創立75周年記念 **エネルギー未来シンポジウム2026**

【個別報告2】

サステナブルな社会を次世代につなぐために
―気候変動の緩和と適応への対応―

電力中央研究所
サステナブルシステム研究本部
上席研究員　橋本 篤

2026年11月12日

電力中央研究所

© CRIEPI 2026

本報告でお伝えしたいこと

気候変動（温暖化）が進行し、その影響の現れ方にも不確実性がある中で、
脱炭素を進めることに加えて、さまざまな気候・気象リスクに柔軟に対応できるエネルギーシステムが求められる

その実現には、気候変動（温暖化）を抑制する「緩和」と、
変化する環境への「適応」を、両輪として進めることが不可欠である

「緩和」と「適応」は、環境適合に加え、安全性・安定供給・経済効率性を含むS+3E全体を、将来にわたり支える上でも重要である

本報告では、「緩和の深化」と「適応の進化」を通じて、
脱炭素・資源循環・レジリエンス強化を統合し、
安全で豊かな社会を支える次世代電力システムを展望する

© CRIEPI 2026

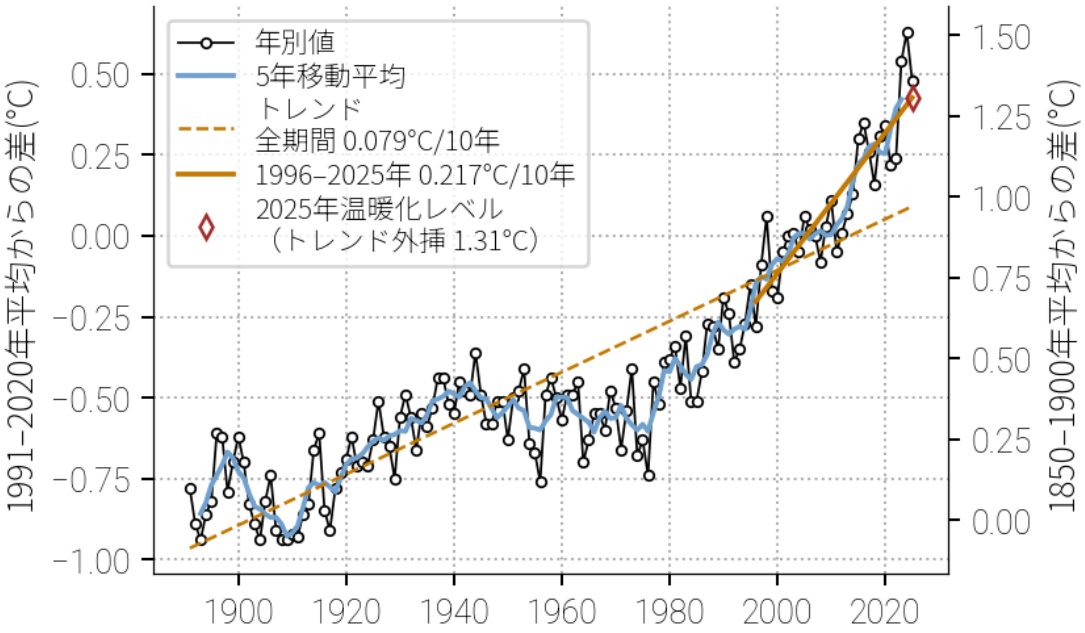
報告内容

1. 気候変動（温暖化）が社会に及ぼす影響
2. サステナブルな社会に求められる「緩和」と「適応」
3. 気候変動（温暖化）時代の次世代電力システムの課題
4. 「緩和の深化」～脱炭素に加え、高度資源循環へ発展～
5. 「適応の進化」～レジリエントな電力システムの実現へ～
6. まとめ

© CRIEPI 2026

気候変動（温暖化）は現在も進行している

- **工業化前からの世界平均気温の上昇幅（温暖化レベル）を基本指標**
- **人為起因の地球温暖化は疑いのない事実**
- **温室効果ガス（Greenhouse Gas: GHG）の排出を将来実質ゼロにしても、既に生じた一定程度の温暖化とその影響は避けられない**



- 縦軸左は平年値（1991–2020年平均）からの偏差
- 縦軸右は工業化前（1850–1900年平均）からの偏差

- 現在の温暖化レベルは、観測データの傾向から推定される
- 2024年は観測史上初の1.5℃超え（右軸）
- 直近30年のトレンドを外挿した2025年の推定値は1.31℃（菱形マーカ）

世界の年平均気温の推移　データ出典：気象庁「世界の年平均気温」
（www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html, 2026/2/2更新）

