

JST研究開発戦略センターセミナー

研究開発の俯瞰と潮流 ～科学技術イノベーションの動向と日本の活路～ 「カーボンニュートラル実現に向けた 研究開発動向」

2023年8月25日

JST研究開発戦略センター(CRDS)
環境・エネルギーユニット
中村亮二



発表内容

1. 気候変動に関する社会の状況

2. カーボンニュートラル（CN）実現に向けた研究開発の動向

- ① 電源のゼロエミッション化
- ② 需給安定化
- ③ CO₂の分離・回収, 有効利用, ネガティブエミッション
- ④ 地球環境の観測・予測

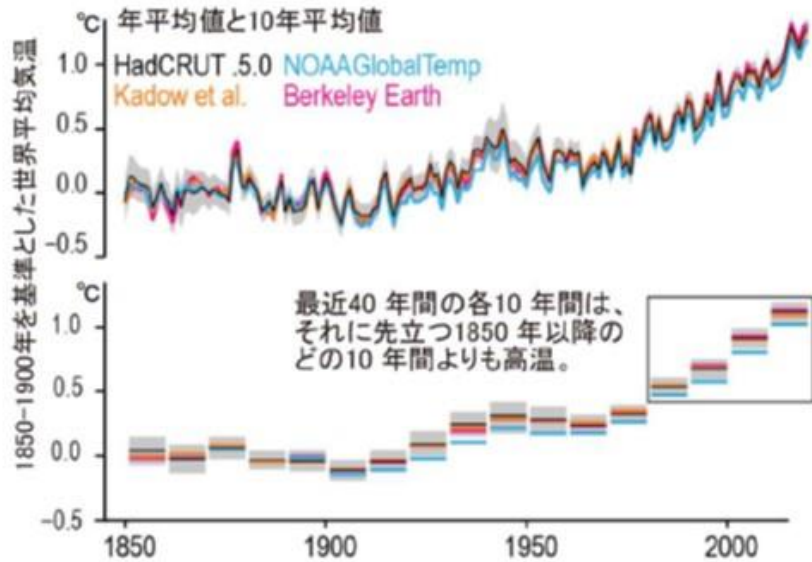
3. まとめ

1. 気候変動に関する社会の状況

気候変動の今

世界平均気温

2011-2020年 +1.09℃
(1850-1900年比)

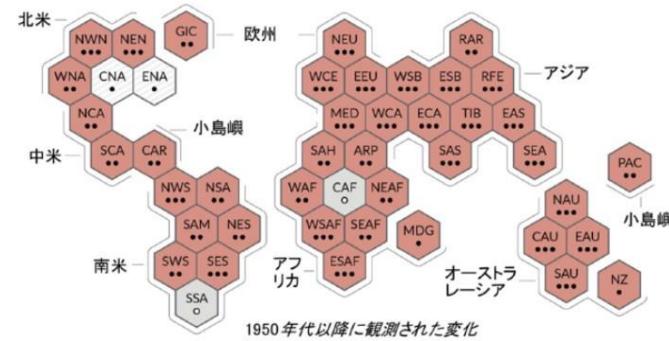


左図 観測で得られた1850～2020年の気温変化（1850-1900年を基準とした値）
右図 （上）世界中の地域で観測された極端な高温の変化、およびその変化に対する人間の寄与に関する確信度の統合的評価（赤は増加を意味する）、（下）世界中の地域で観測された大雨の変化、およびその変化に対する人間の寄与に関する確信度の統合的評価（緑は増加を意味する）。

出所 環境省HP 第6次評価報告書（AR6）サイクルにおける各報告書
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>（2023年8月1日アクセス）

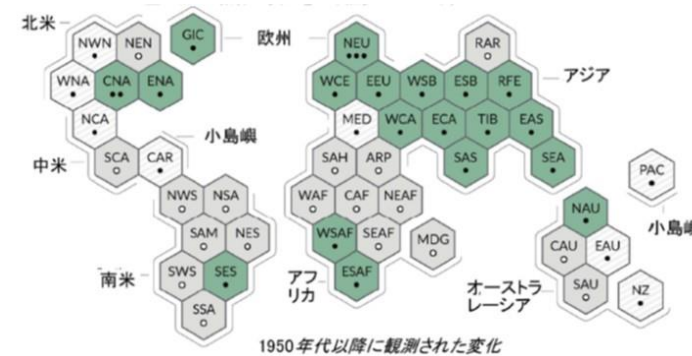
極端現象への影響

極端な高温



“10年に1回”
↓
頻度2.8倍
強度+1.2℃

大雨



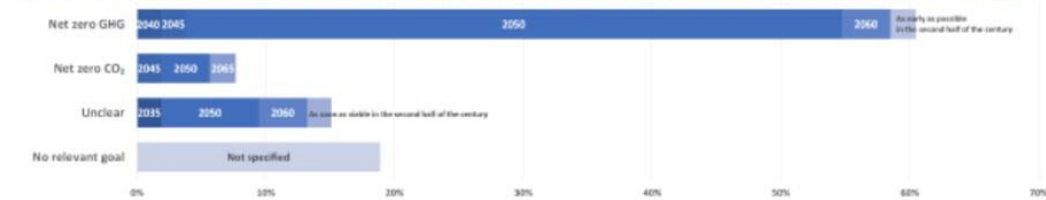
“10年に1回”
↓
頻度1.3倍
強度+16.7%

気候変動に対する世界の取り組み状況

パリ協定締約国の姿勢

- 193の締約国・地域のうち62の国・地域が長期戦略を策定（世界のGDPの83%、2019年の総エネルギー消費量の約69%）。
- そのうち温室効果ガス（GHG）排出の正味ゼロ（ネットゼロ）を掲げる国・地域は62%。大半は2050年を目標年に設定。

