

カーボンニュートラル実現 に向けた国内外STI動向

2022年12月20日（火）

第1回革新的GX技術開発小委員会

環境・エネルギーユニット



国内外のエネルギー分野の研究開発動向

「研究開発の俯瞰報告書」作成のための調査に基づく動向概要

区分	領域名	注目動向
I. 電力の ゼロエミ化・安定化	1 火力発電	水素、アンモニアへの燃料転換、高効率石炭ガス化複合発電の実証
	2 原子力利用	世界で活用拡大、国内再稼働推進、次世代革新炉開発、核融合炉の着実な開発
	3 太陽光発電	2021年発電コストが石炭火力を下回る。国内は未利用場所への展開、薄膜型開発
	4 風力発電	世界で大型化、需要増加。欧州では水素製造。国内は商用洋上設置開始
	5 バイオマス発電・利用	国内資源不足で輸入依存。微細藻類による燃料と高付加価値品の併産
	6 水力発電・海洋発電	水力：揚水蓄エネ装置の諸機能(調整・慣性力)実証的研究。海洋：実証試験海域の整備促進
	7 地熱発電・利用	資源量増大のための地下資源探査調査方法の開発
	8 太陽熱発電・利用	再エネ由来の電力を熱に変換し夜間等に熱発電する蓄熱発電（カルノーバッテリー）が注目
	9 蓄エネルギー技術	蓄電の目的が多様化し海外でマルチユースの実証試験。蓄熱発電の実証も進む
	10 CCS（CO2回収・貯留）	海外ではCCSは操業中、DACは実証試験始まる。CO2分離回収の技術開発活発
II. 産業・運輸部門の ゼロエミ化・ 炭素循環利用	11 水素・アンモニア	貯蔵、輸送の大規模実証推進。水電解の開発が活発
	12 CCU（CO2回収・利用）	メタン、メタノール、合成燃料を中心にGI基金で実証プロジェクト
	13 産業熱利用	中高温用潜熱蓄熱材カプセルの開発。高温ヒートポンプの進展
III. 業務・家庭部門の ゼロエミ化・低温熱利用	14 地域・建物エネルギー利用	世界的にZEBが成長。空調システムの高度化。建物単体の性能向上。地域レジリエンス向上のための研究開発が活発
IV. 大気中CO2除去	15 ネガティブエミッション技術	各国政策で推進。環境価値などで収益化。評価法や制度の国際標準化
V. エネルギーシステム 統合化	16 エネルギーマネジメントシステム・消費者行動	自然災害頻発を背景としたマイクログリッドへの関心の高まり（レジリエンス強化）。スマートメーター等からのデータ解析による需要家内の電力消費パターン分析技術開発が進行
	17 エネルギーシステム・技術評価	空間的・時間的解像度の高い電力システムモデリング。行動科学・行動経済学の知見活用
VI. エネルギー分野の 基盤科学技術	18 反応性流体	高効率エンジン、水素燃焼エンジン開発加速。CN燃料の排ガス対策
	19 トライボロジー	ナノの分子レベルの制御(表面修飾、表面形状)が進む。オペランド観察と計算科学
	20 破壊力学	金属積層造形材料、異材料界面研究。マルチスケール・マルチフィジックス手法

基礎研究に関する諸外国の研究開発投資状況

米国（主としてDOE [エネルギー省]）

- **予算**：FY2023R&D関連予算要求額は約185億ドル。
内訳は「基礎」63億ドル、「応用」68億ドル、「開発」54億ドル
（2022年11月時点で審議中。予算上「基礎」は主として科学局、「応用」と「開発」はARPA-E、EERE（再エネ・省エネ）、FECM（化石資源・炭素管理）など複数の技術局が担当するとの整理だが実態としては技術局のプログラムにも基礎研究は一定程度含まれていると思われる）。
- **科学局**：FY2023予算要求でのハイライトは次の3点：
 - ① Energy Earthshots Initiativeの他技術局との共同運営
 - ② エマージング技術のイノベーション加速プログラム立ち上げ
 - ③ マイノリティ受入大学でのクリーンエネルギーや気候関連研究強化
- **「インフラ投資・雇用法」(2021.11)、「インフレ抑制法」(2022.8)**：国研の設備更新・近代化や地域水素ハブプログラム創設、クリーンエネルギー技術や環境修復・レジリエンス強化のためのR&D関連投資も含む。
- **DOEエネルギー効率・再生可能エネルギー局とNSFの連携強化**：バイオエネルギー、建物、水処理、水素・燃料電池、再生可能エネルギー、農業、クリティカルマテリアル、製造、新技術の社会・行動・経済的側面、政策などの分野での連携が想定されている。
- **大統領府 FY2024R&D優先事項**：気候変動への取組み（気候科学、クリーンエネルギー・気候技術、気候変動への適応とレジリエンス、自然に基づく気候の解決策、GHGモニタリング）。

