

革新的GX技術開発小委員会

# カーボンニュートラル実現に向けた 政策および研究開発の動向

2023年9月21日（木）

環境・エネルギーユニット

中村亮二



# 主要国動向：米国

気候変動、エネルギー安全保障への取り組み強化の一環として科学技術イノベーションへの投資を強化。基礎研究から社会実装、インフラ更新まで幅広く支援。なかでも水素関連への投資は顕著。

## <大統領府>

2021.1	インフラ投資・雇用法	<ul style="list-style-type: none"> <li>国研の設備更新・近代化（15億ドル）</li> <li>地域水素ハブプログラム（80億ドル）</li> <li>水電解プログラム（10億ドル）</li> <li>水素製造・リサイクル関連（5億ドル）</li> <li>府省横断TF設置</li> </ul>
2022.8	インフレ抑制法	<ul style="list-style-type: none"> <li>クリーン水素製造に対し1kgあたり最大3ドルの税額控除</li> </ul>
2023.6	国家クリーン水素戦略・ロードマップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業・運輸・発電部門での利用促進</li> <li>供給網全体でのコスト低減</li> <li>生産と消費を繋ぐ地域ネットワーク</li> </ul>
2022.1	ネットゼロ・ゲームチェンジャー・イニシアチブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>新しい技術・アプローチ、改良技術、可能化技術、多目的技術の研究開発強化</li> <li>37のR&amp;D分野（輸送、発電、産業ほか）</li> <li>5つの優先分野（建物、航空、電力網、核融合、製造）</li> </ul>
2022.3	商業核融合エネルギーの10年ビジョン	<ul style="list-style-type: none"> <li>ビジョン策定のためのサミット開催</li> </ul>

## <DOE>

2021.6~	エネルギー・アースショットイニシアチブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素（2021.6）、長期貯蔵、カーボンネガティブ、地熱、洋上風力、産業熱、CN燃料</li> </ul>
2022.8	クリーンエネルギー技術・低炭素製造に関する基礎研究支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>43のエネルギーフロンティア研究センター（EFRC）に4億ドル</li> <li>33の大学、11の国研に1.4億ドル</li> </ul>
2022.1	水素プログラム計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素の製造、輸送、貯蔵、利用に係る研究開発・実装の全体戦略</li> <li>インフラ投資・雇用法に基づく施策の一部を包含</li> </ul>
2023.2	新興技術の実装加速化研究プログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>国研と大学等との基礎・基盤的共同研究に総額8,000万ドル</li> <li>高性能計算（HPC）、AI、製造技術、材料、バイオテクノロジー等を活用した研究を支援</li> <li>人材の多様性促進・育成、スピンオフ、産業界への橋渡し支援も実施</li> </ul>
2023.1	DOEとNSFの連携強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模な物理実験や施設利用など従来の連携に加えてバイオテクノロジー、量子情報科学・工学、人工知能、機械学習等に関する協力強化</li> </ul>
2022.3	商業核融合エネルギー開発プログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>8社の研究開発に総額4,600万ドル</li> </ul>

# 主要国動向：米国

## 「カーボンニュートラルな水素技術のための基盤的科学」（DOE科学局, 2021.8）

カーボンニュートラルな水素の製造、貯蔵、利用に関する科学技術上の課題を議論し4つの優先研究課題として整理。

### 優先課題 1. 材料と化学プロセスを発見・制御し、電気分解システムを変革する

ポイント：水電解装置は複数の部材（酸素発生電極触媒、水素発生電極触媒、電解質膜、ガス分離層等）から構成され、複数のイオン移動機構が提案されている（プロトン、アニオン、酸素イオン）。キー部材ごとの反応機構を分子レベルで明確化し、その最適な組合せを見いだす必要。

### 優先課題 3. エネルギー効率と原子効率の向上のため、複雑な界面の構造、形成、化学を解明する

ポイント：相分離構造を持つ電解質膜中のイオン移動、その中に分散させたカソード（アノード）触媒粒子との酸化還元反応等、異なる界面での物質移動や反応が水電解速度や副反応に影響。相状態および相界面の時間的・空間的スケールでの制御が重要となる。

### 優先課題 2. 水素と担体（キャリア）の相互作用を制御し、燃料としての水素の可能性を最大限に高める

ポイント：水素の貯蔵・輸送時には水素と担体の相互作用が大きい方が有利だが、利用時には直ちに担体から水素が離れることが望ましい。水素と担体の相互作用を状況に応じて適切に調整できる技術が重要。

### 優先課題 4. 劣化プロセスを理解・制限し、水素システムの耐久性を向上させる

ポイント：金属材料の水素脆性や水素吸蔵合金の繰り返し使用時の粉体化など小さな水素分子が引き起こす材料劣化のメカニズムの解明と対策が必要。空気からの微量の酸素や水分も影響。

# 主要国動向：ドイツ

ウクライナ情勢を受けてエネルギー安全保障に係る政策を強化するが、気候変動対策は従前の方針を維持。むしろその取組みを加速させるための政策を展開。

2021.6	気候保護法 (改正)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 気候中立達成を2050年から2045年に前倒し</li><li>• 中期目標（2030年、2040年）も引き上げ</li></ul>
2022.4	イースター・ パッケージ	<ul style="list-style-type: none"><li>• 電力消費の再エネ割合を2030年までに80%とする改正再エネ促進法をはじめ、関連法の改正をパッケージ化</li><li>• その他には風力・太陽光発電入札量および用地拡大、バイオマス発電の利用活性化、水素貯蔵・蓄電に関する助成拡大等</li></ul>
2022.3	エネルギー確保法 (改正)	<ul style="list-style-type: none"><li>• ロシアによるウクライナ侵攻の影響でエネルギー市況が不安定化するリスクに備えた改正</li></ul>
2023.7	国家水素戦略 改訂版	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2030年の国内の水素生産能力目標を5GWから10GWに引き上げ</li><li>• 2028年までに1,800km超の水素パイプライン整備</li><li>• 研究開発加速のためファンディング強化： フラッグシッププロジェクト H2Giga・H2Mare・TransHyDe、 国家イノベーションプログラム（水素・燃料電池）、地域プログラム、 イノベーション・技術センター、PtL開発プラットフォーム等</li></ul>

# 主要国動向：ドイツ

米国同様に水素への投資が顕著。今後はミッション志向型アプローチに基づく研究展開の見通し。

- **2022年度の連邦政府エネルギー関連R&D予算（右図）**
  - 全体で14.8億ユーロ（前年度比13.4%増）。
  - うち基礎研究は2.2億ユーロ（前年度比13.1%増）。昨年度に続き全体の約15%を占める（2年前までは10%前後で推移）。
  - 前年度比で増加した領域例 … 水素、火力、資源効率、CO2技術、トランジションと社会、地下利用、国際連携
  - 前年度比で減少した領域例 … 産業部門のトランジション、輸送部門のトランジション、太陽光、バイオエネルギー、地熱、水力・海洋、電力網、蓄エネ、マテリアル
- **第8次エネルギー研究計画策定に向けた協議プロセス**
  - 2024年施行に向けて連邦経済気候保護省（BMWK）が主導
  - 技術中心アプローチからエネルギー転換の完了と変革の加速に向けたミッション志向型アプローチに変更する方針

※ 連邦経済・気候保護省（BMWK）資料を元にCRDSにて図作成。各分野の予算項目内に「Basic research into …」との項目があった場合は当該項目を「基礎研究」と見なして抽出。ただし風力に関しては「Environmental aspects of wind energy」と「Wind physics and meteorology」、材料研究はそのものを基礎研究と見なした。