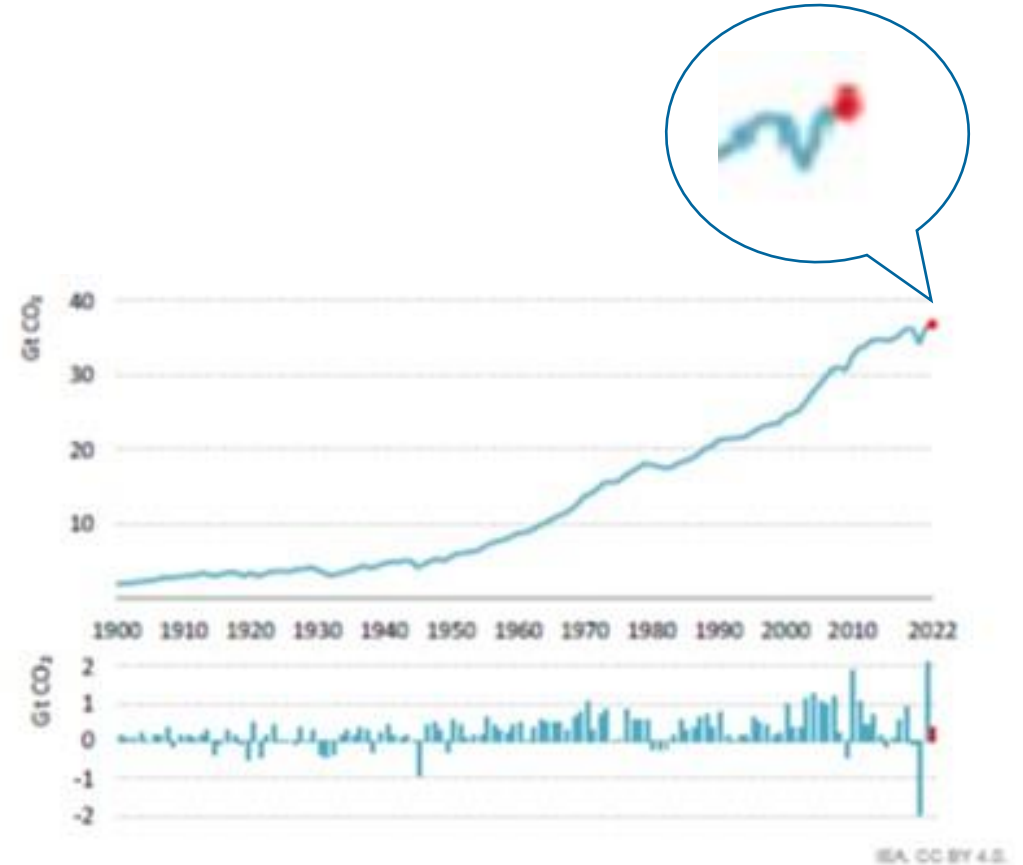
Share of net zero emissions references and time frame indicated in long-term low-emission development strategies



Note: The total percentage exceeds 100 per cent. For the purpose of analysis, multiple long-term mitigation goals in a single LT-LEDS were counted separately. For example, when a Party included both net zero CO₂ emissions and net zero GHG emissions with different time frames, both are counted in the figure.

図出所 UN (2022) Long-term low-emission development strategies. Synthesis report by the secretariat

人為起源のGHG排出量



図出所 IEA (2023) CO₂ Emissions in 2022 <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022> (2023年8月1日アクセス)

EU、米国の政策的対応



◆ 2050年GHG排出ネットゼロに向けた長期戦略 :

- ① 省エネ
- ② 電力の脱炭素化 (再エネ)
- ③ モビリティ (電化、CN燃料、スマート化)
- ④ 産業と循環型経済 (熱源の脱化石燃料化、CCS)
- ⑤ インフラ整備 (デジタル化、CN燃料)
- ⑥ バイオ経済と森林吸収源 (農業、植林)
- ⑦ 固定排出源でのCCS

◆ REPowerEU : ロシア産化石燃料からの脱却とGHG排出削減の両立に向けた政策.

- ① 省エネ推進
- ② エネルギー調達先多様化 (LNG)
- ③ クリーンエネルギー普及加速 (太陽光・風力、再エネ由来水素、バイオメタン)

◆ 研究・イノベーション枠組みHorizon Europe (2021-2027) : 予算の35%を気候変動対策へ.