Energy Earthshots Initiative

- ✓ 低コスト化に向けた科学技術的課題に挑戦。
- ✓ 水素製造、エネルギー長期貯蔵、炭素除去、地熱、洋上風力、産業熱が開始済。

エマージング技術のイノベーション加速

- ✓ 科学的成果をエネルギー技術に発展させるための超学際的なチーム活動の支援プログラム。
- ✓ バッテリーや先進原子力技術など先進エネルギー・産業技術、AI、HPC、量子情報科学技術、データ蓄積・管理、先進材料科学など。

基礎研究に関する諸外国の研究開発投資状況

EU

- **主要関連プログラム**：Horizon Europe（955億）、Euratom（20億）、ITER（56億）、コネクティング・ヨーロッパ・ファシリティ（CEF）（207億）、欧州宇宙プログラム（149億）、環境・気候行動（LIFE）（54億）（2021年～2027年のEU予算、単位：ユーロ）。
- **Horizon Europe**：ミッション志向型研究開発を推進。2030年までに達成すべきミッションとして5つを設定：「気候変動への適応」（少なくとも150の欧州地域・コミュニティを気候レジリエンスに、3.7億ユーロ）、「気候中立・スマートシティ」（100の気候中立・スマートシティを実現、3.6億ユーロ）等。
- **政策優先事項**：「グリーン化」「デジタル移行」に加え、「開かれた戦略的自立性の確保」（できる時は多国間で協力し、必要な時はEUとして自律的に行動できる能力を備えておくという考え方）を重要視。
- **REPowerEU**：ロシア産化石燃料からの脱却とGHG排出削減の両立を目標に掲げた政策文書。2030年に1990年比55%削減を掲げた政策パッケージ「Fit for 55」を基に策定。省エネや再エネ比率の目標値の引き上げ、エネルギー調達先の多様化の方針等を示す。再エネ由来水素に関しても年間560万tから約1,000万tへと域内生産目標を引き上げ、その実現に向けた研究開発・実用化プロジェクト「IPCEI Hy2Tech」の立ち上げも承認。水素製造、燃料電池、水素貯蔵・輸送、水素利用（とくにモビリティ分野）とバリューチェーンを幅広くカバー。

基礎研究に関する諸外国の研究開発投資状況

ドイツ

- 第7次エネルギー研究プログラム（2018年～2022年）**：連邦政府のエネルギー関連R&Dプログラム。年間予算全体のうち基礎研究が占める割合は9～10%で推移してきたが2021年は15.0%に増加。「セクターカップリング・水素」に関する基礎研究を大幅増額（右表）。
- 従来の水素関連予算（2012年～）**：製造、貯蔵・輸送、燃料電池、システムアプローチ、Power-to-Xプロジェクト、基礎研究（セクターカップリングと水素）を実施。
- 水素フラッグシッププロジェクト（2021年～）**：国家水素戦略（2020年6月）を受けて連邦教育研究省（BMBF）が開始。産業界が主導する実用化研究を支援。製造に関するH2Giga（電解装置の連続生産およびスケールアップ）とH2 Mare（グリーン水素の洋上生産）、貯蔵・輸送に関するTransHyDE（グリーン水素の輸送）。
- 連邦政府と州政府**：州政府によるR&D投資は連邦政府のおよそ3分の1～5分の1。相対的に連邦政府の支出が大きいのは地域・建物分野のエネルギー移行、州政府の支出が大きいのは輸送分野のエネルギー移行と蓄エネルギー関連予算。