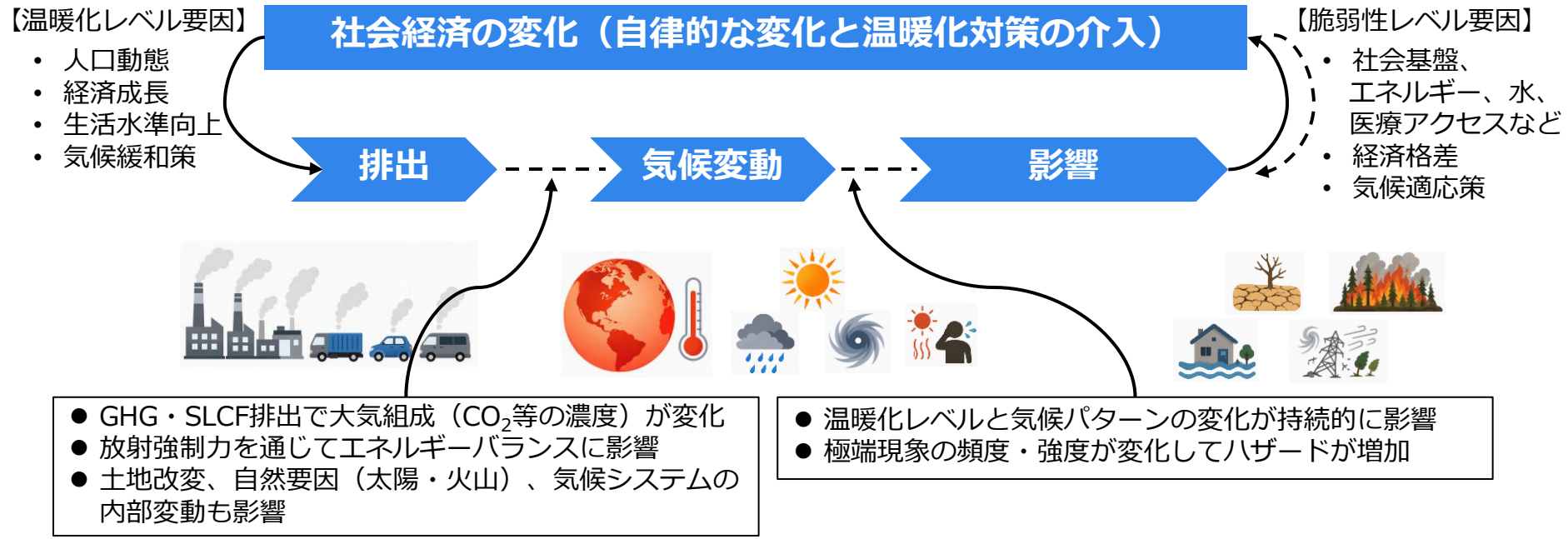
© CRIEPI 2026

気候変動（温暖化）が社会に及ぼす影響

■温暖化は社会・エネルギーシステムに影響を及ぼす

■排出から各種影響が生じる因果連鎖の構造

因果連鎖：排出 → 気候変動 →（ハザードの変化・増加） → 影響顕在化



排出から影響に至る因果連鎖の構造

図出典：IPCC AR6統合報告書Cross-Section Box.2, Figure 1aを基に作成
SLCF=short-lived climate forcer（短寿命気候強制因子）：大気汚染物質などの化学的に反応性のある化合物。大気寿命がCO_2に比べて短い
気候パターン：気温、降水量、風、湿度などの時間的（季節・年・数十年単位）、空間的（地域・地球規模）な分布や変動の様式

© CRIEPI 2026

※図の一部は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

「緩和」と「適応」について

■人為起因の気候変動（温暖化）の対策として、
気候変動を抑制する「緩和（Mitigation）」と、
気候変動に対応する「適応（Adaptation）」がある

温室効果ガス

緩和（Mitigation）
蛇口を絞る



適応（Adaptation）
あふれた水に備える

お風呂（バスタブ）をモデルとした「緩和」と「適応」の模式図

※本図は、米国大気研究センター（NCAR）のバスタブによる「緩和」と「適応」の考え方を参考に、
電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

© CRIEPI 2026

サステナブルな社会に求められる「緩和」と「適応」

気候変動（温暖化）の影響は既に顕在化しており、
「緩和」だけでは不十分で、「適応」を同時に進める必要がある

「緩和」が進むことで将来の気候変動リスクが抑制され、
「適応」の負荷を軽減することができる

「緩和」を持続的に推進するためにも、
変化する環境に対応する「適応」の視点を取り入れていく必要がある

「緩和」と「適応」は独立ではなく、相互に補完し合う関係にあり、
サステナブルな社会の実現には、
「緩和」と「適応」を両輪として一体的に進めることが鍵となる

© CRIEPI 2026

「緩和」と「適応」の視点から見た次世代電力システムの課題

■**2040年度における電源構成の見通しでは、原子力は2割程度、火力は3～4割程度であるのに対し、再生可能エネルギー（再エネ）は4～5割程度（太陽光23～29%程度、風力4～8%程度）**

- **再エネの大量導入に伴い、「出力変動」「安定供給」「気候変動・自然災害」「設備の維持管理」への対応が重要となる**
- **社会・環境・技術条件には不確実性があり、条件の変化に応じて適切な選択肢も変わり得る**

【顕在化する4つの課題】

1．出力変動への対応
・再エネ出力の把握・予測の高度化
・調整力・系統安定性の確保
・需給運用の高度化

2．安定供給を支える火力の高度化
・必要な発電容量の確保
・CO_2排出削減・貯留
・資源循環

3．気候変動・自然災害への対応
・豪雨・暴風・豪雪・渇水・高温への備え
・設備影響・被害の予測と把握
・復旧迅速化とレジリエンス強化

4．設備の維持管理の高度化
・再エネ（太陽光・風力等）の長期安定利用
・故障・劣化・状態変化の早期把握
・更新・リパワリング・リサイクル

© CRIEPI 2026

出典：資源エネルギー庁「2040年度におけるエネルギー需給の見通し」, 第7次エネルギー基本計画関連資料, 2025

例示：洋上風力の長期安定利用に向けて顕在化する課題

■脱炭素に向けて重要な電源である一方、長期安定利用には「出力変動」「安定供給」「気候変動・自然災害」「設備の維持管理」への対応が重要

出力変動･安定供給への対応：

- **発電出力は風速の3乗に比例（風速により大きく変動）**
- 季節･地域によって発電量が変動する
- **バックアップ電源（調整力）との連携が不可欠**

気候変動･自然災害への対応：

- 厳しい気象･海象条件下で運用される
- 台風･冬季雷･高波浪等への対応が必要
- **気候変動（温暖化）による影響も考慮**

設備の維持管理への対応：

- 強風時や高波浪時は保守･点検が制約される
- 風車後流、雨滴、塩害等への対策が重要
- **状態把握･予防保全が重要**



写真　ウィンド･パワーかみす第1洋上風力発電所

これらの課題に対応するため、「脱炭素と安定供給を支える技術（緩和）」と「気候影響評価とレジリエンスを高める技術（適応）」が必要

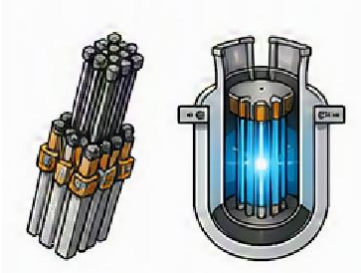
➡　次ページ以降で、「緩和」と「適応」の取り組みと方向性を紹介

© CRIEPI 2026

電力中央研究所

脱炭素と安定供給を支える「緩和」

● 原子力の持続的活用と発展



- リスク情報活用の推進
- 運転期間延長と保全・検査合理化、燃料・炉心の性能向上支援
- 原子燃料サイクル・バックエンド事業の推進支援
- 革新軽水炉等の設計評価技術の開発など次期原子炉の導入支援