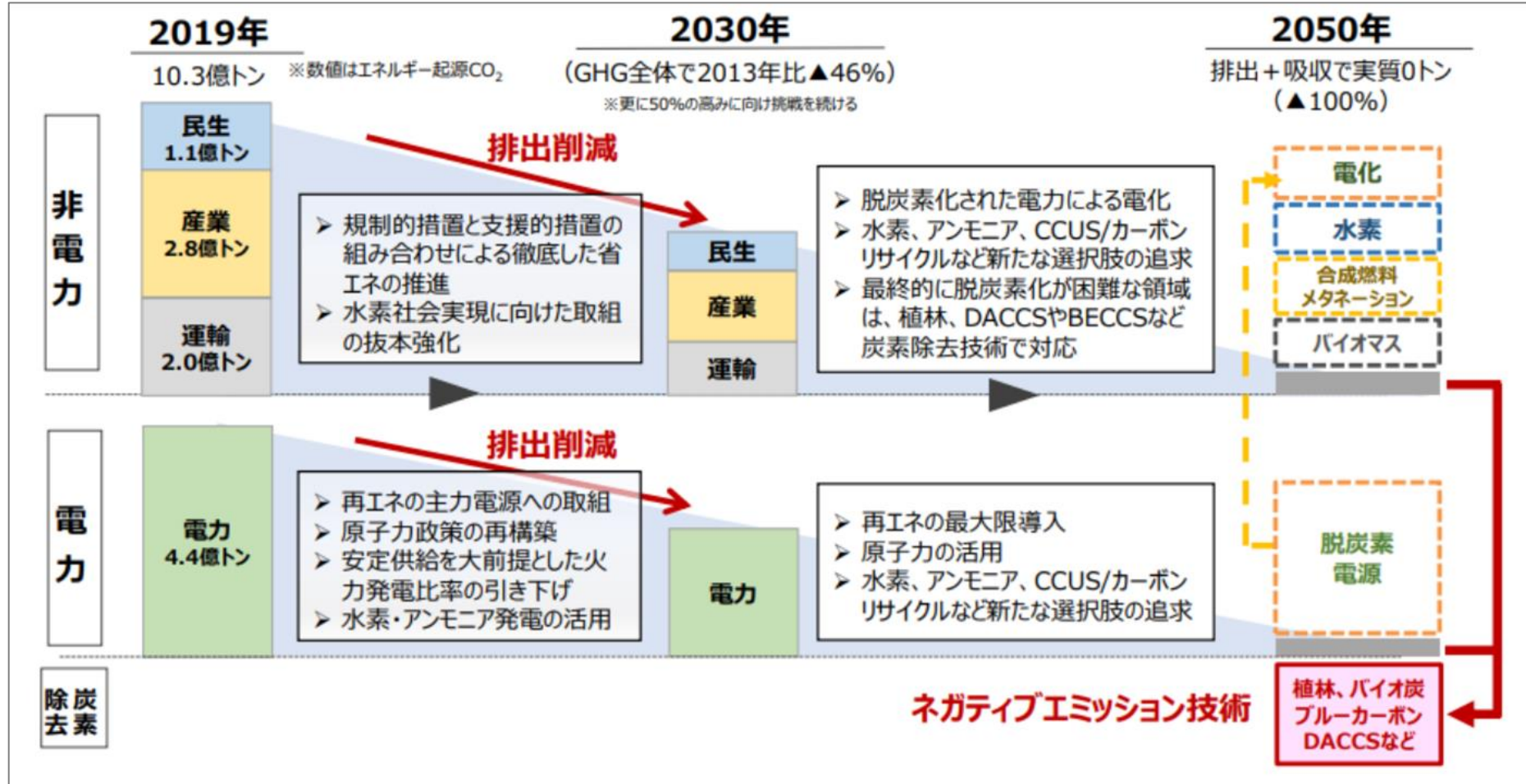
◆ 2050年GHG排出ネットゼロに向けた長期戦略 :

- ① 電力の脱炭素化 (再エネ、CCS付き火力)
- ② エネルギー転換 (水素、CN燃料、電化)
- ③ 省エネ (輸送、建物、産業)
- ④ 非CO₂排出削減 (メタン、N₂O、Fガス)
- ⑤ CO₂除去拡大 (自然の活用、工業的手法)

◆ インフラ投資・雇用法、インフレ抑制法 : 気候変動対策とエネルギー安全保障に対応した包括的法案. 前者ではエネルギーインフラへの投資やクリーン水素ハブ構想、後者では税額控除等が注目される. クリーンエネルギー技術や環境修復・レジリエンス強化関連R&Dも.

◆ 2024年度予算教書 : エネルギー価格の抑制、気候危機への対応を優先課題に挙げる. 研究開発面でも気候変動への取り組みを重視 (気候科学、クリーンエネルギーと気候技術のイノベーション、適応とレジリエンス、自然を活用した解決策、温室効果ガスモニタリング) .

