデータを連携できる仕組みの構築に向けた検討を行う。
 - 電動車の航続性能を確保しつつ自動運転等を実現していくために必要となる、省エネ型の先端車載コンピューティング（ソフトウェア・センサー等）技術の開発に加え、車単体での自動運転だけでなく、交通システム全体として連携する際の基盤技術となる、半導体・データセンターについての研究開発や投資促進を図る。
 - エネルギーコスト・CO₂排出最小化と運輸効率最大化に向けて、バス・タクシー・トラック等の運行管理とエネルギー管理を一体的に行うシステムの構築・検証等を行う。
- 自動車分野のカーボンニュートラルに向けては、電気自動車や燃料電池自動車、燃料の脱炭素化など多様な技術の選択肢を追求する必要があるが、その実現のカギとなる主要技術のイノベーションをどのように加速すべきか。
 - グリーンイノベーション基金等も活用し、電動化の鍵を握る次世代電池・モーターの開発、水素供給コストの低減に向けた水素サプライチェーンの構築、合成燃料の製造・利用技術などの技術開発を推進する。
 - 蓄電池・モーターについては、高性能化、省資源化、リサイクル/製造時GHG排出削減のための研究開発を行う。
 - 水素については、海外輸送を含めた大規模サプライチェーンの構築、水電解装置による水素製造の技術開発等を行う。
 - 合成燃料については、製造収率、利用技術向上に向け、CO₂と水素を高効率・大規模に合成燃料に転換するプロセスの開発等を行う。

課題と打ち手の例 ①自動車産業

【ビジネスレイヤー】

- CASEの潮流により、付加価値の源泉も変化していくが、政府及び自動車産業として、新たなモビリティサービスの事業化や産業競争力強化のため、どのような取組が必要か。
 - CASEの潮流が加速化し、今後、単なる売り切り型の製造業から、アフターサービスを含む包括的なモビリティサービスへと転換されつつある中で、政策的対応や民間投資を加速化していくため、SC/VCの変化も見据えた今後のモビリティの在り方やその実現に向けた官民の課題・取組等について整理・発信する。
 - 「車の使い方の変化」を踏まえて特に実現ニーズの高い、地域の自動運転サービス、高度幹線物流システム、高度運転支援機能搭載車等について、ビジネス化を含む社会実装への道筋を具体化すべく、技術開発や実証、標準化、社会基盤構築の検討などについて、関係省庁とも連携し、包括的に取り組む。
- 自動車のライフサイクル全体でのカーボンニュートラルへの対応に向けて、川上から川下まで、素材産業を含め自動車サプライチェーン全体での脱炭素化を進めるには政府としてどのような対策が必要か。
 - 製造工程におけるカーボンニュートラルを推進していくために、再エネ電源をはじめとした脱炭素エネルギーについて国際競争力を確保しうる形で調達できるよう、引き続き取組を進める。
 - サプライチェーン全体での脱炭素化を進めるには、関連産業を含め大きな脱炭素投資が必要となる。製造工程等のCN化に向けて必要となる技術開発やそれを活用した生産設備投資を、国際競争力を損なうことなく、継続的に行えるような政策的措置を引き続き実施・検討していく。
- 電動化・CASEの変化への対応に当たっては、地域の自動車産業を支える部品サプライヤーを含めて、業態転換やソフトウェア化へ積極的に対応してもらうにはどのような対策が必要か。
 - 事業再構築補助金に新たに「グリーン成長枠」を設け、グリーン分野で事業再構築に挑戦する事業者に対して、売上減少要件を撤廃し、補助上限額を引上げる。さらに、地域支援拠点等における相談窓口の設置や、事業転換をサポートする専門家派遣も実施し、支援を強化する。

課題と打ち手の例 ①自動車産業

【マーケットレイヤー】

- グローバルな商品である自動車について、世界大でのマーケットを視野に入れて、世界のCNや社会課題に貢献しつつ、グローバルマーケットにおける我が国企業の競争力を強化する観点から、政府及び関係業界としてどのような対応が必要か。
 - 今後保有台数が増加し、また、渋滞等の社会課題も存在する新興国を中心に、各国のニーズも踏まえながら、最適なモビリティ社会づくりに、官民連携し、積極的に貢献していく。
- 温暖化対策としては、2035年や2050年といった各時点でのCO₂削減ではなく、累積でのCO₂排出量抑制が重要な中、どのようにその削減を進めていくか。
 - 新車販売だけでなく、保有車全体（ストック）にも着目し、自動車部門全体でのCO₂削減を促進する取組の検討を進める。
- 国内において、電動車の普及とその前提となる充電インフラの整備を車の両輪としてどのように進めていくか。
 - EVやFCV等については、世界各国の支援水準も踏まえ、令和3年度補正予算と令和4年度当初予算案において補助額を引き上げた。例えばEVについては最大80万円に大幅引き上げ。
 - 充電インフラについては、2030年15万基という目標を据えつつ、特にニーズの大きい、高速SA、空白地域、集合住宅等について重点的に支援するなどメリハリをつけて導入を支援。水素ステーションについては、2030年1000基程度という目標を立て、小型の水素ステーションも導入しながら需要に応じた整備を行う。充電インフラ・水素STの整備に向けては、引き続き関係省庁と連携しながら進めていく。
- EV等の普及のカギを握る蓄電池について、実際に企業が投資を実行し、国際競争力を高めるために、どのような対策が必要か。
 - 競争力の源泉となる先端的な電池製造拠点の確保を図るため、国内への大規模製造拠点の立地支援と製造技術の磨き上げを一体的に、切れ目なく継続的に推進していく。
 - GI基金を活用し、高性能蓄電池・材料、省資源化、生産技術、リサイクル等について研究開発を支援するとともに、蓄電池が急増する中でのサステナビリティの確保策（カーボンフットプリント、倫理的な調達、リユース・リサイクルの促進等）についての制度的枠組みを含めた検討を進める。

CASEの進展とモビリティ産業の将来像

- GX・DXの流れが加速する中で、自動車の使い方・作り方の変化が一層進展。
- この数年で大きく深化したCASE技術の社会実装・さらなる開発等を通じて、この変化に対応し、新たなモビリティ社会を実現していくことが官民の共通課題に。

車の使い方・作り方の変化

「車の使い方」の変化

- ユーザーニーズの変容
環境・安全志向、移動時間の活用ニーズ、所有から利用への潮流
- モビリティへの社会からの期待
高齢化等に対応する地域モビリティ、VCの包括サービス化、物流サービス効率化
- エネルギー・デジタルインフラとの協調

「車の作り方」の変化

- サプライチェーンのGX・DX
クリーンな生産技術、データ利活用
他業種参入・水平分業を目指す動き
- 新たなサプライチェーンマネジメント
重要部素材の技術・人材・調達等
カーボンフットプリント・人権DDへの対応
- オープンイノベーション・協調領域拡張

CASE技術の深化

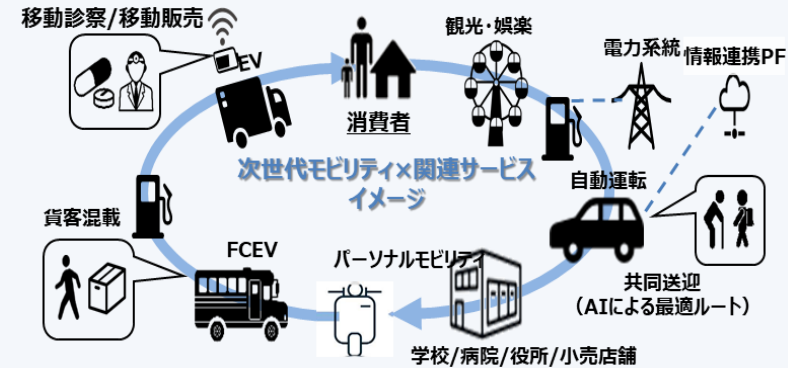
コネクテッド
Connected

シェア&
サービス
Shared & Service

自動運転
Autonomous

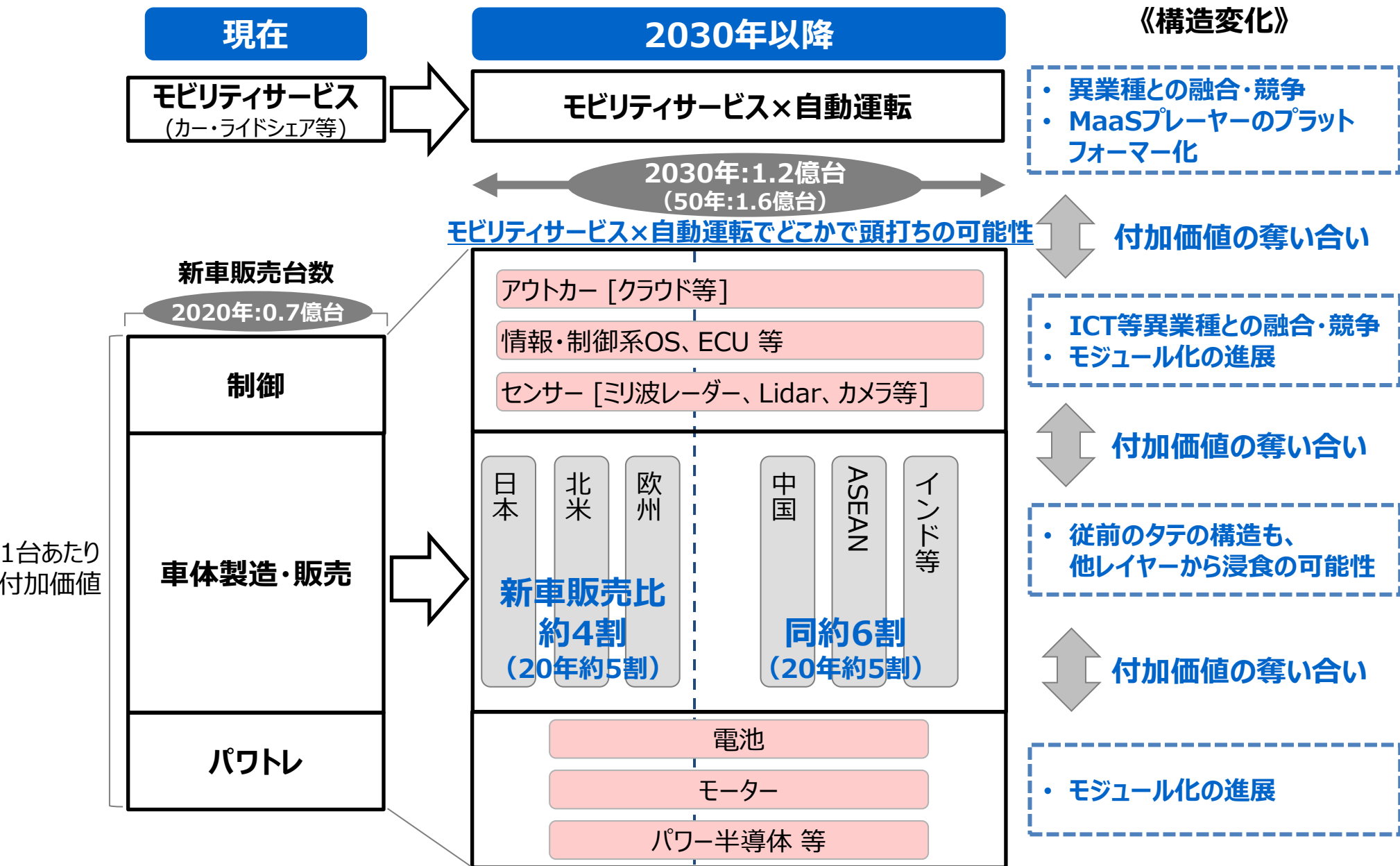
電動化
Electrification

新たなモビリティ社会の実現



- カーボンニュートラルの実現
- 高齢化・人口減少の中での移動手段の確保
- 交通事故・渋滞の大幅減少
- 移動時間の有効活用、新たな体験の提供
- エネルギーインフラ、物流効率化、レジリエンス活用など新たな社会価値の提供

自動車産業の構造変化（全体鳥瞰図）



グリーン成長戦略（自動車・蓄電池産業）概要（2021年6月改定）

- ◆ 2050年の自動車のライフサイクル全体でのカーボンニュートラル化を目指すとともに、新たなエネルギー基盤としての蓄電池産業の競争力強化を図る。

＜基本的考え方＞

- ①自動車産業のみならず、エネルギー供給、様々な産業、生活や仕事、モビリティや物流、地域やまちづくりに関わり、幅広い政策を積極的に総動員する。
- ②国際競争力にもつながるよう、特定の技術に限定することなく、パワートレイン・エネルギー/燃料等を最適に組み合わせ、多様な道筋を目指す。
- ③日本の自動車産業は、世界各国に自動車を提供する、世界に冠たる総合的な技術力をもつ基幹産業であり、諸外国の施策や市場の状況に注目して、包括的な措置を講じる。
- ④関連産業には中小零細企業が多くを占める分野も多いことから、電動化への対応の他、新たな領域への挑戦、業態転換や多角化、企業同士の連携や合併等を通じて、カーボンニュートラル実現に向けて、前向きに取り組めるような産業構造を目指す。

電動化の目標 ※電動車＝EV（電気自動車）、FCV(燃料電池自動車)、PHEV(プラグインハイブリッド)、HV（ハイブリッド）

- ✓ 2035年までに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現
- ✓ 商用車については、
 - ・8t以下の小型車について、2030年までに、新車販売で電動車20～30%、2040年までに新車販売で、電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて100%を目指す
 - ・8t超の大型車については、2020年代に5,000台の先行導入を目指すとともに、2030年までに、2040年の電動車の普及目標を設定する

インフラ整備の目標

- ✓ 公共用の急速充電器 3万基、普通充電器12万基設置（遅くとも2030年までにガソリン車並みの利便性を実現）
- ✓ 2030年までに1,000基程度の水素ステーションの整備（商用車向けには事業所の充電・充てん設備の整備を推進）








燃料のカーボンニュートラル化

- ✓ 合成燃料については、2030年代に導入拡大・コスト低減を行い、2040年までの自立商用化を目指す

蓄電池の目標

- ✓ 2030年までのできるだけ早期に、国内の車載用蓄電池の製造能力を100GWhまで高めるとともに、電気自動車とガソリン車の経済性が同等となる車載用の電池パック価格1万円/kWh以下を目指す。

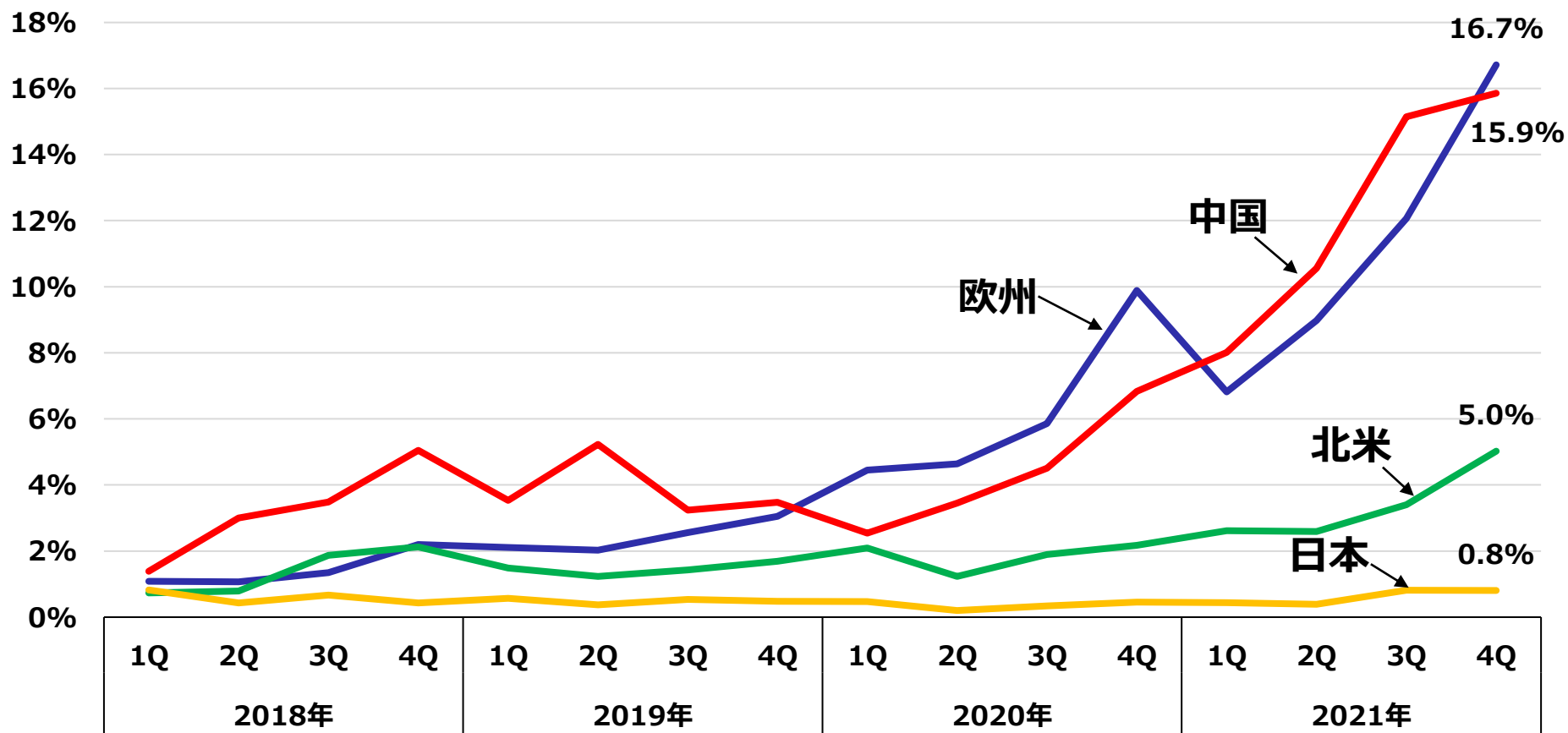
各国の電動化目標

	目標年度	目標	FCV	EV	PHEV	HEV	ICE
日本 	2030	HV : 30~40% EV・PHV : 20~30% FCV : ~3%	~3%	20-30%		30~40%	30~50%
	2035	電動車(EV/PHV/FCV/HV) 100%	100%				
EU 	2035	EV・FCV : 100% (注) 欧州委員会提案	100%		対象外		
米国 	2030	EV・PHV・FCV : 50%	50%			50%	
中国 	2025	EV・PHV・FCV : 20%	20%				
	2035	HEV50% EV・PHV・FCV : 50% (注) 自動車エンジニア学会発表	50%			50%	対象外
英国 	2030	ガソリン車 : 販売禁止 EV:50~70%		50-70%			対象外
	2035	EV・FCV : 100%	100%		対象外		
フランス 	2040	内燃機関車 : 販売禁止	100%		対象外		
ドイツ 	2030	EV : ストック1500万台		ストック 1500万			

主要国・地域における電気自動車の販売台数の推移

- グローバル（特に欧州・中国）における電気自動車の販売台数は堅調に増加。新型コロナウイルスの影響を受けた優遇策強化も起因し、特に欧州においては販売台数が急速に増加。
- 一方、日本では低水準が続いており、欧州や中国との差は拡大傾向。

主要国・地域における電気自動車の販売比率の推移



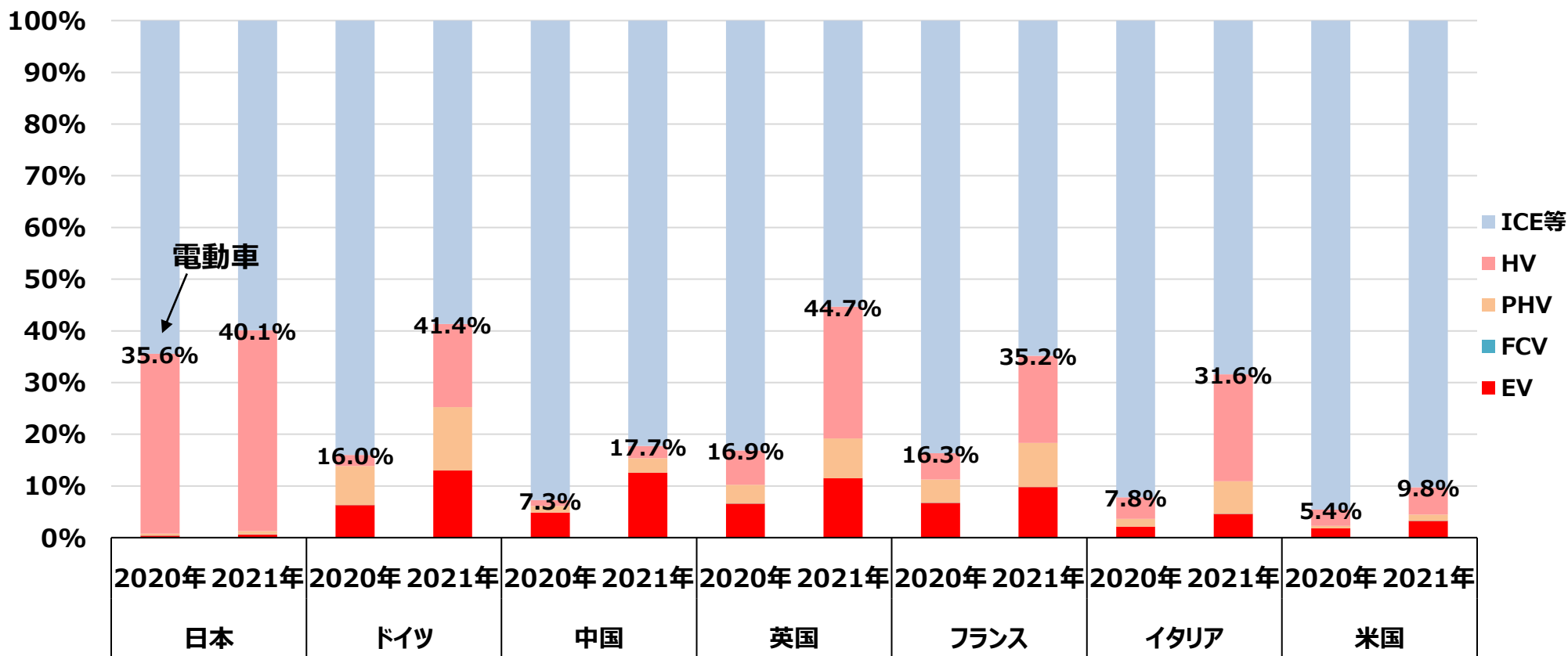
(注) 北米は米国、カナダ、欧州はEU14カ国（ベルギー、ドイツ、フランス、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、デンマーク、アイルランド、ギリシャ、スペイン、ポルトガル、オーストリア、フィンランド、スウェーデン）、ノルウェー、スイス、英国の計17カ国、米国はSUVを小型トラックで算出しているため、乗用車+小型トラックの数値。

(出典) マークラインズ

各国の新車販売に占める電動車割合（2020-2021年）

- カーボンニュートラルの実現に向けて、電動車シフトが加速。日本を含む主要市場において、環境規制の強化や支援策の拡充等を背景に、環境性能に優れた電動車（EV、PHEVやHEV等）の新車販売に占める割合が増加。

主要国における電動車の販売比率の推移

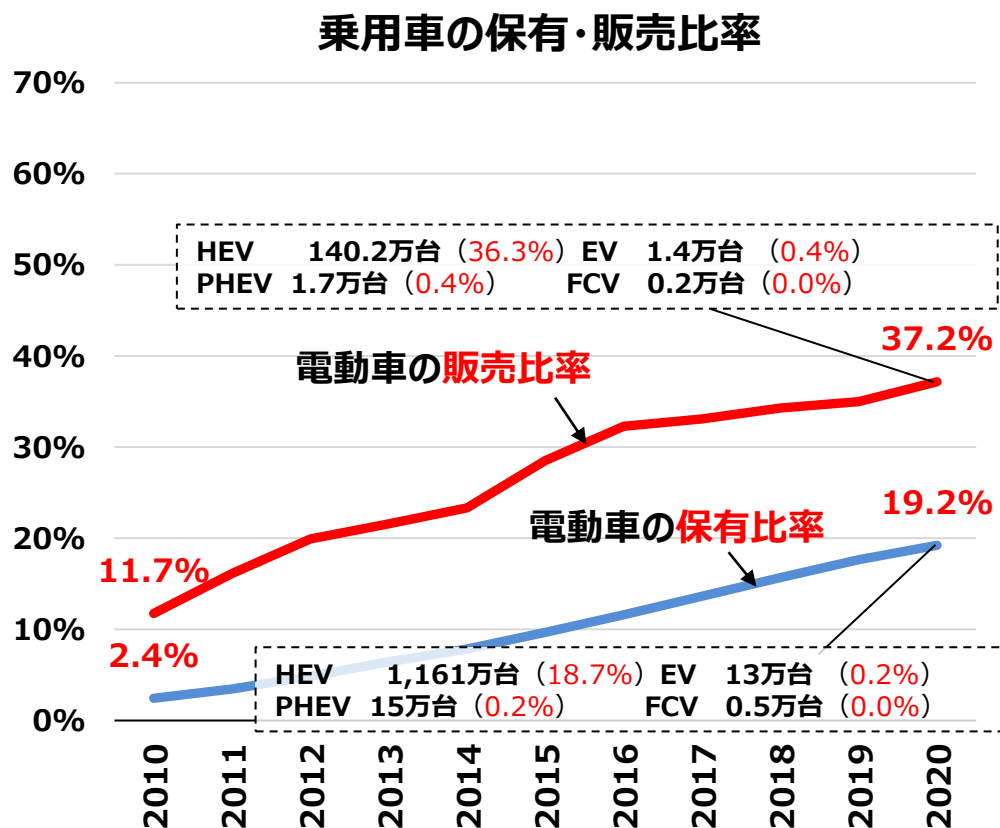
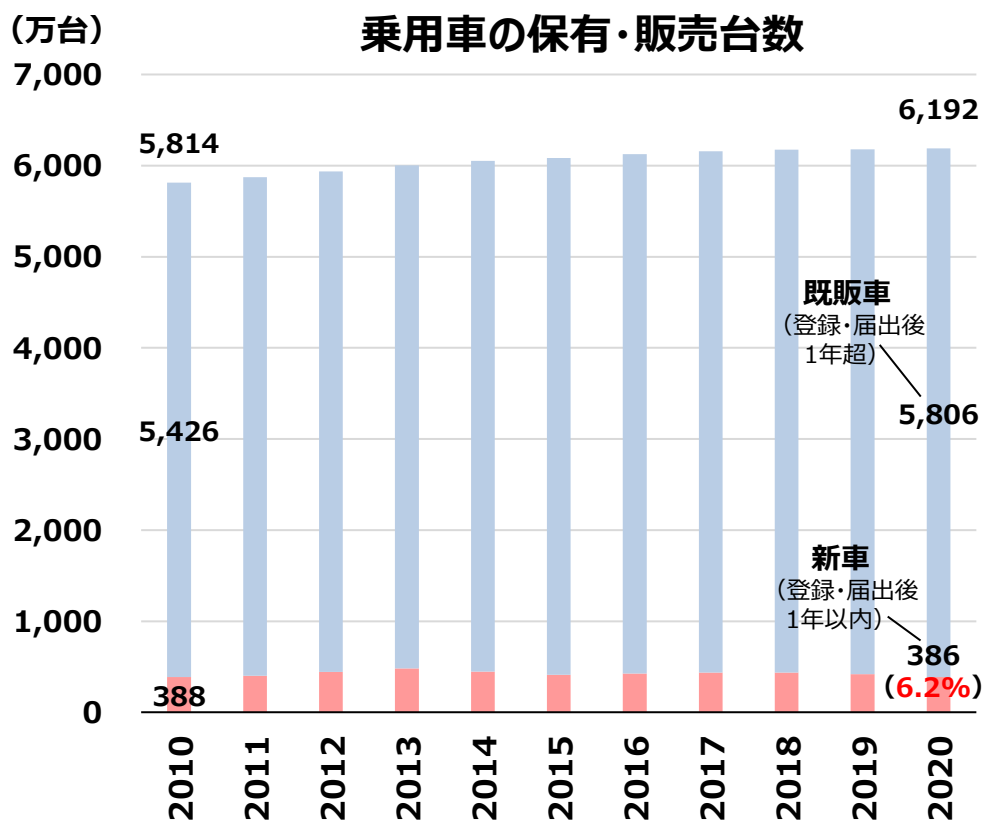


(注) 暦年ベース。米国はSUVを小型トラックで算出しているため、乗用車+小型トラックの数値。

(出典) マークラインズ、(一社) 日本自動車工業会データ

国内乗用車の保有・販売台数に占める電動車割合

- 電動車の販売比率（フロー）は37%に対し、保有比率（ストック）は19%程度。
- 新車（過去1年間で登録・届出された乗用車）のストックに占める割合は6%程度であり、温暖化対策の必要性を考えると、ストックに着目した取組の検討が必要。



(注) 保有台数は2021年3月末時点のデータ、電動車の保有比率、販売比率は年度ベース。既販車の保有台数は全体の保有台数から各年度の新車販売台数を引いた値。

電動車の保有比率は2014年度までは日本検査登録情報協会データでありFCVは含まない。2015年度以降は次世代自動車振興センターのデータでありFCV含む。

(出典) (一社)自動車検査登録情報協会データ、(一社)次世代自動車振興センターデータ、(一社)日本自動車工業会データ

再エネ電気への需要家ニーズの高まりへの対応

- RE100等の再エネ電気への需要家ニーズの高まりに対応するため、**再エネ価値取引市場を創設**。
第1回は約19億kWh、第2回は約13億kWhの取引（供給量は年間約900億kWh。）
- また、FIT/FIPによらない形での**需要家主導による再エネ導入モデルの確立・普及**を支援。

再エネ価値取引市場の創設

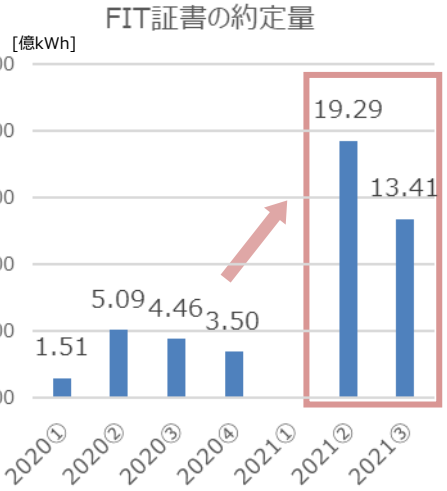
●これまでの「非化石価値取引市場を見直し、**「再エネ価値取引市場」を新たに創設**

<見直しの内容>

- ①最低価格を**大幅**に引き下げ
1.3円/kWh → **0.3円/kWh**
- ②**需要家・仲介事業者の市場参加が可能に**
- ③FIT証書に対して**全量トラッキング化**へ

<オークション結果の推移>

- 第1回オークション(2021/11)
取引量：**約19億kWh**
約定価格：0.33円/kWh※
入札者：118
(うち需要家6、仲介業者19)
- 第2回オークション(2022/2)
取引量：**約13億kWh**
約定価格：0.30円/kWh
入札者：122
(うち需要家14、仲介業者34)