● 再エネの導入拡大への対応



- 太陽光発電出力予測技術の開発
- 風力発電出力予測技術の開発
- ガスタービンの機動性向上技術の開発など、
  火力の負荷追従性の評価や向上策等を検討

● 火力発電の脱炭素



- CO_2分離・回収システムの組み込み検討などCCS技術の高度化・導入支援
- 電力系統に寄与する火力発電の価値の整理と社会への訴求



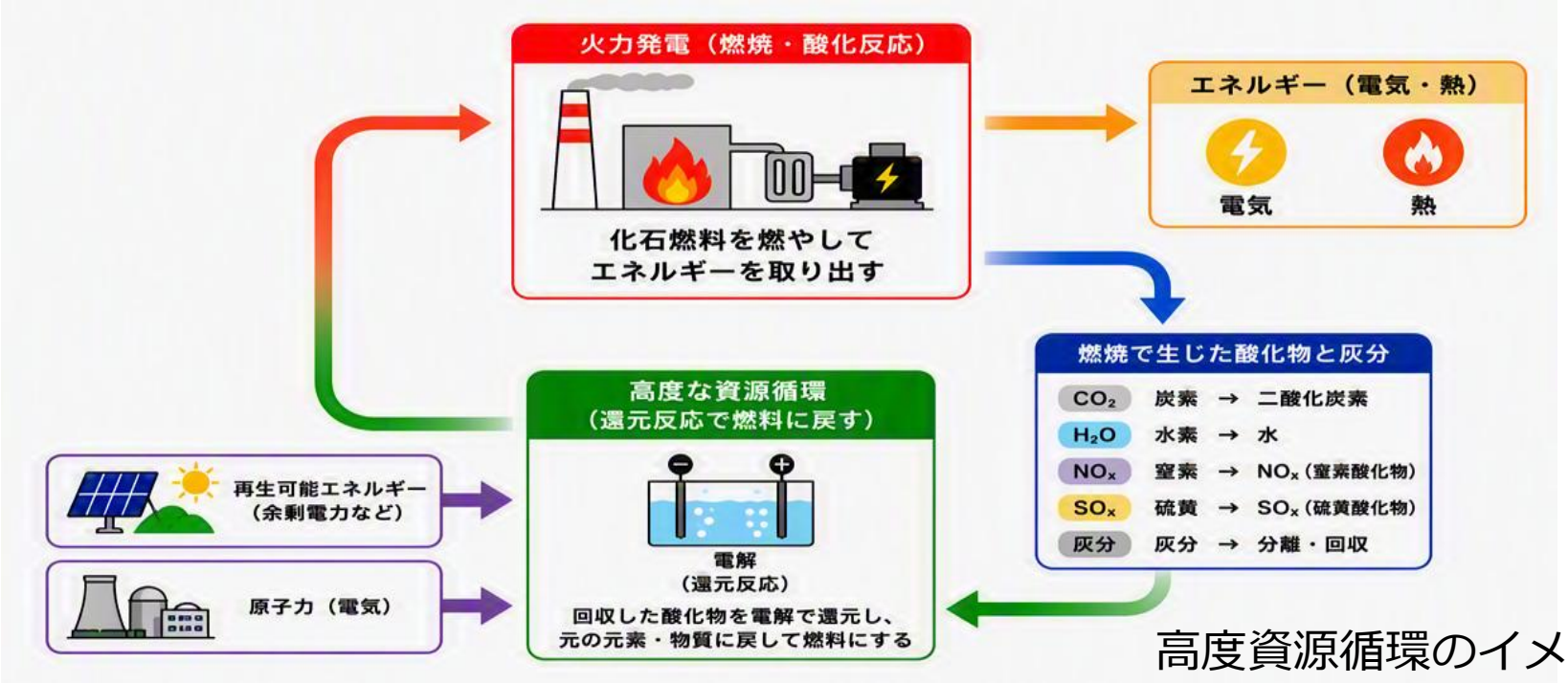
© CRIEPI 2026

※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

「緩和の深化」の方向性

■再エネを最大限活用しながら安定供給を維持するには、火力発電の役割を活かしつつ、高度資源循環によるゼロエミッション化を進める必要がある

- 高度資源循環とは、エネルギーを取り出す酸化反応に、余剰電力等を活用した還元反応を組み合わせることで、資源消費と環境負荷の低減を両立する社会システム
- その実現には、①エネルギーの多段活用、②CO_2資源循環、③CO_2の固定・吸収に関する技術などを順次開発し、段階的に社会実装していくことが肝要



高度資源循環のイメージ

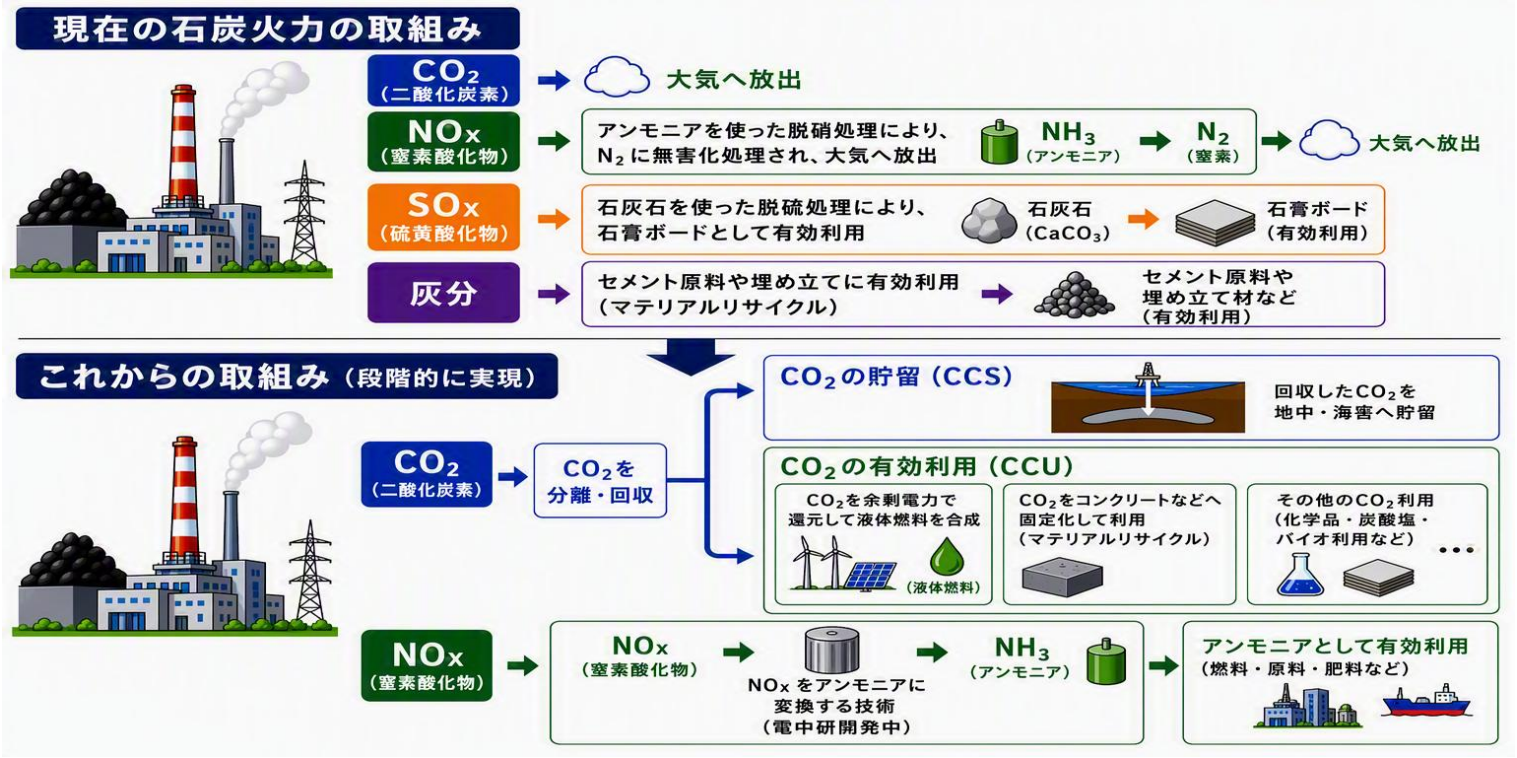
© CRIEPI 2026

※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

参考：①石炭火力におけるエネルギー多段活用技術等

■発電所をエネルギー供給拠点から資源供給拠点へ発展させることを目指す

- **石炭火力はCO_2排出への対応が必要である一方、エネルギー安全保障の観点で重要**
- **現在も資源の循環利用が進められているが、さらなる促進が肝要**