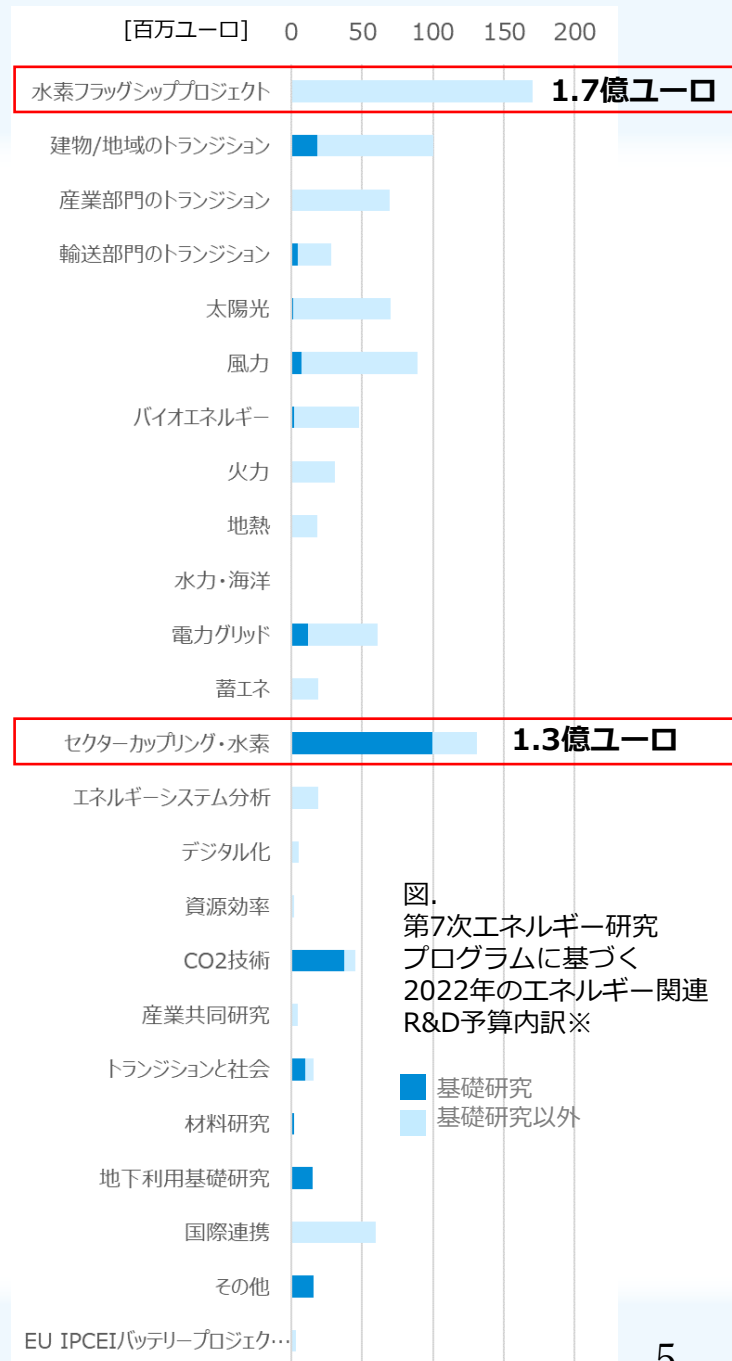


図. 第7次エネルギー研究プログラムに基づく2022年のエネルギー関連R&D予算内訳※

■ 基礎研究  
■ 基礎研究以外

# 「研究開発の俯瞰報告書（2023年）」



## 1 研究対象分野の全体像

- 俯瞰の範囲と構造
- 分野の研究開発を取り巻く現状（社会・経済の動向、研究開発の動向等）
- 今後の展望・方向性（今後重要となる研究の展望・方向性、日本の研究開発の現状と課題、わが国として重要な研究開発）

## 2 研究開発領域

- 研究開発領域の定義と概要
- 国内外の注目動向
- 科学技術的課題、その他の課題
- 日、米、欧、中、韓等の国際比較

<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2022-FR-03.html>



エネルギー・環境法規制、国際エネルギー秩序、エネルギーサービス、経済合理性

電力のゼロエミ化・安定化

燃料資源

2.1.1 火力発電

化石燃料

- ・天然ガス (LNG)
- ・石炭
- ・石油

水素、アンモニア

- ・混焼、専焼
- ・安定燃焼
- ・低NO<sub>x</sub>化

2.1.9 CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS)

- ・回収：排ガス、大気
- ・貯留：EOR、帯水層

再生可能資源

2.1.3 太陽光発電

- ・薄膜構造
- ・長期信頼性

2.1.4 風力発電

- ・洋上風力(着床式、浮体式)

2.1.5 バイオマス発電・利用

- ・半炭化
- ・微細藻類培養

2.1.6 水力発電・海洋発電

- ・揚水発電
- ・波力発電

2.1.7 地熱発電・利用

- ・地下熱源探査、開拓

2.1.8 太陽熱発電・利用

- ・蓄熱発電
- ・燃料転換

原子力資源

2.1.2 原子力発電

- ・新型原子炉
- ・核融合炉
- ・安全評価
- ・使用済燃料処理
- ・第4世代炉
- ・磁場核融合
- ・リスク評価
- ・小型炉
- ・慣性核融合
- ・過酷事故対応
- ・廃止措置

大気中CO<sub>2</sub>除去

2.4.1 ネガティブエミッション技術

- ・DACCS
- ・BECCS
- ・ブルーカーボン
- ・岩石

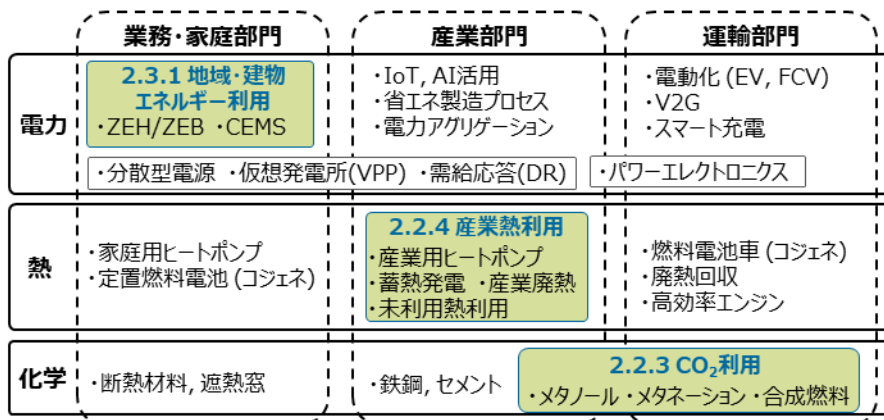
民生・産業・運輸のゼロエミ化 / 低温熱利用 / 炭素循環利用

2.2.1 蓄エネルギー技術

- ・蓄電池
- ・水素/アンモニア
- ・化学蓄熱、蓄熱材料
- ・力学量 (揚水、フライホイール、圧縮空気)

2.2.2 水素・アンモニア

- ・製造 (グリーン、ブルー)
- ・電力利用、還元剤利用
- ・貯蔵・輸送 (液水、有機HD、アンモニア)