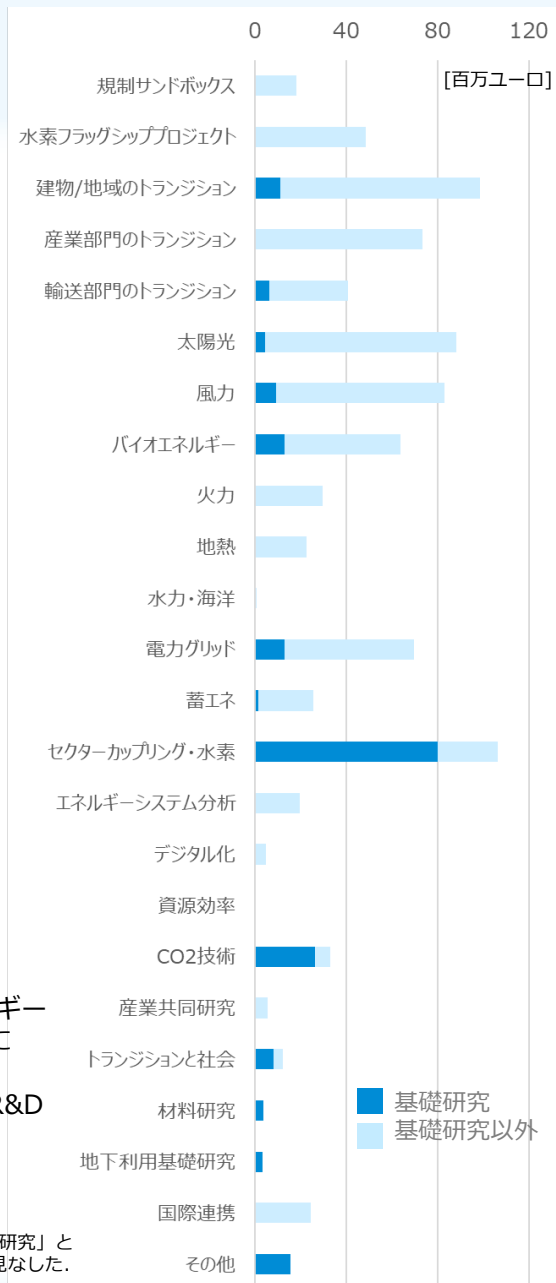


図. 第7次エネルギー研究プログラムに基づく2021年のエネルギー関連R&D予算内訳※

※ 連邦経済・気候保護省（BMWK）資料を元にCRDSにて表作成。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。

基礎研究に関する諸外国の研究開発投資状況

中国

- **「国民経済・社会発展第14次五カ年計画と2035年までの長期目標要綱」(十四五)(2021年3月)**：科学技術イノベーション分野を含む社会全体の中長期計画。基礎研究への投資増大方針を引き続き提示。目標はR&D投資全体の8%以上（現状2021年は6.5%前後）。民間のR&D投資促進、人材育成支援強化（海外派遣、大学強化、ハイレベル人材支援等）も掲げる。
- **「カーボンピークアウトとカーボンニュートラルを支える科学技術実施計画（2022～2030）」(2022年8月)(次スライド)**：2030年目標、2060年目標の達成に向けて科学技術革新が役割を十分に発揮できるようにするための計画。本計画を通じて2025年までにGDPあたりCO2排出量の'05年比65%以上削減、GDPあたりエネルギー消費量の継続的な大幅削減も目指す。
- **中央政府による競争的研究資金**
 - a. **国家自然科学基金（NSFC）**：予算増額（2020年:336億元→2021年:373億元）。
 - b. **国家科学技術重大プロジェクト（含む「科技创新2030」）**：国家の競争力向上のための課題解決型プログラム。航空機用エンジン及びガスタービン、石炭のクリーンかつ効率的な利用、スマートグリッド電力システム、大型加圧水型原子炉及び高温ガス冷却炉等の取組み。
 - c. **国家重点研究開発計画**：各省庁の課題解決型研究助成を集約したプログラム。エネルギー貯蔵とスマートグリッド技術、水素エネルギー技術、新エネルギー車等の取組み。

表. 「カーボンピークアウトとカーボンニュートラルを支える科学技術実施計画（2022～2030）」の10項目

1 エネルギーのグリーン・低炭素転換に向けた科学技術による支援行動

例) 石炭のクリーン・高効率な利用、新工ネの系統連携と余剰電力解消、再エネ高効率利用、石炭由来クリーン燃料、パルクケミカル等に関する研究開発の推進。

2 低炭素・ゼロカーボン工業プロセスの再製造技術ブレークスルー行動

例) 鉄鋼、セメント、化学工業、非鉄金属の重点工業業界における原料燃料の代替、ショートプロセス製造、低炭素技術の統合・結合・最適化などに係る研究開発。DX推進。廃棄物の高品質リサイクル、高付加価値材料化などの研究開発。

3 都市・農村建設および交通の低炭素・ゼロカーボン技術の難関攻略行動

例) 地域・建築エネルギーシステム（電源・送配電網・負荷・貯蔵・使用）の技術・設備の研究、建築物の高効率な電化、コジェネ（新工ネや火力・工業排熱の地域ネットワーク、長距離熱供給等）、モビリティへのクリーンエネルギー動力技術応用、航空機の非炭素型エネルギー動力技術利用、効率的なトラクションインバータ・電子制御システム技術、グリーン・スマート交通。

