

革新的環境イノベーション戦略 提案書（素案）

**検討会事務局
令和元年10月29日**

目次

1. 背景

2. 戦略の位置づけ

3. 本戦略が目指す将来像

4. 革新的な技術開発の推進

5. 政策のイノベーション

- 技術のボトルネックの検証とシーズ発掘・創出（政府の先導的取組）等
- 長期的・国際的視点からのプロジェクトの推進

1. 背景

- 令和元年6月閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（以下、長期戦略という。）に基づく「革新的環境イノベーション戦略」の策定に向けた提案を行う。
- 長期戦略においては、「革新的環境イノベーション戦略」は、社会実装可能なコストを実現し、非連続なイノベーションを創出するために策定し、技術を実際に事業化し、世界の排出削減に貢献できるように発信していくこととされている。
- 現状では、地球規模の喫緊の課題である気候変動に対して、世界各国が中長期的に温室効果ガス（GHG）削減に取り組んでいるが、IPCCが示す世界全体削減70%のCO2削減コストシミュレーションに則った試算では、2015年時点での世界全体での年間約100兆円の追加投資が、現状の技術開発の進展のみでは2050年には年間800兆円にまで膨らむとの報告もある。
- 我が国が強みを有するエネルギー・環境分野の技術開発を着実に進めるとともに、革新的な技術開発の推進、社会実装のための仕組みからなる革新的なイノベーションを、日本が官民を挙げて主導的な役割を担い世界に先駆けて推し進め、その成果が世界において社会実装されることを目指す。

2. 戦略の位置づけ

今世紀後半のできるだけ早期のカーボンニュートラルの実現に向け、重点的に取り組むべきイノベーションを特定し、具体的なコスト目標・実現に必要な政策イノベーションを提示。

● パリ協定を踏まえ世界全体のカーボンニュートラルの早期実現を目指す

既存技術だけで脱炭素社会を実現するには、70%削減ケースにおいても2050年に人類は1年間に約800兆円をCO₂削減に投じる必要があるとの試算。途上国の負担も550兆円と極めて大きい。この負担を軽減することが、カーボンニュートラル実現の鍵であり、非連続のイノベーションに世界全体で取り組む。

● 実現に向けあらゆる非連続イノベーションの開発を示し可能な限りの目標を設定する

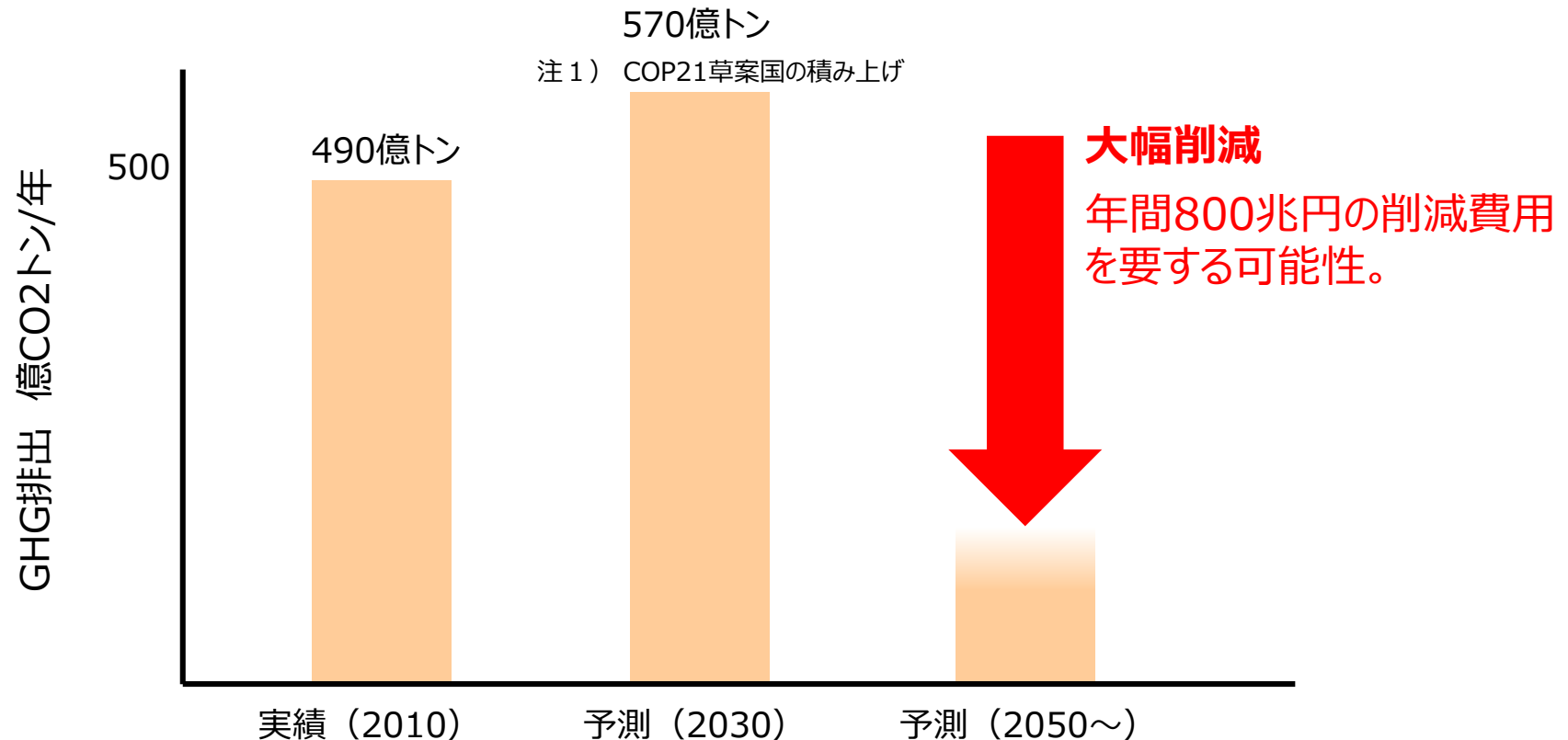
CO₂削減ポテンシャルと削減コストを踏まえ重点化に取り組むべき技術を特定し、具体的なコスト目標を設定する。

● 実現に必要な政策のイノベーションを提示する

社会実装に向けた技術開発のあり方（シーズ発掘と長期的取組）、体制（国際連携、共同研究拠点、ルール化）、民間資金の活用、官民の支援のあり方を示す。イノベーションの新たな取り組みを示すことで、全世界のCO₂削減の寄与に向けたメッセージとする。

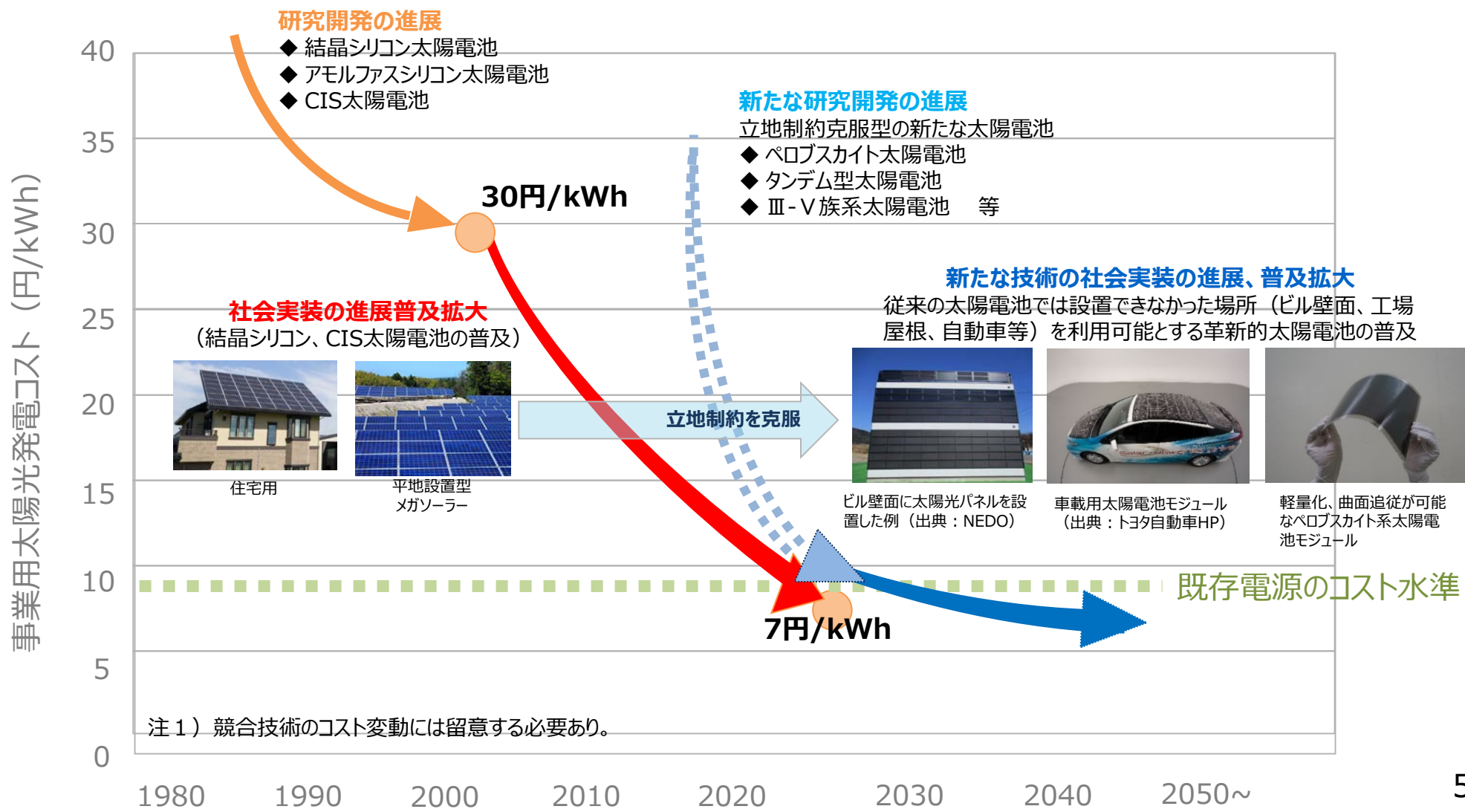
（参考 1） 世界全体のCO2排出量とコストの見通し

- RITEは、一定の削減目標を実現するために世界全体のCO2削減コストが最も安価になる解を導出するモデル（DNE21+モデル）を保有。このモデルによれば、**2050年の70%削減ケースでの全世界の削減費用は約800兆円/年**となり、特にアジア・アフリカ等途上国の負担（約550兆円/年）が大きくなる見込み。将来のカーボンニュートラル実現には更なる削減費用が必要となる。



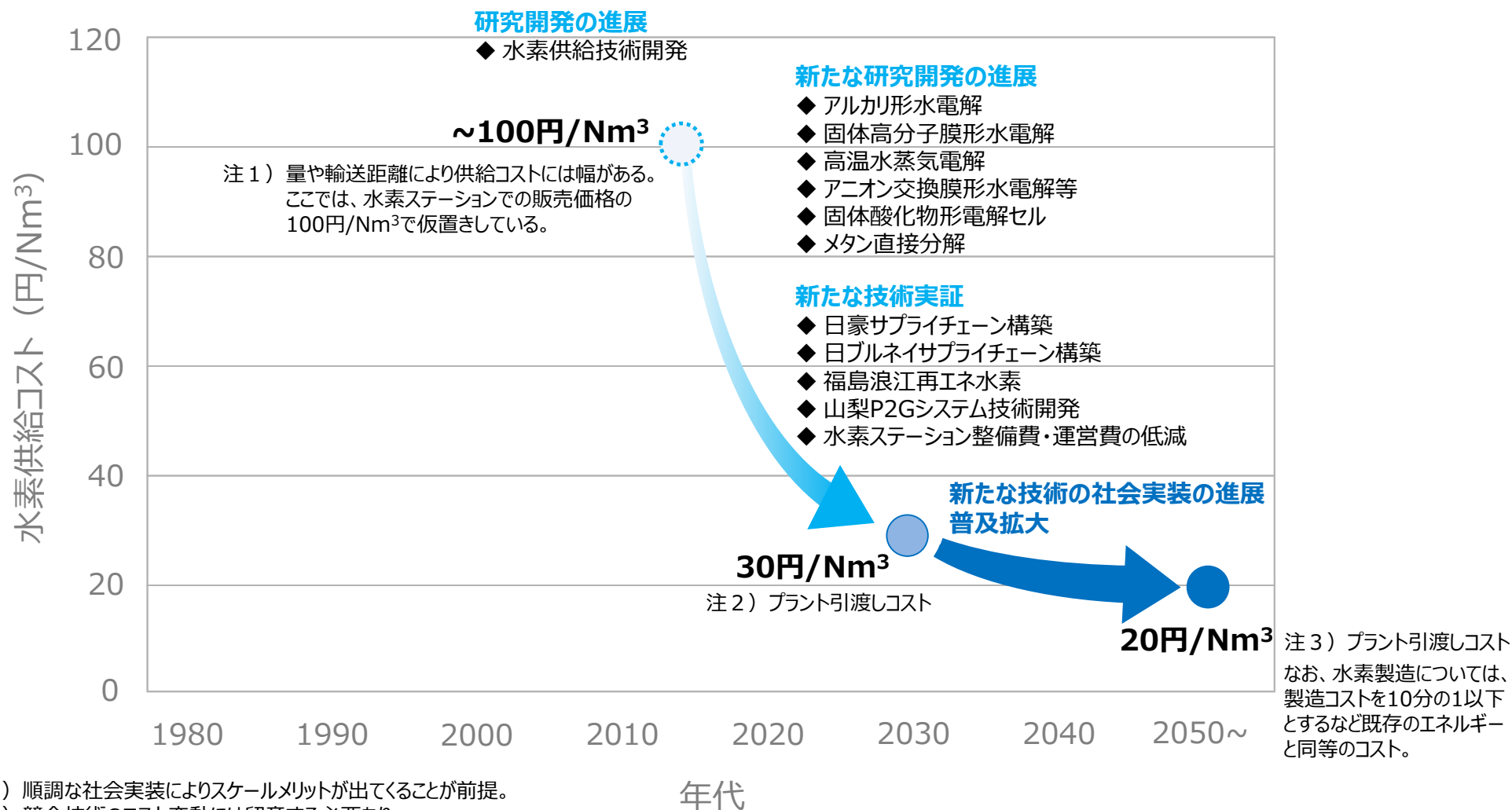
(参考 2) イノベーションによるコスト削減 太陽光発電の例

- これまでの研究開発投資により、住宅用、平地用など、既存分野向けの太陽光発電のコストは着実に低下。
- 立地制約に直面しつつある中、更なる太陽光発電の導入拡大を図るため、高効率、軽量、曲面追従などの特性を持つ革新的な太陽電池を開発する必要があるが、2030年以降には、既存電源のコスト水準を下回ることが必要。