エネルギーシステム統合化

2.5.1 エネルギーマネジメントシステム

- ・分散型エネルギーソース
- ・蓄エネシステム
- ・需給調整力創出
- ・地域マイクログリッド
- ・スマートメーター
- ・消費者行動分析

2.5.2 エネルギーシステム・技術評価

- ・統合評価モデル
- ・応用一般均衡モデル
- ・電源計画モデル
- ・エネルギー需給モデル
- ・エネルギー経済モデル
- ・都市最終エネルギー需要

エネルギー分野の基盤科学技術

材料・デバイス技術

- ・高温材料
- ・耐熱・耐食合金
- ・光電変換、熱電変換、発光材料、素子
- ・固体イオニクス材料
- ・パワー半導体材料、素子
- ・電極材料
- ・分離膜
- ・超伝導材料
- ・断熱材料
- ・複合材料
- ・自己修復材料等

反応制御技術

- ・光反応触媒
- ・固体触媒
- ・電気化学触媒
- ・反応速度解析/熱力学解析等

計算科学

- ・第一原理計算
- ・分子動力学法等

計測技術

- ・オペンランド計測
- ・衛星観測等

2.6.1 反応性熱流体

数値モデル/シミュレーション

- ・流体拡散/反応シミュレーション
- ・構造解析シミュレーション
- ・複雑系ネットワーク理論
- ・制御理論
- ・最適化等

2.6.2 トライボロジー

ICT/AI・ビッグデータ活用

- ・センシングデータ処理技術
- ・大規模データ解析技術
- ・サイバーセキュリティ
- ・ブロックチェーン
- ・通信技術等

2.6.3 破壊力学

システム技術

- ・システム設計
- ・アーキテクチャ設計
- ・システム制御技術
- ・建物/都市システム設計
- ・エンジニアリング等

- 【人文社会科学】社会学、政治学 (政策論、国際関係論)、経営学、エネルギー経済学、環境経済学、行動経済学、行政学、哲学、心理学等
- 【工学】熱機関工学、機械工学、化学工学、プラント工学、材料工学、原子力工学、資源工学、電気電子工学、土木工学、建築工学、環境工学、都市工学等
- 【科学】熱力学、燃焼学、伝熱学、流体力学、統計力学、電磁気学、電気化学、触媒化学、原子核物理学、地球物理学、生態学、物理学、統計学、化学、生物学、農学、情報学、計算科学等

持続可能性、包摂性、気候変動、防災・減災、公衆衛生、資源循環、自然共生、安全確保

国際枠組み、法・規制、国土計画・地域計画、インフラ整備、公共サービス、民間サービス

地球システム観測・予測

2.7.1 気候変動観測

- 観測空白域・ECVs・データ利活用
- メタン、SLCFs、GHGs/AQ同時観測
- 生物学的変数・Argo・雲・推定値の不確実性
- 海洋統合観測（外洋、沿岸）

2.7.2 気候変動予測

- 数値モデル・大規模アンサンブル実験
- イベント・アトリビューション
- 10年規模変動予測・グローバル解析
- 観測との連携・データ同化・沿岸海洋予測

2.7.3 水循環（水資源・水防災）

- 流域治水・多分野連携、超学際研究
- 観測データ活用、少数データ推定・事前放流
- 水文モデル高解像度化・先端観測機器
- 同位体利用モニタリング・気候変動影響

2.7.4 生態系・生物多様性の観測・評価・予測

- 衛星観測データ活用・環境DNA・ドローン/UAV活用
- データサイエンス・大規模野外操作実験
- 自然を活用した解決策（NbS）・生態系モニタリング
- データベース/解析プラットフォーム・評価手法開発

人と自然の調和

持続可能な資源利用

2.8.1 社会-生態システムの評価・予測

- 生態系サービス定量評価・可視化
- 自然資本の価値評価、指標開発
- トレードオフ・シナジー分析
- NbS、EbA等の自然資本活用施策

2.9.1 水利用・水処理

- 下水中ウイルス調査、多分野連携
- 水処理システム全体設計・膜ろ過
- UV-LED・再生水・リン回収
- 分散型システム、過疎地、災害時、設備老朽化対応・AI/IoT活用

2.9.2 持続可能な大気環境

- 自動車CASE変革、新エネ車影響
- 対流圏O<sub>3</sub>・PM<sub>2.5</sub>動態、越境型
- タイヤ粉塵・高所大気観測
- 浄化触媒貴金属代替、低温域性能
- NOx、SOx・大規模森林火災影響

2.9.3 持続可能な土壌環境

- サステナブル・レメディエーション
- 安価で正確な分析と効率的な浄化
- 放射性Cs減容化と再生利用
- 低濃度重金属含有土の有効利用
- リスク評価の社会実装合意形成

2.8.3 都市環境サステナビリティ

- 複合災害、極端気象災害・レジリエンス
- 脆弱性・社会的包摂性・都市生態系
- 適応の多角的評価・客観的指標
- 都市ヒートアイランド・予測提供手法

2.8.2 農林水産業における気候変動影響評価・適応

- 農業気象データ高解像度化
- 収量予測・極端気象影響
- 複合型斜面災害
- 生態系を活用した農林業技術開発
- 海藻バイオマス・ブルーカーボン

2.9.4 リサイクル

- プロセス全体理解のためのLCA、MFA導入
- 収集解体分離選別工程と製造業での再生工程の連携
- デザインforリサイクル・分離選別のAI活用
- 資源循環情報管理・カスケード利用と水平利用
- ケミカルリサイクルでの有害副生物対策

2.9.5 ライフサイクル管理（設計・評価・運用）

- 将来予見的LCA（開発時、大規模普及時）
- 新規材料評価（生分解性プラ、バイオプラ）
- 物質ストック・フロー分析（MFA）
- 経済波及効果分析・Nexus分析
- サプライチェーン全体のデジタル情報管理化

2.8.4 環境リスク学的感染症防衛

- リスク評価・リスク予測の不確実性
- 感染経路別の寄与率・換気、気流計画
- 下水中ウイルス調査、解析・QMRA
- 感染対策実施率、心身健康・UVGI
- HEPAフィルター・Wells-Rileyモデル

・野生生物種の保全・侵略的外来種

・騒音、振動、悪臭、地盤沈下・環境分析、化学物質リスク評価・管理・天然毒（動植物）

・日照障害、光害・制震、免震

・地殻、プレートテクトニクス・マントル、火山ブルーム・太陽観測、電離圏・オゾン層観測・古気候、古生物、地質調査、全地球史解説・宇宙探査、地球外惑星、ハビタブルゾーン

環境分野の基盤科学技術

観測・計測・分析技術

- 船舶観測
- 地上観測網
- モニタリングセンサ

2.10.1 地球環境リモートセンシング

- 衛星/航空観測・国際協調
- SAR、CPR、LiDAR・常時観測
- 観測・利用一体開発、運用

2.10.2 環境分析・化学物質リスク評価

- 化学形態別分析・安定同位体比分析
- 多成分一斉分析・リスク評価、QSAR
- PFAS、PM<sub>2.5</sub>、μ/nプラスチック分析

予測・評価技術

- モデリング、シミュレーション
- データ同化・コード、プロダクト
- 高精度化、精緻化、高解像度化
- ダウンスケーリング・影響評価
- モデル統合、モデル比較・リスク評価

