

文部科学省 核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会 第2回

ムーンショット目標ならびにターゲット案

武田 秀太郎

九州大学 都市研究センター 准教授

(1) 目標案

- ・ MS目標案の名称
- ・ 実現したい2050（2060年）の社会像

(2) ターゲット（MS目標の達成シーン。2060年に何が実現しているか）

- ・ 2060年の達成シーン
- ・ 2035年に実現すること

(3) 当該目標達成によるもたらされる社会・産業構造の変化

MS目標案の名称

**2050年までに、尽きることない地上の太陽を作り出し、
エネルギー資源と温室効果ガスから解放された社会を実現**

MS目標案の名称

**2050年までに、尽きることない地上の太陽を作り出し、エネルギー資源と温室効果ガスから
解放された社会を実現**

1・技術 What

核融合、フュージョンエネルギー、地上の太陽

×

2・なぜその技術か Why

無尽蔵、ゼロカーボン、安全、多用途・高温熱源

×

3・その技術が何の社会変革を起こすのか How

エネルギー資源問題からの解放、大気中温室効果ガスの大幅な削減、
人々の生活水準の向上、紛争・飢餓の撲滅…

(1) 目標案 - 実現したい2050年の社会像



核融合の実現による社会変革ポテンシャルは計り知れない。

まさに非連続・破壊的イノベーションをもたらすエネルギー技術であり、ムーンショット型研究開発に相応しい技術。

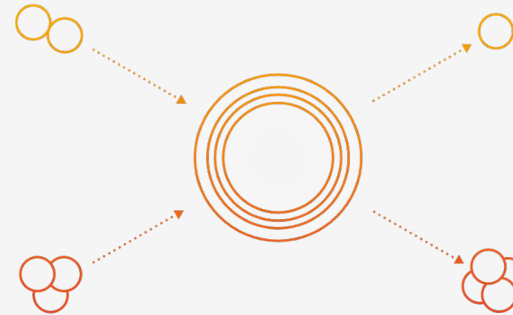
究極のクリーンエネルギー、核融合



温室効果ガスを
排出しない



海水からほぼ無尽蔵に
燃料を抽出可能



原理的に核的暴走事故が
可能性なく安全

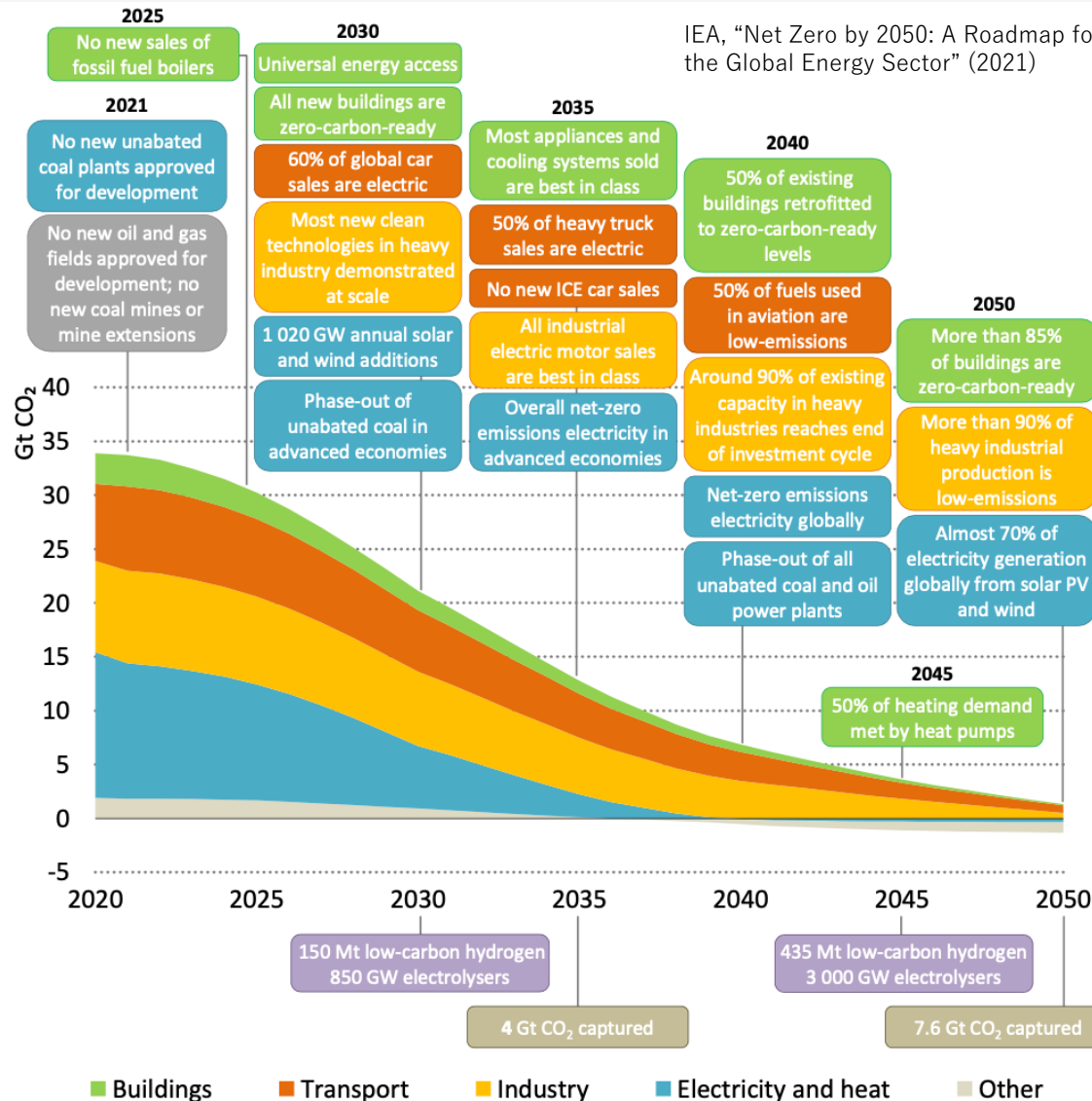


高レベル放射性廃棄物を
出さない

だが、その技術的な実現 = 社会変革なのか？

(1) 目標案 - 実現したい2050年の社会像

IEA, "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector" (2021)