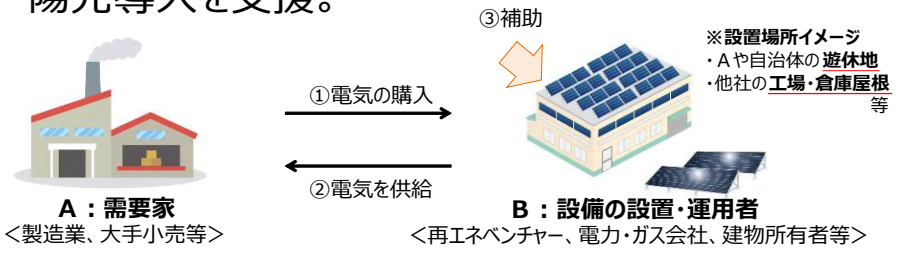


※約定量加重平均価格

非FIT/FIP・需要家主導の再エネ導入促進

【**需要家主導による太陽光発電導入促進補助金**】
 <令和3年度補正予算 135.0億円>

- 需要家が主体的に発電事業者と連携して行う太陽光導入を支援。

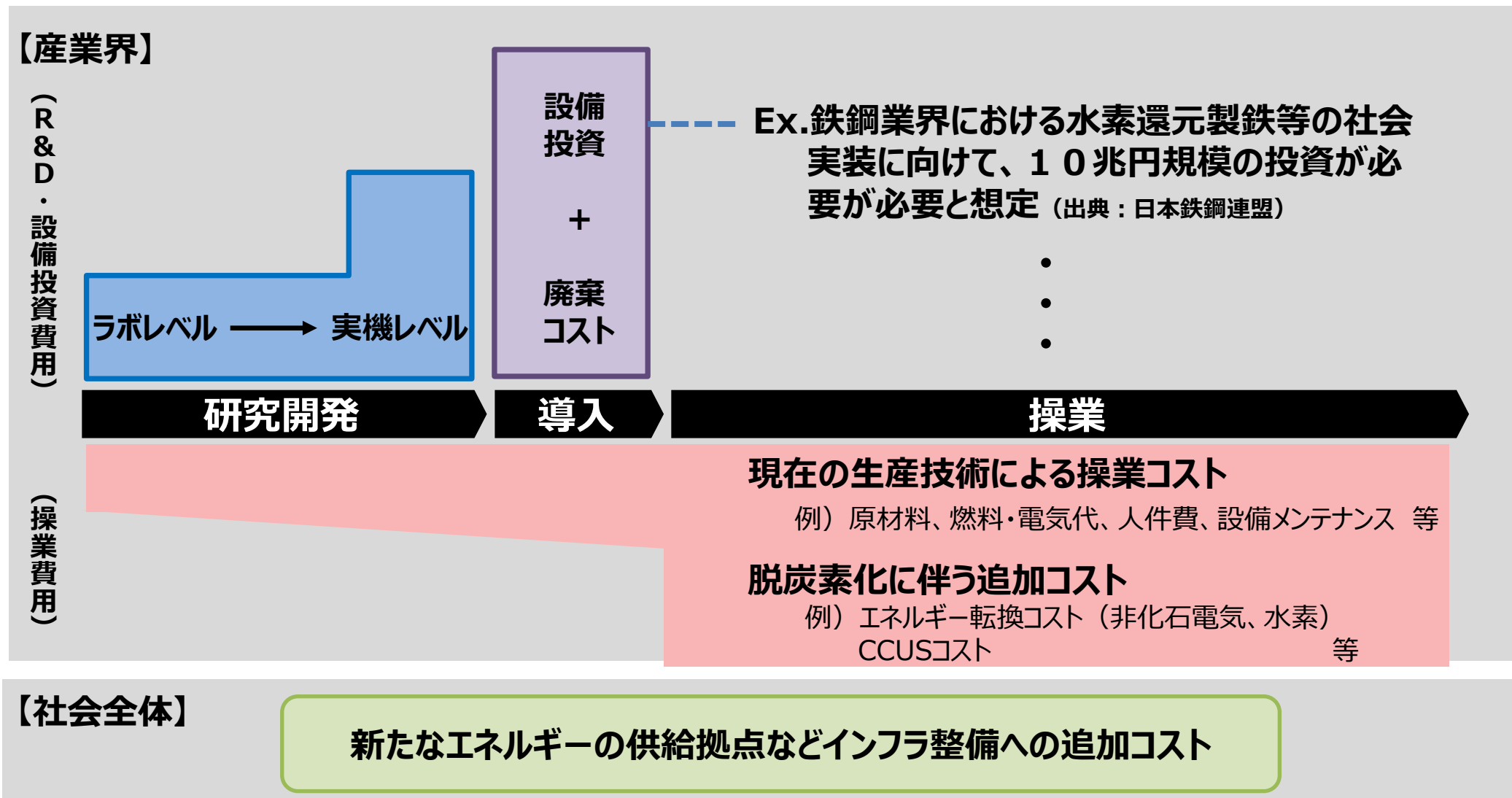


<主な事業要件>

- ①一定規模(2MW)以上の新規設置案件
- ②**FIT/FIP活用・自己託送ではないこと**
- ③**需要家単独**又は**発電事業者と連携**した電源投資であること(8年以上の受電契約等)
- ④廃棄費用確保、周辺地域配慮等FIT/FIP制度同等以上の取組を行うこと

炭素中立型社会に向けて必要となる追加コストのイメージ

研究開発、設備投資、操業費用、更にはインフラ面でも追加的なコストが必要となる



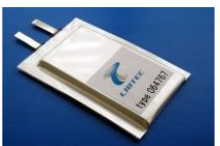
多様な技術のイノベーションの促進

- 自動車のカーボンニュートラルは大きなチャレンジ。**特定の技術に限定することなく多様な選択肢を追求し、選択肢を狭めない**ことが重要。我が国は、イノベーションで世界を牽引。
- グリーンイノベーション基金（2兆円）を通じて、次世代電池・モーター、水素サプライチェーン構築、合成燃料の研究開発に加え、車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発やスマートモビリティ社会の構築を支援。

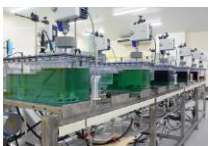
①次世代電池・モーター 上限 1,510億円

- ①航続距離を現在の2倍に
- ②コバルト回収率95%
といった高性能電池・リサイクル技術等の開発を支援。

コスト低減・利便性向上・資源リスク軽減。



全固体電池



リサイクル工程

②水素サプライチェーン構築 上限 3,700億円

海外輸送を含めた大規模サプライチェーンの構築、水電解装置による水素製造の技術開発等を支援。

需要創出と供給コストの低減を一体で支援し、水素社会の実現を目指す。

海上輸送
(液化水素運搬船)



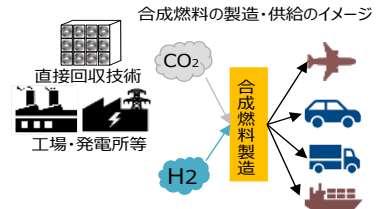
水素製造
(水電解装置)



③合成燃料 上限 550億円

CO₂と水素を高効率・大規模に合成燃料に転換するプロセスの開発を支援。

合成燃料の製造収率、利用技術向上を目指す。



※合成燃料:CO₂と水素を合成して製造される燃料。

④車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発 上限 420億円 (調整中)

自動運転等の高度情報処理に必要な省エネ型の車載コンピューティング技術 (センサー・ソフトウェア等)の開発。
電動車の開発を加速するための車両全体のシミュレーションモデルの開発。

⑤スマートモビリティ社会の構築 上限 1,130億円 (調整中)

運輸事業者等により、EV/FCVを大規模に運用し、運行管理とエネルギーマネジメントを一体的に行うシステムの構築・検証。

蓄電池製造・開発拠点の国内立地支援

【蓄電池の国内生産基盤確保のための先端生産技術導入・開発促進事業】

【令和3年度補正予算額：1,000億円】（R4当初予算案15億円）

事業概要

- 先端的な蓄電池・材料の生産技術、リサイクル技術を用いた大規模製造拠点を国内に立地する事業者に対し、そのために必要となる建物・設備への投資及びこうした生産技術等に関する研究開発に要する費用を補助。

補助要件

- 技術的先進性
- 大規模投資
- 設備の転用可能性
 - 車載用電池の場合、定置用の生産にも転用可能な構造の設備とすること
- 国内サプライチェーン強靱化への寄与
 - サプライチェーンリスクの軽減策の実施
 - CO₂排出低減・責任調達への対応
 - サイバーセキュリティリスクへの対応（BMS等）

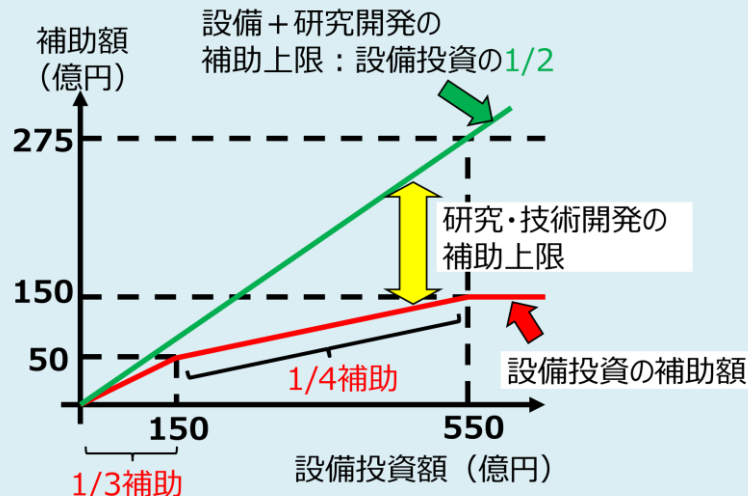
補助率・補助上限

(1) 設備投資

- 補助対象経費150億円までは、補助率 **1/3**
- 150億円を超える部分については、補助率 **1/4**
- 補助上限額 **150億円**

(2) 研究開発 補助率 **1/2**

※(1)による補助額との合額が、(1)の補助対象経費の1/2を超えない範囲

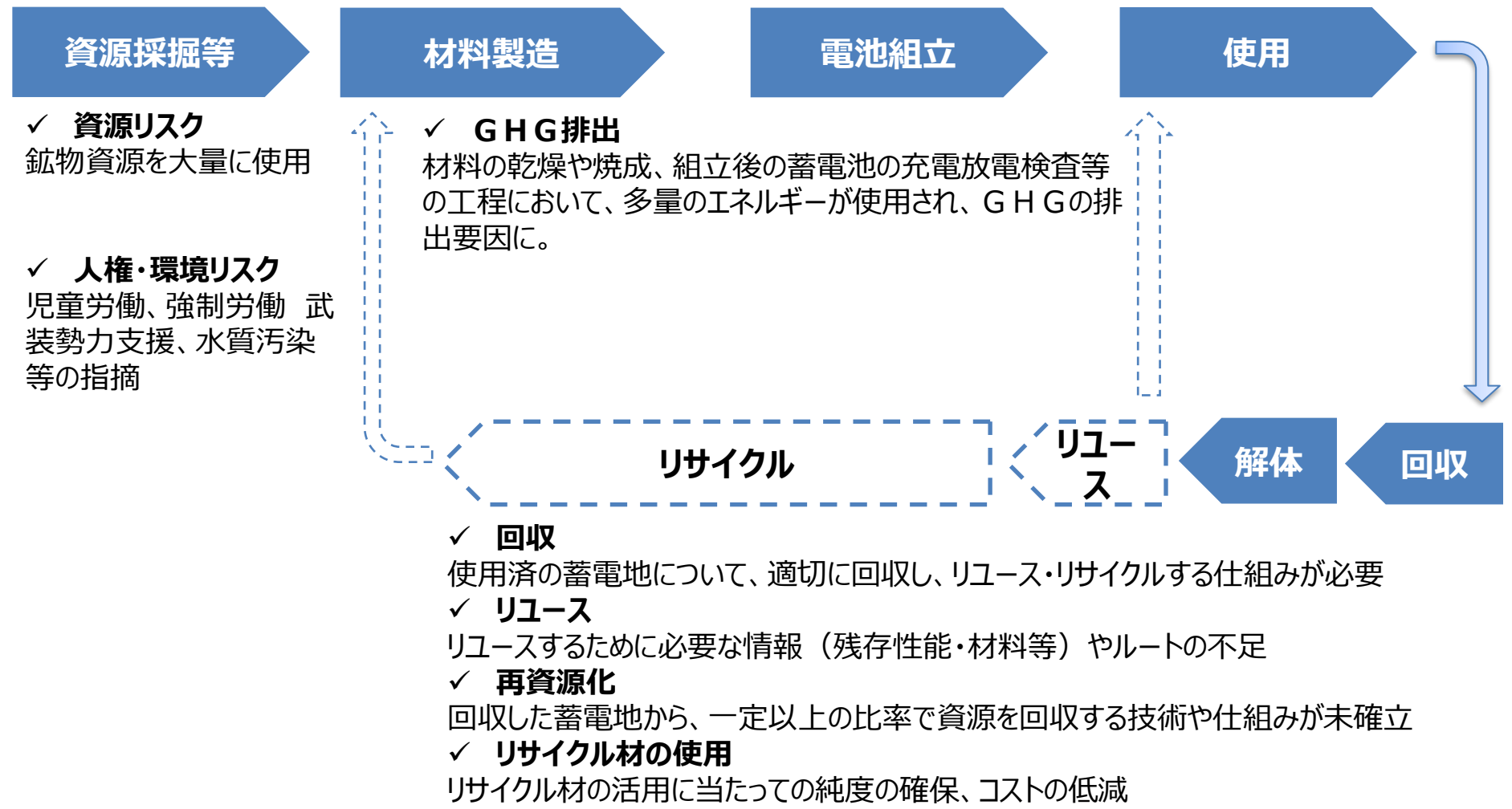


■補助スキーム（事業期間：5年間）



蓄電池のサステナビリティ確保に向けたルールの検討

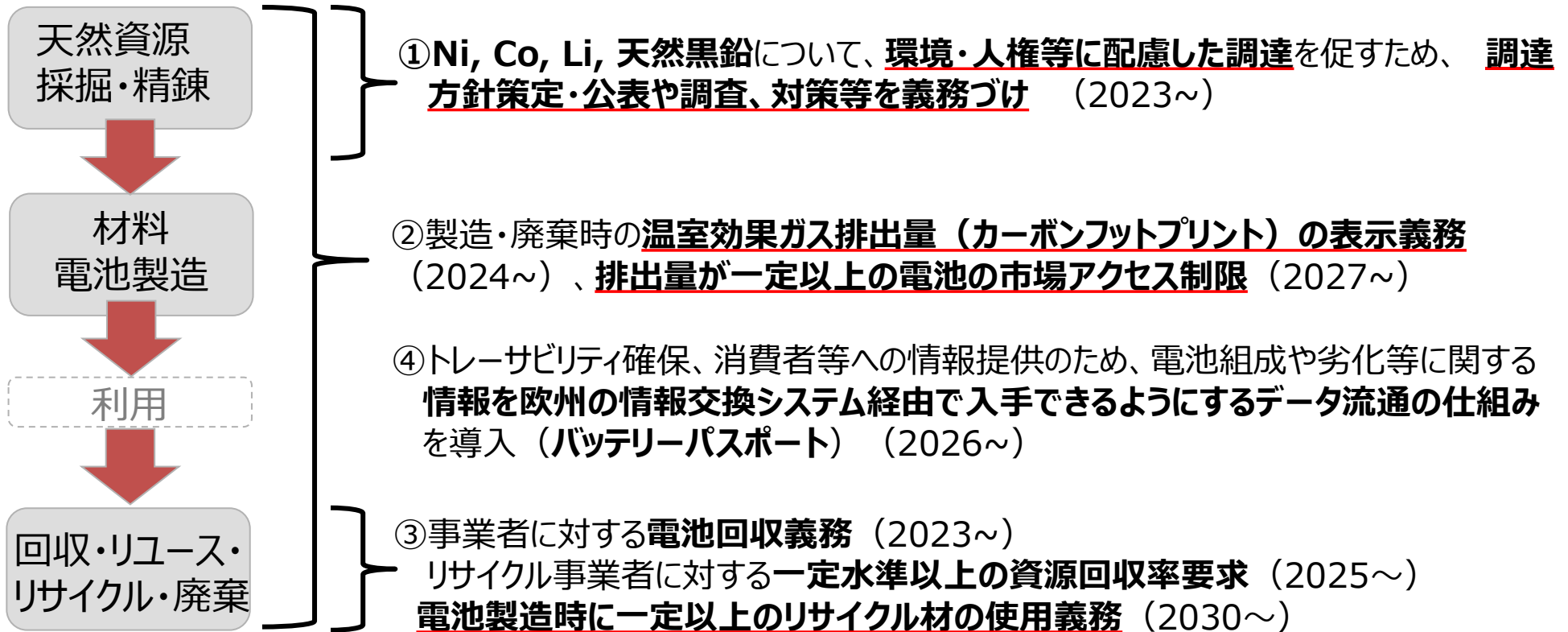
- 蓄電池の製造・廃棄プロセスにおいては、①GHGの大量排出、②鉱物の採掘・加工プロセスにおける人権・環境リスク ③資源の大量消費・大量廃棄といった課題がある。
- このため、①GHG排出量の見える化、②人権・環境デュー・ディリジェンス、③リユース・リサイクルについて、ルールの検討を進めていくことが必要。



(参考) 欧州で検討中のバッテリー規則案

- 欧州は、2020年12月にバッテリー規則案を公表。加盟国に強制適用される「規則」とするとともに、製造・廃棄時の温室効果ガス排出量による規制（カーボンフットプリント規制）、責任ある材料調達（デュー・ディリジェンス）、リサイクルに関する規制等を提案。電池の欧州域内生産・域内循環を誘導。

【主な規制案】



EV等の購入支援（クリーンエネルギー自動車・インフラ導入促進補助金の内数）

【令和3年度補正予算額：375億円（うち購入補助250億円）】
 （R4当初予算案140億円）

- 「グリーン成長戦略」を着実に推進すべく、政府として踏み込んだ措置を行う。総額375億円のうち、購入補助には250億円を充てる。
- 補助上限額についても、大幅に引上げ（例：EVの場合、40万円⇒80万円と2倍に）

購入補助予算の概要

- 総額：250億円
- 対象：電気自動車（EV）
 プラグインハイブリッド車（PHEV）
 燃料電池自動車（FCV）
- 補助単価：上限額を大幅に引上げ（具体的には以下）

車別の補助額(例)

電気自動車
 (EV)



補助：40万円⇒**80万円**

軽EV



補助：約20万円⇒約**50万円**

プラグイン
 ハイブリッド車
 (PHEV)



補助：20万円⇒**50万円**

燃料電池車
 (FCV)



補助：115万円⇒**140万円**

車別	これまで	令和3年度補正	
	ベース	ベース	条件付き※
EV	40万円	60万円	80万円
軽EV	20万円	40万円	50万円
PHEV	20万円	40万円	50万円
FCV	225万円	225万円	250万円

※条件は、外部給電機能としてのV2X対応、1500W車載コンセント装備等

充電インフラ・水素ステーションの整備補助

【令和3年度補正予算額：125億円、R4当初予算案90億円】

- インフラの整備は電動車の普及と表裏一体。電動車の導入支援と両輪で、2030年までに急速充電3万基・普通充電12万基及び水素ステーション1,000基の整備を目指す。

充電設備（EV・PHEV用）

普通充電と急速充電を補完的に整備。特に、集合住宅、高速SA、山間部等の空白地域等については重点的に整備

種類	普通充電	急速充電
利用用途	自宅・会社等で主に利用	高速SA等の経路で主に利用
利用イメージ	 マンションの充電スペース	 高速道路の充電スペース
コスト	相対安	相対高
充電時間	8時間程度	30分程度
支援措置	<集合住宅等> 設備費：1/2 工事費：定額	<SA、経由地等> 設備費：定額or1/2 工事費：定額

(注) 充電時間は、電池の残量や充電したい量などによって異なる。

水素ステーション（FCV用）

民間企業等の取組とも連携しつつ、四大都市圏とそれを結ぶ幹線沿いを中心に水素ステーションを整備。



[水素ステーションの整備状況（整備中含む）計169箇所]

- ・関東圏：62箇所
- ・中京圏：52箇所
- ・関西圏：23箇所
- ・九州圏：20箇所
- ・その他（幹線沿等）：12箇所 ※令和3年12月時点

[補助率]

整備費：最大2/3

自動車産業『ミカタ』プロジェクト

- 自動車の電動化の進展に伴い、内燃エンジン車の需要が減少に転じていく中で、需要が減少する自動車部品（エンジン、トランスミッション等）のサプライヤーが電動車部品の製造に挑戦する、整備・販売事業者が電動車の整備に対応するといった「攻めの業態転換・事業再構築」を支援。
- 専門家による伴走型ハンズオン支援から、事業再構築補助金「グリーン成長枠」による設備投資等の支援まで、各段階で脱炭素に向けた「見方」を示し、強力な「味方」として経営をサポート。

業態転換をイチから進める事業者様へ！

『経営』のミカタ

カーボンニュートラルに向けた 自動車部品サプライヤー事業転換支援事業

【令和4年度予算案額：4.1億円】

- ✓ 実地研修やセミナー等を通じて、電動化の見通しや、対応に必要な基礎知識等をレクチャー。
- ✓ さらに、地域支援拠点等における相談対応や、技術・経営課題に応じた専門家派遣により、業態転換に向けた技術分析・戦略立案を強力にサポート。

中堅・中小サプライヤー



相談

相談窓口



支援

専門家マッチング・派遣



- 今後の経営方針について相談したい
- 開発中の部品の技術相談をしたい
- 開発中の部品の販路を開拓したい
- 必要な設備投資について相談したい

ステップアップ！

業態転換に向けた設備導入等を検討中の事業者様へ！

『未来投資』のミカタ

中小企業等事業再構築補助金

【令和3年度補正予算額：6,123億円の内数】

- ✓ 業態転換の実現に向けて必要となる設備導入等を補助。
- ✓ 研究開発・技術開発又は人材育成を行いながら、グリーン分野※の課題解決に資する事業再構築を行う事業者を支援。
※グリーン成長戦略の重点14分野
- ✓ 上限：中小1億・中堅1.5億。補助率：中小1/2・中堅1/3。

従来

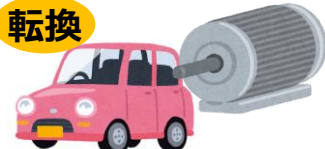


エンジン部品



電動車部品の加工に
用いられる設備を導入し、
新製品の技術開発

転換



EVモーターの部品
電動車向け軽量部品

従来



ガソリン車の整備工場



EVの整備に必要な
設備を導入し、
整備人材も育成

転換



電動車の整備

地域における新しいモビリティサービスの創出

- 地域の移動課題を解決する新しいモビリティサービスの実現には、**効率化・付加価値増大に向けた様々なビジネスモデル上の工夫**が必要。
- **14地域で全国的に先進事例となりえる実証**を実施、横断的な課題を抽出・横展開を図る。

実証で検証中のビジネスモデル上の工夫

A : 他の移動との重ね掛け (複数の用途で共同活用) による効率化

- 自動運転車両を活用した貨客混載サービスの提供実証 (春日井市) など



- 診療所や薬局への往復と、食料品配送などを同じ車両で実施 等

B : モビリティを用いたサービス提供 による効率化・利便性向上

- 複数自治体をまたがった、モビリティによる医療サービス提供の事業化に向けた実証 (三重県6町) など



C : 需要側 (利用者) の 行動変容促進による事業性向上

- ダイナミックな来店予約・クーポン等を活用した混雑量のコントロール (密回避) の効果検証 (大阪市) など



- 位置情報を活用した行動予測
- オフピークへのインセンティブ付与 等

D : 異業種との連携による収益向上・付加価値創出

- 購買情報や運行データを組み合わせ、公共交通による購買促進効果の見える化や広告収入向上に向けた実証 (会津若松市・日立市) など

購買データ
(レシート情報)



運行データ
(停留所、駅 等)



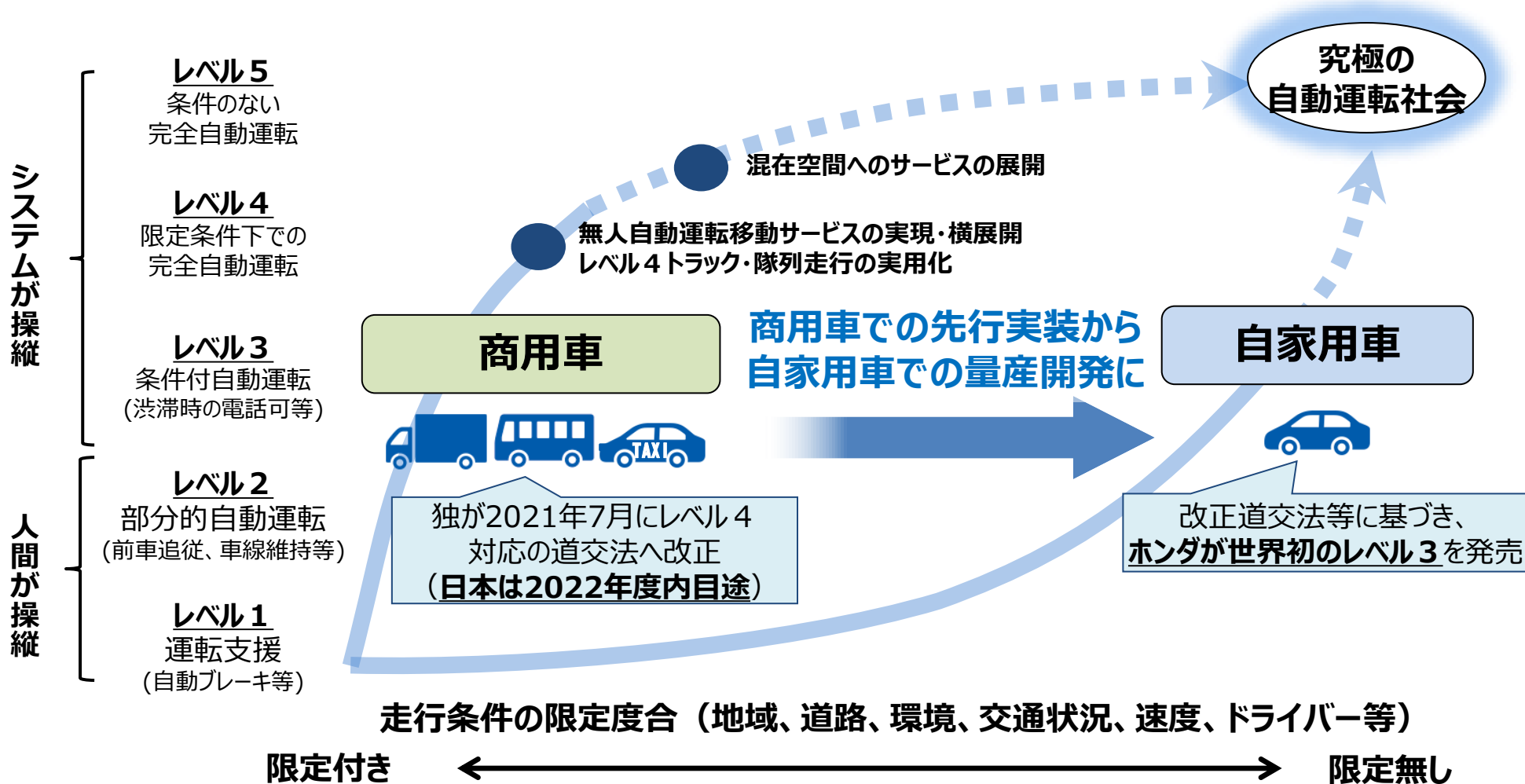
E : モビリティデータを活用した交通・都市政策との連携

- 交通サービス等の提供で得られた移動・健康データを活用した、交通政策と福祉政策との連携可能性の検証 (入間市) など



自動運転の実現に向けた取組①（全体の方向性）

- 条件のない完全自動運転（レベル5）の実現までには、様々な分岐点（要素技術・インフラ協調・安全性評価・ビジネスモデル等）が存在。走行条件の絞り込みが容易なサービスカーから、レベル4は先行実装。
- 我が国でも、2022年度内目途にドイツに続いてレベル4に対応した道交法改正が行われる見通し。無人自動運転移動サービスの円滑な社会実装に向けて技術実証や社会受容性向上の取組を進める。



自動運転の実現に向けた取組②（プロジェクト）

- 無人自動運転サービスの実現および普及を目指し、関係省庁とも連携しながら「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト（RoAD to the L4）」を推進中。
- 2025年頃までに無人自動運転サービスを40カ所で実現、高速道路でのレベル4トラックの実用化などを
目指し、さらに市街地など歩行者や他車両と混在する空間へのサービスの拡張を図る。

レベル4 移動サービスの実現@限定空間

遠隔監視のみで自動運転サービス(レベル4)の実現
に向けた実証事業の推進

- 2022年度目途に限定エリア・車両での、遠隔監視のみでの自動運転サービス(レベル4)の実現を目指す。



(イメージ) 永平寺町：
遠隔自動運転システム

- さらに、事業性向上に向けて、4台の車両を1人が同時監視するシステムの確立等を図る。

エリア・車両拡大

エリア・車両の拡大への対応

さらに、対象エリア、車両を拡大するとともに、事業性を向上するための取組

- 2025年度頃までに無人自動運転サービスを40カ所以上実現するため、走行環境拡大や事業性向上に向けた検討を実施。
- 具体的には、中型バス等に自動運行装置を搭載するための実証や、ユースケースの類型化等を行う。



(イメージ)
自動運転バス

高度物流システムの実用化@高速道路

高速道路における隊列走行を含む高性能トラックの
実用化に向けた取組

- 2025年度頃に高速道路でのレベル4自動運転トラックやそれらを活用した隊列走行の実現を目指す。
- 足元では、ユースケースや優先的に確立すべきエリアを特定し、それらに基づき車両を含む新たな幹線物流システムの在り方を検討中。



(イメージ) 高速道路
での自動運転

混在空間対応

混在空間でのサービス確立

混在空間でレベル4を展開するための
インフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組

- 2025年以降に、より複雑な走行環境（混在空間）でのレベル4自動運転サービスを展開すべく、車両がインフラや他の車両等と協調するシステムの確立を目指す。
- まずは、インフラ等との連携を必要とするユースケースの整理、車両・インフラが保有するデータ（ダイナミックな周辺状況）の連携スキームを検討等を行い、実証へとつなげる。



(イメージ) インフラ
からの走行支援

混在空間対応

1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

(2) 各産業のGX戦略検討

① 自動車

② 原子力

(3) 2050年CN実現に向けて必要となる技術について

① CCS

(4) 2050年CN実現に向けて将来期待される新技術

① ネガティブエミッション技術

GX分析 ②原子力

● 現状のビジネス環境

- 各国の温暖化対策の拡充に伴い、原子力産業の市場規模は、2050年には最大で年間約40兆円程度まで拡大する見通し。米英仏は、小型モジュール炉や高温ガス炉等の革新炉の研究開発に注力し、中長期を見越した技術の主導権獲得を志向。
- 一方で、米英では、20～30年の間、国内での新規建設がなかったため、サプライチェーン・人材・技術が弱体化。現行炉型（大型軽水炉）による新設事業の主体は、中露に集中。米英仏は、近年まで建設を継続し、技術・人材基盤を維持してきた日韓の技術・サプライヤに期待。
- 日本国内では、震災前に原子力発電所における国産化率は90%を超え、サプライチェーンに高レベルの技術が集積。しかし、震災後は中核サプライヤー等の撤退が相次ぐ等、サプライチェーン劣化の懸念。製造現場の空白期間が続いており、革新原子力の研究開発に注力するためにも、技術・人材の維持は喫緊の課題。

● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- カーボンニュートラルに向けて、2050年までに400GW以上の原子力発電所が建設されるとの見通しも。石炭からのリプレース等のアジアの旺盛な需要に応える伸びが太宗を占める。2050年のグローバルマーケットにおけるグリーン成長戦略に掲げられた革新炉のシェアは1/4規模との予測も。
- カーボンニュートラル社会において、原子力は、デジタル化や熱からの転換に伴う安定低廉な電力需要増大への対応、系統安定性への寄与といった再エネ大量導入との調和、産業用途を念頭においた大規模な水素供給など新たな価値を提供できる可能性。

● 海外プレイヤーの動向

- 米英は、①安全性を高めた大型軽水炉への支援、②SMR等の革新炉の研究開発支援の二本立てで原子力への大規模な支援策を発表。
- 仏韓は、国営企業が、新規建設で産業基盤を維持しつつ、将来に向けた革新炉開発も推進。
- 中露は新興国等に対し、戦略的に輸出を働きかけ。近年、中国は英国・南米等で7件、ロシアは東欧や中東等で10件のプラント輸出プロジェクトを獲得、推進中。革新炉実証も進展。

課題と打ち手の例 ②原子力

【技術・ビジネスレイヤー】

- 将来にわたって原子力を安全・安定的に活用していけるよう、現下の状況において、如何にして原子力サプライチェーンを維持・強化していくか。
→サプライチェーンの現状を把握・分析し、供給途絶の危機にある技術・サービスの継承やデジタル技術の活用等によるサプライチェーン・技術・人材維持の取組を支援していく。
- カーボンニュートラル社会に向けて、原子力に求められる「安定低廉な電力需要増大への対応」「再エネ大量導入との調和」「大規模な水素供給」といった新たな価値をどのように実現していくか。
→国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進、小型モジュール炉技術の国際連携による実証、高温ガス炉における水素製造に係る要素技術確立等の技術開発・実証や人材育成を進める。

【マーケットレイヤー】

- 欧米諸国が小型モジュール炉や高温ガス炉等の革新炉の技術主導権の獲得を志向する中、日本として、如何にして将来のグローバル市場動向を見極め、技術蓄積を進めるか。
→米・英等の開発プロジェクトに技術蓄積の豊富なJAEAや高い製造能力を持つ日本企業が連携して参画、日本として、積極的に支援していくことを通じ、小型モジュール炉や高温ガス炉等の革新炉の世界標準の獲得を追求していく。
- 国内市場が限定的な中で、中枢部品・部材等の国内サプライヤが如何にして、革新炉の潮流に対応し、事業継続の将来展望を描いていくか。
→革新炉の国際プロジェクトにサプライヤが効果的に参入できるよう戦略的にチーム編成を進めるとともに、海外規格の認証取得や海外勢との案件マッチングを通じ、サプライヤのビジネス機会創出を支援していく。

世界の原子力市場は今後大きく拡大見込み。革新炉も徐々に増加か

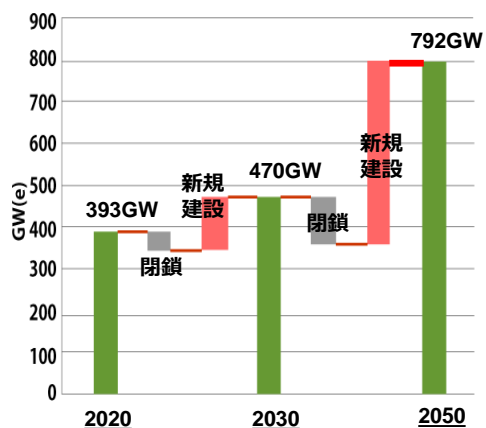
- 国際機関の分析によると、原子力の市場規模は、**2050年には最大で年間約40兆円程度まで拡大**。そのうち、**アジアの旺盛な需要拡大**に相應する伸び（石炭からのリプレース等）が太宗を占める。
- **革新炉のシェアは、2050年で市場の1/4規模との予測**（当面は大型軽水炉が需要増を満たす構図。）

IAEA (国際原子力機関)

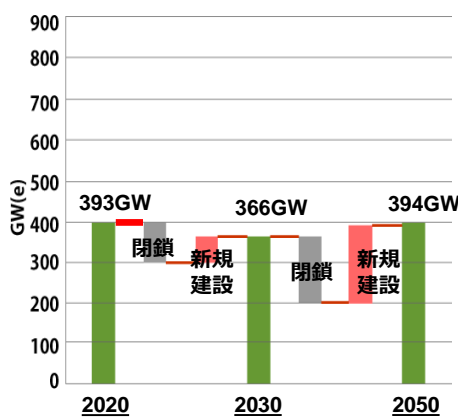
世界の原子力設備容量予測

単位：GW=100万kW

【高予測：各国で温暖化対策を拡充】

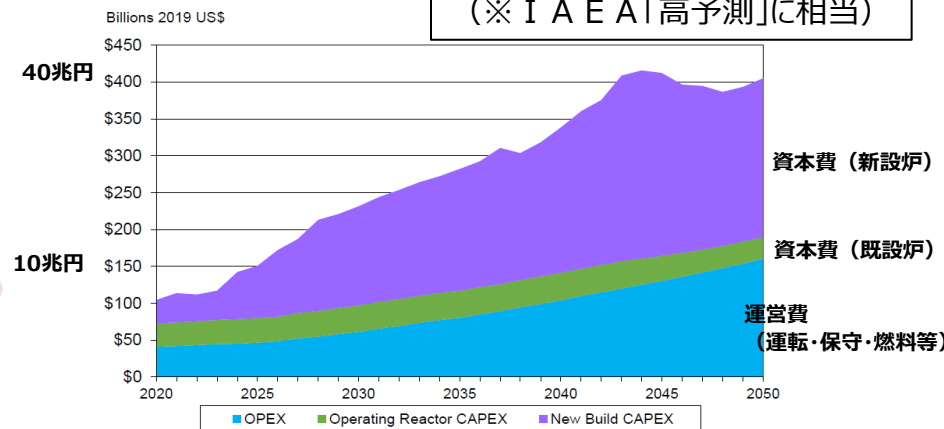


【低予測：各国の政策が現状維持】



NEI (米国原子力エネルギー協会)

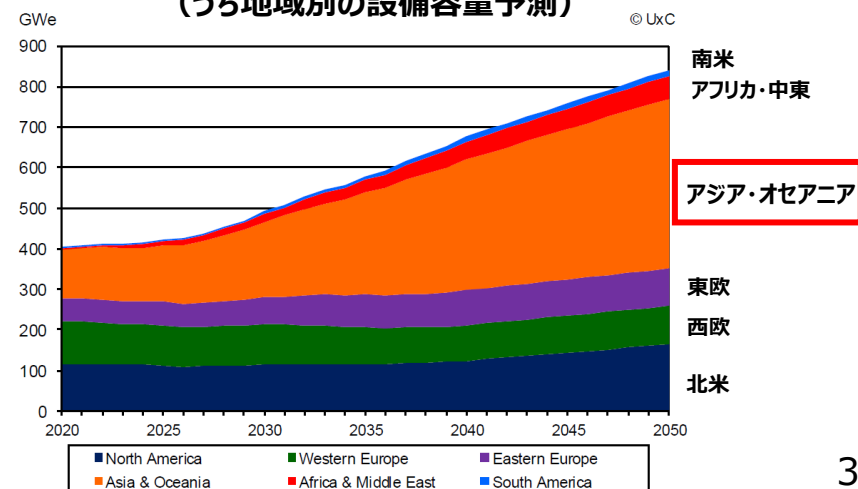
世界の原子力市場予測 (※ IAEA「高予測」に相当)



NEI (米国原子力エネルギー協会) による非従来型炉の市場規模予測

「SMR、マイクロ炉、革新炉（高温ガス炉、溶融塩炉等）が、より市場に浸透していけば、これら非従来型の炉は、2050年の市場において、最大で25%を占める可能性がある」

(うち地域別の設備容量予測)



米英では技術・人材が弱体化

- 米は、スリーマイル原子力発電所の事故以降新設が途絶え、**主要資機材の製造能力を喪失するなど技術・人材は弱体化**。その後、**35年ぶりに新規着工した発電所は、大幅な遅延・コスト増に直面**。
- 英は、90年代以降、天然ガス火力の依存度を高める一方、原子力発電所の新設を停止。国内の**原子力産業のサプライチェーンを喪失**。

米国

- 建設中：2基（AP1000） ※**35年ぶり**
- 当初は建設計画4基 ⇒ **2基計画中止**
- 運転開始予定 **2016年** ⇒ **2022年以降**
 - 建設作業に係るノウハウ・人材を喪失していたこと等により**運転開始は5年以上遅延・コスト増に直面**。
 - 米国エネルギー省は、米国企業には大型軽水炉の**主要資機材（原子炉容器、蒸気発生器等）を製造する能力はないと評価**。

英国

- 建設中：2基（EPR）
 - 運転開始予定 **2026年以降**
 - 国内のサプライチェーンを喪失（**仏のサプライチェーンから調達**）。
 - 計画中の別案件では**中国炉型の導入を予定**。**資金調達も中国からの出資が太宗を占める**。
- ※別プロジェクトで、日立（ホライズン社）がABWR建設を計画するも、**2020年に撤退**を表明。

米・英は、①大型軽水炉の支援、②SMR等のR&D支援の二本立て

- 産業の立て直しを図る米・英は、相次いで原子力への**大規模な支援策**を発表。①**安全性を高めた大型軽水炉の支援**等、②**将来を見据えたSMR等の革新炉の研究開発支援**の二本立て。



米国



英国

大型軽水炉支援

◆既設支援

- 経済的困難な状況にある既設炉への**財政支援(クレジット付与)**
\$60億(約6,000億円) / 5年間
- 既設炉の**販売電力量に応じ税控除**
(法案未成立)

◆新設支援

- 国内新規建設を支援する**資金調達モデル(RABモデル)**関連法案を提出
- 大型原子力発電所の新規建設支援
最大 £17億(約2,500億円)

革新炉支援

◆研究開発

- 革新炉実証プログラム(ARDP)
\$32億(約3,200億円) / 6年
実証炉2基に対する資金支援
TerraPower社(高速炉)：約2000億円
X-energy社(高温ガス炉)：約1200億円
- SMR等のサイト選定に係る**財政・技術支援**
- 核融合の研究開発(法案未成立)
～2026年 \$9億(約900億円)

◆研究開発

- 「先進原子炉基金」を設立
(2020年12月)
£3.85億(約577億円)
- 「未来の原子力実現基金」を設立
(2021年10月)
£1.2億(約180億円)

仏韓は産業基盤を立て直し、海外にも展開

- 仏は、原子炉メーカー**フラマトム社の経営体制を一新させ、技術・人材の立て直し**に取り組み。直近では、2022年2月にマクロン大統領が「原子力の復活」を宣言。
- 韓は、国内脱原発方針を表明する一方、**国内4基の新設を継続**しつつ、海外プロジェクトにも積極的に取り組み、**国内の産業基盤を温存**。

仏国

- 建設中：1基（EPR）
- 運転開始予定 **2023年以降**
 - 英国やフィンランド等、海外で新規建設を展開し、国内産業基盤のつなぎとめ、国内建設も継続。
- マクロン大統領が**国内での新設を表明**
(2022年2月)
 - 「**6基のEPR2の新設に着手し、更に8基の新設に向けた検討を開始する**」

韓国

- 建設中：4基（APR1400） ※米国から技術導入
- 運転開始予定 **2022年から24年まで順次**
 - **文政権は脱原発方針なるも、進行中の新規建設は続行**
- **原発輸出に積極的**
 - **UAEでバラカ原発PJを受注し、2021年にうち1基が営業運転を開始**
 - エジプトで、**ロシア主体PJのタービン系統に参画**

仏韓においても米英同様、支援を具体化

- 仏韓も具体的な原子力支援を表明。
- 仏韓では国営企業が、新規建設で産業基盤を維持しつつ、将来に向けた革新炉開発も推進。



仏国

大型軽水炉支援

- ◆ **新設支援**
2020年9月「France Relance」にて原子力産業の支援策を発表。
 - 人材支援 **€約1.1億(約143億円)**
 - 中小企業支援（ファンド創設）
総額€2億(約260億円)
- ◆ マクロン大統領は、2022年2月に「**6基のEPR2の新設に着手し、更に8基の新設に向けた検討を開始**」と宣言。

革新炉支援

- ◆ **SMR**
€1B (約1,300億円)
マクロン大統領は、「2030年までに、革新的な小型原子炉をフランスに導入する」と発言。



韓国

- ◆ **海外新設支援**
 - 輸出推進のため「**原子力輸出諮問委員会**」を2021年に設置。
 - 中小企業の資機材輸出のためのポータルサイト立ち上げ
- ◆ **国内建設**（4基建設中）
 - 政府および政府系金融機関が電力公社に50パーセント超の株式を保有し、下支え。

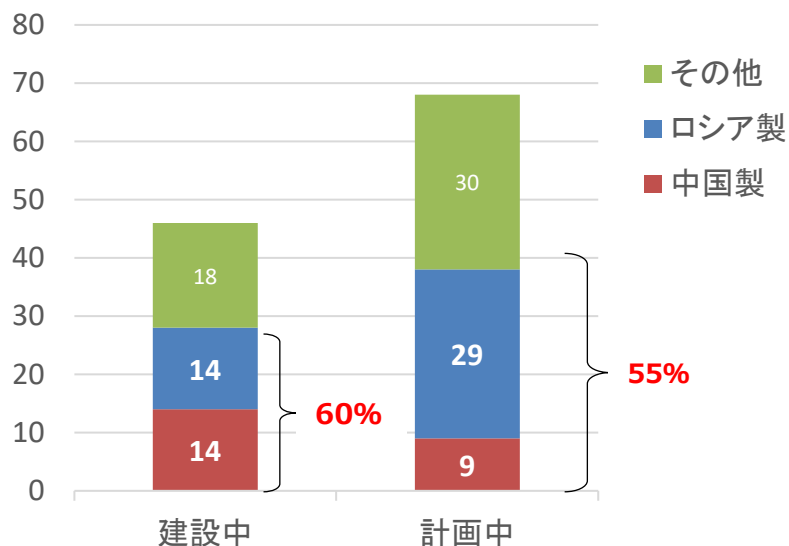
- ◆ **SMRを含むプロジェクトに**
2兆7000億W (約2700億円) / 5年間
※詳細な内訳は不明。

中露が現行炉型（軽水炉）で世界市場を席卷

- 現行の炉型（軽水炉）による新設プロジェクトは、**中国・ロシアに集中**（いずれもPWR）。
- 中国は英国・南米等、ロシアは東欧や中東等に対し、**戦略的に輸出を働きかけ**。

＜中国・ロシアの原子力発電所建設シェア＞

- 現在、世界で建設中・計画中のPWRのうち、建設中については約**60%**、計画中のもので約**55%**が中露の炉型。



※「その他」には、米国AP1000やフランスEPR、韓国APR1400等が含まれる
 (出所) 世界の原子力発電開発の動向2021 (2021年1月1日時点)
 を基に資源エネルギー庁作成

＜両国の具体的な輸出案件＞

- 中国はパキスタン、英国、アルゼンチン、ロシアは東欧・中東諸国、で具体的なプロジェクトを実施。
- 加えて、様々な国との協力覚書等も締結。

中国		ロシア	
パキスタン	建設中 (4基)	ベラルーシ	建設中 (1基)
英国	仏国と 建設中 (2基)	インド	建設中 (3基)
アルゼンチン	計画中	バングラデッシュ ¹	建設中 (2基)
サウジアラビア	応札 可能性	トルコ	建設中 (3基)
		イラン	建設中 (1基)

中露は革新炉でも世界に先行

- 中国・ロシアは、革新炉分野においても、米英仏に先駆けて、開発・実証を推進中。

中国

<高速炉>

- ロシア技術の輸入により、実験炉を運転中。
- 現在は実証炉を建設中。2023年運転開始予定。
- 2030年代に商用炉導入予定。

<高温ガス炉>

- 2000年に研究炉が運転開始。
2021年9月、実証炉が初臨界。

<SMR>

- 2021年、国産PWR型SMR「玲龍1号」の実証炉を着工。
- 2026年運転開始予定。



HTR-PM外観

ロシア

<高速炉>

- 旧ソ連時代から豊富な運転経験を有する。
- 原型炉(BN-600)、実証炉(BN-800)運転中。
- 2030年頃に商用炉 (BN-1200)導入予定。

<SMR>

- 2020年、世界で初めて浮体式洋上SMRであるアカデミック・ロモノソフの商業運転を開始。
- 2021年、極東サハ自治共和国内に商用陸上SMRの建設許可を発給。2028年までの完工を目指す。



BN-800外観



アカデミック・ロモノソフ外観

自前のサプライチェーンに乏しい米英は、将来を見越したSMR等について、日・韓との協力を志向

- 米英仏は、**SMRや高温ガス炉等の研究開発**に注力。中長期を見越した**技術の主導権獲得を志向**。
- ただし、足下の**国内の技術・人材が乏しい**ため、開発に向けては、**日本・韓国との協力**を志向。

 米国	 英国	 フランス
<p>◆ 軽水炉SMR \$530M (約530億円) ※2013年以降 ⇒追加支援 ※2020年10月発表 \$1.355B (約1,355億円) / 10年間</p> <p>◆ 非軽水炉SMR (高速炉・高温ガス炉) \$160M (約160億円) ※初期支援 \$3.2B (約3,200億円) / 今後6年間</p>	<p>◆ 軽水炉SMR £ 最大215M(約325億円)</p> <p>◆ 高温ガス炉 £ 最大170M(約260億円)</p> <p>「未来の原子力実現基金」 £ 120Mポンド (約180億円)</p>	<p>◆ SMR (詳細不明) €1B (約1,300億円) ※2021年10月発表「フランス2030」にて言及。 マクロン大統領は、「2030年までに、革新的な小型原子炉をフランスに導入する」と言及。</p>
<p>軽水炉SMR : NuScale (ニュースケール) 社</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2029年の初号機運転開始を目指す • <u>2021年、日本の日揮・IHIが出資を表明。韓国勢も出資</u> 	<p>軽水炉SMR : UK-SMR (ロールスロイス)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rolls-Royce、英国国研等が開発 • 2029年の運転開始を目指す 	<p>軽水炉SMR : Nuward (仏原子力庁等)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CEA (仏原子力庁)、EDF、Technic Atome等のコンソーシアムによって開発 • 参画する原子力メーカー・Framatome社は三菱重工業と提携関係にある (三菱重工業から同社に19.5%を出資)
<p>高速炉 : Natrium (テラパワー)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2028年の実証炉運転開始を目指す • <u>2022年、開発主体のTerra Power社と、JAEA・三菱重工が、今後の協力に向けた覚書(MOU)を締結</u> 	<p>高温ガス炉 (政府プロジェクト)</p> <ul style="list-style-type: none"> • ビジネスエネルギー産業戦略省が、産業用の熱利用 (水素製造) に向けた実証を検討中。 • ※JAEAが世界最先端技術を有しており (原型炉HTTR)、英国政府も関心を示している 	

米英はカーボンニュートラル社会を見据え、革新炉を評価

- 米国DOEは、**NuScale SMR、テラパワー高速炉を評価**し、政府の強いコミットの下、規制審査や立地選定を推進。
- **英国は革新炉評価を実施し、水素製造による製造業の脱炭素化**や技術成熟度等の観点から**高温ガス炉を高く評価**。

NuScale SMR (米)

DOEの評価

- **安全性、小型性、機動性、経済性**に優れる

規制審査

- 2020年に他の革新炉に先駆けて、NRC（米国原子力規制委員会）の**設計認証**を取得

立地選定

- 初号機は、**アイダホ国立研究所敷地内での建設が決定**
- DOEは初号機の電力を研究所内で利用する旨の覚書を同社と締結

テラパワー高速炉 (米)

DOEの評価

- 熱貯蔵を利用することで**負荷追従**が可能
- グランフォルム長官「この計画でクリーンエネルギーの未来が大きく前進」

立地選定

- 2021年に**ワイオミング州・ケンメラーでの建設が決定**

NIRO (英)

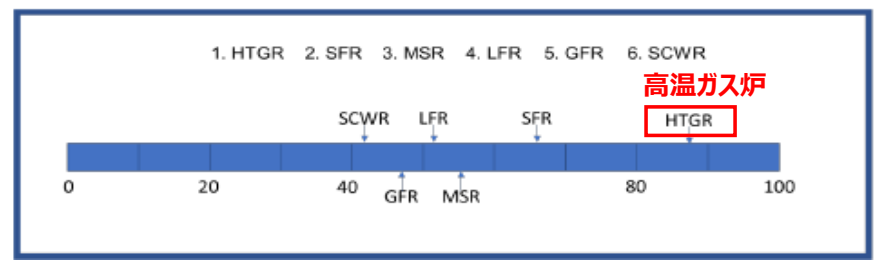
※英国原子力研究所のシンクタンク

高温ガス炉は、最適な原子炉との評価

- 技術成熟度が高い
- 出力温度が高く、**水素製造など熱利用可能**
- 既存**サプライチェーンとの親和性**（ガス冷却炉の実績）

	高温ガス炉	ナトリウム冷却高速炉	超臨界圧軽水冷却炉
技術成熟度	◎	◎	△
熱利用	◎	○	○
安全性	◎	○	△
国内産業の蓄積	○	○	△
国際協力	◎	○	△

Figure 2: Scores and Rankings of AMRs



【出典】NIRO「Advanced Modular Reactors Technical Assessment」

グリーン成長戦略における原子力産業の記載

- **原子力は、実用段階にある脱炭素の選択肢。**可能な限り依存度を低減しつつ、国内での着実な安全最優先の再稼働の進展とともに、海外（米・英・加等）で進む次世代革新炉開発に、**高い製造能力を持つ日本企業も連携して参画し、多様な原子力技術のイノベーションを加速していく。**（2021年6月「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」）

	現状と課題	今後の取組
高速炉	<p>資源循環性の向上が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子力の持続的な利用には、放射性廃棄物の減容化・有害度低減、中長期的には資源の有効利用に向けた技術開発を進めることが重要。 <p>世界各国で高速炉の開発が進展</p> <ul style="list-style-type: none"> ロシアは実証炉を運転開始済みで、中国も実証炉建設中。 北米でも政府支援を得て、ベンチャー企業等による高速炉開発が加速。 	<p>国際連携を活用し開発を着実に推進</p> <ul style="list-style-type: none"> 「戦略ロードマップ」に基づき、例えば今世紀半ば頃の適切なタイミングに、現実的なスケールの高速炉の運転開始を期待。それに向けて、2023年度末頃までは多様な技術間競争を促進。<u>日仏、日米協力で効率的な開発を推進。</u> <p>原子力研究開発機構が保有するデータ・施設を最大限活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 建設・運転・保守経験で培われたデータ、施設を最大限活用。「常陽」の再稼働に向けた準備を速やかに進める。
小型炉 (SMR)	<p>各種要素技術の開発が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> 海外での実証プロジェクトと連携した基本設計・開発。 日本企業独自で多様なニーズを見据えた小型炉を自主開発。 <p>革新的技術の安全性や経済性を検証</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全性は、米・英・加で許認可取得に向けたプロセスが進行中。 経済性は、量産化で追求。 	<p>国際連携プロジェクトへの参画</p> <ul style="list-style-type: none"> 2020年代末の運転開始を目指す海外の実証プロジェクトと連携した日本企業の取組に対し、安全性・経済性・サプライチェーン構築・規制対応を念頭に置きつつ支援を行う。海外で先行する規制策定を踏まえ、技術開発・実証に参画。 日本企業がプロジェクトの主要プレーヤーとして参画し、脱炭素技術であるSMRの安全性の実証に貢献。<u>主要サプライヤーの地位を獲得。</u>2020年代末の海外でのSMR初号機開発後、海外連携によりグローバル展開と量産体制を確立。
高温ガス炉	<p>開発・運転ノウハウの蓄積と実用化スケールへの拡張が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> 高温工学試験研究炉 (HTTR) で950℃ (世界最高水準)・50日間の高温連続運転を達成 (JAEA)。安全性を実証。 日本企業が水素製造・発電コジェネプラント、蓄熱可能な発電用高温ガス炉などを開発中。 高温ガス炉と水素製造施設との接続技術の確立が必要。 	<p>HTTRを活用した試験・実証等</p> <ul style="list-style-type: none"> HTTRを活用し、安全性の国際実証に加え、2030年までに大量かつ安価なカーボンフリー水素製造に必要な技術開発を支援。 安全性・経済性・サプライチェーン構築・規制対応を念頭に置いた開発支援を行いながら、技術開発・実証に参画。<u>海外の先行プロジェクトの状況を踏まえ、海外共同プロジェクトを組成していく。</u> <u>日本の規格基準普及</u>に向けた他国関連機関との協力を推進。
核融合	<p>国内施設を通じた研究開発や核融合実験炉 (ITER) 建設に向けた製造・試験、各種要素技術の開発が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> プラズマ制御技術の高度化に向けた試験実施。 ITER本体の組立・据付開始、コイル等主要機器を日本から納入。 安全で安定稼働できる核融合原型炉の設計。 	<p>ITER計画等の着実な推進</p> <ul style="list-style-type: none"> ITER計画等の国際共同技術開発や将来的な原型炉建設計画に向けた取組を通じて主要機器の実証と、出力の長時間維持技術を確立。日本の核融合原型炉の建設計画に反映。2030年頃の実用化を目指す米・英のベンチャーと日本のベンチャー・メーカー等が連携を加速。 核融合炉の高温熱を活用したカーボンフリーな水素製造技術の開発を推進。

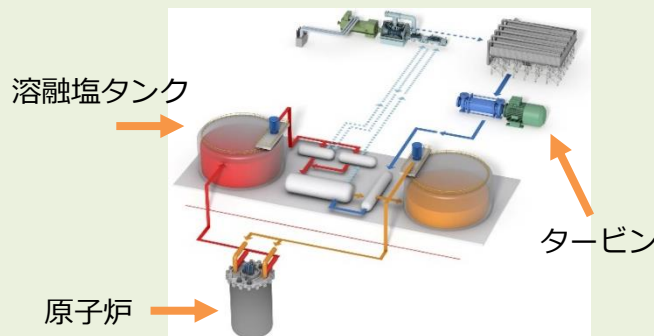
高速炉：ビル・ゲイツ氏のテラパワー社と協力覚書締結

- テラパワー社は**2028年「Natrium炉」運開**目指し、米エネルギー省補助金（最大2,000億円）獲得。
- 日本に対しては、「**常陽」「もんじゅ」の経験**等に期待。**JAEA保有の試験設備**にも関心。
- **本年1月26日にテラパワー・日本原子力開発機構（JAEA）・三菱重工業**の3者間で**覚書を締結**。
- 本覚書に基づき、**2022年春頃の本契約**に向け、議論を継続していく。

<特徴>

- ・小型ナトリウム冷却高速炉(34.5万kW)
- ・米西部ワイオミング州に立地予定。
（**石炭火力の代替**を想定）
- ・ナトリウムは熱を伝えやすく、全電源喪失時にも**自然循環で除熱**可能。
- ・蓄熱システムを組み合わせ、**負荷追従**が可能（再エネとの親和性あり）。

システム概念図



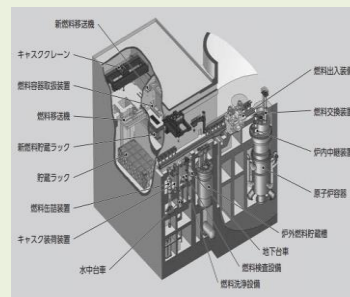
<協力の可能性のある分野>

- ・「常陽」「もんじゅ」等で、日本が保有する**高速炉のノウハウや試験設備**(※)
- (※)JAEA保有の大型ナトリウム試験設備 (AtheNa) 等
アテナ
- ・日本企業が持つ**機器設計・製造技術**



「AtheNa」

世界でも希な大型設備。
ナトリウムの挙動を評価可能。



「燃料取扱設備」

コンパクトで経済的な燃料取扱設備等、日本企業の製造技術に期待。

<ビルゲイツ氏の発言>

- ・原子力は、**気候変動対策において理想的なエネルギー**。
- ・事故のリスクは、**イノベーションによって解決可能**。
- ・テラパワーは**第4世代原子炉を開発し、安全性は非常に高い。世間の認識を変える**には劇的に違うものを出す必要。
- ・「**Natrium**」は**エネルギー産業の「ゲームチェンジャー」**になる。

※原子力エネルギー会議での講演及びワイオミング州メディアへのビデオメッセージ（2021年6月）より引用



SMR : NuScale社 (NuScale Power Module) プロジェクトへの参画を目指す

- 2007年にSMR開発を目的に設立された米国企業。米国エネルギー省 (DOE) の支援で開発を進め、**2029年に初号機**をアイダホ国立研究所内で運転開始予定。

<特徴>

- ・ PWRタイプ。1モジュールの出力は5～7.7万kWで、最大12モジュールを設置可能 (最大60～92万kW)。
- ・ 蒸気発生器と圧力容器の一体化により、小型かつシンプルな設計で安全性を向上。自然循環により、冷却ポンプ、外部電源なしで炉心を冷却可能。
- ・ モジュール工法で、工期短縮、初期投資抑制の可能性。



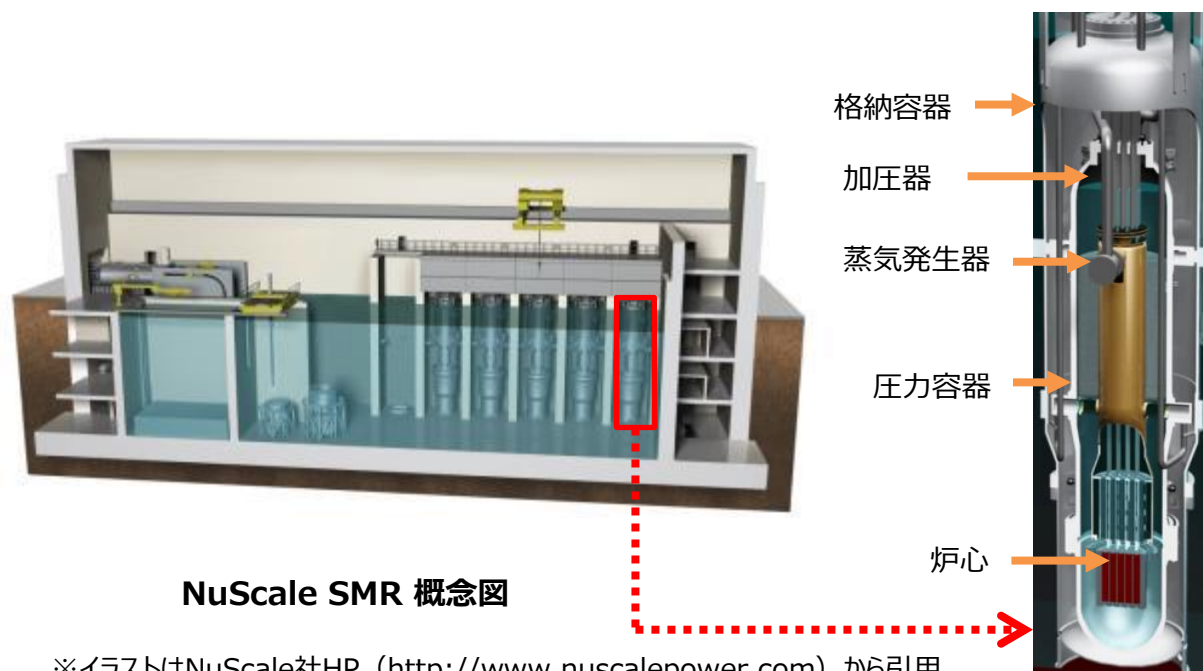
アイダホ国立研究所内にて建設中

<国内企業の関わり>

- ・ 2021年、日揮・IHIが出資を発表。
日揮：4,000万ドル
IHI：非公表
- ・ 経産省予算にて、日揮・IHIが、モジュール・メンテナンス機器等の課題についての実証を目指す。