対策・マネジメント技術

環境情報基盤

人文社会科学

環境哲学  
環境倫理学  
環境法学  
環境政策学  
地域研究 等

【人文社会科学】 法学、経済学、社会学、政治学、国際関係、行政学、哲学、教育学、倫理・道徳 等  
【自然科学】 土木工学、建築学、統計学、材料工学、化学工学、生態学、農芸化学、保健・衛生、情報学、システム科学、防災学、物理学、化学、生物学、地球惑星科学、工学、農学、医学、数学 等

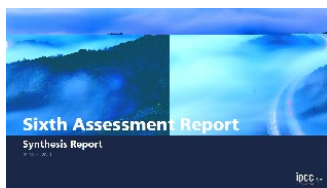




# CRDSが注目する研究開発トピックス

## 気候変動予測

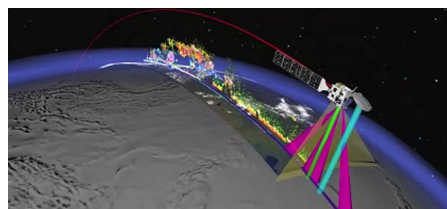
予測精度は着実に向上。加えて大規模アンサンブル実験に基づくイベント・アトリビューション解析、グローバル解析、十年規模予測など社会利用を意識した研究開発も活発。



IPCC第6次評価報告書 (出典 IPCC HP)

## 衛星観測

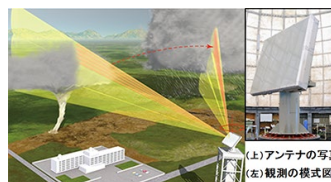
気候モデル予測精度を向上させる雲内部の構造や上下方向速度、エアロゾルの3次元分布を計測できる日欧共同のEarthCARE開発が進行。



EarthCARE観測イメージ ©JAXA

## 降水観測・予測

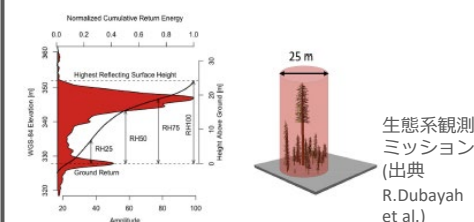
雨量観測が充実化。レーダー観測による雨量推定精度の向上や降水の迅速・3次元測定システムの開発等が進む。衛星観測で雪や弱い雨の観測も可能に。データ同化による降雨予測等、データ活用にも関心強まる。



フェーズドアレイレーダー (出典 気象研究所HP)

## 生態系・生物多様性観測

DNAデータの活用や3Dスキャンなど地上観測の手段が多様化。衛星やドローンなどによるリモートセンシングも発展。クラウド上のデータ解析ツール・サービスも充実化。



生態系観測ミッション (出典 R.Dubayah et al.)

## 温暖化と大気環境

温暖化対策に伴う大気環境の変化を予測する研究が進むなど両者の相互連関が注目される。気候変動予測研究でも短寿命の大気汚染物質 (SLCFs) の動態や強制力の定量的把握は大きな課題。

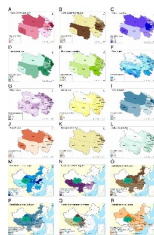


## 自然資本の価値評価

社会-生態システムを統合的に捉える研究分野。自然資本や生態系サービスの価値評価に関する研究も行われているが評価手法自体が発展途上段階にあり社会利用は限定的。

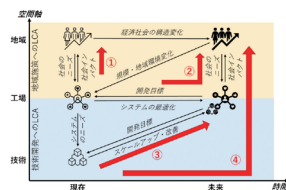
$$GEP = \sum_{i \in I} \gamma_i p_i q_i,$$

Ouyangら (2020)



## 将来性に関するLCA

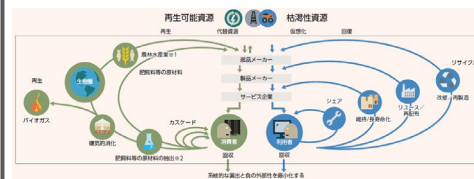
有望な要素技術に対して大規模導入前に技術の経済性・環境性に関する早期の技術アセスメントを行い、技術開発の熟度、技術の変化、スケールアップなどの特性を考慮したLCA手法の開発が進む。



Prospective LCA手法の例 (東大・菊池ら)

## リサイクル

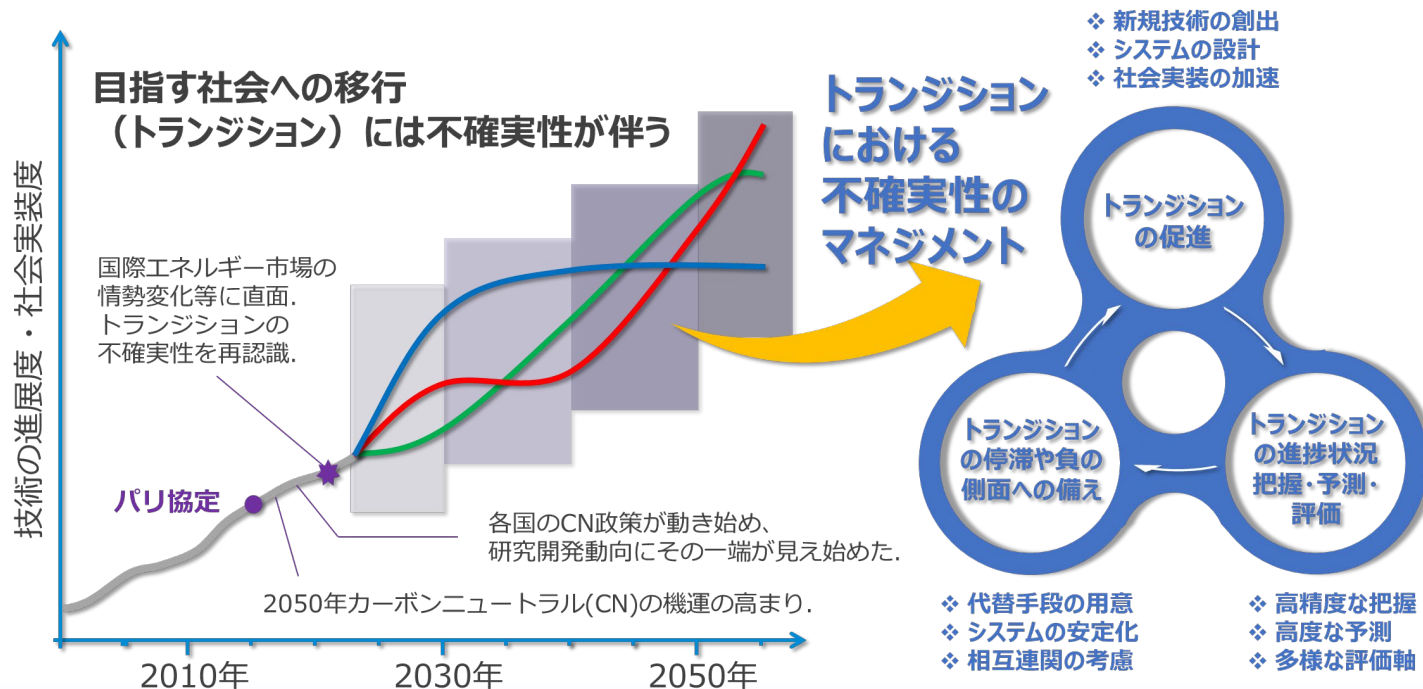
炭素材料のケミカルリサイクルや金属回収の技術開発が活発。一方で循環資源の情報集約・共有の仕組みやLCAなどの評価研究は現状不十分。静脈・動脈連携も今後の課題。