(参考3) イノベーションによるコスト削減 水素供給の例

- これまで長期的な研究開発投資等により、水素のコストは着実に低下。過去の経験と、現在見つかった革新的な技術を勘案すると、2050年までに水素のコストを既存エネルギー同等とすることを目指す。



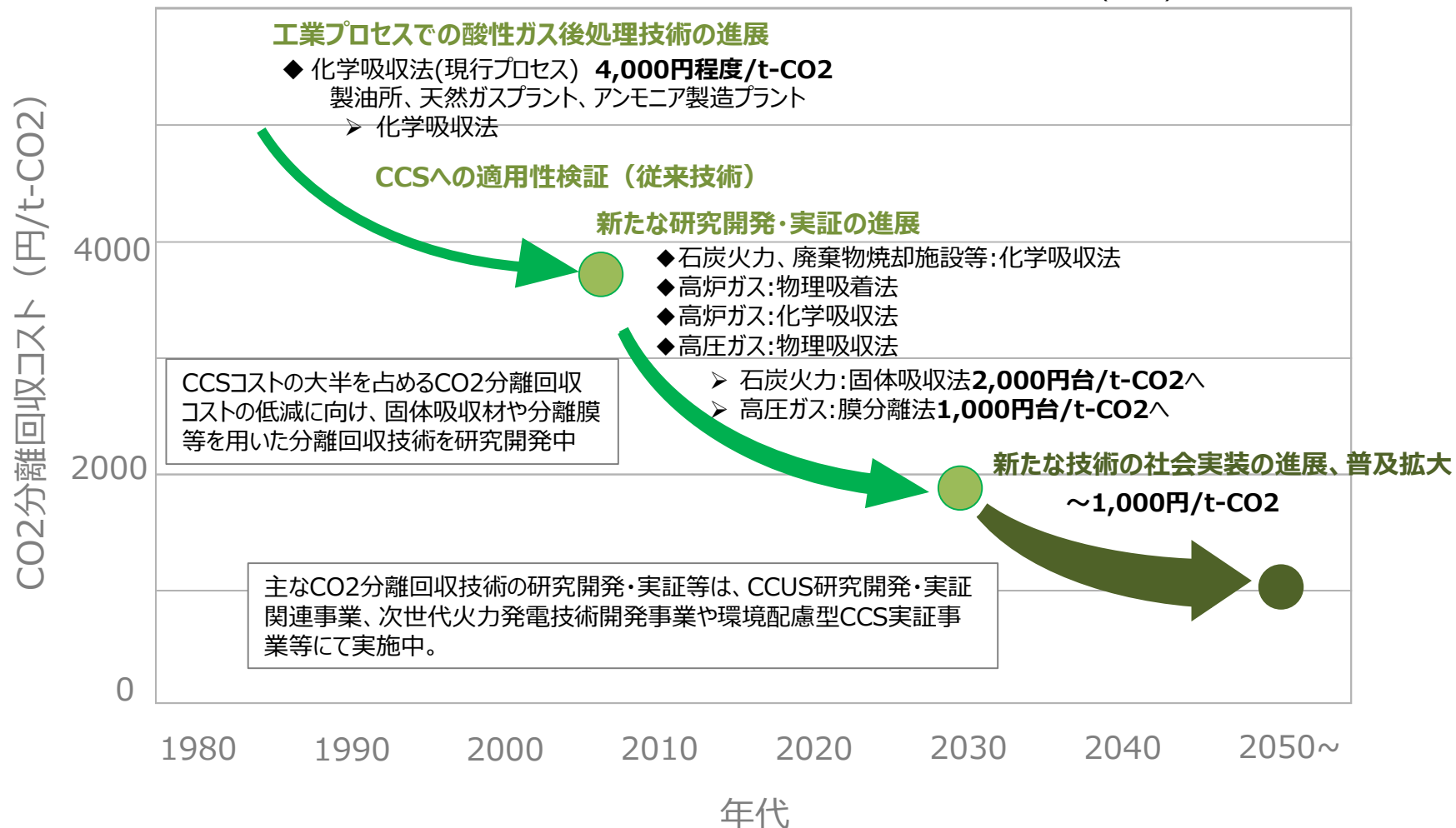
注4) 順調な社会実装によりスケールメリットが出てくることが前提。

注5) 競合技術のコスト変動には留意する必要あり。

(参考4) イノベーションによるコスト削減 CO2分離回収の例

- これまでの経験と、現在見つかった革新的な技術を勘案し、2050年までにCO2分離回収のコストを1,000円/t-CO2以下とすることを目指す。

注1) カーボンリサイクルロードマップ(2019)を参考に作成



注2) 順調な社会実装によりスケールメリットが出てくることが前提。

注3) 競合技術のコスト変動には留意する必要があります。

3. 本戦略が目指す将来像

【脱炭素社会の実現に寄与するエネルギー供給】

- 新たな素材や構造による太陽光発電の飛躍的な効率向上と低コスト化等により、再生エネルギーの脱炭素化した主力電源化、化石燃料+CCUS等を進め、低炭素かつ安価なエネルギー供給を実現

【産業部門におけるゼロカーボン技術の最大限活用】

- 化石資源依存からの脱却
 - ・CO₂フリー水素を利用して鉄鉱石を還元する超革新的な技術等を活用したゼロカーボン・スチールの実現
 - ・プラスチック等の循環利用拡大
 - ・スマート農林水産業、農林業機械・漁船の電化等
 - ・高性能蓄電池と高度な情報技術の組み合わせによる電力ネットワーク
- CO₂を原料利用する等のカーボンリサイクル技術等の技術確立
 - ・人工光合成技術を利用した化学品製造技術の確立
 - ・機能性化学品製造への利用
 - ・CO₂の炭酸塩化によるセメントプロセス技術の確立
 - ・バイオ燃料の利用

【社会システム・ライフスタイルの変革】

- 情報通信技術の飛躍的な進歩を通じたシェアリングエコノミー等によるライフスタイルの変革

【ネガティブ・エミッションの実現】

- 海洋・農地・森林へのCO₂固定、DAC+CCUS等を通じたネガティブ・エミッション技術の最大活用

4. 革新的な技術開発の推進

- 革新的イノベーションの礎となる、革新的、非連続の研究開発を示す。
- 将来像の実現に向けて、各部門においては最大限の省エネルギー努力を進めるとともに、電力部門においては再生可能エネルギーの活用、原子力発電の安全性の確保等により最大限のゼロエミッション化を図るために求められる技術を特定する。
- 電力のカーボンニュートラル化と並行して、運輸部門、産業部門等において、水素・電化・CCUSの最大活用を進めるための技術を特定する。
- 特定した技術毎に、取り組むべき研究開発プロジェクト、コスト目標を可能な限り設定したロードマップを示す。

本素案においては、これまでの議論を踏まえ、特に重要な研究開発テーマ例を以下において提示。

●革新的な技術開発

1. エネルギー転換

- 再生可能エネルギー（革新的太陽光、次世代地熱、洋上風力）
- メタネーション
- 火力+CCU（微細藻類培養技術、CCS）
- 革新的原子力技術、核融合
- 水素サプライチェーン（製造、輸送・貯蔵、ステーション、水素発電）
- 電力ネットワーク（ネットワーク、次世代パワーエレクトロニクス、次世代定置用蓄電池）

2. 運輸

- 電動化、軽量化（自動車、航空機、次世代車載・航空機用蓄電池開発）
- 水素利用
- バイオ燃料・合成燃料等

3. 産業

- 金属（ゼロカーボン・スチール、金属リサイクル）
- 化学（人工光合成、フロー合成、プラ循環）
- セメント、その他産業（CCUS、バイオ燃料）

4. 業務・家庭・その他

- 定置用燃料電池
- 熱利用
- 社会システム・ライフスタイル（シェアリング）
- 資源循環のスマート化
- スマートシティ
- グリーン冷媒

5. 非エネルギー部門

- 農林水産業
- 吸収源（農地、林業関係、ブルーカーボン）
- バイオ利用（ゲノム編集、スーパー植物、微生物開発）
- 高機能バイオ素材

エネルギー転換（再生可能エネルギー）

● 立地制約克服型の革新的太陽電池

【目標】

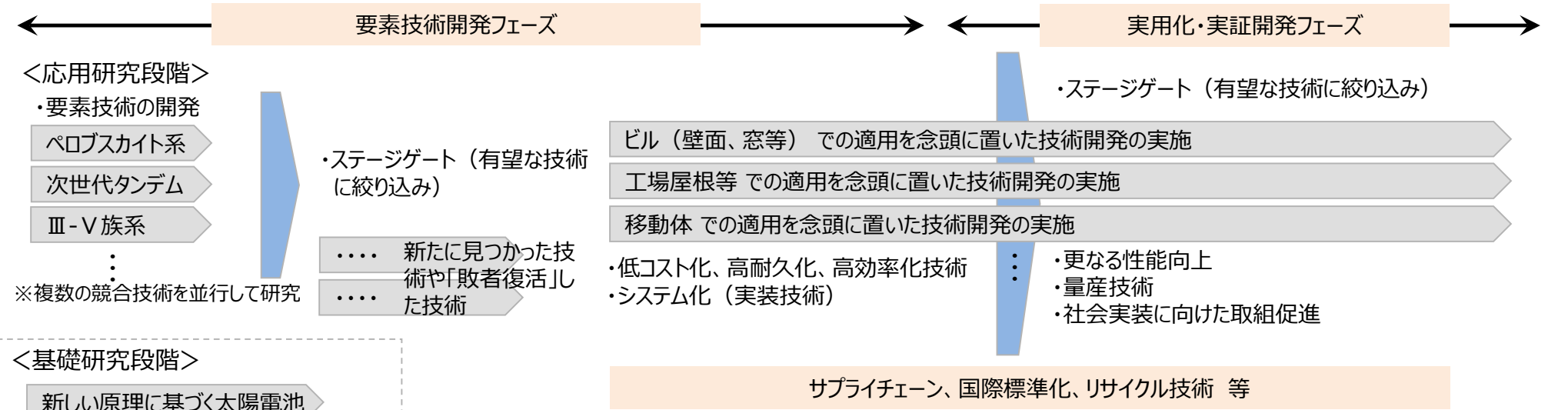
・太陽光発電システム設置の適地が減少する中、従来技術では設置困難なビル壁面、工場屋根、自動車等への導入を可能とし、中長期的な導入可能量の大幅拡大に資するため、高効率化、軽量化、曲面追従化等、立地制約を克服する革新的な技術を確認するとともに、そのコストを既存技術と同等の水準とし、2050年に向けて、2030年頃からの社会実装開始を可能とすることを目指して技術開発を行う。

【技術開発】

・ペロブスカイト系（軽量、曲面追従、鉛フリー等）、次世代タンデム型、Ⅲ-V族（35%以上の高効率化）など、応用研究段階にある革新的なデバイス・素材等について、2030年頃の社会実装開始を目指し、産官学の連携の下で研究開発を進める。また、単なるデバイス開発に留まらず、将来のシステム化（装置構造、設置形態等）も念頭に置いた研究開発を推進する。

（実施体制）

・要素技術開発段階では、産官学の連携により原理の確立や性能の向上等を行いつつ、実用化に近付いた技術については、事業者における設備投資を含めた社会実装に向けた取組を促すため、パネル製造事業者、ユーザー企業（建設、自動車等）なども含めた実用化を担う事業者を中心としたコンソーシアム体制による研究開発体制に移行する。



(参考5) 太陽光発電分野 (技術例)