資源循環の現在とこれから（石炭火力の例）

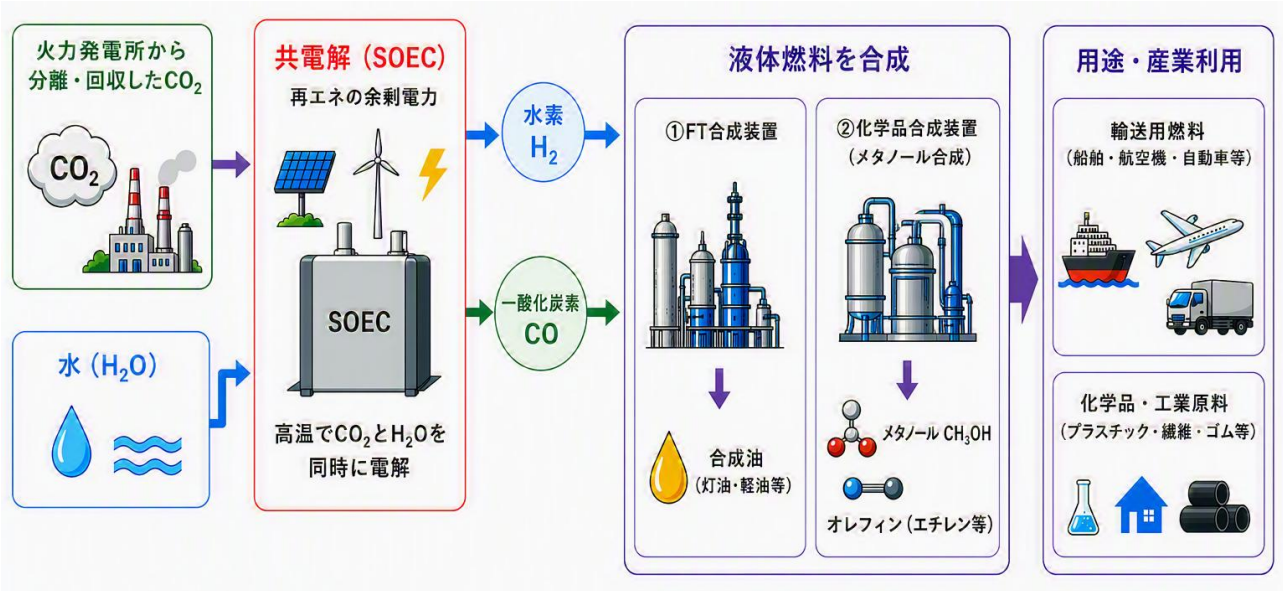
※火力発電所におけるNOxリサイクル技術の開発についてはロビー展示をご覧ください。

© CRIEPI 2026
※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

参考：②固体酸化物形電解セルSOECを活用したCO$_2$資源循環技術

■**火力発電所等から分離・回収したCO$_2$とH$_2$Oを原料に、余剰電力を活用して共電解を行い、液体燃料を合成するシステム**

- SOECは、Solid Oxide Electrolysis Cellの略
- ナフサ代替のオレフィンや再エネ由来のSAFなどを製造可能（自給率・産業競争力の向上）
- 水素の課題に対応：液体燃料は、輸送・長期貯蔵（LDESも視野）が容易
- 再エネ等の余剰電力の活用により、電力系統安定化にも寄与



SOEC共電解技術を用いた燃料のカスケード利用と循環利用の例

※SOECを用いた共電解技術についてはロビー展示をご覧ください。

© CRIEPI 2026
※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

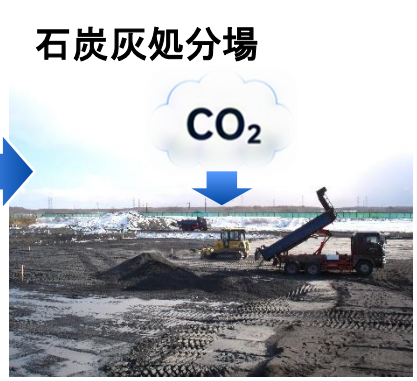
③石炭灰等の副産物を主原料としたCO$_2$の固定・吸収技術

■低エネルギー・低コストでCO$_2$を固定する場所として石炭灰処分場を活用し、石炭灰中のカルシウムと反応させることでCO$_2$を固定（鉱物化）

■貝殻、石炭灰等の副産物を主原料に、セメントを使わずに製造した藻礁ブロックを用いて、藻場を創出することでCO$_2$を吸収・貯留（ブルーカーボン）

石炭灰処分場を活用した鉱物化



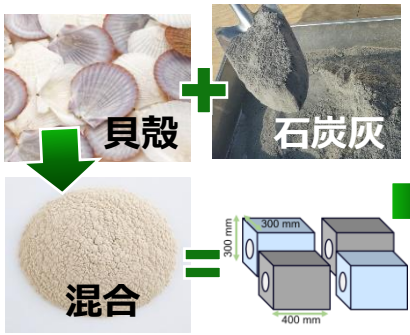


CO$_2$、石炭灰、
脱硫石膏等が発生

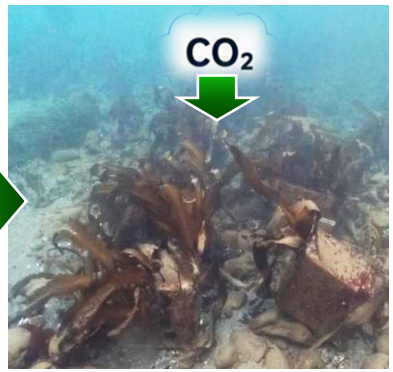
積極的なCO$_2$接触により
炭酸塩鉱物の析出を促進

鉱物化によるCO$_2$固定

藻礁ブロックによるブルーカーボン



貝殻のほか、発電所から出る石炭灰、石膏等を原料に藻礁ブロックを製造



磯焼けした海域に設置することで藻場を創出

藻場創出によるCO$_2$の吸収・貯留

今村ほか, 土木学会論文集, 2026

© CRIEPI 2026

※図の一部は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

影響評価とレジリエンスを支える「適応」

- **気候変動（温暖化）が電力設備などに及ぼす影響評価**
  - 豪雨・豪雪・暴風ハザードの影響評価（①）
  - 風車ブレードに生じるレインエロージョン評価
  - 気温上昇などに伴う電力設備の劣化評価
  - 再エネ資源・出力変動の影響評価