サーキュラーエコノミー (環境省資料より)

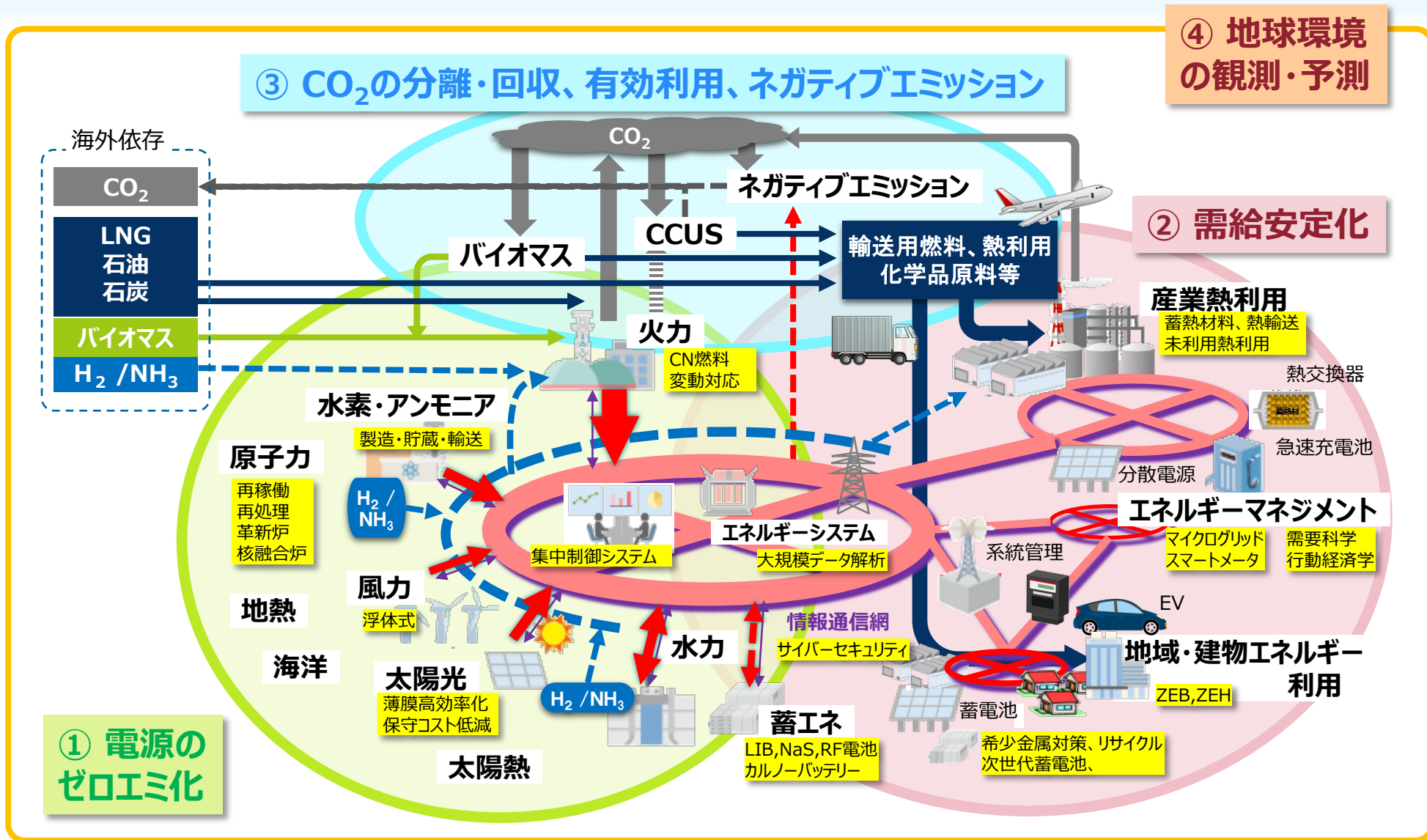
# 俯瞰報告書のまとめ

- 環境・エネルギー分野における顕著な研究開発動向はカーボンニュートラル実現に向けた取り組み。
- 基礎・基盤的研究に加えて社会実装加速、システム構築が重要課題に。
- カーボンニュートラル社会への移行（トランジション）には様々な不確実性が伴う。これら不確実性のマネジメントも重要課題。
- 今後は以下3つの柱を念頭に、社会とともに研究開発を推進していく必要。
  - ① トランジションの促進
  - ② トランジションの状況把握・予測・評価
  - ③ トランジションの停滞や負の側面への備え



# 參考資料

# CNの実現に向けた研究開発動向





# ①電源のゼロエミ化： 再生可能エネルギー発電の導入促進

## ■風力

- **風車の大型化**：2022年時点の商用機で定格出力12,000kW・ロータ直径220m.
- **洋上風力の安定利用に向けたシステム構築**：北海・バルト海でのEnergy Island Plan（右図）.

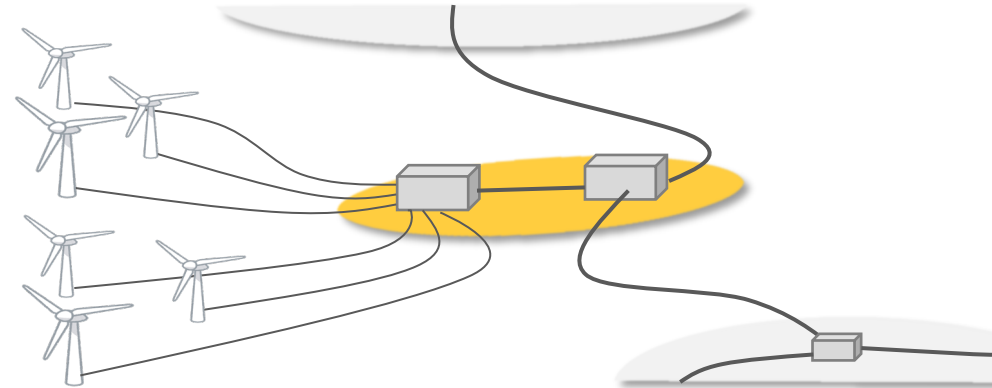
## ■太陽光

- **発電コストの低下**：大規模太陽光発電所の加重平均発電コストは0.048 USD/kWh（日本では0.086 USD/kWh）. 更なるコスト低減に向け変換効率向上、適用範囲拡大、耐久性向上等が課題（右図）.

## ■太陽熱

- **システム構築による低コスト化**：商業用太陽熱発電（CSP）/太陽光発電（PV）ハイブリッドプラントの導入開始.
- **蓄熱発電（カルノーバッテリー）**：太陽光発電や風力発電からの電力を熱に変換して夜間等に熱発電. ウクライナ情勢を受けて再注目され蓄熱技術の応用先として期待高まる.

## デンマークのエネルギーアイランド計画



Danish Energy Agency HPを参考にCRDSにて図作成

- ウィンドファームからの電力を集約しデンマーク国内と近隣国（ドイツ等）に送電する直流高圧送電施設を建設.
- 完全な人工島と既存の島（ボーンホルム島）が候補地.
- 設備容量各3GW. 将来的にCN燃料の製造・輸送拠点化も視野.

