

1.2 世界の潮流と日本の位置づけ

1.2.1 社会・経済の動向

[1] 地球規模課題への対応

(A) SDGsの進捗状況

「持続可能な開発のための2030アジェンダ」実現の為に17項目の「持続可能な開発目標 (SDGs)」が2015年9月の国連サミットにて採択された。「2030アジェンダ」には2030年までにすべての人のために貧困を終わらせ、地球を守り、繁栄を確保するという決意が示されている。SDGsは各国の取組およびESG投資の後押しにより進展している。目標採択後の最初の評価であった「Global Sustainable Development Report 2019 (GSDR2019)」では、多くのポジティブな展開が見られたが、目標を構成する169のターゲットのほとんどが達成に向けた軌道にのっていないと指摘された。特に不平等の増大、気候変動、生物多様性の損失、及び処理能力を凌駕する廃棄物の増加は正しい方向に向かっていないとされている。また、報告書では“すべての分野で科学的知見とイノベーションは、素晴らしい結果をもたらすことができる。しかし、常に最も重要なのは、政治的な意志である。”としている。これを受けた「SDGサミット政治宣言」では「Gearing up for a decade of action and delivery for sustainable development (持続可能な開発に向けた行動と遂行の10年に向けた態勢強化)」が約束された。

2023年には4年ぶり2回目の「SDGサミット」が各国の首脳レベルを集めて開催された。これに先立つ最新の国連のSDGsレポート2023特別版(2023年7月発表)¹では、SDGsレポート2022に引き続き、連鎖、連動する危機が「持続可能な開発のための2030アジェンダ」を人類の生存そのものとともに、重大な危機に陥れていると警告している。COVID-19、気候変動、紛争を中心とした複数の危機が同時に発生したことで、食料と栄養、健康、教育、環境、平和と安全保障をはじめ全てのSDGsが影響を受けていると指摘した。特に貧困と飢餓の撲滅、保健と教育の改善、基本的なサービスの提供などでは長年の進捗が後退しており、2030年までに5億7,500万人の人が貧困に陥り、8,400万人の子供たちが学校に通えず、この状態が収束するまでに約300年かかると警告している。これを受けて9月に開催された国連ハイレベル政治フォーラム(High Level Political Forum: HLPF)の報告書では、現状で、2030年までの目標達成は危機に瀕しているため、国際的な枠組みに基づいて、大胆で野心的、加速的、公正かつ変革的な行動に取り組むことを宣言した。

(B) 気候変動の状況把握

SDGsの中でも目標13の気候変動対応は環境・エネルギー分野と関連の深い地球規模課題の1つである。先述の国連のSDGsレポート2023では、世界の温室効果ガスの濃度が継続的に増加し、2020年には新たな最高値に達し、2022年の世界平均気温は、産業革命前の水準(1850年から1900年)よりも約1.15°C高くなっており、次の世紀には2~3°Cの気温上昇に至る軌道に乗っているとされている。すべての、特に一人当たりの排出量が多い国において変化が必要としている。以降ではこうした気候変動の現在の状況や対策に関する検討を概観する。

(B.a) 国際的な枠組みにおける検討状況

各国政府の気候変動に関する政策に対して科学的な基礎を与えることを目的として設立された「気候変動

1 国際連合広報センター, “『持続可能な開発目標 (SDGs) 報告2023: 特別版』発表に関するプレスリリース”, https://www.unic.or.jp/news_press/info/48413/

政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) は、気候変動に関する最新の科学的知見を評価し、報告書としてとりまとめ、公表している。最新の「第6次評価報告書 (AR6)」は2021年8月から2022年9月にかけての3つの作業部会報告書と2023年3月の統合報告書として公開されている。

第1作業部会報告書 (自然科学的根拠) (2021年8月公表) では温暖化に対する人間の影響は「疑う余地がない」と初めて記載され、大きく注目された。また人為起源の気候変動は、既に世界中の全ての地域で、多くの気象及び気候の極端現象に影響を及ぼしており、観測された変化に関する証拠等は前回報告書 (AR5) 以降、強化されているとも指摘した。

続く第2作業部会報告書 (影響・適応・脆弱性) (2022年2月公表) では、人為起源の気候変動が、極端現象の頻度と強度の増加を伴い、広範囲にわたる損失と損害を引き起こしていることを詳細に示すとともに、127の主要なリスクを明らかにした。また気候変動の影響およびリスクは複雑化しており、管理が更に困難になっていること、一部の適応は限界に達しており、今後の温暖化の進行に伴って更に多くの人間と自然のシステムが適応の限界に達するだろうことも指摘した。

第3作業部会報告書 (気候変動の緩和) (2022年4月公表) では人為的な温室効果ガス (GHGs) 排出量の推移や、パリ協定の2°Cもしくは1.5°C目標の達成に向けた実現経路の分析が示された。正味の人為的なGHGs排出量は2010年以降、世界的に増加していた。化石燃料と工業プロセスからのCO₂排出量は削減されているが、産業、エネルギー供給、運輸、農業、及び建物における世界全体の活動レベルの上昇による排出量の増加がそれらを上回っていた。また、2021年以前の各国の「国が決定する貢献 (NDCs : Nationally Determined Contributions)」の積み上げだけでは21世紀中に温暖化が1.5°Cを超える可能性が高い見込みとし、緩和努力の急速な加速が必要と指摘した。

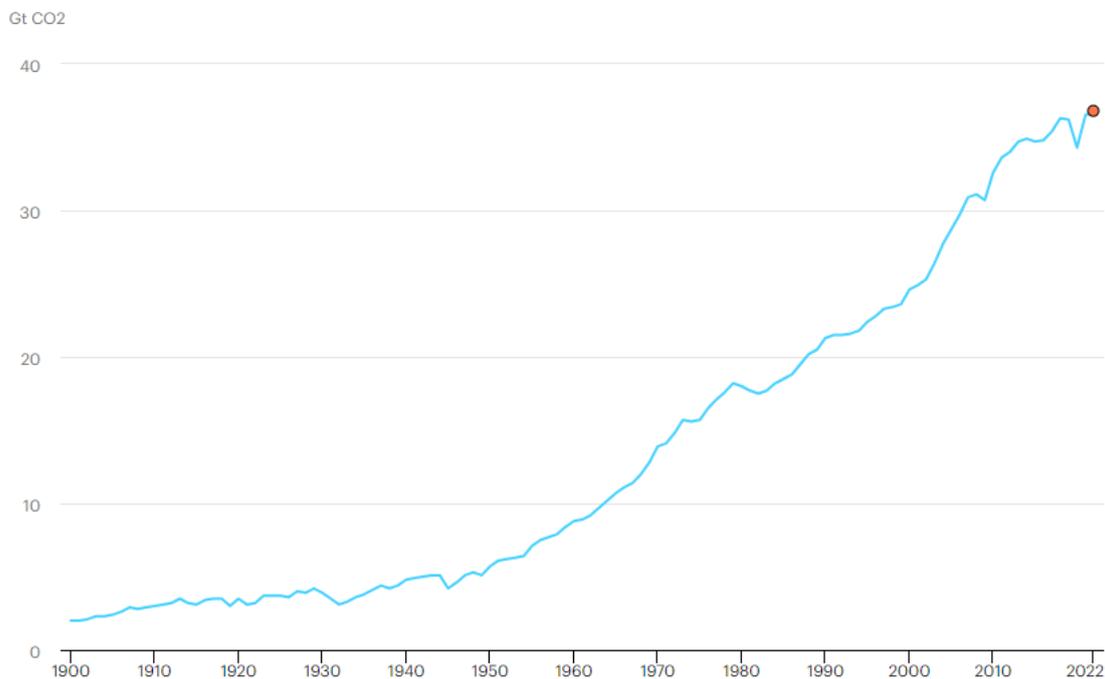
前述の3作業部会報告書等で得られた知見を基に第6次評価報告書 (AR6) の統合報告書が2023年に公開された。この報告書では、気候変動、その広範に及ぶ影響とリスク、気候変動の緩和と適応に関する知識の現状についてまとめられている。将来の気候変動に対して、大幅で急速かつ持続的な温室効果ガスの排出削減は、今後約20年以内に地球温暖化の識別可能な減速をもたらす、数年以内に大気組成に識別可能な変化をもたらすとしている。一方で、現在実現可能で効果的な適応オプションは、地球温暖化の進行に伴い制限され、効果が減少する。地球温暖化の進行に伴い、損失と損害が増加し、より多くの人間と自然のシステムが適応の限界に達する、と警告している。

また、2023年11月から12月にかけて、国連気候変動枠組条約第28回締約国会議 (COP28)、京都議定書第18回締約国会合 (CMP18) 及びパリ協定第5回締約国会合 (CMA5) が、アラブ首長国連邦 (UAE) ・ドバイにおいて開催された。COP28では、グローバル・ストックテイク (GST) に関する決定、ロス&ダメージ (気候変動の悪影響に伴う損失と損害) に対応するための基金を含む新たな資金措置の制度の大枠に関する決定の他、緩和、適応、資金、公正な移行等の各議題についての決定がそれぞれ採択された。GSTは、パリ協定の目的達成に向けた世界全体の進捗を評価するものであり、締約国のNDC更新などへの重要な情報となり、今回が第1回目の実施であった。その中でパリ協定が気候変動対策を活発にしたが、その長期目標の達成に向けては順調ではないと評価されている。また、「化石燃料からの移行 (transition away from fossil fuels)」や、「トランジショナルな燃料 (transitional fuels) の役割」、「再エネ発電容量3倍、省エネ改善率2倍」「化石燃料からの移行」「ゼロ排出・低排出技術の加速 (原子力、炭素回収・利用・貯留 (CCUS)、低炭素水素等)」などが盛り込まれた文書が採択された。ロス&ダメージ (気候変動の悪影響に伴う損失及び損害) に対応するための新たな資金措置 (基金) についてCOP28の初日に大枠が決定された。日本は、基金の立ち上げ経費として1,000万米ドルのプレッジ (拠出の約束) を表明している。COP28は多くの成果を示したものの、成果文書への化石燃料の「段階的削減 (phase down)」または「段階的廃止 (phase out)」の盛り込みの議論や開発途上国側の脱炭素には莫大な支援が必要であることが盛り込まれるなど各国の立場や思惑の違いも現れている。

世界経済フォーラムが毎年公表しているグローバルリスク報告書の2024年版²では長期的グローバルリスク(今後10年間に顕在化する)として、「異常気象」「地球システムの危機的変化(気候の転換点)」を筆頭に環境関連項目が上位10項目中の半数を占めている。一方、短期的リスク(今後2年間)の上位10項目の中で環境関連項目は昨年の5項目から2項目に減少し、経済や社会問題が増加している。環境リスクを民間部門では長期的な懸念としているのに対し、若年層や市民社会、政府関係者参加者は短期においてより重要と認識しており、回答者の立場による意見の不一致があるとしている。このことは現在の調整と意思決定が最適では無いことを示し、重要な介入の瞬間を逃すリスクが高まるとしている。

(B.b) 温室効果ガス(GHG) 排出量の推移

IPCC AR6の第3作業部会報告書(気候変動の緩和)によると、2019年の世界全体の人為的なGHGsの正味排出量は590億トン(±66億トン)(二酸化炭素換算値、CO₂-eq)であり、2010年より約12%多く、1990年より54%多かった。また年平均増加率は2000年~2009年の2.1%/年から、2010年~2019年の1.3%/年に鈍化した。エネルギー起源CO₂排出量は、国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)の「Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2022」によれば2020年にはコロナ禍での大規模な都市封鎖などの影響で前年比5.2%減と大幅に減少したが、翌年以降は再び増加に転じ、結果として2021年には365億トン、2022年は368億トンとなり、減少は一時的なものであった。一方で、「CO₂ Emissions in 2023」によると、2023年の電力部門からの排出量はクリーンエネルギーの導入により構造的に減速しつつあり、2023年の干ばつによる世界的な水力発電の不足が無ければCO₂排出量は減少していた可能性もあると指摘している。



図表 1.2.1-1 エネルギー起源CO₂排出量の年推移 (国際エネルギー機関)

©OECD/IEA Global Energy Review:CO₂ Emissions in 2022, Licence:www.iea.org/t&c

2 World Economic Forum, “Global Risks Report 2024”, <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>

大気中の二酸化炭素濃度はグローバル・カーボン・プロジェクト (GCP) の2023年12月時点での報告によると、419.3 ppmであり、産業革命前から51%の増加となる。2013–2022年の10年間の平均的な大気への正味蓄積量は年間 5.2 ± 0.02 GtCであり、海洋は年間 2.8 ± 0.4 GtC、陸域は年間 3.3 ± 0.8 GtCと推定された。

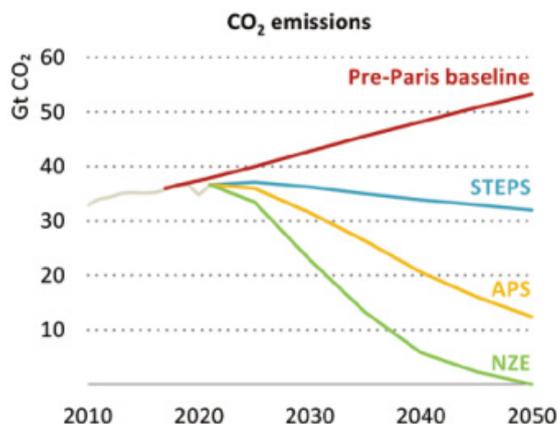
(B.c) 排出削減シナリオの最新動向 (IEA、IEEJ)

気候変動への危機意識が高まる中、より野心的な削減目標を掲げる国・地域が増えており、現在は日本を含め150を超える国・地域が期限付きのカーボンニュートラルを表明している。これは世界のCO₂排出量の9割近くに相当する。しかしながらパリ協定に基づく各国・地域の削減目標 (NDC) の積み上げでは目標達成に必要な排出削減量を満たせないとも予測されている。

2°C目標の達成実現のための方策は必ずしも明らかではない。具体的にどのようにすれば達成可能か、あるいは実現手段の組み合わせからどれほどの削減ポテンシャルが見込まれるかという観点からの研究が行われている。ここではIEAとIEEJのシナリオ分析例を示す。IEAでは2050年の排出量の予測から逆算的にシナリオを分析しており、規範的な見通しである。政治・経済などの要因で停滞することもあり、実現の可能性が必ずしも高くない。IEEJでは現在のエネルギー需給の状態から政策・技術等の導入効果を分析している。

① IEAによる長期シナリオ分析

IEAの報告書である「World Energy Outlook」(WEO)と「Energy Technology Perspective」(ETP)ではエネルギーに係る長期シナリオを、エネルギー変換・供給、建築、産業、運輸の各部門の相互に関係する詳細な複数のモデルによるボトムアップモデルを用いて示している。世界の26の地域や国を含み、全世界を表現するものである。2022年版WEOでは各国政府の長期的見通しに基づく政策を取り込み、次の3種類のシナリオについて解析している。



図表 1.2.1-2 WEO2022による3つのシナリオのもとでのCO₂排出量

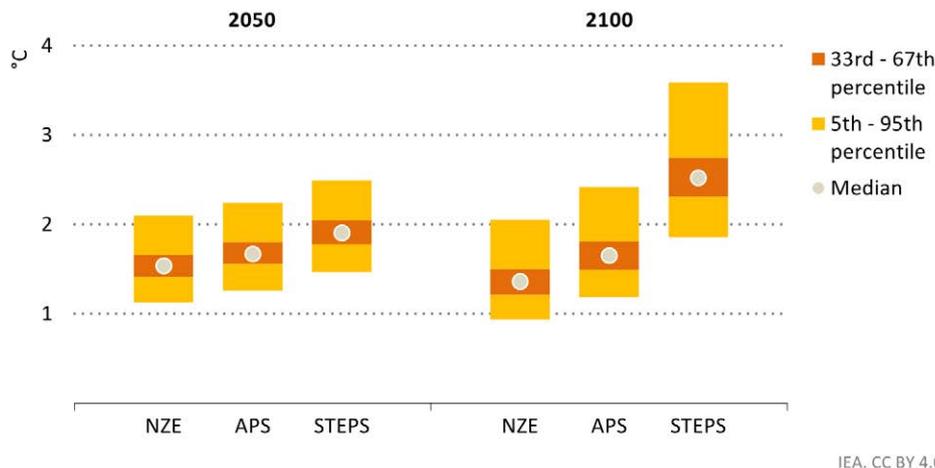
©OECD/IEA World Energy Outlook 2022, IEA Publishing, Licence:www.iea.org/t&c

- NZE (Net Zero Emissions by 2050、ネットゼロ排出シナリオ)：2050年までに世界全体でネットゼロを達成するもので、温度上昇は1.5°Cまでで世界的に安定するような規範的シナリオ。先進国の方が途上国よりも早期にネットゼロに到達する。また、2030年までに現代的なエネルギーが普遍的に用いられるようになることも条件としており、SDGs目標7への寄与も考慮されている。

- APS (Announced Pledges Scenario、表明公約シナリオ) : 各国の政府が発表した気候変動関連の目標がすべて期限内に実行されることを想定したシナリオ。長期的なネットゼロ目標やエネルギーアクセスに関連する公約なども含んでおり、これらの実施のための具体的な政策の有無にはかかわらず、達成することを仮定している。国際的な誓約や企業、非政府組織のイニシアチブも考慮されている。
- STEPS (Stated Policies Scenario、公表政策シナリオ) : 各国政府が実施ないし発表した特定の政策のみを考慮したシナリオ。エネルギー関連や産業プロセスからのCO₂排出は2020年の340億トンから2030年の360億トンに増加し、その後も同等量の排出が続く。

NZEシナリオのもとでは2050年時点の温度上昇は1.6°Cに抑えられ、2100年には1.4°Cに下がるが、STEPSシナリオでは2060年頃には2°Cを超え、その後も気温上昇が続く (図表 1.2.1-3)。

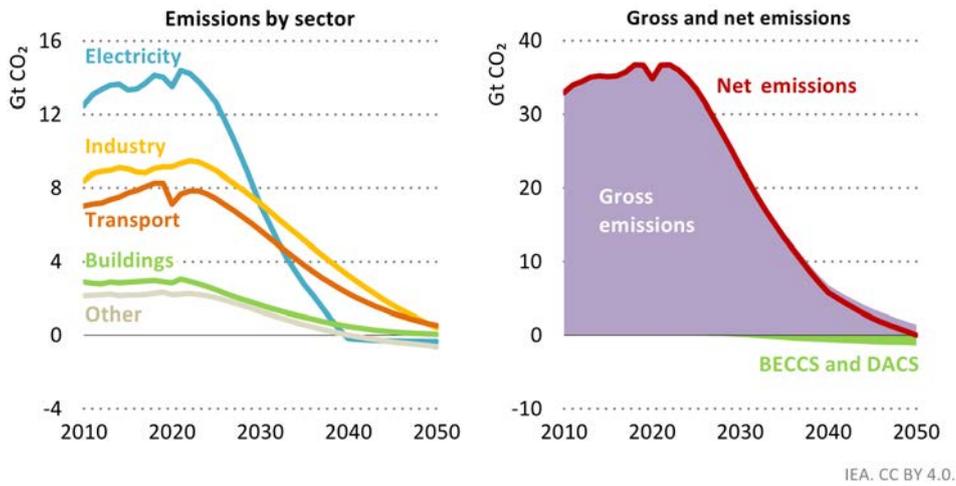
電力部門による排出は現状では他部門よりも多いが、NZEシナリオのもとでは2020年代以降に急激に削減が進む。2030年以降は、全体的な排出削減につれてBECCS (バイオマス発電とCO₂回収・貯留) やDACCS (大気中CO₂の直接回収・貯留) といったいわゆるネガティブエミッション技術が相対的に重要になる (図表 1.2.1-4)。



IEA. CC BY 4.0.

図表 1.2.1-3 WEO2022による3つのシナリオのもとでの2050年と2100年の気温上昇

©OECD/IEA World Energy Outlook 2022, IEA Publishing, Licence:www.iea.org/t&c



図表 1.2.1-4 WEO2022によるNZEシナリオのもとでの部門別排出量の推移と総排出量と純排出量の推移

©OECD/IEA World Energy Outlook 2022, IEA Publishing,.Licence:www.iea.org/t&c

② 日本エネルギー経済研究所（IEEJ）による長期シナリオ分析

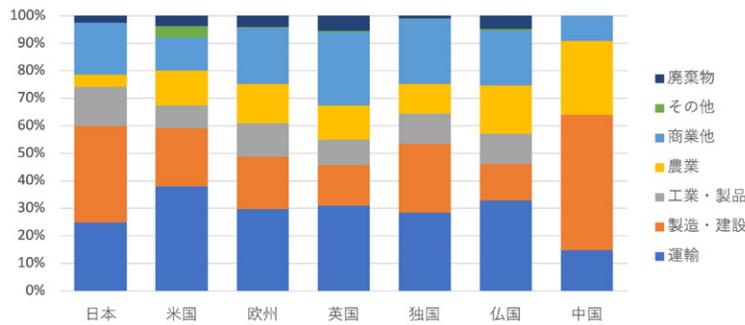
IEEJのアウトルックで示される長期シナリオ分析は、IEAによるエネルギーバランス表をもとにして、各種経済指標や人口、自動車保有台数、素材生産量等のエネルギーと関連の深いデータを用いた計量経済的手法の定量分析モデルである。世界を42地域と国際バンカー（航空、船舶）に分割し、それぞれのエネルギー需給モデルを構築したものによる。レファレンスシナリオと技術進展シナリオの二つの分析を行っている。

- レファレンスシナリオ：過去の趨勢および現在までの政策・技術等に基づき将来を見通すシナリオで、政策・技術は固定的なものではない。また際立って急進的な省エネルギーや政策は想定していない。
- 技術進展シナリオ：世界の全地域で関連政策が強力に実施され、それらが最大限奏功することで先進的技術が最大限に導入されることを想定したシナリオ。

技術進展シナリオにおいて、2050年の最終エネルギー消費はレファレンスシナリオに対して24.8%削減され、エネルギー起源の排出量は14.7Gtとなっている。排出量はWEO2022のAPSシナリオと同様に大幅に削減されるものの、カーボンニュートラルは実現出来ないと予想されている。排出量の削減には中国とインドの寄与が大きい。一方、米国および欧州、日本の排出量削減目標はこの技術進展シナリオにおいても達成出来ていないと評価している。

③ 主要国の2050年シナリオ

いくつかの国、地域における2021年のGHGs排出量の消費部門別比率を図表1.2.1-5に示す。国、地域の産業特性の違いから注力が必要な部門が異なる。アメリカでは相対的に運輸部門からの排出が多く、英国は商業、ドイツは製造、フランスは農業、中国では世界の工場として製造（工業も含む）が相対的に多い。



図表 1.2.1-5 各国のGHGs排出量の部門比率比較 (電力を除く)

国連「Climate Change」よりCRDSにて作成。

中国はIEEJ Outlook 2023を参照 (農行に商業他を含む、製造・運設に工業・製品を含む)

米国は、2030年までにGHGs排出量を2005年比で50～52%まで削減し、2050年にカーボンニュートラルを実現することを目指している。2022年8月には気候変動対策を盛り込んだインフレ削減法 (Inflation Reduction Act) が成立している。本法では、クリーン電力 (太陽光・風力・地熱・バイオマス等の再エネ、原子力) への移行を促進する方針が掲げられている。再エネ関連設備投資に対する税額控除、原子力発電における発電量に応じた税額控除に加え、水素やバイオ燃料等のクリーン燃料に対する税額控除も掲げられている。さらに、電化促進策としての電気自動車への減税・補助、産業部門においては、①エネルギー効率の向上、②産業の電化、③低炭素燃料・原料・エネルギー源への移行、④CO₂の回収利用・貯留、の4つの柱を挙げている。

EUは、排出量取引の強化、再エネの導入目標の引き上げ、エネルギー効率化を図るなどの取り組みを始めた。域内のガスを天然ガスから水素やバイオガスへ変更するルールづくり、既存の建築物も含めてエネルギー効率を高めることなどを行っている。農業部門では、草地の維持や、湿地帯や泥炭地の修復、森林や有機農業等による土壌の炭素捕捉能力の向上による排出削減を目指す。しかし、世界人口の増加に伴う農業生産拡大によってCO₂削減ペースは2030年から低下し、農業部門の排出量はEU全排出量の1/3になるとみている。

英国は2017年に「The Clean Growth Strategy」を発表した。排出量削減と経済成長拡大を同時に行う「グリーン成長」を推進するもので、2050年を視野に入れたものである。2035年に電力の脱炭素化を目指し、水素発電、産業部門からのCO₂の回収と再利用を進める。2050年の電源構成は6～7割を再エネ、2割程度を原子力でまかない、そのほかに水素とCCUS付きのガス発電とすることを一つの例としている。航空による排出に対し、農業活動による除去を想定している。2050年までに森林被覆率を16.5%までに増加させる。

ドイツは長期的な気候変動対策の指針となる「Climate Action Plan 2050」(2016年)で、2050年の80～95%削減を示したが、その後、目標を2050年から2045年に前倒した。営農型および新築建造物の太陽光発電を増やしている。森林や湿地などの吸収源の保全や再生に取り組むとともに、建築部門での木材再利用や居住地利用の土地面積削減も計画している。産業からの排出除去についての目標を設定した。

フランスは「国家低炭素戦略 (SNBC : Stratégie nationale bas carbone)」を定める法令を2015年に発行し、これに基づいて長期戦略に取り組んでいる。再生可能エネルギーと原子力発電を2本の柱とし、原子力、太陽光、洋上風力について拡充する。農業においてはアグロエコロジー農業を拡大し、低肥料・有機肥料への切り替え、輪作期間の延長などを行うほか、木材収穫量の増加と建築用材としての利用と、CO₂除去のために森林吸収源を活用する。

中国は2030年までにCO₂排出量のピークを達成し、2060年までにカーボンニュートラルを実現する目

標を掲げている。2021年の10月に国連に提出された「China's Mid-Century Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy」では2030年までにエネルギー消費における非化石エネルギーの割合を25%とし、2060年までに80%まで改善するとしている。2030年に向けて風力、太陽光は12億kW、森林ストック量を2005年レベルから60億立方メートル増加させるとしている。再生可能エネルギーと先進的な原子力エネルギー技術を積極的に開発するとしている。

④ その他のシナリオ

シナリオは検討項目や方法によって、新しいものが次々と開発されている。

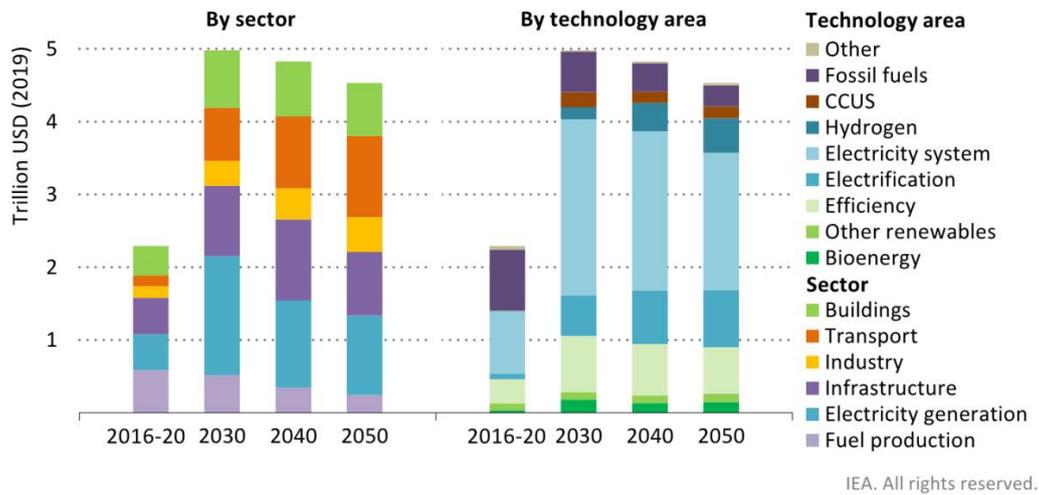
IPCCのAR6では、2022年にSSP (Shared Social-economic Pathways、共有社会経済経路) という将来の社会と経済の発展を仮定したものと、放射強制力 (CO₂濃度の変化等による放射エネルギーの収支の変化量) とを組み合わせた基本となる5つの設定のシナリオが公表された。それらに対し大学・研究機関が様々な想定のもとに複数のシナリオを提出し、IPCCが審査を行っている。合格したシナリオは1200以上となった。

SDS (Sustainable Development Scenario、持続可能な開発シナリオ) は国連の持続可能な開発目標 (SDGs) のうち、エネルギーへの普遍的アクセスの達成、大気汚染の影響の低減、気候変動への対処を達成しうるエネルギー部門の技術進歩を取り込んだシナリオである。「ETP2020」で、中核をなしたシナリオであったが、「ETP2023」では用いられなかった。

(B.d) 排出削減に係る費用

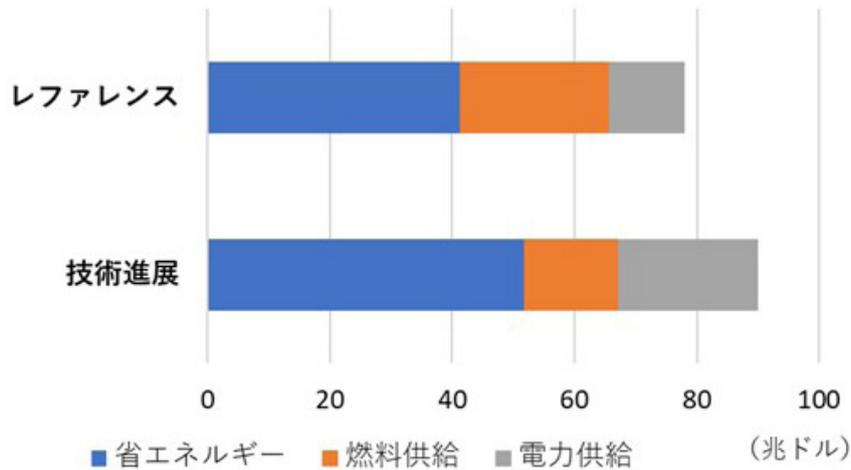
IEAによるSTEPSとAPSの2つのシナリオ分析によると、2050年のCO₂排出量はそれぞれ320億トンと124億トンである (WEO2022)。同じくIEAの報告書「Net Zero by 2050」では、それらの排出を除去するNZEシナリオのもとでは、2050年にエネルギーへの投資は4.5兆ドルとなるとしている (図表1.2.1-6)。これは現在の2兆ドル強よりも2倍以上であるが、2030年の投資額が最も大きく、再生可能エネルギーの大量導入による低コスト化によって、時間とともに投資額が下がることも示している。