※NEDO TSCにおいて基礎情報を作成

太陽電池セル・モジュール

研究段階		実証段階 (商業化に向けたスケールアップ等の 実証研究)	実用段階
基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)		
新しい原理に基づく 太陽電池 (例) ➢ 中間バンド型 (量子ドット型等) ➢ 熱回収型 ➢ 多重励起子型太陽電池 等 • 大学等における先端的・革新的な研究の段階 • 変換効率40%以上等の革新的な特性を持つ可能性	次世代タンデム 太陽電池 ➢ 高効率・軽量・低コスト 【工場屋根・建物壁面等】 • ペロブスカイト系とシリコン等の異なる太陽電池の重ね合わせにより、従来型太陽電池の変換効率の理論限界を超える高効率化 • 日本は多様な太陽電池の技術により、差別化が可能 ペロブスカイト系 太陽電池 ➢ 軽量・フレキシブル【工場屋根等】 ➢ 透過性【建物窓等】 • 日本発の技術だが、世界的に研究開発競争が激化 • 長寿命化、低コスト生産技術等が確立できれば、太陽光の導入可能量拡大に大きく寄与 抜本的低コストⅢ-V族系 太陽電池 ➢ 超高効率・曲面追従【自動車等】 • 抜本的な低コスト技術開発により、移動体向け等に広く展開可能	次世代結晶シリコン (バックコンタクトヘテロ等) 【住宅用等】 • 構造が複雑なため、低コストプロセスの実証が必要 フレキシブルCIGS 太陽電池 ➢ フレキシブル・軽量太陽電池【建物設置等】 • 従来型太陽電池に対し軽量性を有す	結晶シリコン 【住宅用・地上設置等】 ヘテロ型結晶シリコン (低温プロセス) 【住宅等】 CIGS太陽電池 【住宅等】 CdTe太陽電池 【地上設置等】 Ⅲ-V族系 太陽電池 【宇宙用等の特殊用途】 • 30%以上の高効率だが一般的な太陽電池より3桁程度コストが高いため、現状は宇宙用の特殊用途のみで実用化

※電池種と適用分野については代表例を例示。

エネルギー転換（メタネーション）

● 再エネ水電解による水素と火力発電、廃棄物焼却施設等から回収したCO₂を用いたメタン製造技術

【目標】

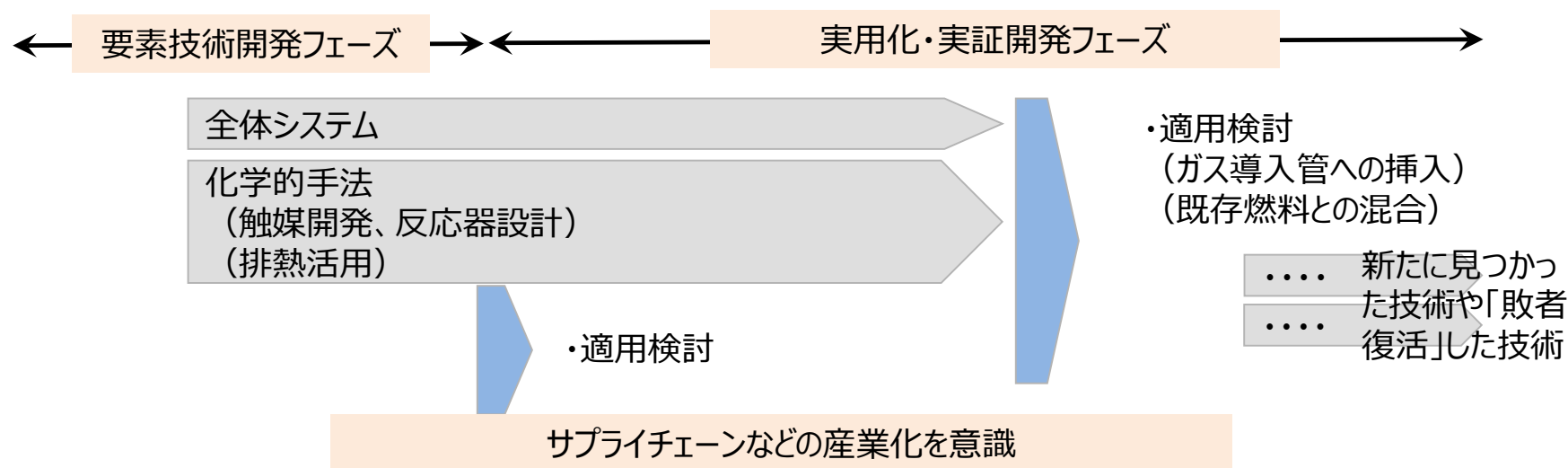
- ・2050年に既存メタンと同等のコストとすることを旨として技術開発を行う。CO₂削減ポテンシャルは基礎化学品合計で4.6億トン。^{注1)}

【技術開発】

- ・再エネ由来の水素、火力発電等から回収したCO₂を利用したメタン製造技術の確立のため、劣化の少ない革新的な触媒の開発、製造システム全体の最適化等についてナショナルプロジェクトとして5年程度、商用規模の1/150の規模での技術開発を行う。
- ・廃棄物焼却施設等で排出されるCO₂を原料としたメタン製造に関しては、清掃工場の排ガスのCO₂を利用した商用化規模（125Nm³/h）の実証に取り組むとともに、2030年以降の本格的な社会実装に向けた実用化を目指す。

（実施体制）

- ・将来のビジネス展開まで見据えた上で、実プロセスを想定した触媒性能や製造プロセス全体でのコスト低減等を行うため、大学、触媒メーカー、プラントメーカー、システム運用企業、ガスライン利用を想定したガスメーカー等が連携したサプライチェーンを意識した体制を構築する。



注1) 世界のオレフィン(C₂,C₃)の3割をCO₂から生産したとして4.6億トン(投入エネルギーは考慮せず)
生産量はIEA. The Future of Petrochemicals (<https://www.iea.org/petrochemicals/>)

CO2分離・回収

【目標】

- ・2050年CO2分離・回収コスト1,000円/tを目指し技術開発を行う。様々なCO2 排出源に対応する分離・回収能力を獲得することを目指す。

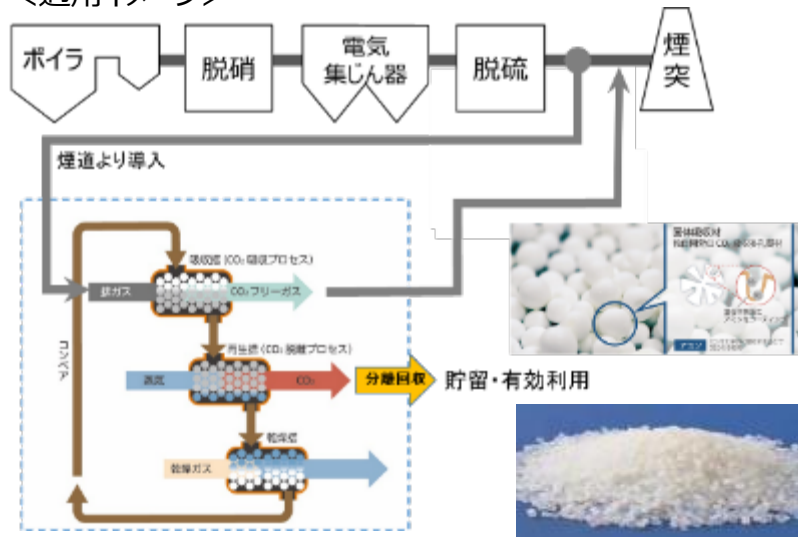
【技術開発】

- ・CCSコストの大半を占めるCO2分離・回収コストの低減に向け、燃焼後分離用（大気圧～低圧ガス対象）の固体吸収材や燃焼前分離用（高圧ガス対象）の分離膜を用いた分離回収技術の研究開発を行っている。
- ・CO2分離・回収の技術確立・適用に向け、引き続き研究開発に取り組むとともに、段階的に補助事業に移行予定。

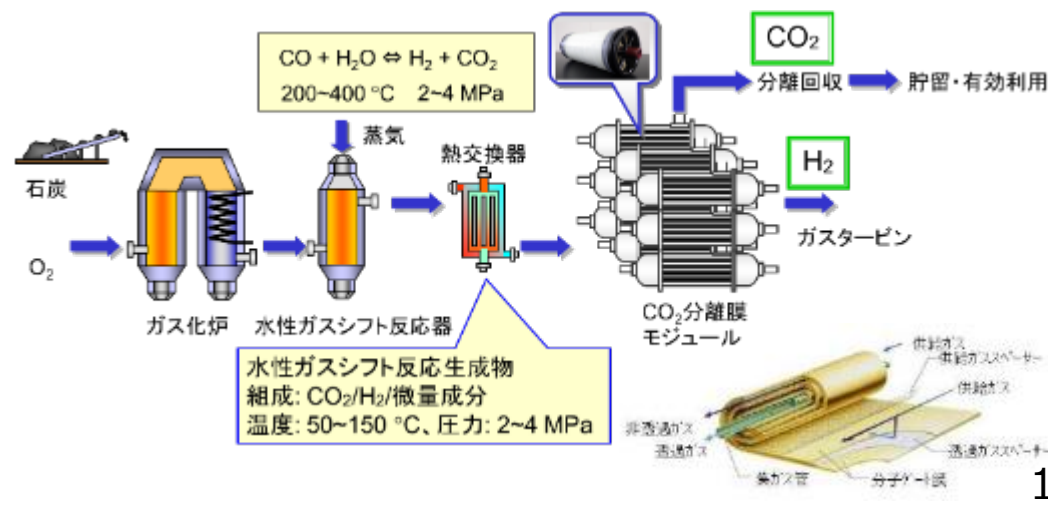
（実施体制）

- ・固体吸収材は、石炭火力発電所の排ガス（大気圧、主成分：N2、CO2、O2、H2O）からのCO2回収への適用を想定し、民間企業や大学とも連携してパイロットスケールでの事業を実施予定。
- ・分離膜は、石炭ガス化複合発電（IGCC）への適用を想定し、石炭ガス化炉で製造する燃料ガス（高圧、主成分：H2、CO2、CO、H2O、N2）からのCO2回収技術の開発事業を実施予定。

<適用イメージ>



<適用イメージ>



エネルギー転換（革新的原子力技術）

● 安全性等に優れた原子力技術の追求

【目標】

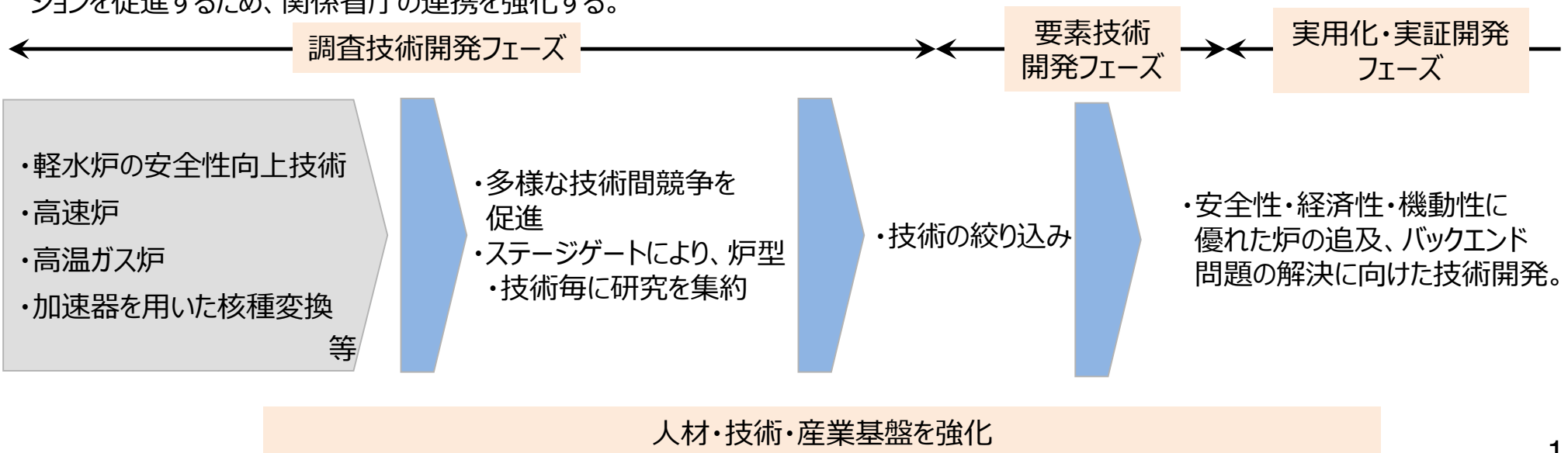
- ・安全性・経済性・機動性に優れた炉の追及、バックエンド問題の解決に向けた技術開発の実現。

【技術開発】

- ・安全性・信頼性・効率性の一層の向上に加えて、再生可能エネルギーとの共存、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーションを促進する。
- ・今後5年程度は民間によるイノベーションを活用した多様な技術間競争を促進し、その後技術熟度に応じた支援を行うとともに、技術を絞り込んでいく。

（実施体制）

- ・国は米国や欧州の取組を踏まえつつ、長期的な開発ビジョンを掲げ、民間は創意工夫や知恵を活かしながら、多様な技術間競争と国内外の市場による選択を行う。
- ・技術開発・人材育成支援、研究基盤の民間供用、産業基盤の強化を進め、民間の創意工夫を活かした原子力関連技術のイノベーションを促進するため、関係省庁の連携を強化する。