世界のエネルギーシステムは、2050年のネットゼロ（実質温室効果ガス排出量ゼロ）移行を目指している。

- 2040年までに発電セクターをネットゼロ排出に
- 2045年までに435メガトンの水素を低炭素算出
- 2050年には発電の7割を自然エネルギーに
(IEA Net Zero Emissions by 2050 Scenario)

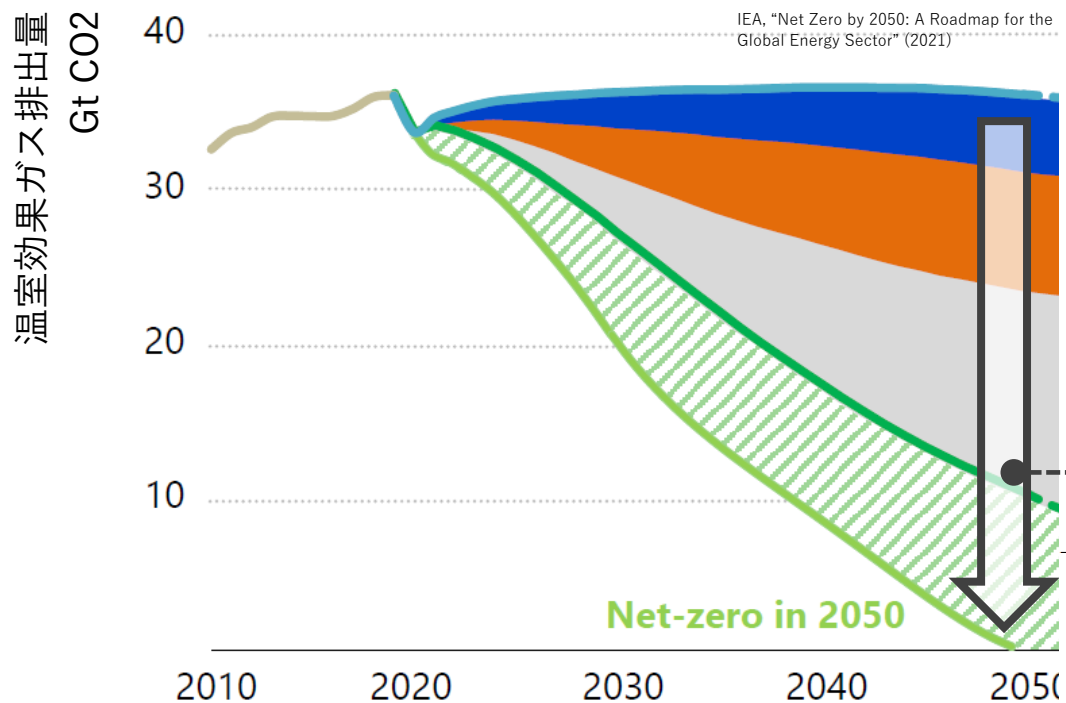
国際社会が野心的な構想を打ち出す中で、そこに核融合が織り込まれていないこと自体が最も本質的な問題を浮き彫りにしている。

核融合がゲームチェンジャーとなるためには
早期の実現（小型化）
and/or
多様な社会実装（高度化）
が必要不可欠

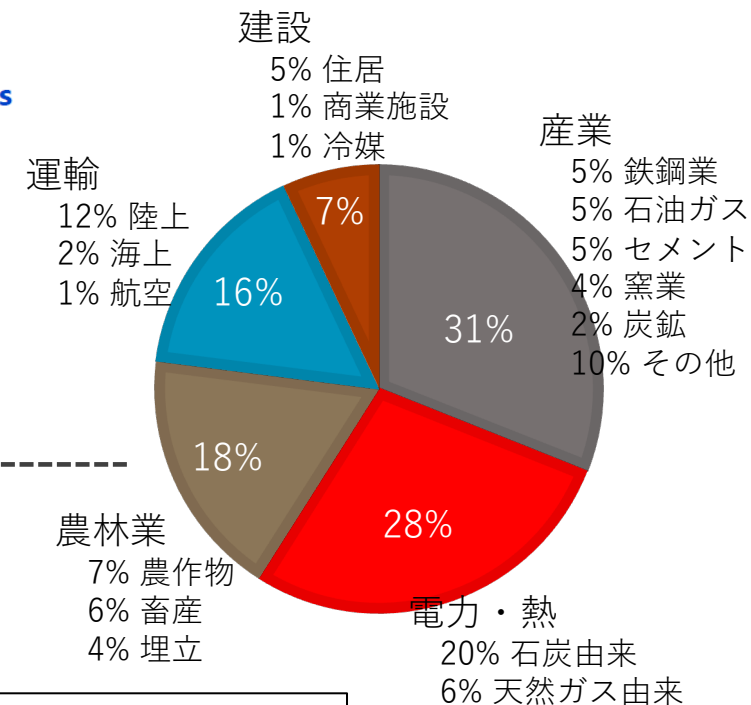
(1) 目標案 - 実現したい2050年の社会像

果たして、「2050年までに核融合で発電を始める」がそのニーズに、社会変革ビジョンに十分だろうか？
必要なタイミングで、必要な形で社会に実装するビジョンを示すことが、核融合業界の責務。