一方、IEEJによると現状 (2010年代) の累積投資額は15兆ドルで、その後の2022年から2050年までの29年間の累積投資額はレファレンスシナリオでは77.9兆ドル、技術進展シナリオでは90.1兆ドルとしている (図表1.2.1-7)。技術進展シナリオでは、化石資源投資が少なくなるが、再生可能エネルギーや省エネルギーへの投資が大きくなるため、レファレンスシナリオよりも2割ほど高くなる。2021年から2050年の技術進展シナリオにおける年平均投資額は3.1兆ドルで、前述のIEAのNZEシナリオによる分析の4.8兆ドルよりも少ない。しかし、IEEJの投資予測は2021年から10年ごとに増えるとしており、10年ごとに減るとするIEAと傾向が異なる。



図表 1.2.1-6 NZE シナリオにおける資本投資額

©OECD/IEA Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA Publishing, Licence : www.iea.org/t&c



図表 1.2.1-7 IEEJ による 2つのシナリオのもとでの世界のエネルギー関連投資 (2022-2050年累積投資額) (IEEJ アウトルック 2024 を基に CRDS 作成)

(C) 経済金融分野の動向

(C.a) ESG 投資

持続可能な社会の実現に向けた金融分野の動きは ESG 投資 (Environmental, Social and Governance Investment) に象徴されるように拡大の一途を辿っていた。実際、国連貿易開発会議 (UNCTAD) の「WORLD INVESTMENT REPORT 2023」集計では 2022 年の持続可能性をテーマとした投資は 5.8 兆ドルに上った。サステナブル・ファンドは 7012 件、2.5 兆ドルであった。グリーンボンドの残高は、3.3 兆ドルと増加している。現在では、脱炭素化に向けた移行期間での取組に焦点を当てたトランジション・ファイナンスも推進されている。一方で、一部ではロシアのウクライナ侵攻により投資対象を化石燃料銘柄にシフトする動きもみられている。

ESG 投資は 1920 年代から始まった投資手法であるが、2006 年に国連が公表した「責任投資原則 (PRI: Principles for Responsible Investment)」を受け注目が集まった。PRI では、世界中の機関投資家に、

環境、社会、企業統治に係る課題を投資分析や意思決定プロセスに組み込むことが求められ、投資対象の主体にはESGの課題に関する適切な開示が求められるようになった。PRIへの署名を行った機関は増加しており5,388(2024年3月時点)となっている。2019年には「責任銀行原則(Principles for Responsible Banking)」も公表され、金融機関の投融資行動に対しても同様の姿勢が求められるようになってきている。

ESG投資では、グリーンウォッシュなどの懸念や、「持続可能な経済活動」の定義が明確でないことが問題とされ、EUやISOで、その定義の具体化が図られている。後述するようにEUではタクソノミー規則が策定されたが、社会情勢を受けて現実的な判断を迫られる事態になった。ISOにおいても2018年からISO/TC323で検討されており、石炭火力の取り扱いなど各国の思惑が調整され、2022年10月に委員会原案(CD)が登録された。現在、ワーキンググループ・作業部会にて検討が行われており、2024年の発行を目標としている。

ESGに係る情報開示が求められる中、G20からの要請を受けて民間主導の「気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD)」が2015年に発足した。2017年に企業統治、戦略、リスク管理、指標と目標の4項目について開示することを求める提言が最終報告書としてとりまとめられ、公表された。その後、TCFD提言への賛同機関は徐々に増え、経済産業省の「日本のTCFD賛同企業・機関」によると2023年2月時点では世界で5,005の企業・機関が賛同を示している。

こうした動きを受けて、自然関連財務情報開示タスクフォース(TNFD: Taskforce on Nature-related Financial Disclosures)が2019年の世界経済フォーラム年次総会で着想され、国連環境計画金融イニシアチブ(UNEPFI)、国連開発計画(UNDP)、世界自然保護基金(WWF)、英国環境NGOグローバルキャノピーによって2021年6月に設立された。TNFDは、2023年9月、情報開示枠組みの最終提言を公開している。この提言では、開示推奨項目として、「ガバナンス」、「戦略」、「リスクとインパクト管理」、「指標と目標」の4つを挙げている。さらに、2024年の世界経済フォーラム年次総会にて2023年、2024年もしくは2025年度の企業報告をTNFDに沿った形で開示する意向を登録した企業「TNFDアーリーアダプター」のリストを公表した。世界全体で320社、日本からは80社・団体がTNFD開示宣言をし、国別では最も多かった。このように、自社の取組みを積極的に開示することでESG投資を呼び込む好循環を作ろうとする動きが広がっている。

(C.b) カーボンプライシング

2050年のカーボンニュートラル実現に向けた政策手法として、炭素排出に価格を付け、炭素排出者の行動変容を促すカーボン・プライシング(略称CP)が一部で導入されている。CPには、炭素税、排出量取引、クレジット取引、炭素国境調整措置等がある。こうした仕組みは、価格効果で温室効果ガス排出削減を経済的な枠組みの中で誘引していくことができるため、長年検討されてきた。最近ではDACCS(大気中CO₂直接回収・貯留)やBECCS(バイオエネルギーとCO₂回収・貯留)、植林やブルーカーボン等のネガティブエミッション技術の社会実装や普及拡大にも重要と考えられている。

また、排出量取引制度(略称ETS)とあわせて炭素税による排出削減の取組も整備されている。世界銀行発出「カーボンプライシングの現状と傾向2023年」において、カーボンプライシングの政策は73件あり、世界のGHGs排出量の約23%をカバーしていると報告されている。その価格は上昇しており、2022年の炭素税とETSによる導入国・地域政府の収入は、世界全体で前年比10%増の約950億ドル、その内訳は、ETSでの収入が69%、炭素税の収入が残りの31%であった。また、収入の内、EU-ETSの収入は、420億ドルで最も多くなっている。また、域外取引に対してEUでは、2023年5月に炭素国境調整メカニズム(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)のEU規約が施行され、2026年の実施に向け、2023年10月より移行期間となった。EUのCBAMは、EUに輸入される鉄鋼、セメント、電力、肥料、アルミニウムなどに対する炭素関税である。温室効果ガス(GHGs)排出削減が不十分な輸入品に対するもので、炭素価格負担回避のためのカーボン・リーケージを防ぐことを目的としている。移行期間においては、前述の対象製品

にかかるカーボンフットプリントについて、四半期毎の報告が義務化されている。

他にも暗示的な価格として、補助金やエネルギー課税、固定価格での買取り制度などがある。その価格設定は経済性から脱炭素を促進するインセンティブとなる一方、エネルギー価格にも影響する。

(C.c) カーボンクレジット

CPの一種であるカーボン・クレジットでは、GHGsの排出削減効果をクレジット（排出権）として発行し、企業等に設定した排出枠に対して、余剰もしくは不足した排出量を取引可能にする仕組みである。これについてCOP26におけるパリ協定6条に規定される「市場メカニズム」の実施ルール（二重計上の防止、国連管理メカニズムなどの実施指針）が合意されている。クレジットは排出量見通しに対する削減量をMVR（モニタリング・レポート・検証）を経て認証される。このルールは国同士の移転だけではなく、民間企業の排出ガス削減にも準用され、脱炭素市場の活性化が期待されている。また、クレジットに対するニーズは年々拡大しており、クレジットの取り扱いについて国際的な議論も進んでいる。日本でもGX（グリーントランスフォーメーション）リーグが開始し、2023年10月に東京証券取引所でカーボン・クレジット市場が開設された。2024年1月末までの売買状況を図表1.2.1-8に示す。実証事業への参加者は当初の183社から業種による増減はあるが257社に増加している。クレジットの質を確保した上で量の拡大を図るために、クレジット取引の透明性確保やクレジットの位置づけの明確化等を進めることが重要になる。

図表1.2.1-8 市場開設後の売買状況 期間：2023年10月11日～2024年1月31日³

クレジットの種類	約定値段 (円)		累計売買高 (t-CO ₂)
	加重平均	安値～高値	
省エネルギー	1,680	1,510～2,850	42,945
再生可能エネルギー (電力)	3,040	2,601～3,900	68,288
再生可能エネルギー (熱)	2,282	2,000～2,480	122
J-クレジット 森林	8,095	6,046～9,900	64
J-VER (未移行) 森林	8,450	8,450～8,450	52
合計	—		111,471

(C.d) EUのサステナブル・ファイナンス政策

EUは、ESG投資を実践するファイナンス全体を指す「持続可能な金融（サステナブル・ファイナンス）」の推進に向けて法制化などを進めてきた。2018年に採択した「サステナブル・ファイナンス・アクションプラン」に基づいて、「タクソミー規則」と呼ばれる経済活動の分類システムや、投資に必要な情報の開示に係る制度、各種ツール等の整備を進めてきた。2021年7月には新たに「サステナブル経済への移行に向けたファイナンス戦略」を策定し、金融セクターの支援を通じてこの一連の取り組みを引き続き推進していく姿勢を示した。

3 株式会社東京証券取引所, "市場開設以降の売買状況", <https://www.jpx.co.jp/equities/carbon-credit/daily/nlsgeu000006ltge-att/TradedPriceandVolume.pdf> (2024年2月7日アクセス)

一連の取り組みの中でも特に注目されたのはタクソミー規則である。2020年7月に発効した同規則は環境面で持続可能な経済活動に該当する活動を分類・定義するものであり、EU域内の市場で活動する金融機関や企業に対して法令上の措置として実施される。同規則では環境面で持続可能な経済活動かどうかを判断するための4つの条件を提示している(図表1.2.1-9)。このうち目的①と②(気候変動の緩和と適応)についての検討が先行して行われ、2022年1月から適用開始となっている。その他の4つの目的に関する定義は順次検討が進められ、2023年6月に公表された。

目的①に関する検討では天然ガスおよび原子力による発電の取り扱いが大きな議論となった。それぞれへの依存度が高い国とそうでない国の間で意見が分かれていたが、結果的に、ライフサイクル全体でのGHGs排出が一定量以下になること、新設を制限すること、廃棄物処理についての詳細な計画があることなどの条件付きで、移行期の活動として2022年7月の本会議にて承認された。

その後、欧州委員会は2023年6月、タクソミー規則の目的に関して、新たな経済活動の詳細規定や経済活動を追加する改正案などからなるサステナブル・ファイナンス・パッケージを発表した。これにより、持続可能性に貢献する経済活動が、より具体化された。

図表 1.2.1-9 タクソミー規則の条件

条件1	設定された環境目的(※)のうち1つ以上に貢献すること (※) 環境目的: ①気候変動の緩和(温室効果ガスの排出削減) ②気候変動への適応(気候変動による影響への対処) ③水資源と海洋資源の持続可能な利用および保全 ④循環経済への移行 ⑤汚染の予防と管理 ⑥生物多様性と生態系の保全および回復
条件2	いずれの環境目的も著しく害しないこと
条件3	人権などに係るセーフガードに従って実施すること
条件4	欧州委員会が策定するスクリーニング基準を遵守すること

EU HPを基にCRDS作成

(D) 生物多様性の状況

生物多様性に関する直近の世界目標は生物多様性条約第10回締約国会議(CBD COP10)(2010年)で策定された愛知目標だった。2020年9月に公表された「地球規模生物多様性概況第5版(GBO5)」によると、2011年から2020年までの間の世界目標であった愛知目標に関して、20ある目標のうち6つの目標では期限までに部分的な達成が見られたと評価された。例えば、2000年からの10年間と比べて2011年からの10年間は世界的な森林減少の速度が約3分の1に減少した。保護地域は拡大し、2000年以降の20年間で陸域では約10%から少なくとも15%に、海域では3%から少なくとも7%にまで増加した。生物多様性国家戦略及び行動計画を策定した国は196ある締約国のうち168か国にまで増加した。しかし残りの目標は未達成となった。国家戦略や行動計画を策定した国が100か国を超えたのが2016年以降と比較的最近であり、かつ各国が設定した目標水準は愛知目標達成に必要な水準よりも低かったとも指摘している。

愛知目標に続く「ポスト2020生物多様性枠組」の策定はコロナ禍の影響もあり予定通りには進まなかったものの、2022年12月にカナダ・モントリオールで開催されたCBD COP15第二部において「昆明・モントリオール生物多様性枠組み」として採択された。同枠組みでは、2050年ビジョンを「自然と共生する世界」とし、2030年に向けては、生物多様性の観点から陸と海の30%以上を保全する「30by30」などのターゲット

トを定めた。

企業活動に対して生物多様性保全を求める動きが国際社会の中で徐々に大きくなっている。世界経済フォーラムは2020年に「自然とビジネスの未来」報告書を発表し、世界の総GDPの約半分にあたる約44兆ドルが自然に依存しており自然の損失が世界経済を脅かすと指摘した。特に金融業界で顕著な動きが見られる。その一つがEUによる「タクソノミー規則」である。タクソノミー規則が対象とする環境目的には、気候変動の緩和や適応と並んで「生物多様性と生態系の保全および回復」がある。これまで先行的に気候変動の緩和、適応に関するタクソノミーの検討が進められていたが、現在は生物多様性と生態系を含むその他の環境目的に関する検討も進められている。

2021年に英国で開催された主要7か国首脳会議（G7サミット）では「2030年自然協約」が採択され、2030年までに自然の損失を「ネイチャー・ポジティブ」へと反転させることが宣言された。同協約においてG7各国は、2030年までに陸地及び海洋の少なくとも30%の保全または保護を目指す「30by30目標」に取り組むことになる。

2021年のG7開催にあたり「自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD：Task Force on Nature-related Financial Disclosures）」も発足した。TNFDは、「気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）」と同様、企業が自然関連リスクを報告し行動する枠組みをつくる役割を担っている。2022年3月には情報開示の枠組みである「TNFDフレームワーク」の初のベータ版が公表され、市場参加者からのフィードバックを踏まえた最終版が提言として2023年9月に公表された。その内容は自然関連の基本的な概念・用語の定義、情報開示に関するTNFDとしての提言、評価指標、企業が実際に自然関連のリスク・機会を評価するためのガイダンス（LEAPアプローチ等）で構成されている。また提言はガバナンス、戦略、リスク・インパクトの管理、測定指標の4つの柱で構成されている。

社会の中において今後は気候変動リスクへの対応と同様、生物多様性や生態系に係るリスクへの対応もこれまで以上に強く求められる可能性が高まっている。しかしその一方で自然と事業活動の関係を定量的に評価し情報開示するための方法論や科学的裏付けは必ずしも十分に整備されていない。社会的な仕組み作りが急速に進む中、それらを支える科学研究や技術開発の必要性にも注目が集まっている。

(E) サーキュラーエコノミーの状況

世界経済フォーラムが公表した「Circularity Gap Report 2020」によると、世界経済のサーキュラリティ（世界経済に投入される鉱物、化石燃料、金属、バイオマスの総量のうち回収・循環利用される割合）は9.1%から8.6%へと低下した（図表1.2.1-10）。その原因には①採掘資源量の増加、②社会の中での継続的な蓄積、③使用後の処理・循環利用の少なさがあるという。なお、同レポートの2023年版「Circularity Gap Report 2023」では、過去5年間で7.2%とさらに低下していることが報告されている。

図表 1.2.1-10 世界経済のサーキュラリティ

	2015年	2017年
投入総量	928 億トン	1,006 億トン
回収・循環利用量	84 億トン	86 億トン
割合	9.1%	8.6%

近年は、サーキュラーエコノミーと温室効果ガス排出削減を組み合わせた方策提案も見られる。資源の処理や利用に伴って大量の温室効果ガスが排出されるとの認識に基づく。前述の「Circularity Gap Report」

2022年版では車体の軽量化や交通の効率化、建築物の資源効率性の向上などによりサーキュラリティの改善と温室効果ガス排出削減を同時に実現できると提案している。国連環境計画によって設立された国際資源パネル (International Resource Panel) が作成した報告書「資源効率性と気候変動：低炭素未来に向けた物質効率性戦略」(2020年)でも物質効率性の改善が温室効果ガス排出削減の好機になるとし、住宅部門と自動車部門における可能性が検討されている。

その他、サーキュラーエコノミーに関する近年の世界的な動きの中ではプラスチックが注目された。OECDの報告「Global Plastics Outlook」によると世界のプラスチック生産量は過去20年間で2億3,400万トン(2000年)から4億6,000万トン(2019年)に倍増した。廃棄量も1億5,600万トン(2000年)から3億5,300万トン(2019年)に倍増した。そのうち19%は焼却、50%は埋め立て処分され、循環利用は9%に留まる。また残りの22%は環境中への流出もしくは不法な形での処分とされる。

先進国で生じた廃プラスチックの一部は再生プラスチック資源として中国や途上国に輸出される。しかしこれらのプラスチックが必ずしも適切に処理されず、環境中に流出していると指摘されている。2019年には2,200万トンの廃プラスチックが環境中に流出し、このうち610万トンが河川、湖沼、海洋など水系に流出した。環境中に流出・蓄積する廃プラスチックは環境負荷や社会・経済的な損失をもたらすとして国際的に問題視されている。微細化したプラスチック片(いわゆるマイクロプラスチック)による環境リスクの懸念も指摘された。

海洋プラスチック問題やマイクロプラスチック問題が国際的な重要議題となる中、各国・地域が資源循環戦略の策定や廃棄物輸入規制などの政策的対応を行った。なかでも廃プラスチックの輸入大国であった中国が2017年に輸入禁止措置を取ったことにより、廃プラスチックの国際的なフローは大きく変化した。中国に続いて東南アジア各国も廃プラスチックに対する規制強化を進めた。2019年5月には有害廃棄物が国境を越えて移動することを制限する「バーゼル条約」において汚れた廃プラスチックを追加する条約の附属書改正が可決された。これにより2021年1月の施行後は汚れた廃プラスチックを輸出する際に相手国の同意が必要となった。こうした一連の動きを受け、各国では使い捨てプラスチック製品の使用抑制や自国でのリサイクル強化など廃プラスチック抑制のための取組みが進められつつある。

[2] COVID-19による影響

(A) エネルギー消費活動に与えた影響

COVID-19が世界的に蔓延し始めた2020年の世界のエネルギー需要は2019年比で4%減少した。しかし翌2021年には4.6%増加し、コロナ禍前の2019年を上回る水準に回復した。2020年は繰り返されるロックダウンによって輸送や貿易を始めとした様々な経済活動が停滞せざるを得なくなり、エネルギー消費が抑制された。ところが2021年に入ると経済復興策を講じる国が徐々に増え、エネルギー需要が回復した。この回復を支えたのは特に中国、インド、東南アジアなどにおける高いエネルギー需要だった。

(B) 人間活動に伴う自然環境への影響の変化

多くの国や都市がロックダウンや移動制限、国境封鎖などの各種措置を講じることによって、温室効果ガスや大気汚染物質の排出が軽減されるなど、人間活動に伴う環境負荷軽減が、一時的に世界各地で観察された。温室効果ガスの排出に関しては前出の通りだが、大気汚染物質に関しても同様の傾向が観察されている。

例えばEU圏内ではロックダウンの影響により、フランス、イタリア、スペインの主要都市において2020年の大気中NO₂濃度の年平均値が前年から最大25%減少していた。最初のロックダウンが行われた2020年4月だけを抜き出すと前年同月と比べて最大70%低下した都市があった(「Air quality in Europe 2020 report」)。このような現地観測データに基づく報告が世界各地から出てきており、システムティック・レビューという研究アプローチを用いて、それらの報告を体系的に精査・総合化する試みが研究として進められている。

(C) 経済復興策としてのサステナブル・リカバリー

前述のようにCOVID-19の世界的蔓延は、各国のエネルギー政策に影響を与えた。このため、コロナ禍からの復興を目標としたサステナブル・リカバリーについて国際機関等からの提言が出されている。

IEAは、2020年発表の「持続可能な復興 (Sustainable Recovery)」において、3つの目標（「雇用の維持・創出」、「経済成長の促進」、「エネルギーの持続可能性及び回復力向上」）を掲げ、エネルギー部門の世界的な持続可能な復興計画を策定した。この目標達成には今後3年間（2021～2023年）で6セクター（電力、運輸、建設、燃料、産業、革新的低炭素技術）に対して世界のGDPの0.7%に相当する約1兆ドルの投資が毎年必要ではあるものの、投資によって世界全体の経済は毎年1.1%成長する見込みとのことである。また、雇用については、建設及び産業の分野において毎年900万人の雇用が創出され、さらにエネルギー関連の年間CO₂排出量は3.5 Gt近く減少し、メタン排出量は0.8 Gt CO₂-eq削減されると報告されている。本計画を実現するには、幅広い政策的な支援が必要であるため、IEAは各国政府に対し、この3年間が未来のエネルギーシステムを構築する絶好の機会であるとのメッセージを発している。その後2022年に発出されたIEA Sustainable Recovery Tracker には、この目標レベルに対する復興計画の評価方法が記載されている。

[3] 安全保障と環境・エネルギー

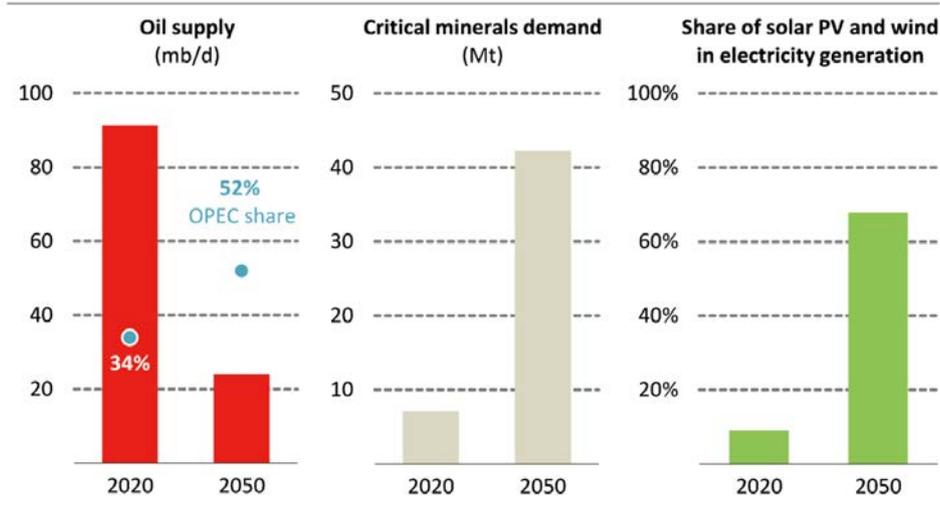
(A) 国際エネルギー情勢とカーボンニュートラル

石油危機をきっかけにIEAが1974年に設立されて以来、エネルギー安全保障は常に重要な課題のひとつとして議論されてきた。IEAが毎年発行する将来展望 (World Energy Outlook) では国際情勢を反映したエネルギー安全保障に関して詳細に分析している。2000年代半ば頃までの化石燃料の安定調達を中心とした議論から、気候変動対策や、電力システム全体での安定性の確保など、近年では多様かつ複雑な要素を含んだ内容へと変貌している。2020年10月に公開されたWEO2020で初めて2050年ネットゼロエミッション (NZE2050) の長期シナリオが示され⁴、翌年5月にカーボンニュートラル実現に向けた定量的な分析に基づくロードマップ (Net Zero by 2050) が発表された⁵。これは2050年のありたい姿からバックキャストした一つのシナリオであり、その現実性については議論がされるが、カーボンニュートラル社会に向けての課題の指摘も含まれている。この中でネットゼロ化におけるエネルギー安全保障について説明している。報告書によれば、石油供給量は2050年時に2020年比で約1/4に縮小し、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーの発電量の6割を超える (図表1.2.1-11参照)。この再生可能エネルギーの導入拡大により総原油供給量は減少方向に移行するが、生産原価が低いOPECのシェアは34%から52%まで拡大、原油供給元としてOPECに対する依存度が高まる事について安全保障上のリスクを指摘している。

4 International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2020", <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf> (2023年2月7日アクセス)

5 International Energy Agency (IEA), "Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector", https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf (2023年2月7日アクセス)

Global energy security indicators in the net zero pathway



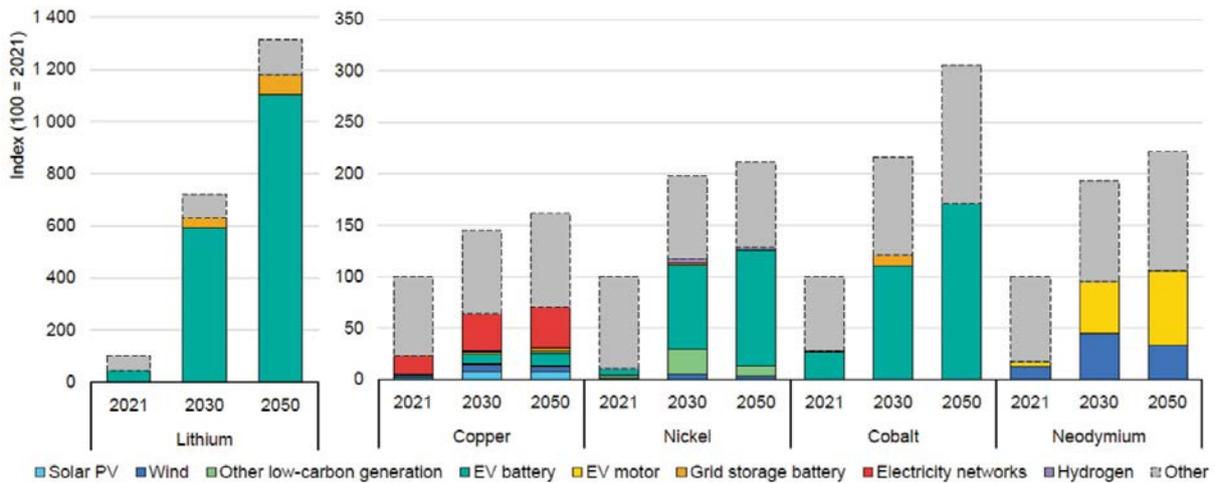
Note: mb/d = million barrels per day; Mt = million tonnes.

図表 1.2.1-11 ネットゼロに向けた道筋における世界のエネルギー安全保障の指標

©OECD/IEA Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA Publishing, Licence: www.iea.org/t&c

一方で、再生可能エネルギー分野の成長に伴い発電施設や関連設備、蓄電システム、送配電網の製造・整備に不可欠とされる重要鉱物の需要が急速に高まっている。IEAが2023年1月に発行した「エネルギー技術展望 (ETP)」では、NZEシナリオにおける最終用途別の世界の重要鉱物需要について見通しを示している⁶。世界のリチウムの総需要に占めるEVと系統用蓄電池の割合は2021年の45%から2030年には約90%まで急増する (図表 1.2.1-12 参照)。銅は再生可能エネルギー発電、EV、電力ネットワーク用途で25%から45%に上昇する。同様の用途で10年前は5%未満であったニッケルは2030年にその割合が60%近くに達すると予測している。風力発電設備やEV向けモーターの中核部材である磁石の利用拡大に伴い、コバルトやネオジムといった他の鉱物資源に対する需要も増加する傾向にある。報告書では、2030年までのNZEシナリオの必要量に対し、硫酸ニッケルで60%、リチウムで35%の供給不足を予測している。このような状況は国家間や企業間での希少金属の争奪戦に加え、価格高騰による調達の不安定化が懸念される。特に重要鉱物を他国からの輸入に依存する国はカントリーリスクを考慮した強靱なサプライチェーン構築が重要な課題になる。

6 International Energy Agency (IEA), "Energy Technology Perspectives 2023", <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d1ec36e9-fb41-466b-b265-45b0e7a4af36/EnergyTechnologyPerspectives2023.pdf> (2023年2月7日アクセス)



図表 1.2.1-12 NZE シナリオにおける最終用途別の世界のクリティカルマテリアル需要⁶

©OECD/IEA Energy Technology Perspectives 2023, IEA Publishing, Licence: www.iea.org/t&c

太陽光発電や風力発電など自然条件によって出力が大きく変動する自然変動電源の導入が世界的に進む中、安定的な電力供給を確保するために、エネルギーシステムの分散化や送配電システムの強化、需要側で柔軟に調整できる蓄電技術の発展が重要になる。IEAが示す「Power Systems in Transition」でエネルギー安全保障の重要な要素として、①適切性、②運用上の安全性、③強靱性を挙げている。これら3つの要素はそれぞれ、通常動作時での電力供給能力の維持、停電発生後に通常状態にいち早く復帰できる機能、短期的・長期的な変動に対する対応能力の確保、に対応しており、気候変動を含むあらゆるリスクを適切に管理したフレームワークの必要性を説いている。

分散型電源（DER）の大量導入では、電力システムの需給バランスや電力品質等の安全性維持が重要なポイントになる。出力制御や系統運用にはデジタル技術の活用、拡大が有効であり、高度な電力マネジメントが可能になる一方、サイバー攻撃を受ける機会や箇所が増えるリスクがある。電力制御システムが攻撃を受けた場合、大規模停電が発生するなど安全保障上重大なインシデントを引き起こす恐れがあることから、サイバーセキュリティ対策の強化が重要である。サイバーセキュリティ上の課題に対する具体的な制度等の設計の一環として、経済産業省が実施する「エネルギー需給構造高度化対策調査等事業」にて国内外の取組状況の実態調査、分析等が行われている。2023年2月に発行されたレポートでは日米欧における近年の取組について詳細に報告している⁷。米国エネルギー省（DOE）は2022年10月、DER業界と政府間の対話の促進を目的として、DER事業者と政策立案者に対する推奨事項を記載した報告書「Cybersecurity Considerations for Distributed Energy Resources on the U.S. Electric Grid」を発表した。2022年7月、EUエネルギー規制協力庁（ACER）は、ヨーロッパ全体の電力システムのセキュリティと回復力の維持に貢献することを目的として、サイバーセキュリティに関するネットワークコードの改訂版を欧州委員会に提出した。本案は、電力分野の事業者及び政府機関に対して、電力分野のサイバーセキュリティに関する要求事項を示している。国内では、資源エネルギー庁主体となり「特定卸供給事業に係るサイバーセキュリティ確保の指針」が2022年4月に制定された。

7 三菱総合研究所、「令和4年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（電力分野のサイバーセキュリティ対策のあり方に関する詳細調査分析）」, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000269.pdf（2024年2月15日アクセス）

脱炭素化を念頭に置いた再生可能エネルギーの主力電源において、電力インフラのレジリエンス向上には蓄電能力の強化が不可欠である。既存蓄電システムである揚水発電に加え、定置用蓄電池、さらには今後の蓄エネルギー技術として水素、アンモニア等を活用した電力貯蔵技術、水素とCO₂を合成して製造する合成燃料技術などが期待されている。科学的アプローチに基づく高効率化技術の創出はもとより、安全性の実証、既存蓄電システムと同等のコスト実現など社会実装には多くの課題があると認識されている。