エネルギー転換（水素サプライチェーン）

● 水素製造技術（化石燃料改質、再エネ利用）

【目標】

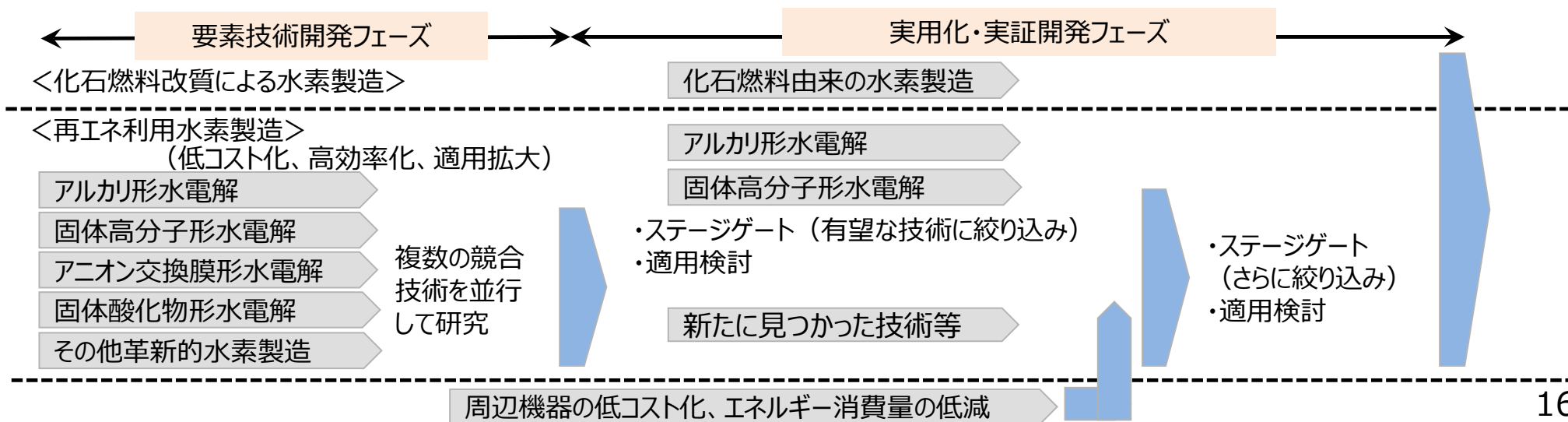
- ・2050年頃に水素製造コストを10分の1以下とするなど既存のエネルギーと同等のコストの実現

【技術開発】

- ・実用化技術開発段階にある天然ガス、褐炭等を改質する水素製造技術のコスト（CO₂分離コスト等）削減、効率向上（省エネルギー化等）のための技術をナショナルプロジェクト等において開発し、2030年頃に商用規模のサプライチェーンを構築することを目指す。
実用化技術開発段階にある再生可能エネルギーを利用した水電解システムの効率および耐久性向上の技術をナショナルプロジェクト等において開発し、2032年頃の商用化を目指す。 低コスト化や適用拡大が見込める要素技術についても、これら技術が競争し、利用シーンを想定した適材適所に配置される実装を念頭におき、ナショナルプロジェクトや先導研究などを活用して開発を進める。
- ・地域における低炭素水素サプライチェーン全体の低コスト化及び適用拡大を見据え、水素の製造、貯蔵・運搬、利活用まで一貫した地域実証を行う。

（実施体制）

- ・実プロセスを想定した触媒性能の改良や製造プロセス全体でのコスト低減等を行うため、大学、触媒メーカー、電解槽メーカー、プラントメーカー、システム運用企業等が実用化技術開発段階から連携した体制での実施を構築する。



エネルギー転換（水素サプライチェーン）

● 水素輸送・貯蔵

【目標】

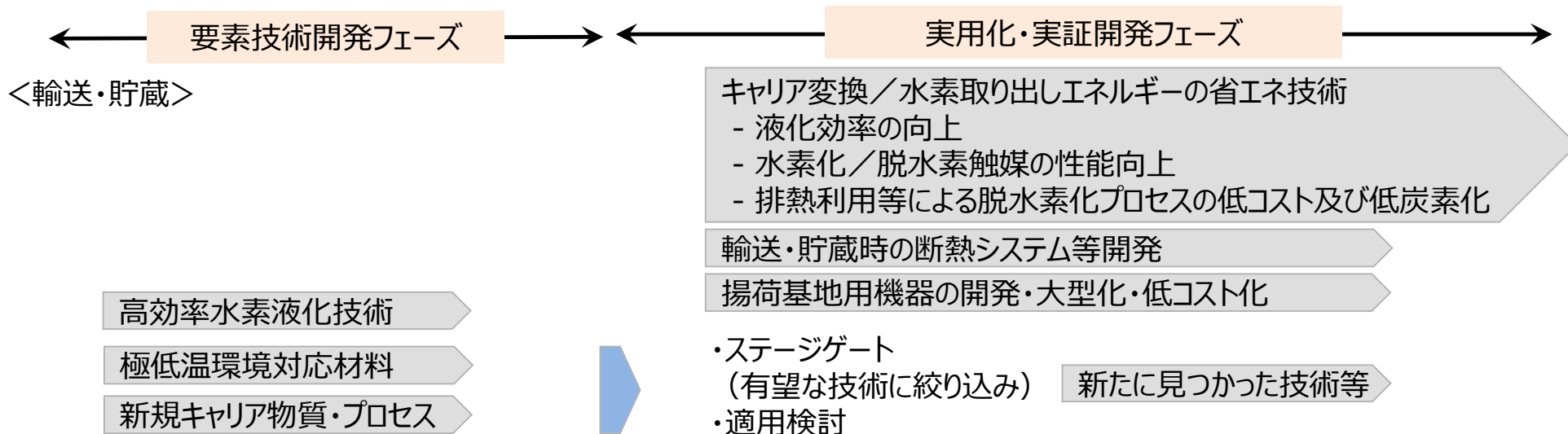
・2050年に向けて、水素コスト（プラント引渡しコスト）を20円/Nm³程度まで低減することを目指し水素輸送・貯蔵の技術開発を行う。

【技術開発】

・モビリティ、水素発電、産業利用等を想定した水素輸送・貯蔵（圧縮水素、液化水素、MCH、アンモニア、水素吸蔵合金等）の技術開発を行う。圧縮水素、液化水素、MCH、アンモニア、水素吸蔵合金は実用化技術開発段階にあり、これらの技術が競争又は利用シーンを想定した適材適所に配置される実装を念頭においたナショナルプロジェクト等の下に開発を進め、2030年頃に商用規模のサプライチェーンを構築することを目指す。要素技術開発段階にある新たな技術については、ステージゲートによる競争的環境でナショナルプロジェクトや先導研究などを活用して技術開発を実施する。

（実施体制）

・要素技術開発については、大学や公的研究機関、企業が連携し、実用化・実証開発については、商用化を念頭にエンジニアリング会社に加え、商社や物流に関わる企業も連携した体制で実施する。



エネルギー転換（水素サプライチェーン）

● 水素ステーション・水素発電

【目標】

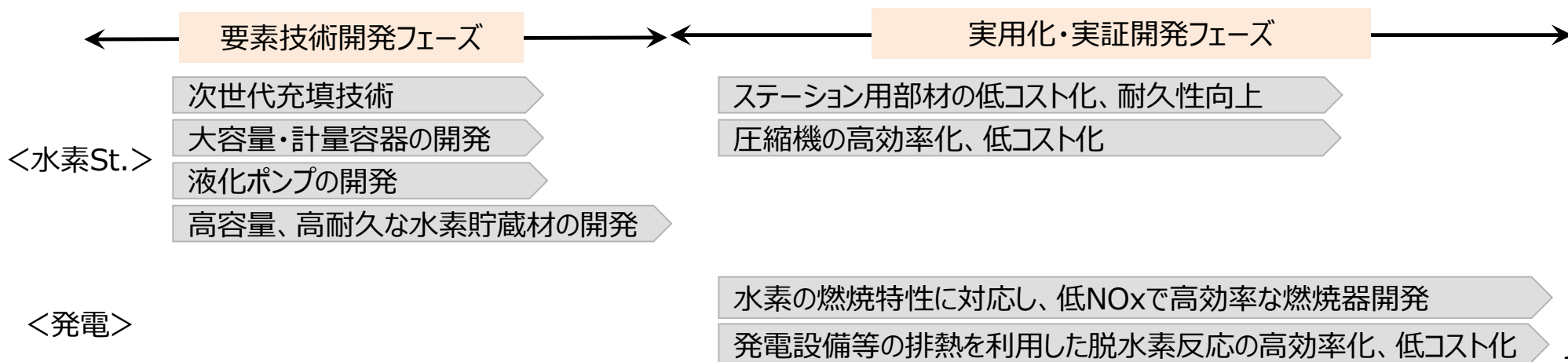
- ・水素ステーションについては、整備費・運営費の低減を図り、2020年代後半までに事業の自主化を目指す。
- ・水素発電については、2030年頃の商用化実現を目指し、技術の確立及び水素コストの低減に向けた取組を行う。

【技術開発】

- ・水素ステーションの整備費・運営費の低減に向けては、規制見直しとともに、要素技術開発を着実に実施する。
- ・水素発電では、水素の調達コスト低減の見通しを見極めた上で、水素専焼発電の実現に必要な技術開発（低NOx燃焼器の開発、燃焼振動対策、冷却技術の開発等）を行う。また、システム全体としての実用化を進めるため、水素供給機器の大型化に向けた課題を抽出する。

（実施体制）

- ・水素ステーションについては、ステーション運営企業や機器メーカー等が連携し、水素発電については、タービンメーカーや電力会社等が連携した体制で実施する。



電力ネットワーク

● 次世代パワーエレクトロニクスの開発・実装

【目標】

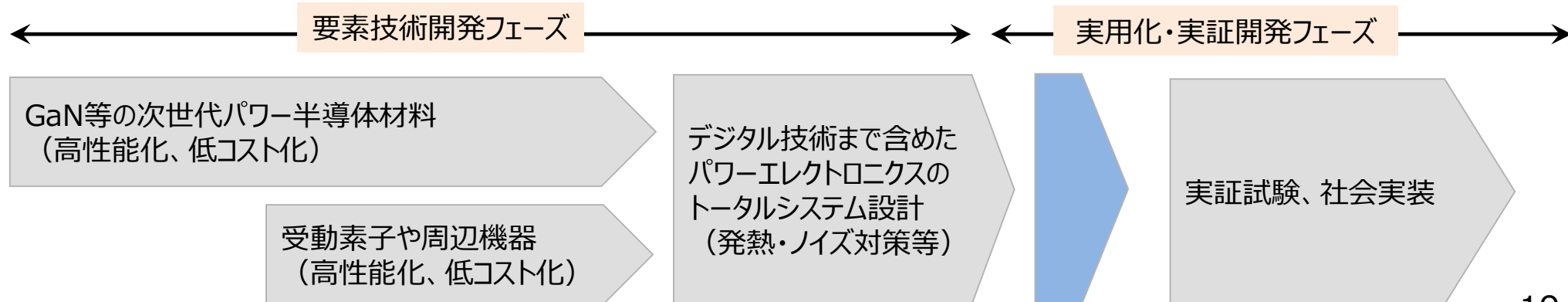
- ・省エネルギー効果を最大限発揮させる上で、電力供給の上流から電力需要の末端まで支える横断的な技術であるパワーエレクトロニクス技術の高効率化・低コスト化のための研究開発を行う。CO2削減ポテンシャル11億トン。^{注1)}

【技術開発】

- ・現在はシリコンが市場の9割以上を占めているが、より高い耐圧が求められる車載・産業用途や、より高速動作が求められる通信機器用途のために、シリコンデバイスの新構造化技術や、炭化ケイ素や窒化ガリウムといった次世代パワー半導体の開発に取り組んできた。
- ・今後は、窒化ガリウム等の次世代パワー半導体の高性能化技術や低コスト化技術の開発に引き続き取り組むとともに、受動素子や周辺機器を含む汎用性あるパワーモジュール、発熱やノイズ対策、エネルギー需給調整を精緻に制御可能なデジタル化技術、実装機器まで含めたパワーエレクトロニクスのトータルシステム設計に取り組む。
- ・さらに、窒化ガリウム等の次世代半導体の開発技術を活かし、通信機器やレーザーへ応用可能な技術の研究開発から社会実装まで引き続き取り組む。

(実施体制)

- ・関係省庁連携の下、国内外の大学・研究機関・企業との連携により性能等の追求を行いつつ、段階に応じてモジュールの試作等を行うことで実用化に向けた開発を行う。



注1) NESTI2050技術から抜粋

電力ネットワーク

● 次世代定置用蓄電池の開発・実装

【目標】

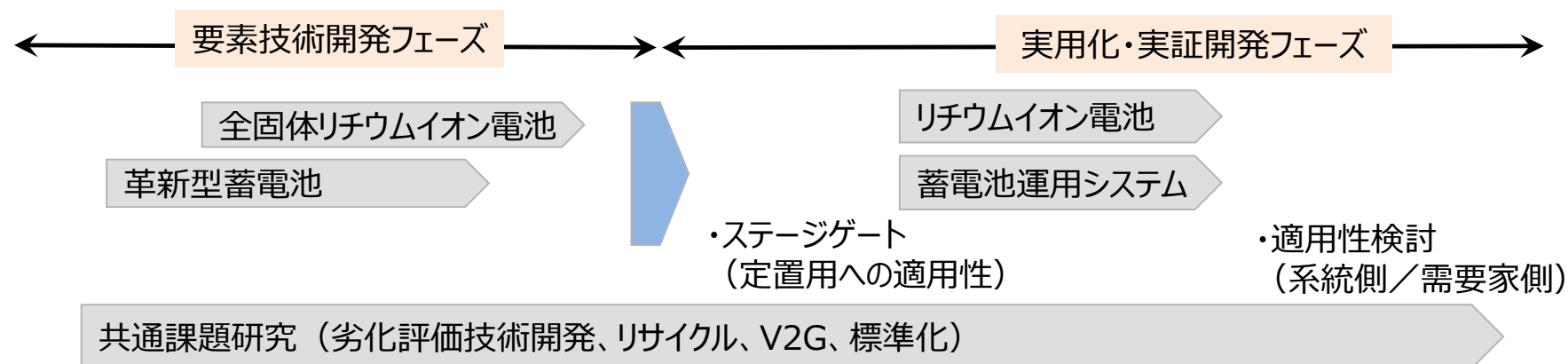
- ・2050年に既存電力料金同等の再生可能エネルギー由来電力料金を実現する定置用蓄電池を開発する。