<米国政府の予算措置>

- ・ 2013年以降、NuScaleに対し、**530億円の開発支援**。
- ・ 2020年、今後10年間で運営主体に対し、**13.55億ドルの追加支援**を行うことを発表。

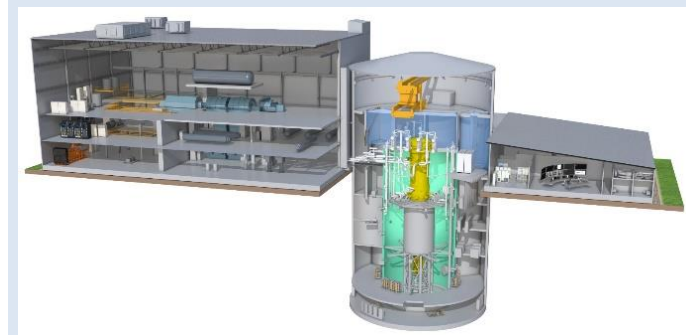


SMR : GE Hitachi社 (BWRX-300) と日立GE社が共同開発

- 米GE Hitachi社と日立GE社が共同開発する電気出力30万kW級のBWR型小型モジュール炉。
- 2021年12月2日、カナダの電力会社OPG社が最速2028年運転開始を目指すプロジェクトに、米GE Hitachi社のBWRX-300を選定。
- 今後、日本国内でも、日立GE社の設備を活用した要素技術の実証を実施予定。

<特徴>

- ・ BWRタイプ。電気出力30万kW。
- ・ 自然循環の利用によりポンプを排除、受動的冷却システムにより電源・注水設備・運転員操作なしで7日間冷却可能。
- ・ 圧力容器に隔離弁を直付けすることで、冷却材喪失事故の発生確率を削減。



BWRX-300概略図

<カナダプロジェクトの概要>

- ・ オンタリオ州（人口最大州・首都オタワが位置）にて、州営オンタリオ電力がSMR建設に向け、炉型選定を実施。
- ・ 昨年12月に、米GE Hitachi社のBWR型軽水炉のSMRである「BWRX-300」が正式に採択。
- ・ 今後、2028年までの初号機建設を目指すためにサプライチェーン構築等が進められる見通し。



BWRX-300完成イメージ図

<国内企業の関わり>

- ・ 経産省予算にて、日立GEの実温・実圧で試験できる設備を活用し、要素技術の実証に向けて研究開発を実施中。

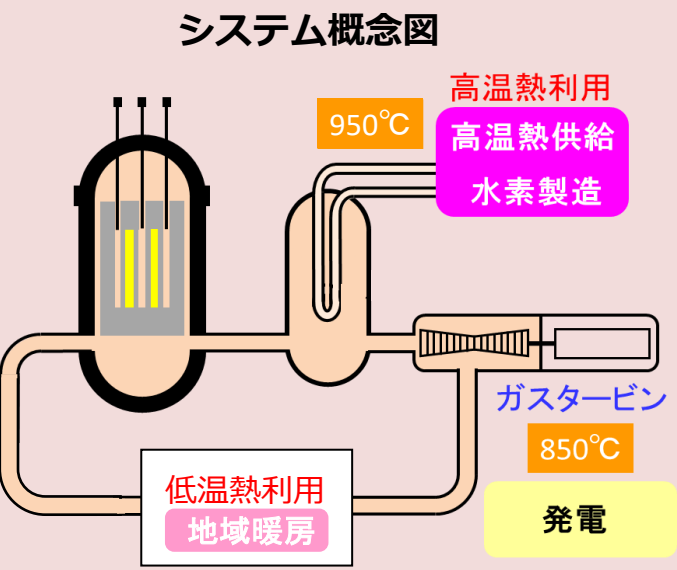
ハッスル
日立多目的蒸気源試験装置(HUSTLE)
実温・実圧にて安全性や性能を確認できる試験設備



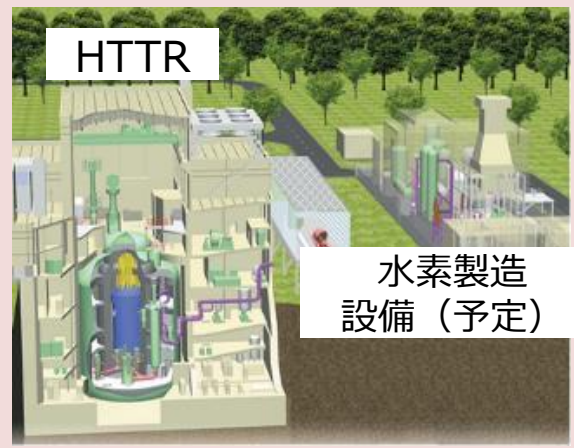
高温ガス炉：英国、ポーランドとの国際協力を強化

- **英国**は2030年代初頭の実証炉建設を目指し、日米加との国際連携を追求。
 ※2020年、日本原子力開発機構(JAEA)と英国国立原子力研究所 (NNL)、原子力規制局(ONR)との間で、研究開発協力や情報交換のための覚書を締結。
- **ポーランド**では、実験炉の建設を目指し、2021年から約18億円の予算措置。ポーランド国家原子力研究センター(NCBI)からJAEAに協力依頼。

- <特徴>
- ・ **高温**で**安定**なヘリウム冷却材
 - ・ 高温耐性で**炉心溶融なし**
 - ・ 950℃の熱の利用が可能(**水素製造**等)



- <協力の可能性のある分野>
- ・ 試験研究炉「**HTTR**」の技術
- ※世界最高温度950℃の出口温度達成
- ・ 950℃の高温を利用した**大規模・安定のカーボンフリー水素製造技術**



<英国の動向>

革新実証炉プログラムの対象として、**高温ガス炉を選定**したことを公表できることを**嬉しく思う**。※Nuclear2021 (2021年12月)での発言



ハンス ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS) エネルギー担当大臣

高温ガス炉が**高温熱、水素**等を供給することで、**脱炭素化に役立つ**可能性は非常に大きい。
 ※WNN HPより引用



ハワース 国立原子力研究所(NNL)CEO

日本は震災までの蓄積により、原子力産業サプライチェーンを持つ

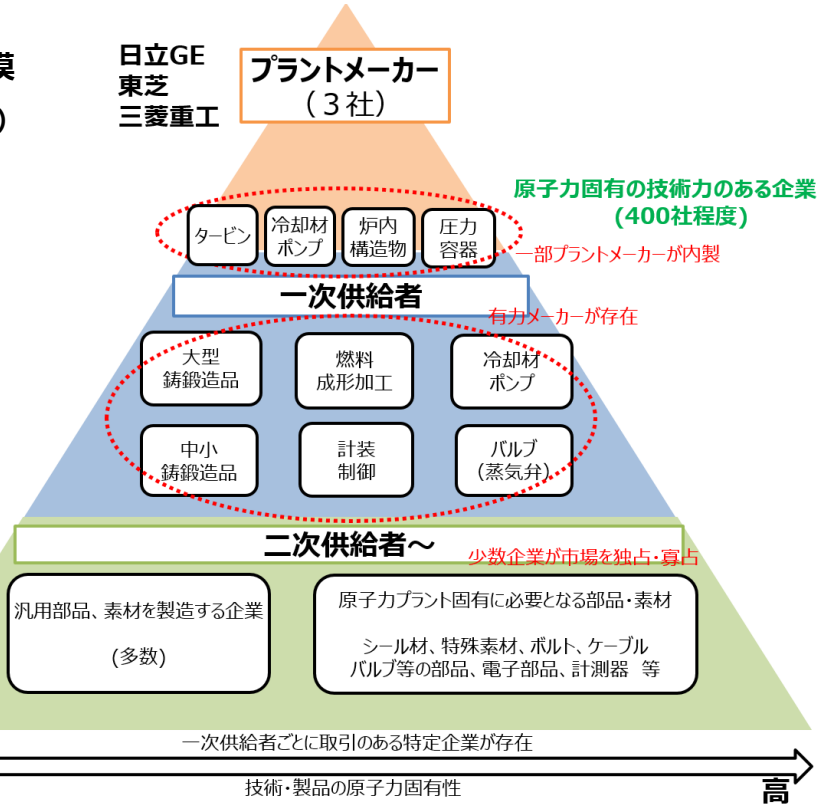
- 原子力産業は多くのサプライヤや建設事業者等に支えられており、プラント・機器の製造・メンテナンスだけでも年間1兆円規模の巨大サプライチェーンを構築。素材及び製造技術に原子力固有の特殊性を持つ企業も数多く存在。
- また、耐放射性・遮蔽性・気密性や高い耐震性等に加え、保守・メンテナンスやトラブル対策を確実に実施するための高いトレーサビリティといった高度な品質管理が求められる。

原子力のプラント・機器製造等のサプライチェーン

売上・雇用規模
 (プラントメーカー)
 約5,500億円
 約6,600人

(機器サプライヤ)
 約7,500億円
 約20,400人

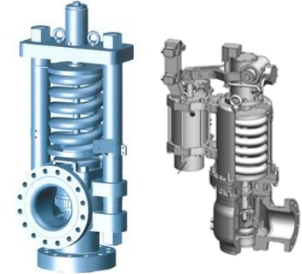
(燃料)
 約2,000億円
 約4,000人



	製品例 (主要サプライヤ)
原子炉容器	原子炉容器 (三菱重工業、IHI) 大型部材 (日本製鋼所M&E)
タービン	蒸気タービン (三菱重工業、東芝ESS) 大型部材 (日本製鋼所M&E)
ポンプ	一次系 (三菱重工業、日立GE、荏原製作所) 二次系・安全系 (荏原製作所、関水社)
バルブ	大型バルブ (BWR : 岡野バルブ、PWR : TVE) 中小型バルブ (平田バルブ)
炉内構造物	制御棒駆動装置 (三菱重工業、日立GE) 部素材 (日立金属、大同特殊鋼、助川電気工業)



原子炉圧力容器部材 (日本製鋼所M&E)



主蒸気安全弁 (TVE、岡野バルブ)



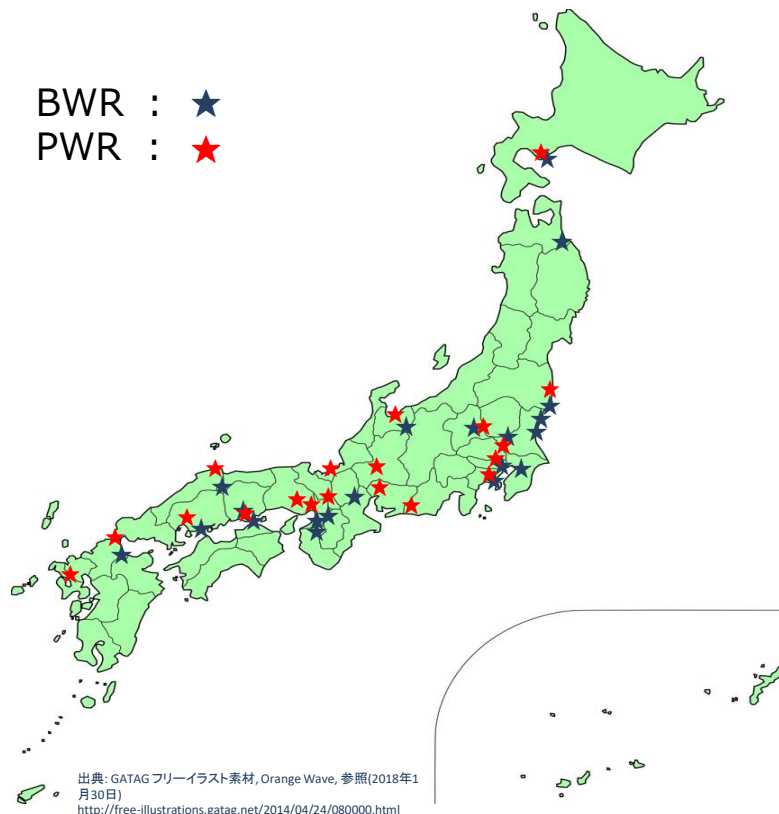
起動給水ポンプ (荏原製作所)

(出所) 原子力産業協会 原子力発電に係る産業動向調査2020報告書を基に資源エネルギー庁作成

原子力産業の技術自給率

- 原子力の技術は、当初は海外からの機器輸入割合も高かったが、**1970年以降に営業運転を開始した原発の多くで国産化率90%を超えており、国内企業に技術が集積されている分野**である。
- 新型コロナウイルスの拡大によって、様々な産業分野でサプライチェーンの国内回帰の声もある中で、**原子力産業は、安定的に電力を供給するためのサプライチェーン（約1,000万個の部品点数）を国内に持つ強み**がある。

BWRおよびPWRの主なサプライヤマップ



原子力発電所の国産化率の推移

発電所	東海 (黒鉛炉)	美浜1号 (PWR)	高浜2号 (PWR)	美浜3号 (PWR)	柏崎刈羽5 (BWR)	柏崎刈羽7 (ABWR)
運転開始年	1966	1970	1975	1976	1990	1997
国産化率 (%)	35%	58%	90%	93%	99%	89%

廃炉決定済

(出典) 原子力発電の効率化と産業政策 国産化と改良標準 (RIETI)、電力会社HP

原子力産業における環境の変化①

- 国内では、進行・計画中の新設プロジェクトが震災で中断中。
 - 海外では、いくつかの輸出案件が計画されていたが、いずれも中止・終了。
- ⇒ 安全対策投資も土木投資等に偏る中、中核のサプライチェーンは売上途絶。

震災前に国内で計画が進んでいたプロジェクト

事業者名	発電所名	設置許可	着工
中国電力	島根 ③	H17.4 許可	H17.12 (中断中)
電源開発	大間 ①	H20.4 許可	H20.5 (中断中)
東京電力	東通 ①	H22.12 許可	H23.1 (中断中)
	東通 ②	-	-
東北電力	東通 ②	-	-
	浪江・小高①	-	計画断念
日本原電	敦賀 ③	H16.3 申請	-
	敦賀 ④		
中国電力	上関 ①	H21.12 申請	-
	上関 ②	-	-
九州電力	川内 ③	H23.1 申請	-
中部電力	浜岡 ⑥	-	-
関西電力	美浜 ④	-	-

計画されていた原発輸出プロジェクト案件の例

英国	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 日立GEは、英国内で建設計画を有するホライズン社を買収。2020年代の運転開始を目指していた。(2012年) ➤ しかし、新型コロナウイルス感染拡大等により投資環境の厳しさが増したことからプロジェクト撤退を発表。(2020年9月)
トルコ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 日・トルコ政府間協定で、建設が計画されているサイトにおける日本の優先交渉権に合意。(2013年) ➤ 政府間協定を終了。(2021年6月)
ベトナム	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建設予定の2サイトにおいて、日・露をパートナーに選定。 ➤ しかし、国内財政事情悪化により計画中止を国会で決議。 ➤ 他方で、計画再開時には日・露を優先的パートナーとすることを表明。(2016年)

原子力産業における環境の変化②

- サプライヤーは、現在は安全対策工事で事業を維持しているが、**将来の事業見通しが立たない状況**。
- **要素技術を持つ中核サプライヤー等の撤退**が相次いでおり、**サプライチェーンの劣化が懸念**される。
- 国内で建設や製造の現場の空白期間が続くことによる**技術・人材の維持は喫緊の課題**。

原子力事業からの撤退

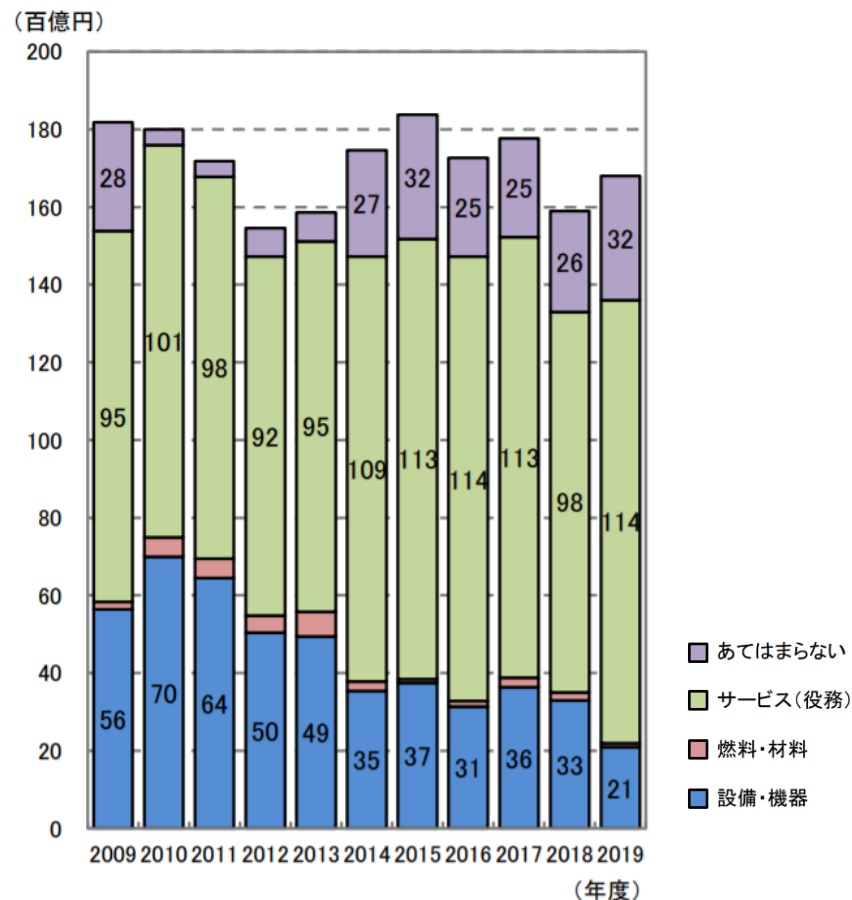
<大手企業>

- 川崎重工業（廃止措置、発電所の保守管理等）
- 住友金属工業、古河電機工業（燃料製造加工）
- 明電舎（DCモータ）

<要素技術を持つ中核サプライヤ>

- ジルコプロダクツ（燃料部材）
2017年廃業
⇒ BWR用燃料被覆管部材は国内で調達できない状況に
- 日本鋳鍛鋼（圧力容器、タービン等部材）
2020年廃業
⇒ 原子炉圧力容器部材の供給企業は国内残り1社に

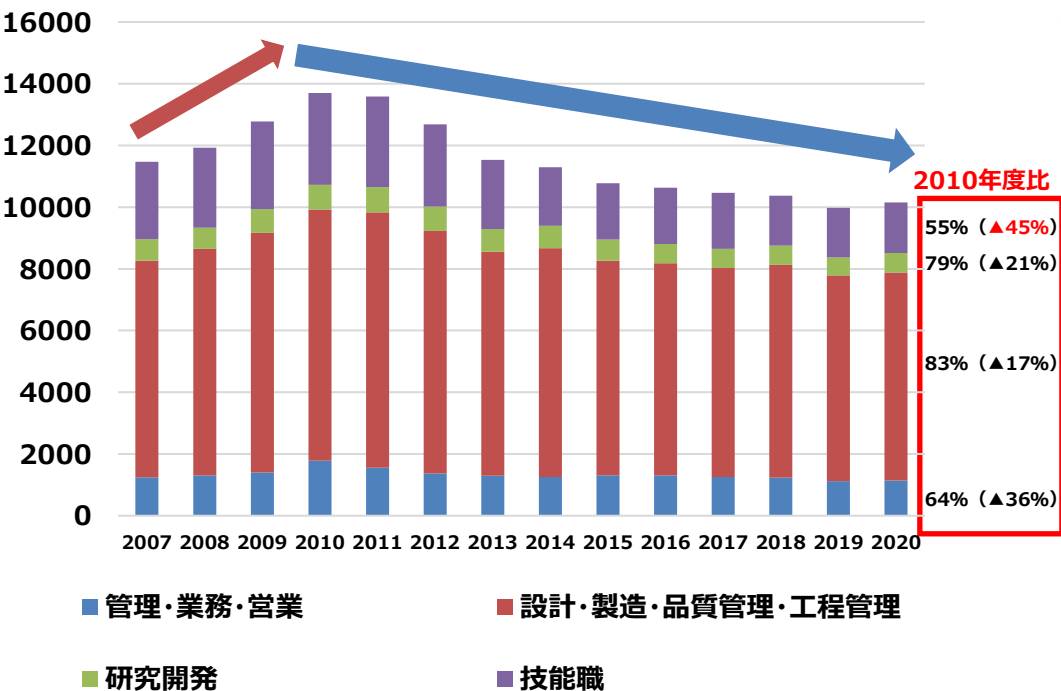
原子力産業界の売り上げの推移



原子力に関わる人材（産業）

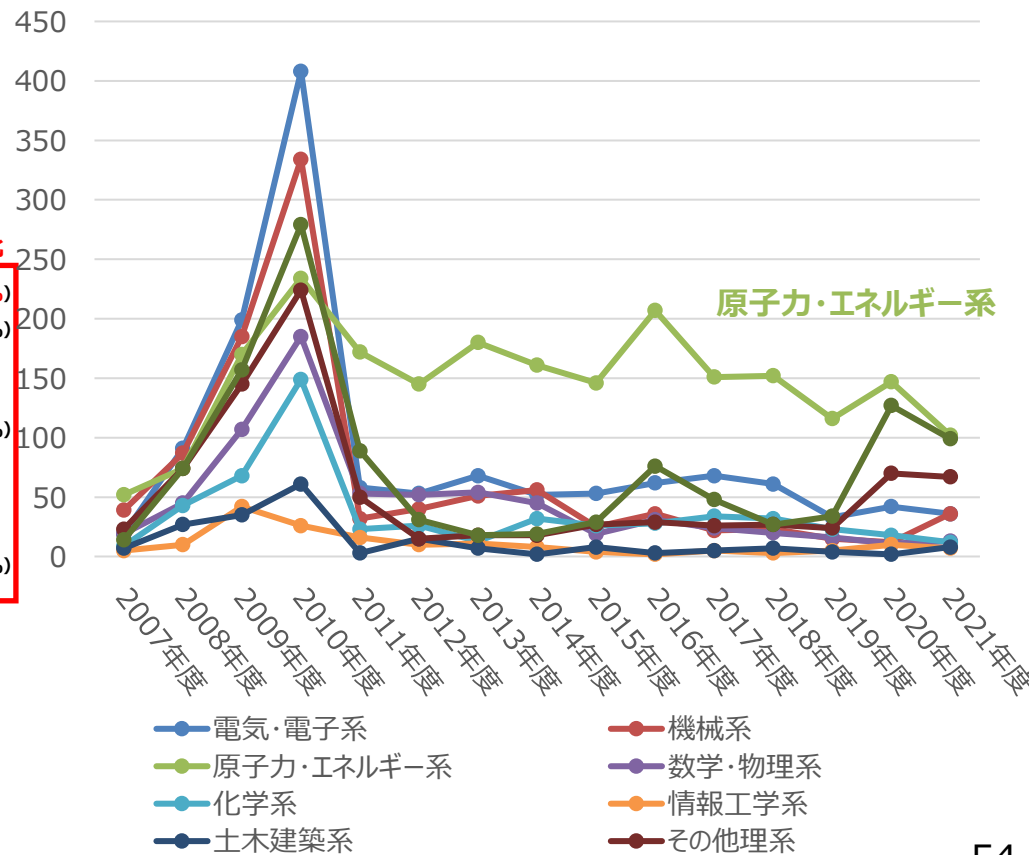
- メーカーにおいては、原子力関連業務に従事する従業員数は震災以降減少傾向。特に、大型設備の製造時に必要な溶接工・組立工・機械工などの高い技術を持つ技能職が大きく減少。
- 原子力関連企業の就職説明会に参加する原子力系の学生はほぼ横ばいであるが、将来の原子力産業の見通しが見えない中で、非原子力系の学生の参加は大きく減少。 原子力関係の学科・専攻（※）の数も減少傾向にある。
※学科・専攻名に「原子力」が含まれる学科・専攻。

メーカー14社の各部門の原子力従事者



(出所) 日本電機工業会資料より作成


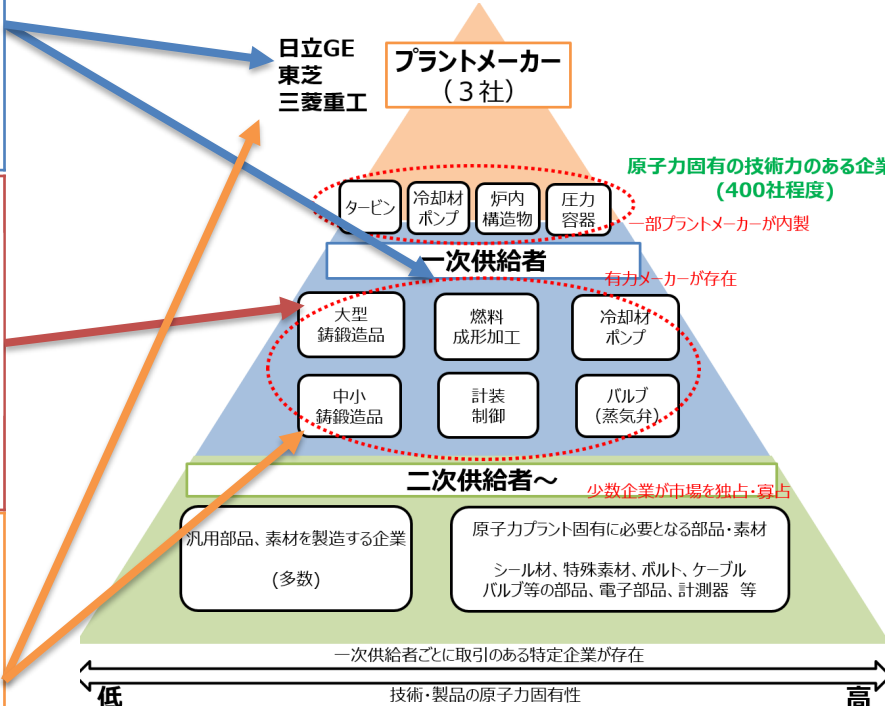
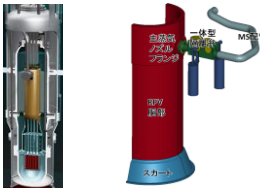
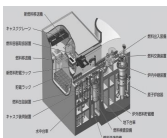
原子力関係企業合同就職説明会の学生参加者数の推移



(出所) 日本原子力産業協会資料より作成

戦略提携で世界標準を追求。それに合わせたチームの組成が必要。

- 米・英等と戦略的提携で革新炉（高温ガス炉・高速炉・軽水炉SMR等）の世界標準の獲得を追求
- サプライチェーンの維持・強化に向け、中枢部品・部材等のメーカーも、これらのプロジェクトに効果的に参画できるよう、従来の「日の丸フルセット輸出プロジェクト」に替わる、新たなチーム組成が必要に。

米国・英国との戦略的提携		参画が期待されるサプライヤ例	原子力のプラント・機器製造等のサプライチェーン
高温ガス炉 JAEA試験炉HTTRを基に、水素製造実証試験を始め実証プロジェクトを推進 ⇒実証炉目指す英との協力も視野に、世界標準となる商業炉に向けたノウハウ確立	「燃料棒」 「燃料」  ✓ 原子燃料工業 ✓ 東洋炭素	 <p> 日立GE 東芝 三菱重工 プラントメーカー (3社) タービン 冷却材ポンプ 炉内構造物 圧力容器 一次供給者 大型 燃料 冷却材 鋳造品 成形加工 ポンプ 中小 計装 バルブ 鋳造品 制御 (蒸気弁) 二次供給者～ 汎用部品、素材を製造する企業 (多数) 原子力プラント固有に必要となる部品・素材 シール材、特殊素材、ボルト、ケーブル バルブ等の部品、電子部品、計測器 等 少数企業が市場を独占・専売 一次供給者ごとに取り引のある特定企業が存在 技術・製品の原子力固有性 (低 → 高) </p>	
軽水炉 SMR 米国NuScaleやカナダBWRX-300のプロジェクトに、技術力の高い国内メーカー (IHI・日立GE等) も参画 ⇒米国での導入(2020年代末～) へ、 主要なサプライヤーとなることを目指す	「格納容器」 「弁」  ✓ IHI ✓ 岡野バルブ		
高速炉 JAEAのもんじゅ・AtheNaを基に、米 TerraPowerの実証炉プロジェクトに協力 ⇒三菱重工業等も参画し、 米国実機プロジェクトに参画し、将来に向けたR&Dを実施	「燃料取扱設備」  ✓ 三菱重工業 ✓ 富士電機		

原子力サプライヤの海外展開実績

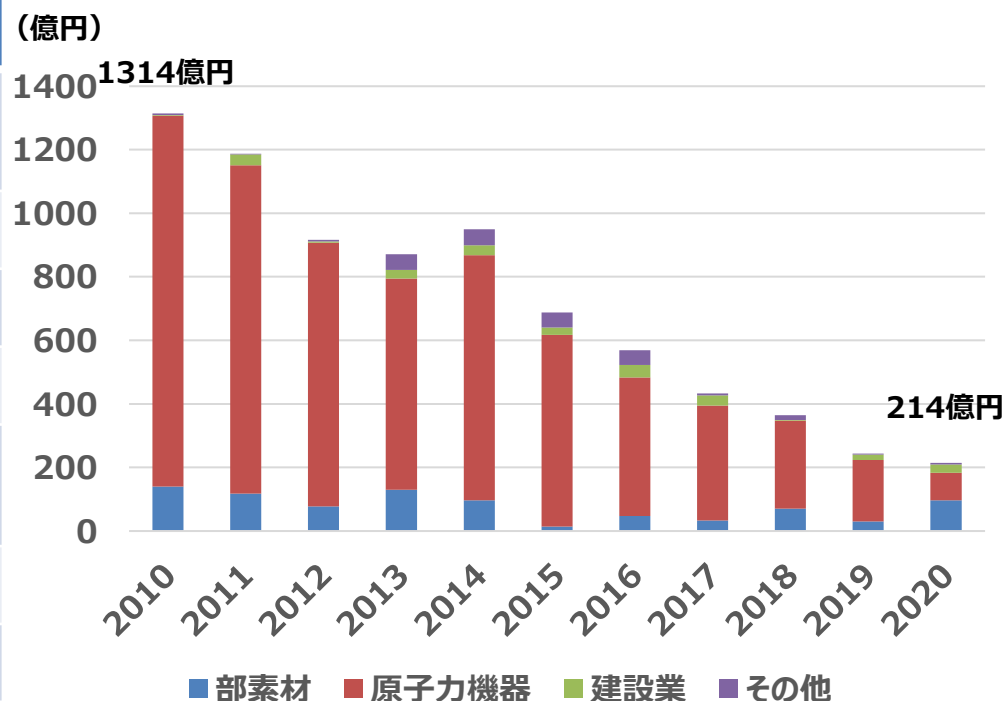
- 一部の中枢部品・部材のサプライヤは、海外プロジェクトにも多数参画してきた。他方、近年では西側諸国の市場低迷や中韓の国産化率向上に伴い、輸出高は震災前の1/5以下に。
- 国内市場が限定的な中で、国内サプライヤが、海外原子力プロジェクトに継続して参画することで、技術・人材の維持や海外技術のキャッチアップを図っていくべきではないか。