(B) 気候安全保障

気候変動問題は単なる環境問題としての理解に留まらず、食料問題やエネルギー問題、地政学的リスクなど地球規模で脅威を与える重大な事案であり、気候安全保障としてこれらの問題を捉え対処していく必要があるとの見方がある。近年、新型コロナウイルスの蔓延や、ロシアによるウクライナ侵攻などに伴い、食料・エネルギー安全保障に関する課題が顕在化し、気候変動がそれらに拍車をかけている。あるいはそれらが気候変動問題の解決の障害となっているといった相互の関連性にも注目が集まっている⁸。エネルギー安全保障は資源の配分、つまり入口の議論であるのに対し、気候安全保障は気候変動によってもたらされる大規模な変化や損失、困難など出口の議論と言える。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が2019年8月に公表した特別報告書「Climate Change and Land」では、気候変動の結果起こる土地に基づくプロセスの変化により、人間及び生態系に対するリスクとして次のような問題が述べられている。すなわち、気候変動緩和策としてバイオマスエネルギー利用の推進や植林面積の拡大を進めた場合、これらと従来の作物生産との間で土地の競合が起き、結果として食料安全保障を不安定化させる可能性がある。そのため報告書では、このような複雑な問題に対処するためには、負の影響に対応する政策を複合的に実施する必要があり、気候変動に対する脆弱性を克服した持続可能な社会システムの構築が必要だと述べている。

気候変動を契機とした社会・経済的、地政学的リスクや自然災害の頻発・被害の甚大化を踏まえ、近年では安全保障理事会の場において気候安全保障が議論されるようになってきた。2021年7月に発行の「令和3年版防衛白書」では、気候変動を安全保障上の課題と捉える動きが各国に広がっていると説明している。日本も比較的早期から各国の動きを把握していたが、ここ数年の間に再び気候安全保障への関心を高めている。こうした中で2022年8月には「防衛省気候変動対処戦略」が策定され、防衛省の戦略、政策、計画における気候変動対策の規定などが示された。

気候変動による複合的な影響に起因する水、食料、土地などの不足は大規模な住民移動を招き、社会的・政治的な緊張や紛争を誘発する恐れがあるとの指摘がある。さらに、気温の上昇や異常気象、海面水位の上昇などは、軍の装備や基地、訓練施設などに対する負荷を増大させる可能性があるという。また、極端な気象現象の増加に伴い、洪水、ハリケーン、森林火災等の災害が増す恐れがある。従来の国防組織による災害救助・人道援助等の対応では追いつかないリスクも危惧される。北極海では海氷の融解が進むことで、航路として利用可能になる他、海底資源へのアクセスが容易になることから、沿岸国が海洋権益の確保に向けて、大陸棚の延長を主張するための調査や、軍事的な行動が活発化しているとの指摘もある。

気候変動がもたらす国防上のリスクを踏まえ、米国はバイデン政権発足直後の2021年1月に気候変動に関する大統領令を公布、同年に「国防省気候変動適応計画⁹」を策定し具体的な行動計画を示した。また、気候変動の影響を受けやすい大洋州島嶼国地域における主要国であるオーストラリア（「国防：2023年国防

8 椎葉 渚, 「気候変動と安全保障に関する各国の動向」, 地球環境戦略研究機関 (IGES), <https://www.iges.or.jp/jp/pub/kiko-hendo-anzen-hosho-nikansuru-kakkoku-no-doko/ja> (2024年2月1日アクセス)

9 Department of Defense, "Department of Defense Climate Adaptation Plan", <https://www.sustainability.gov/pdfs/dod-2021-cap.pdf> (2024年2月1日アクセス)

戦略レビュー¹⁰」:2023年4月公表)やニュージーランド(「国家安全保障戦略¹¹」:2023年8月公表)が相次いで安全保障戦略を発表、太平洋地域における適応のための経済的負担の増大や、災害救援活動のニーズの高まりなどの、固有のリスクや負荷に備えた行動計画を策定した。国際連携の動きとして2021年4月に気候変動サミットの中で気候安全保障セッションが開催された。会議には各国の国防トップが出席し気候変動がもたらす世界的な安全保障上の課題とこれに対する取組について議論が交わされた。ASEANは2023年3月、「第12回日ASEAN防衛当局次官級会合」及び「日ASEAN環境安全保障セミナー」において気候変動と安全保障に関する国際会議を実施した。世界がカーボンニュートラルの方向に進む中、これに関連し複雑に影響する気候安全保障やエネルギー安全保障の確保は重要な課題であり、重大な関心をもって注視していく必要がある。

(C) エネルギー安全保障確保とカーボンニュートラル実現に向けた各国の動向

2022年2月に勃発したロシアによるウクライナ侵攻は、ロシア産の化石燃料に依存してきた国や地域のエネルギー安全保障や政策に重大な転換を促すと同時に各国が取り組む脱炭素化対策にも影響を与えた。2021年3月に米国はロシアへの制裁措置としてロシア産の原油や天然ガスなどの全面輸入禁止を発表した。ロシアからのエネルギー輸入量が多く、依存度が比較的高いEU(欧州委員会)は2021年5月、ロシア産化石燃料依存からの脱却計画「REPowerEU」に関する政策文書を公表した¹²。この計画の基本的な考え方は、①天然ガスの供給先の多角化、②化石燃料依存の解消の加速化である。①は米国などからのLNG(液化天然ガス)や、ノルウェーなど北欧地域からのパイプライン経由による天然ガスの輸入量の増加が主な施策である。②に関しては、2030年の温室効果ガス削減目標(1990年比で55%削減)を達成するための政策パッケージ「Fit for 55 (FF55)」を土台としつつ、再生可能エネルギーへの移行の加速を図るものである。例えば、太陽光発電量を2025年までに現在の倍以上となる320GWに増大させる他¹³、European Clean Hydrogen Allianceからは水素生産能力を2025年までに現状の10倍に相当する17.5GWまで拡大する計画が示されるなど活発化している¹⁴。

英国政府は2022年4月、パンデミック後のエネルギー需要の急増とロシアのウクライナ侵攻によるガス電力価格の高騰に対応するための新たなエネルギー安全保障戦略、「英国エネルギー安全保障戦略¹⁵」を発表した。これは、国際市況の影響により価格が大きく変動する輸入化石燃料(主として天然ガス)への依存度を

- 10 Department of Defense, “Department of Defense Climate Adaptation Plan”, National Defence : Defence Strategic Review 2023 <https://www.defence.gov.au/about/reviews-inquiries/defence-strategic-review> (2024年2月1日アクセス)
- 11 Department of the Prime Minister and Cabinet, “NEW ZEALAND’S NATIONAL SECURITY STRATEGY 2023-2028”, <https://www.beehive.govt.nz/sites/default/files/2023-09/National%20Security%20Strategy%2C%20Secure%20Together%20-%20To%20Tatou%20Korowai%20Manaaki.pdf> (2024年2月1日アクセス)
- 12 European Commission, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483> (2023年2月7日アクセス)
- 13 European Commission, “EU Solar Energy Strategy”, https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-05/COM_2022_221_2_EN_ACT_part1_v7.pdf (2023年2月7日アクセス)
- 14 European Commission, “Hydrogen : Commission supports industry commitment to boost by tenfold electrolyser manufacturing capacities in the EU”, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_2829 (2023年2月7日アクセス)
- 15 British government, “British energy security strategy”, <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy> (2023年2月8日アクセス)

低減し、多様な国産エネルギー源を増強することで長期的なエネルギー安全保障を強化する取り組みが基本となっている。

2022年8月、米国では連邦議会を通過したインフレ抑制法案にバイデン大統領が署名し同法が成立した。米国の一次エネルギー自給率は2019年度で104.2%と欧州諸国に比較して高く¹⁶、ロシアに対する依存度は低い。しかしながらバイデン政権は、中長期的な視点から、気候変動対策とエネルギー安全保障強化は同国にとって重要な課題と位置付けており、法案成立に注力した。同法は10年間で約7,370億ドルの歳入を確保し、これを原資としてエネルギー安全保障と気候変動の分野に、税控除や補助金等を通じて3,690億ドルを投じる。支援の内訳をみると、再生可能エネルギー、原子力発電事業での1,603億ドルの税控除を筆頭に、CCS (CO₂回収・貯留)、DAC (大気中CO₂直接回収) に対する既存の税控除の拡大、製造業者 (PV、風力タービン、バッテリー、重要鉱物の再利用) への約300億ドルの控除、クリーン水素事業に対するライフサイクルでのCO₂排出量に応じた税控除など多岐にわたる。

個別技術に関する動向としては、2021年の世界的なガス価格高騰の影響や今回のウクライナ情勢の緊迫化から、特に欧州ではエネルギー安全保障の観点から、水素利用の促進や原子力発電を維持・推進する動きが見られた。「REPowerEU」では、「Hydrogen Accelerator」という新たなイニシアチブが提案され、大規模な水素サプライチェーン構築と、量産体制整備に向けた計画が示された。「国家水素戦略」を軸に水素政策を推し進めるドイツでは、ウクライナ情勢を受け水電解によるクリーン水素製造技術開発や、複数の国・地域からの国際調達を加速している。ベルギー政府は国内にある7基の原子力発電所の運転を2025年末までに順次停止する計画を撤回、2基の原発について2025年以降も10年延長させる方針を決定した¹⁷。英国政府は「英国エネルギー安全保障戦略」で2030年までに最大8基の原発を新設し、2050年には電力需要のうち最大25%を原子力発電でまかなう計画を示した¹⁸。世界的には次世代炉として安全性が高いとされるSMR (小型モジュール炉) の利用が期待されており、欧米諸国や中国で研究開発が進んでいる。今後の原子力発電に関する動向は、カーボンニュートラルとエネルギー安全保障の両側面から注視が必要である。

2023年3月、英国政府は長期的なエネルギー安全保障と自立の強化を目指し、安価かつクリーンな国産電力の拡大と、グリーン産業の繁栄構築のための計画、「パワーリングアップブリテン」を発表した。本計画は、これまでビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) が担ってきたエネルギー政策を引き継いだエネルギー安全保障・ネットゼロ省 (DESNZ) (2023年2月発足) が取りまとめた。パワーリングアップブリテンは、ネットゼロを達成し、かつエネルギー安全保障を実現し、英国の国際競争力を高めることを目標とした実行計画を示している。

(D) グローバルな視点からのリスク緩和

国際情勢の複雑化、社会経済構造の変化等により、安全保障の裾野が経済分野に急速に拡大する中、日本では国家・国民の安全を経済面から確保するための取組を強化・推進することを目的とし、2022年5月に「経済安全保障推進法」が成立、公布された。安全保障の確保に関する経済施策として、①重要物資の安定的な供給の確保、②基幹インフラ役務の安定的な提供の確保、③先端的重要技術の開発支援、④特許出願の非公開化が掲げられている。科学技術はいずれの項目でも重要と考えられるが、③の特定重要技術にお

16 経済産業省、「2021-日本が抱えているエネルギー問題 (前編)」, https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/energyissue2021_1.html (2023年2月7日アクセス)

17 ベルギー政府, “Prolongation de la durée de vie des centrales Doel 4 et Tihange 3”, <https://www.premier.be/fr/prolongation-de-la-duree-de-vie-des-centrales-doel-4-et-tihange-3> (2023年2月7日アクセス)

18 英国政府, “British energy security strategy”, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1069969/british-energy-security-strategy-web-accessible.pdf, (2023年2月7日アクセス)

いて、宇宙、海洋、AI、量子、バイオ等が挙げられている。特定重要技術は「産業力強化のための将来技術」と解釈でき、主体となる強化策や技術課題・その対策技術は各国共通としてグローバルな課題である。一方、エネルギー安全保障は各国の個別事情が強く反映されたローカルな課題であることから、いわば「グローバルな視点からのリスク緩和」が重要である。このため経済安全保障という大きな枠組みの中でエネルギー安全保障においては日本固有の課題からの視点が必要となる。

2023年は1973年10月に勃発した第4次中東戦争が引き金となった石油危機から50年の節目を迎えた年であった。当時、アラブ石油輸出国機構（OAPEC）と石油輸出国機構（OPEC）が石油武器戦略を発動したことにより、エネルギー価格の高騰は世界中の経済に大きな影響を与えた。現在のロシアによるウクライナ侵攻、ガザ・イスラエル紛争などの国際的な情勢不安がもたらすエネルギー安全保障について、日本として今後の対応を模索する上で、このような過去の石油危機時のエネルギー安全保障対応を振り返ることから示唆を得ることも重要と思われる。

第1次石油危機が発生した1970年頃は日本の電源構成に占める石油の割合は約59%に及んだ。そのためエネルギー源の安定的な確保と自給率の向上が喫緊の課題であり、政府・産業界・学术界が一体的に脱石油依存、エネルギーの多様化・効率化、省エネを推進した。科学技術の面では、エネルギー技術開発に関する大型国家プロジェクトとして「サンシャイン計画」（1974年発足）、「ムーンライト計画」（1978年発足）、「ニューサンシャイン計画」（1993年発足）が順次実施された。

- ・ **サンシャイン計画（1974年～1993年）**：原子力除く新しいエネルギー技術を対象。太陽、地熱、石炭、水素を4本柱とし、これらの新エネルギーの開発、輸送、利用、貯蔵を含めた新技術の開発に重点。風力エネルギー、海洋エネルギーなど他の新しいエネルギーについても基礎的研究を実施。
- ・ **ムーンライト計画（1978年～1993年）**：徹底的な省エネルギー技術開発を目的。新型電池電力貯蔵システム、燃料電池発電、スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム、超伝導電力応用、セラミック・ガスタービンなどが対象。
- ・ **ニューサンシャイン計画（1993年～2002年）**：石油代替エネルギー技術と省エネルギー技術は、同時に地球環境技術としても有効であるとの考えのもと、サンシャイン・ムーンライト両計画を統合。

中長期的観点からエネルギーの安定供給に向けて、上記国家プロジェクトや制度立案を通じて新エネルギー開発や省エネ技術開発が進められた。一方、短期的観点から石油に代わる代替エネルギーの確保が急務となっており、液化天然ガス（LNG）の国内導入が大きな役割を果たした。

LNGは経済成長に伴う電力・熱需要への対応、低公害性、安全性、豊富な資源埋蔵量などを背景に、石油危機発生以前の1960年代から導入に向けた準備がなされていた。天然ガスをパイプラインで輸送可能な大陸に対し、島国の日本は原油同様タンカーによる海上輸送としてLNGでの調達が必要であり、その実用化のためには出荷設備（液化）、極低温のLNG運搬船、貯蔵気化、配送、熱需要対応、発電で広範な技術開発を要した。日本は石油危機を契機に関連諸国と協業してこれらを推進した結果、経済合理性を伴った運用を可能とした。1970年代半ば以降、石油の依存度を段階的に下げることができたのは、LNGや原子力といった新エネルギーであり、これらへのエネルギーの転換はエネルギー調達におけるグローバルな視点からのリスク緩和に寄与したと言える。これはエネルギー資源に乏しい島国という地理的な障害を克服するために、必要条件となるサプライチェーンの構築と技術開発の進展に加え、石油危機という国際情勢変化が結果として日本のエネルギー政策・戦略を後押ししたと言える。

今日、人類はカーボンニュートラル実現に向けて多くの課題に対峙しなくてはならない。2023年12月に閉幕したCOP28では「化石燃料からの脱却（transition away）」に向けたロードマップが承認された。これを実践するためには、今後、再生可能エネルギーの導入量拡大、水素・アンモニアなどのクリーンエネルギーへの転換を加速的に進める必要がある。前述した石油危機時の代替エネルギー確保の経験を踏まえると、今

後のカーボンニュートラル社会への移行期において重視すべきポイントには以下を挙げることができる。

- ①長期間にわたり蓄積してきた技術資産を活用した戦略の立案と実行
- ②再生可能エネルギーを中心としたエネルギー新時代に最良・最適なサプライチェーンの構築
- ③安全性、環境価値の訴求・アピールと国際的な課題の解決
- ④海外の需要取り込みによる国内産業の発展

エネルギー分野の研究開発は、対象技術の広範さゆえに中長期的な研究期間の設定が求められる。また、その間に生じ得る国際情勢変化といった予測が困難な偶発事象や不確実性に対応するために、研究開発は多くの道筋・選択肢を並行して準備することが肝要である。こうした観点からカーボンニュートラル移行期におけるエネルギー安全保障の確保に資する研究・技術開発を俯瞰すると図表1.2.1-13のようになると考えられる。これらはあくまで一例だが、ここに挙げられた技術について、経済安全保障も考慮した対応が必要になる。また日本におけるエネルギー安全保障の確保には、安定的なサプライチェーンの構築、新エネルギーのための科学技術、エンジニアリングの維持・発展、経済競争力の堅持が重要である。



図表 1.2.1-13 エネルギー安保確保に資する研究・技術の俯瞰図

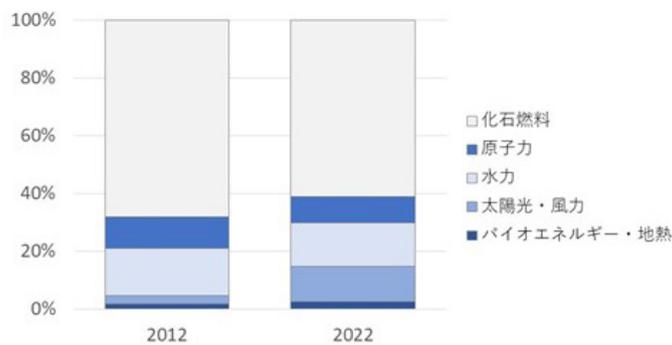
[4] 環境・エネルギー関連産業の現状

(A) 再生可能エネルギー

REN21 (21世紀のための自然エネルギーネットワーク) の「Renewables 2023 Global Status Report」(2023年)によると、2022年の世界の最終エネルギー消費量全体に占める再生可能エネルギー(水力、風力、太陽光、地熱、バイオマス発電等)のシェアは30%に増加し、エネルギー供給が変化している。世界の電力生産量に占める再生可能エネルギーの割合は29.9%であり、10年前の2012年(21.3%)から約9%増加した(図表1.2.1-14)。内訳は、水力発電:15%(2012年は16%。以下同じ)、太陽光・風力発電:12%(3%)、バイオマス・地熱発電:3%(2%)だった。また電力分野における2022年の再生可能エネルギー新規導入量は前年比13%増の348GWとなった。ただし2050年カーボンニュートラルの実現に向けてはこれでもまだ

十分な量ではなく、IEAのNZEシナリオ等に基づけば年間の新規導入量を2.5倍にする必要があるとされている。発電コストでは太陽光と風力が、産業の成熟、経済の拡大、技術革新、サプライチェーンの高度化等を背景に、過去10年間で顕著な減少を見せていた。しかしながら2020年以降、コロナ禍における経済活動の停滞の中で太陽光の発電モジュールや風力発電用タービン製造のための原材料価格が上昇し、価格増につながった。風力発電用タービンの主要メーカーでは例年と比べて20%の価格増となった。

中国が再生可能エネルギーへの新たな投資で世界をリードし、2022年は世界の55%を占め、欧州が11%、米国が10%であり、アフリカと中東をあわせても1.6%に過ぎなかったと報告していた。地熱発電の導入量ではケニア、インドネシア、米国が上位となっていたが、それ以外で中国が世界トップとなっていた。その需要を反映して設備の製造能力においても中国がリードしており、太陽光パネルでは80%以上、風力エネルギーでも欧州を抑えて60%以上、ヒートポンプで35%、電解槽で40%を占めているとしている。



図表 1.2.1-14 電力生産に占める再生可能エネルギーの割合の変化¹⁹

(B) 蓄電池

今後変動性の再エネの導入がさらに進み、特に昼間のみ発電できる太陽光発電の増大に伴い、電力システムの需給安定化のために大量の定置用蓄電池の導入が不可欠となる。日本においても近年再エネ電源の出力制御の回数が増えており、2024年は東京電力管内でも初めて発生する見込みである。IRENAの「Global Renewable Outlook」(2020)²⁰の予測では、図表 1.2.1-15のようにPESシナリオ（現行計画シナリオ、各国政府の目標ベース）で世界の蓄電池の容量は2019年の30GWhに対し、2030年370GWh（10倍）、2050年3,400GWh（100倍）に増大する。EV車向けの蓄電池についてはそれより大きな導入量が予想されている。またTESシナリオ（エネルギー転換シナリオ）では定置用、車載用いずれもさらに導入量が大きくなる。このため以下に示すように多くの国が蓄電池産業を重視し、政策面での支援を打ち出している。

- ・ 米国：100日レビュー及びリチウム電池国家計画（2021年6月）、超党派インフラ法（2021年11月）、インフレ抑制法（2022年8月）
- ・ 欧州：EUバッテリーアライアンス（EBA）設立（2017年10月）、欧州バッテリー規則（2023年8月）
- ・ 韓国：Kバッテリー発展戦略（2021年7月）
- ・ 中国：新エネルギー車（NEV）に対する補助金

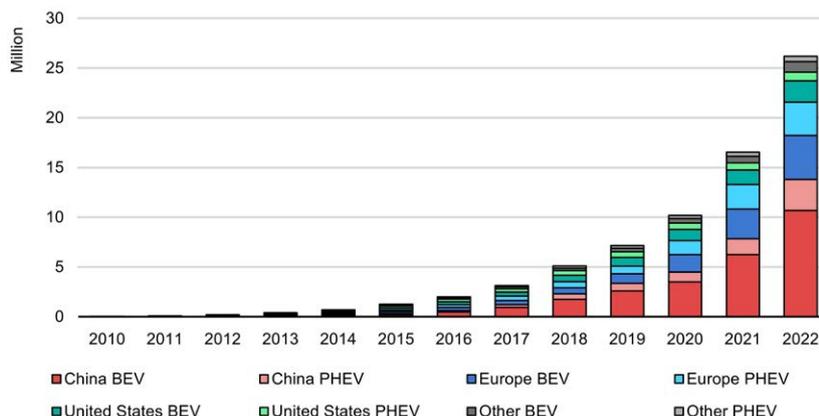
19 REN21 Global Status Report 2023 ENERGY SUPPLYのFigure 2を基にCRDSにて図作成

20 国際再生可能エネルギー機関（IRENA）, “Global Renewable Outlook”（2020）

現在のリチウムイオン電池市場では、中国（車載用首位）と韓国（定置用首位）のメーカーが存在感を見せている。日本のメーカーは定置用で2016年に27%のシェアを持っていたが、2020年には5%に低下し、車載用では2015年のシェア52%から2020年は21%に低下している²¹。車載用蓄電池は、電動車（バッテリーEVとプラグインハイブリッドEV）の製造と合わせて激しい競争が見られている。図表 1.2.1-16のように世界の電動車はバッテリーEVを主軸に増加を続けており、2022年は積算台数の半分以上を中国製の電動車が占めている。米国はインフレ削減法により自国内に電池も含め生産を誘導しており、欧州ではバッテリー規則により域外からの蓄電池の流入を牽制する動きが見られる。中国も盤石ではなく、補助金終了や景気減退の影響が懸念されている。また、英国ではネットゼロの納税者負担コストの高さから、2030年としてきたガソリン車とディーゼル車の新車販売の禁止を35年に先送りする方針も示された他、世界的なインフレや冬期性能、航続距離やバッテリー寿命などから世界的な拡大も一筋縄とはゆかないと見られている。



図表 1.2.1-15 将来必要とされる蓄電池の容量
 (IRENA「Global Renewable Outlook」(2020) をもとにCRDS作成)

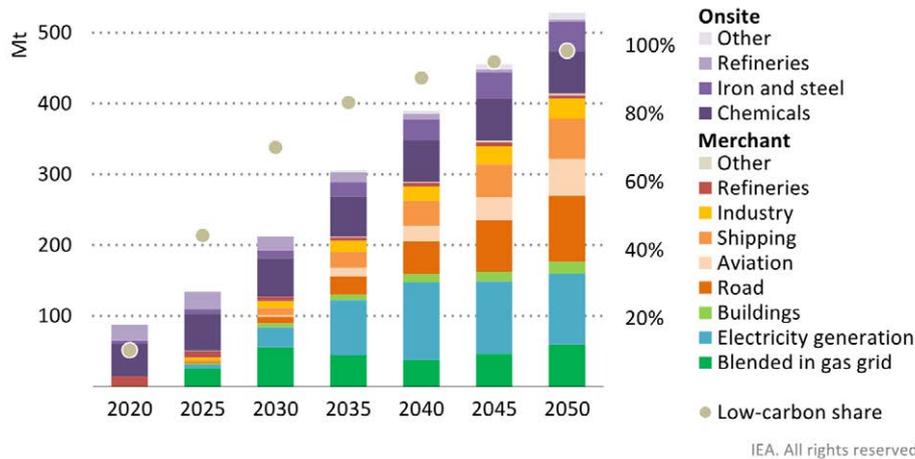


図表 1.2.1-16 世界のEV積算導入台数の推移 (百万台)
 ©OECD/IEA Global EV Outlook 2023, IEA Publishing, Licence : www.iea.org/t&c

21 経済産業省, 「蓄電池産業戦略」(2022年8月31日)、
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy.html (2024年2月26日アクセス)

(C) 水素・アンモニア

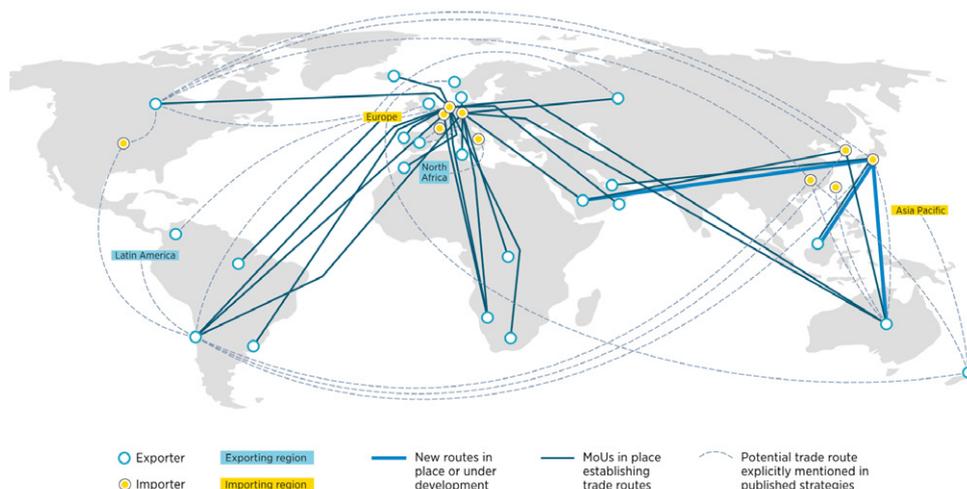
水素・アンモニアは再生可能エネルギー電力から製造でき、貯蔵後に発電に用いることで電力需給の安定化に寄与する。電力以外のセクターにおいても、運輸におけるFCV用水素や持続可能な航空燃料（SAF）などの原料、化学産業における回収CO₂から基礎化学品製造の際の還元剤、製鉄産業におけるコークス（原料炭）に代わる還元剤など、幅広い分野のカーボンニュートラル化のために重要な役割を担うと考えられている。そのため30以上の国がそれぞれに水素戦略を打ち出し取り組みを強化している（日本2017年（2023年改定）、ドイツ2020年（2023年改定）、EU2020年、フランス2020年、英国2021年、など）。特に水電解によるグリーン水素製造への注目度が高く、改定においては水電解能力の目標値を引き上げる傾向が見られる。IEAのネットゼロシナリオにおいても水素は不可欠な技術とされており、図表1.2.1-17に示すようにシナリオの達成のためには2050年に5億トン/年の水素・アンモニアが必要であるとしている。CO₂の排出が少ないクリーンな水素としては、再エネ電力による電解水素（グリーン水素）が主となり、化石資源の改質反応とCO₂貯留の組み合わせ（ブルー水素）も活用されると見込まれる。現在の利用（石油精製用、肥料合成用など産業利用中心、グレー水素中心）の5倍以上の量であり水素の製造から、輸送、貯蔵、利用に亘る全ての段階でインフラの構築が必要となる。設備投資に加えて製造コストを大幅に下げる技術も課題となる。わが国においてはグリーンイノベーション基金を立ち上げ、水素の普及のための技術開発に力を入れており、米国においてはインフラ投資法に基づき水素ハブを立ち上げるなどの動きが見られる。またクリーンな水素を十分量製造できる国は限られることから、国際的な水素のサプライチェーンの構築が必要と考えられている。水素を輸送するためには、パイプラインを敷設するか、長距離であれば液化して水素キャリア（液体水素、有機ヒドライド、アンモニアなど）の形で海上輸送となる。図表1.2.1-18に示すように、水素製造に適した地域としては中東、北アフリカ、サハラ以南アフリカ、オーストラリアなどが挙げられ、外部からの調達を必要とする国は欧州や日本を含む東アジアの国などである²²。将来の水素の安全保障にも関わるため、関係する各国は水素製造・輸送の実証試験を進めるとともに、相手国との関係構築を目指している。



図表 1.2.1-17 IEAのNZEシナリオにおける世界の水素の需要量

©OECD/IEA Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA Publishing, Licence : www.iea.org/t&c

22 国際再生可能エネルギー機関（IRENA）、「Geopolitics of the Energy Transformation」（2022）, <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>（2023年2月21日アクセス）



図表 1.2.1-18 検討中の水素の国際ネットワーク

©IRENA Geopolitics of the Energy Transformation : The Hydrogen Factor, IRENA Publishing, Licence : www.irena.org

(D) 化石燃料

石油メジャー (ExxonMobil、Chevron、ConocoPhillips、Shell、BP、Total) の戦略としては、低炭素化の流れに向けて、徹底的な低コスト化 (投資抑制、高コスト設備の売却など) を行い、液分 (石油) を減らしCO₂の排出がより少ない天然ガスの比率を高める方向である²³。脱炭素化への対応として欧州系のメジャーは、バイオリファイナリー化や再生可能エネルギーなどへの投資を積極的に進めている。2020年に欧州系各社は2050年までにネットゼロを達成すると宣言しており、サプライチェーン排出量のScope1 (直接排出)、2 (間接排出) に加えScope3 (その他の排出) にも踏み込んでいる (ただし欧州域内に限定するなど部分的ではある)。一方米系のメジャーは、2021年以降にネットゼロ宣言を発表しているが、Scope1と2に留まり欧州とは異なるスタンスをとっている。しかし現状は、世界の石油需要はコロナ禍前の2019年との比較で、翌2020年は約9%の減少となったが、その後コロナ禍からの経済回復により増加に転じ、2022年は2019年とほぼ同等の水準に戻っている。原油価格は、コロナ禍からの経済回復と石油減産体制の継続から2021年より上昇し始め、2022年はウクライナ侵攻による供給不安定化から1バレル100USドルを超える高値で推移した。結果的に石油各社は、コロナ禍の一時期を除き好調な業績となっており、それは資源価格が沈静化した2023年まで続いている。一方で資源高も相まって再エネへの投資が負担となっており、Shellなどは当面2030年までは現在の石油生産を維持すると方針変更している。他方、インフラ投資法やインフレ抑制法の支援もあり、米国の石油会社は水素パイプラインの建設やCO₂回収・貯留設備への投資を行うなどの動きも見られる。これらのことはエネルギーのトランジションにおいて安定供給、経済、気候対策の3Eを同時に満たしながら進める道のりの複雑さを示している。奇しくもShellが2021年2月に発表した「エネルギー変革シナリオ2021」²⁴で3つのシナリオ、Waves (経済回復優先)、Islands (自国利益優先)、Sky (健康・福祉優先) を挙げているが、足下ではこれらの要因が絡んだ状況となっている。