- **気候変動（温暖化）を考慮した運用検討**
  - 水力ダムの運用支援技術（②）



- **現在の電力システムのレジリエンス強化**
  - 電力流通設備の災害復旧支援技術（③）
  - 再エネの導入拡大に対応する電力系統運用支援技術（④）
  - 再エネに対応した系統構成最適化支援技術
    （ダイナミックラインレーティングなど）

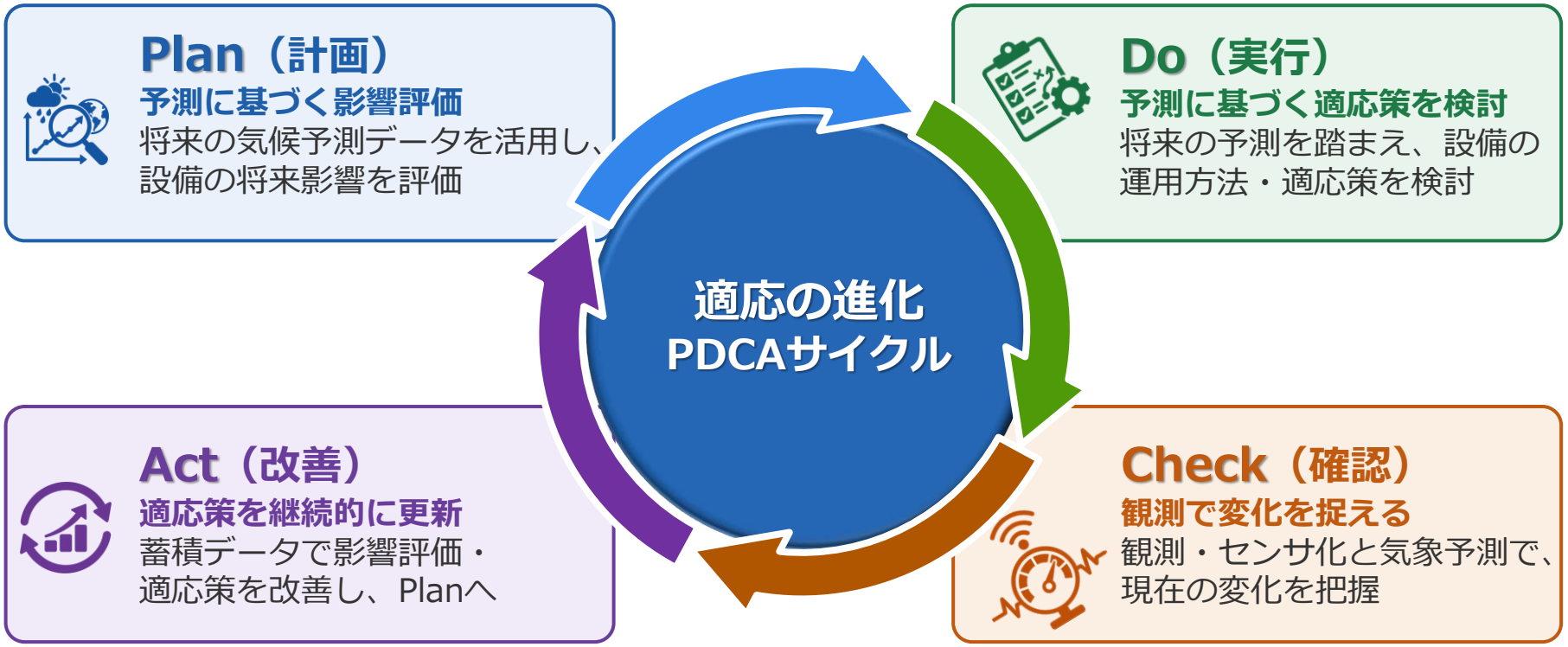


ダイナミックラインレーティング：気象条件を考慮して送電線の利用可能容量を評価・活用する技術

© CRIEPI 2026
※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

「適応の進化」の方向性

■気候変動（温暖化）が進行する社会では、将来の気候変化への対応に加え、現在の変化を捉えながらレジリエンスを継続的に強化することが重要



データの蓄積と活用を通じて、変化する環境に柔軟に対応し、電力の安定供給とレジリエンスを継続的に強化

© CRIEPI 2026

※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

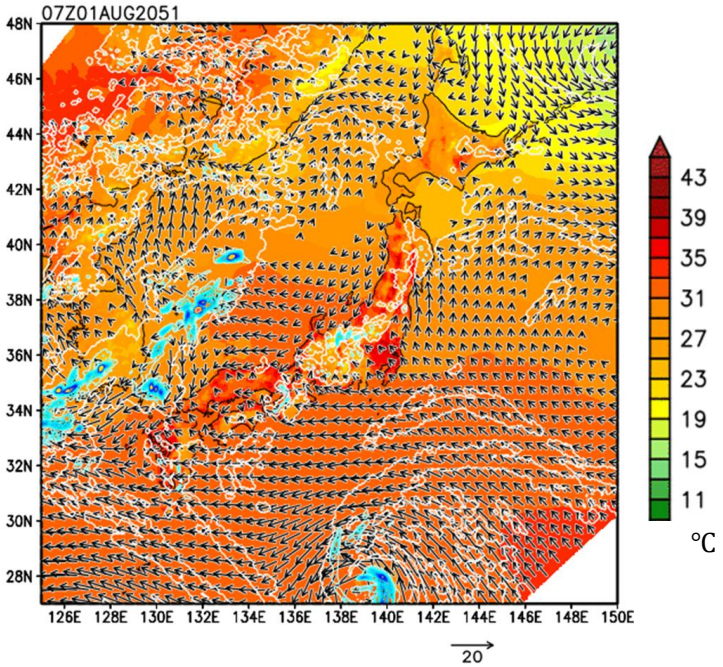
参考：①気象ハザードの影響評価（その１）

■**21世紀中盤・終盤を想定した将来気候予測データ**を用い、
気候・気象・極端現象の将来変化を分析し、電力設備への影響を評価

将来気候予測データ：d4PDFシリーズ※

- ✓ 気候モデルを用いて、将来の気温・降水量・風などの変化を予測した膨大な数値情報
  - 現状気候(過去再現実験)
  - 2℃昇温実験（21世紀中盤想定）
  - 4℃昇温実験（21世紀終盤想定）
- ✓ アンサンブル※※と呼ばれる複数の長期予測計算を実施している点が大きな特徴
- ✓ 50年に一度といった極端な現象の発生とその将来変化を推定可能
- ➢ 電力設備影響評価や適応策の検討に活用