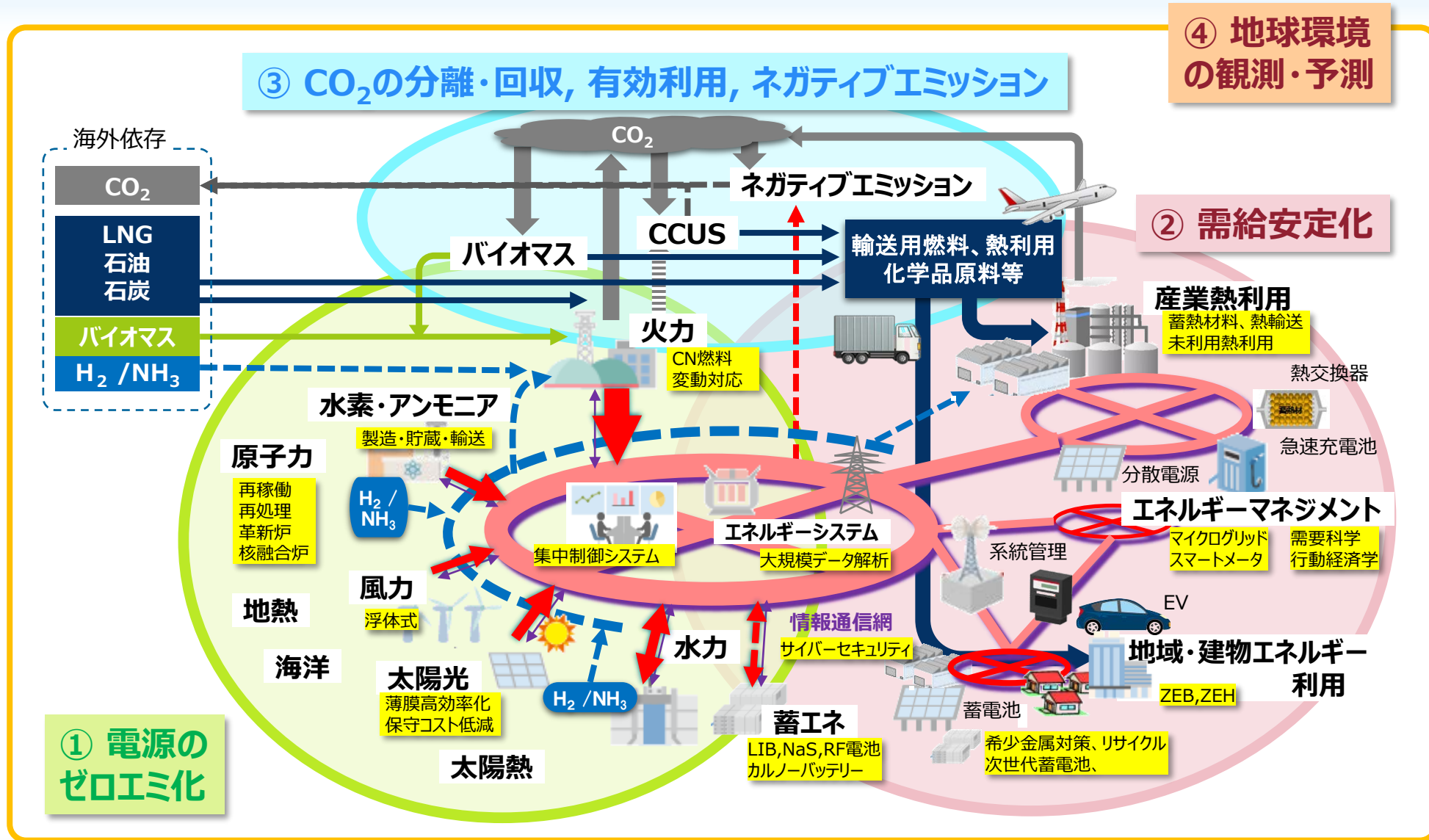
日本のカーボンニュートラル（CN）実現イメージ



図出典 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 産業構造転換分野ワーキンググループ 第6回（2022年2月17日）資料6から抜粋

2. カーボンニュートラル（CN）実現に向けた研究開発の動向

CNの実現に向けた研究開発動向



①電源のゼロエミッション化： 再生可能エネルギー発電の導入促進

関連する研究開発領域名：

太陽光発電

風力発電

太陽熱発電・利用

■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**（右図）

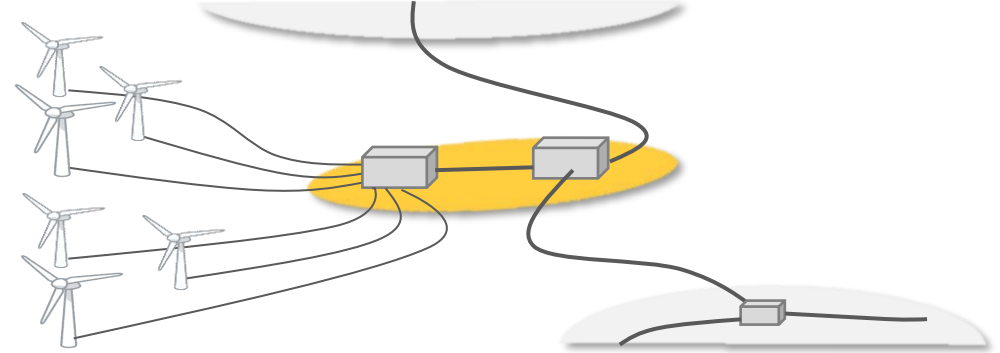
■太陽光

- **発電コストの低下**：メガソーラーの加重平均発電コスト0.048 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

- 商業用の太陽熱発電/太陽光発電ハイブリッドプラントの導入開始（更なる低コスト化へ）.
- **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。蓄熱技術の応用先として関心高まる。

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

- ウイ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	×	適用範囲拡大	運用
<ul style="list-style-type: none"> • シリコン系 • 化合物系 • 有機系 • 多接合 		<ul style="list-style-type: none"> • 建築物一体型 • 水上設置 • 営農型 • 車載 	<ul style="list-style-type: none"> • 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電源のゼロエミッション化： 燃料の転換

関連する研究開発領域名：

火力発電

水素・アンモニア

反応性熱流体

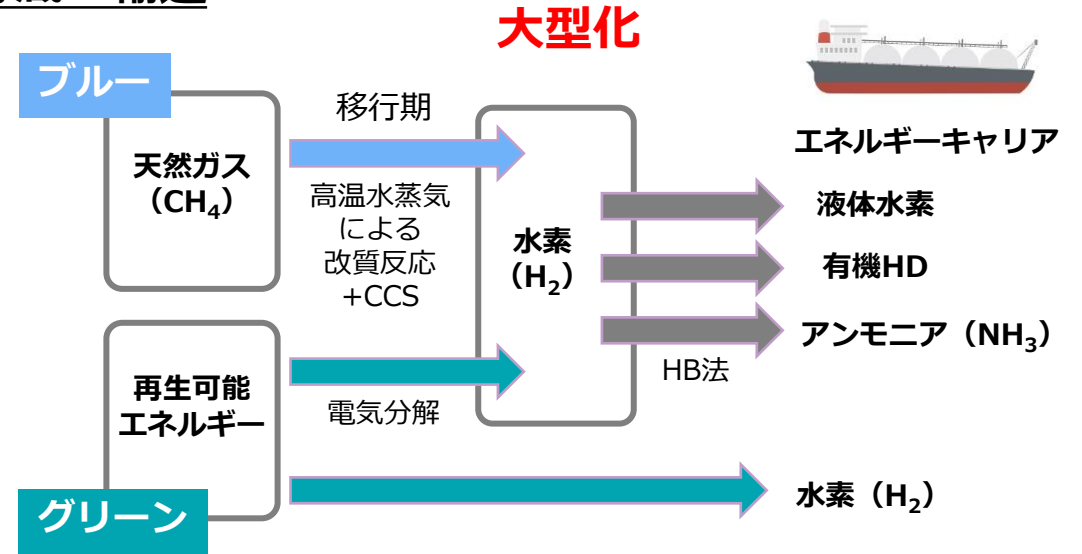
■CN燃料への転換

- ・ **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CO₂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）

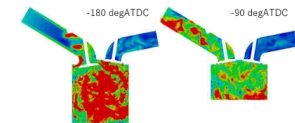
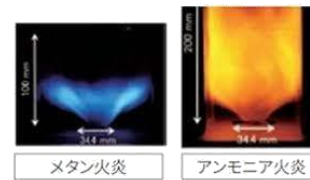
■製造、貯蔵・輸送、利用

- ・ 供給網構築や産業化に向けた実証試験段階。
- ・ 大型化や長期運転での経済性・信頼性向上が課題。
- ・ **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。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研究段階だが関心集める。
- ・ **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。デジタルツインへの応用による開発期間短縮への寄与にも期待。