23 日本エネルギー経済研究所「メジャー企業の石油・天然ガス上流事業戦略とその比較」, https://eneken.ieej.or.jp/report_detail.php?article_info_id=10097 (2023年2月21日アクセス)

24 Shell Global, "THE ENERGY TRANSFORMATION SCENARIOS", <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/the-energy-transformation-scenarios.html#iframe=L3dLYmFwcHMvU2NlbnFyaW9zX2xvbmdfaG9yaXpvbnMv> (2023年2月21日アクセス)

[5] 日本の状況

(A) SDGsの進捗状況 (日本の評価)

「Sustainable Development Report 2023」によると、日本のSDGs達成状況およびその見通しの順位は166か国中21位である。目標4 (教育)、目標9 (インフラ、産業化、イノベーション) は達成済み、目標1 (貧困)、目標3 (健康と福祉)、目標6 (水、衛生)、目標11 (持続可能な都市)、目標16 (平和と公正) は進捗良好と評価されている一方で、目標5 (ジェンダー)、目標12 (持続可能な消費と生産)、目標13 (気候変動)、目標14 (海洋資源)、目標15 (陸上資源) の達成度は依然として低いと評価されている。

国内ではSDGsの認知度は高まっており、政府もSDGs推進本部が「優先課題8分野」に対するアクションプランを毎年策定し推進している。また、目標達成の中間年である2023年にはSDGsを達成するための中長期的な国家戦略である「持続可能な開発目標 (SDGs) 実施指針」が改定された。その中で、現在の状況を踏まえて示された重点事項は① 持続可能な経済・社会システムの構築、② 「誰一人取り残さない」包摂社会の実現、③ 地球規模の主要課題 (気候変動、生物多様性の損失及び汚染) への取組強化、④ 国際社会との連携・協働、⑤ 平和の持続と持続可能な開発の一体的推進 である。

(B) 温室効果ガス (GHGs) 排出量²⁵

温室効果ガスの総排出量は2014年度以降、2020年を除き、継続的に減少しており、2021年度は11億7,000万トンCO₂-eq (2013年度比16.9%減) だった。森林等の吸収源対策による吸収量は4,760万トンCO₂-eqであり、総排出量が4年ぶりに増加に転じており、この吸収量を引いた値は11億2,200万トンCO₂-eqである。エネルギー起源CO₂の排出量は9.88億トンで総排出量の84.5%を占めていた。パリ協定における日本は2030年度に2013年度比で46.0%減としており、目標達成に向けては更なる削減が必要な状況である。

エネルギー起源CO₂の排出量 (電気・熱配分後) を部門別に見ると、産業部門 (35.1%) からの排出が最も大きく、次いで運輸部門 (17.4%)、業務その他部門 (17.9%)、家庭部門 (14.7%) となっている。前年度からの変化では家庭部門を除くと増加が見られるが、新型コロナウイルス感染症の拡大以前の水準を概ね下回っている。

(C) 気候変動の状況

文部科学省及び気象庁が運営する「気候変動に関する懇談会」が、科学的知見の提供の一環として「日本の気候変動2020-大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書」を2020年12月に公表している。同報告書には、観測された事実や将来予測の結果に基づき、日本の気候変動の状況が体系的にまとめられている。将来予測に関しては主に2°C上昇シナリオ (RCP2.6) と4°C上昇シナリオ (RPC8.5) が利用されている。結果の一部を以下に例示する。

- ・年平均気温は約1.4°C (2°C上昇シナリオ) 上昇し、猛暑日や熱帯夜の増加、冬日の減少が予測される。
- ・大雨や短時間強雨の発生頻度や強さは増加し、雨の降る日数は減少すると予測される。初夏 (6月) の梅雨前線に伴う降水帯の活性は高まり、現在よりも南に位置すると予測される。なお7月については、予測の不確実性が高い。
- ・日本付近における台風の強度は強まると予測される。4°C上昇シミュレーションの結果などから、日本の南海上においては、非常に強い熱帯低気圧の存在頻度が増す可能性が高いことが示されている。
- ・海面水温は約1.14°C (2°C上昇シナリオ) 上昇することが予測される。

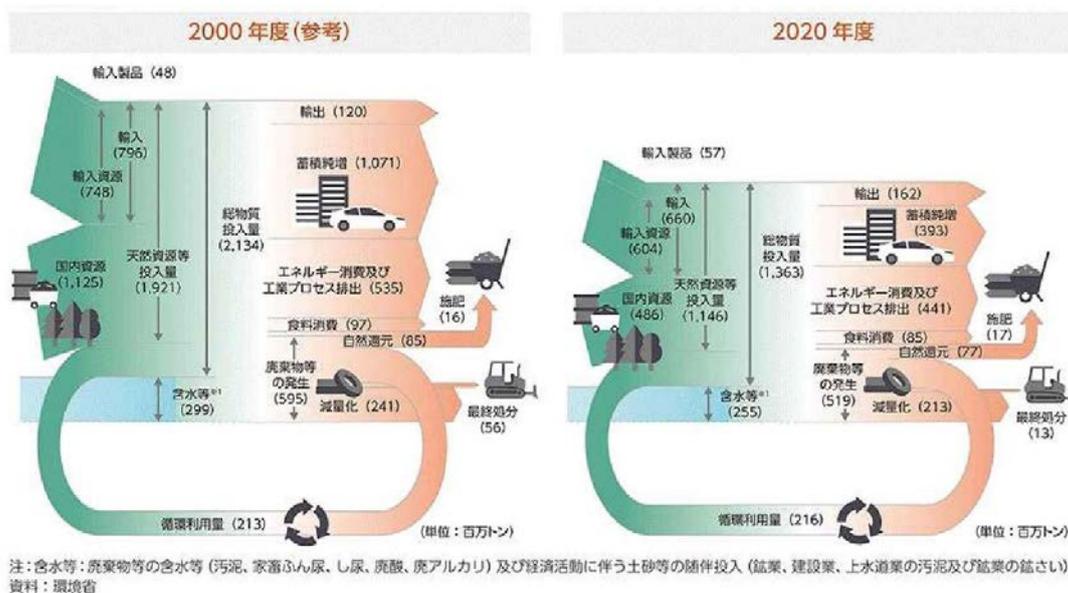
25 環境省, 「2021年度 (令和3年度) の温室効果ガス排出・吸収量 (確報値) について」
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/2023/20230421/20230421.html> (2024年3月13日アクセス)

- ・沿岸の海面水位が約0.39m (約0.71m) 上昇することが予測される。また、平均海面水位の上昇は、浸水災害のリスクを高める。日本沿岸において、10年に1回の確率で発生するような極端な高波の波高は増加すると予測されているが、その確信度は低い (台風経路の変化の将来予測の不確実性が高いため)。

また、環境省は2020年12月に「気候変動影響評価報告書」を取りまとめ、気候変動による影響が様々な分野に重大な影響を及ぼし得ることを示した。重大な気候変動影響を低減・回避するためには適応策と緩和策を両輪で実施していくことが重要であり、国や地方公共団体、事業者が様々な分野での適応策を策定することが求められている。

(D) 資源循環の状況

日本の物質フローについて、2020年度の総物質投入量は約14億トンで、2000年度の約21億トンから3割強減少していた (図表1.2.1-19)。特に国内資源は減少が著しく、5割強の減少となった。出口側も土木構造物や耐久財としての蓄積純増が約3.9億トンと2000年度の4割弱程に留まったことをはじめ、全体的に減少が見られた。一方、循環利用量は2000年度とほぼ同量の約2.2億トンであった。物質投入量が大幅に減少しつつも循環利用量は、ほぼ同量であり、物質フロー全体としては循環利用の割合が増加する結果となった。



図表1.2.1-19 日本における物質フロー (2020年度)²⁶

2022年のプラスチック生産量は951万トン、排出量は823万トンだった。排出分のうちマテリアルリサイクルは180万トン (21.9%)、ケミカルリサイクルは28万トン (3.4%)、ガス化・固形燃料化・発電焼却・熱利用焼却などによるサーマルリサイクル (エネルギー回収) は510万トン (62.0%) であり、これらをまとめた「有効利用率」は87%となっている。廃プラスチックの一部は海外に運ばれて輸出先で処理されている。以前は大半が中国に輸出されていたものの、中国が2017年から段階的に輸入制限を行った影響により、現

26 環境省, 「令和5年版環境・循環型社会・生物多様性白書」(2022)

在は輸出先が多様化している（図表 1.2.1-20）。主な輸出先はマレーシア、ベトナム、台湾で、これらで全体の7割を占めている。また輸入規制は中国のみならず東南アジアの複数の国・地域も行っている。その影響もあり輸出量は依然として減少傾向にある。2021年1月からはバーゼル条約の附属書改正が施行され、輸出量は更に減少している。

図表 1.2.1-20 日本の廃プラスチックの主な輸出先および輸出量推移
(カッコ内は構成比) [万トン]

国・地域	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
総量	152.7	143.1	100.8	89.8	82.1	62.3	60.6 (100.0%)
マレーシア	3.3	7.5	22.0	26.2	26.1	20.7	18.9 (31.2%)
ベトナム	6.6	12.6	12.3	11.7	17.4	15.9	16.1 (26.5%)
台湾	6.9	9.1	17.7	15.2	14.1	9.8	9.5 (15.7%)
タイ	2.5	5.8	18.8	10.2	6.1	5.3	5.0 (8.2%)
韓国	2.9	3.3	10.1	8.9	5.4	5.6	4.1 (6.7%)
香港	49.3	27.5	5.4	5.7	3.1	1.0	0.5 (0.8%)
インド	0.4	0.8	2.1	2.8	3.0	0.5	2.0 (3.4%)
インドネシア	0.0	0.3	2.0	1.7	2.7	0.9	1.2 (2.1%)
米国	0.2	0.4	0.9	1.6	1.2	0.5	2.0 (3.4%)
中国	80.3	74.9	4.6	1.9	0.7	0.4	0.2 (0.4%)

(E) 生物多様性の状況

2021年3月に公表された「生物多様性及び生態系サービスの総合評価2021 (JBO3)」では、2016年に実施された前回評価 (JBO2) と同じく、我が国の生物多様性の状態は引き続き悪化傾向にあることが示された。生態系サービスに関しても、一部 (例：森林の表層崩壊防止サービス) で向上が見られたものの、全体的にはこちらも過去と比較して劣化傾向にあるとされた。

生物多様性の損失に対する直接的な要因について、①開発などによる圧力、②自然に対する人為的な働きかけの縮小、③人間によって持ち込まれたものによる危機、の3つに関する影響は依然として大きいものかつてと比べると低減していると評価された。加えて近年は④気候変動の影響が顕在化しつつあるとされた (例：タケ類の分布の北上、南方系チョウ類の個体数増加や分布域の北上、海水温の上昇によるサンゴの白化)。

こうした生物多様性の損失や生態系サービスの劣化に対し、各種対策は拡充されてきた。例えば保護地域の指定面積が拡大したほか、鳥獣管理の抜本的な強化や重要な里地里山の選定、特定外来生物の指定による管理強化、化学物質の製造・使用規制の実施等が行われてきている。しかしながら損失を回復するには至っておらず、更なる取組みの強化・開始が必要とされている。特に生物多様性損失の直接的な要因を対象とした対策だけではなく、間接的な要因 (例：人口、経済、制度やガバナンス、価値観と行動) に変化をもたらすための効果的な介入について検討を行う必要性が指摘されている。

(F) 国際情勢を踏まえたエネルギー政策

カーボンニュートラル宣言 (2020年) 以降、日本政府は、2050年カーボンニュートラル実現に向け、2030年度温室効果ガス排出量46%削減 (2013年度比) の野心的な目標達成に向けた長期戦略を策定しそ

の方向性を示してきた。その後、「地球温暖化対策計画」の5年ぶりの改定・閣議決定からわずか4ヶ月後の2022年2月に発生したロシアによるウクライナ侵攻を受け、日本を含むG7加盟国はロシアへの制裁の一環としてロシア産エネルギーへの依存状態から脱却を図ることで一致した。同年5月に日本政府はエネルギー安全保障の確保、産業界のエネルギー転換の具体的な道筋の作成、脱炭素化の取組みに向けて必要となる政策等をまとめた「クリーンエネルギー戦略」の中間整理を公表した。エネルギー安全保障の確保に関する基本方針として、「ウクライナ危機・電力需給ひっ迫を踏まえ、再エネ、原子力などエネルギー安保及び脱炭素の効果の高い電源の最大限の活用など、エネルギー安定供給確保に万全を期し、その上で脱炭素を加速させるためのエネルギー政策を整理」と述べた。2022年7月にはグリーン社会の実現に向け産業構造の転換を図る政策を具体化させるためGX実行会議が立ち上げられた。エネルギー安定供給と脱炭素の両立に向けた具体的な方策検討の結果、「GX実現に向けた基本方針（案）～今後10年を見据えたロードマップ～」が示された。その後、「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律案」（通称：GX推進法案）が2023年2月に閣議決定され、同年5月に国会で成立した。GX推進法は全79条の条文で構成される。主な項目は以下のとおりである。

- (1) GX推進戦略の策定・実行
- (2) GX経済移行債の発行
- (3) 成長志向型カーボンプライシングの導入
- (4) GX推進機構の設立
- (5) 進捗評価と必要な見直し

GX推進法において、世界初の試みとして脱炭素社会への移行（トランジション）を目的とした国債（GX経済移行債）の発行が実施される。10年間で20兆円規模を計画している。これを呼び水にして今後10年間で官民合わせて150兆円超の投資に繋げることを目指す。また同国債の償還のため、国内では初となる本格的なカーボンプライシング（炭素排出に対する課金）も導入する。炭素排出に値付けをすることで、GX関連製品・事業の付加価値を向上することがねらいである。2028年度から、化石燃料の輸入事業者等に対して、化石燃料に由来するCO₂の量に応じた化石燃料賦課金を徴収する。また排出量取引市場を2026年度から本格稼働させ、2033年度からは発電事業者に対して有償の排出枠を割り当てる仕組みも開始予定である。

日本政府は「GX実現に向けた基本方針」、「GX推進法」、「GX脱炭素電源法」の議論、審議および法制化により「成長志向型カーボンプライシング構想」等の新たな政策を具体化し、さらにこれらの政策を実行するため「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略」（通称：GX推進戦略）を定め、2023年7月にこれを閣議決定した。

(G) 関連産業の規模

エネルギー分野の産業として、エネルギー変換と供給を担う部分は産業大分類で見ると「電気・ガス・熱供給・水道業」が該当する。総務省の「令和3年経済センサス-活動調査」によれば同産業の売上高は約36兆円（2020年）、純付加価値額4兆円（2020年）であり、日本の合計売上高1,693兆円および純付加価値額336兆円に占める割合はそれぞれ2.1%、1.2%である²⁷。

一方、これら産業を含めた日本社会全体を支える一次エネルギーのうち再生可能エネルギー等と水力が占める割合は13.6%（2021年度）で、それら以外のはほぼ鉱物性燃料（原油、ガス、石炭等）である²⁸。鉱

²⁷ 総務省統計局「令和3年経済センサス-活動調査 調査の結果」

²⁸ 資源エネルギー庁、令和4年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2023）

物性燃料は令和4（2022）年度の輸入総額120兆円のうち35兆円（29％）を占め、9つの主要な輸入項目の中で金額が最も大きい²⁹。

環境省による検討³⁰では「環境産業」が「供給する製品・サービスが、環境保護及び資源管理に、直接的または間接的に寄与し、持続可能な社会の実現に貢献する産業」と定義され、国内の環境産業は「環境汚染防止」、「地球温暖化対策」、「廃棄物処理・資源有効利用」、「自然環境保全」の4分類に整理されている（図表1.2.1-21）。

図表 1.2.1-21 環境産業の分類³¹

国内の4つの分類	内容
環境汚染防止	大気汚染防止、下水・排水処理、土壌・水質浄化、騒音・振動防止、環境経営支援、化学物質汚染防止
地球温暖化対策	クリーンエネルギー利用、省エネルギー化、自動車の低燃費化、排出権取引
廃棄物処理・資源有効利用	廃棄物処理・リサイクル、資源・機器の有効利用、長寿命化
自然環境保全	緑化・水辺再生、水資源利用、持続可能な農林水産業、環境保護意識向上

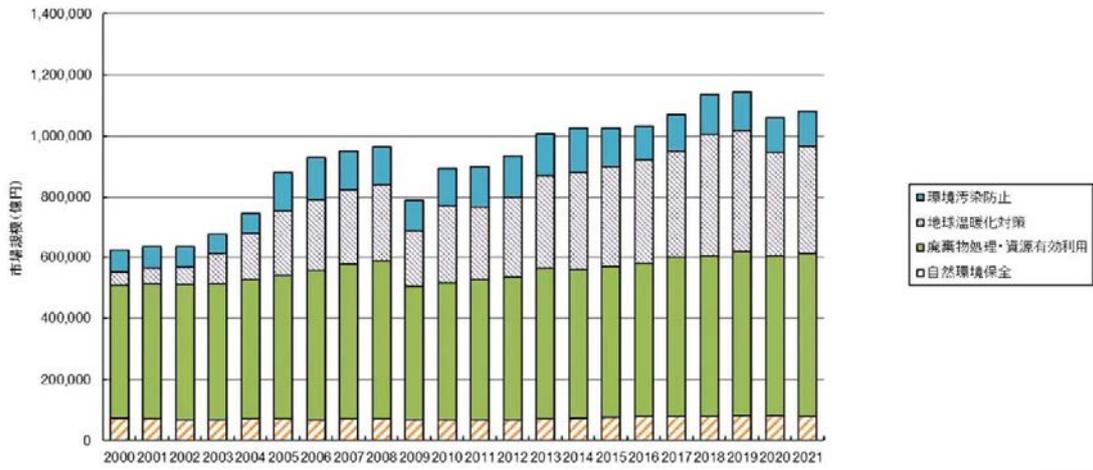
同検討による推計では、環境産業の規模は2021年に約108兆円となった（図表1.2.1-22）。2020年は前年比5.5%減少の104兆円だったが、2021年は前年比2.3%増とやや持ち直した。内訳としては「廃棄物処理・資源有効利用」53兆円、「地球温暖化対策」35兆円、「環境汚染防止」11兆円、「自然環境保全」8兆円であった。これは日本の全産業の産出額（名目）の10.5%を占める規模であるという。2000年にはこの値は6.6%であったことから、日本の経済成長に対して環境産業の与える影響が年々大きくなっていると指摘されている。輸出額は17.1兆円（2021年）で、対前年度比1.5%増加している。その大部分を「地球温暖化対策」分野が占め、特に「低燃費・低排出認定車（輸出分）」等の自動車関連項目が多くなっている。一方、輸入額は4.8兆円で、こちらも「地球温暖化対策」分野が3.5兆円と大きく、「太陽光発電システム」「ハイブリッド自動車」「バイオ燃料」「LED照明」「低燃費・低排出認定車（国内販売分）」の割合が大きい。雇用者も市場規模と同様に2020年は前年からの落ち込みが見られたが、2021年は279.7万人（2021年）で、前年比1.8増、2000年の199.6万人からも約1.4倍増加している。内訳は「廃棄物処理・資源有効利用」164.1万人が最も大きな割合を占めており、「地球温暖化対策」は71.2万人であった。

また国内環境産業の将来市場規模予測では、市場は上昇傾向を続け2050年時点で123.7兆円まで成長し、2020～2050年の年平均成長率（CAGR）は0.5%と予測している。その内訳は、「地球温暖化対策」が48.2兆円、「廃棄物処理・資源有効利用」が59.4兆円、「環境汚染防止」が7.1兆円、「自然環境保全」は9兆円程度としている。

29 財務省, 貿易統計 令和4年度分 (確々報)

30 環境産業市場規模検討会, 「令和4年度環境産業の市場規模推計等委託業務 環境産業の市場規模・雇用規模等に関する報告書」

31 エコカーや省エネルギー建築、再生可能エネルギー売電は「地球温暖化対策」分野、長寿命建築は「廃棄物処理・資源有効利用」分野に含まれる。分類は本検討独自のものであることに留意が必要である。



図表 1.2.1-22 環境産業の市場規模の推移³²

32 環境産業市場規模検討会、「令和4年度環境産業の市場規模推計等委託業務 環境産業の市場規模・雇用規模等に関する報告書」, https://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/B_industry/b_houkoku3.pdf (2024年2月26日アクセス)

1.2.2 研究開発の動向

第2章で取り上げた31の研究開発領域について概況をまとめる。

1) エネルギー分野の研究開発の動向

① 電力のゼロエミ化・安定化（関連する研究開発領域：火力発電、原子力発電、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電・利用、水力発電・海洋発電、地熱発電・利用、太陽熱発電・利用、CO₂回収・貯留（CCS））

火力発電に関しては、これまでのゼロエミッションに向けた継続的な研究開発によりガスタービンにおける水素/アンモニア燃料の燃焼、石炭との混焼等で世界をリードしている。第6次エネルギー基本計画において再エネ導入量の増加に伴って変動する電力を補う調整力として活用されることが示され、GI基金などにより、カーボンニュートラル燃料への転換、CO₂回収を含めた高効率石炭ガス化複合発電の実証段階の研究・開発が加速されている。海外においても水素を活用するプロジェクトが開始されており、国内メーカーとも連携している。これまでに水素/アンモニア燃料の大型燃焼器での実機燃焼まで確認されており、実用化に向けて高温窒化など長期信頼性の確立に向けた材料耐久性の向上や燃焼現象の理解を通じたデジタルツインの開発、DXやAIの活用による既存火力発電所も含めた運用・保守の最適化技術開発などが進められている。

原子力発電に関しては、世界で活用の拡大、産業支援の動きが見られており、国内では再稼働および次世代革新炉の開発推進が示されている。核融合についても「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」がまとめられ、開発が加速されている。原子力の技術開発ではITER国際プロジェクトや北米での小型モジュール炉開発への国内メーカーの参加など国際協調による技術開発が見られる。東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、世界的に原子力発電は縮小する傾向にあったが、エネルギー安全保障の視点などを背景に廃止から活用への転換も見られ、COP28ではエネルギー転換の為の一手段として明記された。近年は中国での増設が突出している。国内でも安全を最優先に活用することが示され、再稼働の促進、NEXIPイニシアチブなどによる次世代革新炉開発、それに対応する再処理、リスク評価などの技術面に加え人材育成の活動が進められている。核融合において自律的核融合燃焼によるエネルギー増幅が実証されるなどの進展もあり、民間の投資も活発化し、着実に開発が進んでいる。

太陽光発電（PV）は中国を筆頭に大幅に導入量が増加している。設置面積を拡大するため、BIPV（建材一体型）、水上PV、営農一体型PV、車載用PVなども検討されている。近年性能が向上しているペロブスカイトPVはその製造工程の容易さ、20%を超える変換効率、可撓性の可能性からも注目され、多接合型も含め世界中で研究開発が進められている。この分野においても中国が躍進している。化合物型を含め変換効率を高める研究開発も継続的に行われている。また、発電コストの低減に寄与する長期信頼性に関する劣化メカニズムの研究も欠かせない。天候などで発電量が変動するPVは発電事業性、電力システムの安定化に大きく影響する。そのため、きめ細かな発電量の予測、ドローンやAIを活用した効率的な保守メンテナンス、設置や運用におけるリスクアセスメントの技術も必要となる。また、電力システムの安定化に資するインバータや、蓄電池などとの統合システムの研究にも取り組まれている。

風力発電では、経済性の追求から着床式洋上風力発電を中心に大型化が急速に進み、浮体式洋上風力発電が実証段階から商用化前段階となっている。2021年における新規設置風車の平均サイズが欧州の洋上用では8.6MWになっており、定格出力16MWロータ直径242mの超大型風車が運用されている。定格出力22MW、ロータ直径310mクラスも開発されている。新設は欧米が先行してきたが、中国を中心としたアジアで増加している。国内でも大型化の傾向にあり、公募占用計画の認定を受けた初めての浮体式洋上風力発電所が五島市沖に建設されている。保守点検では遠隔監視とドローンの活用が普及している。欧州では今後の増加において変動電源特性に対処するため、北海・バルト海に人工のエネルギー島を造り、

海底ガスパイプラインを利用して、余剰電力で製造した水素を陸で活用する計画が進展している。

バイオマス発電については、石炭火力発電混焼用のバイオマスのトレフアクション（半炭化）技術やペレット製造プロセス（バイオマス専焼用も含む）の実証・実用化が国内外で進んでいる。酸素吹き石炭ガス化複合発電（IGCC）プロセスにCO₂回収設備を併設し、回収したCO₂を農業利用や微細藻類培養、CCUプロセスとの組合せによるメタノール等の併産プロセスへの展開が検討されている。バイオマス利用の輸送燃料については、廃食油などの油脂から製造された航空燃料（SAF）が実用化に至り、様々な廃棄物系バイオマスや微細藻類培養由来のSAFの研究開発実証は継続されている。現在もおおコスト低減が課題とされ、高付加価値物質生産との併産の研究開発も検討されている。

水力発電について、既存ダム発電の可能性を調査し、AIを活用したダム流入量予測やダムの運用高度化等により治水機能と水力発電の増強を両立するハイブリッドダムの取り組み等が推進されている。電蓄システムとしての揚水式水力発電のポテンシャルに注目し、下池として既存の多目的ダムを活用した小規模で安価な分散型の新揚水発電の研究も実施されている。

海洋発電に関しては、これまでの海洋エネルギーに関する研究開発は波力や海流、潮流などによる発電を中心に進展し、大型の研究開発が実施されている。近年の世界的な海洋エネルギー利用技術開発の活発化に伴い、海洋温度差を利用した発電を対象とした実証研究開発が実施されている。

地熱発電は経済産業省の長期エネルギー需給見通しにおいて2030年までに地熱発電の設備容量を約1,400～1,550 MWe（電源構成における割合では1.0～1.1%）にまで増加させる目標が掲げられている。地熱特有の技術課題解決に向けて、地熱貯留層の探索・評価・管理・掘削技術開発が進められており、「空中物理探査」が採用実施されている。また、地熱条件の悪い地点では、超臨界CO₂の高密度・低粘性に基づく流動や熱交換特性の有利点を生かしたカーボンリサイクルCO₂地熱発電技術が開発されている。国内では超臨界地熱発電の候補地域では超臨界水の状態把握及び資源量評価が実施されている。地熱発電は電力が安定して得られることから、米国ではデータセンター向けに強化地熱システム（EGS）への取り組みも見られる。

太陽熱発電に関して、集光型太陽熱発電（CSP）と太陽光発電（PV）ハイブリッドプラントが世界的に運用されている。再生可能エネルギー由来の電力を電気炉で熱に変換後、安価な蓄熱システムで蓄熱し、夜間等に熱発電する蓄熱発電（カルノーバッテリー）に関する研究が活発化している。最近では、エネルギー貯蔵システム（グリーンボイラー）等により構成される原子力と太陽熱の利点を組み合わせた新たな太陽熱複合発電プラントの取り組みがなされている。

CCSについて、産業を中心とするCO₂の発生が避けられない状況においては、その排出の削減のためCO₂を回収し、貯留する技術が必要とされており、火力発電や製鉄の分野を中心に技術確立が進められている。さらに大気からのCO₂回収（DAC）は将来の技術として期待されており、欧米では実証試験に進む動きも見られる。日本でもアジアとの連携を含め、CCSの先行的プロジェクトが計画されている。CO₂回収の方法としてアミン吸収液などによる化学吸収や物理吸収が主流であるが、低コスト化を目指す固体吸収剤や膜分離技術の研究開発が行われている。貯留の方法として、産油国では石油の増産を図りつつCO₂を圧入するEORを中心に組み込まれているが、それ以外の地域では、CO₂の長期安定貯留の観点から塩水帯水層での貯留の研究開発が進められている。地下構造の調査、CO₂安定貯留のモニタリングのための光ファイバーセンサー技術が重要となっている。

② 産業・運輸部門のゼロエミ化・炭素循環利用（関連する研究開発領域：蓄エネルギー技術、水素・アンモニア、CO₂利用、産業熱利用）

蓄エネルギー技術について、変動性の再エネの拡大に伴う電力の需給調整や貯蔵のための重要性が増している。現在、揚水発電がその役割を担っているが、拡張には限界があり、新たな手段を追加する必要がある。短時間での需給調整に対しては蓄電池（二次電池）が中心になると考えられ、長期のエネルギー貯

蔵は水素、蓄熱などを含めた多様な手段の研究開発が必要となる。分散型電源が需要側にも多く設置され、需給双方向の電力システムが構築される将来のスマートグリッドにおいては、蓄エネルギーシステムの果たす役割は複雑かつ大きくなる。電力用の大型蓄電池は発電事業として認められるようになり、さらなる高容量、長寿命、安全性、低コストに向けて研究開発が継続して行われている。電力用はEV車用よりもむしろ厳しい安全性が求められる場面もある。性能のみならず、将来的に希少金属の資源制約も懸念され、新しい概念の電池、例えばレドックスフロー電池における有機電解質の適用などの研究開発も期待される。

水素・アンモニアは、電力への変換や移動体の燃料（燃料電池車）として化石燃料の代替エネルギー源、CO₂を有用物質に変換するための還元剤、製鉄プロセスにおける炭素に代わる還元剤としての利用が可能であり、カーボンニュートラル社会を実現する上でのキー物質として期待が大きい。水素は種々の資源から製造できるが、最も注目されているのは再エネ電力を用いた水の電気分解であり（グリーン水素）、高効率化の研究開発が活発に行われている。水素の国際的なネットワーク構築のための水素キャリア技術（液体水素、有機ハイドライド、アンモニア）も重要である。水素、水素キャリアとも最大の課題はコストであり、安価な再エネ電力を前提とした効率の高い変換技術や反応ステップ削減の研究開発が行われている。また、石炭火力におけるアンモニア混焼や専焼に向けた大型実証試験や工業炉利用などの研究開発がすすめられている。