Alfredo Rivera, Shweta Movalia, Hannah Pitt, and Kate Larsen
"Global Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020 and Preliminary
2021 Estimates," Rhodium Group (2022)



IEA各シナリオにおける2050年までの温室効果ガス排出量

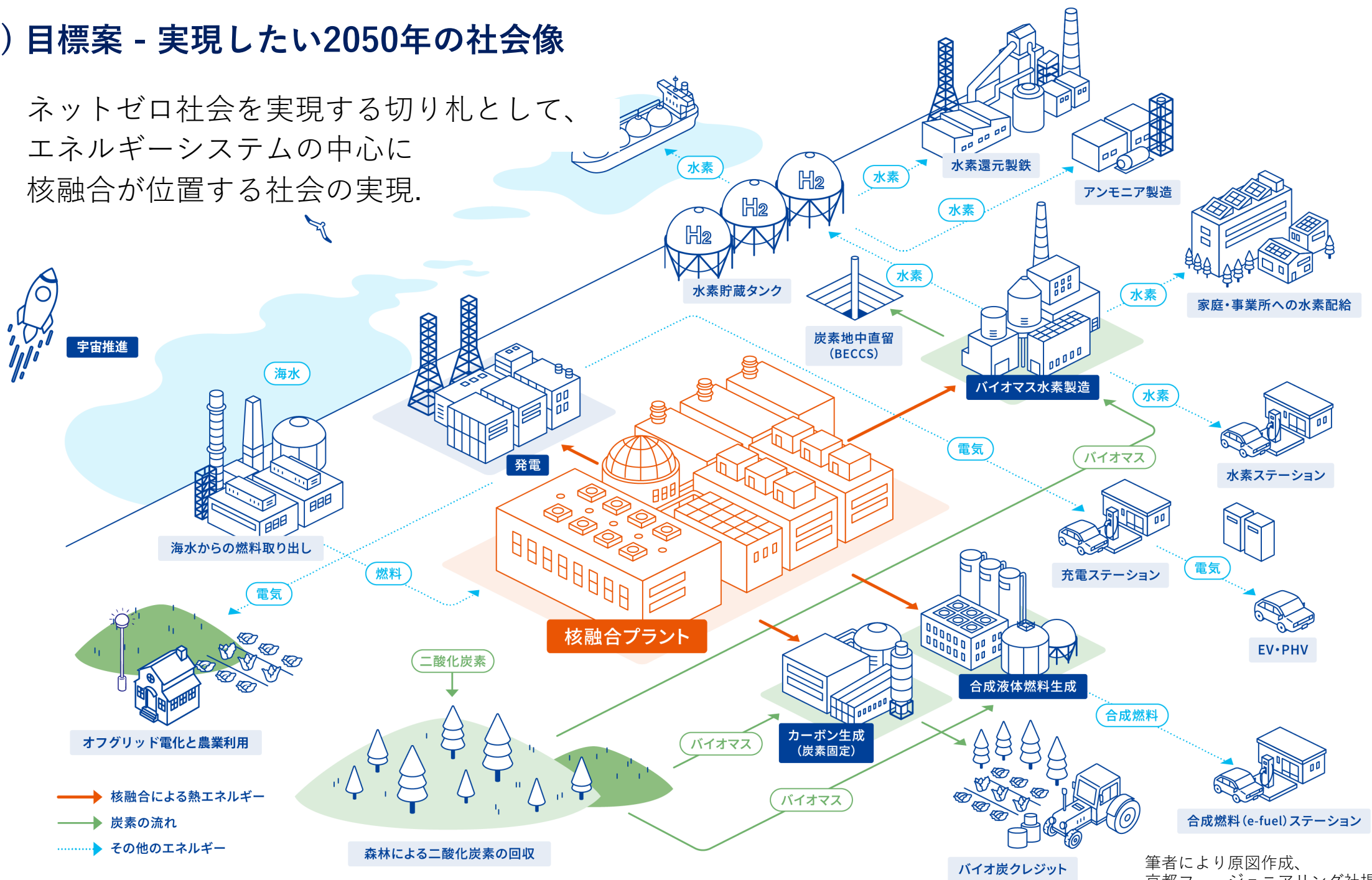


2021年の全世界温室効果ガス・排出セクター別割合

ムーンショットで目指すべきは、ただ早い実現だけではない。