4 カーボンマイナスおよびCO₂以外の温室効果ガス排出削減の技術能力強化行動

例) CCUS（BECCSや海洋塩水層への貯留技術含む）、炭素吸収量算定と監視技術（衛星フィールド観測に基づく生態系炭素吸収量の重要パラメータの決定と計量技術、ビッグデータ融合に基づく炭素吸収量シミュレーション技術など）、生態系の炭素固定・吸収源増加技術（陸上・海洋生態系）、メタン・N₂O・フッ素系ガスの監視・排出抑制および代替技術。

5 最先端の破壊的な低炭素技術革新行動

例) 太陽電池、新型原子力発電技術、グリーン水素製造、エネ貯蔵（電池）、エネ変換技術、CO₂高付加価値化・変換利用技術、大気中CO₂回収技術などの重点方向の基礎研究の支援。学際的融合の強化。破壊的技術の予測・発見・評価・早期警告メカニズムの確立。

6 低炭素・ゼロカーボン技術の実証行動

例) 技術実証プロジェクト（風力・太陽光補完、VPP、工業プロセス、グリーン・スマート交通、建築、CCUS）、地域総合実証プロジェクト、新工ネ・再エネ、建築、交通、CCUS、エネ貯蔵などの技術の規格体系の構築加速。

7 CO₂排出量ピークアウト、カーボンニュートラル管理の意思決定支援行動

例) 基幹技術のリスト、技術開発ロードマップ、重点研究開発任務リストの作成・更新。CO₂排出量監視・計量・検査システムの構築。規格参考データベースの構築強化。気候ガバナンス戦略と経路の研究、総合的な意思決定支援モデルの開発。

8 CO₂ 排出量ピークアウト、カーボンニュートラル革新プロジェクト、基地、人材の相乗効果向上行動

例) NSFCでの「国家カーボンニュートラルに向けた重大な基礎科学問題と対策」特別プロジェクトの実施。国家重点実験室（再エネ、大規模エネ貯蔵、新工ネ自動車等）、国家技術革新センター（工業分野の省エネ・クリーン生産、スマート建築・交通、CCUS等）、中小企業支援研究開発機関の設立。科学技術リーダー人材や革新チームの特定・育成。

9 グリーン・低炭素科学技術企業の育成・サービス行動

例) グリーン技術サービス産業、「ハードテクノロジー」企業の育成支援。科学技術成果の移転や実用化を支援する基金の活用。

10 CO₂ 排出量ピークアウト、カーボンニュートラル科学技術の革新における国際協力行動

例) 国際的な大型科学プロジェクトの立ち上げ検討など。

※ 表. NEDO北京事務所仮訳資料 (https://www.nedo.go.jp/library/ZZAT09_100008.html、2022年12月アクセス) を参照してCRDSにて作成。

JSTの関連プログラム例

研究開発

- **未来社会創造事業**
 - 低炭素社会の実現領域
- **低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業 (LCS)**
- **共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT)**
 - 「Co-JUNKANプラットフォーム研究拠点」(東大)、「地域エネルギーによるカーボンニュートラルな食料生産コミュニティ形成拠点」(北大)、「地域気象データと先端学術による戦略的社会共創拠点」(東大)、「炭素循環型社会実現のためのバイオエコノミーイノベーション共創拠点」(農工大)、「プラごみゼロを目指す資源循環共創拠点」(阪大)
 - 「先進蓄電池研究開発拠点」(NIMS)
- **戦略的創造研究推進事業**
 - 「革新的反応」/「反応制御」(CREST/さきがけ)、「分解と安定化」/「サステナブル材料」(CREST/さきがけ)、「調和物質変換」(さきがけ)、「複雑流動」(さきがけ)、「微小エネルギー」(CREST)、「植物頑健性」(CREST)
- **戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)**
 - IoE社会のエネルギーシステム
- **社会技術研究開発 (RISTEX)**
 - SOLVE for SDGs、ELSIプログラム
- **研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)**
- **大学発新産業創出プログラム (START)**
- **国際科学技術共同研究推進事業**
 - 二国間研究プログラム：SICORP、SATREPS
 - 多国間研究プログラム：aXis、e-ASIA、EIG CONCERT-Japan、BelmontForum
- **創発的研究支援事業**
- **次世代研究者挑戦的研究プログラム**
- **大学フェローシップ創設事業**

成果展開

国際

人材育成