4℃昇温実験



暖色系陰影：気温　寒色系陰影：降水
黒矢印：地上風ベクトル

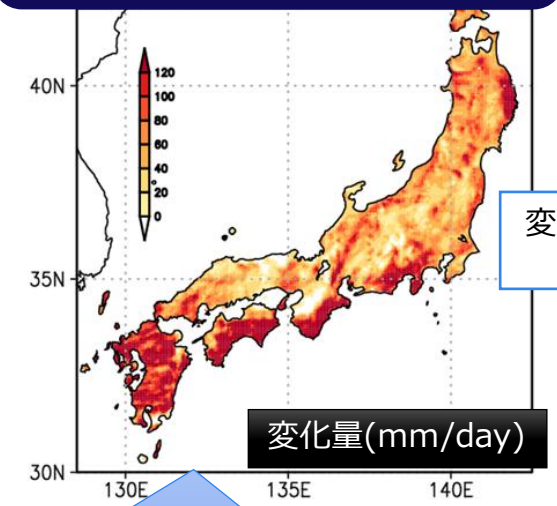
※文部科学省気候変動予測先端研究プログラムのもと、地球シミュレータを用いて
d4PDFを全国5kmメッシュで力学的ダウンスケールしたデータを利用
d4PDF : **d**atabase **for** **P**olicy **D**ecision making for **F**uture climate change
※※気象・気候モデルに与える初期値や境界値を変えた複数の予測計算を行うことで、予測の不確実性の把握、低減を試みる手法