CO₂有効利用技術について、再生可能エネルギーが普及した場合でも、電力需給の安定化、大型輸送機の燃料、化学品などのため、炭素を含む有機物の利用を無くせない。化石資源への負荷を減らし回収したCO₂を有効利用する技術をCCU（Carbon Capture and Utilization）と呼び、代表的なCO₂変換反応として、メタノール合成、FT反応、メタネーションが挙げられる。いずれの反応も還元剤として水素を必要とし、安定なCO₂を活性化するための高度な触媒の研究開発が行われている。水素を経由せず直接CO₂を電解還元する方法も検討されており、反応原料として有用なCOの製造が現実的になりつつある。光触媒、光電極触媒や生体触媒によるCO₂還元反応についても実験室レベルではあるが、着実に研究開発が進められている。

産業熱利用について、低温排熱の有効利用として、蓄熱材料の高付加価値化（高密度化、長期の蓄熱）の研究開発が実施されるとともに、産業分野、民生分野の排熱実態調査などの統計データや、熱関連材料のデータベースなどが再整備されている。再生可能エネルギーの安定利用に向けた蓄エネルギー技術として中高温の蓄熱技術の開発が欧州を中心に精力的に実施されている。近年、蓄熱技術を介したPower to Heat to Power型の蓄エネルギー技術である蓄熱発電へと急速な展開を見せている。熱再生利用システムでは熱回収におけるコスト削減が重要であり、ヒートポンプの果たす役割が大きく、エネルギー価格の高騰を受け世界中で急速に導入されている。温暖化係数の小さい冷媒への転換が進められている。

③ 業務・家庭部門のゼロエミ化・低温熱利用（関連する研究開発領域：地域・建物エネルギー利用）

民生部門におけるエネルギー消費量削減のために、ZEB（Net Zero Energy Building）、ZEH（Net Zero Energy House）への移行が推進されている。近年は、都心などの狭小地に建てる住宅のために、太陽光発電などの設備がなくてもZEHと認められるZEH Orientedのカテゴリーが設けられた。蓄電池を活用し再エネの自家消費を増大するとともに、災害時の電源供給も考えたZEH+、次世代ZEH+の普及も国が支援している。

近年では建物に熱を供給するだけにとどまらず、IoT技術の応用により、建物で受け入れた熱を建物内の各室に供給する設備まで同時に制御することで全体の最適化を図るシステムも登場している。人流予測や居住者の属性・行動を画像解析から読み取ることによるフィードフォワード制御の検証や、深層ニューラルネットワーク等を活用し、空調システムの計測データから包括的な予測モデルを作成して最適制御を行う、モデル予測制御の研究が実施されている。2023年4月より改正省エネ法が施行されたことにより、再生可能エネルギーなどの非化石エネルギーについても合理化が求められており、省エネルギーのための研究開

発および技術開発が進められている。

④ 大気中CO₂除去 (関連する研究開発領域: ネガティブエミッション技術)

大気中CO₂除去について、CO₂を吸収する負の排出技術、すなわちネガティブエミッション技術の実装がカーボンニュートラルに向けて必要不可欠である。ネガティブエミッション技術には、DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage)、BECCS (Bio-energy with Carbon Capture and Storage) などの工学的な手法に加えて、植林や土壌炭素貯留、沿岸部ブルーカーボンなど様々な方法がある。

農地、森林、海洋などの自然を活用したネガティブエミッション技術は、すでに技術的な要素が確立されているものも多い。欧州では、近年カーボンファームの法制化に向けた動きもあり、自然を活用したネガティブエミッション技術の評価技術については関心が高まっている。また、欧州議会および欧州理事会は、2022年12月に発表された炭素除去の認証枠組みを導入する規則案に関して暫定的ではあるものの、2024年2月20日に政治的に合意した。これにより炭素除去技術の普及が加速することが予想されている。国内ではCO₂吸収を高めるための早生樹の研究や陸域生態系の観測・予測・モデリングに関する研究が実施されている。

⑤ エネルギーシステム統合化 (関連する研究開発領域: 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)

エネルギーマネジメントシステムに関して、変動性の再生可能エネルギー (VRE)、分散型エネルギー資源 (DER) を統合した調整力の創出、系統運用・電力市場での活用、関連研究開発が世界各地で活発に行われている。分散型エネルギーシステムは、系統からの電力供給喪失時にも独立したエネルギー供給が可能であり、エネルギー安全保障を確保するうえで高い関心が寄せられている。経済効率性とレジリエンスのトレードオフを踏まえた最適な設備計画・運用計画の評価が重要であり、実際に発生した自然災害や予測可能性をモデルに組み込む新たな取り組みがなされている。また、スマートメータ等のエネルギーデータとスマートフォン位置情報 (GPS)、自動運転ログデータ等のビッグデータを連携し、エネルギー消費分析、需要家機器稼働分析、消費者行動分析、行動経済学的分析への活用、さらに新たなサービスの提供などを実現するオープンデータベースの開発が期待されている。

エネルギーシステム・技術評価に関して、自然変動電源を用いた水電気分解による水素製造や、運輸部門などの非電力部門での水素需要、水素関連のエネルギーキャリアの長期貯蔵や長距離輸送への関心が高まっている。そのため、空間的・時間的解像度が高い電力システムモデルと、非電力部門も考慮できる長期世界エネルギーモデルとの統合の必要性が高まっている。エネルギー安全保障上のリスクへの対応強化に向け、確率動的計画法や線形計画法等の数理計画法等を用い、エネルギーシステム上のリスクを定量的に考慮したエネルギーモデルの構築、リスク対応策の導入効果の分析が取り組まれている。

再生可能エネルギー (VRE) 利用拡大で短周期的な充放電サイクルに強い蓄電池と、瞬時的応答に強いキャパシタや超電導エネルギー貯蔵装置などのシステムに対する技術評価がますます重要になっている。

また、マイクログリッド普及に伴う地域レベルの温暖化対策評価等を目的とした、都市最終エネルギー需要のシミュレーション技術開発が潮流になっているほか、行動経済学の考え方をエネルギー消費行動に適應する機運の高まりをみせている。

2) 環境分野の研究開発の動向

⑥ 地球システムの観測・予測 (関連する研究開発領域: 気候変動観測、気候変動予測、水循環 (水資源・水防災)、生態系・生物多様性の観測・評価・予測)

本区分における最近の大きなトピックは気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第6次評価報告書 (AR6) が公表されたことである。同報告書の作成に最新の科学的知見が活用されている。また、パリ協

定の目標達成に向けた世界全体の進捗を評価するグローバルストックテイク (Global Stocktake : GST) が国連気候変動枠組条約第28回締約国会議 (COP28) で初めて実施されたことも挙げられる。

気候変動観測に関して、世界各国で2050年前後を目標とするカーボンニュートラル宣言が出されたことをうけ、近年の地球温暖化が人為的なGHGs排出がもたらしていることを科学的に検証する意義から、国際社会の移行が進展しているか合理的に検証する意義に変わりつつある。1.5°C目標に対応するために残された許容排出量は不確実性の幅をもって12年程度と見積もられているが、社会の移行とともに精度高く推定していくためにはGHGs濃度変化、循環、収支の評価や複雑な雲・エアロゾル効果の定量化 (2024年打ち上げ予定EarthCARE) などの観測、解析、評価が依然として重要である。

大気・陸域の観測では、CO₂以外のGHGsの観測と理解も進んでいる。100年単位での大気中寿命をもつCO₂に対して、数日から10年程度の短寿命気候強制因子 (SLCFs) の観測、解析が進展し、IPCCのAR6第1作業部会 (WG1) 報告書「自然科学的根拠」で1つの章を割り当てられている。SLCFsの多くはブラックカーボンや対流圏O₃など大気汚染物質と重なっている。メタンは大気中寿命が10年程度であるため、排出量削減の効果が早く表れる期待があり、2030年に2020年比30%削減を目指すグローバルメタンプレッジには100か国以上が加盟している。IPCCではSLCFsに関するタスクフォースが設置され、2023年以降の第7次評価サイクルにおいてもSLCFsに関する方法論報告書の作成が決まっている。GHGsとAQ (大気質) の統合観測は、2018年に打ち上げ成功したJAXAのGOSAT-2衛星が初めて実現しており、産業活動で排出される二酸化窒素 (NO₂) をマーカーとして検出することでNO₂と同時に排出されるCO₂やメタン発生源を特定可能としている。GHG/AQ統合観測はGOSATシリーズ後継機のGOSAT-GW (2024年)や欧州のCO2Mミッション (2025年)にも搭載が決定している。これらと地上拠点での継続データ取得により、アジア域の社会の移行の進展を客観的指標に基づく評価が可能となる。GHGs収支を把握するためにはGHGsフラックス以外にも森林植生を含む陸域生態系や土地利用、極域等のデータセットが重要である。植生による炭素貯留量は国際的な長期生態系観測データが貢献しており、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (IPBES) とIPCCとの協働が進んでいる。気候変動に伴う極端現象は大気だけでなく陸域でも熱波や永久凍土融解、植生の生産量減少、大規模森林火災などの形で表れてきており、それがさらに大気に影響を与えている。その極端現象が大気-陸面環境に与える影響をリモートセンシングなどでモニタリングし、解析する研究が注目されている。

海洋の観測は、気候変動の観点からも極めて重要である。海洋と大気は熱、水、運動量の交換を通じて相互に影響を与えており、気候システムに年から数十年規模の自然変動をもたらしている。1970年以降、気候システムに蓄積された熱の9割以上を海洋が蓄え、1980年以降に人為的に排出されたCO₂の3割程度を海洋が吸収し、大気・陸域の温暖化を抑えていると推定されている。2021年から「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」も始まり、海洋科学の基盤、連携を構築し、科学的知見、データを統合し海洋政策に反映を目指している。その目的に沿った全球的な海洋観測と関連技術が不可欠である。同年に世界気象機関 (WMO) も海洋観測データを全球気象予報に必要なデータポリシーと位置づけている。気候変動に影響を与える54の必須気候変数 (ECVs) のうち海洋ECVsは19あり、海洋観測網Argoが中心的に対応している。Argoは深度2,000 mまでの物理変数、生物地球化学変数の取得、評価から始まったが、深度6,000 mまで観測するDeep Argoやプランクトンなど生物・生態系変数を観測可能なBGC Argoと拡張が進んでいる。外洋観測に沿岸も加えた統合的観測のため、外洋と沿岸域のギャップを埋める自立型水中グライダーのネットワーク構築が期待されている。フロート関連技術はとくに米国、フランスが産学官の研究者、技術者が境界を問わず連携し、国際標準的に用いられる観測機器を展開しており、基礎研究と社会のニーズ対応の両面で効果的に推進しており、良い模範となっている。

気候変動予測について、気候モデルや地球システムモデル、全球雲解像モデルなどの各種予測モデルの高度化ならびに利活用に係る研究開発領域では前述のとおりIPCCのAR6 (WG1) への貢献が最近の大きなトピックである。大型計算機の能力向上を背景に100メンバー以上の大規模アンサンブル実験が盛ん

になっており、対象も季節内から十年規模の予測へ拡張されつつある。アンサンブル実験の結果を活用したイベント・アトリビューション (EA) が IPCC AR6 で大きく取り上げられた。EA は、極端気象現象の発生直後にその結果を速報するなど気候サービスとしての運用に向けた取り組みが本格化してきているが、同時に科学的な現象理解のためのツールとしても期待されている。従来の全球気候モデルではパラメータ化で表現されていた深い対流や雲微物理過程を全球規模で直接表現する全球雲解像モデル (GCRM) の開発が日本で先行的な成功を皮切りに欧米や中国で進められている。特に近年は渦解像 (水平解像度 10km 程度) の海洋モデルと GCRM を結合した気候モデルの開発競争が日米欧を中心に活発化している。GST や適応策立案等に活かすため、従来の 100 年規模の予測に加えて、1~10 年程度先を対象とした予測研究が盛んになってきている。全球スケールの予測を領域スケールの予測と結びつける「グローバル解析」の研究も盛んにおこなわれており、例えば線状降水帯の発生ポテンシャルの予測が可能になることなどが期待されている。詳細な地域的予測への関心が高まる中、海洋では沿岸海洋の予測や気候変動影響評価に向けた研究も活発化している。衛星観測データを始めとする観測データの充実化を背景に、従来はチューニングの対象とされてきた不確実なモデルパラメータを観測情報のデータ同化によって推定したり、物理プロセスのモデル表現 (パラメタリゼーション) の定式化を観測情報の組み合わせによって素過程レベルで評価したりする試みが始められている。気候予測研究への機械学習の活用も模索されている。1 週間程度先までの予測においては、機械学習で従来の数値天気予報モデル全体を置き換える手法が複数提案され、これまでの物理モデルの予測精度を上回る結果が示されている。その他にも例えば多大な計算コストを要する第一原理的な計算手法を機械学習により模倣する新しい手法が提案されつつある。一方、近年の高性能計算 (HPC) では Graphics Processing Unit (GPU) を多数並列化した演算器が搭載されることが主流となり、AI 向けに専用プロセッサが搭載されることもある。これらを活用するには並列計算機の特性を踏まえたソフトウェアの書き換えが必要であり、研究者の負担が大きくなっている。

水循環に関して、気候変動の影響に伴う激甚な水災害などを受け、関心が増大している。気象や農林水産業、防災分野などと水文分野との多分野連携の研究開発成果は適応に直結する。河川流域統合マネジメントや地下水資源の持続利用などの社会水文連携に関する研究も徐々に立ち上がり始めており、地域での実装につなげるためのさらなる進展が期待される。人間活動と水循環の双方向的なフィードバックや共進化過程を明示的に扱う新しい研究・学問分野の社会水文学も徐々に注目され始めている。最も早くから進展してきた気象水文連携の研究成果は、IPCC AR6 WG1 報告書「自然科学的根拠」において気候の変化が与える水循環の変化として 1 つの章を設けて取り扱われている。同第 2 作業部会 (WG2) 報告書「気候変動の影響、適応、脆弱性」においては水循環の変化は一様ではなく、干ばつ (水資源不足) の増加する地域と洪水災害の増加する地域があり、それぞれでの適応の重要性が述べられている。全球規模での水循環モデルの開発や、水文解析ツールの Google Earth Engine の台頭により、高解像度水循環研究が進展している。人工衛星による降水推定量の向上やフェーズドレイ气象レーダーなどによるビッグデータ取得とデータ同化など利活用が進んでいる。その一方で、地上での蒸発散、地下水流動、積雪、台風実観測データ等のカバー率向上には飛躍的技術進展は見込まれておらず、少数データからの推定となっている。推定アルゴリズム改良等とともに継続観測データ取得の両輪の推進が重要である。

生態系・生物多様性に対する社会的関心が高まっている。英国財務省が 2021 年に発表した「生物多様性の経済学 (ダスグプタ・レビュー)」は G7 サミットなど国際的な政策議論でも繰り返し引用されており「2030 年までに生物多様性の減少傾向を食い止め、回復に向かわせる」との「ネイチャーポジティブ宣言」の発出に繋がった。2022 年 12 月の生物多様性条約第 15 回締約国会議では「昆明・モントリオール生物多様性枠組」が採択された。同枠組みでは 2030 年までに陸と海の 30% 以上を生物多様性の観点から保護・保全する「30by30」等の主要目標が定められた。同時期には「自然関連財務情報開示タスクフォース (TNFD)」が気候関連財務情報開示タスクフォース (TCFD) に続く枠組みとして発足し、市場参加者からのフィードバックを踏まえた提言が 2023 年 9 月に公表された。

近年の研究開発動向としては、DNAデータ（環境DNA）の活用や3次元スキャニングなど地上観測の手法やツールがより多様化するとともに、衛星やドローンなどの無人航空機（UAV）等によるリモートセンシングの発展も顕著である。これらを用いて遺伝子から生態系レベルまでモニタリングが進められている。衛星観測では米国のNASAとメリーランド大による生態系観測ミッションからのデータが2020年から公開され注目されている。解像度は粗いもののデータを活用する研究機関や民間企業が増えている。パリ協定に基づくグローバルストックテイクの活動の一環として同データを含む複数のバイオマス関連の航空および衛星ミッションからのオープンデータを調和的に解析するための研究も進められている。画像解析をはじめとするクラウド上でのデータ解析ツールが充実し、生態系の管理と予測への技術応用が拡大している。Google Earth Engineが顕著だが、国内ではTellusなど国産のクラウドも推進されている。生物種の分布と変動を予測するための統計モデルや機械学習等のツールも発展しており、種分化や進化を含めた生物多様性の形成や維持に関わるプロセスの理論および実証研究も進展している。機械学習ツールの普及は著しく、観測やモニタリングを通じて蓄積されてきたビッグデータの活用に活かされている。近年は地球システム科学分野における全球スケールの炭素・水循環や気候変動予測の精度向上のために生態系に関する知見がこれまで以上に重視されており、将来予測モデルやシナリオの解析研究に生物多様性の情報がより明示的に組み込まれるようになってきている。長期・広域な大型フィールド観測プロジェクトが各地で進行しており、データを統合的に解析するなどの統合的アプローチや、大規模な操作実験プロジェクトが各国で行われている。関連して、国家間での衡平なモニタリングを可能にする全球生物多様性観測システム（GBIOS）の構築の必要性が日本の大学や研究機関を含む国際的な研究グループから提案された。

⑦ 人と自然の調和（関連する研究開発領域：社会—生態システムの評価・予測、農林水産業における気候変動影響評価・適応、都市環境サステナビリティ、環境リスク学的感染症防御）

社会—生態システムに関して、人間社会と生態系は相互に密接に関連しており、人間社会が生物多様性や生態系に与える影響や生態系サービスの定性的・定量的な評価、生態系サービス間のトレードオフやシナジーの連関（ネクサス）分析など、社会—生態システムの評価・予測に関する研究が進展している。ダスグプタ・レビューでは、生物多様性や生態系の自然資本によって支えられている経済の現状をさまざまな視点から包括的にレビューし、経済に関する従来の認識や制度などにおける多くの問題を指摘するとともに、生物多様性や生態系を反映した経済のあるべき姿やそれに至るための多様な選択肢を提示している。また、生態系サービスや自然資本に影響する直接的な要因だけでなく、直接的要因に影響する人間社会の間接的な要因も明らかにされつつある。人間社会と生態系間のフィードバック作用を組み入れた社会—生態システムの統合的なダイナミクスの理解に関する研究は発展途上段階にあり、超学際的な研究開発が求められている。ここ数年、TNFDやSBTs for Natureなど企業活動が生物多様性や自然資本に与える影響を評価し、持続可能なビジネス活動を実現するための国際的な動向や取り組みが急速に進展している。ESG投資に対して科学的に裏付けのある確かな投資指標が求められているが、こうしたニーズに応えられる物は普及していない。生態系サービスと自然資本に関する情報が多様な意思決定の場で十分には使われておらず、政策に反映するための課題が指摘されており、研究からガバナンスの実践までを長期的なイニシアチブで推進していくことが重要である。

農林水産業における気候変動影響評価・適応について、気候変動シナリオと食料生産への影響予測や水産分野における資源評価モデルの開発などが進展している。極端な気象現象が農業生産基盤や生態系などに与える影響の解明も進んでいるが、農業分野だけでなく生態学、地球物理学、工学など総合的なアプローチが求められている。生物多様性や生態系サービスを強化することで農林水産業の気候変動への適応力を強化することが期待されている。「生態系を活用した適応策（EbA）」、「グリーンインフラ」、「生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）」等とともに、「自然を活用した解決策（NbS）」に注目が集まっている。日本においては気候変動が農林水産業に与える影響の将来予測に加えて、緩和策・適応策の開発、農地に

おける生物多様性保全や生態系サービス活用のための研究が進められている。水産分野においては、ブルーカーボンの活用がNbSとして位置付けられており、CO₂吸収源拡大や再生可能バイオマスとしての活用に資する研究開発が進展している。農林水産業は気候変動緩和・適応に加えて様々なコベネフィットをもたらすと考えられている一方で、トレードオフの問題もあるため、より統合的な視点の研究開発が必要である。

都市環境に関して、気候変動が全世界的な防災のテーマとなってきたが、我が国を含む環太平洋地域などでは地震、火山噴火も避けられない重大な災害であり、同等に対策の検討を続ける必要がある。さらに感染症蔓延下での洪水や、台風による停電下での熱波など複合災害も現実には発生している。これらに対してBCPの観点でレジリエンス向上が重要な課題である。レジリエンスの概念や定性的な理解の浸透が進んでおり、今後の課題として建築物や都市のレジリエンス性能を定量化する議論が注目されている。自然災害のもたらす死亡と経済損失の評価にとどまらず、精神的な問題や大気汚染などの多様な影響評価研究が行われ始めており、その進展が期待される。都市気象に関しては、2024年1月に開催されたIPCC第60回総会において「気候変動と都市に関する特別報告書」を2027年までに作成することが決定された。都市ヒートアイランド現象適応策の研究蓄積の実装や行動変容の普及が引き続き課題である。都市街区レベルの解像度で、暑熱対策や都市農業、都市生態系がもたらす効果の解析と実装が可能となっている。共便益とトレードオフを解析する研究も引き続き注目されている。都市の自然がもたらす健康への効果をより詳細化しようとする研究なども報告されている。ウェアラブル端末型常時測定バイタルセンサーと自動データ収集システムを用いて、生理学的指標データに基づく客観的健康指標の解析やパーソナル熱中症発症リスク警告デバイスの開発などが行われており、その進展が期待されている。

環境リスク学的感染症防御に関して、パンデミックの初期から感染経路に関する調査がなされ、研究成果が多数報告された。リスク学の観点から対策の効果を理解するアプローチも複数検討され、対策に伴う二次的影響や情報発信方法等に関する報告もなされている。集団感染に関する複数の調査研究の蓄積を通して、100 μm未満の微小な飛沫であるエアロゾルが、特に密閉空間においてCOVID-19の主要感染経路の1つであることが世界でも理解されるようになった。エアロゾル感染への防御策として、室内環境における換気等への関心が急拡大し、HEPAフィルター付き空気清浄機やUVGI等がさらに浸透した。ただし、適正な airflow 計画や間接的な可視化指標（CO₂濃度など）の捉え方について一般理解を深める情報発信が課題となっている。感染リスクの詳細な決定が困難で換気の最小必要量などが未解明であるため、大きく安全係数をとった対策が示されているなど、室内における感染リスクの予測・評価が課題となっている。下水中ウイルス調査（下水疫学調査）による感染状況モニタリングやウイルス変異の調査、感染対策実施率のAI画像解析等による解析、スーパーコンピューターを用いた感染リスク評価など、最新の技術とリスク評価アプローチを生かした新しい展開も注目されている。

③ 持続可能な資源利用（関連する研究開発領域：水利用・水処理、持続可能な大気環境、持続可能な土壌環境、リサイクル、ライフサイクル管理（設計・評価・運用）、環境分析・化学物質リスク評価）

水利用・水処理に関して、COVID-19の世界的流行に伴い下水中の新型コロナウイルス濃度を把握する下水疫学が注目され、全感染者の追跡を止めた後の代替指標として活用されている。いち早く社会実装が進んだアメリカではCDCやBiobot Analytics社が全米の下水中の新型コロナウイルス濃度や変異ウイルス別の検出率などのデータを公開している。日本では札幌市が北海道大学と連携してインフルエンザウイルスにも適用し、データを公開している他、複数の自治体で情報公開が進められている。世界の水資源逼迫への対応として、海水淡水化や再生水の関心が高い。海水淡水化向け逆浸透膜やそれを用いた水処理システムにおいては、装置の信頼性と同等以上に導入コストおよびランニングコストの削減ニーズが強い。再生水については、リスク評価に基づき導入が進展している。人口減少・高齢化、インフラ老朽化が進み、自然災害も多い我が国では持続可能な水供給が課題である。モバイル型水処理システムの開発や過疎地域で

の浄水システム維持管理の調査研究などが進展している。紫外線LED殺菌など新技術を適用した水処理システムの実装も進んでいる。水処理に伴う電力エネルギー消費は大きく、エネルギー高効率化や再生可能エネルギー導入などが課題となっている。資源循環や重要鉱物安全保障の観点から、排水中のリンやリチウム、レアメタルなどの回収技術や下水熱有効利用技術が期待されている。水不足地域の人々を救うため、安全な水を届ける取り組みはSDGsへの対応としても重要視されている。

大気環境に関して、異常気象の多発などを受け気候変動への対策の関心が高まっている一方で、大気汚染はいまだ重要な課題である。我が国ではとくに光化学オキシダントである対流圏オゾンの環境基準達成率はいまだに0%のままである。対流圏オゾンを生成する原因物質のNO_xやVOCなどは低下が続いているため、これまでと異なる事象の解析の必要性も提唱されている。エアロゾルであるPM_{2.5}は我が国や中国で減少基調にあるが、発生源について大気中での二次生成の解明などが課題である。COVID-19拡大防止策として行われた世界的ロックダウンの期間中に、世界各地でNO_xやPM_{2.5}の一時的な減少が確認され、人為的なエアロゾルの減少が気候影響に与える影響が評価された。現在もアジアを中心に大気汚染は深刻な状況にあり、モニタリングおよび一層の環境対策が重要である。長距離越境汚染を調査するうえで高所や上空の大気観測が重要であり、ドローンを用いた3次元観測などが進展している。カーボンニュートラルと経済対策の両面から、自動車の電動化が中国、欧州を中心に急速に進み、欧州各国で内燃機関搭載車の販売規制の活発な動きが見られた。その一方で、カーボンニュートラルに貢献するのはBEVだけでなく、再生可能エネルギー由来の合成燃料やバイオマス燃料を利用する内燃機関搭載車などの組み合わせもあることから、2023年には欧州委員会から温室効果ガスを排出しない合成燃料を使用する場合は内燃機関搭載車の販売を認める方針が示され、EV化に向けた欧州の政策方針には揺らぎが見られる。また全世界の全車両が純バッテリー電気自動車（BEV）に変わるシナリオには補助金の持続性やリチウム、コバルト等の資源ひっ迫といった課題などが指摘されている。さらに、途上国等では経済的事情から長く内燃機関搭載車販売が続くシナリオの実現可能性が高くみられ、排ガス浄化技術は将来的にも必要となる。三元触媒に代表される排ガス浄化処理装置は極めて完成度が高いが、高価な貴金属やレアメタルの使用量の低減、代替技術の開発が期待されている。排気ガスだけでなくタイヤやブレーキの摩耗に伴う大気環境中へのマイクロプラスチックの放出が課題となっており、欧州では次期排気ガス規制でこれらの粉じん由来の微粒子の排出も規制の対象となる方針である。船舶や航空機、作業用機械などにおいても、大気汚染物質やGHGs排出削減の規制の議論や検討が行われている。

土壌環境に関して、我が国ではいまだに掘削除去が主流であり、長期の修復期間や多額の費用、膨大なエネルギー消費などの負荷が生じている課題があり、原位置浄化処理を目指す技術開発や環境保全と産業、社会の持続的発展を目指すサステナブル・レメディエーションの進展が期待されている。リスクに応じた合理的なリスクマネジメントに基づく持続可能な土壌浄化、土壌利用へ移行していく必要がある。福島第一原子力発電所事故により生じた1,300万m³以上の除去土壌を2045年までに中間貯蔵施設から福島県外で最終処分する約束の実行に向けても、リスクに応じた対策が重要である。自然由来の重金属等による負荷の低減も重要な課題である。自然由来の重金属等は基準値の数倍程度で広く分布しているケースが多い。我が国の土壌ではとくにヒ素、鉛、カドミウムなどの濃度が比較的高く、トンネル工事などに伴う建設残土が基準超過する事例がある。2017年の土壌汚染対策法の改正により、リスク評価に基づき一定リスク以下ならば適正な措置を講じた上で利用可能となっており、残存リスクに応じてコスト削減と効果のバランスを同時に追求する合理的なサステナブル・レメディエーションの浸透が期待されている。国内での基準不適合件数は累計15,000件を超えているが、小規模事業者の跡地など土壌汚染調査が行われていない地点も多く、安価な調査、対策技術の開発が課題である。汚染現場は多様だが、健康リスクの包括的スクリーニングが可能な評価ツールはすでに整備されており、そのリスク評価に応じバランスのとれた対策を推進していくことが重要である。近年、人為起源の新規化学物質の土壌・地下水汚染の評価が進展しており、農地用プラスチック製品由来の土壌へのマイクロプラスチック混入が明らかとなっている。また、2020年には難分

解性有機フッ素化合物 (PFAS) が水質の要監視項目に加わっている。PFASの把握調査では河川だけでなく地下水や湧水からも指針値を超える濃度が検出され、米軍基地周辺でも検出事例が報告されており、実態把握のための簡単で効率的な調査分析手法や対策技術が喫緊の課題となっている。新規化学物質の環境動態などには不明点が多く、産業由来の一次生成物に加え、自然界中の反応プロセスで生じる副生成物も含めてメカニズムの解明が重要な課題となっている。

リサイクルに関しては、脱炭素化、環境保全の観点から資源循環社会への移行が求められている状況にあり、重要鉱物を巡る資源安全保障の点でも重要となっている。現在石油資源から製造されているプラスチックは製品の種類や形態の多様性が増加する一方、材料リサイクル技術はもとより、一括して炭化水素原料に戻すケミカルリサイクル技術の研究開発が進められている。金属材料は、鉱山資源の劣化の一方、蓄電池用など特定の金属の需要が増加するとみられており、リサイクルの重要性が増している。プラスチック、金属に共通して、①分離・解体・選別のリサイクルの前段階（静脈産業）が最終製品の経済価値を左右する、②静脈産業とそれを最終製品に仕上げる動脈産業との連携が必要である、③廃棄物は資源でありライフサイクルに亘る情報データの網羅的な把握は産業の競争力の源泉となりうる、これらが重要な点として挙げられる。

ライフサイクル管理（設計・評価・運用）に関して、カーボンニュートラルやその他の持続可能な社会の実現へ向けた技術・システムの開発や導入を検討するためには、現存しないライフサイクルの情報を得てLCAを実施しなくてはならず、何らかの仮定や推定、シミュレーションなどが必要となる。こうした技術やシステムの将来性に関するLCA手法について、適用の可能性が議論されている。技術選択の最適化については演繹的LCAの考え方により技術開発中の技術でも積極的に問題に入れ込むことが開発の促進に寄与すると考えられている。食料と水の生産とエネルギー消費の相互依存性に関する分析（Food-Energy-Water nexus analysis）をはじめとする多様な評価の観点の依存性を解析する研究が増加傾向にある。Nexusを考慮しながら、水や土地、労働環境などの社会課題などと紐づけたサプライチェーンの可視化や分析、評価がますます重要になってくる。また、レアメタルをはじめとした鉱物資源は世界の産業を支える重要資源であるが、地政学上の問題から安定的な確保に高いリスクを伴う。そのためLCAにおいても鉱物資源使用の評価が主要な課題と認識されている。