【技術開発】

- ・自動車用蓄電池として普及が進むリチウムイオン電池の技術をベースに、実証試験などを通じて、定置用に適用する際に求められる安全性、安定的なエネルギー供給、充放電速度、耐久性等の要件を明確にし、それらを満たすための技術開発を進める。蓄電池を最大限活用するための劣化評価技術やリサイクル技術についてナショナルプロジェクトによる支援の下に開発を進める。
- ・モビリティ用途に要素技術開発が進む全固体電池や空気電池等の革新型蓄電池は要素技術開発段階にあり、原料の安定調達性を考慮しながら、エネルギー密度や電極等の耐久性および安全性の向上等について、同様に定置用に求められる要件を満たすための技術開発をナショナルプロジェクトによる支援の下に進める。

（実施体制）

- ・要素技術開発段階にある技術については、大学やベンチャー等の技術・知識を取り込みつつ、国内外の研究機関との連携を踏まえた共同体制を構築して開発を進める。



(参考6) 蓄電池分野 (1)

※NEDO TSCにおいて基礎情報を作成

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)	(商業化に向けたスケールアップ等の実証研究)	
(1) リチウム イオン電池	非コバルト系 高容量正極活物質 Coを用いない高容量正極活物質チタン・マンガン系材料を発見 (JST)	先進リチウムイオン電池 - 米国DOE-VTOのプログラムでは毎年100M\$ 規模の予算が投入され研究開発が行われている。 - 特許・論文では中国の出願・発表件数が急増している。	エレクトロスピニング 技術 セパレータを用いない構造新構造を適用し、入出力性能、容量が1.2倍になることを確認 (一部NEDO助成)	スケールアップ 中国、韓国等の投資競争10GWh/年以上の生産能力を持つ日本企業は
			チタンニオブ酸化物 負極活物質 急速充電性能と高寿命なチタンニオブ酸化物負極 (一部NEDO助成)	正極活物質 - 正極活物質の前駆体処理をブラックボックス化した材料と電池をEVに採用 - 正極活物質において日本企業は約24% (2017年) のシェアを有する
				負極活物質 日本企業のシェア約31% (2017年)
				セパレータ 日本企業のシェア約45%
				電解液 日本企業のシェア約21%

(参考 7) 蓄電池分野 (2)

※NEDO TSCにおいて基礎情報を作成

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)	(商業化に向けたスケールアップ等の実証研究)	
(2) 全固体電池	硫化物電解質 超イオン導電性を示す固体電解質群及び高イオン導電率材料の発見（NEDO助成, JST）	硫化物電解質系 日本は他国と比べ特許出願数が多い	硫化物電解質系 2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向け全固体電池を搭載したモビリティを開発 - 独自の圧縮技術による全固体電池のサンプル出荷	オールセラミック 半導体プロセスを用いたIOTデバイス等用小型全固体電池の量産化
	酸化物電解質系 - 日本は他国と比べ特許出願数が多い - 酸化物電解質系で全固体電池を実現する接合プロセスにかかるサイエンスの構築（文科省委託） - 固体電解質、電極および電池総合技術の開発（JST）	標準電池モデル 標準電池モデルとそれを用いた材料評価技術の開発を実施（NEDO 委託）		
(3) 革新型蓄電池	金属-空気電池 - 日本は産官学連携による亜鉛-空気電池の研究開発を実施（NEDO 委託） - 高エネルギー密度で安全なリチウム-空気電池の開発（JST） - 日本企業がNIMSへ出資しリチウム-空気電池の研究開発を加速（NIMS）			
	ナノ界面制御電池 (フッ化物電池、コンバージョン電池) 日本は産官学連携による研究開発を実施。（NEDO 委託）			
	リチウム-硫黄電池 - 米国DOE-VTOはリチウム-硫黄電池に注目して技術開発を実施 - 正極不溶型リチウム-硫黄電池を開発（JST） - 日本は硫化物を用いた蓄電池を研究（NEDO 委託）			
	ナトリウムイオン電池 ナトリウムイオン電池用の電極、電解質に関する研究を推進（文科省委託）			

産業部門（金属）

● ゼロカーボン・スチールを実現する超革新技术の適用検討

【目標】

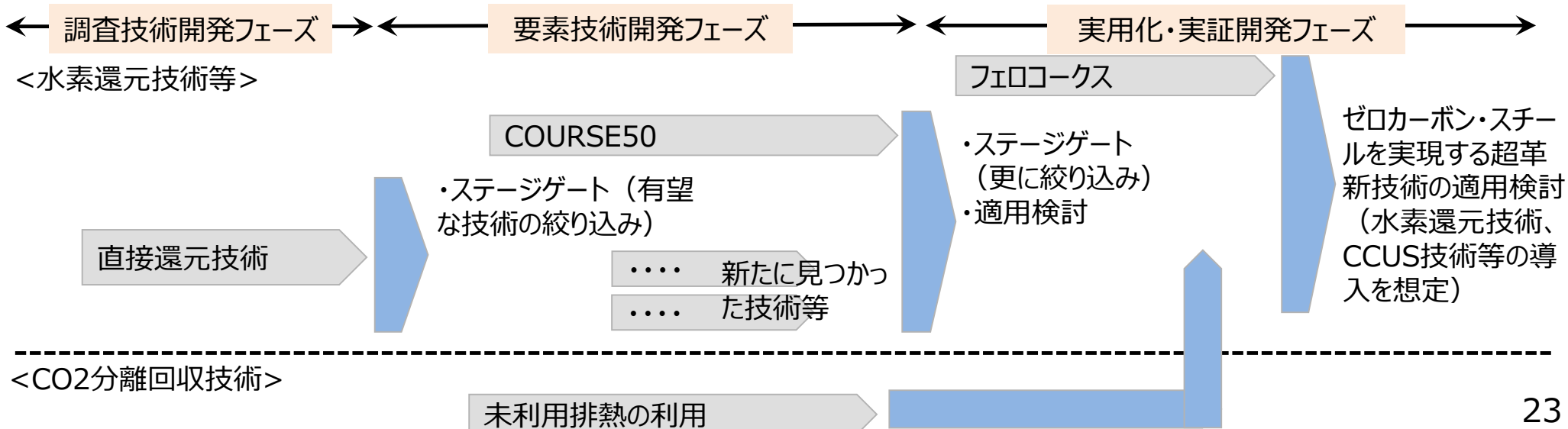
- ・2050年以降のできるだけ早い時期までに、現在の高炉法による鉄鋼製造と同等のコストで「ゼロカーボン・スチール」を実現する水素還元製鉄技術等の超革新技术の開発を行う。実用化には、2050年の水素コスト（プラント引渡しコスト）20円/ Nm³ という目標をさらに下回る水準でCO₂フリー水素が安定的かつ大量に供給されることが必要。

【技術開発】

- ・ゼロカーボン・スチールの実現には長期的な研究開発が必要となるため、現行の高炉法における省CO₂、省エネルギー対策も重要となる。そのため、COURSE50やフェロコックス技術の開発を引き続き行い、2030年頃の実用化を目指す。
- ・COURSE50及びフェロコックスの開発で得られる知見を足掛かりとして、ゼロカーボン・スチールの実現に向けた更なる革新技术を検討する。このため更なる革新技术に関するFS事業を実施し、高炉法による水素還元の拡大技術（COURSE50技術の拡大）、直接還元法による水素還元製鉄技術、CCUS等の技術開発や実用化における諸課題の抽出等を行う。当該結果を踏まえ、ナショナルプロジェクトによる支援の下に「ゼロカーボン・スチール」を実現する革新技术開発を進める。

（実施体制）

- ・国際的な競争領域であるため、国内鉄鋼メーカーを中心とした連携により技術開発を進める。



(参考 8) 産業部門 (金属)

※NEDO TSCにおいて基礎情報を作成

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)	(商業化に向けたスケールアップ等の実証研究)	
製鉄技術	水素還元技術 - 水素を活用して鉄鉱石を還元する技術を開発。 - 実用化可能なコストの実現のため、鉄鋼生産における水素量の原単位を改善するための研究開発も実施。	CO2分離回収技術 製鉄所内の未利用排熱を活用し、高炉から排出される二酸化炭素を分離回収する技術を開発。	フェロコークス技術 低品位の石炭と鉄鉱石を原料としたフェロコークスを活用し、高炉内の還元反応を低温化・高効率化する技術の開発。	SCOPE21 コークスの製造過程の短縮等により省エネを実現する技術。
				CDQ (コークス乾式消火設備) コークス冷却時の顕熱を回収し、発電等に利用する設備。
				TRT(高炉炉頂圧発電) 高炉ガスの圧力を利用して発電する設備。

産業部門（化学）

● 人工光合成等によるCO2化学品原料化技術

【目標】

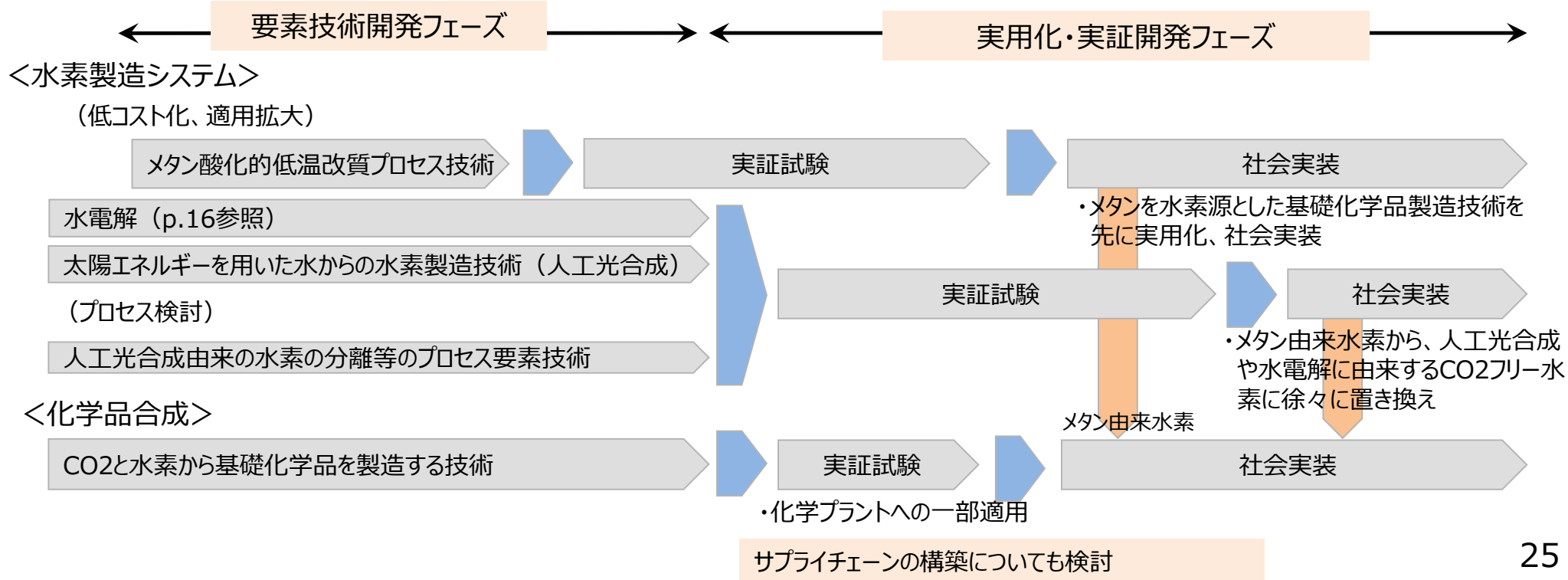
- ・2050年に化石燃料由来化学品と同等コストを目指し開発する。

【技術開発】

- ・産業プロセス中の排ガス等から分離回収したCO2を人工光合成により得られる水素等で還元することにより化学品を製造するための技術の開発を行い2030年までに技術確立する。人工光合成等のCO2フリー水素製造技術は要素技術開発レベルにあり、引き続き、基礎基盤研究を進めるとともに、変換効率向上のための材料設計や、分離プロセスなどを含むプロセス検討を、官民共同の下ナショナルプロジェクトでの実施を行う。