国内サプライヤー海外輸出実績

メーカー名	部品名	国名 (サイト名)
日本製鋼所 M&E	大型鍛造品	英国 (HPC)
IHI	格納容器	米国 (ボーグル)
日本製鉄	SG管	米国 (非公開)
荏原製作所	冷却ポンプ	米国 (非公開)
TVE	湿分分離加熱器 逃し弁	中国 (三門)
大同特殊鋼	炉内構造物	米国 (ボーグル)
東洋炭素	黒鉛材	中国 (HTR10)
助川電気工業	模擬燃料集合体	韓国 (韓国原子力研究所)

(出所) 各社ヒアリングに基づき資源エネルギー庁にて資料作成

原子力関係輸出高推移



(出所) 日本原子力産業協会資料に基づき資源エネルギー庁にて資料作成

海外展開における課題及び今後の方策

- サプライヤの海外進出にあたって、①海外規格の取得・維持、②海外案件のオンタイムな情報収集、③現地での継続的なメンテナンスサービスの提供等が課題。
- こうした課題を克服し、メーカー・サプライヤによる更なる新規事業開拓が可能となるよう、サポートしていくべきではないか。

サプライヤの海外進出における課題

- ✓ 仕様がみえないと開発を社内で通せないため、炉型の設計情報を持つプラントメーカーとの連携が重要。
- ✓ 維持費が高額かつ原子力は取替需要が低いので規格を保有し続けるメリットが薄い。
- ✓ アメリカはアメリカの規格、ヨーロッパはヨーロッパの規格となっており、規格の種類が多い。グローバル企業でもない限り全ての資格を保有し続けることは困難。
- ✓ 自社単独で海外案件に働きかけることには限界。規格取得しても維持費がかかるだけ。
- ✓ 海外進出した後のメンテナンスの提供が課題。技術移転するか子会社設立が必要となりコストがかかる。



国内サプライヤの海外進出には、

①規格取得支援、②海外プロジェクトに関する情報提供、③現地サポート 等の包括的なサポートが必要に

韓国の輸出支援策

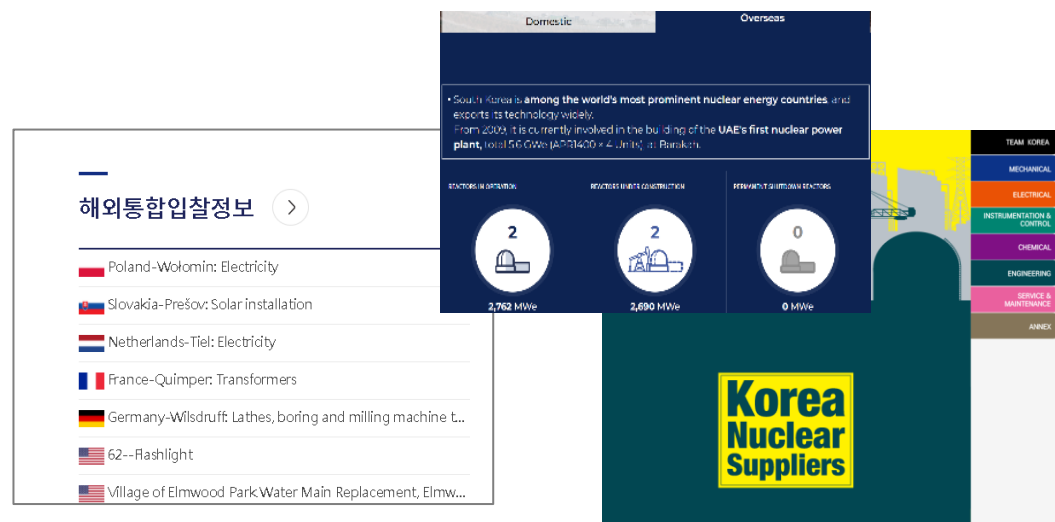
- 脱原発方針の中で、国内での需要の先細りを危惧し、**韓国産業通商資源部（MOTIE）は、2021年3月に国内の原子力サプライヤの原子力機器輸出を支援する枠組みを設立。**
- 産官一体となって、海外原子力プロジェクトの**入札情報等の提供、国内サプライヤの技術力・実績を発信するポータルサイト**の開設を通じ、政府から**案件マッチング**や**海外認証の取得・更新費用支援**を展開。

海外展開実績

- **UAE（バラカ①～④）**
韓国電力公社（KEPCO）が**EPC**を受注。
2021年に1基が運転開始し、2024年までに他3基も運転開始予定。
- **エジプト（エルダバ①～④）**
韓国水力原子力公社（KHNP社）、斗山重工等がエジプトのペトロプロジェクト社と**タービン建屋等の二次系統事業に参画。**
- **アメリカ（ボーグル③、④）**
斗山重工が**原子炉圧力容器**を供給。
- **アメリカ（NuScaleへの出資）**
斗山重工が韓国政府と共同でNuScaleへ1億ドル以上の出資。
SMRの主要機器供給を狙う。

支援例

- 海外17か国について、原子力プロジェクトの状況や入札情報等をタイムリーに紹介。



入札情報の提供

サプライヤーの技術力・実績の発信

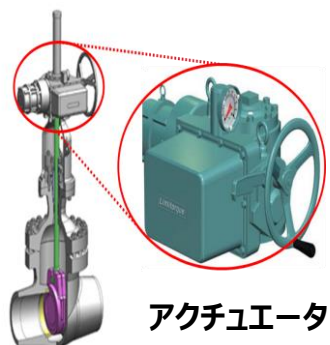
出所) K-neiss、K-NEXT（韓国原電輸産業協会）ウェブサイト

原子力技術・人材の維持・継承支援

- 将来にわたって原子力を安全・安定的に活用していけるよう、現下の状況でも戦略的に産業・サプライチェーンを維持するため、技術・人材の状況を丁寧に分析した上で、**供給途絶の危機にある高い技術・サービスの継承や中核サプライヤの新規事業開拓支援が必要に。**

技術・サービスの継承

- ✓ 電動弁の駆動装置(アクチュエータ)内の直流モータの製造企業(甲府明電舎)が**2022年の撤退を表明**。
- ✓ 製造中止を踏まえ、日本ギアが**設計を引き継ぎ、代替サプライヤーによる製造・性能検査**を推進。



アクチュエータ

原子力人材の研修支援

- ✓ 発電所のメンテナンスを行う企業の**社員を対象に、研修を実施**。
- ✓ **原子力設備の保全技術、廃止措置の技術**等の実務的な知識を学ぶ講義や現場実習を通じて技術の維持を行う。



設備の保守点検作業

新規事業開拓支援

- ✓ TVEグループは**元々バルブの製造、メンテナンスを行っている企業**。
- ✓ 廃炉事業に参入し、鑄造品製造技術を活かし、廃炉工程で発生する**廢材を発電所内で溶融・成型し、再利用する取組(クリアランス)**を推進。



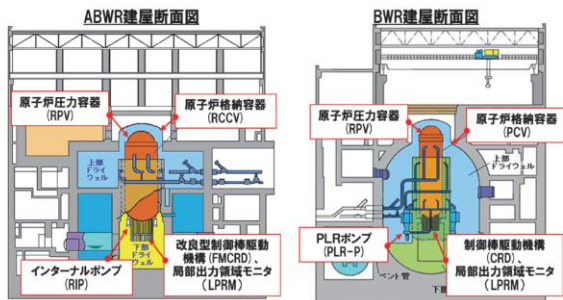
モバイル溶融炉設備

デジタル技術の活用

- 原子力部品の製造機会が減少する中、人材・技術の維持、効率化による省人化の観点からデジタル技術の活用についても支援を拡充していくべきではないか。

デジタルコンテンツによる技術継承

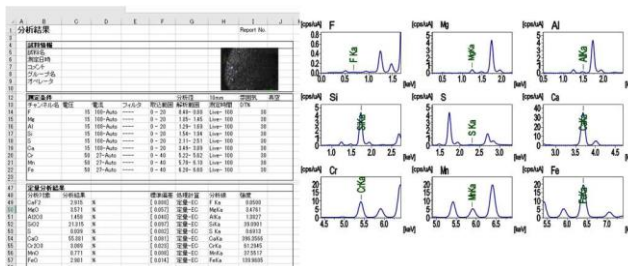
- ✓ ABWR、BWRの原子炉周辺の主要機器の保守点検作業をデジタルコンテンツとしてデータベース化。
- ✓ 技術者の高齢化やプラント長期停止等により喪失しつつある保守点検技術・ノウハウの若手技術者への継承を支援。



出典:原子力百科事典ATOMICA

デジタル化による省人化

- ✓ 大型鋳鍛造品のプロセス管理は作業者の経験・技能に基づいた職人のノウハウに依存。
- ✓ 計測機器等の導入により、管理状況をデータ化し、オンタイムで分析する品質管理システムを導入。



品質管理システム

3D造形技術により供給途絶対策

- ✓ 原子力部材（金属材料）の製造に3Dプリンティングの活用を検討。
- ✓ 実用化により供給途絶した部品の代替製造手段に。
- ✓ 途絶対策に限らず、部品製造にかかる期間・コストの短縮等の期待も。



3D技術による造形プロセス

1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

(2) 各産業のGX戦略検討

- ① 自動車
- ② 原子力

(3) 2050年CN実現に向けて必要となる技術について

- ① CCS

(4) 2050年CN実現に向けて将来期待される新技術

- ① ネガティブエミッション技術

「第6次エネルギー基本計画」におけるCCSの位置付け

● 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月22日閣議決定）

4. 2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応

(3) 電力部門に求められる取組

③水素・アンモニア・CCS・カーボンリサイクルにおける対応

CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）については、技術的確立・コスト低減、適地開発や事業化に向けた環境整備を、長期のロードマップを策定し関係者と共有した上で進めていく。CCSの技術的確立・コスト低減に向け、分離回収技術の研究開発・実証を行うとともに、貯留技術や、モニタリングの精緻化・自動化、掘削・貯留・モニタリングのコスト低減等の研究開発を推進する。また、低コストかつ効率的で柔軟性のあるCCSの社会実装に向けて、液化CO₂船舶輸送の実証試験に取り組むとともに、CO₂排出源と再利用・貯留の集積地とのネットワーク最適化（ハブ&クラスター）のための官民共同でのモデル拠点構築を進めていく。

また、CCSの社会実装に不可欠な適地の開発については、国内のCO₂貯留適地の選定のため、経済性や社会的受容性を考慮しつつ、貯留層のポテンシャル評価等の調査を引き続き推進する。また、海外のCCS事業の動向等を踏まえた上で、国内のCCSの事業化に向けた環境整備等の検討を進める。

5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応

(7) 火力発電の今後の在り方

(中略)

また、CCUS／カーボンリサイクルについては、2030年に向けて、技術的課題の克服・低コスト化を図ることが不可欠であり、CCSの商用化を前提に2030年までに導入することを検討するために必要な適地の開発、技術開発、輸送実証、事業環境整備、できるだけ早期のCCS Ready導入に向けた検討に取り組むなどCCUS／カーボンリサイクルの事業化に向けた環境整備を推進する。これらの取組を通じて、安定供給に必要な設備を維持しつつ、火力発電由来のCO₂排出量を着実に削減する。

国内CCS施策に関する報道

●2022年1月7日 日経新聞 電子版（抜粋）

CO₂貯留、30年までに 経産相インタビュー 火力「一定程度は必要」

萩生田光一経済産業相は7日、日本経済新聞とのインタビューで、二酸化炭素（CO₂）を回収して地下に埋める技術について「2030年までの導入に取り組む」と述べた。電力の安定供給に「火力発電は一定程度必要だ」と話し、地下貯留などでCO₂を減らしながら国内の火力発電を維持する考えを示した。

CO₂を回収して地下に貯留する技術は「CCS」と呼ぶ。石炭や天然ガスを燃料とする火力発電所のCO₂の排出量を実質的に減らせる。国内で導入例はなく、世界でもほとんど実用化していない。経産省は北海道苫小牧市の実証試験で30万トンの貯留に成功した。

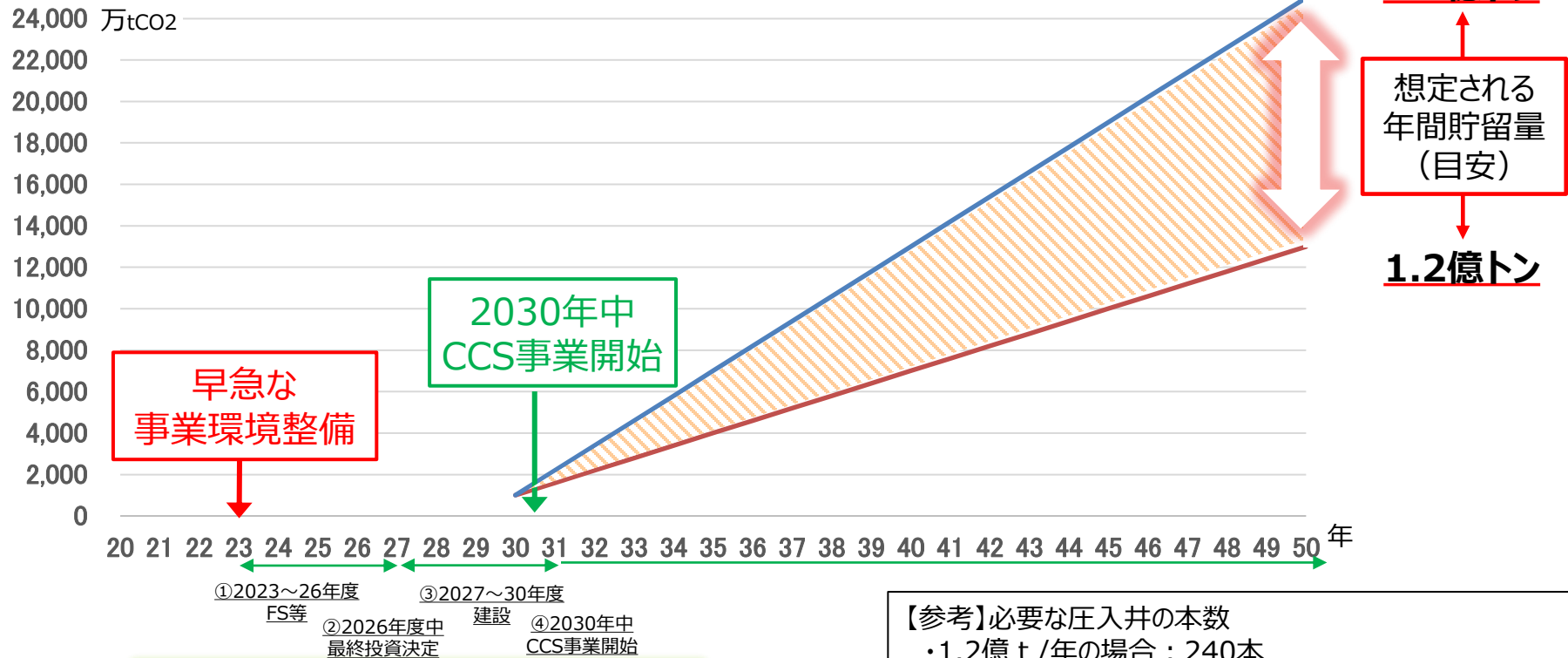
萩生田氏は「事業化には技術の確立やコスト低減、適地の開発など多くの課題がある」と指摘した。「年内にも長期のロードマップを策定し、官民で連携して取り組む」と語った。



2050年のCCSの想定年間貯留量の目安

- IEA試算から推計すると、我が国のCCSの想定年間貯留量は、2050年時点で年間約1.2～2.4億tが目安。2030年にCCSを導入する場合、2050年までの20年間で、毎年12本～24本ずつ圧入井を増やす必要。
- 事業者としては、2030年中にCCS事業を開始するためには、2023年度からFS等を開始し、2026年度までに最終投資判断する必要。

<国内のCCS普及イメージ>



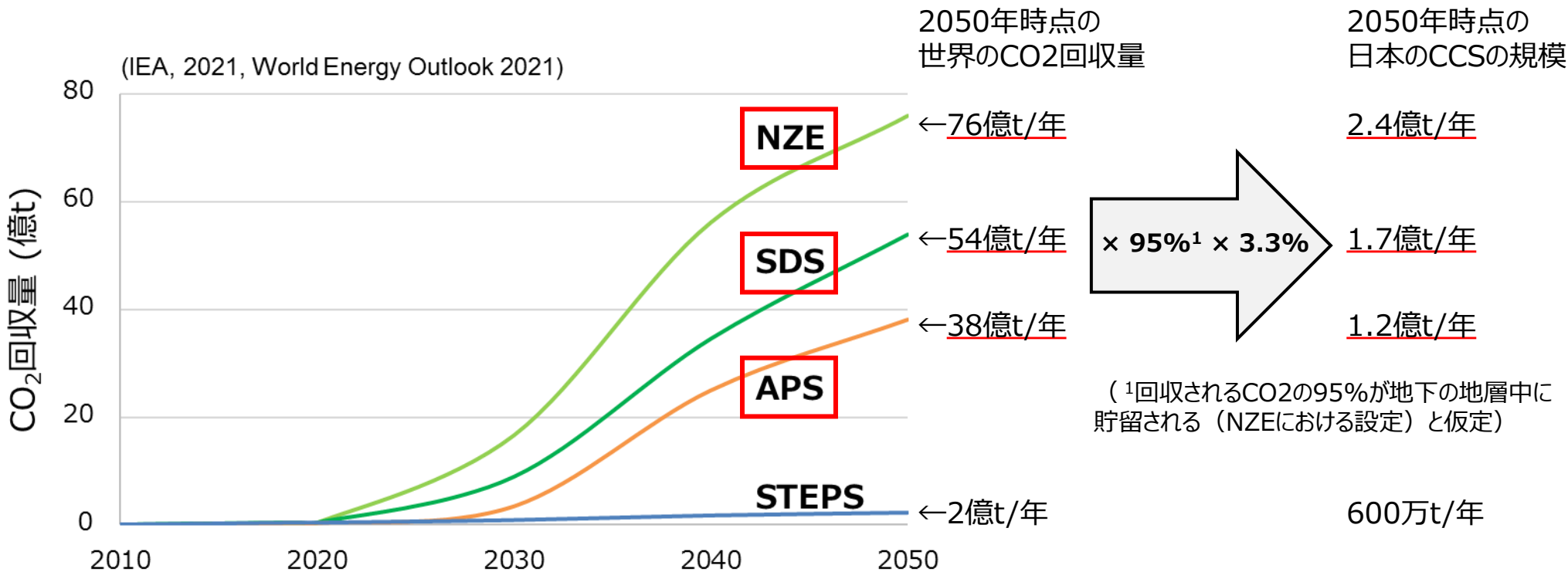
2030年中にCCS事業を開始するためには、
①2023年度からFS等を開始し、
②2026年度までに最終投資判断する必要。

【参考】必要な圧入井の本数

- ・1.2億 t/年の場合：240本
- ・2.4億 t/年の場合：480本 の圧入井が必要。
- ※圧入井1本あたりの貯留可能量：50万t/年
- ※試掘費用：陸域 約50億円/本、海域 約80億円/本

IEA試算から推定される日本のCCSの想定年間貯留量の目安

- IEA試算においては、シナリオ毎に年間約36~72億tのCCSが必要。[※] CO_2 回収量の95%をCCS量と仮定
- 上記の試算に、日本の CO_2 排出量割合（3.3%）をかけると、年間約1.2~2.4億tのCCSが必要と推計。



NZE (Net Zero Emissions by 2050): 世界の CO_2 排出量を2050年までにネット・ゼロにする軌道に乗せるためのシナリオ
 SDS (Sustainable Development Scenario): 先進国は2050年、中国は2060年、その他の国は2070年までにネット・ゼロを達成するためのシナリオ
 APS (Announced Pledges Scenario): NDCや長期ネットゼロ目標等の各国の気候約束をベースとするシナリオ
 STEPS (Stated Policy Scenario): 分野別に目標を達成し得るかを精緻に評価した、各国の取組をベースとするシナリオ

WEO2021で取り上げられた3つのシナリオ（APS, SDS, NZE）に基づけば、日本のCCSの規模は、**2050年時点で国内外あわせて年間1.2億~2.4億t**が目安

RITEによるシナリオ想定

令和3年5月13日
総合資源エネルギー調査会
基本政策分科会（RIEI配布資料一部加工）

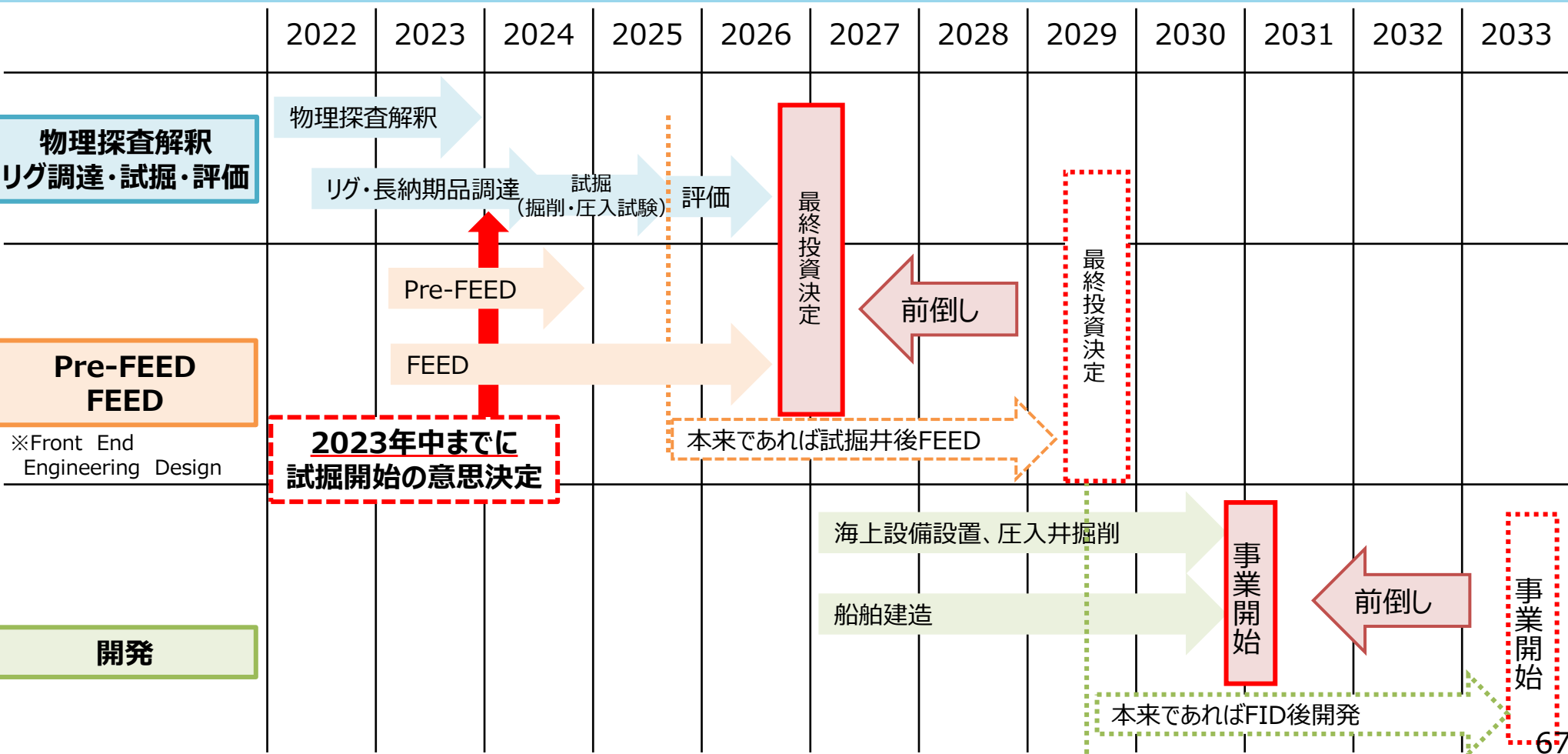
シナリオ名	再エネコスト	原子力比率	水素コスト	CCUS (貯留ポテンシャル)	完全自動運転 (カー・ライドシェア)	電源構成に占める 再エネ比率
参考値のケース	標準コスト	最大10%	標準コスト	国内貯留:最大 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送: 最大235MtCO ₂ /yr	標準想定 (完全自動運転車実 現・普及想定せず)	54% (最適化結果)
①再エネ100%		0%				ほぼ100% (シナリオ想定)
②再エネイノベ	低位コスト	最大10%				③原子力活用*2
④水素イノベ	標準コスト	最大10%	水電解等の水 素製造、水素液 化設備費:半減	国内:最大 273MtCO ₂ /yr、 海外:最大 282MtCO ₂ /yr	標準想定 (完全自動運転車実 現・普及想定せず)	47% (最適化結果)
⑤CCUS活用			標準コスト			最大10%
⑥需要変容			標準コスト	標準コスト		国内:最大91Mt、 海外:最大235Mt

*1: DAC無しでは実行可能解が無く、全てのシナリオでDACが利用可能と想定

*2: 原子力活用シナリオは別途、比率50%まで分析を実施

2030年事業開始のためのCCS事業の想定スケジュール（事業者における想定）

- **2030年中に新規CCS事業を開始**するためには、開発フェーズ（海上設備設置や圧入井掘削等）に最低でも4年必要であるため、**2026年度までに最終投資判断（FID）**をする必要。
- FIDをするためには、FEED※（4年）を終える必要。通常、試掘後にFEEDを行うが、リグ調達に2年、試掘に1年、評価に1年必要かかり、早くても2029年のFIDとなるため、**上記スケジュールに間に合わせるには、試掘を2024年に開始**するとともに、**試掘・評価やPre-FEEDと同時並行的にFEEDを実施する必要**（通常は試掘終了後にFEEDを開始）。（※Front End Engineering Design）
- **試掘の1年前（2023年）までには試掘開始の意思決定を行う想定。**



各国における責任移譲までの期間

	EU	豪州	北米	ドイツ	日本
貯留法／ サイト	海陸域	海域 陸域・沿岸貯留は州 政府管轄	陸域（EOR）	海陸域 （CO ₂ 注入量年130 万 t・総計400万t以 内）	海域のみ
責任移譲ま での期間	最低20年 ※ 封じ込めの証 拠により永久固 定が確認された 場合は移譲が 出来る。それ以 外が最低20年。	最低15年	50年 ※ 責任移譲を規定 した連邦政府レベ ルの法規制はない。 ※ 州レベルでは、 圧 入終了後即移譲 できる場合から10 年、15年要する 場合など、ばらつき がある。	最低40年 ※ 40年経過後、責 任移譲が可能。	規定無し （=無限責任）

CO₂貯留適地調査事業

- 過去のRITE及びNEDO・AISTによる調査から、国内には、約2,400億トンのCO₂貯留ポテンシャルがあると推定されていたが、基礎データに基づく推定であり、貯留適地の特定に至っていなかった。
- CCSの事業化をする上で、貯留適地の特定は不可欠であるため、2014年から、3D弾性波探査などの調査を実施中。これまでの調査により、R4年1月末までに、10地点で約160億トンの貯留可能量を推定。
- 貯留適地と見込まれるエリア（下表、赤枠に示す堆積層厚1000m以上）のうち、未だ調査できていない地点について、引き続き調査を実施。

CO₂貯留層賦存量マップ

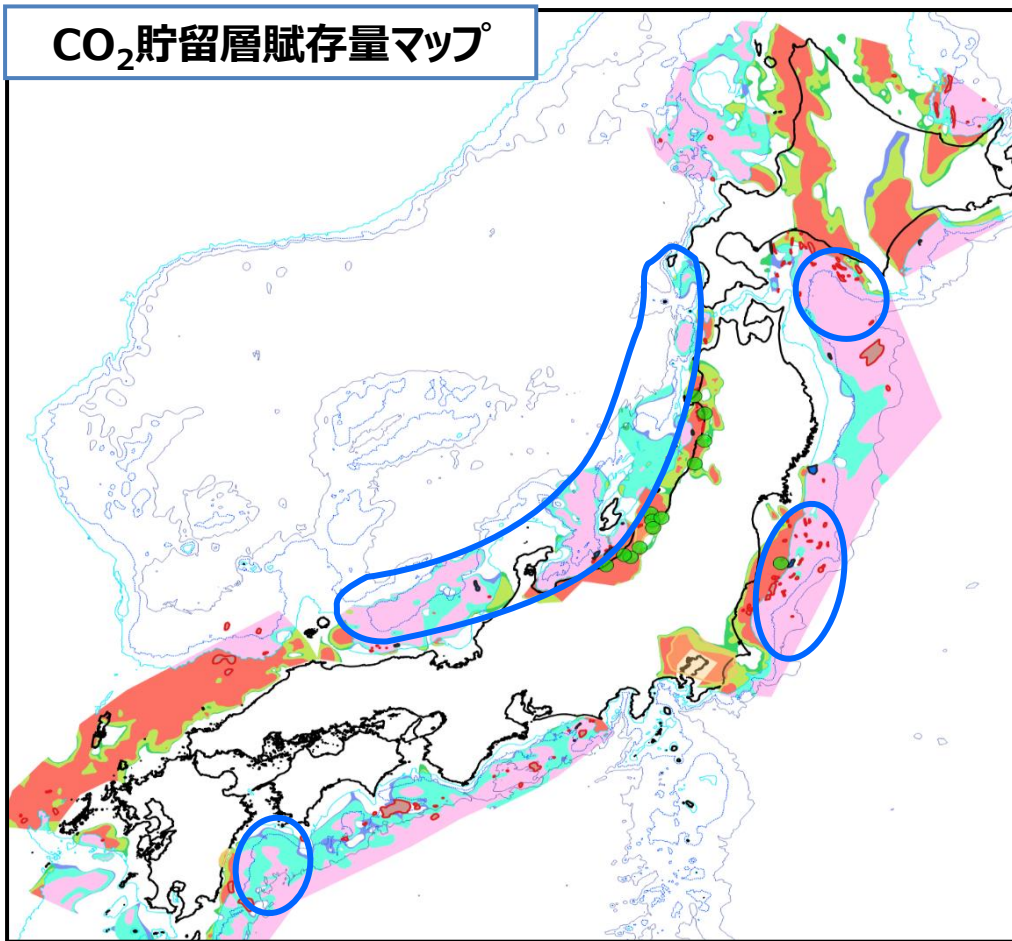


表. 堆積層厚 RITEの区分(2006, 2008)