製造、貯蔵・輸送



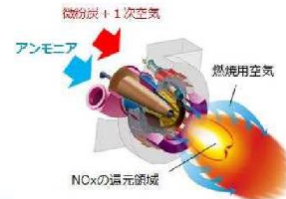
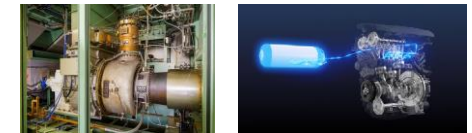
利用



SIP「エネルギーキャリア」
(2014-2018) 成果

耐久性

(材料脆化・窒化、NOx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

関連する研究開発領域名：

蓄エネルギー技術

産業熱利用

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）、変動性再エネの余剰吸収等、様々な機能を担うことが求められる。

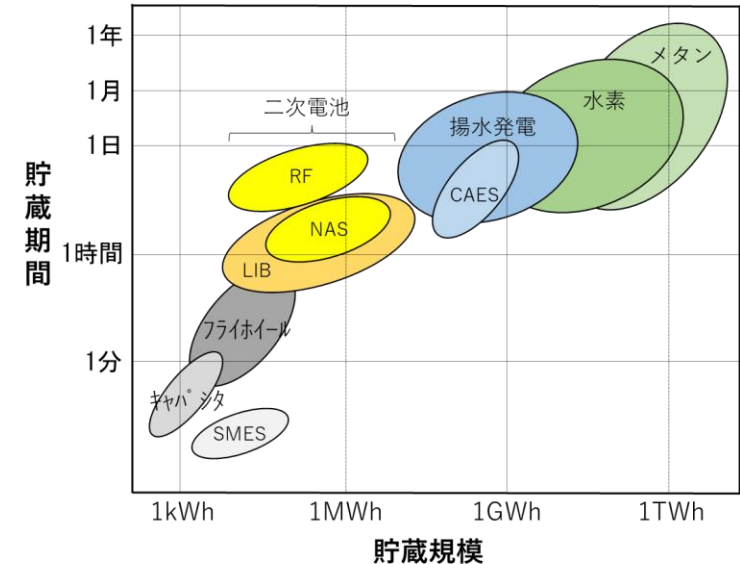
■蓄電

- 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。
- **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）。

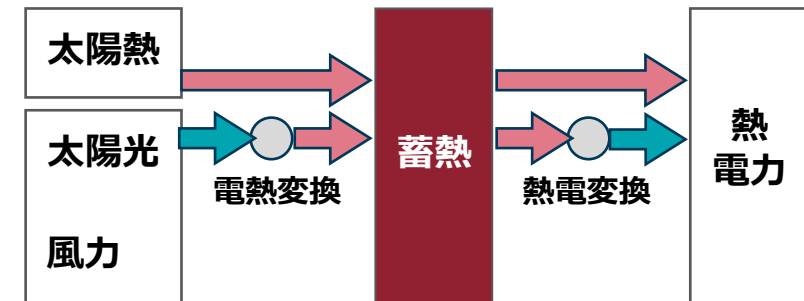
■蓄熱

- MWh、GWhオーダーの低コスト蓄エネ技術。
- 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（再掲）。
- 熔融塩、岩石・砕石、液化空気、潜熱蓄熱材、化学蓄熱材等の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

関連する研究開発領域名：

エネルギーマネジメントシステム

エネルギーシステム・技術評価

変動性再エネ（VRE）や需要家内の分散電源（DER）の導入拡大に伴って生じる様々な問題への対処が課題。

- 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（柔軟性）の創出

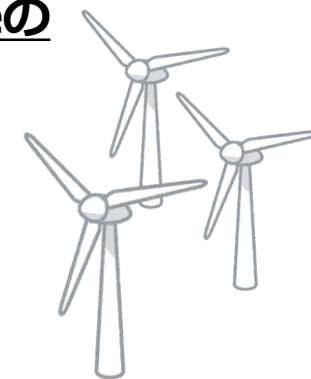
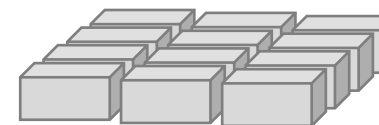
- VREの予測精度向上および電力システムの計画・運用への適用
- 疑似慣性機能を担うインバーターの開発・試験評価
- 蓄電池を活用したシステムの構築（右図）

■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を解析する技術の開発（例：機器単位の電力消費パターンの推定）や各種サービスへの活用検討が進む。
- 日本では2024年度以降に第2世代へ移行予定（右図）。

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

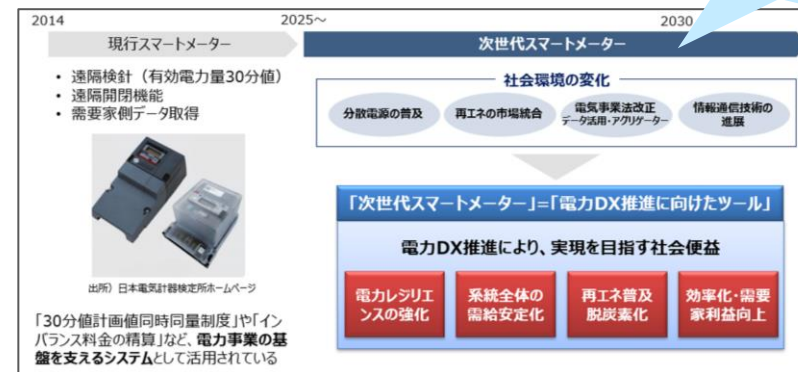
- 世界最大規模の大規模蓄電池システム（150MW/193.5MWh、2020年）
- 系統に対する慣性力提供技術がエネルギー市場オペレーター（AEMO）から正式認定