（実施体制）

- ・化学メーカー、プラントメーカー、大学、公的研究機関が一体となり、サプライチェーンを意識した体制を構築する。



産業部門（その他分野）

● 炭素再資源化セメントプロセス技術等

【目標】

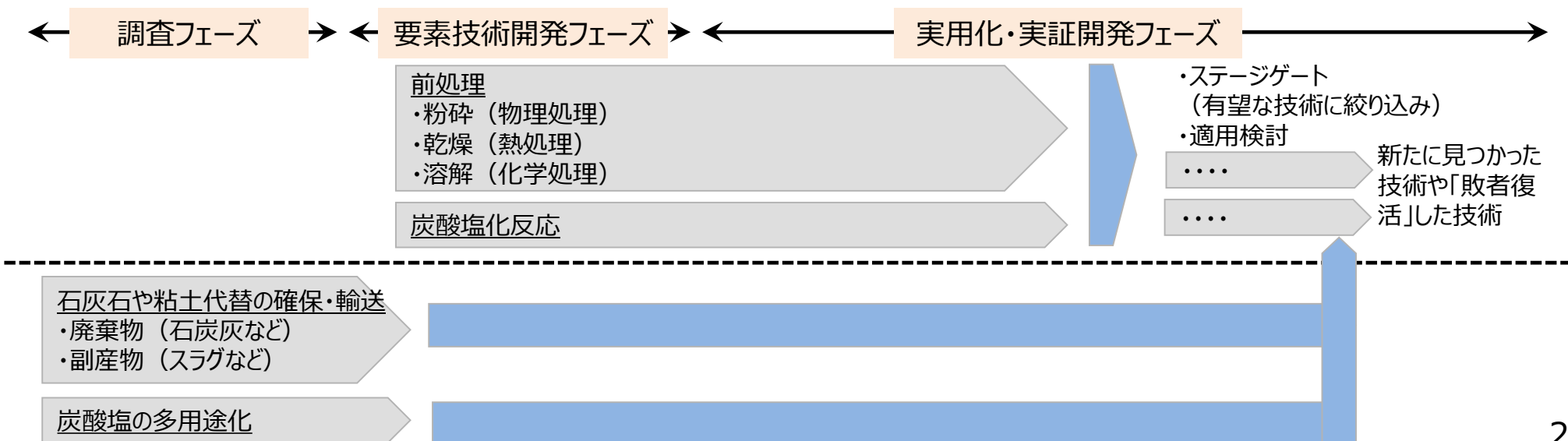
- ・2030年以降を目標に製造工程で発生するCO₂を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス構築を目指す。
- ・その他、紙資源の再利用・製造工程における省エネルギー、バイオ燃料を利用した燃料転換の推進等により、紙・パルプ分野におけるCO₂削減を目指す。

【技術開発】

- ・セメント製造プロセス構築においては、2030年以降をターゲットとして、製造工程で発生するCO₂を分離回収し、炭酸塩として固定化する技術や、炭酸塩をセメント原料として利用することにより新たな石灰石の使用量を削減する技術および路盤材等の土木資材として再資源化する技術等の研究開発・実用化・実証技術開発等を実施。

【実施体制】

- ・炭酸塩化技術は大学や公的研究機関等、CO₂回収等は大型実証事業として、ナショナルプロジェクトとして技術開発を進める。



(参考9) CCUS分野(CO2分離・回収, 利用, 貯留)

※NEDO TSCにおいて基礎情報を作成

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)	(商業化に向けたスケールアップ等の実証研究)	
CO2分離・回収		非水系吸収剤, 膜分離 <1,000円/tCO2, <0.5GJ/tCO2を実現する技術の探索	物理吸収, 固体吸収, 物理吸着, 膜分離 - 所要エネルギー低減と低コスト化を目的とした分離回収法 (NEDOプロ実施中) - 米国では実証のための共通インフラ	アミン吸収法 - 海外のEOR, CCSプラントで商業運転, 500億円/年の市場規模(2015), 日本企業が75%のシェア - DACも本技術の応用
セメント・コンクリート利用		炭酸塩の利用 - CO2が固定化された炭酸塩のセメント原料化や土木資材等への利用 - 欧米では実証化研究進む		コンクリート利用 - 特殊なアルカリ源利用と硬化時CO2吸収により低炭素化 - 一部の用途で実用化
炭酸塩化		In-situ 玄武岩層等, 反応性鉱物を含む地層にCO2を圧入し永久に固定化	Ex-situ 安価かつ入手容易なアルカリ源 (鉄鋼スラグ, 廃棄物等) を利用した炭酸塩化. 利用法, 所要エネルギー低減が課題	
機能性化学品	含酸素化合物 - アクリル酸 - 有機カーボネート - イソシアネート		ポリウレタン	ポリカーボネート 日本企業が世界に先駆け開発, 海外にライセンス中
	連続精密合成			
基礎化学品 燃料	水素・再エネ利用 - CO2共電解 - 人工光合成 - 光触媒, 膜分離, - オレフィン製造(NEDOプロ) - メタネーション(NEDOプロ)			バイオマス利用 - ガス化を含むバイオマス利用による生産 - 発酵法によるプロパノール経由ポリプロ
			バイオ燃料	

非エネルギー部門（農林水産業）

● スマート農林水産業、農林業機械・漁船の電化、水素燃料電池化（農林水産業のゼロエミッション）

【目標】

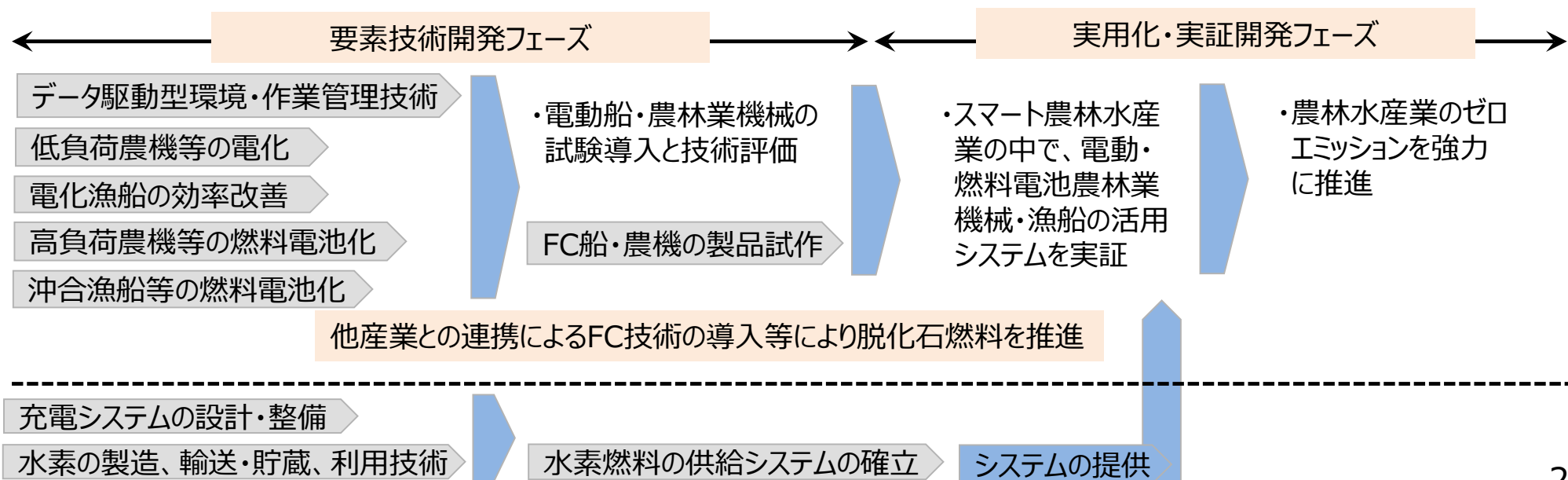
- ・スマート農林水産業の実現、農林業機械、漁船の電化、水素燃料電池化により生産プロセスで発生する温室効果ガスをゼロに近づけることを目指して技術開発を行う。

【技術開発】

- ・園芸施設の精密な環境管理や、スマート技術による作業の効率化と最適化により、燃料や資材の削減を実現する技術開発を進める。
- ・農林業機械、漁船等の電化、水素燃料電池化の技術開発を民間主導でナショナルプロジェクトの下に行う。

（実施体制）

- ・ベンチャー企業等も巻き込みつつ、国外での大規模実証、ビジネス展開も見据え、大学、メーカー、企業などによる共同体制を構築する。



非エネルギー部門（農林水産業）

● 農畜産業からのメタン・N₂O発生 の可視化と抑制技術の導入

【目標】

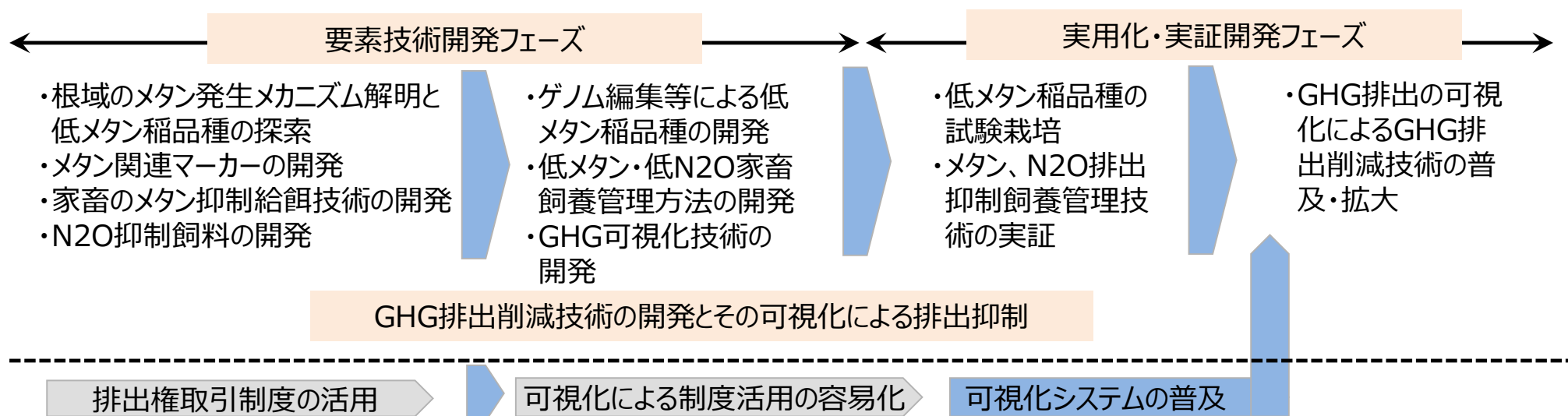
- ・農地・畜産からのGHG排出削減にかかるイノベーションと排出削減量の可視化により、農畜産業に由来するメタン、N₂Oの排出削減を目指して技術開発を行う。CO₂削減ポテンシャルは国内で600万トン。^{注1)}

【技術開発】

- ・メタンの発生が少ないイネ品種、家畜系統の育種、農地土壌や家畜排せつ物からのN₂Oの発生を削減する資材の開発を進める。
- ・メタン、N₂Oの排出を削減する水田、家畜の管理技術の開発を進める。
- ・メタン、N₂Oの削減量を可視化するシステムの開発を進める。

（実施体制）

- ・国内生産現場への迅速かつ円滑な普及や海外への技術輸出による国際貢献・ビジネス展開も踏まえ、国内外の研究機関、自治体、飼料メーカー等民間企業が共同した体制の実施を構築する。



注1)水田由来メタンの排出量を3割削減するイネ品種や中干し等による圃場水管理技術体系を導入したとして試算
農地由来のN₂Oの排出量を3割削減する根粒菌等を用いた資材を全国の農地に普及したとして試算

非エネルギー部門（吸収源）

● バイオ炭等の活用による農地炭素貯留等（4/1000）

【目標】

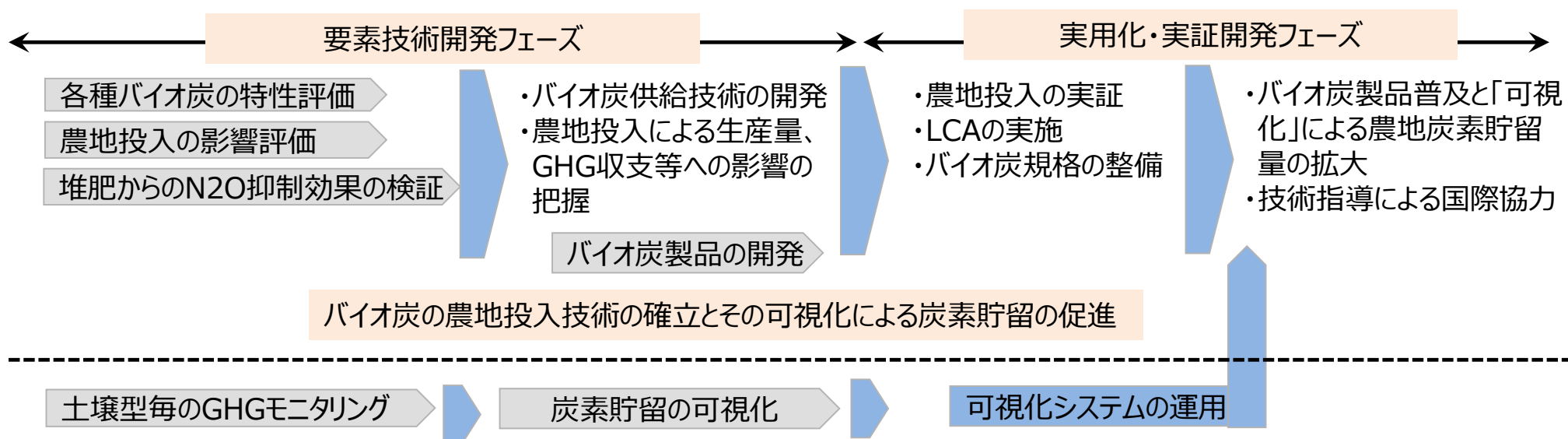
- ・農地において、大気中のCO₂の炭素を有機物として隔離・貯留するため、農地土壌へのバイオ炭等の投入技術等の開発を行うとともに、CO₂固定量の算定手法を開発する。CO₂吸収ポテンシャルは国内で700万トン。^{注1)}