## 太陽光発電に関連する研究開発

### 太陽電池セル

- シリコン系
- 化合物系
- 有機系
- 多接合

×

### 適用範囲拡大

- 建築物一体型
- 水上設置
- 営農型
- 車載

### 運用

- 劣化機構
- 火災・関電
- スマート保守
- 日射量予測
- 慣性力（インバータ）
- リサイクル

# ①電源のゼロエミ化：燃料の転換

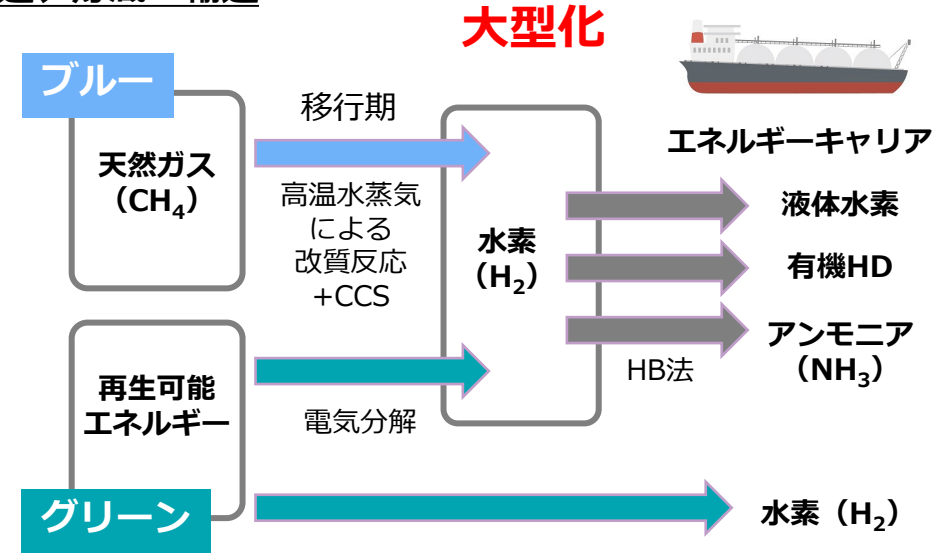
## ■ CN燃料への転換

- ・ **グリーン水素**（再エネ由来電力）
- ・ **ブルー水素**（化石資源の改質反応 + 副生CO<sub>2</sub>の回収・貯留）
- ・ エネルギーキャリア（**アンモニア**は日本が先行検討）

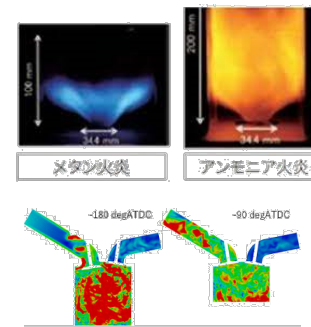
## ■ 製造、貯蔵・輸送、利用

- ・ 現在は実証試験段階。サプライチェーン構築や産業化に向け、大型化や長期運転での経済性・信頼性向上が引き続き課題に。
- ・ **水素製造**：アルカリ水電解やプロトン交換膜（PEM）形水電解が実用・実証段階。研究段階にあるアニオン交換膜形水電解は貴金属の使用を避けられる特徴等があり関心集める。
- ・ **水素・アンモニア高濃度燃焼（専焼）**：アンモニア混焼の実証試験が計画されている。専焼化に向けた主な技術課題は空力や燃焼等の熱流体制御と、高温部品の耐久性等の材料制御。これらの知見のデジタルツイン技術への応用による開発スピードの高速化も期待されている。

## 製造、貯蔵・輸送



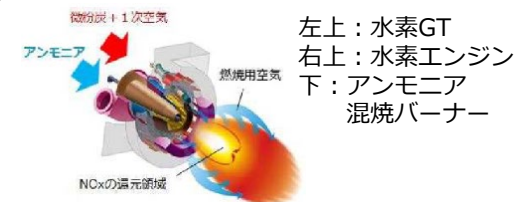
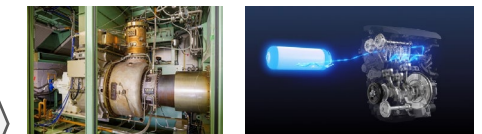
## 利用



SIP「エネルギーキャリア」(2014-2018) 成果

## 耐久性

(材料脆化・窒化、NO<sub>x</sub>抑制)



左上：水素GT  
右上：水素エンジン  
下：アンモニア混焼バーナー

出所 資源エネルギー庁、NEDO、JST 各HP

## ②需給安定化：蓄エネルギー技術

電源の負荷平準化、非常用電源、デマンドレスポンス（需要側での電力使用制御）、変動性再生エネの余剰吸収等、様々な機能を担う多用途な蓄電システムの構築が求められるようになっている。

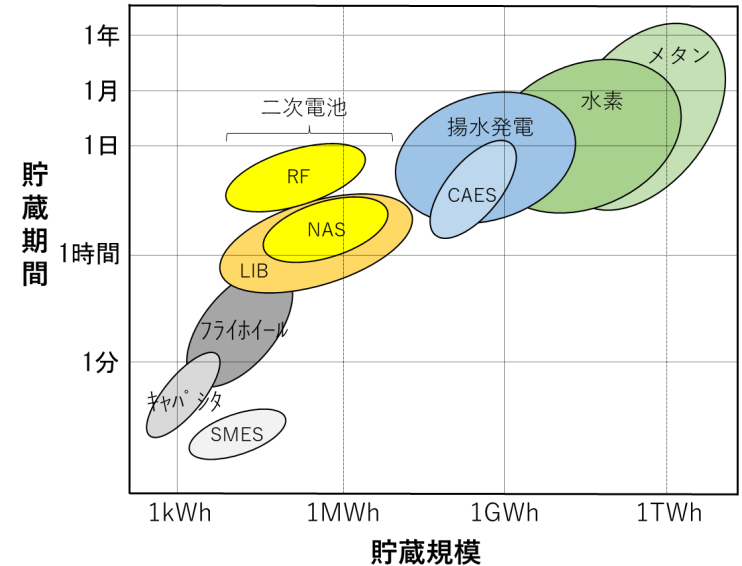
### ■蓄電

- 比較的短時間での制御が求められる状況で役割大。
- LIB（リチウムイオン）、NAS（ナトリウム・硫黄）電池、RF（レドックスフロー）電池（バナジウム系、亜鉛・臭素系等）が中心。
- **全固体LIB**：日本が先行。安全性や充電短時間化を目的にEV用で主に実施。系統用は将来課題。
- **RF電池**：大型・設置式で注目。LIB生産量が多い中国でも開発に投資。非バナジウム系材料の研究の他、低コスト化も課題（NAS電池も同様）。

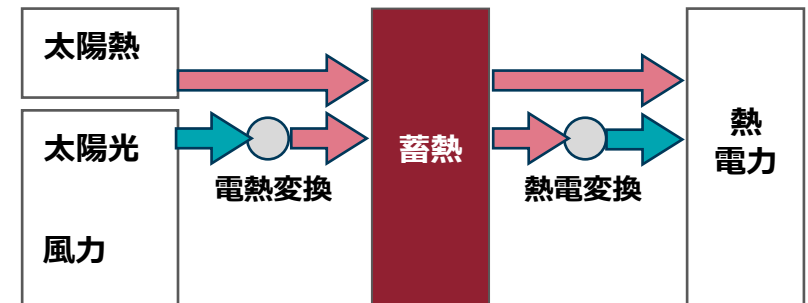
### ■蓄熱

- 熱貯蔵はMWh、GWhオーダーの低コスト蓄エネ技術。電力のほか産業部門の熱利用にも活用可能。
- 電力を熱に変換し蓄熱を介して発電するカルノーバッテリーが欧州中心に再注目。
- 溶融塩、岩石・砕石、液化空気、潜熱蓄熱材、化学蓄熱材といった多様な蓄熱材料の開発が進む。