© CRIEPI 2026

参考：①気象ハザードの影響評価（その２）

■将来の気候予測データに基づく豪雨・暴風ハザードマップ等を作成・活用し、地域特性を踏まえた電力設備対策に向けた気候変動の影響を評価

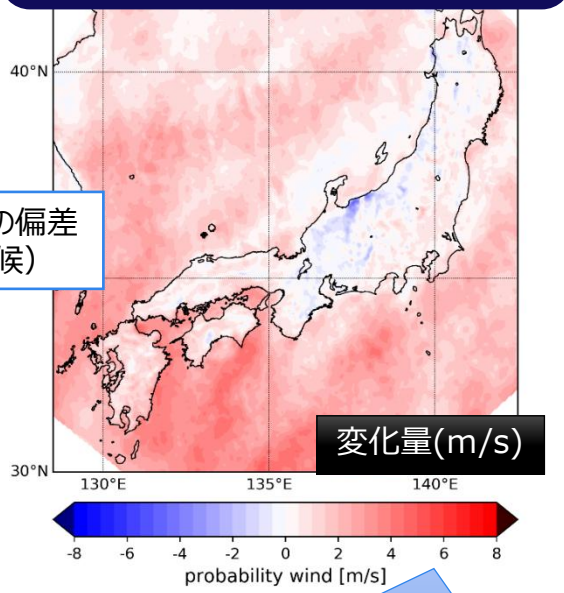
日降水量



西日本、太平洋側を中心に
全体的に増加

変化量：50年再現期待値の偏差
（4℃昇温実験－現状気候）

地上風速（夏季全風向）



太平洋側・西日本で増加

- 豪雨・暴風などによる電力設備被害の影響評価
- 空間的に不均一な変化のため、地域性を考慮する必要がある

Ohbaほか, Clim. Dyn., 2019
北野ほか, 電中研報告, 2026

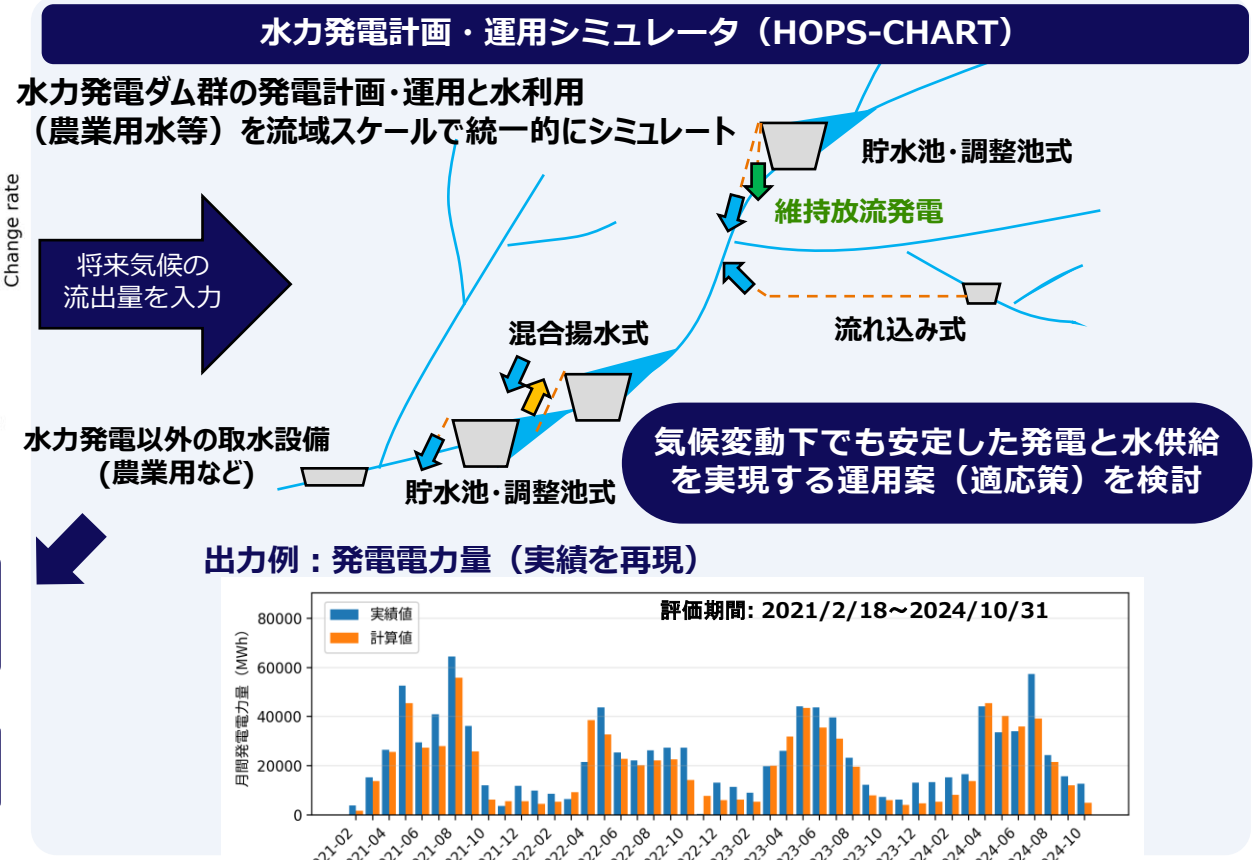
※気候変動の適応研究についてはロビー展示をご覧ください。

© CRIEPI 2026

②気候変動を考慮したダム運用支援技術

■豪雨・渇水の双方が変化する中で、発電・水供給・治水を両立する運用が必要
■将来の気候変動（温暖化）に適応したダム運用の立案支援を目指す





活用イメージ：気候変動適応策の検討

多様な貯水位運用シナリオ
現行 / 高水位型 / 低水位型 / …

↓

発電・水供給・渇水・治水等を評価

↓

流域に適した適応策を選択

水力発電計画・運用シミュレータの概念図とその再現計算結果例

③・④電力システムのレジリエンス強化技術

■気候変動（温暖化）が進行する現在では、将来を予測して備えるだけでなく、現在の変化を捉えながらレジリエンスを高めることも適応の重要な視点である

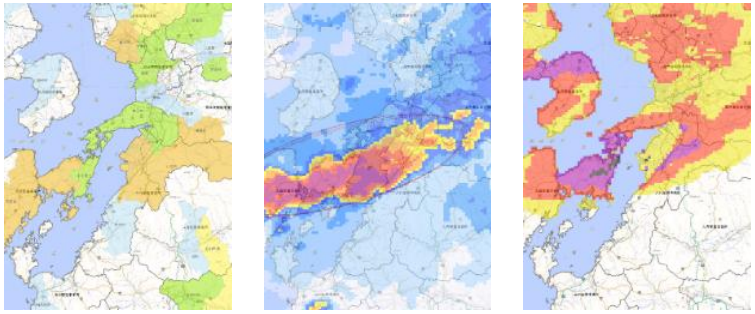
■計測・予測技術を活用した即時・先回り対応技術の高度化が鍵

- 災害分野では、早期電力復旧情報プラットフォーム「RESI」を研究開発することで、電力復旧の迅速化への貢献を図る
- 再エネ分野では、日射量予測・解析システム「SoRaFAS」を研究開発することで、太陽光発電大量導入下での電力系統の安定化への貢献を図る