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

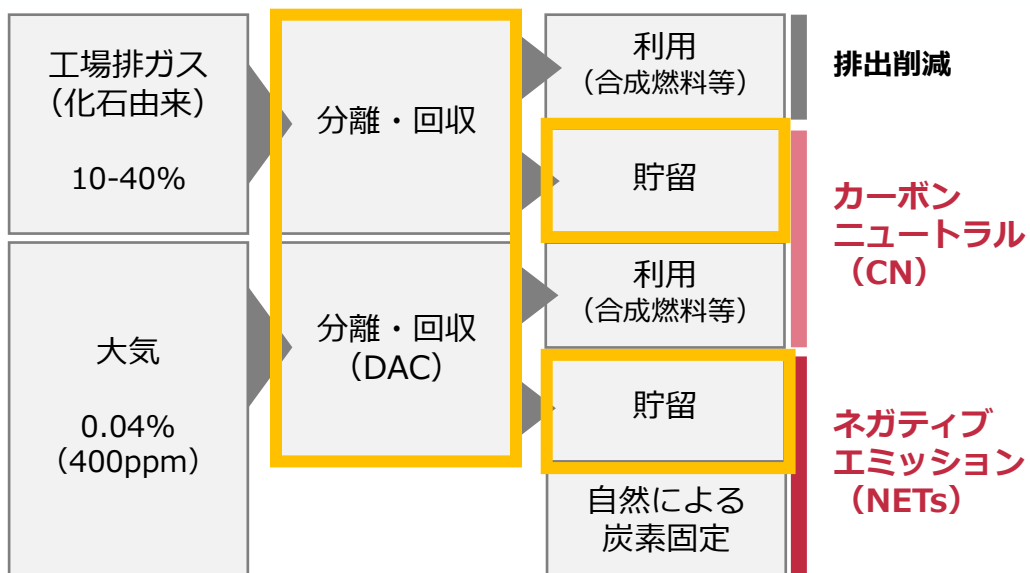


図出所
METI 次世代スマートメーター制度検討会

③CO₂の分離・回収, 有効利用, ネガティブエミッション

関連する研究開発領域名:

CO₂回収・貯留 (CCS)

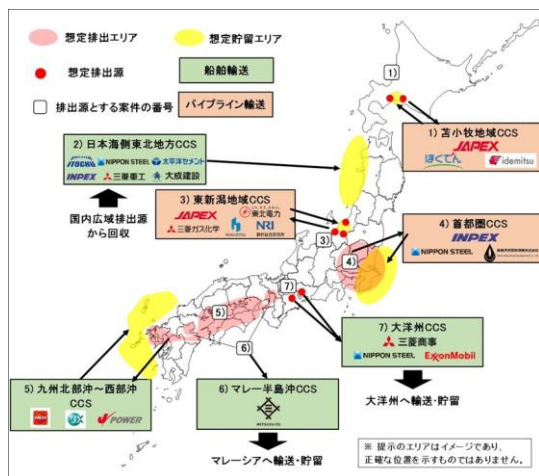


■分離・回収

- アミン系化学吸収液、メタノール等の物理吸収液が中心.
- **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)** : 欧米が先行的に実証試験実施. アジアでは日本が積極的 (MS事業等).
- 工程を通したCO₂フリー (再エネ利用) が前提.

■貯留 (CCS)

- **帯水層貯留** : CO₂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CO₂のモニタリング技術が課題.
- **マイクロバブルCO₂圧入技術** : 原油回収率の向上等に加えてCO₂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CO₂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

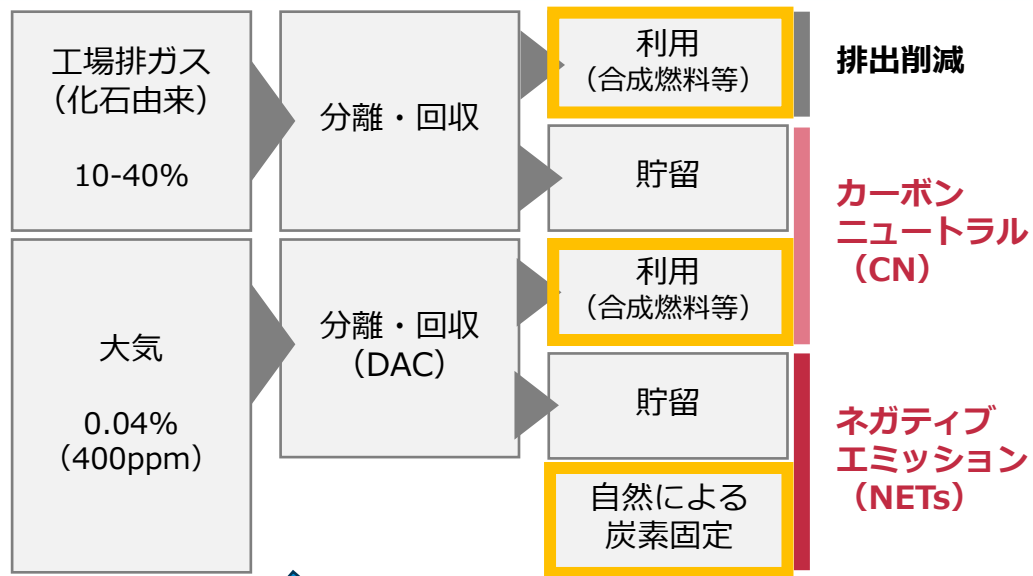
2023/6/13 METIニュースリリース「JOGMECが先進的CCS事業を選定」

③CO₂の分離・回収, 有効利用, ネガティブエミッション

関連する研究開発領域名:

ネガティブエミッション技術

CO₂利用

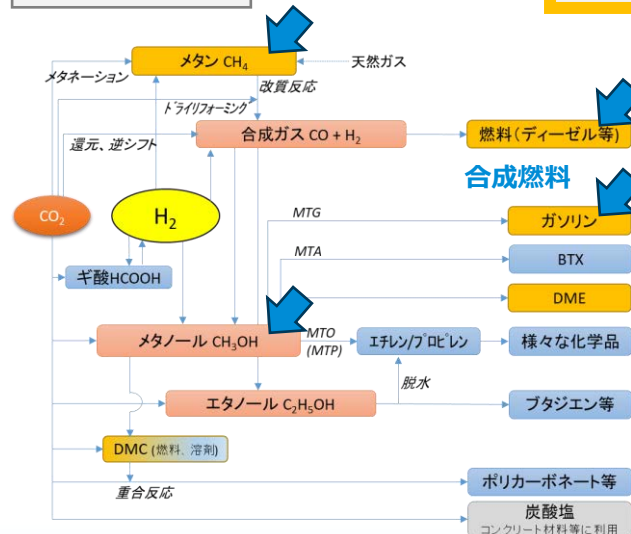


■利用 (CCU)

- 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.
- CO₂と水素 (電力) のサプライチェーン接続が課題. チリHaruOniプロジェクトが世界初の商業規模の統合プラント実現を目指す.