環境分析・化学物質リスク評価において無機分析に関しては重元素安定同位体比を使った分析が主流化しており、物質動態のより深い理解が進んでいる。生態系機能の把握・予測に係る分野では軽元素安定同位体分析によって、食物網構造の数値化が可能になり、栄養段階を介した無機元素の蓄積動態を予測可能になっている。有機分析に関しては多種多様化する化学物質に対応した多成分一斉（ワイドターゲット）分析やノンターゲット分析などに関する技術開発が依然として主要な研究課題である。類縁物質が多いPFASなどの包括的分析はこの数年で急速に報告が増えている。環境モニタリングへの展開ではハイスループット化と未知物質の同定が注力されている。これらを通じて分析から得られる情報は膨大になっており、未知物質の推定や毒性予測、異常検出に深層学習を活用するなどデータ駆動型研究もトレンドとなっている。多次元クロマトグラフィーやイオンモビリティを活用した分離軸の多次元化も進んでいる。

リスク評価技術としてのバイオアッセイ・毒性評価では、個体の組織・器官ごとの毒性だけでなく、薬物動態モデルなどを活用した全身毒性の予測手法の開発にシフトしてきている。さらに動物試験によらない評価・管理を目指して、定量的構造的活性相関（QSAR）や類似物質のデータから毒性予測手法を行う手法の開発も活発に行われている。大気中エアロゾルに関して、測定法や測定装置の開発、フィールド観測、室内実験、および数値シミュレーションによる大気中濃度の予測等に関する研究開発が行われている。微小粒子による健康影響評価も始められている。マイクロプラスチックに係る研究がここ数年で大きく進展している。環境中での動態研究が盛んに行われ、大気、海洋表層、海底など様々な場所で存在が確認されている。プラスチックの添加剤についてもプラスチックから生物への濃縮機構の研究が進んでいる。マイクロプラスチックによる環境やヒト健康への影響の科学的解明は道半ばであり、マイクロプラスチックの環境リスク評価の体系的な実施を目指して評価フレームの検討や科学的知見の蓄積が進んでいる。

3) 日本の研究開発の現状

各領域の研究開発の現状に関する評価結果を、主要国間での国際比較を含んだものを図表 1.2.2-1、図表 1.2.2-2 に示す。

図表 1.2.2-1 エネルギー分野の国際比較結果一覧表

研究開発領域		国・地域	日本		米国		欧州		中国		韓国			
		フェーズ	基礎	応用・開発										
火力発電		現状	○	○	◎	◎	○	○	◎	○	△	△		
		トレンド	→	↗	→	→	→	→	↗	→	→	→		
原子力発電		新型原子炉		現状	○	○	◎	◎	○	◎	○	◎	△	△
				トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→
		核融合炉		現状	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎
				トレンド	→	→	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	→
		原子力安全		現状	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎
				トレンド	↗	↗	→	↗	→	→	↗	↗	→	↗
		再処理		現状	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△
				トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	↗	→	→
太陽光発電		現状	○	○	○	○	◎	○	○	◎	△	△		
		トレンド	→	→	→	→	↗	↗	→	→	→	→		
風力発電		現状	△	△	○	○	◎	◎	○	◎	△	○		
		トレンド	↘	→	↗	↗	→	→	↗	↗	→	↗		
バイオマス発電・利用		バイオマス全般		現状	○	△	○	○	○	◎	△	△	△	
				トレンド	↗	→	→	→	↗	↗	→	→	→	↗
		微細藻類		現状	○	○	○	○	○	○	◎	△	○	△
				トレンド	→	↗	↗	→	→	→	↗	→	→	→
水力発電・海洋発電		水力発電		現状	△	△	△	△	○	○	○	◎	△	○
				トレンド	→	→	→	→	↗	↗	↗	↗	→	↗
		海洋発電		現状	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎
				トレンド	→	→	↗	↗	↗	↗	→	→	→	↗
地熱発電・利用		現状	○	○	◎	○	○	○	○	○	△	△		
		トレンド	↗	→	↗	↗	→	↗	→	→	↘	↘		
太陽熱発電・利用		現状	○	△	◎	○	◎	◎	◎	◎	△	△		
		トレンド	→	↘	↗	→	↗	→	↗	↗	→	↘		
CO ₂ 回収・貯留 (CCS)		CO ₂ 分離回収技術		現状	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	○	△
				トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	↗	→	↘
		CO ₂ 貯留技術		現状	◎	○	◎	◎	◎	○	△	○	-	△
				トレンド	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	-
蓄エネルギー技術		現状	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	○	◎		
		トレンド	→	↗	→	↗	→	↗	↗	↗	↗	→	↗	
水素・アンモニア		現状	○	◎	○	◎	○	◎	○	○	○	○		
		トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗		

CO ₂ 利用		現状	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	○	○
		トレンド	↗	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	→	↗
産業熱利用	蓄熱関連	現状	◎	△	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	△
		トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
	熱再生関連	現状	◎	◎	△	○	○	○	◎	○	△	△
		トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	↗	→	→
地域・建物エネルギー利用		現状	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	-	○
		トレンド	↗	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗	-	→
ネガティブ エミッション技術	陸域	現状	○	△	○	△	◎	◎	◎	◎	△	○
		トレンド	→	→	→	→	↗	↗	→	↗	→	↗
	海域	現状	◎	◎	○	○	◎	○	○	△	△	-
		トレンド	↗	↗	→	→	↗	↗	↗	→	→	-
エネルギーマネジメントシステム		現状	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○
		トレンド	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
エネルギーシステム・技術評価		現状	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
		トレンド	→	→	→	→	↗	→	↗	↗	↗	↗

図表 1.2.2-2 環境分野の国際比較結果一覧表

研究開発領域		国・地域	日本		米国		欧州		中国		韓国	
		フェーズ	基礎	応用・開発								
気候変動観測	大気・陸域の観測	現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	△	○	△
		トレンド	↗	→	↗	→	↗	↗	↗	→	↗	→
	海洋の観測	現状	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	△
		トレンド	→	↗	↗	↗	→	↗	→	↗	→	→
気候変動予測		現状	◎	○	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○
		トレンド	→	↗	→	↗	→	↗	→	↗	↗	→
水循環 (水資源・水防災)		現状	◎	○	◎	◎	○	◎	○	○	△	△
		トレンド	→	→	→	↗	→	→	→	→	→	→
生態系・生物多様性の観測・評価・予測		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△
		トレンド	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	↘
社会-生態システムの評価・予測		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△
		トレンド	↗	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	→
農林水産業における気候変動影響評価・適応	農林業	現状	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	△	○
		トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
	水産業	現状	◎	○	○	◎	◎	◎	◎	○	△	△
		トレンド	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
都市環境サステナビリティ		現状	◎	○	◎	○	◎	◎	○	○	○	○
		トレンド	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
環境リスク学的感染症防御		現状	○	○	◎	○	○	○	○	○	-	-
		トレンド	↗	↗	→	→	→	→	↗	↗	-	-

水利用・水処理		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○	△	△
		トレンド	→	→	→	↗	→	↗	↗	↗	→	→
持続可能な大気環境		現状	◎	○	○	○	◎	○	◎	◎	○	◎
		トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
持続可能な土壌環境		現状	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	△
		トレンド	→	→	→	→	→	↗	↗	↗	→	→
リサイクル	プラスチック	現状	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	△	○
		トレンド	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	→	↗
	金属	現状	○	◎	△	○	○	◎	○	◎	△	△
		トレンド	→	→	↗	↗	→	→	↗	↗	→	→
ライフサイクル管理 (設計・評価・運用)		現状	○	○	○	◎	◎	◎	△	◎	△	△
		トレンド	→	↗	→	↗	↗	↗	↘	↗	↘	↘
環境分析・化学物質リスク評価		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	△
		トレンド	→	→	→	→	↗	→	↗	↗	→	→

1 研究対象分野の全体像

1.2.3 社会との関係における問題

① エビデンスに基づく政策形成

1990年代以降、多くの政策分野でエビデンスに基づく政策形成が求められるようになった。「政策のための科学 (Science for Policy)」への関心も高まり、アカデミアと政治・行政との間で課題認識や前提を共有した上で、科学的知見に基づいて独立かつ確かな助言や提言が行われる重要性が認識されつつある¹。

しかし科学的知見と政策決定の間には通常大きなギャップがある。これに対し、科学的知見から政策決定までのプロセスの構造を可視化することが合理的な意思決定に有益である。その方法としてリスク学の観点からのプロセスの枠組みが利用できる。そのプロセスとは、科学的知見の提供、シミュレーション等によるベースラインのリスク評価、リスク管理オプションの列举、各リスク管理オプションの影響評価、その上でのリスク管理措置の決定から構成される。

未知のリスクとして現れたCOVID-19への初期的な対応を振り返ってみると、この科学と政策を結ぶプロセスには、二つの大きな課題があったとする見方がある。一つは、科学的知見からリスク管理措置の決定までが一足飛びに結びついているように見えたことである。これは、プロセス全体を構成する個別プロセスの存在および相互関係と、各プロセスにおける関係主体の役割が明確に示されなかったために生じたと考えられている。もう一つは、リスク管理措置の変更が突如として行われたように見えたことである。これは、科学的ファクトからリスク管理措置までのプロセスが明確に構造化されておらず、いずれの段階でなぜ変更が必要となったのか等が明確に示されなかったことによって生じたといわれている。

環境・エネルギー分野における様々な問題解決に向けても、科学的知見と政策決定を結ぶプロセスを構造的に可視化すること、各プロセスに携わる主体、特に研究者や専門家会議の役割を明確化することは重要である。理工学分野のみならず人文・社会科学分野を含めた様々な関係者間をつなぐ仕組みの構築も必要である。またこれら全体をリスクコミュニケーションとして捉えたとき、これは有事のときのみではなく、むしろ平時から必要な活動あるいは人材として認識される必要があるといえる²。

② 化学物質管理規制への対応を支える研究基盤

多種多様な化成品や農薬、医薬品等、化学物質の種類は増加の一途を辿っている。膨大な数の化学物質の適切な管理は国際社会で協力して取り組むべき課題であり、国際条約と各国・地域における化学物質規制に基づいて行われている。また現在の化学物質管理は、かつての「有害性 (ハザード)」のみに着目したハザードベース型から、「有害性 (ハザード) の強さ」と「環境への排出量 (人や生物への暴露量)」を踏まえたリスクベース型へとシフトしている。環境中に排出された化学物質が人の健康や生物に悪影響を与えるおそれは「環境リスク」、そのリスクの科学的評価は「環境リスク評価」と呼ばれる。

化学物質管理あるいはそのための規制は世界的な製品展開にも関わるため、欧米では関連分野の研究は産業政策上も重要視され、産学官によって人材や研究基盤が維持されている。基盤があるため知見が継続的に蓄積され、個別の問題が生じた場合も迅速に対応でき、国際的なルール策定や規制・制度等の議論を優位に進めることができると言われている。他方、日本は一般的に環境リスク評価等に係る研究基盤は欧米と比して必ずしも強固ではない。結果として化学物質管理に関する国際社会の変化に迅速に対応するための体制が充分にとれないとの指摘がしばしばある。日本は新素材開発などマテリアル分野の研究開発

1 内閣府「第6期科学技術・イノベーション基本計画本文」

2 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 (CRDS) 俯瞰ワークショップ報告書「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2020-WR-08.html> (2023年1月アクセス)

に強みを持つため、環境リスク評価や規制等に係る研究基盤の強化は強みをさらに伸ばすという観点からも重要な課題の一つである。

化学物質規制に関する最近のトピック例としてはPFAS（ペルフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物）問題が挙げられる。PFASは4千種類以上の人工的に合成された有機フッ素化合物群の総称で、難燃性、耐熱性、撥水・撥油性等の特長から泡消火剤や消防防火服、フライパンコーティング剤（テフロン）、めっき、界面活性剤など幅広い用途で使用されている。PFASの1つであるPFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）に関しては、1949年に米国3M社が開発して以来、世界各地に広まった。しかし2000年に同社の自主的調査で野生生物から高濃度で検出されたことが発表され、2002年に同社は製造を中止している。その後の動物実験でがん等の原因になることが明らかにされ、人体への明確な悪影響は未確認だが、未知の懸念もあることから規制の対象となっている。一方、最近の動きは、欧米においてより広範囲にPFASとその塩及び関連物質の規制を強化しようとするものであり、戸惑いとともにその動向が注目されている。

③ トランスディシプリナリー研究（学際共創研究）

気候変動をはじめとする地球規模課題は、科学によって問うことはできるが科学だけでは解決できないような、科学技術と社会の境界にある問題領域、いわゆるトランス・サイエンスと呼ばれる領域である。科学技術の発展およびその実装が進み、残された問題が複雑化するにつれ、トランス・サイエンス領域の問題が主流化した。国際社会の中では、喫緊の重要事項として頻繁に取り上げられるようになるにつれて、分野の枠や国境を越え、科学と政治・行政との間をつなぐ仕組みの必要性が強く認識されるようになった。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）はその代表的な例である。また国レベルでは、先進国を中心に、ミッション志向型科学技術イノベーション政策が採用されるようになってきている。多様な施策・事業の総合的パッケージ（ポートフォリオ）を設計し調整することにより、研究開発の成果の活用イノベーションを牽引する政策アプローチである。研究アプローチとしては、一般的にトランス・サイエンスの問題領域における研究では社会システムの変革までを含む広範な取組みが必要となり、そうした研究はトランスディシプリナリー研究（transdisciplinary research：TDR）と捉えられている。TDRの特徴は、学際性ならびにアカデミア以外の関係者との共創性（＝研究の共同設計（co-design）と知識の共生産（co-production））の両方にある³。

TDRは文理の枠を超えた学際的（interdisciplinary）な研究に留まらず、問題の発見・設定から解決までの一連のプロセスにおいて多様なステークホルダーとの協働を行う超学際的（transdisciplinary）な研究を目指す。気候変動問題以外にも、例えば環境分野では地域における様々な資源管理やその社会-生態システムの多様な価値評価を対象とする研究が実施されている。このような研究の推進には自然科学系研究者と人文・社会科学系研究者との協働が必要である。また、研究対象となる地域の住民や行政等、様々なステークホルダーとの協働も必要になる。このような研究に対し、従来の方法論だけではない新しい価値観をもって臨み、複合的な価値を組み込んだ研究プロセスが求められている。またそうした研究を促進するために、新たな挑戦を阻害しない研究評価基準や複合的なアウトプットを前提とした評価方法の検討も必要とされている。さらに、こうした研究プロジェクトで生まれたダイナミズムを次に繋げたり、人的つながりを促進したりする仕組みの構築も重要となる。

3 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（CRDS）「日本語仮訳：トランスディシプリナリー研究（学際共創研究）の活用による社会的課題解決の取組み経済協力開発機構（OECD）科学技術イノベーションポリシーペーパー（88号）」, <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2020/XR/CRDS-FY2020-XR-01.pdf>（2023年1月アクセス）

④ カーボンニュートラル実現に向けた社会変革とステークホルダーとの連携

カーボンニュートラル社会の実現には再生可能エネルギーの導入拡大や水素・アンモニアの社会インフラ構築など様々な場面において多様なステークホルダーとの連携・協働が不可欠である。例えば、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた洋上風力発電の導入には技術開発面の課題だけではなく、コスト、環境影響評価、社会受容性などの課題がある。洋上風力発電には企業、漁業従事者、行政、地域住民といった様々なステークホルダーが関与している。環境影響評価の計画段階でステークホルダーとのコミュニケーションをオープンに行うことで、意向を汲み取った調査が実施できる。ステークホルダーと早期から連携し、合意形成プロセスを着実に進めることが重要である。

日本における原子力利用の議論は常に難しさを伴ってきた。福島での原子力発電所事故にみられるようにひとたび重大な事故が発生すると、地域社会やステークホルダーへの影響は非常に大きい。他方で、GHGs排出が極めて少ないエネルギー源としてのその重要性が再認識される動きもある。原子力を巡って考えなければならない事柄は多いが、その課題を整理し、それぞれの解決策を導くことは簡単ではない。原子力を巡る課題^{4,5}は、科学的知見やそれを基にした技術の習得・継承・発展のあり方と、社会あるいは人間と人間の隔たりと総体的に大きく二層の構造になっている。原子力を巡る課題を考える際にはこの二層構造を意識した上で、ステークホルダーとの包括的な対話や議論を行う必要がある。

カーボンニュートラル実現のためにはGHG排出の大幅削減だけでなく大気中のCO₂を積極的に回収、固定する技術も重要な役割を果たし得ると考えられている。気候変動の影響を軽減する目的で意図的に気候システムの改変を目指す技術の総称は気候工学と呼ばれる。その内訳は入射太陽光を反射して地球システムに入るエネルギーを減少させる太陽放射管理 (SRM)⁶と、CO₂を大気から取り除く二酸化炭素除去 (CDR)⁷の2つの技術群に大別される。最近ではCDRが比較的活発に検討されているが、いずれの技術も、技術的な検討が行われる一方で、それぞれが包含するリスクについても議論がなされている。例えば、SRMによって気温上昇を世界平均で打ち消しても地域別には打ち消されず地域的な降水の変化が懸念される、あるいはCDRによって生物多様性への影響が懸念されるなど、様々な点が指摘されている⁸。特にSRMについては、「研究」は実施すべきだが、「実施」にあたっては慎重であるべきという認識が共通認識として維持されており、国際的な不使用協定 (Non-Use Agreement)⁹などの動きもある。他方、CDRのひとつである空気からのCO₂直接回収 (Direct Air Capture : DAC) は、リスクが低いが、実施に当たってはコストの問題が大きい。DACが大規模に実施されることを安易に見込んで緩和策への関心が下がる等、モラルハザードの可能性も指摘されている。気候変動における影響が甚大化し、その対策が急務となっているが、社会的影響が極めて高い気候工学の研究においては、将来起こり得る正負の影響やリスクなどを予め検討し、そのガバナンスの在り方を議論する等、予見的なアプローチで取り組むことが必要とされている。

4 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 (CRDS) 俯瞰ワークショップ報告書「原子力をとりまく現状と今後に向けて」, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2019-WR-03.html> (2023年1月アクセス)

5 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 (CRDS) 俯瞰ワークショップ報告書「原子力をとりまく現状と今後に向けて (第二回)」, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2020-WR-02.html> (2023年1月アクセス)

6 杉山昌広, 増田耕一「気候工学 (太陽放射管理) 研究の最新動向」『エネルギー・資源』38巻2号 (2017): 1-5

7 加藤悦史「パリ協定とネガティブエミッション技術」『エネルギー・資源』38巻1号 (2017): 16-18

8 国立環境研究所「ICA-RUS REPORT 2013 リスク管理の視点による気候変動問題の再定義」, https://www.nies.go.jp/ica-rus/report/ica-rus_report_2013.pdf (2023年1月アクセス)

9 Solar Geoengineering, <https://www.solargeoeng.org/non-use-agreement/open-letter/> (2023年1月アクセス)

1.2.4 主要国の科学技術・研究開発政策の動向

(1) 日本

■気候変動とエネルギー関連¹

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2019.6	内閣官房、外務省、経済産業省 (METI)、環境省 (MOE)	パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略	2050	2050年までの80%減に大胆に取り組むことを明記。横断的施策として「イノベーションの推進」、「グリーンファイナンスの推進」、「ビジネス主導の国際展開・国際協力」の3つの柱を提示。
2020.12	METI	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略	2050	2050年カーボンニュートラルへの挑戦を経済と環境の好循環につなげるための産業政策として、METIが中心となって関係府省との連携の下で策定。14の重要分野を設定し、それぞれに目標およびその達成に向けた実行計画を提示。
2021.3	MOE	地球温暖化対策推進法 (改正)	2030、2050	2050年カーボンニュートラルを基本理念として法に位置づけるとともに、その実現に向けた取組を促進するための仕組み等の措置を記載。
2021.10	MOE	気候変動適応計画	2050	気候変動適応法 (2018年) に基づく計画。2020年発出の気候変動影響評価等の結果を踏まえて2018年策定の旧計画を更新 (2023年に一部変更)。
2021.10	METI	エネルギー基本計画 (第6次)	2030、2050	46%削減 (2013年比) を目指す新たな2030年度目標や2050年カーボンニュートラルの実現に向けたエネルギー政策の基本方針を提示。
2021.10	MOE	地球温暖化対策計画	2030、2050	2016年に閣議決定した前回計画の改訂版。46%削減 (2013年比) を目指す新たな2030年度目標の裏付けとなる対策・施策を記載。
2021.10	MOE	パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略	2050	2019年策定時から長期目標が更新されたことを受けて、新たに2050年カーボンニュートラルの実現に向けた部門別の対策や横断的施策の方向性をとりまとめ。
2022.5	METI	クリーンエネルギー戦略中間整理	2030、2050	2022年2月に発生したロシアによるウクライナ侵攻や電力需給ひっ迫の事態を受けたエネルギー安定供給確保のための政策を整理。その上で脱炭素を加速させるための政策として産業のグリーントランスフォーメーション(GX)、産業のエネルギー需給構造転換、地域・くらしの脱炭素化に向けた施策や共通基盤整備の方針をとりまとめ。

¹ 一覧表について: 主要国における環境・エネルギー分野と関連が深い主な政策等を一覧表としてJST-CRDSが取りまとめた。「年月」は可能な限り「月」までを記載したが不明なものについては未記載となっている。また「名称」は一般的な和訳名称があると判断されたものについては基本的に和訳名称を記載した。「目標年」については主要な目標年が掲げられている場合に記載した。日本、米国、EU (欧州連合)、ドイツ、英国、フランス、中国、韓国についても同様である。

2023.2	内閣官房	GX実現に向けた基本方針～今後10年を見据えたロードマップ～	2030	脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の同時実現に向けて今後10年を見据えた取組方針。GX経済移行債等を活用した先行投資支援、成長志向型カーボンプライシングによるGX投資インセンティブ等の実現・実行を掲げる。
2023.5	内閣官房、METI	脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律 (GX推進法)	2050	GX推進戦略の策定・実行、GX経済移行債の発行、成長志向型カーボンプライシングの導入、GX推進機構の設立、進捗評価および必要な見直し等を定める。
2023.6	METI	水素基本戦略 (改定)	2030	水素社会実現に向けた2050年を視野に入れた2030年までの行動計画。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2012.9	MOE	生物多様性国家戦略2012-2020	2020	生物多様性の保全および持続可能な利用に関する基本方針。2010年のCOP10で採択された愛知目標の達成に向けたロードマップ等を提示。
2012.4	MOE	第4次環境基本計画		環境政策に関する基本方針。グリーンイノベーションの推進等に加え、震災復興と放射性物質による環境汚染対策を柱として掲げる。
2013.5	MOE	第3次循環型社会形成推進基本計画	2020	環境基本計画の下で策定される3Rや廃棄物処理に関する基本方針。廃棄物の減量化等の「量」の側面に加えて廃棄物の有効活用等の「質」の側面も重視。リデュース・リユースの取組強化、有用金属の回収等を新たに柱として掲げる。
2018.4	MOE	第5次環境基本計画		環境政策に関する基本方針。従来とは構造を変え、分野横断的な6つの重点戦略 (経済、国土、地域、暮らし、技術、国際) を設定。
2018.6	MOE	第4次循環型社会形成推進基本計画	2025	4つの2025年目標 (資源生産性49万円/トン、入口側の循環利用率 (天然資源等投入のうち循環利用量) 18%、出口側の循環利用率 (廃棄物等のうち循環利用量) 47%、最終処分量1,300万トン) を設定。
2019.5	MOE	プラスチック資源循環戦略	2025、2030、2035	第4次循環型社会形成推進基本計画に基づき策定。海洋プラスチック問題への対応の基本方針も含まれる。2030年までにワンプウェイのプラスチックを累積で25%排出抑制、2035年までにすべての使用済プラスチックを熱回収も含め100%有効利用等の目標を提示。
2020.6	水循環政策本部	水循環基本計画		2020年に成立した水循環基本計画の改定。5つの基本的な方針と10の政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策を提示。

2021.6	MOE	プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律		環境配慮設計、ワンウェイプラスチックの使用の合理化、プラスチック廃棄物の分別収集・自主回収・再資源化等を促進するための基本方針を策定する旨を記載。
2023.3	MOE	生物多様性国家戦略2023-2030	2030	「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」(2022年)を踏まえて既存の戦略を見直し、ネイチャーポジティブ実現を目標に掲げ、5つの基本戦略(生態系の健全性回復、自然を活用した社会課題解決、ネイチャーポジティブ経済の実現、生物多様性の価値認識・行動、基盤整備・国際連携)からなる。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2016.4	METI	エネルギー革新戦略	2030	2030年度のエネルギーミックス実現に向けて関連制度を一体的に整備する戦略。徹底した省エネ、再エネの拡大、新たなエネルギーシステムの構築等が柱。
2016.4	総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)	エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050)	2050	2050年を見据えて削減ポテンシャル・インパクトが大きいと期待される革新技術を特定し、研究開発の推進や体制等についてまとめた戦略。
2019.5	MOE	環境研究・環境技術開発の推進戦略	2030、2050	中長期(2030年頃)および長期(2050年頃)に目指すべき社会像を設定した上で、今後5年間で重点的に取り組むべき研究・技術開発の課題を、統合、気候変動、資源循環、自然共生、安全確保の5つの領域で設定。
2020.1	統合イノベーション戦略推進会議	革新的環境イノベーション戦略	2050	総理指示及び「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」・「統合イノベーション戦略2019」に基づき策定。2050年までの80%減実現に向けた戦略。16の技術課題についてのコスト目標等を明記した「イノベーション・アクションプラン」ほかからなる。
2021.3	CSTI	科学技術・イノベーション基本計画(第6期)(2021~2025年度)		科学技術イノベーション政策の基本方針を提示。第5期で掲げた「Society 5.0」を再提示し、その実現に向けた取組を進める等。
2023.4	統合イノベーション戦略推進会議	フュージョンエネルギー・イノベーション戦略		世界の次世代エネルギーとして“フュージョンエネルギーの産業化”をビジョンに掲げ、産学官が連携して取り組むアクションを設定している。

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス(組織体制)

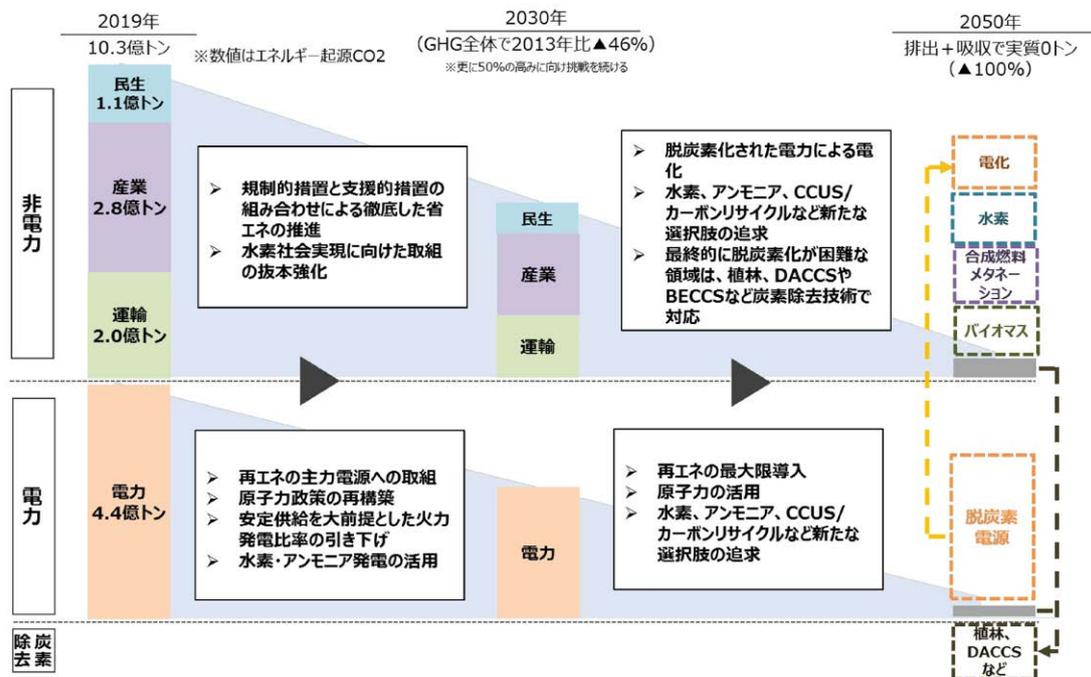
エネルギーに関する政策の主要所管省は経済産業省である。環境に関しては主として環境省だが、対象に応じて複数の省が関連する。例えば水に関しては環境省に加えて厚生労働省、経済産業省、国土交通省、農

林水産省等が関わる。科学技術・イノベーション (STI) 政策に関しては、その司令塔として内閣府に総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) が設置されている。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

気候変動対策が環境・エネルギー分野で目下最も大きな課題となっている。特に気候変動緩和はエネルギー政策においてエネルギー安全保障とならぶ大きな政策的柱となっておりその検討も活発である。2020年10月、第203回国会において菅首相 (当時) が2050年までにカーボンニュートラル (温室効果ガス排出量の正味ゼロ) の達成を目指すとの政策目標を示した。2030年に向けた目標も、2021年に米国が主催した気候変動に関する首脳会議において、46%削減という新たな方針が示された。