## 蓄エネルギー技術の種類



## 蓄熱



## ②需給安定化：調整力創出・需要科学

VRE（変動性再エネ）や需要家内のDER（分散電源）の導入拡大に伴って生じる様々な問題に対処するための研究開発に重点置かれる。

- 需給バランス維持困難化（発電予測・制御の困難）
- 電気の流れの複雑化（送電網と配電網の相互作用）
- 電力システムの慣性不足による安定性の低下

### ■調整力の創出

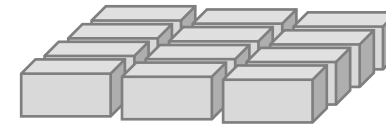
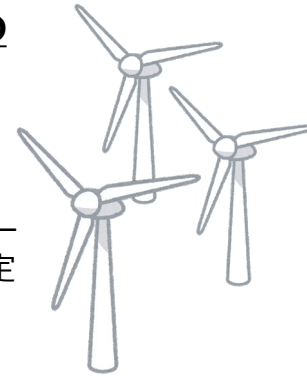
- VRE、DER統合型の調整力（柔軟性：flexibility）創出に向けた研究開発進む。
- VRE予測向上と電力システムの計画・運用への適用
- 疑似慣性機能を担うインバーターの開発・試験評価
- 蓄電池を活用したシステムの構築（例：南オーストラリア州、右図）

### ■需要科学とエネルギーデータサイエンス

- スマートメーター導入が世界的に進む中、メーターから得られる需要家の消費電力データの解析技術開発（例：機器単位の電力消費パターンの推定）、および各種サービスへの活用が進む。
- 日本では2024年度以降に第1世代から第2世代への移行が順次進行予定（右図）。

## 豪SA州 Hornsdale Power Reserveのグリッドスケールバッテリー

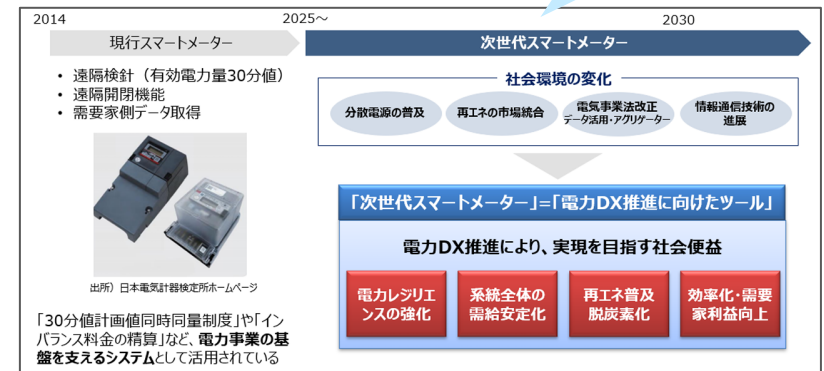
- 世界最大規模の大規模蓄電池システム（150MW/193.5MWh、2020年）
- 系統に対する慣性力提供技術がエネルギー市場オペレーター（AEMO）から正式認定



## スマートメーター

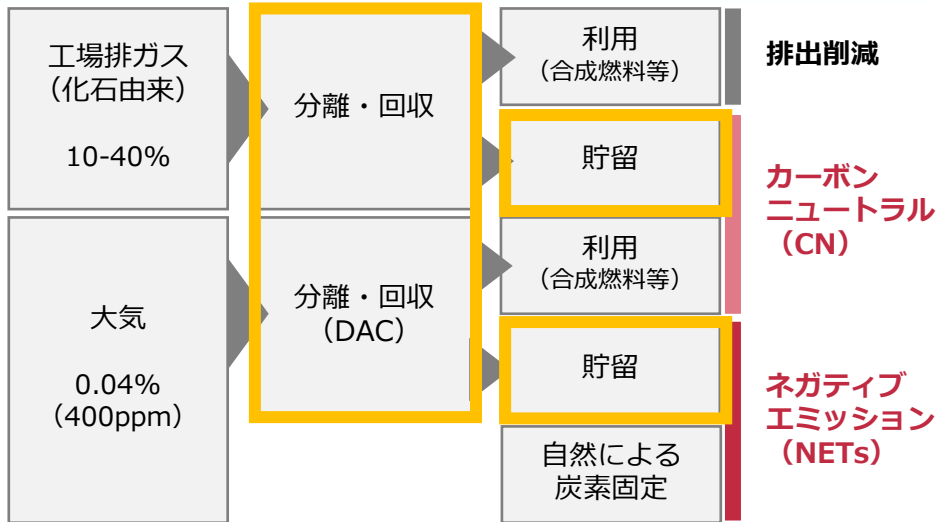
- 2024年度までにGen1設置完了
- 2024年度からGen2設置開始

• 30分値に加え5分値、1分値も計測  
• データ提供先が小売事業者以外に拡大



図出所 METI 次世代スマートメーター制度検討会

### ③CO<sub>2</sub>の分離・回収、有効利用、ネガティブエミッション

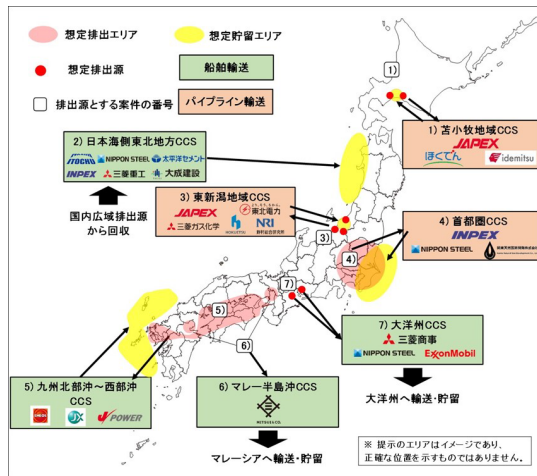


#### ■分離・回収

- 液体による吸収（アミン系化学吸収液、メタノール等の物理吸収液）が最も成熟した技術。
- 新規技術：新規吸収液（非水溶媒や相分離液）、固体吸着材/吸収材、分離膜を用いた分離回収プロセスの研究開発が進む。
- 大気直接回収（DAC）：欧米先行で実証試験を盛んに実施。アジアでは日本が積極的（MS事業等）。
- 工程エネルギーもCO<sub>2</sub>フリーである必要（再エネ利用が前提）。

#### ■貯留 (CCS)

- 枯渇石油/ガス田への注入、石油増産回収（EOR）、塩水性帯水層貯留（キャップスロック下の帯水層貯留）等が検討されている。
- 帯水層貯留：CO<sub>2</sub>貯留の安定性が最も高い技術と目される。帯水層の適地探索、封入CO<sub>2</sub>のモニタリング技術が課題。
- マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入技術：原油回収率の向上等に加えてCO<sub>2</sub>の効率的な貯留の観点から期待される。
- 光ファイバー方式：地中圧入CO<sub>2</sub>を低コストでモニタリングする技術として期待される。