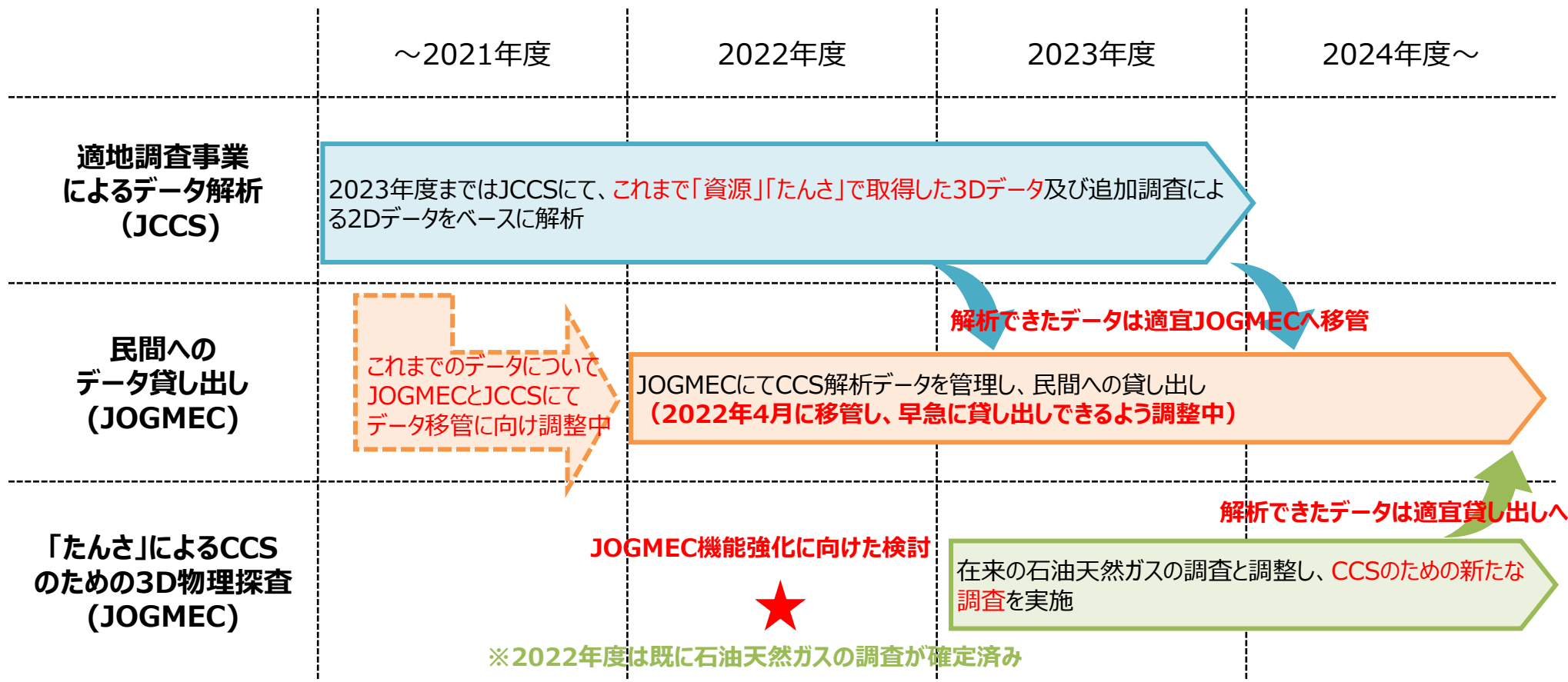
● A1 (油ガス田)	} 背断層構造	--- 水深 2,000m
■ A2 (既掘構造)		- - - 水深 1,000m
■ A3 (未掘構造)		— 水深 200m
■ B-1 (水溶性ガス田)	} 同斜構造	
■ B-2 (堆積層厚 >2,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 1,000~2,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 800~1,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 >2,000m, 水深 >200m)		
■ B-2 (堆積層厚 1,000~2,000m, 水深 >200m)		
■ B-2 (堆積層厚 800~1,000m, 水深 >200m)		

RITE(2006, 2008)を基にJCCS (日本CCS調査株式会社)にて編集

○ 3D/2D精査データを用いた地質解析エリア
(楕円内の一部で実施。楕円の大きさに意味なし)

適地調査事業のデータ貸し出し及び「たんさ」による物理探査

- CCSの事業化に向けて、適地調査にてJCCSが解析したデータを早急に民間へ貸し出す仕組みを整備する必要があることから、2022年4月にデータをJOGMECへ移管し、早急に貸し出しできるよう調整中。
- これまでの「資源」や「たんさ」を活用した適地調査は、石油・天然ガス開発を目的としたものだが、CCSのための調査がJOGMECの業務に追加された場合、最速で2023年度以降、石油・天然ガス開発を目的とする調査に加えて、CCSを目的とした調査を追加的に実施予定。



世界の商用CCS施設の概況

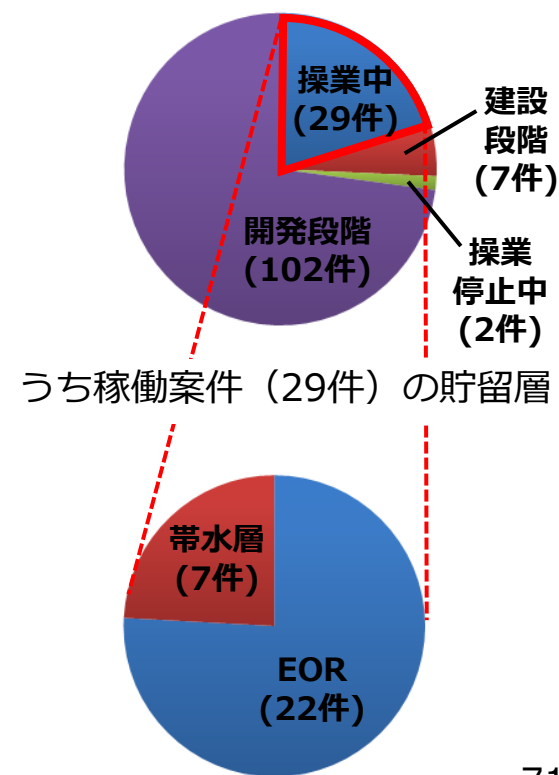
- 2022年1月時点で、世界の商用CCS施設は合計140件（うち29件が操業中、7件が建設段階、102件が開発段階、2件が操業停止中）
- 北米（78件）・欧州（40件）を中心に分布
- 2021年以降で、世界の商用CCS施設の計画は76件増加（うち41件が北米、27件が欧州）

（GCCSIのデータベースに基づく）



（GCCSI (2021)に加筆）

商用CCS施設数（140件）



アジアCCUSネットワークの取組

- AETIの枠組みの一環として2021年6月に立ち上げたアジアCCUSネットワークを通じて、アジアでのCCUS活用に向けた知見共有・人材育成・事業環境整備等に貢献。
- 現在、日米豪印に加え、ASEAN10各国の合計14カ国がメンバーとして参加。
- 2021年度は、第1回フォーラムや加盟国向けの知見共有カンファレンス、技術ワークショップを合計7回開催。今後とも上記の活動を継続しつつ、将来のアジアにおけるCCUSプロジェクトの形成を支援すると共に、日尼JCMのグンディCCSプロジェクトを通じたCCS由来のクレジットに関する方法論の策定・普及といったルールメイキングにも取り組む。

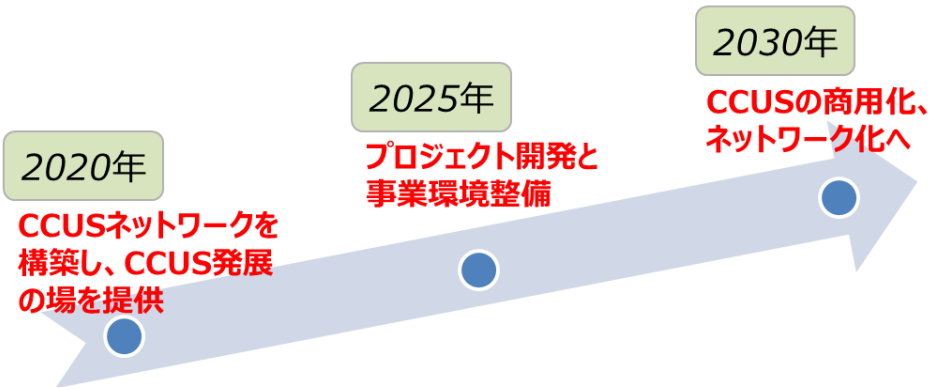
【2021年度の活動】

- 2021年6月 第1回アジアCCUSネットワークフォーラム
- 2021年7月 第1回知見共有カンファレンス (IEA)
- 2021年7月 第2回知見共有カンファレンス (米DOE)
- 2021年10月 第1回技術ワークショップ (GCCSI、三菱重工、三菱総研、RITE、尼Pertamina社、シンガポール国立大)
- 2021年10月 第3回知見共有カンファレンス (OGCI)
- 2021年11月 第4回知見共有カンファレンス (EU commission)
(※括弧内は講演者所属)

【第1回アジアCCUSネットワークフォーラム】



【今後の方針】



【メンバー国】



CCS長期ロードマップ検討会の今後のスケジュール

- 2030年からのCCS事業化を目指し、論点を整理。本年5月中にロードマップの中間とりまとめ。
- 上記検討は、クリーンエネルギー戦略の議論にも反映。

第1回（2022年1月28日）

- ・エネ庁から、検討会の趣旨説明・CCSの事業化に向けた今後の論点整理についてプレゼン
- ・RITEから、2050年CNのシナリオ分析についてプレゼン

第2回（2022年2月24日）

- ・RITEから、CCS付き火力等のコストについてプレゼン
- ・各企業（上流、商社等）から、個別のCCSプロジェクトに関する具体的な構想、コスト試算、政府への要望等についてプレゼン
- ・業界団体から、CCSに対するスタンス、CCS導入に向けた課題、政府への要望等についてプレゼン

第3回（2022年3月中）

- ・事業環境整備に向けた諸課題の検討

第4回（2022年4月中）

- ・2030年、2050年のロードマップ、支援制度・全体制度設計の検討

第5回（2022年5月中）

- ・2030年、2050年のロードマップの中間とりまとめの検討

第1回CCS長期ロードマップ検討会(2022年1月28日実施)の主な論点と委員からの意見

◆ 「国内CCSを着実に実施しながら、海外のCCS適地確保を狙う」ことを大前提としつつ、下記論点について議論を実施。

① 国内CCSの想定年間貯留量（目安）としてどの水準が妥当か。

(委員からの意見)

- 想定年間貯留量（目安）については、1億～数億トンの幅を持たせることが妥当。
- また、国内でのCCSが難しいのであれば、海外への持ち出しやCCUも含めながら、広い選択肢でアプローチしていくべき。ただし、海外への持ち出しについては移管の可否など注意が必要。

② 2,400億トンあると推定される国内CCSポテンシャルの精緻化・特定に向けて、どのような事業者の取組、政策的支援が必要か。

(委員からの意見)

- CCSバリューチェーンの中で、貯留サイトの開発に関する不確実性が高いため、基礎物理探査や試掘への支援が必要。

③ CCSサプライチェーンコストの最小化を図るため、どのような事業者（CO₂排出事業者（発電事業者や産業界）、CO₂処理事業者（上流企業や商社等））の取組、政策的支援・全体制度設計が必要か。

(委員からの意見)

- CCSサプライチェーンのコスト低減に向けては、排出源と貯留地点を効率的につなぐハブ＆クラスターモデルが良い。
- カーボンプライシングの無い状態では、排出事業者のCO₂を処理するインセンティブがなく、処理まで含めたコストを負担することは難しい現状にある。
- CCSを進めるためにカーボンプライシングが必要と言うことには違和感がある。カーボンプライシングに関しては様々な影響要因があると考えられ、もっと包括的な議論が必要。
- CCSをやるためのカーボンプライシングというのは本末転倒。カーボンプライシングは様々な影響が考えられるので、包括的な議論が必要。

④ 事業環境整備に必要な課題にはどのようなものが考えられるか。

(委員からの意見)

- 2030年までに操業開始とするのであれば、早急な法整備が行われない場合、将来国内でのCCSというオプションが成り立たない可能性がある。
- 貯留サイト閉鎖後の国への責任移管や制度整備が必要。
- また、CCS事業化にあたっての、経済的インセンティブも検討すべき。

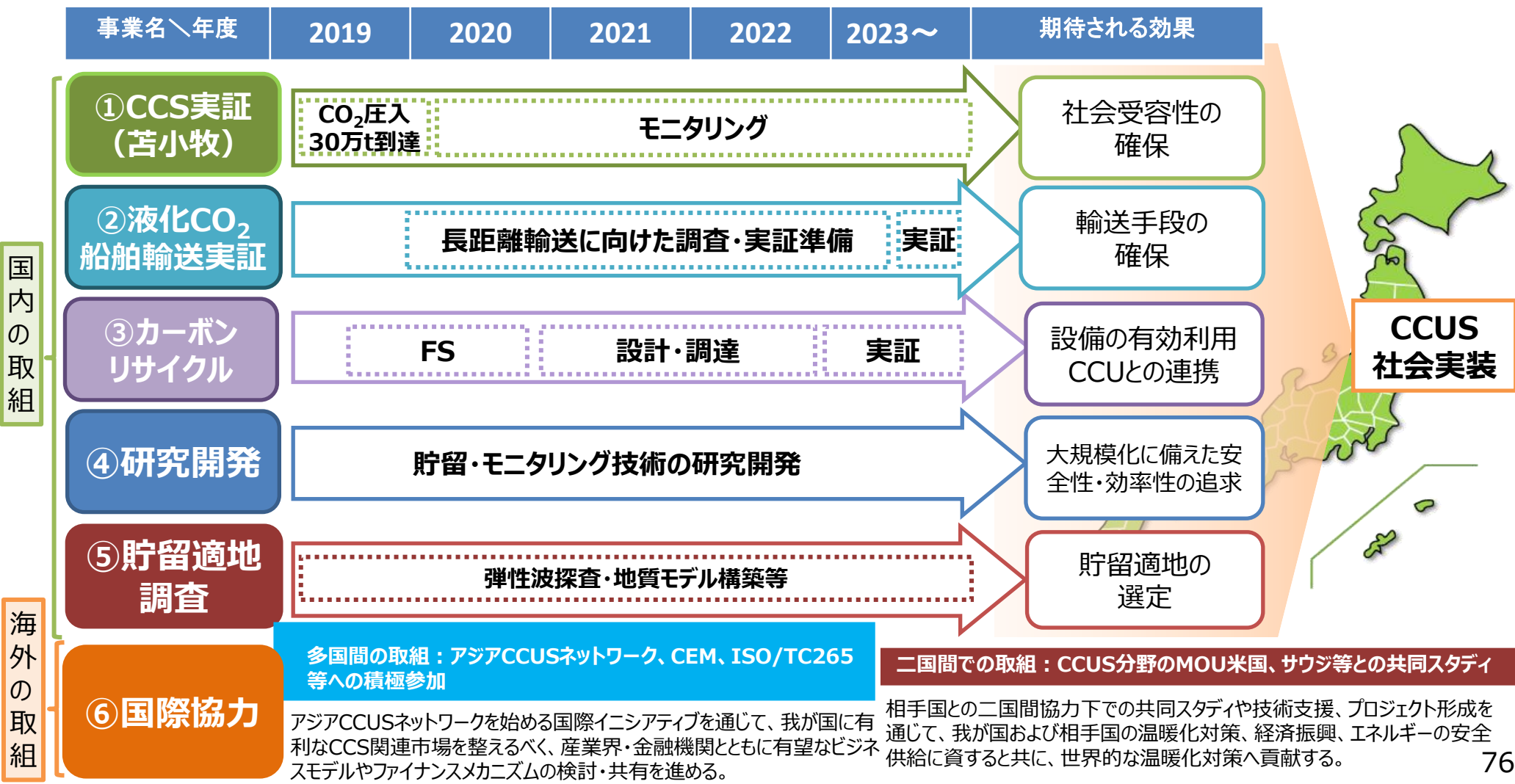
(参考) CCS長期ロードマップ委員

	氏名	所属・役職
委員長	大橋 弘	東京大学公共政策院長 教授
委員	松岡 俊文	京都大学 名誉教授 深田地質研究所 顧問
	中垣 隆雄	早稲田大学創造理工学部総合機械工学科 教授
	和田 大	石油資源開発株式会社 経営企画部長
	加賀野井 彰一	株式会社INPEX 執行役員 水素・CCUS事業開発室ジェネラルマネージャー
	吉良 仁英	JX石油開発株式会社 執行役員 技術戦略部長
	川端 尚志	日本CCS調査株式会社 取締役 総務部長
	羽場 広樹	三菱商事 石油・化学ソリューショングループ 次世代燃料・石油事業本部長
	松井 透	三井物産 執行役員 エネルギーソリューション本部長
	青木 大	伊藤忠商事株式会社 エネルギー・化学品カンパニー エネルギー部門石油・ガス開発部長代行
	海江田 秀志	一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	工藤 拓毅	一般財団法人日本エネルギー経済研究所 理事
	和久田 肇	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 副理事長
	布川 信	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部 次世代火力CCUSグループ主任研究員
	中尾 信典	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター長
	岸本 幸雄	日本エヌ・ユー・エス株式会社取締役会長
	紺野 博靖	西村あさひ法律事務所パートナー
	本郷 尚	株式会社三井物産戦略研究所国際情報部シニア研究フェロー
	南坊 博司	Global CCS Institute 日本代表
	野口 嘉一	電源開発株式会社 経営企画部 シニアエキスパート
	小田 直樹	電気事業連合会 立地環境部長
	小野 透	一般社団法人日本鉄鋼連盟 特別顧問
	和田 一仁	一般社団法人日本化学工業協会 技術部 部長
	乾 敏一	一般社団法人セメント協会 専務理事
	先名 康治	日本製紙連合会 専任調査役
	川口 修	石油鉱業連盟 専務理事
	奥田 真弥	石油連盟 専務理事
	野中 美次郎	天然ガス鉱業会 専務理事
野口 隆浩	日本ガス協会 企画部部長	
野間 康史	株式会社商船三井 エネルギー・海洋事業営業本部 海洋事業部長	
山崎 伸也	川崎汽船株式会社 先進技術グループ 先進技術開発チーム長	

(参考) CCUSに係るこれまでの取組

● これまで、CCS技術の2030年までの商用化、社会実装を見据え、

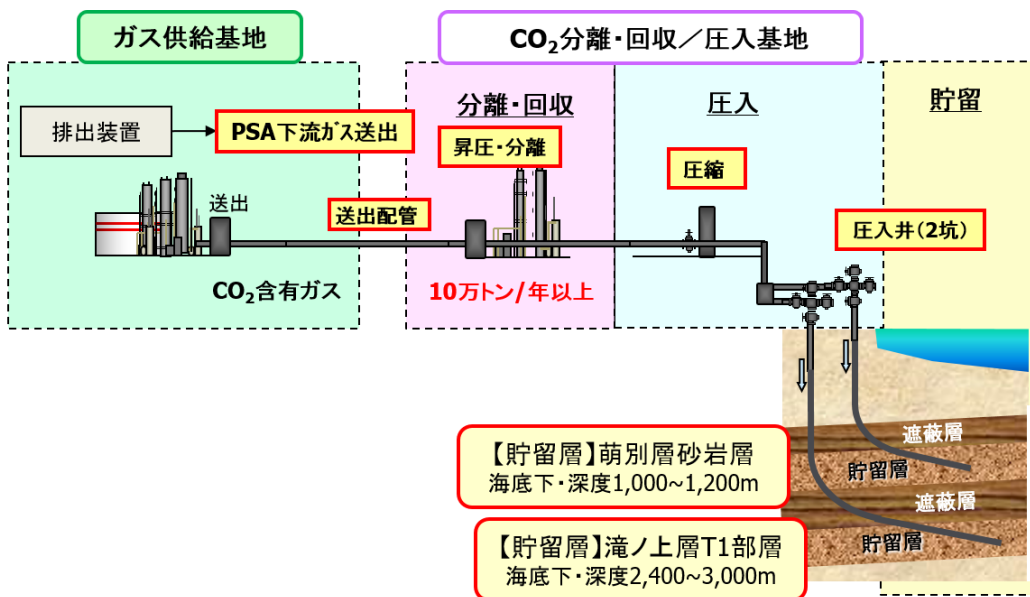
- ① 苫小牧における大規模CCS実証、② 液化CO₂船舶輸送実証、③ カーボンリサイクルへの展開、
- ④ 貯留・モニタリング技術の研究開発、⑤ 貯留適地調査、⑥ 国際協力（アジアCCUSネットワーク等）を実施。



(参考) 北海道苫小牧市におけるCCS大規模実証試験事業

- 実用規模でのCCS実証を目的とした、我が国初の大規模CCS実証試験。
- 2012年度から2015年度に実証設備を建設し、2016年度からCO₂圧入を開始。地域社会と緊密に連携を取りつつ、2019年11月に累計圧入量30万トンを達成。
- 現在は、貯留後の安全性を担保するため、様々なモニタリング手法（弾性波探査、微小振動観測など）を組み合わせて実施中。

苫小牧CCS実証試験の全体像



苫小牧CCS実証試験センター



PSA (Pressure Swing Adsorption、圧カスイング吸着) :

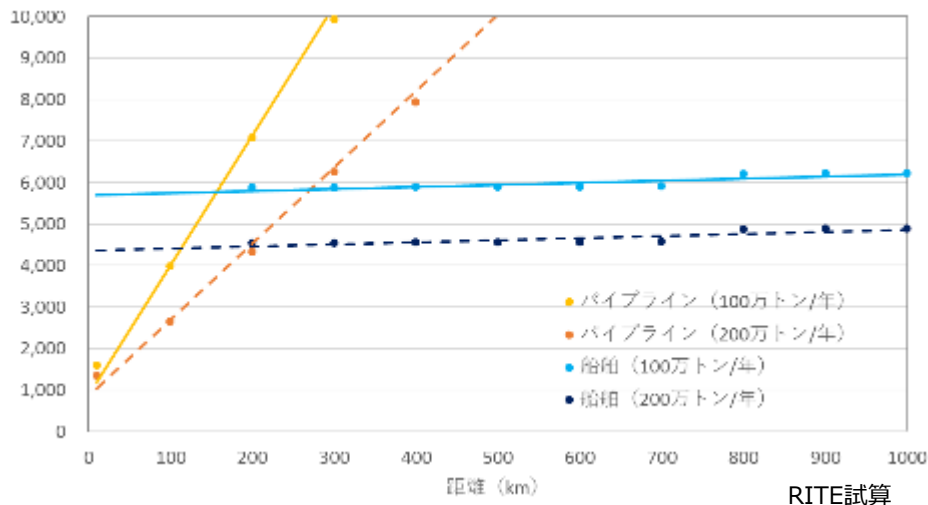
水素製造装置の生成ガスから高純度水素ガスを得る装置。

PSA装置からの下流ガス (PSA材ガス) には高濃度CO₂が含まれる。

(参考) 液化CO₂船舶輸送実証事業について

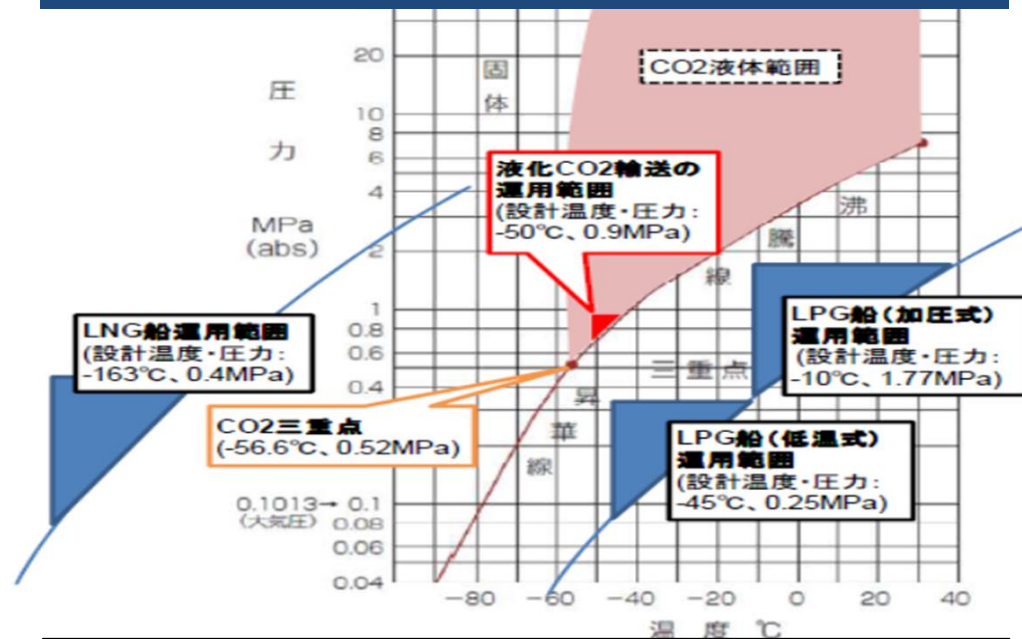
- 日本では、貯留可能性が大きい地域は日本海側に分布している一方で、排出源は太平洋側に集中しており、CCSを実施する上では、大容量での長距離輸送が必要と見込まれる。
- 近距離輸送では、パイプラインが低コストであるが、200kmより長距離の場合では、船舶輸送の方が低コストと試算されている。現状、大容量で、液化CO₂を輸送できる船舶輸送技術は確立しておらず、技術確立が課題。
- 従来、液化CO₂輸送は、中温・中圧 (-20℃、2MPa) 条件の小規模船舶でのみ存在。しかし、液化CO₂を大量に輸送を可能とするには、低温・低圧 (-50℃、0.6MPa) の技術確立が不可欠であり、世界に先駆けて開発を実施中。

輸送量・輸送距離とコストの関係



【輸送量】 大量輸送では、パイプライン・船舶輸送ともにコストが低減
【輸送距離】 短距離輸送ではパイプラインが優位。200kmを超える、長距離輸送になると、船舶輸送の方が低コスト。
 →船舶でのCO₂大規模輸送のためには、「低温・低圧」条件下での管理技術が不可欠

液化CO₂船舶輸送の三重点制御課題



上記の▼部分に示す、低温・低圧条件下で、輸送する際には、運転中の圧力変動による固化（ドライアイス化）リスクがあるため、精密な圧力制御、設備設計を含めた対策の検討が必要

(参考) 液化CO₂船舶輸送実証事業について

- 液化CO₂船舶輸送技術を確立するため、排出源と貯留適地までの長距離輸送の実証事業を行う。具体的には、舞鶴から苫小牧への約1000kmの長距離輸送航路をはじめとした、輸送実証を2024年から開始し、世界初の成果を目指す。

船舶による輸送実証

- 国内複数の拠点を想定して、遠距離の排出源から分離回収、輸送を行うCCSハブ&クラスター構想の重要技術
- 1000t級の液化CO₂/LPG兼用輸送船により輸送



CO₂輸送船

分離回収

石炭火力発電所

- 固体吸収材による分離回収 (1万t規模/年)
- 2023年度から分離回収予定

分離回収

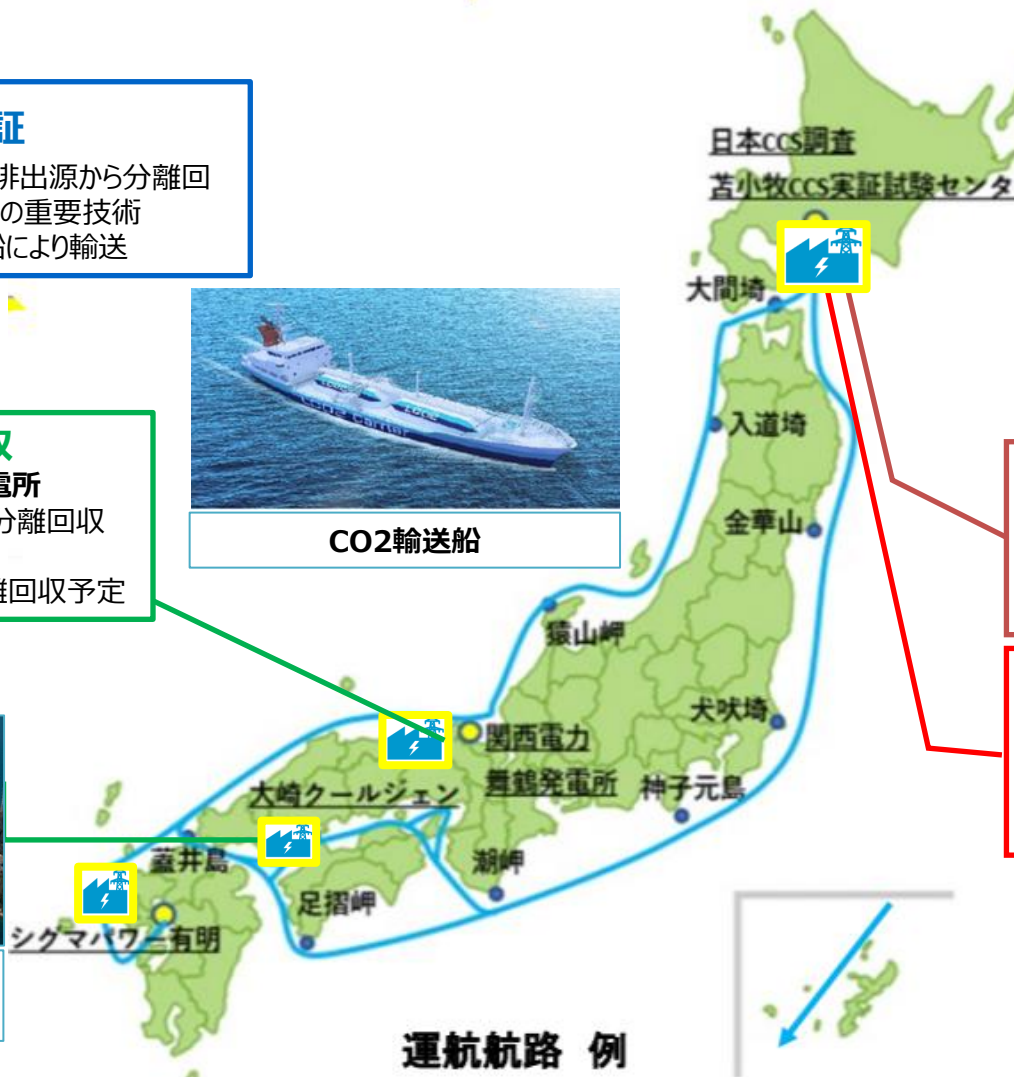
IGCC

- 物理吸収法による分離回収(10万t規模/年)



大崎クールジェン (IGCC)

カーボンリサイクル研究開発拠点



運航航路 例



苫小牧CCS実証試験

貯留・モニタリング


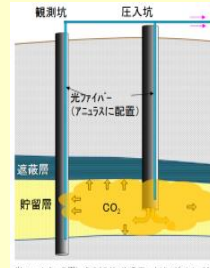
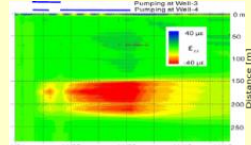
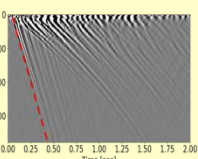
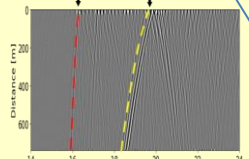
- CCS実証試験を実施中
- 2016年度に圧入を開始し、2019年11月に30万t圧入を達成

苫小牧 CCS/CR拠点

- 苫小牧CCS実証の設備を有効活用
- 遠距離の排出源からCO₂を回収し、カーボンリサイクルの取組を実施し、工業都市の苫小牧市で利活用

(参考) 安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の研究開発事業

- CCSは実用化から事業化のフェーズであり、事業化に向けたリスク低減、経済性向上が課題。
- CO₂貯留技術に関して、安全性を担保しつつ、低コストかつ実用規模の安全管理技術の確立を目指した研究開発を引き続き実施。
⇒光ファイバー計測技術、貯留層管理システム開発、SLO (Social License to Operate) という社会的受容性を評価するツールの開発、坑井封鎖実用化試験など
- 技術を早期確立し、普及拡大を目指すため、二国間クレジット制度 (JCM) の活用など、あらゆるオプションを追求しつつ、海外展開していくことも必要。