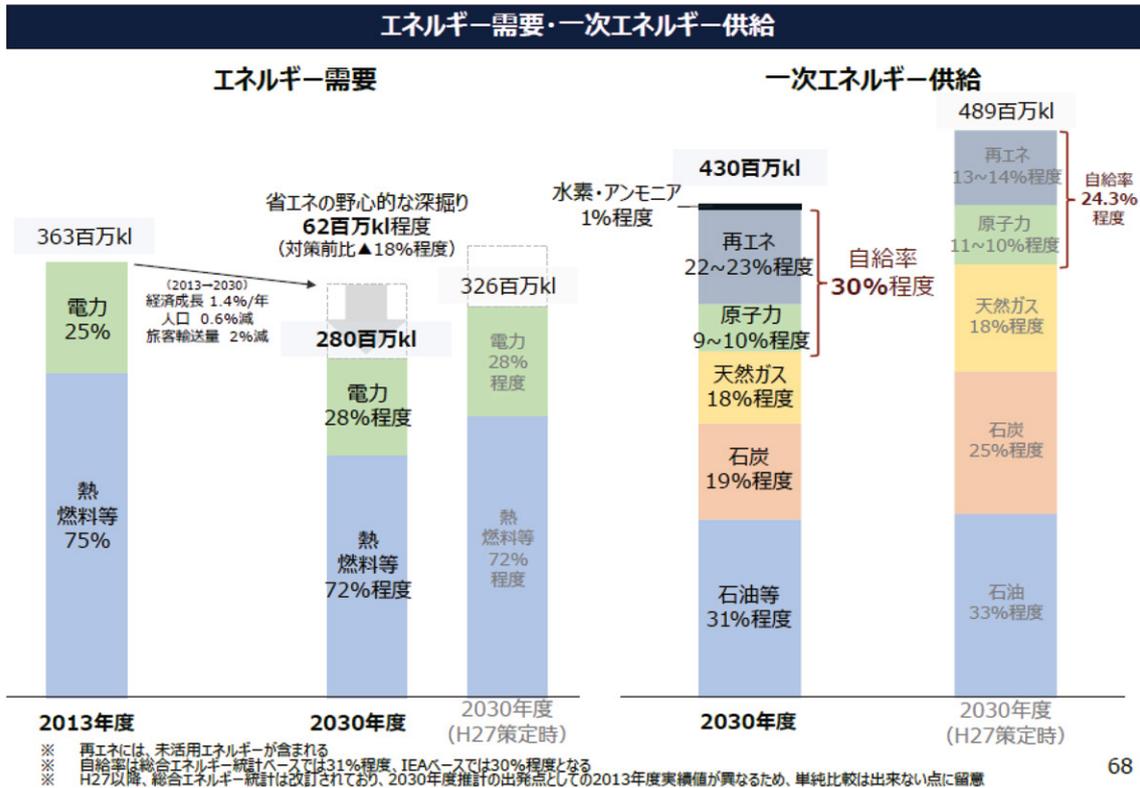
これら中長期目標の更新を受けて、政府は立て続けに戦略や計画の策定を行っている。まずカーボンニュートラル宣言を受けて取りまとめられたのは「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2021年6月)である。同戦略は産業政策の位置づけにあり、カーボンニュートラルの実現に向けた民間投資の拡大を後押しするため、予算、税制、金融、規制改革・標準化、国際連携に関する取組みを進める方針が示された。特に予算に関しては国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) に2兆円の「グリーンイノベーション基金」を造成するとした。大学における取組の推進にも触れられている。具体的には社会のニーズに機動的に対応した人材育成や、地域における「知の拠点」としての機能強化などが必要としている。また同戦略では成長戦略として取り組む観点から「今後の産業としての成長が期待される重要分野」を14分野設定し、産業ごとに個別の目標およびその達成に向けた実行計画を作成した。そのほか同戦略の中では図表1.2.4 (1) -1のようなカーボンニュートラルの実現イメージが示され、関連する政策議論の場にて広く参照されている。



図表 1.2.4 (1)-1 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた方向性

(「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」令和3年6月18日より抜粋)

2021年10月には第6次の「エネルギー基本計画」が策定された。エネルギー政策の基本的な方向性を示す「エネルギー基本計画」では安全性 (Safety)、安定供給 (Energy Security)、経済効率性 (Economic Efficiency)、環境適合 (Environment) からなるS+3Eの視点を中核にしている。2050年に向けては電力部門の脱炭素化加速、アンモニア発電やカーボンリサイクルによる炭素貯蔵・再利用の推進、非電力部門の電化促進などが掲げられた。また2030年に向けたエネルギー需給見通しも示された (図表1.2.4 (1) -2)。エネルギーの安定供給に支障が出ないよう十分な配慮が必要としながらも野心的な取組みを仮定した2030年度ミックスが示された。



図表 1.2.4 (1) -2 2030 年度におけるエネルギー需給の見通し
(資源エネルギー庁ホームページより抜粋²⁾)

岸田政権が発足すると新たに「クリーンエネルギー戦略」の検討が開始した。2030年を見据えたエネルギー政策であるエネルギー基本計画と2050年を見据えた産業政策であるグリーン成長戦略に対し、クリーンエネルギー戦略はそれら2つの政策の実現に必要な経済・社会や産業構造の転換を促すための取組みが議論された。2022年5月に「中間整理」が公表され、今後10年間で約150兆円にもものぼる大規模な民間投資を促すための政府支援方針が示された。更に2022年7月にはGX実行会議の設置とGX実行推進担当大臣の新設が発表された。GX実行会議はエネルギーの安定供給の再構築、ならびにそれを前提とした脱炭素に向けた経済・社会、産業構造変革に係る議論を行う会議として内閣官房に設置された。後者の論点に関しては、同年6月にとりまとめられた「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」において、(1) GX 経済移行債の創設、(2) 規制・支援一体型投資促進策、(3) GXリーグの段階的発展・活用、(4) 新たな金融

2 https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/ (2023年2月20日アクセス)

手法の活用、(5) アジア・ゼロエミッション共同体構想などの国際展開戦略をGX実行会議で議論・検討するとされている。GX実行会議では約半年にわたる議論を経て「GX実現に向けた基本方針～今後10年を見据えたロードマップ～」が策定された(2023年2月閣議決定)。

気候変動対策のもう1つの柱である気候変動適応に関しては、2018年6月に公布された「気候変動適応法」により法的な位置づけが明確化されている。緩和策(温室効果ガスの排出削減対策)の推進は1998年に制定された地球温暖化対策の推進に関する法律に基づき行われていたが、適応策はそれまで法的に位置づけられていなかった。同法の制定により、緩和策と適応策を車の両輪にして気候変動対策を推進する方針が改めて正式に示された。気候変動適応法に基づき気候変動適応計画も取りまとめられており、科学的知見に基づく気候変動適応の推進、研究機関の英知を集約するための情報基盤整備、地域の実情に応じた気候変動適応の推進などについて、関係府省庁が連携して取り組む旨の方針が示されている。

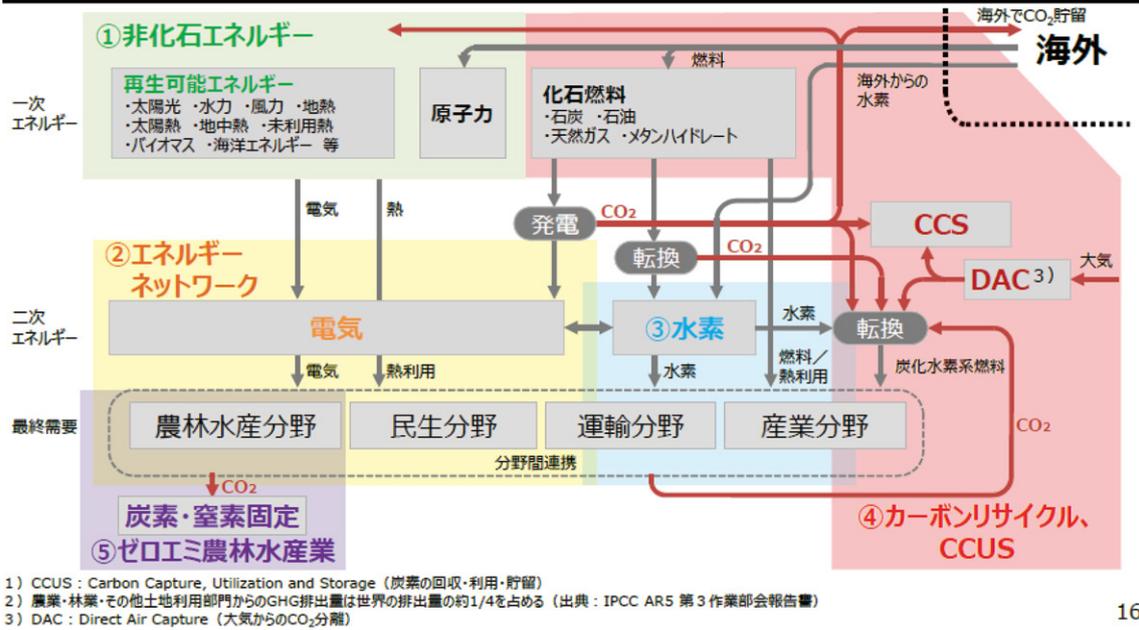
気候変動を含む環境全般の基本政策は「環境基本計画」にて示されている。2018年4月に閣議決定された第5次の基本計画では、各種の課題は相互に関連し複雑化しているとの認識から、従来の環境政策の枠組み(気候変動対策、循環型社会の形成、生物多様性の確保・自然共生、環境リスクの管理等)に加えて分野横断的な6つの「重点戦略」(経済、国土、地域、暮らし、技術、国際)が設定された。従来の環境政策の枠組みはこの重点戦略を支えるものと位置付けられており、「地球温暖化対策計画」、「循環型社会形成推進基本計画」、「生物多様性国家戦略2012-2020」等が関連付けられている。このうち生物多様性国家戦略に関しては次期戦略の策定に向けた検討が2020年1月に開始したが、国際的な議論であるポスト2020生物多様性枠組の検討がコロナ禍で予定通りに進まず、国内議論もこれに足並みをそろえる形となっていた。その後、2022年12月に「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」が生物多様性条約COP15で採択されたことを受け、2023年3月に「生物多様性国家戦略2023-2030」が策定された。

これら以外にも内閣官房に組織体が設置され策定された計画や戦略もある。「水循環基本計画」は水循環政策本部が流域の総合的かつ一体的な管理等のための基本方針を示した計画である。「水素基本戦略」は再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議における総理指示を受け関係府省庁がとりまとめた戦略に基づき策定された(2023年6月に改定)。2019年6月に策定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」は内閣官房に設置された「パリ協定長期成長戦略懇談会」からの提言を踏まえて策定された。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

温室効果ガス排出の大幅削減の実現に向けたSTI政策としては、2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」がある。同戦略では、従来の延長線上の取り組みだけではなく、非連続的なイノベーションの創出が必要との認識の下、「イノベーション・アクションプラン」ほかを示された。「イノベーション・アクションプラン」では、5つの重点分野に属する39の技術テーマが特定され、各技術と関連するコスト目標等が提示された(図表1.2.4(1)-3)。なお本戦略は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の中でも主要な柱の一つとして位置付けられており、菅前総理によるカーボンニュートラル宣言とも整合的な内容であるためSTI政策として引き続き参照されている。関連する研究開発の取り組み状況や課題の認識などについては、「グリーンイノベーション戦略推進会議」およびその下に設置されたワーキンググループで確認、議論が行われていた。

技術領域で整理すると、①電力供給に加え、水素・カーボンサイクルを通じ全ての分野で貢献する非化石エネルギー、②再生可能エネルギー導入に不可欠な蓄電池を含むエネルギーネットワーク、③運輸、産業、発電など様々な分野で活用可能な水素、④CO₂の大幅削減に不可欠なカーボンサイクル、CCUS¹⁾、⑤世界GHG排出量の1/4²⁾を占める農林水産分野の5つが重点領域となる。



16

図表 1.2.4 (1) -3 イノベーションアクション・プランの重点領域

(革新的環境イノベーション戦略 (令和2年1月21日統合イノベーション戦略推進会議決定) より抜粋)

環境・エネルギー分野を含むSTI政策全般の基本的な方向性は「科学技術・イノベーション基本計画」で示される。2021年3月に閣議決定された「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(2021~2025年度)は、第5期の同計画で提唱されたコンセプトであるSociety5.0を再提示し、その実現に向けた取組を進める方針を示した。その柱の一つでは「国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革」を目指すとし、2050年カーボンニュートラルの実現、循環経済への移行、自然災害による経済社会や国民の日常生活のリスク低減に向けた取組などを総合的に推進する旨が記載された。カーボンニュートラル実現のための取組みとしては前述の革新的環境イノベーション戦略の着実な推進が主要な柱の一つとされている。

環境政策に紐づくSTI政策としては2019年5月に策定された「環境研究・環境技術開発の推進戦略」もある。同戦略は、中長期(2030年、2050年)のあるべき持続可能な社会の姿をにらみながら、その先5年間で取り組むべき環境研究・技術開発の重点課題やその効果的な推進方策を提示するものとして策定されたものである。領域構成は、「気候変動」、「資源循環」、「自然共生」、「安全確保」の個別領域および「統合領域」の5つからなる。

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて令和2年度に2兆円規模の基金として創設されたグリーンイノベーション基金では、2023年9月時点で20件の研究開発・実証プロジェクトに対して10年間で最大約1兆8,671億円を拠出することが決定済みである。追加財源も予定されており新たなプロジェクトの組成や既存プロジェクトの拡充等も検討されている。

一方、「クリーンエネルギー戦略 中間報告」において、企業等における研究開発・実証と連動しつつ、その基盤となる大学等の研究開発支援を強化する方針が示された。これを踏まえて文部科学省では令和4年度補正予算で新たに大学等における基盤研究を推進するための基金を整備し、革新的GX技術創出事業(GteX)を立ち上げた。予算としては当面5年分が計上されているが事業としては最長で10年程度の研究開発支援を

想定している。同事業はグリーンイノベーション基金事業とも連携し、両省でシームレスな研究開発支援を目指すとしている。また文科省所管のJSTの戦略的創造研究推進事業の一環としてALCA-NEXT（先端的炭素化技術開発）も令和5年度から進められている。2010～2022年度に推進された先端的低炭素化技術開発（ALCA）事業の知見も踏まえて大学等における基礎研究の推進による技術シーズ育成を進めることとしている。

その他にも環境・エネルギー分野の研究開発プログラム・プロジェクトは多岐にわたるものが実施されている。図表1.2.4(1)-4では関連府省における主要なプログラム・プロジェクトを抽出し整理した。

図表1.2.4(1)-4 主要な研究開発プログラム/プロジェクト

機関	プログラム/プロジェクト
内閣府・CSTI	<ul style="list-style-type: none"> ●ムーンショット型研究開発制度（2020～） ●PRISM官民研究開発投資拡大プログラム（2018～） ●SIP（第3期）（2023～）
文部科学省	<ul style="list-style-type: none"> ●革新的GX技術創出事業（GteX）（2023～） ●気候変動予測先端研究プログラム（気候変動適応戦略イニシアチブ内）（2022～） ●次世代X-nics半導体創生拠点形成事業（2022～） ●革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業（2021～） ●大学の力を結集した、地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発（2021～） ●北極域研究推進プロジェクト（ArCS II）（2020～） ●スーパーコンピュータ「富岳」成果創出加速プログラム（2020～2024） ●英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（2015～） ●国際原子力人材育成イニシアティブ事業（2010～） ●海洋資源利用促進技術開発プログラム（2008～） ●原子力システム研究開発事業（2005～） ●ITER（国際熱核融合実験炉）計画等の実施（-）
経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> ●石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサーの研究開発（2022～） ●社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援（2019～） ●宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発（2014～） ●放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究（2014～）
国土交通省	<ul style="list-style-type: none"> ●下水道応用研究（2017～） ●下水道技術研究開発（GAIAプロジェクト）（2014～） ●交通運輸技術開発推進制度（2013～） ●下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）（2011～） ●河川砂防技術研究開発（2009～）
環境省	<ul style="list-style-type: none"> ●地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業（CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業）（2022～） ●潮流発電による地域の脱炭素化モデル構築事業（2022～） ●ナッジ×デジタルによる脱炭素型ライフスタイル転換促進事業（2022～） ●地域資源循環を通じた脱炭素化に向けた革新的触媒技術の開発・実証事業（2022～） ●革新的な省CO₂実現のための部材（GaN）や素材（CNF）の社会実装・普及展開加速化事業（2020～） ●脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業（2019～） ●気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）（2016～） ●脱炭素社会構築に向けた再エネ等由来水素活用推進事業（2015～） ●CCUS早期社会実装のための環境調和の確保及び脱炭素・循環型社会モデル構築事業（2014～） ●GOSATシリーズによる排出量検証に向けた技術高度化事業等（2014～） ●いきものログ（2013～）、子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）（2010～）、モニタリングサイト1000（2003～）、自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）（1973～）

<p>農林水産省</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業 (2022～) ●農林水産分野の先端技術展開事業 (2021～) ●安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究推進委託事業 (2020～) ●スマート農業技術の開発・実証プロジェクト (2018～2023) ●農林水産研究の推進 (委託プロジェクト研究/戦略的プロジェクト研究推進事業)(2009～)
<p>NEDO (経済産業省)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●グリーンイノベーション基金事業 (2021～) ●NEDO先導研究プログラム (エネルギー・環境新技術先導研究プログラム/新産業創出新技術先導研究プログラム/未踏チャレンジ2050) (2014～) ●新エネルギー等のシーズ発掘・事業化に向けた技術研究開発事業 (2007～) ●太陽光発電主力電源化推進技術開発 (2020～2024)、太陽光発電の導入可能量拡大等に向けた技術開発事業 (2020～2024) ●風力発電等導入支援事業 (2013～2027)、風力発電等技術研究開発 (2008～2024) ●木質バイオマス燃料等の安定的・効率的な供給・利用システム構築支援事業 (2021～2028)、バイオジェット燃料生産技術開発事業 (2017～2024) ●地熱発電導入拡大研究開発事業 (2021～2025)、再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発 (2019～2023) ●燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業 (2020～2024)、水素社会構築技術開発事業 (2014～2025)、競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業 (2023～2027)、燃料アンモニア利用・生産技術開発 (2021～2025) ●脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進事業 (2021～2035)、戦略的省エネルギー技術革新プログラム (2012～2024)、次世代低GWP冷媒の実用化に向けた高効率冷凍空調技術の開発 (2023～2027) ●多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 (2020～2025)、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発 (2022～2026)、再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発 (2019～2023)、電力系統の混雑緩和のための分散型エネルギーリソース制御技術開発 (2022～2024)、省エネエレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業 (2021～2025) ●電気自動車用革新型蓄電池技術開発 (2021～2025)、次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発 (2023～2027) ●CCUS研究開発・実証関連事業 (2018～2026)、カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 (2016～2026)、カーボンリサイクル・火力発電の脱炭素化技術等国際協力事業 (2022～2026) ●アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業 (2021～2025)、革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発 (2020～2024)、高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発 (2023～2027)、海洋生分解性プラスチックの社会実装に向けた技術開発事業 (2020～2024) ●炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発 (2020～2024)、カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発 (2020～2026) ●次世代複合材創製技術開発 (2020～2024)、航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業 (2021～2025) ●積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業 (2019～2023)
<p>JST (文部科学省)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●戦略的創造研究推進事業:「CREST」(1995～)「さきがけ」(1991～)「ALCA-NEXT」(先端の脱炭素化技術開発)(2023～) ●先端国際共同研究推進事業 (2023～) ●共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT)(2020～) ●未来社会創造事業 (2017～) ●戦略的国際共同研究プログラム (SICORP)(2009～) ●多国間研究プログラム:「aXis」「e-ASIA」「EIG CONCERT-Japan」「BelmontForum」(2011～) ●地球規模課題対応国際科学技術協カプログラム (SATREPS)(2008～) ●社会技術研究開発 (RISTEX)(2005～) ●経済安全保障重要技術育成プログラム (K Program)
<p>日本学術振興会 (文部科学省)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●科学研究費助成事業 (1918～)
<p>環境再生保全機構 (環境省)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●環境研究総合推進費 (1990～):「戦略的研究開発領域 (I)」「戦略的研究開発領域 (II)」「統合領域」「気候変動領域」「資源循環領域」「自然共生領域」「安全確保領域」

2024年2月時点。各府省・機関のホームページ等を参照し作成

(2) 米国

■気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2017.3	大統領府	米国第一エネルギー計画 (An America First Energy Plan)		トランプ政権 (2017~2021年) のエネルギー政策基本方針。エネルギーコストを下げ、国内資源を最大限活用することで輸入原油への依存を軽減すべく、非在来型の化石資源の開発を促進することや、気候変動行動計画や水に関する規則等の廃止等に言及。
2020.4	DOE	米国原子力リーダーシップを取り戻すための戦略 (The Strategy to Restore American Nuclear Energy Leadership)		原子力エネルギーに関する米国の国家安全保障を確保するための戦略
2020.11	DOE	水素プログラム計画 (Hydrogen Program Plan)		DOEの水素研究・開発・実証の戦略的枠組み。DOE各局が参加。プログラムは、水素製造、配送、貯蔵、変換、利用など
2021.11	大統領府	インフラ投資・雇用法 (Infrastructure Investment and Jobs Act)		水道、道路・橋、港湾、公共交通機関、通信網、電力網などの更新や近代化に5年間で総額1兆ドル超 (新規支出は5,500億ドル) の投資を行う法案。極端気象に耐えうる強靱なインフラ構築という気候変動対策としての投資も含まれる。
2022.8	大統領府	インフレ抑制法 (Inflation Reduction Act)		歳出3,690億ドルを気候変動対策やクリーンエネルギー推進等に投入。政策手段として税控除によるインセンティブを付与。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2018.2	EPA	2018-2022年度EPA戦略計画	2022	米国第一エネルギー計画の基本方針を受け、同庁の中核的なミッション (環境政策) の実施・向上に注力する原点回帰の方針を提示。
2019.9	EPA	2018-2022年度EPA戦略計画 (更新版)	2022	EPAの「2018-2022年度EPA戦略計画」の更新版。EPAの環境政策に即して戦略的ゴールの文言を修正、戦略目標や長期的な業績目標の変更はない
2022.3	EPA	2022-2026年度EPA戦略計画	2026	EPAの新たな5か年計画。7つの戦略的目標が設定され、気候危機への対応に関する目標ならびに気候正義と公民権に関する目標が初めて設定された。
2022.11	大統領府	自然を活用した解決策のためのロードマップ		自然を活用した解決策の利用拡大を進めるために注力すべき5つの戦略的分野を提示。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2020.10	大統領府	重要技術・エマージング技術国家戦略		米国が重要技術およびエマージング（新興）技術において世界のリーダーを確保するための戦略。柱は、1）国家安全保障のイノベーション基盤の促進、2）技術的優位性の保護。2023年5月に更新。
2022.3	EPA	戦略的研究行動計画（StRAP）2023-2026	2026	EPA戦略計画で掲げた7つの戦略的目標の達成に向けて野心的な研究ポートフォリオを組むための研究戦略。EPAが推進する6つの研究プログラムそれぞれにStRAPを作成。
2022.10	大統領府	USGCRP Decadal Strategic Plan (2022-2031)	2031	米国地球変動研究プログラムの第四期10年計画。複雑な地球システムの理解・評価・予測・対応に係る研究は引き続き推進するが、加えてこれらの知見を活用した統合的な研究を促進する方針を提示。

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス（組織体制）

科学技術政策の基本的な方向性を決定するのは科学技術政策局（OSTP）を中心とする大統領府であるが、分野ごとの政策立案と研究開発はそれぞれの分野を所管する各省庁とその傘下の公的研究所が担っている。このためエネルギー政策については、大統領令に沿ってエネルギー省（DOE）が中心となり政策の推進を実施している。環境分野の研究開発にはエネルギー省（DOE）、環境保護庁（EPA）を中心に、農務省（USDA）、米国海洋大気庁（NOAA）、米国航空宇宙局（NASA）、地質調査所など多くの省庁が関与している。このため研究開発戦略についても機関毎に作成されている。なおEPAは、健康保護や自然保護の観点での大気・水質・土壌汚染の管理について担当している。その他、全米科学財団（NSF）では環境分野、エネルギー分野のいずれかと関連する幾つかの研究プログラムが実施されている。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

バイデン政権の動向概観

2021年1月に発足したバイデン政権は、①新型コロナ対策、②経済再建、③人種の公平性、④気候変動を優先課題としてあげている。気候変動対策として当初段階で大統領令（議会の承認なしに実施できる大統領の行政命令）により実施したものは、パリ協定への復帰、前政権が行ったカナダと米国メキシコ湾とを經由するパイプライン（キーストーンXL）建設許可の取り消し、エネルギーの自立に大きな役割をしてきたシェールガス・オイルにおける新規の連邦公有地・オフショアでの新規採掘リースの停止、化石燃料業界への補助金・税制優遇制度の見直し、自動車排ガス規制の再強化などの化石燃料消費削減の脱炭素化政策である。

さらにクリーンエネルギーを推進するための予算措置として、2021年11月の「インフラ投資・雇用法案（Infrastructure Investment and Jobs Act）」と2022年8月の「インフレ抑制法案（Inflation Reduction Act: IRA）」の二つを成立させている。前者は主に老朽化したインフラの更新や雇用創出を柱とした経済政策であるが、後者は気候変動対策やエネルギー安全保障に対応した法案となっている。このIRAは包括法案であり、10年間の歳入として法人税引き上げ（最低税率15%）の税制や処方箋薬価の改革などで7,370億ドルを確保する一方で、歳出の大部分である3,690億ドルを気候変動対策やクリーンエネルギー推進等に投入するものである（歳入歳出の差額約3,000億ドルはインフレ抑止として財政赤字を補填）。当初の3.5兆ドルからは大幅縮小ではあるが、2050年ネットゼロエミッションを目指すバイデン政権にとって大きな進展となっている。予算配分（予定）は農務省に約470億ドル（バイオ燃料、農業部門のメタンを含む

GHGs 排出削減、森林再生など)、EPAに約415億ドル(国家気候基金の新設など)、DOEに350億ドルとされている。省庁への配分以外では再エネ電力、45Qと呼ばれるEOR(石油増産回収)を含むCO₂地下貯留(要件緩和等)、電気自動車の製造・購入に加え、原子力発電、持続可能航空機燃料(SAF)、クリーン水素、低炭素排出の輸送燃料などの製造に対しても税控除制度の新設が予定されている。税控除による予算は2,600億ドルに上るとされ、米国は税控除を通じたインセンティブ付与をクリーンエネルギー推進のための政策手段として推し進めていることがわかる。

なおエネルギー安全保障の観点からは、新型コロナ禍からの世界経済回復によるエネルギー需要の増加、ならびに2022年2月のロシアのウクライナ侵攻による国際情勢不安定化は、原油価格上昇をもたらした。このため2022年4月にはシェールガス・オイルにおける新規の連邦公有地での新規採掘リースを再開している。また米国内でのサプライチェーンの強化に向けた取り組みとしてクリーンエネルギー技術の基幹材料となるクリティカルマテリアル(黒鉛負極材料、重要鉱物資源など)の国内サプライチェーンの整備・強化を目指しており、DOEがその戦略(American's Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition)を発表している。

米国の温室効果ガス排出量推移と削減目標

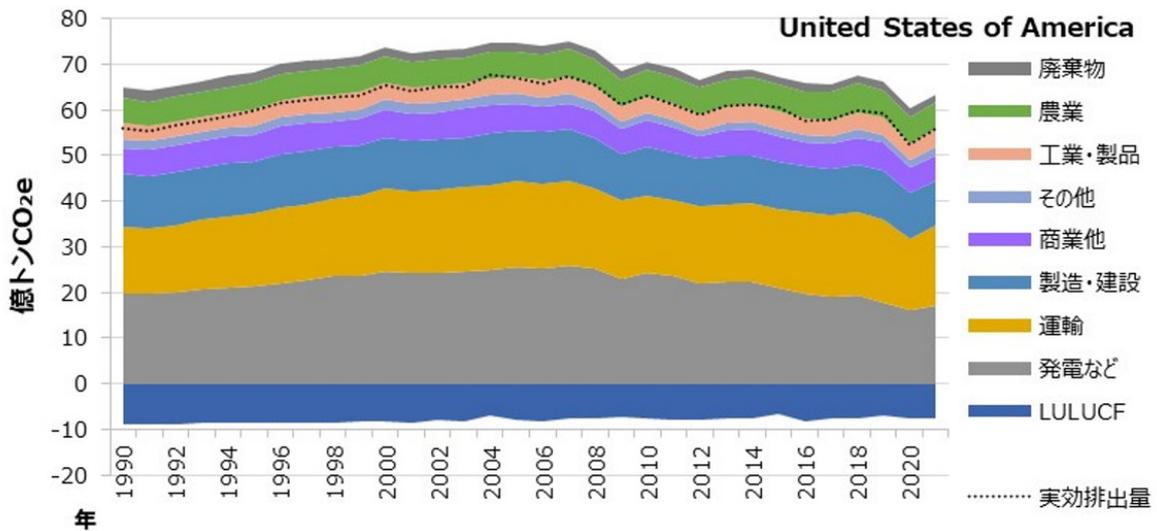
米国政府が2021年11月に国連に提出した長期戦略では2050年までにGHGs排出をネットゼロにする(ただし航空機と国際輸送からの排出及び国際市場メカニズムを含まない)としている。またそのためには2030年までに純排出量の2005年比50~52%削減の達成が重要としている。目標達成のために以下の5つを重要な取り組みとしている。

- ①電力の脱炭素化(22~25%)：再生可能エネルギー15~18%、CCS付き化石燃料6~8%
- ②エネルギー転換(34~44%)：水素5~10%、低炭素燃料16~21%、電化8~15%
- ③エネルギー効率の改善(10~19%)：輸送5~7%、建物2~9%、産業が1~5%
- ④非CO₂排出の削減(9~10%)：メタンによる寄与6~7%、N₂O1~2%、Fガス削減1%
- ⑤CO₂除去の拡大：土地の吸収源増強による寄与1~6%、工業的CO₂除去による寄与6~8%

2023年版National Inventory Reportによると米国でのGHGs総排出量は、2020年にはパンデミックの影響で減少したが、経済の回復により2021は前年に比べ増加し、CO₂換算で63.40億トンCO₂-eqであり、1990年から2.3%減少していた。陸域での吸収量(LULUCF：土地利用、土地利用変化及び林業)は7.54億トンCO₂-eq(総排出量の13%)であり、2021年の実効的なGHGs排出量は55.86億トンCO₂-eqと報告されている。排出部門の発生源は運輸部門が最も大きく、電力、産業、そして農業、商業、建築の順となっており、上位3部門がそれぞれ概ね1/4を占め、他の3部門で残りの1/4を分けている。電力部門はエネルギー源の転換などで低下傾向がみられているが、運輸、産業部門の削減が期待されている。

電力部門は2035年までにクリーンな電力という目標も設定している。1990年には発電量の0.1%であった太陽光、風力は大幅に増加し2021年には12%となっている。目標の達成には、クリーンエネルギー電源を2020年代は年間58~115GW/年、それ以降も同等のレベルで導入する必要がある。導入量をまかなうための資源や製造技術の対策費用も挙げられている。

輸送部門では電化、バイオ燃料や水素への移行を通して2030年小型新車販売の半分をゼロエミッション車とし、また持続可能な航空燃料を増産するとしている。産業部門でも中程度までは電化を推進するとしている。鉄鋼、石油化学、セメント生産では追加の技術とプロセスの革新が必要であり関連研究の支援を拡大するとしている。CCSおよび新たなクリーン水素(再生可能エネルギーからの生産、原子力、廃棄物)の供給、非CO₂GHGsの大気圏への放出を防ぐために、監視および制御技術の開発推進を掲げている。