社会のニーズからのバックキャストによる核融合の未来社会像を示す必要。

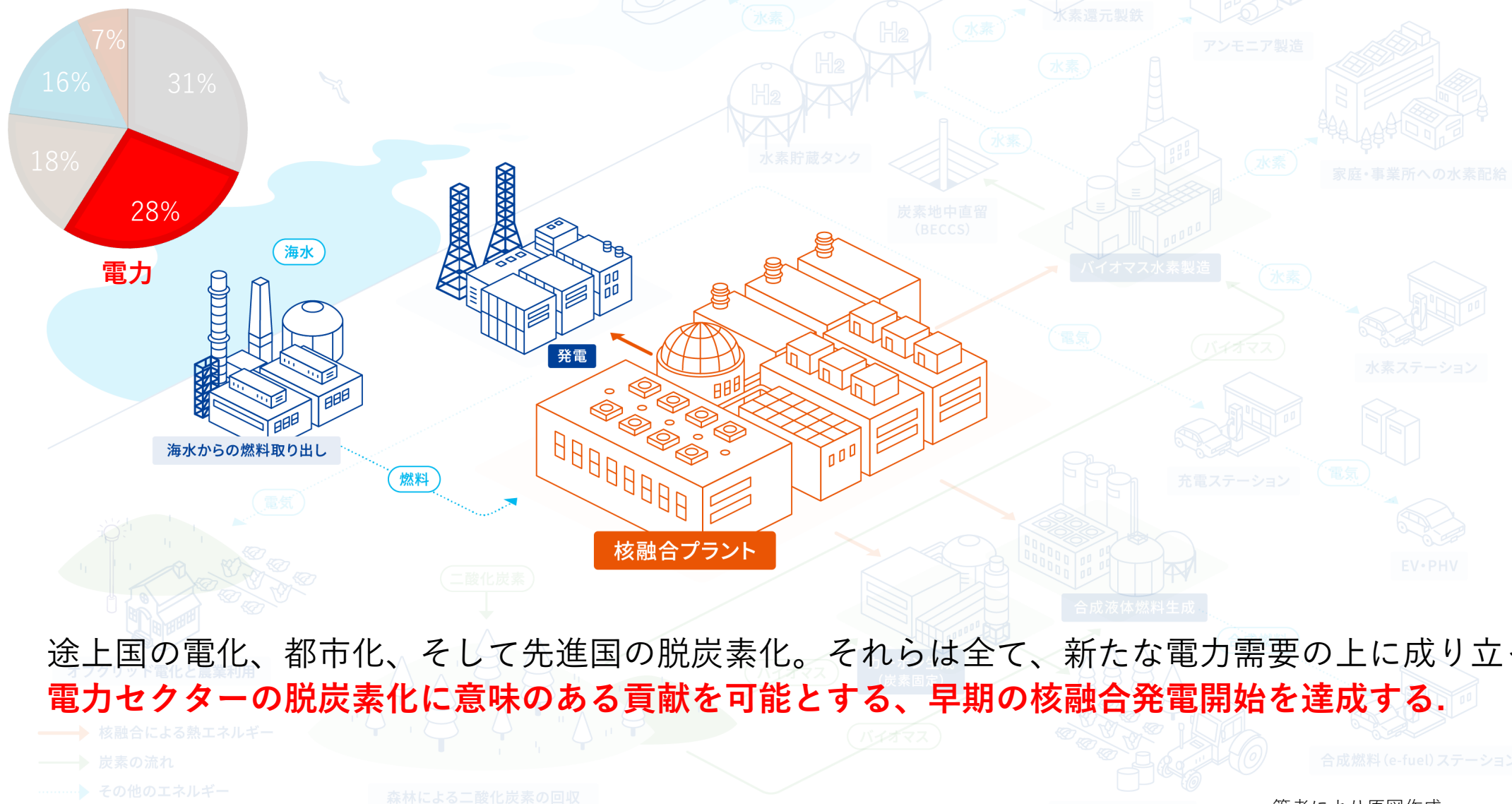
(1) 目標案 - 実現したい2050年の社会像

ネットゼロ社会を実現する切り札として、エネルギーシステムを中心に核融合が位置する社会の実現。



(2) ターゲット - 2060年の達成シーン

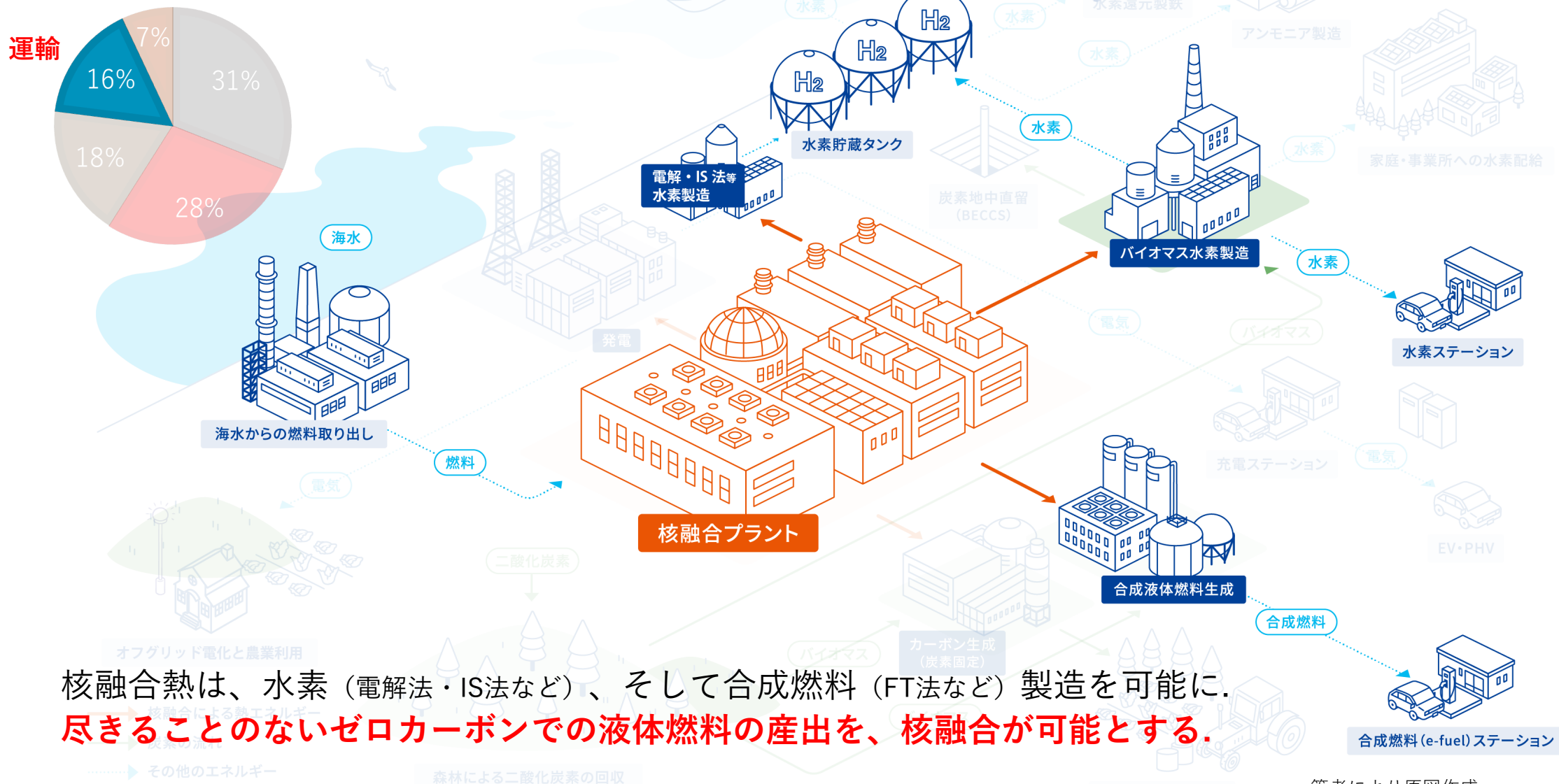
1・フュージョンエネルギーによる尽きることない発電の達成



途上国の電化、都市化、そして先進国の脱炭素化。それらは全て、新たな電力需要の上に成り立っている。
電力セクターの脱炭素化に意味のある貢献を可能とする、早期の核融合発電開始を達成する。