【光ファイバー計測技術】	2020機能確立▼	2023技術確立▼	▼2023~ 実適用
<p>○特長：室内・国内現場試験で機能確立</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 3センサー機能の実現 (下図) → モニタリングコスト削減 2) 半永久使用 → 設備費・保守費抑制 3) 常時・連続位置観測 → 安全性向上 	<p>○大規模実証検証・技術確立</p> <p>：米国サイトでの検証 (数十万CO₂トン級)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・坑内計測・地表弾性波計測 →地層安定性監視技術確立 →CO₂挙動モニタリング技術確立 	 <p>米国ノースダコタ州での実証</p>	<p>○CCSへの実適用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国内外CCSサイトへ適用 →安全性・経済性向上 →我が国技術の海外展開
 <p>光ファイバーを用いたCCSサイトのモニタリングイメージ</p>	<p>ひずみ計測</p>  <p>DAS/VSP</p>  <p>自然地震観測</p> 		<p>○波及効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建物保守等、幅広い用途 →膨大な市場の獲得

1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点

(2) 各産業のGX戦略検討

- ① 自動車
- ② 原子力

(3) 2050年CN実現に向けて必要となる技術について

- ① CCS

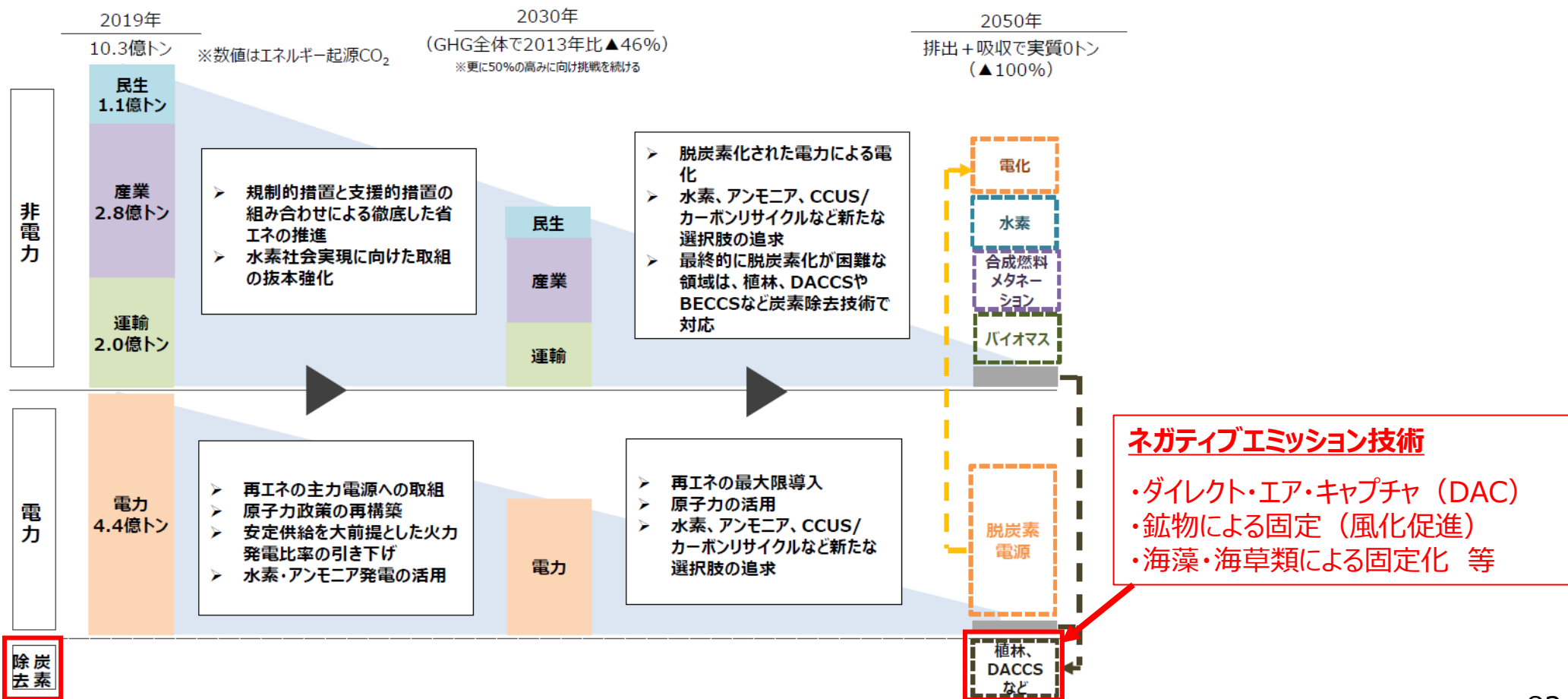
(4) 2050年CN実現に向けて将来期待される新技術

- ① ネガティブエミッション技術

ネガティブエミッション技術（NETs）の位置づけ

- 2050年カーボンニュートラルを実現するためには、どうしても避けられないGHG排出を吸収するネガティブエミッション技術が不可欠。（下記の炭素除去部分）
- 将来の成長産業の萌芽として、どのように技術を磨き、ビジネスとして育成していくか検討が必要。

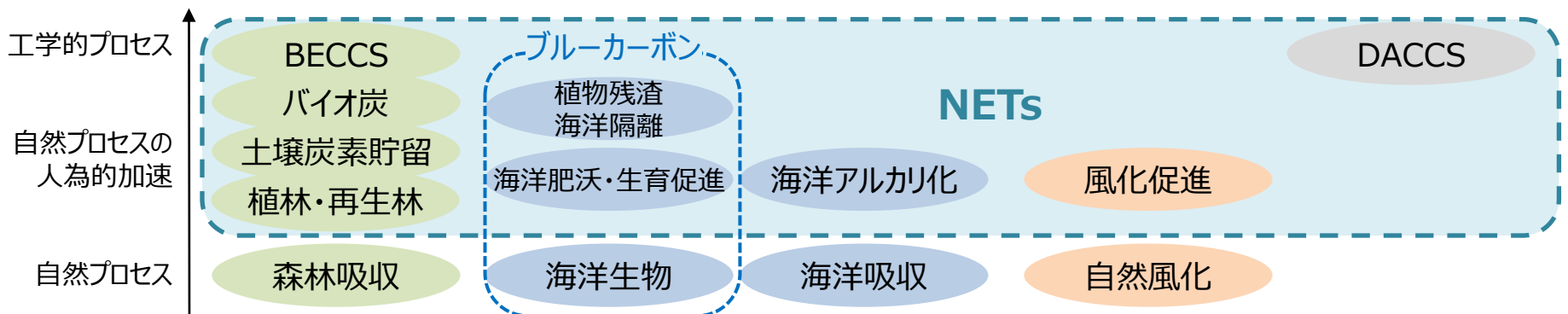
【国内】



ネガティブエミッション技術

- ネガティブエミッション技術(NETs)とは、大気中のCO₂を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中のCO₂除去 (CDR, Carbon Dioxide Removal)に資する技術
- 自然のCO₂吸収・固定化の過程に、人為的な工程を加えることで加速させる技術やプロセス(狭義)

植林・再生林	植林は新規エリアの森林化、再生林は自然や人の活動によって減少した森林の再生・回復。
土壌炭素貯留	バイオマス中の炭素を土壌に貯蔵・管理する技術 (バイオ炭を除く)
バイオ炭	バイオマスを炭化し炭素を固定する技術
BECCS	バイオマスエネルギー利用時の燃焼により発生したCO ₂ を回収・貯留する技術
DACCS	大気中のCO ₂ を直接回収し貯留する技術
風化促進	玄武岩などの岩石を粉砕・散布し、風化を人工的に促進する技術。風化の過程(炭酸塩化)でCO ₂ を吸収
ブルーカーボン	海洋肥沃・生育促進 海洋への養分散布や優良生物品種等を利用することにより生物学的生産を促してCO ₂ 吸収・固定化を人工的に加速する技術。大気中からのCO ₂ の吸収量の増加を見込む。
	植物残渣海洋隔離 海洋中で植物残渣に含まれる炭素を半永久的に隔離する方法 (自然分解によるCO ₂ 発生を防ぐ) ブルーカーボンのみならず外部からの投入を含む
海洋アルカリ化	海水にアルカリ性の物質を添加し、海洋の自然な炭素吸収を促進する炭素除去の方法



技術比較

※TRL : Technology Readiness Level

分類	TRL	削減コスト \$/tCO ₂ *1	削減ポテンシャル GtCO ₂ /年 *2	土地利用 *3 m ² /tCO ₂ /年	削減効果 の確認 *4	日本での実 施の優劣 *5
海洋アルカリ化	3	305 10~600	11.0 2~20	0	要	○
海洋肥沃化	3	67 23~111	4.4 2.6~6.2	0	要	○
植物残渣海洋隔離	2	72 50~94	0.9 0.7~1	0	済	○
風化促進	4	128 50~200	3.0 2~4	29	要	○
DACCS	6	172 30~600	3.5 1~6	4	済	△
BECCS	7	135 60~200	5.6 0.5~15	379	済	△
植林・再生林	9	28 5~50	2.3 0.5~3.6	978	済	○
土壌炭素貯留	7	28 -45~100	4.1 0.4~8.6	0	要	○
バイオ炭	6	75 30~120	2.6 0.3~75	580	済	○
マテリアルとしての固定化 (DAC+炭酸塩化 + 土木・建築利用、木造建築、木質素材の循環利用)						

*1: 2050年想定のコ₂削減コストの中央値

*2: 2050年の世界の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり。

*3: 年間1トンのCO₂削減に必要な面積、植林・再生林978は北海道全体(8.3万km²)で0.85億tCO₂/年の削減に相当、PVは10程度(効率18%, 稼働率12%, 0.5kgCO₂/kWhの電力を代替の場合)

*4: CO₂削減効果が確認されコンセンサスを得ているか

*5: 諸外国との比較で日本での実施の優劣、DACCSとBECCSはCCSが必須でCCS適地の点で日本は劣後

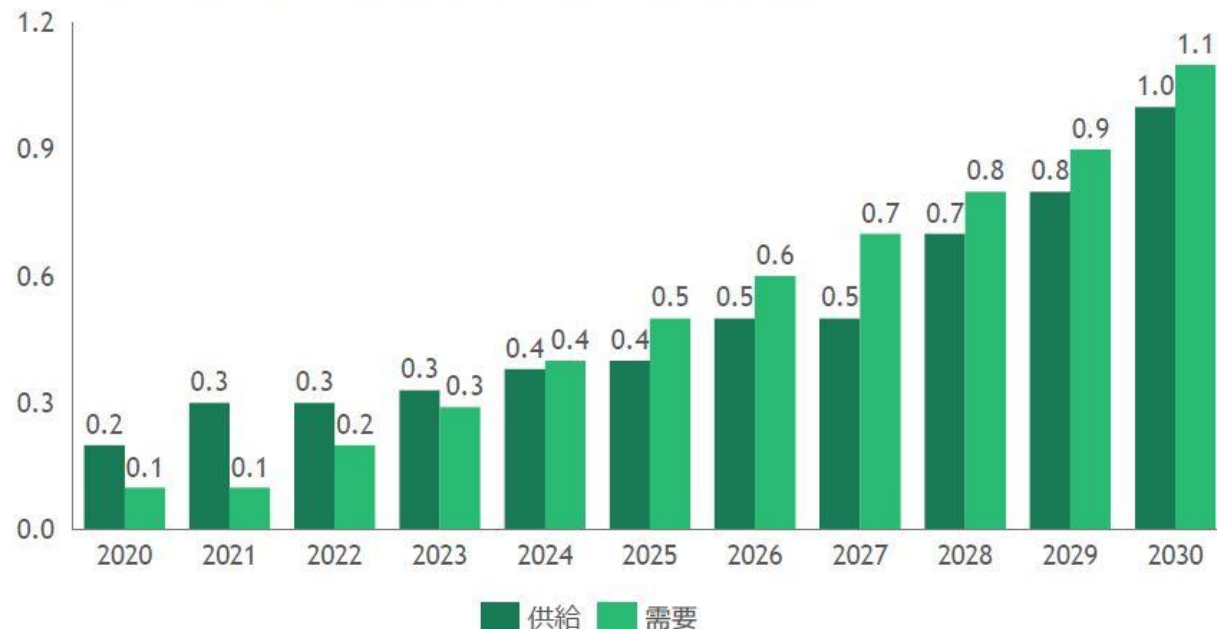
出典: 第6回グリーンイノベーション戦略推進会議WG発表資料, (2022), 各種情報(文末参照)を元にNEDO-TSC作成資料を一部加筆

CO₂排出削減のビジネス化に向けて

- VCC※での排出削減量は0.1Gt(2018年)から0.2Gt(2020年)へと2倍に増加^[1]。
(※voluntary carbon credit)
- VCCの供給・需要は今後急拡大する見込み。

カーボンのクレジットの需要と供給 (GtCO₂e)

コンプライアンス市場とボランタリー市場の連携が進むシナリオの場合



2024年には市場がショートする可能性

- このシナリオの場合、2030年の需要量は1.1 Gtとなる見込み

	CAGR	
	2020-2025	2025-2030
供給	13%	20%
需要	31%	17%

Note: 設定した3つのシナリオのうち、市場拡大が中間のシナリオ。2020年のデータは実績値、2021年以降は推計値

Source: Registries (Verra, Gold Standard, ACR, CAR; CDM); CORSIA; IMO; IEA; CDP; Company commitments; ICAP; Fraunhofer ISI; BCG分析

[1] 出典: State of the Voluntary Carbon Markets 2019, 2021, Ecosystem Marketplace, (2019), (2021)

NETsの施策の方向性

- NETsの位置づけや意義/役割の明確化
 - 政府主導で社会実装に向けた目標・マイルストーンを設定。
 - 日本における、コスト、ポテンシャル、技術優位性等の分析を技術開発と両輪で進め、国内で優先的に社会実装すべきNETsについて検討を深める。
 - これらにより、技術開発・市場形成を加速。

- NETs関連の技術開発をどのような観点で磨いていくか
 - NETsの低コスト化・省エネルギー化に向けた研究開発プロジェクトを実施。（工学的プロセス・自然プロセスの双方が必要なことに留意。最終的な固定貯留までを含めたプロセスを確立。）
 - NETsの不確実性・課題（コスト・ポテンシャル・環境負荷・社会的受容性・LCA等）を適切に評価・分析するための技術開発・データ収集を実施。
 - 幅広い技術分野・適応エリアにまたがるため、産学官の連携・海外研究機関との連携も図る。

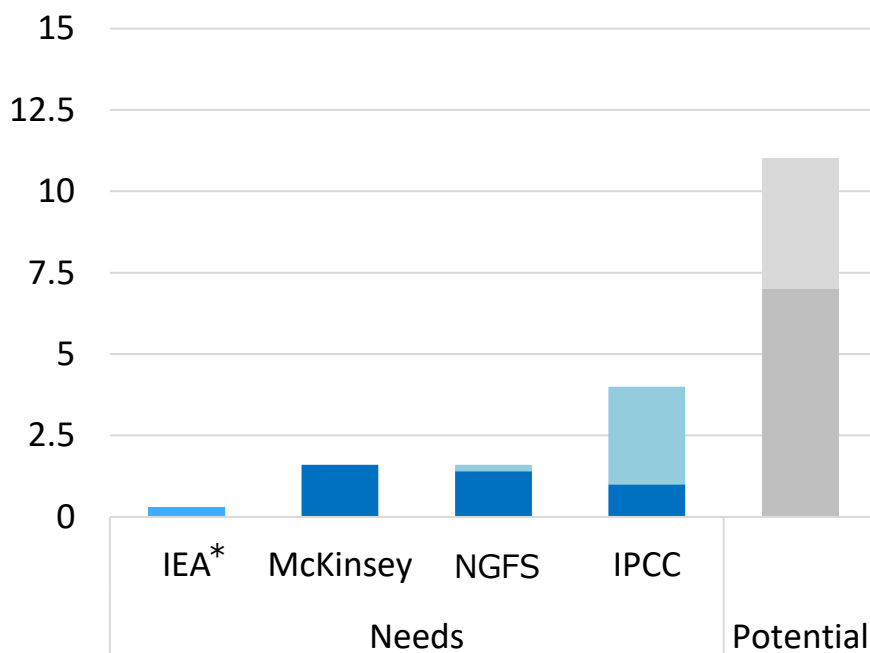
- NETs関連の技術開発をどのように産業化につなげていくか
 - 政府調達による初期需要の創出。企業によるCN製品購入の恣意。
 - NETs関連の機器・材料を購入する際の補助制度・減税制度の導入。
 - VCC市場においてNETs関連のクレジットの導入拡大を促すための方策を検討。
 - ※ NETsクレジットの位置づけ（他クレジットとの関係）
 - ※ 品質の信頼性と価格の透明性の両方を担保した取引プラットフォームの確立とルール整備。
 - ※ 回収・貯留（・利用）における排出削減寄与度の帰属についてルール整備。
 - 市場化に向けた産学官の連携、海外市場への展開・ルール作りを見すえた国際連携の推進。

(参考) 各機関のNETsのCO₂削減寄与想定【世界】

- 各機関の想定によると、1.5℃排出経路において、NETsの削減寄与の下限は、世界で2030年に1~1.6GtCO₂、2050年に5~7GtCO₂、削減全体の約10%に相当し、再エネ、省エネ、CCUSに次ぐインパクトを想定

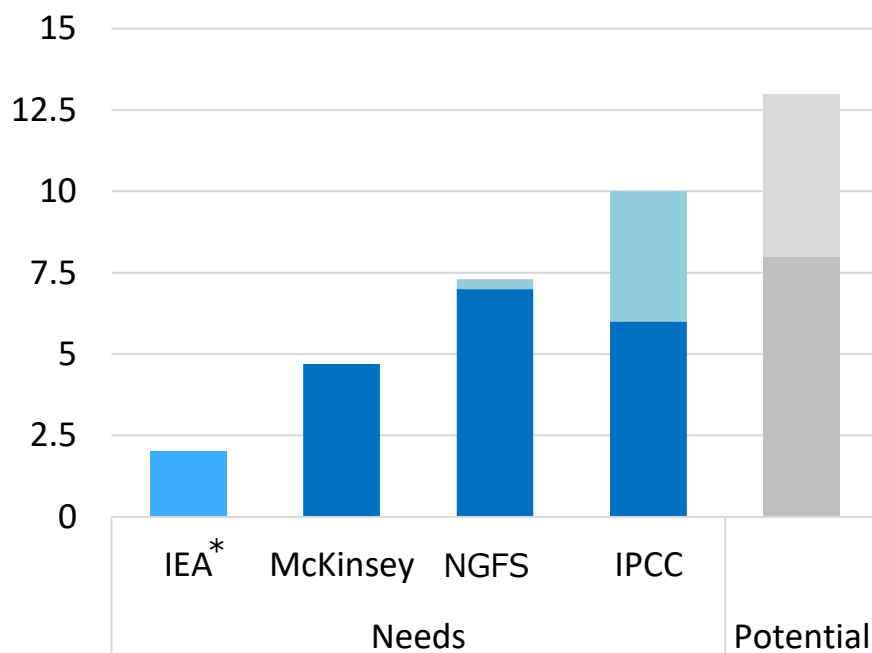
2030年

NETsのCO₂削減寄与・ポテンシャルの推定, GtCO₂/年



2050年

NETsのCO₂削減寄与・ポテンシャルの推定, GtCO₂/年



* IEAはDACCSとBECCSのみが対象

出典：第6回グリーンイノベーション戦略推進会議WG発表資料,以下を元にNEDO-TSCにて作成, (2022)

IEA:Net Zero by 2050, NGFS:Network for Greening the Financial System, <https://www.ngfs.net/en/publications/ngfs-climate-scenarios> McKinsey: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-math-what-a-1-point-5-degree-pathway-would-take> Potential:Coalition for Negative Emission, <https://coalitionfornegativeemissions.org/the-case-for-negative-emissions-executive-summary/>

(参考) 植林・再生林

- 植林は新規エリアの森林化、再生林は自然や人の活動によって減少した森林の再生・回復。
- 地域に適した品種の選択がCO₂固定化の効果および環境影響に重要
- 草原や農地への植林は生物多様性も含めその効果には注意が必要
- 炭素固定速度を速める植物*などの研究も進む
- 蓄積量の飽和に伴う適切な処理(BECCS, バイオ炭)

(注:左右の図は縦軸の単位が異なる)

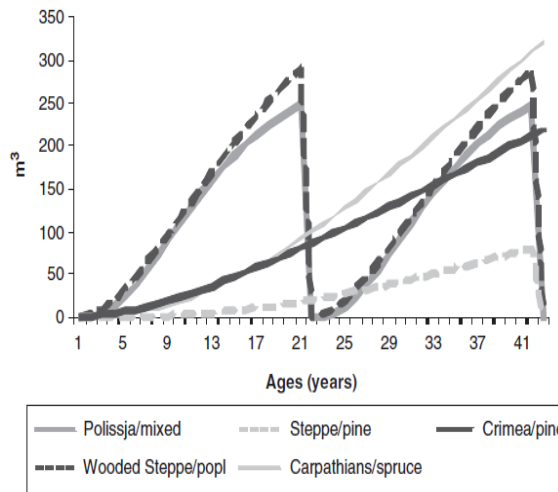
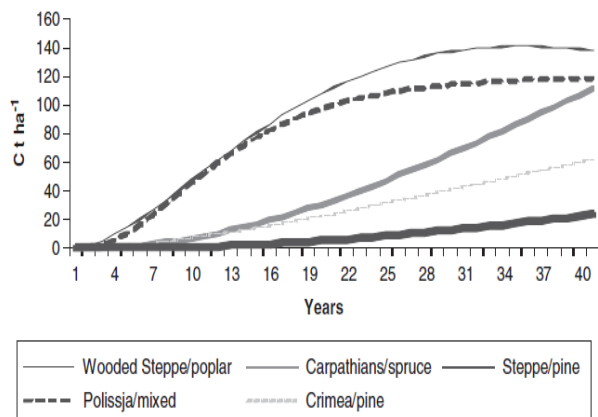


Figure 2 Cumulative carbon uptake by fast-growing tree species across regions in Ukraine, 0% discount rate.⁴⁶

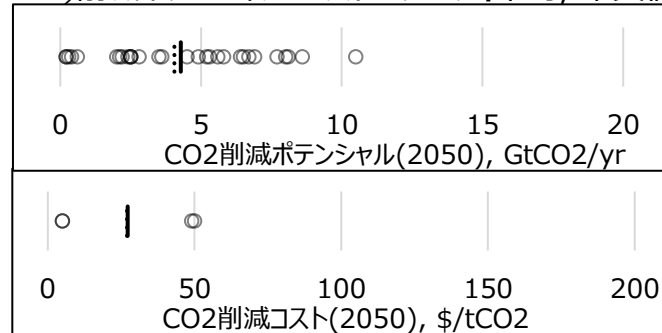
Figure 3 Graphical representation of growth functions of fast growing trees across the regions in Ukraine if the trees are harvested when their growth decelerates.⁴⁶

Nijnik, Maria. (2010). Carbon capture and storage in forests. *Iss Environment Sci Tech.* 29. 203-238. https://www.researchgate.net/publication/291103287_Carbon_capture_and_storage_in_forests

* <https://www.fastcompany.com/90646232/these-supertrees-are-engineered-to-capture-more-carbon>

TRL	GtCO ₂ /年	\$/tCO ₂	M ² /tCO ₂	固定期間	検証	日本での実施
9	4.1	27	978	△	済	○

CO₂削減ポテンシャル・コストのデータ | 平均, 中央値



Pros

- ・日本での実施
- ・低コスト
- ・大きなエネルギー消費を伴う工程がない

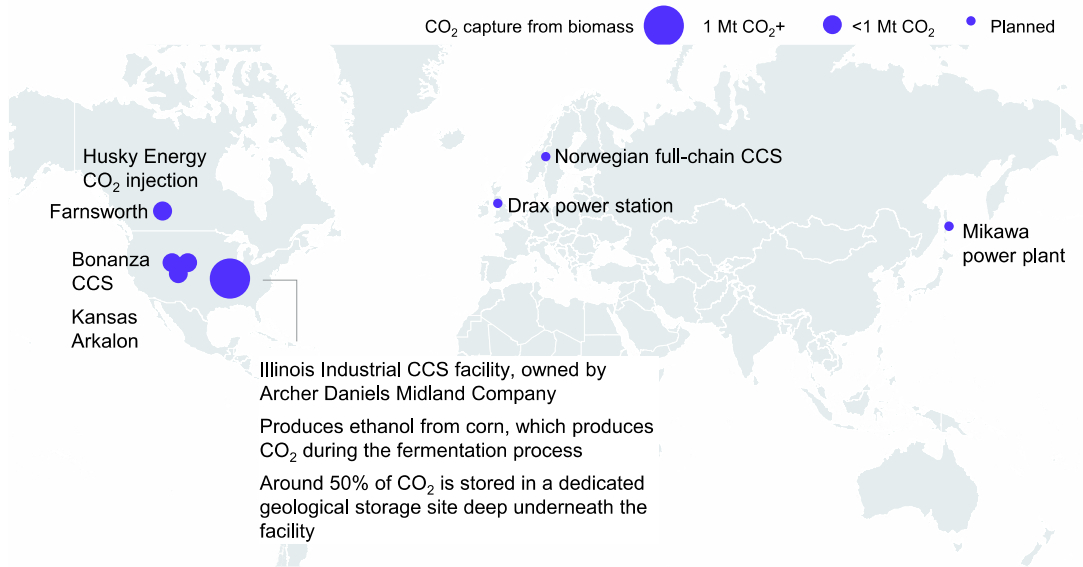
Cons

- ・必要土地面積
- ・水の消費
- ・効果の減少、分解等によるCO₂放出の可能性

(参考) BECCS

- 一般にバイオマス発電とCCS(EOR)とを組み合わせた技術。大気中CO₂をバイオマスとして固定し、エネルギーなどで活用、発生するCO₂の貯留と組み合わせでネガティブエミッションを実現
- バイオマスからの水素製造やバイオプロセスで発生するCO₂を対象とする場合や、炭酸塩化との組み合わせで固定化する場合も、BECCSに含まれることもある
- 2021現在、CO₂回収量で100万t/年規模(エタノール発酵で発生するCO₂が対象)のものを含め、複数のBECCSが北米で稼働中

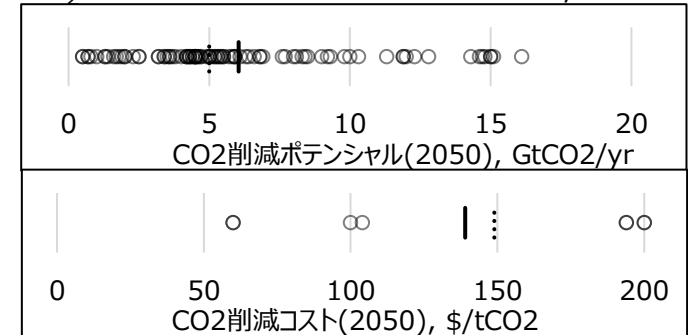
Locations of operational and planned BECCS facilities



Coalition for Negative Emissions, The case for Negative Emissions, 2021
<https://coalitionfornegativeemissions.org/wp-content/uploads/2021/06/The-Case-for-Negative-Emissions-Coalition-for-Negative-Emissions-report-FINAL.pdf>

TRL	GtCO ₂ /年	\$/tCO ₂	M ² /tCO ₂	固定期間	検証	日本での実施
7	5.0	149	379	○	済	△

CO₂削減ポテンシャル・コストのデータ | 平均, 中央値



Pros

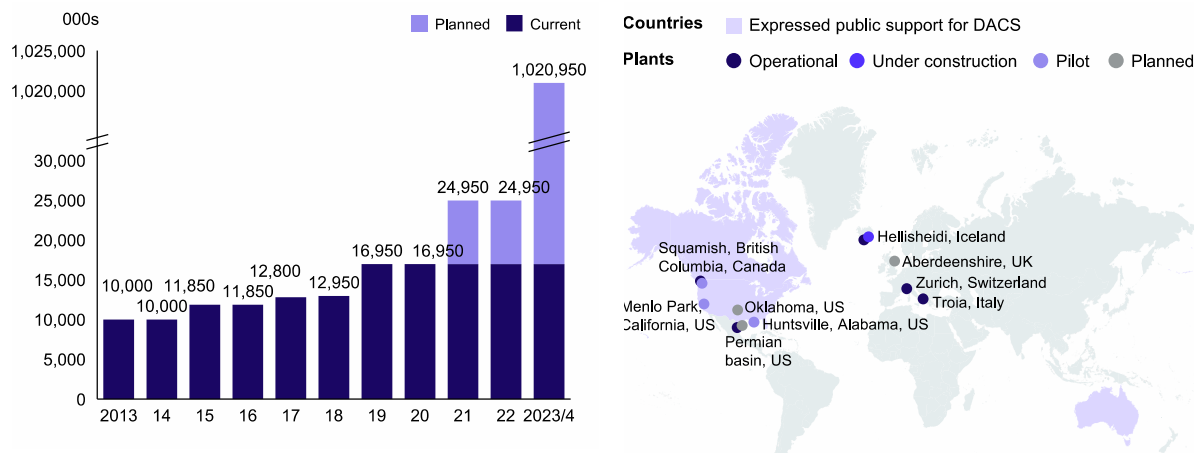
- ・バイオマス発電/分離回収/CCSはほぼ完成された技術
- ・持続可能なエネルギー共有とネガティブエミッションの両立
- ・永久貯留
- ・削減効果の検証が容易

Cons

- ・CO₂削減コスト
- ・日本での実施(CCS)
- ・必要面積
- ・CCSの追加による効率のペナルティ

(参考) DACCS

- 工学的プロセス(DAC)で回収した大気中CO₂を、一般には貯留(CCS)することでネガティブエミッションを実現
- DACで得られたCO₂を炭酸塩化等で固定化する場合も、ネガティブエミッションとなる
- 400ppm程度の希薄なCO₂の回収に多くのエネルギー(熱・電気)を消費するため、コストおよびCO₂削減効果の点からエネルギー消費削減が必須
- 方式(吸収液・固体吸収・膜分離、アクティブ・パッシブ等)によってTRLは異なる
- 2021現在、稼働中のDACCSの合計は1.7万tCO₂/年、2024年までに100万tCO₂/年の計画

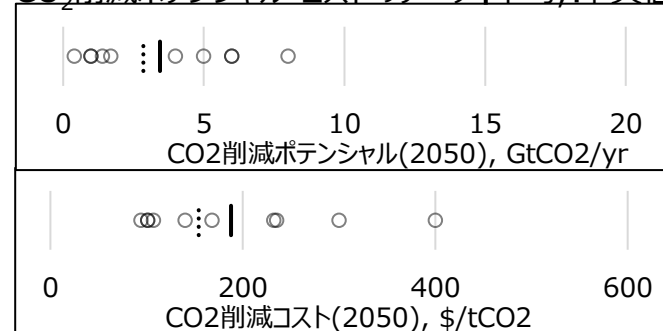


Coalition for Negative Emissions, The case for Negative Emissions, 2021

<https://coalitionfornegativeemissions.org/wp-content/uploads/2021/06/The-Case-for-Negative-Emissions-Coalition-for-Negative-Emissions-report-FINAL.pdf>

TRL	GtCO ₂ /年	\$/tCO ₂	M ² /tCO ₂	固定期間	検証	日本での実施
6	2.9	154	4	○	済	△

CO₂削減ポテンシャル・コストのデータ | 平均, 中央値



Pros

- ・貯留・固定化場所への隣接が可能
- ・必要面積が比較的少ない
- ・永久貯留
- ・削減効果の検証が容易
- ・世界市場への展開可能性(DAC)