■自然による炭素固定

- **植林・再造林**: 森林管理の在り方、早生樹の開発、他の生態系サービスとのバランス等に関する研究開発.
- **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ing) .
- **ブルーカーボン**: 単位面積あたりCO₂吸収量や分布面積の把握・拡大、難分解性有機炭素による海中貯留等の炭素貯留プロセスの解明、海藻養殖に向けた検討等.
- **風化促進**: 玄武岩等の岩石を粉砕・散布し風化を人工的に促進する技術の可能性を見極める検討.



CO₂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

関連する研究開発領域名：

CO2利用

ネガティブエミッション技術

IPCC評価報告書への貢献を通じて研究も進展（大規模アンサンブル実験の導入、イベント・アトリビュション実施、「水循環」関連情報の充実化）。

■観測データの統合的な解析

- 衛星・航空機・地上・船舶等からの多様な観測データの統合的な解析（データ科学）が活発。
- データ同化による観測と予測の連携強化の動きも顕著。

■データ解析プラットフォームの普及

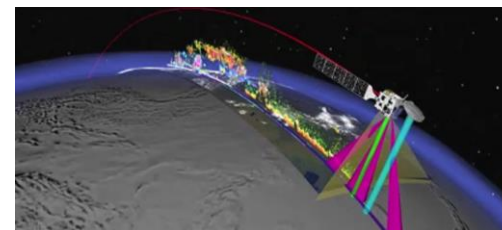
- クラウドコンピューティングを利用して大量の観測データが解析できるオープンな研究プラットフォームが定着（例：Google Earth Engine、Tellus）。

■予測の高度化

- 十年規模変動の予測および要因分析への期待高まる。
- 気候変動影響のより詳細な把握や排出削減シナリオの探索等のため地球システムモデルの高度化（例：大気化学や生態系の組み込み）にも注力。
- 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も関心高まる。

EarthCARE開発

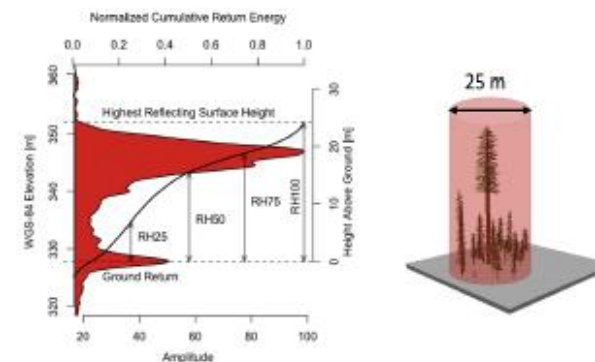
全球の雲とエアロゾルの3次元分布を観測することにより、気候モデルの予測精度向上への貢献を目指す。雲の上下方向の移動速度を計測するセンサー（JAXA・NICT）を世界初搭載。



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。



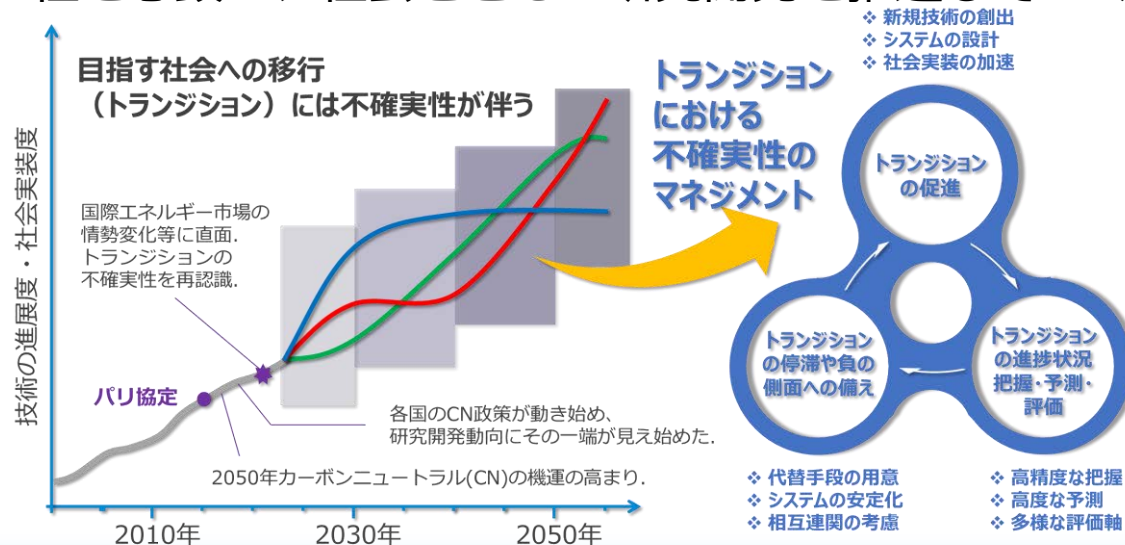
図出所 R.Dubayah et al. (2020) Science of Remote Sensing (オープンアクセス, CC BY-NC-ND license)

3. まとめ

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、
 - 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**

の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。



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

🔍 研究開発の俯瞰報告書

ご清聴ありがとうございました

最新の俯瞰報告書（2023年版）をご覧になりたい方はこちら



- 環境・エネルギー分野 ●システム・情報科学技術分野
- ナノテクノロジー・材料分野 ●ライフサイエンス・臨床医学分野
- 科学技術・イノベーション政策の国際動向
- 日本の科学技術・イノベーション政策の動向