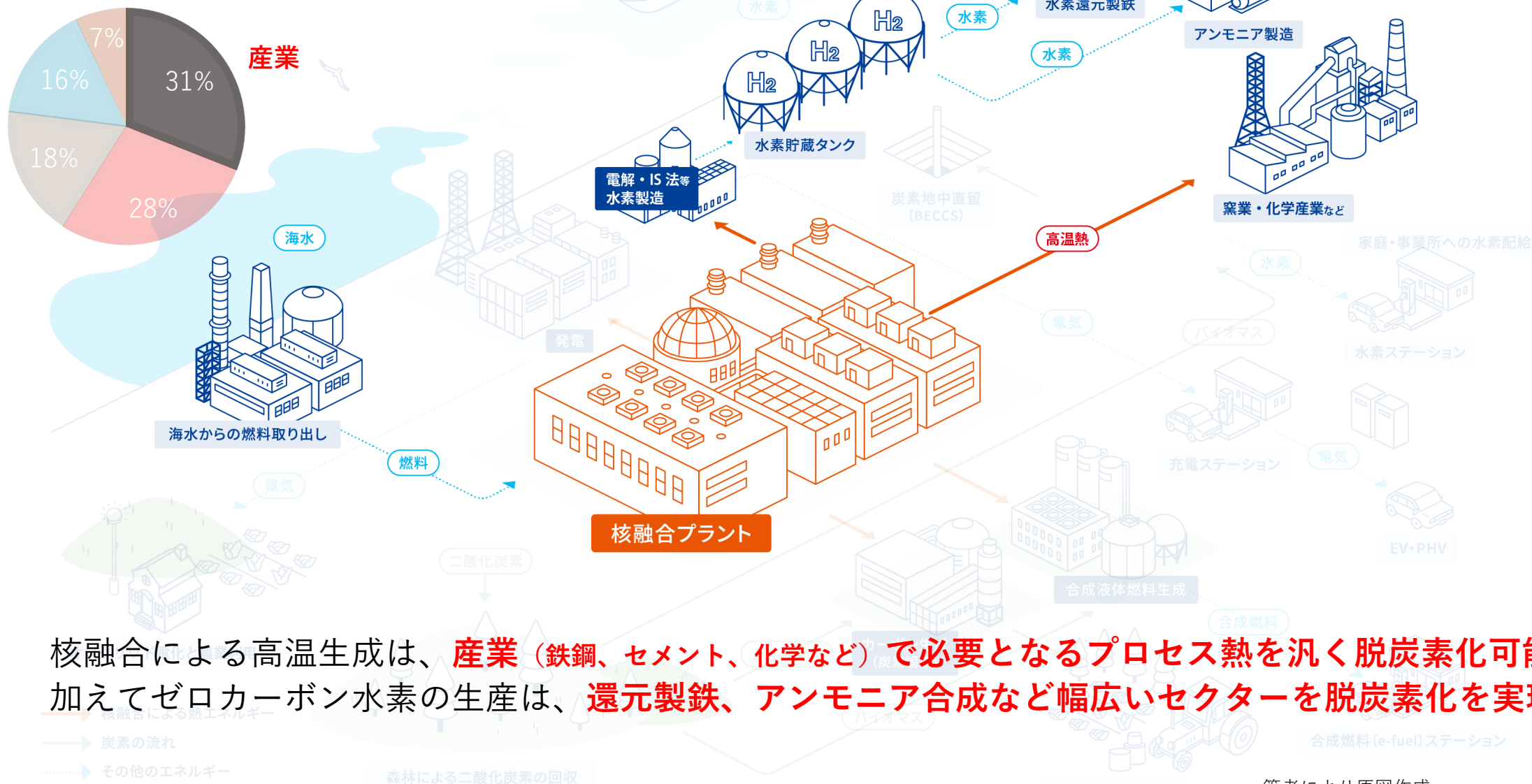
(2) ターゲット - 2060年の達成シーン

2・海水を、森林を、尽きることなくカーボンフリー液体燃料へと生まれ変わらせる



(2) ターゲット - 2060年の達成シーン

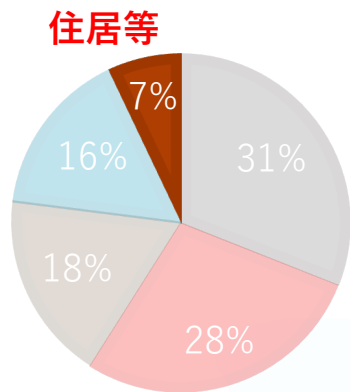
3・フュージョンエネルギーによる幅広い産業の脱炭素化を達成



核融合による高温生成は、**産業**（鉄鋼、セメント、化学など）で必要となるプロセス熱を汎く脱炭素化可能。
加えてゼロカーボン水素の生産は、**還元製鉄、アンモニア合成**など幅広いセクターを脱炭素化を実現。