Cons

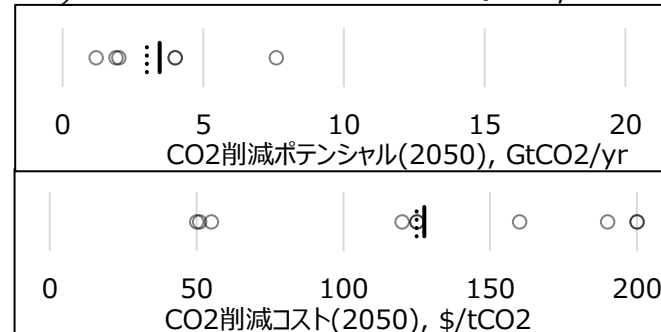
- ・CO₂削減コスト
- ・日本での実施(CCS)
- ・エネルギー消費

(参考) 風化促進

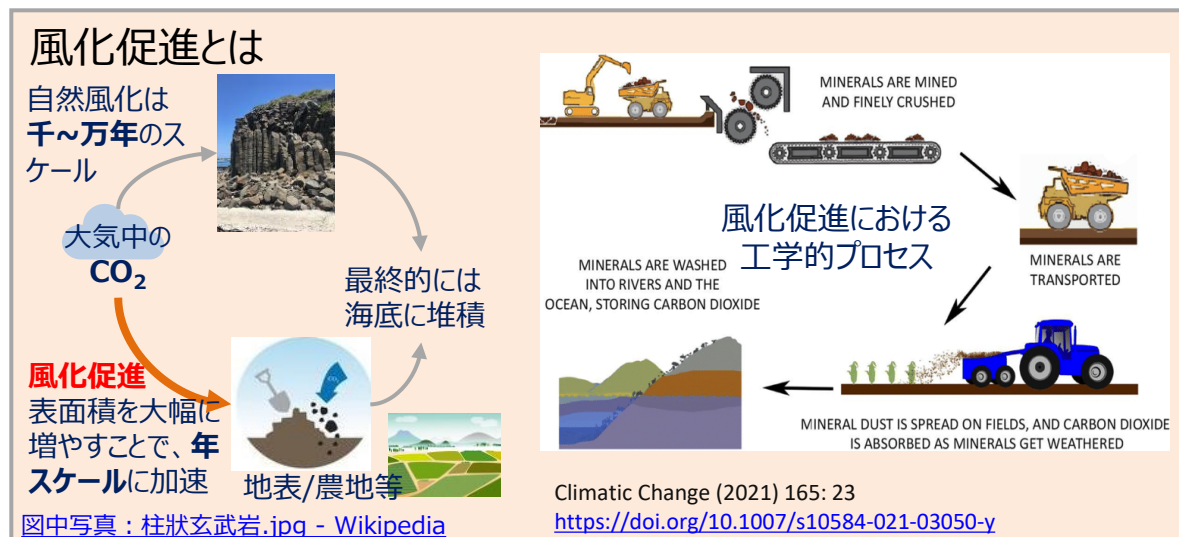
- 玄武岩などケイ酸塩を含む岩石を粉砕・散布し、千年～万年スケールの自然の風化を人工的に促進する技術
- 大気中のCO₂の炭酸塩化反応でCO₂を吸収する原理であるため、新規のブレイクスルーは必要なく、早期の社会実装の可能性
- CO₂固定量あたりの必要面積が比較的少ない
- 玄武岩等の鉱物資源、実施場所としての耕作地・森林・海岸など、日本国内で要件が揃う
- 近年、海外での研究開発、実証試験が活発。日本においては、必要な地質、地球化学情報、かつ関連する技術分野の専門家は豊富であるが特化した研究は少ない
- CO₂削減効果、環境影響(リスク評価)、モニタリング、シミュレーションなど、未検証、未確立

TRL	GtCO ₂ /年	\$/tCO ₂	M ² /tCO ₂	固定期間	検証	日本での実施
4	3.0	125	29	○	未	○

CO₂削減ポテンシャル・コストのデータ | 平均, 中央値

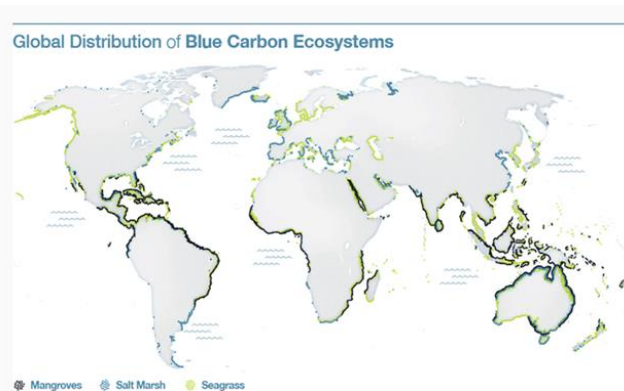


Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・必要面積が比較的少ない ・永久貯留 ・日本での実施 ・自然現象の加速 ・土壌改良などのCO₂削減以外の便益の可能性
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減コスト(輸送・粉砕・散布) ・CO₂削減効果の検証が不十分 ・環境影響評価(土壌、微生物、河川)が不十分 ・ステークホルダーの合意形成



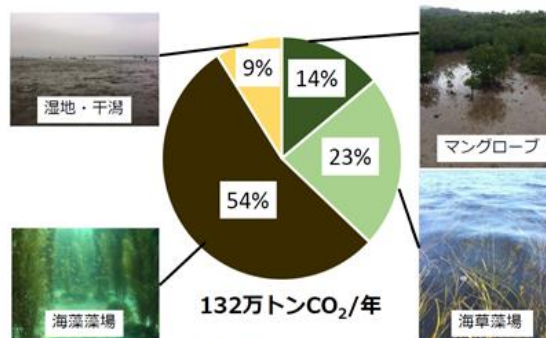
(参考) ブルーカーボン・ブルーリソース

- UNEPにおいてブルーカーボンシンク（吸収源）とされるのは、マングローブ、塩性湿地、海草の3つである。
- 海藻は現時点ではブルーカーボンシンク（吸収源）とされていないが、海外および日本においてもブルーカーボン吸収ポテンシャルは大型海藻がメインと考えられている。
- IPCC湿地ガイドラインへの海藻類の追補を目指し、ブルーカーボン評価モデルを作成中（2020年度農水省事業）。日本は海藻の知見が多いことから国際的にも期待度が高い。
- 米国、豪州では生態系保全の観点からブルーカーボン分野の研究が積極的に行われ、インベントリへの算定や独自の評価手法開発にも着手。
- 欧州ではブルーエコノミーの観点から海藻養殖および海洋資源としての海藻の利活用に向けた取組み「Seaweed for Europe」が行われている。
- 国内においても、ブルーカーボンのクレジット化に向けて、「ブルークレジット」という形でのVCCの取組が行われている。



出所：「the Blue carbon initiative」 <https://www.thebluecarboninitiative.org/>

<ブルーカーボンによる吸収ポテンシャルの全国推計>

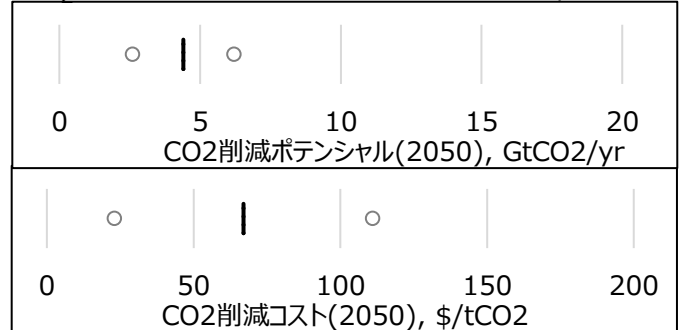


出所：桑江ら,土木学会論文集B2 (2019)

海洋肥沃のケース

TRL	GtCO ₂ /年	\$/tCO ₂	M ² /tCO ₂	固定期間	検証	日本での実施
3	4.4	72	0	△	未	○

CO₂削減ポテンシャル・コストのデータ | 平均, 中央値



Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・排他的経済水域の広さ（世界6位）/海岸線の長さ ・海藻養殖技術の保有 ・藻場造成技術の保有 ・多数のコベネフィット ・ASEAN地域への展開
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・産業従事者（関連水産業）/関連研究者の減少 ・藻場造成コスト ・環境要因による藻場消失 ・評価方法未確立（CO₂貯留、環境影響など）

(参考) NETsに関する国内外の政策動向 (1)

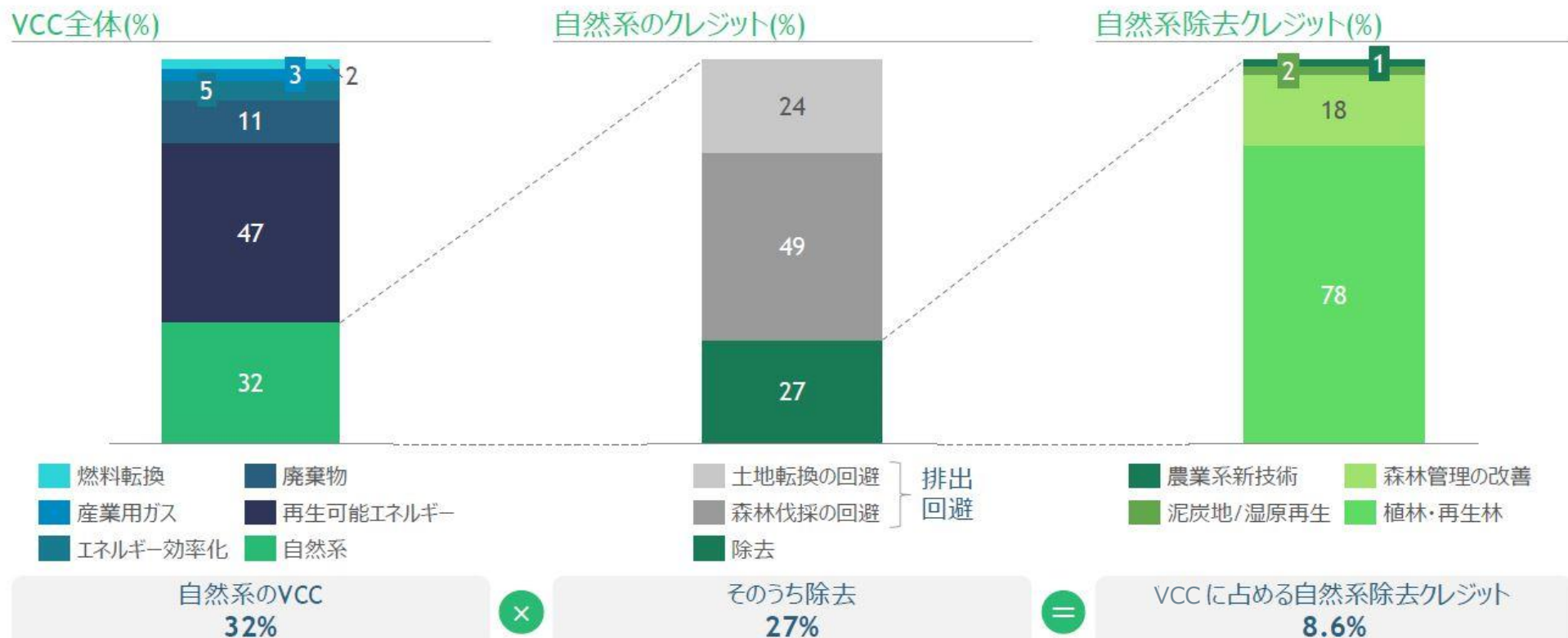
国	概要
日本	<ul style="list-style-type: none"> ● CCUSを2025年までに社会実装することを目指し、大規模な実証試験事業や貯留適地の調査事業を実施。2019年に目標である30万トンの圧入に成功。 ● グリーン成長戦略(2021年6月)において高効率なCO2分離回収技術を開発する旨を明記。 ● 革新的環境イノベーション戦略(2020年1月)において、DAC技術を追求する旨を明記。
米国	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存の石炭やフラッキング産業を新エネルギー化推進と共に転換を図る狙い。採掘跡のCCS転用と化石燃料の将来の有効活用に重点化、DACCS/BECCS/海藻類炭素固定を国のプロジェクトとして推進 ● インフラ投資法案(2021年11月)において、DACS/CCUS関連の地域別ハブの建設や検査、標準化を対象に含め出資。 ● DACCSへの基金として合計4,400万ドル(48.4億円)。DACCSとCCUSの混合プロジェクトやBECCSとCCUS混合プロジェクトを実施。海藻・海草類等による炭素固定化※のための基金設立も。 <p>※“algae-based carbon capture”</p>
中国	<ul style="list-style-type: none"> ● 中央政府による強力な政策推進に加え、海洋沿岸の省でも独自に計画を策定。風化促進を含むCCUSや海洋におけるネガティブエミッションを推進。 ● 中国政府は2016年よりブルーカーボンのプロジェクトを開始。2020年には5ヶ年計画を策定。貝や海藻類による炭素固定(※1)プロジェクトを推進。沿岸の山東省威海市でも2021年に「2021-2025年ブルーカーボン発展行動計画」を発表。 ● 第13次5ヶ年科学技術発展計画(2016年-)において、CO₂鉱物化(風化促進)(※2)を含む、CCUS技術のイノベーション推進。また第14次5ヶ年計画(2022年-)では、森林被覆率増加の目標も。 ● 中国国家自然科学基金等の支援により、海洋のアルカリ化(※3)、環境改善、炭素吸収量増加を実証する研究も実施。 <p>※1“microbial carbon pumps”, “Seaweeds(macroalgae) and shell fish farming”等によるアプローチ ※2“CO2 mineralization and utilization” ※3“enhancement of alkalinity and precipitation of carbonates in hypoxic coastal eutrophication waters”</p>
英国	<ul style="list-style-type: none"> ● 英国ビジネスエネルギー・産業戦略省による英国の気候変動目標達成と6万件の雇用創出に向けた1億6,600万ポンド(約260億円)の大規模助成プログラム(2021年12月)。DACCS、BECCS、海洋アルカリ化(※1)、CO₂鉱物化(風化促進)(※2)を含むPhase-1に進む24のプロジェクトを選定。 <p>※1“carbon dioxide removal through ocean alkalinity enhancement” ※2“capturing CO2 from air and converting it directly into a mineral by-product”</p>

(参考) NETsに関する国内外の政策動向 (2)

種類	概要
ルール メイキング	<ul style="list-style-type: none"> ● 米国：インフラ投資法案（2021年11月） DACS/CCUS関連の地域別ハブの建設や検査に加え、標準化も対象として含まれている。 ● 中国：沿岸地域での事例（福建省廈門（アモイ）市） ブルーカーボン取引サービスプラットフォームを立ち上げ、漁業を含むブルーカーボン吸収源の基準を推進 ● 日本：グリーン成長戦略（令和3年6月） CO₂分離回収の標準評価技術を確立し、日本の技術の国内外への展開を加速するため、国際標準化について検討する旨を明記。 ● EU：「Sustainable Carbon Cycles」（2021年12月発表） 欧州グリーン・ディールのFarm to Fork戦略実行のための戦略文書。炭素削減に向けた認証制度の設計の提案も。CO₂の土壌貯留等を促進するための方向性を提示
税制優遇 ・ 補助金等	<ul style="list-style-type: none"> ● 米国：連邦45Q優遇税制、カリフォルニア州のLCFS（Low Carbon Fuel Standard）制度 連邦45Q優遇税制は、CCSに対する連邦税制優遇制度（2018年施行）、カリフォルニア州のLCFS（Low Carbon Fuel Standard）制度は、低炭素燃料の利用や炭素回収のプロジェクトに対しクレジットを付与し、クレジットを市場で取引する制度（2011年施行）等。これらの制度により、DACを進める企業に対する公的なサポートが整備されつつある。またDACプラントの立ち上げ計画などの動きも。 ● EU：「Sustainable Carbon Cycles」（2021年12月発表） CO₂の土壌貯留を促進のための方向性を提示（技術開発のための助成金、EU域内のCCUS市場構築、financial incentiveの提案等）。 ● 日本：ムーンショット型研究開発事業 DACに加えBECCSや風化促進、ブルーカーボンの研究開発を支援。R3年度補正予算案においては40億円を措置 ● 英国：DACCS技術導入への補助金 ● 仏：電気大手EDFが率いるコンソーシアムが英国サイズウェルC原子力発電所でのDACCS技術導入に対し、政府により補助金（25万ポンド（約4,000万円））
初期需要 創出	<ul style="list-style-type: none"> ● First Movers Coalition（2021年11月にCOP26において、米国ケリー特使と世界経済フォーラムにより発表された、2050年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け立ち上げた世界の主要グローバル企業によるイニシアチブ）参加事業者は、開発初期、実証、試作段階の新たな低炭素技術に対する新たな市場需要を創出するため、現時点では2030年までにそうした技術により提供されるゼロエミッションの製品やサービスを購入することをコミット。まず、鉄鋼、海運等のセクターで開始され、今後化学品、DAC等も対象となる予定。

(参考) VCC全体の中での自然ベースCO₂除去の割合

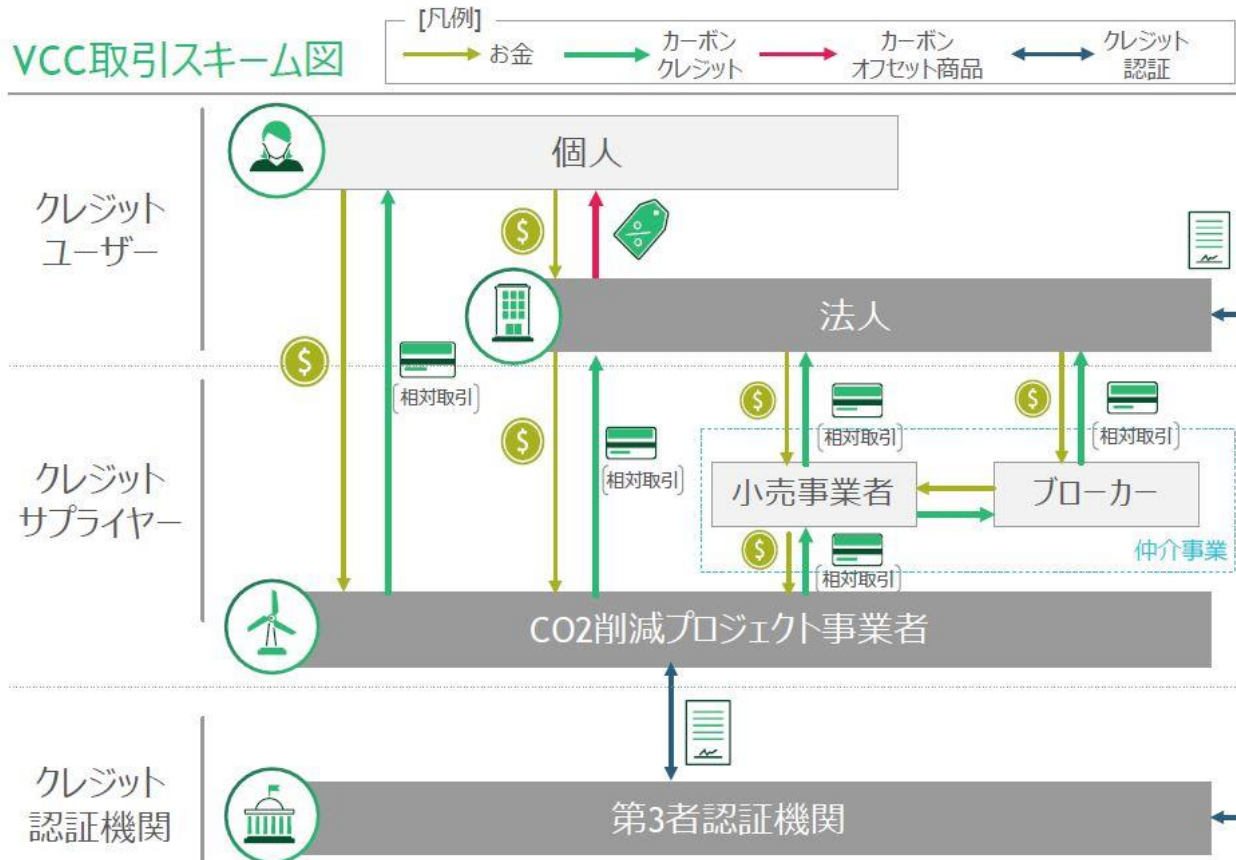
- VCCの自然ベースのCO₂除去に関するクレジットは8.6%。そのうち、植林・再生林によるクレジットが最大。



Note: Verra VCS、Gold Standard、ACR、CARの2020年のデータをもとに分析
 Source: Voluntary Carbon Market Dashboard (Climate Focus), BCG分析

(参考) VCC取引スキームと直近のトレンド

- 従来のCO₂削減事業者/第三者認証機関/法人のスキームから、最近は「仲介事業者の台頭」「カーボンオフセット販売」などの動きがある。



Source: BCG分析

各レイヤーにおける特徴/トレンド

自社購入カーボンクレジット+自社商品を組み合わせたカーボンオフセット販売が拡大

- 投融資家・個人消費者の環境意識の高まり、マーケティング活動の一環として実施
 - 例: JALは飛行機搭乗によるCO₂排出相当量のオフセットプログラムを提供

VCCニーズ/取引量拡大に伴い取引仲介の動きが出現

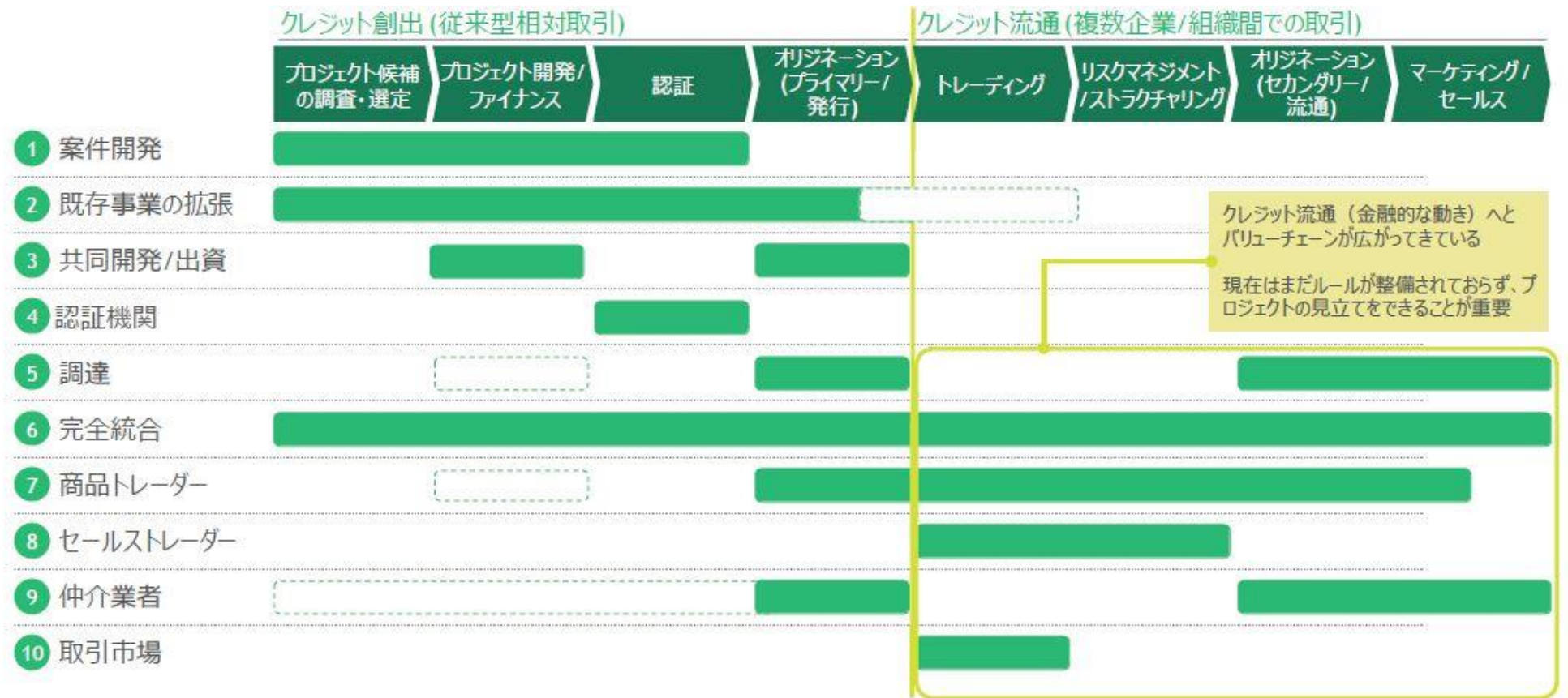
- 小売事業者: CO₂削減プロジェクト事業者からバルクでクレジットを購入し、ブローカー経由 or 法人に直接販売
- ブローカー: 複数小売事業者とのネットワークからクレジット調達し、法人に販売

主要認証機関はNGOが設立/参加する以下4機関

- VERRA (VCS)
- Gold Standard事務局 (GS)
- Climate Action Registry (CAR)
- Winrock International (ACR)

(参考) VCCのバリューチェーンとビジネスモデル

- VCC市場においてはバリューチェーンのカバー範囲に応じて10のビジネスモデルが存在。
- 最大プレーヤーであるVerraの認証項目を基準に、他プレーヤーは項目を追加して対抗する状況。



Note: 技術、方法論、プロセスなどによりバリューチェーンを支えるプレーヤーも存在 (例: Planetly, COMET-Farm)
Source: Expert interviews; BCG分析

■ : 対象範囲
□ : 部分的に対象、一部の企業/組織が取り組み

(参考) VCC市場の現状と今後の動き

- 従来行われてきた1対1の相対取引でのルールから、多くの企業・組織が参画することを想定したプラットフォームやルールの確立等が必要。

VCC市場の現状： 1対1の相対取引の中でルールを整備

- ①クレジット当たりの統一排出量基準が存在
 - ・ マーケット全体で「1クレジット = 1tCO₂削減」が業界標準
- ②クレジット種類の分類基準も確立
 - ・ クレジットの種類はCO₂排出回避/CO₂削減に分類され、更に手法により自然ベース/技術ベースに分解
- ③発行要件の徹底
 - ・ 全プロジェクトが第三者機関の認証を経てクレジット化されるルールが徹底
- ④共通ライフサイクルの確立
 - ・ クレジットの認証から発行、償却まで全クレジットで共通のライフサイクルが確立済み

今後必要な動き： 多企業・組織が参画することを想定した整備が必要

- ①取引プラットフォームの確立
 - ・ 現状の相対取引から株式市場の様なプラットフォームの確立により、取引の透明性/公平性を担保
- ②価格設定基準の整備
 - ・ 共通基準を設け、価格の妥当性を開示/担保
 - 社会ベネフィットの付随で環境効果以上の値付けをする企業も存在する等、価格が幅広、且つ不透明
- ③最適マッチングの仕組み整備
 - ・ 取引プラットフォームを通じ、売り手(プロジェクト事業者)と買い手(法人/個人)の最適なマッチングを図る
- ④品質基準の確立
 - ・ 共通評価基準を設け、クレジット全体の品質担保/向上を図る

(参考) 企業の動き (海外)

- 欧米のスタートアップを中心に、DACCSやブルーリソース、植林、BECCS、風化促進といったNETsに関する取組が活発化。
- 今後数年の間に、百万t-CO₂/年規模の炭素除去実現を目指すなど、商用規模を視野に入れて取り組まれている。
- 収益化の方法は大きく分けて、①ネガティブエミッションの効果を付加価値として販売、②ネガティブエミッションの副産物の販売、の2つに大別。
- 企業や消費者向けに少量から購入できるプランを用意することなどで、環境価値を基に収益化している点が特徴。今後は、低コスト化や大規模化に向けた技術開発が課題。

■ Climeworks (スイス) 【DAC】

(事業概要)

特殊なフィルターで大気中CO₂を吸着。捕獲したCO₂を企業や消費者が継続して購入できるサブスクリプションサービスを展開。CO₂を、近隣の温室設備で栽培されているトマトやキュウリの肥料として供給。

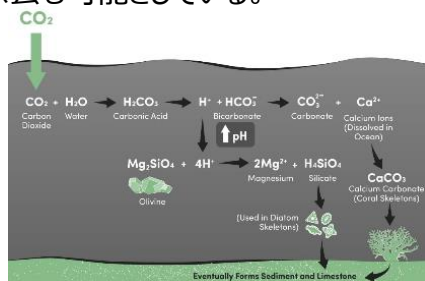


■ Project Vesta (米)

【風化促進・海洋アルカリ化】

(事業概要)

粉砕した「かんらん石」を沿岸に配置することにより海洋のアルカリ性を増し、大気中のCO₂を海水に溶解させる。顧客に対して炭素除去クレジットを販売。最終的には、1億t以上の二酸化炭素除去も可能としている。



■ Charm Industrial (米)

(事業概要)

セルロース系バイオマスを集めて高速熱分解を行いバイオオイルに分解。バイオオイルを井戸に沈め、固化することで恒久的に貯留。一般消費者向け、企業向けにCO₂を除去するプランを提供。\$ 600/t-CO₂・月にてカーボンオフセットを販売。将来的には、\$ 250まで引き下げることを目指している。

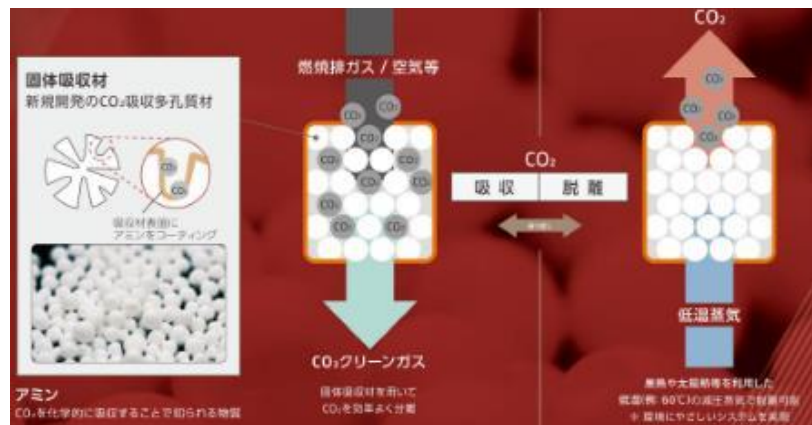


(参考) 国内企業の取組事例

- 川崎重工は、低温でのCO₂回収を可能とするDAC技術を開発中。
- クボタは、農業残渣の炭素固定・エネルギー回収等に関する技術を開発中。
- 課題は、大規模化、低コスト化、そしてマネタイズ化。

■ 川崎重工 (概要)

- 40年前から、潜水艦や宇宙船など閉鎖空間におけるCO₂除去技術として吸収材を用いたCO₂分離回収技術を開発。
- 多孔体にアミンを担持した新規の固体吸収材を用いることで、100℃以下の排熱を利用可能とし、省エネを実現。再エネなどの利用により、LCA評価でネガティブエミッションとなることを確認。
- 現在の実証規模は5kg/日、回収されたCO₂は純度95%。



■ クボタ (概要)

- 自動運転農機の作業効率化によるCO₂削減、スマート水管理による水田からのメタン削減、精密可変施肥による肥料削減、バイオ炭等によるネガティブエミッションなど、「食料・水・環境」ソリューションのシナジーにより、持続可能なカーボンニュートラル・資源循環型農業の実現を目指す。
- 農業残渣（稲わら、もみ殻など）の高温ガス化等による炭素固定とエネルギー回収技術を開発中。世界の農業由来のGHG排出量の約半分を占めるアジアへの展開を視野。



※1ネガティブエミッション：炭素貯留を指し「4パーセントシニアティブ」に寄与