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



日刊工業新聞連載 — 科学技術の潮流 —



2019年4月にスタートした
CRDSの日刊工業新聞連載
毎週金曜日に紙面に掲載、
1週間後にCRDS公式HPにて公開



<https://www.jst.go.jp/crds/column/choryu/index.html>



公式SNSで最新情報発信中



@CRDS_Japan



https://twitter.com/CRDS_Japan



@CRDSjapan



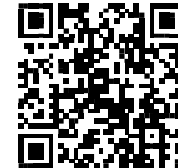
<https://www.facebook.com/CRDSjapan>

月刊メルマガ配信中

毎月15日（土日祝の場合は翌営業日）配信予定



登録はこちら



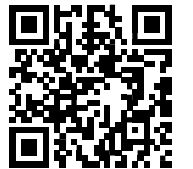
<https://www.jst.go.jp/melmaga.html#M01-06>



デイリーウォッチャー （海外記事検索）



科学技術に関連する、諸外国の
主要行政機関・研究機関の発表を
要約記事として日本語で提供



<https://crds.jst.go.jp/dw/>

国内外の研究開発動向やイノベーションについてご関心のある方は
お気軽にお問い合わせください



crds@jst.go.jp

參考資料

CRDSが注目する研究開発トピックス

気候変動予測

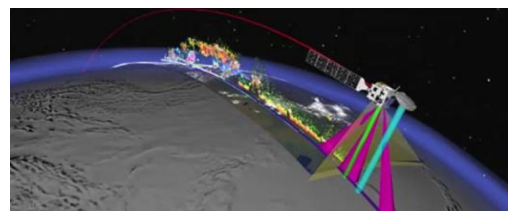
予測精度は着実に向上。加えて大規模アンサンブル実験に基づくイベント・アトリビューション解析、グローバル解析、十年規模予測など社会利用を意識した研究開発も活発。



IPCC第6次評価報告書 (出典 IPCC HP)

衛星観測

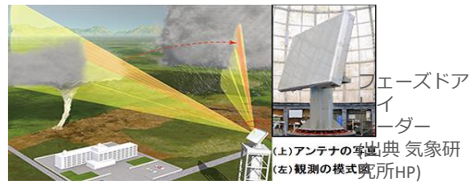
気候モデル予測精度を向上させる雲内部の構造や上下方向速度、エアロゾルの3次元分布を計測できる日欧共同のEarthCARE開発が進行。



EarthCARE観測イメージ ©JAXA

降水観測・予測

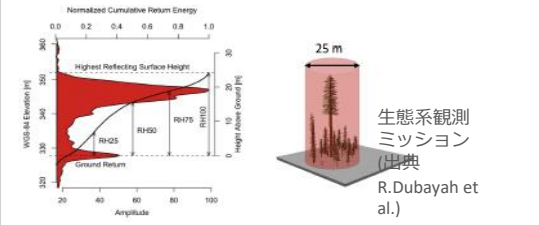
雨量観測が充実化。レーダー観測による雨量推定精度の向上や降水の迅速・3次元測定システムの開発等が進む。衛星観測で雪や弱い雨の観測も可能に。データ同化による降雨予測等、データ活用にも関心強まる。



フェーズドアレイレーダー
(上)アンテナの構造 (出典 気象庁HP)
(左)観測の模式図 (出典 HP)

生態系・生物多様性観測

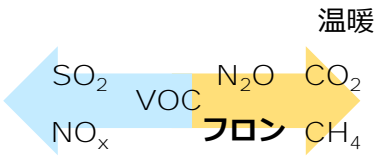
DNAデータの活用や3Dスキャンなど地上観測の手段が多様化。衛星やドローンなどによるリモートセンシングも発展。クラウド上のデータ解析ツール、サービスも充実化。



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。

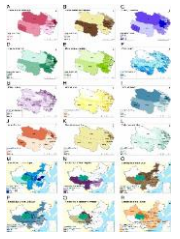


自然資本の価値評価

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。

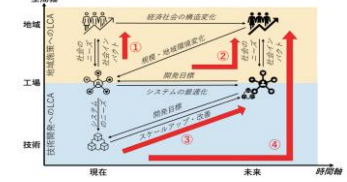
$$GEP = \sum_{i \in I} \gamma_i p_i q_i$$

Ouyangら (2020)



将来性に関するLCA

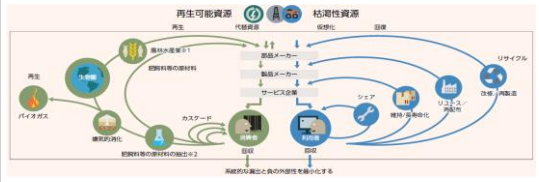
有望な要素技術に対して大規模導入前に技術の経済性・環境性に関する早期の技術アセスメントを行い、技術開発の熟度、技術の変化、スケールアップなどの特性を考慮したLCA手法の開発が進む。



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)

■ 作成担当 ■

中村 亮二 フェロー（環境・エネルギーユニット）

TP20230825-2

その他報告書

**研究開発の俯瞰と潮流 ～科学技術イノベーションの動向と日本の活路～
「カーボンニュートラル実現に向けた研究開発動向」**

令和5年8月 August 2023

ISBN 978-4-88890-872-6

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町

電話 03-5214-7481

E-mail crds@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/crds/>

本資料は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。

著作権法で認められた場合を除き、本資料の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

なお、本報告書の参考文献としてインターネット上の情報が掲載されている場合には、本報告書の発行日の1ヶ月前の日付で入手しているものです。

上記日付以降後の情報の更新は行わないものとします。

This publication is protected by copyright law and international treaties.

No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law.

Any quotations must be appropriately acknowledged.

If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact crds@jst.go.jp.

Please note that all web references in this report were last checked one month prior to publication.

CRDS is not responsible for any changes in content after this date.