(2) ターゲット - 2060年の達成シーン

4・都市部の家庭も、遠く離れた村落部も、フュージョンで脱炭素化



オフグリッド電化と農業利用

- 核融合による熱エネルギー
- 炭素の流れ
- その他のエネルギー

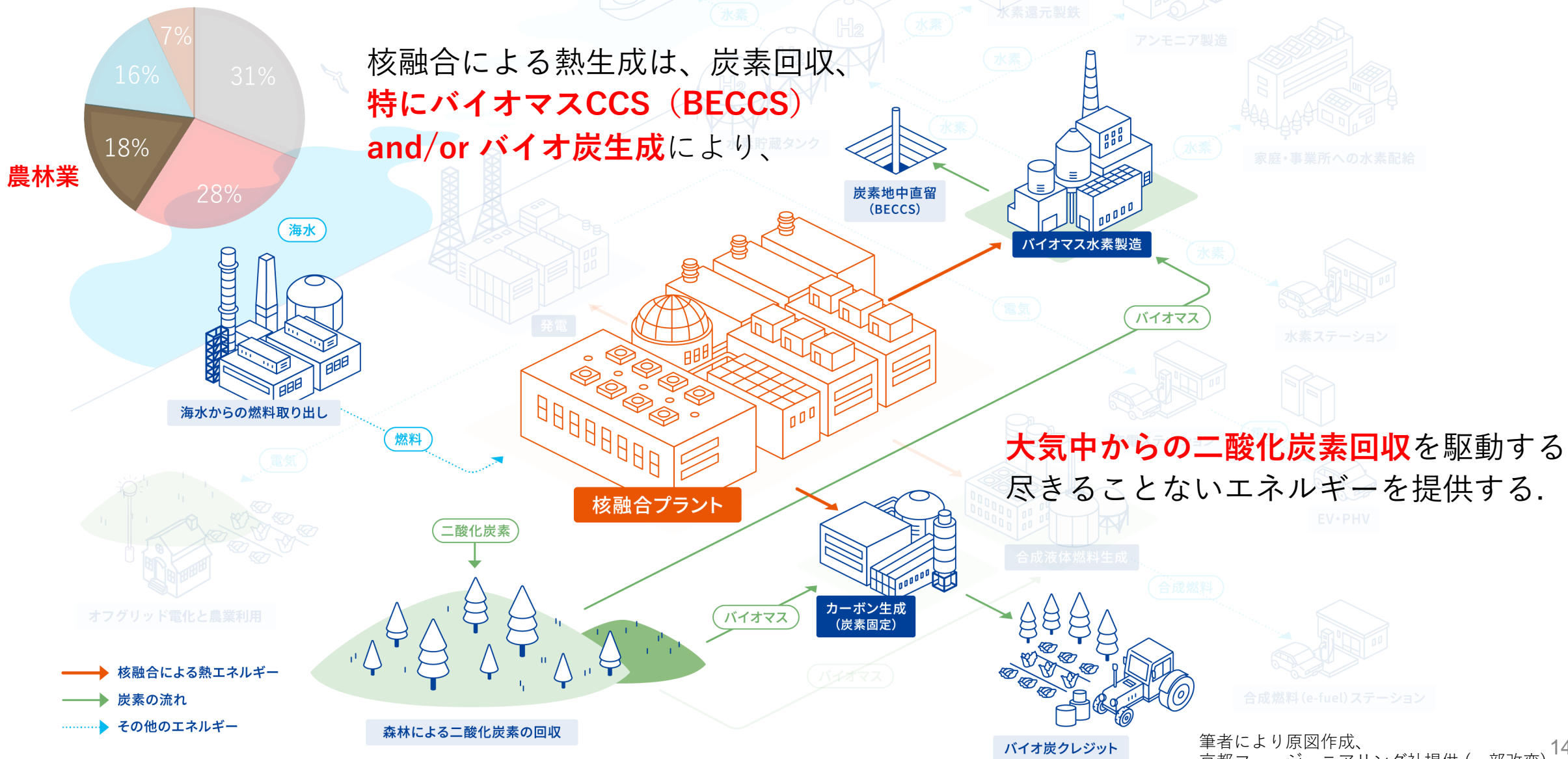
森林による二酸化炭素の回収

小型で、事故の危険を有さず、核不拡散の懸念の低い核融合炉は、**オフグリッド電源としての活用、家庭・事業所の脱炭素化を実現し得る。**

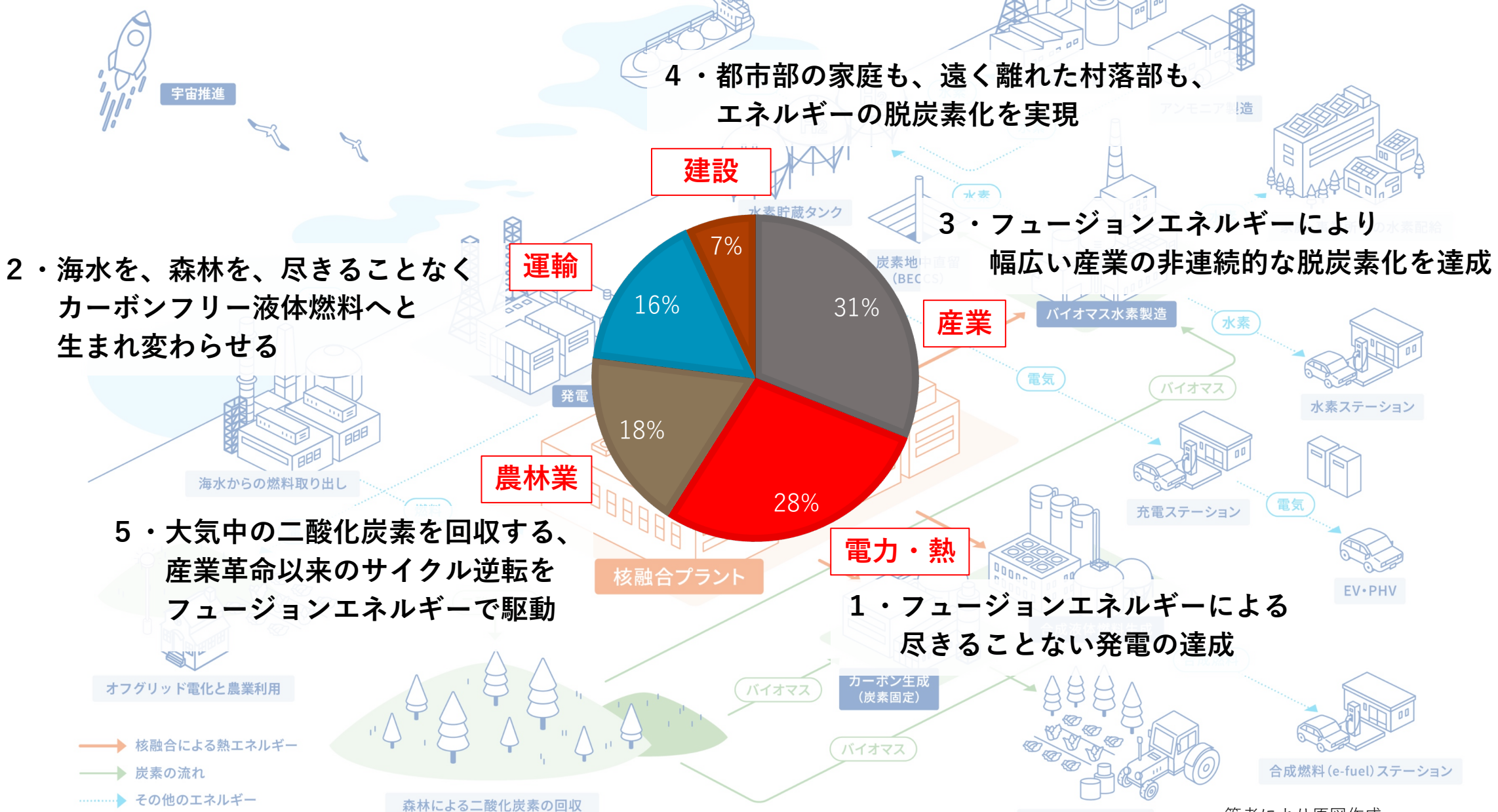
バイオ炭クレジット

(2) ターゲット - 2060年の達成シーン

5・大気中の二酸化炭素を回収する、産業革命以来のサイクル逆転をフュージョンエネルギーで駆動



(2) ターゲット - 2060年の達成シーン



(第一回資料から再掲) 国内外のスタートアップが取り組む革新研究開発の取り組み

1・革新的な閉じ込め方式

民間企業が取り組む計画の
50%超が革新閉じ込め方式

逆転磁場配位型FRC、磁化
標的核融合、ミラーなど

革新閉じ込めにより

- 1) **小型化による低コスト化**
- 2) **従来方式の課題解決**

日本にも実験装置は存在するが、
欧米のような数百～数千億円の
調達を受ける基盤は存在しなかった

2・革新的な要素技術

高温超電導材料をはじめと
する**先進材料**

デジタルツインやAI・機械
学習などの**革新的コンピュー
ーティング**

3Dプリンティングなど**先進
製造技術**

我が国の強みである分野であり
ながら、これまで戦略的注力が
なされてこなかった領域

3・革新的な社会実装

**市場=ニーズからバックキ
ャストした研究**により、大
多数のスタートアップが**発
電用途以外の応用**を計画ま
たは検討している

宇宙推進機、医療応用、
オフグリッド、水素製造
工業用熱供給など

技術的フォアキャストでなく、
ニーズからのバックキャスト
による社会・産業構造へ

(2) ターゲット - 2035年に実現すること

4・核融合のシステム統合の実証

+

参考・
核融合原型炉に向けた研究開発

1・核融合の早期実現に向けた
革新閉じ込めの実証
(≡「小型化」ゲームチェンジ実現)

革新閉じ込め

逆転磁場配位型FRC、磁化
標的核融合、ミラーなど

2・核融合の多様な社会実装に向けた
革新用途の実証
(≡「高度化」ゲームチェンジ実現)