RESIの各種災害情報の収集・表示例

停電情報や気象・道路・通信・衛星・SNS情報等、多様な情報を取得・表示

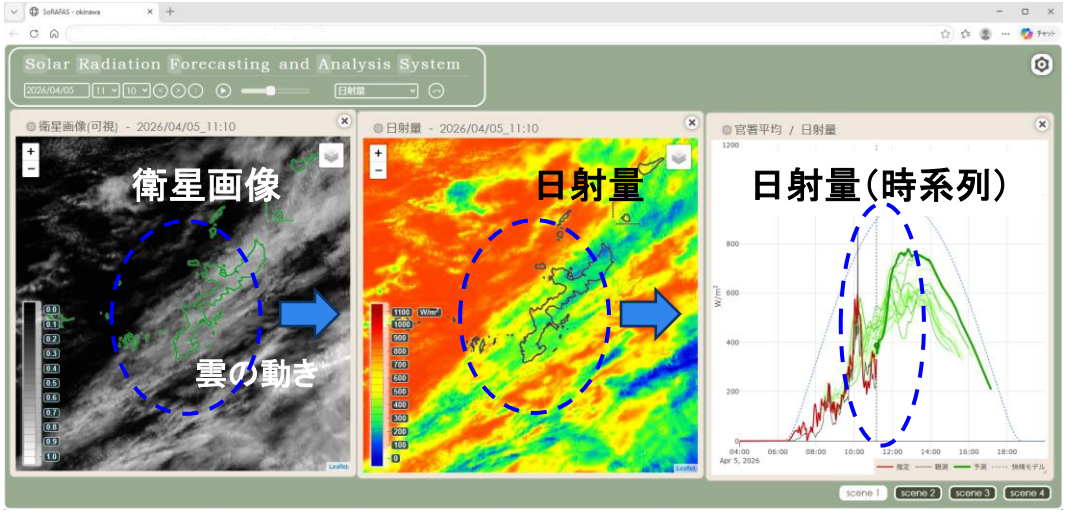
■停電情報　■気象情報（雨量・風速等）　■防災情報（土砂崩れ危険度等）



RESI：early power REStoration Information platform

SoRaFASの日射量の予測・表示例

衛星画像に基づいて雲の移動による日射量の急変を監視



朱牟田, 電力中央研究所研究成果報告会, 2025

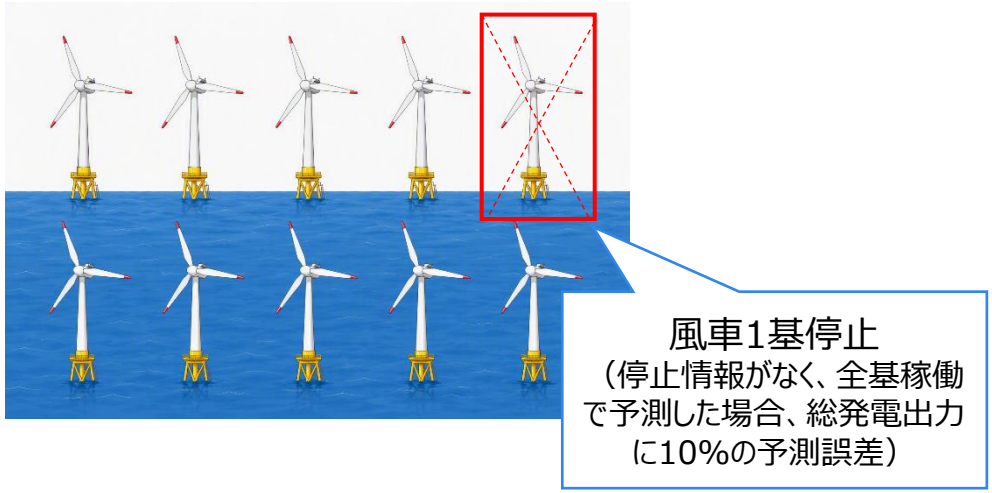
橋本ほか, 電気学会論文誌B, 2023

再エネ設備のセンサ化による状態把握・予測の高度化

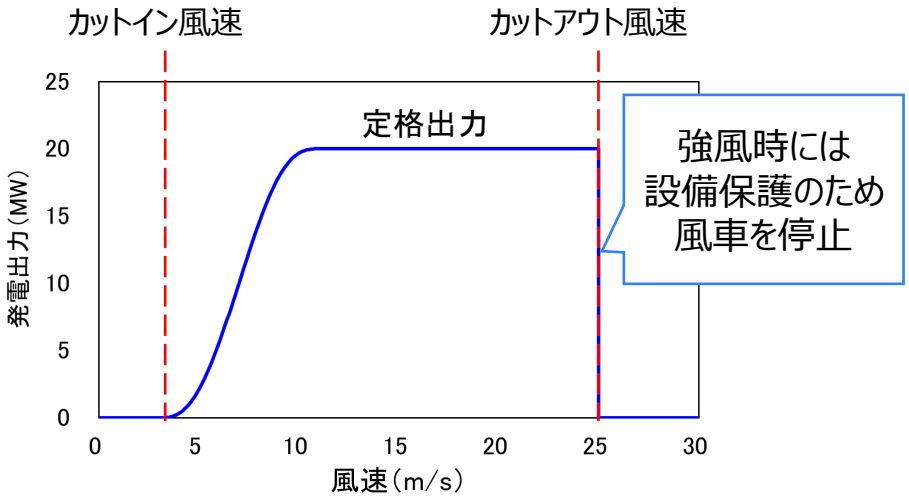
■ **再エネ（風力・太陽光）の発電出力の特性**
- 気象条件に左右されるため、火力などのバックアップ電源（調整力）との連携が不可欠である

■ **再エネの発電出力を正確に把握・予測するための課題**
- 風力発電出力は、風速・風向の変化に加え、設備状態や強風による停止等で大きく変動する
- 太陽光発電出力は、日射量の変化に加え、過積載や積雪等の設備条件・状態の影響を受ける

■ **観測・センサ化による状態把握の高度化**
- 再エネ設備をセンサとして活用することで、発電出力や設備状態の変化をリアルタイムに捉え、再エネ出力の把握・予測精度向上につなげる（長期安定利用にも有効）



洋上風力（ウィンドファーム）のイメージ（20MW×10基）



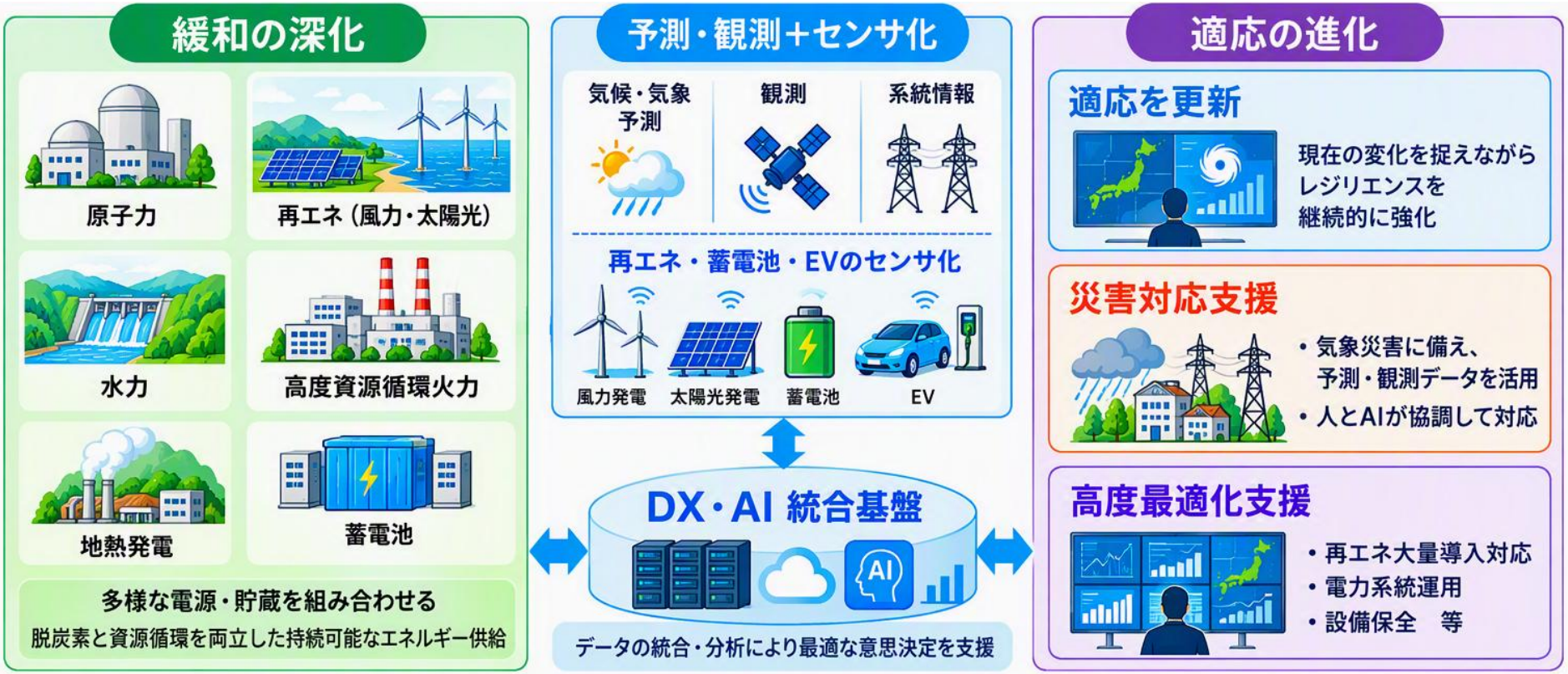
風車のパワーカーブのイメージ

© CRIEPI 2026
※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

電力中央研究所

「緩和の深化」と「適応の進化」を統合した未来像

■**脱炭素・資源循環・レジリエンス強化を統合**し、**次世代電力システムへ展開**
■**予測・観測・センサ化で変化を捉え**、**DXとAIで「緩和」と「適応」を高度化**



緩和と適応を統合したシステムの絵姿

© CRIEPI 2026

※本図は、電中研が内容を構成・設計し、Microsoft 365 Copilotを用いて作成した

まとめ

気候変動時代には、気候変動を抑制する「緩和」と、
変化する環境への「適応」を、両輪として推進することが重要である

「緩和」は、「脱炭素」に加え、
「高度な資源循環」へと深化させ、
持続可能なエネルギーサイクルの実現に貢献する

「適応」は、「予測して備える」だけでなく、
「変化を捉えレジリエンスを継続的に強化する」へと進化させ、
電力システムのレジリエンス向上に貢献する

⇒ 多様な技術や対策には、便益だけでなく、リスク、コスト、制約、
不確実性も伴うため、システムの実現には、これらを比較し、
トレードオフを踏まえて選択することが重要となる（個別報告3へ）

© CRIEPI 2026

ご清聴ありがとうございました

電力中央研究所
Central Research Institute of Electric Power Industry

© CRIEPI 2026