【技術開発】

- ・農地をCO₂の吸収源にするため、新たな吸収源として算定可能なバイオ炭の投入や評価にかかる研究開発を進める。
- ・農地での炭素貯留を可視化するシステムの開発を進める。
- ・技術開発の実施に当たっては、農地での実証を踏まえバイオ炭の普及までを含んだシステムとしてコスト削減を行う。

（実施体制）

- ・様々な研究機関との連携を踏まえ、共同した体制での実施を構築する。



注1) 農林水産省食料産業局「バイオマスの活用を巡る状況（令和元年7月）」に示された「2015年バイオマスの発生量（賦存量）」を用いて試算

非エネルギー部門（吸収源）

● 海洋藻場等の形成・拡大・保全によるブルーカーボンの創出

【目標】

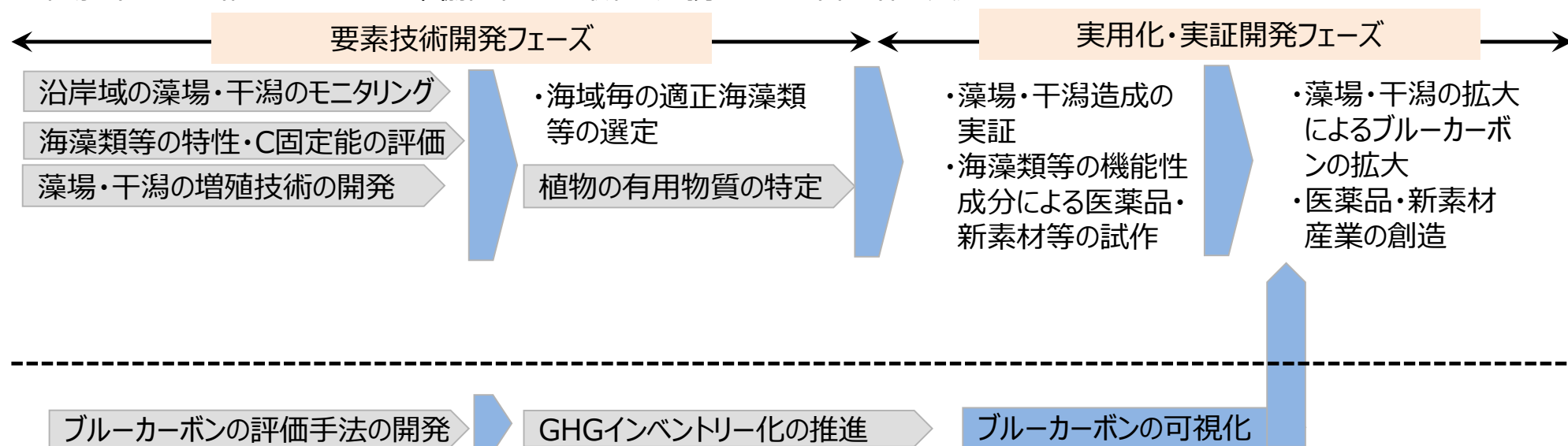
- ・海洋（藻場・干潟）に大気中のCO₂の炭素を有機物として隔離・貯留するため、藻場・干潟等による炭素固定（ブルーカーボン）を目指して技術開発を行う。CO₂吸収ポテンシャルは国内で1,000万トン。^{注1）}

【技術開発】

- ・効率よく海中のCO₂を吸収する海藻類等の探索と高度な増養殖技術の開発を進める。
- ・海藻類等を新素材・資材として活用するための技術開発を民間主導でナショナルプロジェクトの下に行う。

（実施体制）

- ・高度な増養殖技術や新素材の開発には、ベンチャー企業等も巻き込みつつ、国外での大規模実証、ビジネス展開も踏まえ、大学、メーカー、企業が共同した体制の実施を構築する。
- ・藻場・干潟の整備は、NPOや漁業協同組合の取組と連携し、地方自治体で実施する。



注1）ブルーカーボン研究会（2019）

非エネルギー部門（吸収源）

- スマート林業の推進、早生樹・エリートツリーの開発・普及に向けたイノベーションの推進及び高層建築物等の木造化（マスティンバー等の活用）やバイオマス由来素材（改質リグニン等）の工業利用等による炭素貯留

【目標】

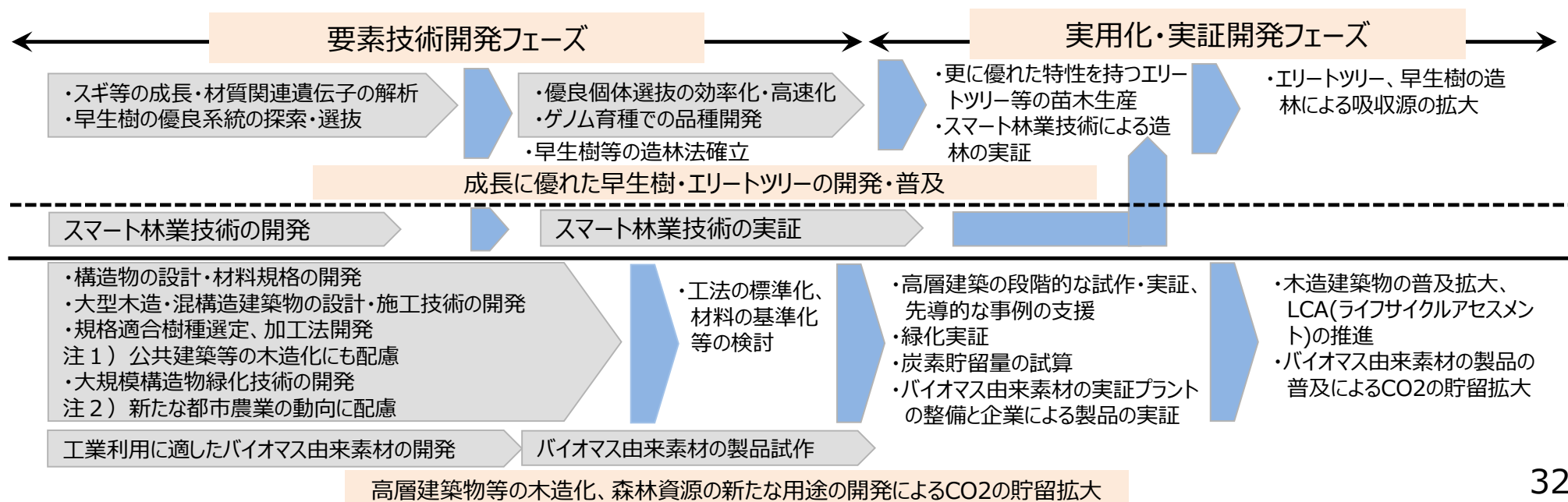
- ・森林において、大気中のCO₂の炭素を有機物として隔離・貯留するため、成長に優れた苗木の普及に向けた技術開発を行うと共に、エネルギーを大量に消費して製造される資材を木材及びバイオマス由来マテリアルへ転換する等、バイオマス資源のフル活用による「炭素循環型社会」の構築を目指す。

【技術開発】

- ・樹木選抜の効率化・高速化等の育種基盤技術の高度化により、成長に優れた早生樹やエリートツリーの品種等の効率的な開発を行うとともに、それらを活用した造林技術の確立に向けた実証を行う。
- ・都市部での木材需要の拡大に資する木質建築部材や、大型木造・混構造建築物の設計・施工技術の開発により、高層建築物等の木造化を実現する。
- ・改質リグニン、セルロースナノファイバー等の用途拡大に向けた量産・低コスト製造技術の開発及びバイオマス資源を100%使いつくし、多段階で繰り返し使用するカスケードシステムの開発を進める。

（実施体制）

- ・様々な研究機関との連携を踏まえ、共同した体制での実施を構築する。



社会システム・ライフスタイル

●スマートシティ関連事業の実装

【目標】

- ・各地域で実施されているスマートシティの取組を通じて、エネルギー利用の効率化や移動の最適化を目指す。

【技術開発】

- ・エネルギーデータ、交通データ等をベースに都市をマネジメントすることで、エネルギー利用や交通行動の最適化、効率化を図る。
- ・太陽発電や蓄電池などの分散電源エネルギー等の分散電源と電力会社の電力を併用しつつ、電力を街区間で相互に融通しあうことでまち全体の電力ピークカットを図る。
- ・区域内施設のエネルギー関連データと気象データや人流データを活用し、予測による電力融通の効率化を図る。
- ・リアルタイムの人流データ等をもとに、スマート・プランニング手法を活用することで、自動車交通から公共交通や徒歩への転換を図る。
- ・MaaSの普及による自らの運転だけに頼らず、公共交通で快適に移動できる環境の整備。
(実施体制)
- ・内閣府、総務省、経済産業省、国土交通省が事務局を務めるスマートシティ官民連携プラットフォームを通じて、環境・エネルギー分野や交通分野におけるスマートシティの取組に対して支援していく。

●多様な技術の組合せ

【目標】

- ・各種要素技術の導入のため、多様な技術の組合せを通じた実フィールドにおける技術開発を実施する。

【技術開発】

- ・地域ニーズに基づく効果的な技術導入に係る技術開発を実施する。
(実施体制)
- ・現場を持つ自治体、革新的技術を持つ大学、メーカー、その他企業と一体となって技術開発を実施する。

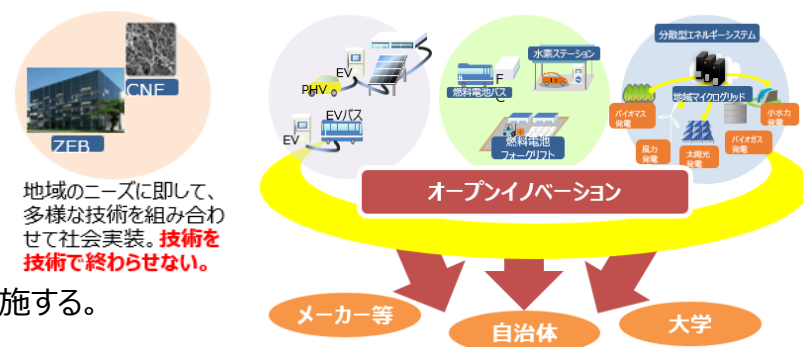
●シェアリングエコノミー／テレワーク、働き方改革、行動変容

【目標】

- ・「持続的な共生」の概念を基本とした、個人、家庭及び地域レベルでの意識改革とアクションを進め、2050年までにカーボンニュートラル、レジリエント、かつ快適な地域と暮らしの実現を目指す。
- ・たとえば、モノに対して、所有から共有へのライフスタイルの変革が起こる中、例えばカーシェアリング／ライドシェアでは、自動車の稼働率向上や最適ルートの算出等により、CO2の大幅削減が推定される。
- ・また、IoTの進展に伴うテレワークの増加による通勤・出張等の義務的移動の低減、働き方改革によるペーパーレス化の進展及び省エネルギー化の進展が推定される。個人や企業、地域等による環境配慮型の行動変容が評価され、再エネがもつ環境価値の自由で経済性ある取引が活発になる。

【技術開発】

- ・IT利用によるシェアリング、ネットワーク環境の利便性の更なる向上等を目指す。
- ・ナッジ等の行動科学の知見やブロックチェーン技術の環境分野への応用により、環境配慮行動や再エネ環境価値取引等のアクティビティ自体の効率化を図る。
(実施体制)
- ・要素技術開発段階から、将来のCO2削減効果やレジリエンス等、持続的な共生に資する価値を評価する社会的仕組みを構築することにより、技術開発の加速化や幅広い分野への応用を進める。セクターカップリングにより分野横断的に協調・連携して取り組む。



科学的知見の充実

【目標】

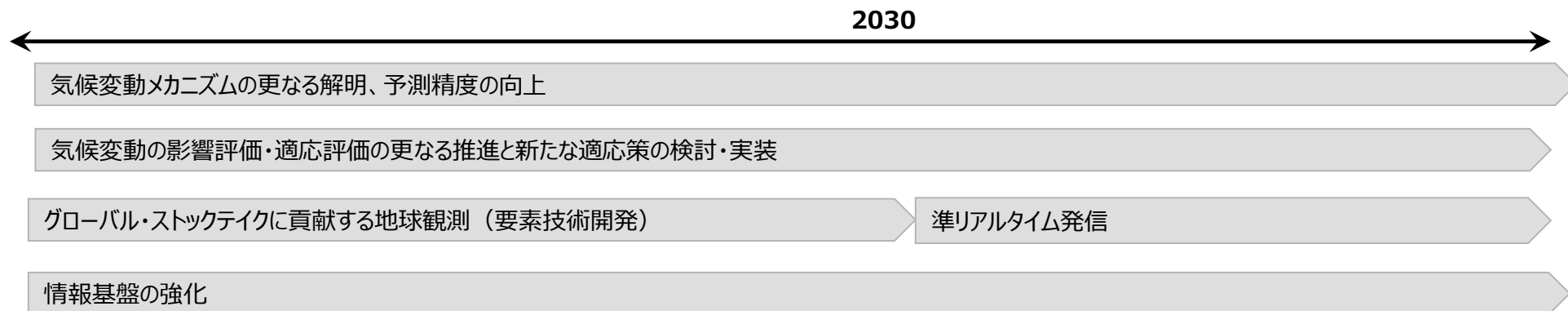
気候変動メカニズムの更なる解明、予測精度の向上、気候変動の影響評価・適応評価など、観測を含む調査研究の更なる推進、情報基盤の強化を通じて、国内外の科学的知見を充実するとともに、我が国発の脱炭素技術の効果検証やその適用による社会経済影響評価を推進する。