革新的な社会実装

オフグリッド、水素製造
工業用熱供給など

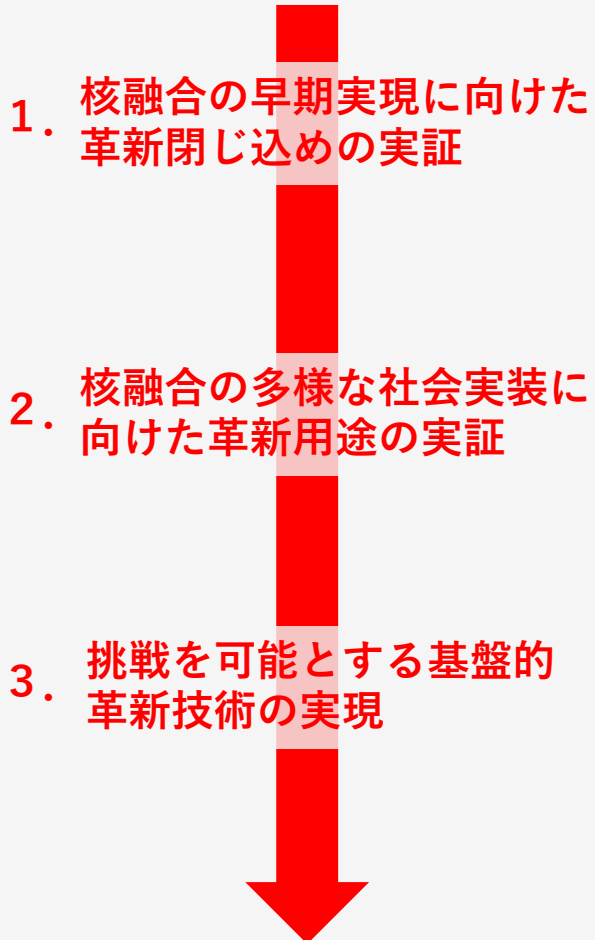
革新的な要素技術

先進材料、AI・機械学習、
先進製造技術など

3・挑戦を可能とする基盤的革新技術の実現

本ムーンショット型ターゲット

1 プログラムで複数ターゲットを包括



俯瞰的な一貫したターゲットと目標設定により、2035年時点での実現を世界に先んじて目指すべき

米エネルギー省ARPA-Eによる革新的核融合支援

個別のターゲットを個別に支援してきた経緯

2015 ALPHA: 低コスト・プラズマ加熱と形式の加速支援 (Accelerating Low-Cost Plasma Heating and Assembly)



- 新しい、より低コストの閉じ込め方式の開発を支援
- 磁気閉じ込めと慣性閉じ込めのアプローチの中間領域に焦点を当て、核融合研究のための新たな選択肢を作り出す

2020 GAMOW: 飽和した電力市場において市場に求められる核融合の加速支援 (Galvanizing Advances in Market-Aligned Fusion for an Overabundance of Watts)



- 商業的に魅力的な核融合エネルギーを実現するための、分野横断研究開発
- 新規核融合材料、コンポーネントの先進的・付加的製造などを支援

2020 BETHE: 核融合エネルギーを可能とするブレイクスルー技術支援 (Breakthroughs Enabling Thermonuclear-fusion Energy)



- 低コストだが成熟していない方式の性能を向上、または
- より成熟した方式のコストを大幅に削減できるコンポーネント技術を支援

エネルギーは”地”政学から、”知”政学へ

地球の掘削でなく、知の探究によりエネルギーが、燃料が産み出される社会の実現。
日本がエネルギー産出国に、エネルギーの中心地となる初めての時代の到来。

エネルギー限界費用”ゼロ”社会の実現

あたかもインターネットがそうであるように、kWhあたりの追加価格がゼロになる (kWだけに価格が付く) 社会の実現。
水素も、燃料も、電気も。限界費用がゼロで、温室効果ガス排出もゼロ。
世界の国々がエネルギー資源から解放され、紛争や飢餓の根源的理由の一つが消失した社会へ。

炭素負債（カーボンデット）の返済へ

地球の大気を産業革命前に巻き戻す、無尽蔵の大転換の動力源としての核融合。
そして人類の太陽系外進出のエネルギーとして、マーズショットとその先へ。

(1) 目標案

- ・MS目標案の名称

2050年までに、尽きることない地上の太陽を作り出し、エネルギー資源と温室効果ガスから解放された社会を実現

- ・実現したい2050（2060年）の社会像

ネットゼロ社会を実現する切り札として、エネルギーシステムを中心に核融合が位置する社会の実現。

(2) ターゲット（MS目標の達成シーン。2060年に何が実現しているか）

- ・2060年の達成シーン

- 1・フュージョンエネルギーによる尽きることない発電の達成
- 2・海水を、森林を、尽きることなくカーボンフリー液体燃料へと生まれ変わらせる
- 3・フュージョンエネルギーによる幅広い産業の脱炭素化を達成
- 4・都市部の家庭も、遠く離れた村落部も、フュージョンで脱炭素化
- 5・大気中の二酸化炭素を回収する、産業革命以来のサイクル逆転をフュージョンエネルギーで駆動

- ・2035年に実現すること

- 1・核融合の早期実現に向けた革新閉じ込めの実証
- 2・核融合の多様な社会実装に向けた革新用途の実証
- 3・挑戦を可能とする基盤的革新技術の実現

(3) 当該目標達成によるもたらされる社会・産業構造の変化

エネルギーは”地”政学から、”知”政学へ
エネルギー限界費用”ゼロ”社会の実現
炭素負債（カーボンデット）の返済へ

ご清聴有難うございました