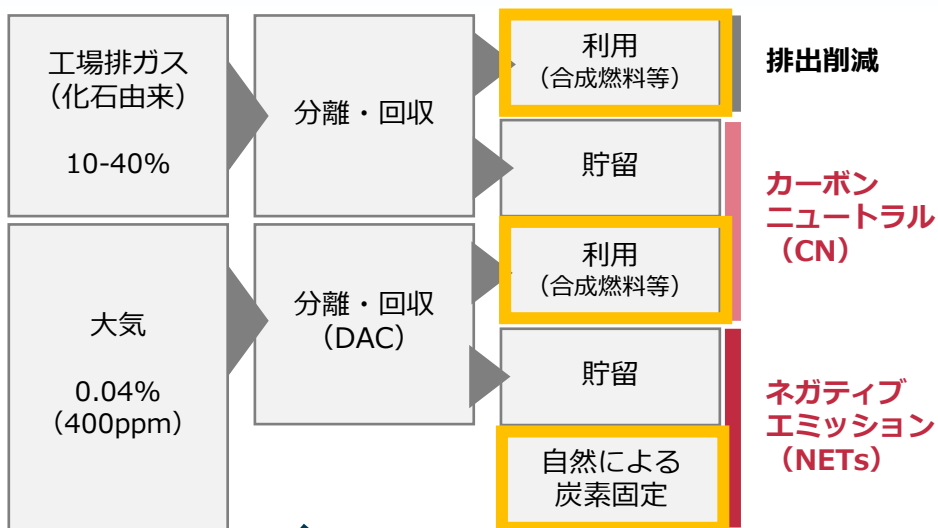
#### 日本におけるCCS事業例

国内貯留5件、海外輸送2件

2023/6/13 METIニュースリリース「JOGMECが先進的CCS事業を選定」



### ③CO<sub>2</sub>の分離・回収、有効利用、ネガティブエミッション



排出削減

カーボンニュートラル (CN)

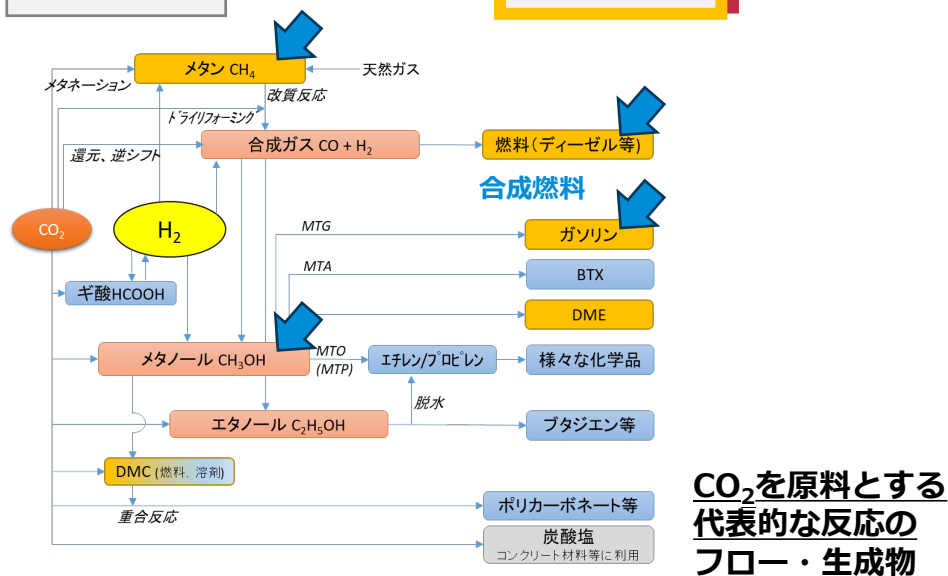
ネガティブエミッション (NETs)

#### ■利用 (CCU)

- 合成燃料、メタノール、合成メタン等多様 (左図)。
- 触媒開発、プロセス技術開発ともに精力的。
- クリーン水素を用いた触媒反応のみならず、再エネ由来電力を用いた直接電解合成の技術も進展中。
- CO<sub>2</sub>とグリーン水素のサプライチェーン接続が課題。チリHaru Oniプロジェクトが世界初の商業規模の統合型プラント実現を目指す。

#### ■自然による炭素固定

- 植林・再造林：炭素固定能力を最大化させる森林管理の研究や早生樹の開発等進む。他の生態系サービスとのバランスを重視する見方も強まる。
- 土壌炭素貯留・バイオ炭：農地土壌に蓄積する炭素量を効果的に増加させる技術開発や仕組み構築が各国で進行 (例：カーボンファーム)。
- ブルーカーボン：単位面積あたりCO<sub>2</sub>吸収量の評価やその拡大、面積の把握・拡大等に係る技術開発が進む。深海貯留や難分解性有機炭素による海中貯留等、炭素貯留プロセスの解明や海藻養殖に向けた検討等も進む。
- 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のポテンシャルを見極めるための検討が進む。



CO<sub>2</sub>を原料とする  
代表的な反応の  
フロー・生成物

(注) (燃料) (化学品) BTX: benzene-toluene-xylene DMC:ジメチルカーボネート、DME:ジメチルエーテル

## ④地球環境の観測・予測

IPCC評価報告書への貢献を通じて関連研究も進展。

- ・ 大規模アンサンブル実験の導入
  - ・ イベント・アトリビューションの実施
  - ・ WG1報告書で「水循環の変化」が独立章に
- グローバルストックテイクへの貢献期待も高まる。

### ■観測データの統合的な解析

- ・ 衛星・航空機・地上・船舶観測等の**多様な観測データを統合解析**するデータ科学的研究が活発。
- ・ データ同化による**観測と予測の連携強化**。

### ■データ解析プラットフォームの普及

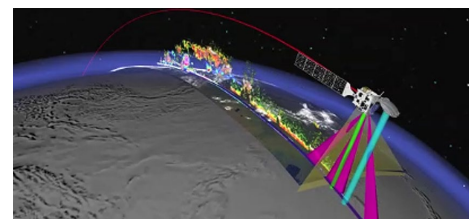
- ・ クラウドコンピューティングを利用して大量の観測データが解析できる**オープンな研究プラットフォーム**が定着。Google Earth Engineが代表的だが国内ではTellusも注目される。

### ■予測の高度化

- ・ **十年規模変動**の予測と要因分析の重要性高まる。
- ・ 気候変動影響のより詳細な把握や排出削減シナリオ探索等のため**地球システムモデルの一層の高度化**が課題（大気化学や生態系の組み込み）。
- ・ パラメータチューニングやモデリング効率化への**機械学習の活用**検討。

## EarthCARE開発

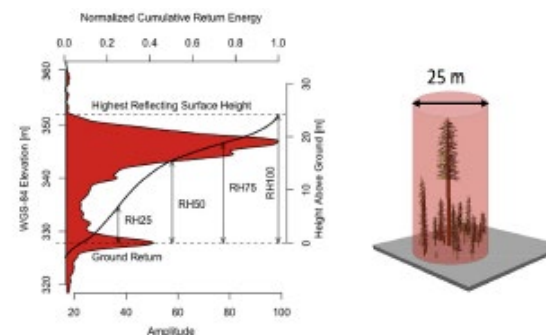
全球の雲とエアロゾルの3次元分布を観測することにより気候モデルの予測精度向上への貢献を目指す。雲の上下方向の移動速度を計測するセンサー（JAXA・NICT）を世界初で搭載。



EarthCARE観測イメージ ©JAXA

## GEDIからのデータ公開

米NASAとメリーランド大による生態系観測ミッションGEDIからのデータ公開。解像度は粗いが新規データであり研究への活用が進む。



図出典 R.Dubayah et al.