【技術開発】

- ①気候変動メカニズムの更なる解明、予測精度の向上
- ②気候変動の影響評価・適応評価の更なる推進
- ③グローバル・ストックテイクや森林管理に貢献する地球観測を含む調査研究の更なる推進を通じたイノベーション社会実装の促進
- ④情報基盤の充実

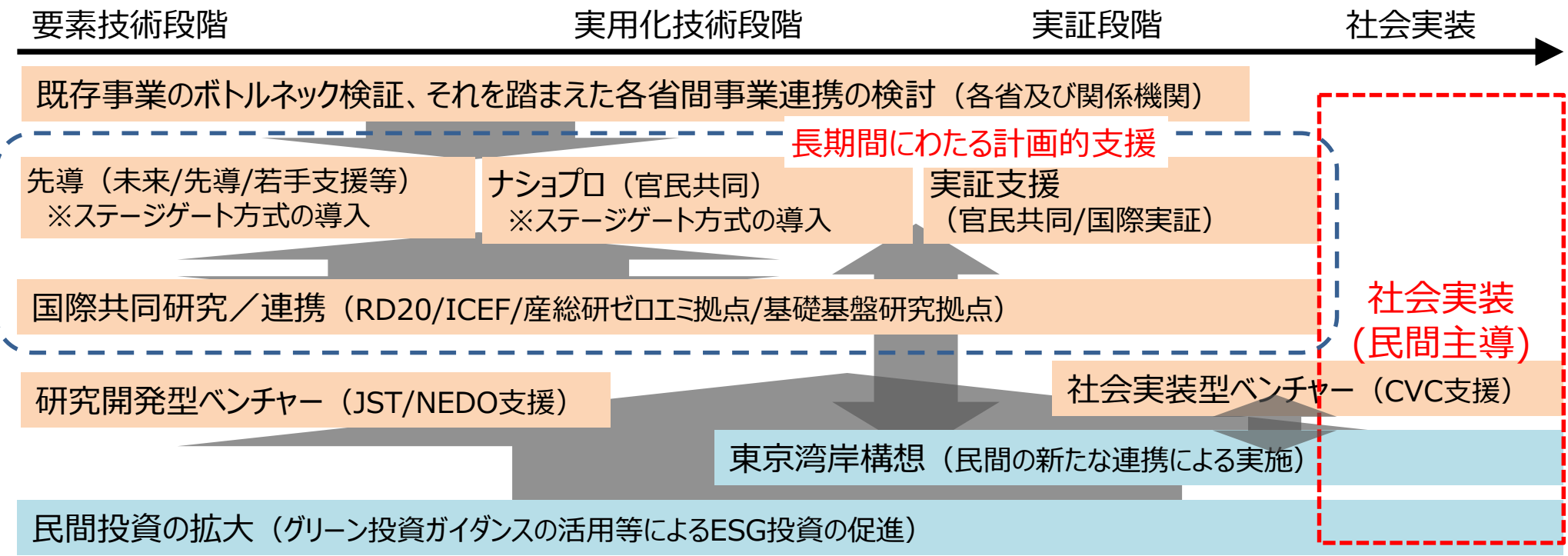
（実施体制）

○国内外の研究機関との連携し、研究を推進。



5. 政策のイノベーション

- エネルギー・環境の技術開発は、社会実装までに長期間を要し、コスト低減に向けた開発リスクが大きい^{注1)}ことから、リスクに応じた政府の関与と長期的計画に基づく実施が不可欠。さらに、国際的な叡智を結集するための環境を整備するとともに、ベンチャー等新たな研究開発の担い手を拡大に取り組む。
- また、世界的に研究開発・イノベーションへの民間投資を拡大することも必要。TCFD提言に基づく開示やグリーン投資ガイダンスの活用による研究開発投資の実効性向上を図るとともに、我が国においては、エネルギー・環境分野の官民の研究開発投資を10年間で30兆円とすることを目指す。



注1) エネルギー・環境の技術開発は、自然からのエネルギー転換、物質循環という科学的にはエネルギー損失を伴う現象を如何に損失を最小限に効率良く、CO2排出源の利用をせず転換、循環させていくかが課題で有り、技術開発そのものの困難さが大きい。また、社会実装までに間に、現象の発見・証明・再現、実用先を定めた開発、実用化のために必要な周辺技術の開発・インテグレーション、社会実証に加え、付加価値に対する対価の支払いという経済原理と異なり、CO2削減技術等が大幅な追加的コストとならないよう実装時のコストを極限まで下げる技術であることも必要条件であることから、**技術開発及び社会実装までに長期間**を要する。

●技術のボトルネックの検証とシーズ発掘・創出（政府の先導的取組）等

＜技術のボトルネックの検証＞

- これまで政府は、多様なゼロエミッション関係の研究開発プロジェクトを実施。まずはこれらのプロジェクトを精査し、技術の実用化に向けたボトルネック課題の解消可能性を改めて検証した上で、今後の方針を検討する。
- プロジェクトの実施に当たっては、研究フェーズに応じ、CO2排出量、コスト等に関するLCA手法を導入する。
- このため、関係府省庁が連携し、民間の有識者も交え、ボトルネックを検証し、今後のプロジェクトのあり方を検討する体制を整備する。

＜シーズ発掘等＞

- 既存研究についてもボトルネックの検証結果等を踏まえ、必要な研究開発プロジェクトに取り組む。
- その際、基礎的研究から実用化・実証までが切れ目なく一体的な支援ができるよう、各省庁・関係機関の連携を強化する。
- ゼロエミッションに向けた革新的な技術・研究開発シーズの発掘・創出や、革新的な研究を行う若手研究者の発掘・支援等を行う。
- 社会学的アプローチを踏まえた研究開発にも取り組む。
- 研究開発成果の普及に際し、基準や規格の整備が必要な場合は、プロジェクト初期段階から専門家を交えて国際標準の整備等に取り組む。
- NEDO、JST、NAROの連携強化を行う。

● 長期的・国際的視点からのプロジェクトの推進

- 目標達成に向け、要素技術から実証まで一気通貫に、かつ長期的な計画を策定し、シームレスな研究開発投資を実施。
- 初期段階では複数の技術オプションを平行に開発。その後、ステージゲート方式によって有望技術を選抜するなど、開発の加速化と効率化を図る。
- 国際的な知の結集によるイノベーションの加速を可能とする研究拠点の整備と国際共同研究を充実強化。
- ゼロエミッションに関係する企業が参加し、共同研究や実証等による効率的な技術開発の場を整備。

(参考10) ゼロエミッション・グローバル研究拠点の整備

- (国研) 産業技術総合研究所にゼロエミッション・グローバル研究拠点を整備し、RD20の開催等を機に、米欧等との国際共同研究を拡充する。既にいくつかの研究機関との間で共同研究契約を締結済み。

想定される研究機関

独:フラウンホーファー研究機構…………… **水素研究**に特化したLOI締結
米: 国立再生エネルギー研究所…………… 新たに**水素も含む連携強化**へのMOUの更新締結
EU: 欧州委員会共同研究センター…………… **蓄エネルギー技術**に関する共同研究契約締結
仏: 国立科学研究センター…………… **熱電技術**に関する共同研究契約締結
原子力代替エネルギー庁…………… **太陽光発電技術**に関する共同研究契約締結



研究テーマ・事業例

カーボンリサイクル

- CO₂分離回収エネルギーの抜本削減
- (水とCO₂からの)炭化水素直接合成
- CCUに関するLCA評価 等

水 素

- 再エネ由来水素の更なる製造コスト減
- 水素キャリア利用時の投入エネルギーの抜本削減
- 人工光合成 等

エネルギーデバイス

- 高効率熱電変換素子
- 超高効率太陽電池

情報プラットフォーム

- RD20を通じて収集した世界のプロジェクト情報を分析評価
- 研究者、企業、投資家を開示するプラットフォーム

(参考11) 基礎基盤研究拠点の整備

- 環境エネルギー分野で国際競争力を有する大学・研究機関において、アカデミアの強みを生かし、企業等の課題解決や、シーズの創出と企業等への橋渡し等を行うプラットフォーム機能を有する基礎基盤研究拠点を整備し、産学の共創による革新的な技術の実用化を目指す。

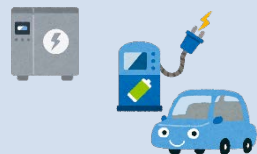
プラットフォーム拠点（大学、研究機関）

- ① 国内外の企業からの依頼に基づき、世界最先端の研究基盤を用いた分析・解析のみならず、分析・解析に基づくメカニズム解明、制御手法の開発などアカデミアの強みを生かした課題解決
- ② 優れたシーズの創出と企業等への円滑な橋渡し
- ③ 市場獲得に向けた戦略的な知財の確保
- ④ 産学の連携の下、基礎研究から実用化までの一貫した研究支援を通じた若手研究者の育成

領域例

蓄電池技術

電池設計から、正・負極、電解質材料開発、電池総合技術、評価解析まで一貫通貫で実施



CO2回収システム開発・基幹物質の合成システム開発

すでに拡散したCO2濃度の低減が可能に

高効率なCO2回収技術により、我が国の競争力向上 (ESG投資の呼び込み)

発電・産業



メタノール 合成ガス 化成品
化石資源に頼らない 化成品合成技術の獲得

燃料
移動体からのCO2 排出量を正味ゼロに

水素製造技術開発

大量供給するための製造方法、および大量輸送・貯蔵するためのエネルギーキャリアや技術を見通して開発



・分析・解析の依頼
・課題解決に向けての相談

・産学が連携した人材育成

・メカニズム解明・制御による解決策の提示

・シーズの橋渡し

企業

(参考12) 民間連携による大規模実証の検討

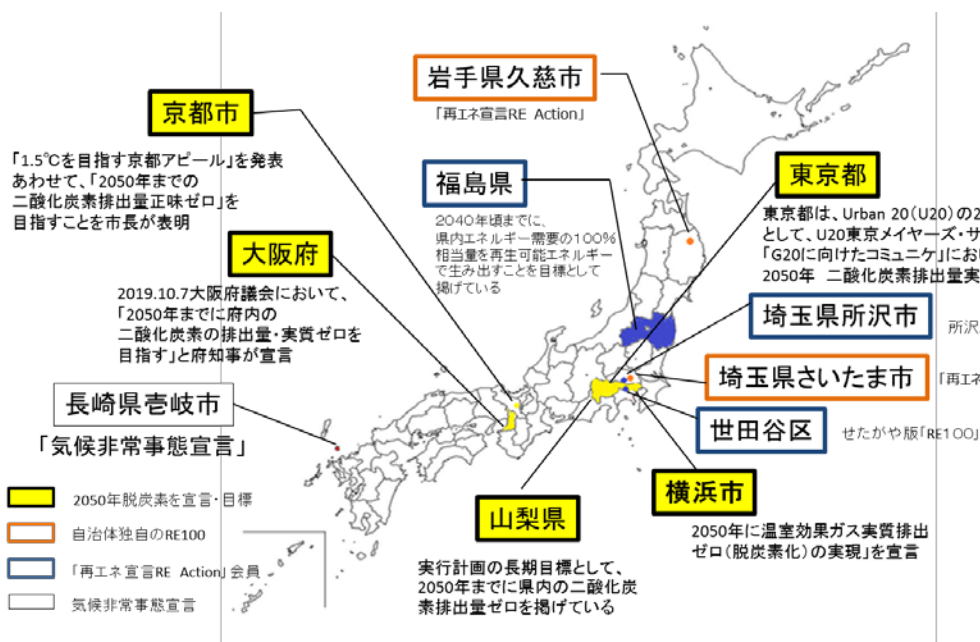
- 世界の多くのイノベーション拠点は、シリコンバレーや深圳のようにITビジネス、大学、研究拠点等が集積し、ITイノベーションを創出。他方、**東京湾岸エリア**には、多種多様な企業の本社・研究所・工場、大学、行政に加え、エネルギーカンパニーの拠点が多数存在。**本社機能の集積による意思疎通の容易さ、革新的技術を生み出す機能、大規模に実証・PRできる環境、巨大なエネルギー消費地を控え大きなポテンシャルを持つ。**
- 2020東京オリパラを契機に、**2030年頃までに東京湾岸エリアを世界初のゼロエミッション実現に向けたイノベーション創出の世界的拠点とすることを目指す**（ゼロエミ版シリコンバレー）。また、**福島地域**をサテライトと位置付け、**ゼロエミッションの地方モデルの実現を目指す**（東京ベイエリアは大都市モデル）。



(参考13) 地域循環共生圏の推進

● 地域循環共生圏の構築による地域のニーズに基づく革新的環境イノベーションの社会実装。

- ・東京、横浜、京都に続き、10月7日に大阪府も2050年までの脱炭素化を表明
- ・長崎県壱岐市、神奈川県鎌倉市において気候非常事態宣言が可決（世界全体で1123自治体）されるなど、市町村議会においても脱炭素化、気候変動への取組を追求する動きが活発化
- ・地域の課題・ニーズを踏まえ、自立と連携の両方を備えた循環・自然共生型地域の構築を推進



地域における脱炭素化・気候変動への取組の活発化

- ◆地域が主導権を持った自立型の地域経営
- ◆災害時にも対応可能な技術のオープンイノベーションの成果を現場で社会実装し、地域ビジネス化
- ◆多様なステークホルダー（地域・企業）によるイノベーションを連続して「環境・経済・社会」の課題を同時解決