図表 1.2.4 (2) -1 米国のGHGs 排出量部門内訳

(国連「Climate Change」のデータを元にCRDSにて作成)

関連省庁・機関への予算配分方針

連邦政府の2024年度研究開発関連予算のうち環境・エネルギー分野と関連が深いと思われる省庁・機関について図表1.2.4 (2) -2にまとめた。大統領予算教書では気候変動への取り組みは連邦政府の優先課題の1つに挙げられており、クリーンエネルギーインフラの整備、産業競争力強化、気候変動に対する強靱性強化(気候変動適応など)、環境正義の保障、気候研究・イノベーションへの投資等に取り組むとしていた。

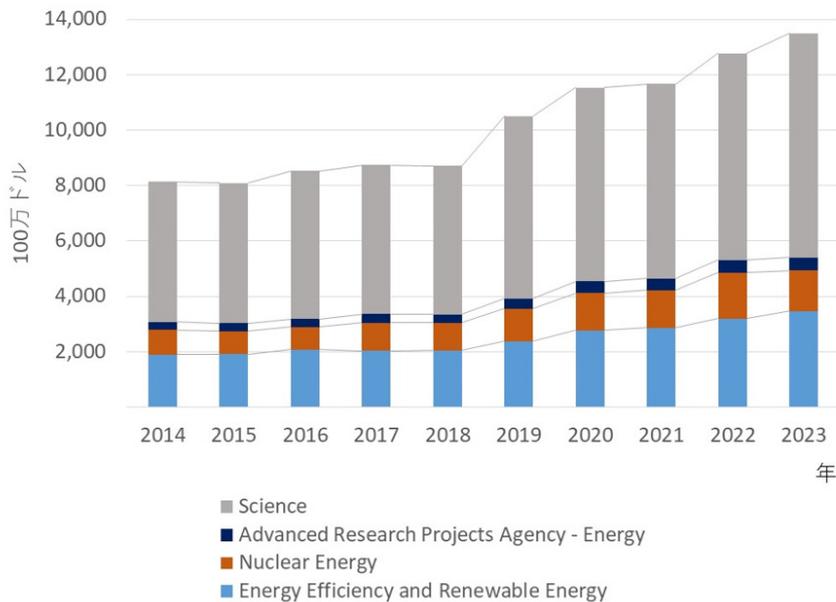
図表 1.2.4 (2) -2 関連省庁・機関の2024年度予算額¹

機関・部局等		予算額
エネルギー省 (DOE)	科学局	82.4億ドル (1.7%増)
	エネルギー効率化・再生可能エネルギー局	34.6億ドル (80.8%減)
	原子力エネルギー局	16.8億ドル (27.7%減)
	化石エネルギー・炭素管理研究開発局	8.6億ドル (31.0%減)
	電気局	2.8億ドル (64.9%減)
	エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)	4.6億ドル (2.1%減)
	サイバーセキュリティ・エネルギーセキュリティ・緊急対応局	2.0億ドル (24.5%減)
	クリーンエネルギー実証室 (OCED)	0.5億ドル (数値なし)
	国家核安全保障局 (NNSA)	34.0億ドル (15.3%増)
環境保護庁 (EPA)	科学・技術	7.5億ドル (5.5%減)

¹ AAAS FY 2024 R&D Appropriations Dashboardにて上下院審議後の予算額を参照し表作成
<https://www.aaas.org/news/fy-2024-rd-appropriations-dashboard> (2024年3月18日アクセス)

海洋大気庁 (NOAA)	気候研究	2.2億ドル (増減なし)
	海洋・沿岸・五大湖研究	1.6億ドル (2.6%減)
	気象・大気化学研究	2.5億ドル (増減なし)
	気象衛星	17.9億ドル (19.9%増)
国立科学財団 (NSF)	研究関連	71.7億ドル (2.2%増)

図表1.2.4 (2) -3はDOEの科学局、ARPA-E、原子力エネルギー局、エネルギー効率化・再生可能エネルギー局の予算の推移である。これを見ると科学局とエネルギー効率化・再生可能エネルギー局の予算が顕著に伸びていることが分かる。



図表1.2.4 (2) -3 DOE 部局 (一部) の予算の年次推移
(2015年～2023年のDOEの議会への予算要求資料をもとにCRDS作成)

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

米国では例年、先行的に研究開発優先事項が大統領府から公表される。府省横断的に取り組むべき事項として2023年8月に公表された2025年度の研究開発優先事項は図表1.2.4 (2) -4の通りである。気候変動への取り組みは前回に引き続き優先事項に挙げられており、内容もほぼ変化なく一貫性が見られる。

図表 1.2.4 (2) -4 2025年度のR&D予算優先事項で示された優先分野とその概要

優先分野	概要
AI技術の信頼性向上	AIに関する信頼性等への懸念の緩和に向けた規制設計のためのツールや方法論の開発、公共サービスへのAI活用の成果の検証、信頼性の高いAIシステムの開発
世界の安全保障と安定性維持への主導的対応	重要・新興技術分野の振興、国家安全保障上のリスク緩和、サイバーセキュリティ上のリスク緩和、自律システムや人工知能が国家安全保障に与える影響への対応、先進製造・デジタルエンジニアリング・ロボティクス等への研究開発投資、競争力評価のためのインテリジェンス活用
気候危機への取り組み	カーボンニュートラル実現に向けた研究開発支援、観測・監視・モデリング、第6次国家気候アセスメントに基づく研究ギャップへの対応、行動に繋がる気候サービスの開発、収益化・定量化が困難な政策オプション（生態系サービス等）の分析や技術に係る研究開発、自然資本評価、自然を活用した解決策の推進
健康増進	がん研究、抗菌薬耐性やパンデミックなど現在および新興の健康脅威への対処、メンタルヘルスに関する支援、公衆衛生・健康の公平性・予防、臨床試験の改善、栄養、希少疾患、神経変性、環境汚染物質や有害化学物質へのばく露抑制
壁や不公平性の低減	地域イノベーション支援・人材育成、政策目標達成に向けた多様なアプローチの比較検証・データ共有・プロトタイプ構築、規制や市民プロセスへの参画促進・コミュニティ関与促進
経済的な競争力を構築する研究開発および産業革新の強化	応用研究・実証・プレ商業化・標準化の支援、産業活性化による地域のイノベーションや強靱化の追求STEM人材の公平な育成・巻き込み・雇用の促進
比類ない研究の強化・発展・活用	基礎・応用研究の推進、新興研究機関の支援、研究セキュリティ課題の特定・対処支援、公的支援を受けた研究の成果の公表・アクセス容易化、公的研究開発投資の目標達成に向けたファンディングプロセス上の実験的取り組み

エネルギー分野の研究開発は基礎研究を含めてDOE主導で進められている。DOEはエネルギー・環境・核安全保障の課題に取り組むことにより米国の繁栄と国家安全保障を確保することを主要ミッションとしている。

2020年10月に発表された「重要技術・エマージング技術に関する国家戦略」では、エマージング技術におけるリーダーシップ確保のために米国が取るべき重要な柱を概説している。その柱の中には、国家安全保障のイノベーション基盤の促進と技術的優位性の保護が含まれている。提案例としては、米国政府予算内での研究開発の優先度を高めること、イノベーションを阻害する可能性のある規制、政策、官僚的プロセスを削減することなどが挙げられている。重要技術、エマージング技術例の中には人工知能、エネルギー、量子情報科学、通信・ネットワーク技術、半導体、軍事、宇宙技術などが挙げられている。またこの技術リストは更新版が2022年2月に公表された²。半数近くの技術が入れ替わっており、エネルギー関連ではガスタービンエンジン技術、原子力エネルギー技術、再生可能エネルギー発電・貯蔵が加わった。

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

DOEの主要プログラム

(1) エネルギーアースショット (Energy Earthshots)

DOEは技術革新及びコスト低減を加速させるため、DOE内の科学部門、応用部門、ARPA-Eなどの組織

2 National Science and Technology Council (2022), Critical and Emerging Technologies List Update <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf> (2023年2月27日アクセス)

を横断する取組みとして、2021年にアースショット・イニシアチブを立ち上げた。最初に立ち上げたのは「水素ショット」(Hydrogen Shot™)である。続いて、「安価なグリッド・ストレージを開発する長期間ストレージショット」(Long Duration Storage Shot™)、「大気中のCO₂を削減するカーボン・ネガティブショット」(Carbon Negative Shot™)を設立した。2022年には「高度化された地熱ショット」(Enhanced Geothermal Shot™)、「浮体式洋上風力発電ショット」(Floating Offshore Wind Shot™)、「産業熱ショット」(Industrial Heat Shot™)を設立し、2023年には「クリーンな燃料と製品ショット」「手頃な価格のホームエネルギーショット」が追加された。各プログラムの目標概要を図表1.2.4(2)-5に示す。

図表1.2.4(2)-5 アースショット・イニシアチブの目標概要

エネルギー・アースショット	目標
水素ショット (Hydrogen Shot™)	コストを80%削減し、クリーンな水素の需要とイノベーションを加速する野心的なコスト設定を目指す。
長期間貯蔵ショット (Long Duration Storage Shot™)	いつでも、どこでも、クリーンな電力を供給できる安価なグリッドストレージの実現を目指す。グリッドスケール蓄電コスト90%削減。10年以内に10時間以上の持続時間を実現するシステムを開発。
カーボン・ネガティブショット (Carbon Negative Shot™)	大気中からCO ₂ を除去し、CO ₂ 換算トン当たり100ドル未満で永続的に貯蔵する技術や手法の開発。
地熱ショット (Enhanced Geothermal Shot™)	高度な地熱システムのコストを90%削減。2035年までに45ドル/MWhまで低減。
浮体式洋上風力発電ショット (Floating Offshore Wind Shot™)	2035年までにコストを45ドル/MWhまで低減。浮体式洋上風力発電技術における米国のリーダーシップを促進し、脱炭素社会を加速させ、沿岸地域社会に利益をもたらす。
産業熱ショット (Industrial Heat Shot™)	2035年までに温室効果ガス排出量を85%以上削減する、コスト競争力のある産業用熱の脱炭素化技術を開発。
クリーンな燃料と製品ショット (Clean Fuels & Products™)	燃料と炭素ベースの製品を生産するために必要な持続可能な原料と変換技術の開発を通じて、2050年までに排出量を実質ゼロにする
手頃な価格のホームエネルギーショット (Affordable Home Energy Shot™)	住宅のアップグレードにかかる初期費用を少なくとも50%削減し、10年以内に光熱費を20%削減

(2) エネルギーフロンティア研究センター (EFRC)

EFRCはエネルギー分野の基礎科学を推進するために2009年に設立された。公募により複数の大学や国立研究所等からなる研究グループをセンターとして選定し、支援する。2009年の設立当初は46のセンターで開始した。2022年にはクリーン エネルギー科学、革新的な製造、マイクロエレクトロニクス、ポリマールサイクル、二酸化炭素削減、量子情報科学を対象として16の新しいセンター(4年間)、17の更新(4年間)、および10の既存センターの延長(2年間)が採択された。これらの総額は4億2,000万ドルとなる。2020年からの8つの継続的なセンターを加えると全部で51のセンターが活動している。

(3) エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)

国防高等研究局(DARPA)を手本にして2009年に設立された。ハイリスク・ハイペイオフ型のエネルギー研究を支援し、変革的な技術の研究開発を狙いとしている。応用研究を中心とし、基本的に基礎研究は含まない。研究開発における「死の谷」を克服するために、目標設定を明確にした上でリスクのある革新的なプロジェクトを複数選択し、助成することで、個別プロジェクトの失敗は許容しつつ、プログラム全体として成

功を狙う仕組みとなっている。なお、最近ではSCALEUPと呼ばれる商業化に向けたスケールアップのための技術開発資金や中小企業を対象としたSEEDと呼ばれる資金提供も追加されている。現行のARPA-Eのプログラム一覧を図表1.2.4 (2) -6に示す。

図表1.2.4 (2) -6 ARPA-Eプログラム (プログラム期間は公表年から3年と仮定。2024年2月時点)³

プログラム名	プログラム名 (日本語)	件数	カテゴリ	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ROOTS	炭素固定(排出低減),生産性向上のための根と土壌の機能の計測技術,モデル	10	バイオ								
MARINER	海藻 (大型藻)	20	バイオ								
SMARTFARM	バイオ燃料のライフサイクルGHG排出量量化のシステム	6	バイオ・効率								
ECOsynBio	新しいバイオマス変換プラットフォーム・システム	9	バイオ								
INTEGRATE	天然ガス分散型発電システム	8	発電								
REPAIR	天然ガスパイプライン改造技術開発	10	化石								
REMEDY	石油、ガス、石炭産業におけるメタン排出量削減の技術開発	5	化石								
FLECCS	負荷追従発電用等のフレキシブルなCCS	12	CCS								
NODES	分散型を含むグリッドの最適制御技術	12	伝送								
GRID DATA	送配電アルゴリズムの開発	7	伝送								
PERFORM	グリッドの革新的管理システム	10	伝送								
IONICS	次世代蓄電池、燃料電池、他電気化学デバイス	16	変換・貯蔵								
REFUEL	カーボンニュートラルな液体燃料	16	変換・貯蔵								
DAYS	長時間 (10~100h) 蓄電システム	10	貯蔵								
ATLANTIS	浮体式洋上風力	12	風力								
SHARKS	潮流・河川用流体動力学的タービン設計開発	11	水力								
GENSETS	家庭用CHP開発	12	効率								
NEXTCAR	コネクテッド&自動化車両 フェーズ2	4	効率								
ENLITENED	データセンターのエネルギー効率 (2倍に向上)	9	効率								
CIRCUITS	ワイドギャップ半導体による電力変換装置	22	効率								
SENSOR	ビル空調効率化	17	効率								
PNDIODES	広域半導体製造	8	効率								
BREAKERS	中電圧・直流回路ブレーカー	7	効率								
HITEMMP	高強度熱交換器	15	効率								
HESTIA	大気からの構造物への取り込みによる排出の活用	4	効率								
MEITNER	先進核反応炉	9	核エネルギー								
GEMINA	原子炉システムの運用・保守コスト削減 (デジタルツイン)	9	核エネルギー								
BETHE	低コスト核融合	15	核エネルギー								
GAMOW	核融合商用化のための材料・サブシステム技術	14	核エネルギー								
CURIE	軽水炉使用済み核燃料のリサイクル	12	核エネルギー								
ONWARDS	先進原子炉 (AR) の廃棄物量削減	10	核エネルギー								
ULTIMATE	ガスタービン用超高温材料開発	17	材料								
ASCEND	航空機用電動式パワートレイン	9	交通								
REEACH	航空機用レンジエクステンダー (燃料から電気への変換技術)	8	交通								
NEXTCAR	コネクテッド&自動化車両 フェーズ2	4	交通・自動車								
EVs4ALL	電気自動車用の先進的バッテリーの国内開発支援	※	交通・自動車								
OPEN 2015	包括型提案公募	41	全領域								
IDEAS※	エネルギー関連適用技術における革新的開発アイデア	59	全領域								
OPEN 2018	包括型提案公募	79	全領域								
OPEN 2021	包括型提案公募	68	全領域								
DIFFERNIATE	エネルギー技術・設計へのAI・機械学習組み込み加速	23	その他								
Special Projects	型破りなアイデアによるイノベーション	51	その他								
COOLERCHIPS	Cooling Operations Optimized for Leaps in Energy, Reliability, and Carbon Hyperefficiency for Information Processing Systems	15									
CURIE	Converting UNF Radioisotopes Into Energy (CURIE)	12									
MINER	Mining Innovations for Negative Emissions Resources (MINER)	17									
SEA-CO2	Sensing Exports of Anthropogenic Carbon through Ocean Observation	11									

補注：ARPA-Eのホームページで「活動中 (Active)」のみを記載。各プログラムは原則3年間であるが、記載のあるものは一部の個別プロジェクトが延長されていることによる。またIDEASは通常の3年間プログラムとは異なり、最大1年間50万ドルのプログラム

3 ARPA-E <https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs> (2024年2月アクセス)

(4) エネルギーイノベーション・ハブ

基礎研究や応用研究に加え、商業化に必要な工学開発までカバーした一連の活動を「アンダー・ワン・ルー」で行うための仕組み。これまで支援されてきているのは以下の5テーマである。

- ①軽水炉先端シミュレーションコンソーシアム (CASL)：オークリッジ国立研究所がリーダー。2010年開始。2015年に更新され、5年間に1億2,150万ドルの助成。原子炉アプリケーション用仮想環境(VERA)を開発し、ライセンス供与と産業界へ展開し、2020年に終了。
- ②人工光合成共同センター (JCAP)：ローレンス・バークレー国立研究所とカリフォルニア工科大学がリーダー。2010年開始し、2015年に2期目として更新。さらに2020年7月には主体であるカリフォルニア工科大とローレンス国立研究所に対して更新され、5年間で1億ドルの助成。
- ③エネルギー貯蔵研究共同センター (JCESR)：アルゴンヌ国立研究所がリーダー。2012年開始。2018年に更新され、5年間で1億2,000万ドルの助成。
- ④戦略材料研究所 (CMI)：エイムズ研究所がリーダー。2013年開始。
- ⑤エネルギー-水 淡水化ハブ (Energy-Water Desalination Hub)：研究アライアンスである National Alliance for Water Innovation (NAWI、ローレンス・バークレー国立研究所に本部)。安全で手頃な価格の水を提供するためにエネルギー効率が高くコスト競争力のある淡水化技術の初期段階の研究開発に焦点を当てる。研究対象は材料、新規プロセス、モデリング・シミュレーションツール、データ統合・解析。2019年開始。5年間最大1億ドルの助成及びステークホルダーより3,400万ドルのコストシェア拠出。

(5) バイオエネルギー研究センター

バイオ燃料ブームのあった2007年に設立され、3つの研究センターを対象にして10年間(2007～2017年)行われた。植物および微生物を研究対象とし、セルロースを原料にバイオエタノールや他のバイオ燃料を低コストで製造するための技術に関する基礎基盤研究の推進を目的としている。2018年からは新たに5年間の第二期が始まっており、研究センターも再編された⁴。第二期はターゲットを拡大し、バイオ燃料に加えてバイオベースの化学物質やその他製品も視野に含めるとしている。第一期、第二期の研究センターは図表 1.2.4 (2) -7の通りである。

図表 1.2.4 (2) -7 バイオエネルギー研究センター

第一期 (2007～2017年)	第二期 (2018年～)
BioEnergy Science Center (BESC)：オークリッジ国立研究所がリーダー	Center for Bioenergy Innovation (CBI)：オークリッジ国立研究所がリーダー
Great Lakes Bioenergy Research Center (GLBRC)：ウィスコンシン大学とミシガン州立大学がリーダー	Great Lakes Bioenergy Research Center (GLBRC)：ウィスコンシン大学とミシガン州立大学がリーダー
Joint BioEnergy Institute (JBEI)：ローレンス・バークレー国立研究所がリーダー	Joint BioEnergy Institute (JBEI)：ローレンス・バークレー国立研究所がリーダー

4 Department of Energy (DOE), "Department of Energy Provides \$40 Million for 4 DOE Bioenergy Research Centers", DOE <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provides-40-million-4-doe-bioenergy-research-centers> (2023年3月1日アクセス)

-	Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation (CABBI) : イリノイ大学アーバナ・シャンペーンがリーダー
---	---

(6) その他の研究開発プログラム

DOEは科学局、ARPA-E以外にもプログラム部局としてエネルギー効率・再生可能エネルギー局、化石エネルギー・炭素管理研究開発局、電気局、原子力エネルギー局等があり、それぞれファンディングを行っている。主なものとしては、持続可能な輸送技術(車両技術:Co-Optima、SuperTruckII等、バイオエネルギー技術、水素・燃料電池技術)、再生可能発電技術(太陽光:Sunshotイニシアチブ、風力、水力:HydroNEXTイニシアチブ、地熱発電:FORGE)、家庭・ビル・産業での効率向上(先進製造:NNMI関連、ビルディング技術)、CCS技術(FEED等)、電力グリッド近代化、燃料サイクル等があり、幅広い分野にまたがる。なおエネルギーアースショットが立ち上がったことから、これら関連するプログラムはその一部として実施されているケースもある。例えば2020年11月に発表された「水素プログラム計画」は水素ショットの柱として実施されている。

(7) 基礎研究と応用分野との連結に向けた新たな動き

2023年2月に科学局から「Accelerating Innovations in Emerging Technologies (Accelerateイニシアチブ)」が発表された。イノベーションサイクルを加速するには基礎研究の初期段階で主要なギャップを特定し克服することが必要との観点から、商業化への移行の加速に重点を置いた基礎研究支援を目的とするイニシアチブを立ち上げた。ハイパフォーマンスコンピューティング、人工知能、製造、材料、バイオテクノロジー等に関する最新技術を有する研究者チームの参画や他のイノベーション加速のアプローチが必要としている。予算は2年間で8,000万ドルが科学局より拠出される予定で、1件あたり200万ドル~400万ドルとされていた。

その後2023年9月に、米国エネルギー省(DOE)は、将来の産業の基盤となる新技術の発見から商業化への移行を加速させるという目標に焦点を当てた11のプロジェクトに対し、7,300万ドルの資金提供を行うことを発表した。この目標達成のためには、イノベーションの最終的な応用を視野に入れた基礎研究が必要であり、国家の経済的健全性と安全保障を支える新製品や新機能へのスケールアップや容易な移行が可能なアプローチによる材料や技術の発見、創造、生産を検討する必要がある。プロジェクトはDOE傘下の国立研究所が中心となっており一部は以下の通り。

- ・国立再生可能エネルギー研究所(NREL): バイオリクターにおける微生物の挙動を研究しモデル化するプロジェクトを主導。実験室ではうまくいく有望なバイオ製造プロセスが、工業用サイズのバイオリクターで大量生産するためにスケールアップすると失敗することが多い理由を解明する。
- ・ブルックヘブン国立研究所(Brookhaven National Laboratory): サブナノメートル寸法の次世代半導体を製造することを目標に、新しい材料を開発する。
- ・トーマス・ジェファソン国立加速器施設(Thomas Jefferson National Accelerator Facility): エネルギー効率の極めて高いコンピューティングを実現するための超伝導マイクロエレクトロニクスのコンプオジットを開発する。
- ・アルゴンヌ国立研究所(Argonne National Laboratory): ロボット工学、ヒューマン・インターフェース、デジタル・ツイン、人工知能を組み合わせ、医療診断や治療、研究、産業用途に使用される同位体の製造に現在使用されている80年前の技術に代わるイノベーションを開発する。
- ・オークリッジ国立研究所(Oak Ridge National Laboratory): 積層造形と統合された遠隔操作および放射線硬化センサーを組み合わせ、核融合エネルギープラントでプラズマに面した部品を安全かつ効率

的にメンテナンスするためのその場修理技術を開発する。

- ・SLAC国立加速器研究所 (SLAC National Accelerator Laboratory): 大型粒子検出器のスケールアップを図り、将来の新粒子の発見、ヒッグス粒子の完全な精度での特性評価、暗黒物質の性質の解明を可能にする。
- ・トーマス・ジェファソン国立加速器施設 (Thomas Jefferson National Accelerator Facility): 超伝導高周波技術のボトルネックに対処し、基礎研究や産業用途に使用される加速器の運転を大幅に簡素化する。

EPAの研究開発プログラム

EPAでは4年毎に戦略的計画を立案している。2023年～2026年の戦略的計画には、4つの横断的戦略のもと、大統領令⁵を考慮して気候危機への対処と環境正義・公民権の推進という2つが追加された7つの戦略的目標が示されている。

- 目標1: 気候危機に対処する
- 目標2: 環境正義と公民権促進のために断固とした行動をとる
- 目標3: 環境法の施行と遵守の確保
- 目標4: すべての地域社会において清潔で健康的な空気の確保
- 目標5: すべての地域社会における清潔で安全な水の確保
- 目標6: 地域社会の保護と活性化
- 目標7: 人と環境に対する化学物質の安全性を確保

また戦略的計画の下でEPA 戦略的研究行動計画 (2023-2026) を策定し、以下の6分野において研究の枠組みおよび国家研究プログラムが作成されている。2023年から2026年に向けて取り組んでいるトピック/研究領域は以下の通り。

- ①大気・気候・エネルギー: 大気汚染と気候変動および人間の健康と生態系に与える影響の理解 (大気汚染の発生源・吸収源と気候変動要因、大気汚染物質の測定法と評価モデル、大気汚染と気候変動による健康・生態系への影響)、リスクと影響への対応と将来への備え (気候変動と大気質に関する政策解決への科学的裏付け、公衆と生態系の健康改善、火災・洪水・その他の異常気象のリスクへの対応、持続可能な未来への移行)
- ②持続可能性のための化学物質の安全性: 化学物質評価 (ハイスループット毒性学、迅速暴露線量評価、新材料技術)、複雑系科学 (AOP、仮想組織モデル、生態毒性評価とモデル化)、化学物質安全性の意思決定支援のための知識提供とソリューション主導の翻訳 (化学的特性評価と情報科学、統合・翻訳・知識提供)
- ③健康と環境のリスク評価: 科学的評価と翻訳 (科学的評価の開発、科学的評価の翻訳)、リスク評価の科学と実践の推進 (革新的評価方法論、不可欠な評価およびインフラツール)
- ④国土安全保障: 汚染物質の特性評価と影響評価、環境浄化・インフラ修復 (広域除染、水系事故対応)

5 大統領令14008 (<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/01/27/executive-order-on-tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad/>)、大統領令13985 (<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/01/20/executive-order-advancing-racial-equity-and-support-for-underserved-communities-through-the-federal-government/>) (いずれも2023年3月1日アクセス)

- 支援、油流出対応支援、廃棄物管理)、レジリエンスの公平性を支えるコミュニティ参画とシステムベースツール (システムベースの意思決定、コミュニティ・レジリエンス・レメディエーション)
- ⑤安全で持続可能な水資源：流域 (流域評価、生態系とコミュニティの回復力、高度水環境質研究)、栄養塩類と有害藻類の繁殖 (有害藻類の評価・管理、気候変動下における栄養塩類)、水処理・インフラ (気候変動に適応するための代替水源、飲料水と配水システム、PFAS、廃水、雨水管理、地域社会への技術支援)
- ⑥持続可能で健康的なコミュニティ：汚染サイトの修復と再生 (技術支援、サイトの特性評価と修復、溶剤蒸気の侵入、地下貯蔵タンクの漏洩、新興化学物質)、材料管理と廃棄物再利用 (埋立地管理、マテリアルフローとLCA、廃棄物回収と材料の有効利用)、健康で回復力のあるコミュニティ構築のための統合的アプローチ (修復・再生・活性化による利点、累積的影響とコミュニティの回復力、環境報告書による成果の測定)

2023年2月、EPAは難分解性有機フッ素化合物 (PFAS) に対して脆弱なコミュニティを中心に、水質検査・モニタリング技術、対策技術の最適化、家庭用浄水器開発、リスクコミュニケーションなどの包括的支援のため、インフラ投資・雇用法の水に関する助成金500億ドルのうち20億ドルを提供すると公表している (2022年6月に同様の公表を行った際は10億ドルだったが2023年2月の公表で金額が倍増している)⁶。

米国地球変動研究プログラム (USGCRP)

13省庁による横断的なイニシアチブ「米国地球変動研究プログラム (USGCRP)」は1989年に開始し、10年毎に戦略計画を策定し、3年毎に更新している。最初の2期 (20年間) は観測や気候システムのモデリングに焦点をあてた研究を行ってきた。3期目は「戦略計画2012-2021」に沿って、統合化された地球システムの研究に加え、適応策や現実世界の意思決定や行動支援に関する取り組みも推進した。4期目の戦略計画は2022年12月に発表された。地球システムの理解・評価・予測・対応に係る研究を引き続き推進することに加え、これらの知見を活用した統合的な研究の促進が盛り込まれた。2023年12月現在、その取り組みは15省庁・機関にまで拡大している。

同プログラムの予算は、過去5年で27.9億ドル (2017年度)、24.8億ドル (2018年度)、24.4億ドル (2019年度)、24.6億ドル (2020年度)、32.7億ドル (2021年度)、37.5億ドル (2022年度)、51.4億ドル (2023年度、予算教書) と安定的に推移し、ここ数年は増加傾向にある。

NSFの研究開発プログラム

米国科学財団 (NSF) は環境・エネルギー分野に関して、エンジニアリング、地球科学、極地プログラムなどの領域で研究プログラムを設けている。それら3分野にかかる直近5年の予算を図表1.2.4 (2) -8に示す。エンジニアリング領域では環境工学、土木、機械、化学プロセスなど、地球科学領域では大気、海洋、境界分野などのプログラムがある。

6 EPA (<https://www.epa.gov/dwcapacity/emerging-contaminants-ec-small-or-disadvantaged-communities-grant-sdc>)、EPA (<https://www.epa.gov/newsreleases/epa-announces-new-drinking-water-health-advisories-pfas-chemicals-1-billion-bipartisan>) (いずれも2023年3月10日アクセス)

図表 1.2.4 (2) -8 NSFの環境・エネルギー分野関連領域の予算推移 (単位: 億ドル)

分野	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023
エンジニアリング	9.7	10.0	10.1	10.3	7.7	8.1
地球科学	9.1	9.3	9.9	10.0	10.3	10.7
極地プログラム	4.2	4.0	4.0	4.1	4.4	4.5
NSF全体	77.7	80.8	82.8	84.9	88.4	98.8

FFRDC (Federally Funded Research and Development Centers)

連邦各省が民間セクターとの契約により設置する、特定の長期的な研究を実施するGOCO (連邦政府が所有し、非連邦政府機関が運営する)の研究センター。各センターは連邦政府の資金で運用されるが、実際の運営は設置された大学や企業、非営利機関、場合によってはコンソーシアムに任される。「既存の社内または請負業者のリソースでは効果的に満たすことができない」政府の特定の長期的なニーズを満たすために、大学および企業によって運営される組織であり、仕事を競うことが禁じられている。科学技術関連のシンクタンクであるRANDCorporationのFFRDCには、国防、エネルギー、宇宙等の分野において、ランド研究所アロヨセンター、ランド国防研究所、ランド研究所空軍プロジェクト、国土安全保障解析センターがある。

全米下水調査システム (CDC、HHS)⁷

米国疾病予防管理センター (CDC) と米国保健社会福祉省 (HHS) は、2020年9月に国家下水調査システム (National Wastewater Surveillance System : NWSS) を立ち上げた。NWSSは、全米の各地で個別に行われている取り組みをロバストかつ持続的仕組みに移行させる目的で開発されている。全米で採取された下水サンプル中から新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の原因である新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) の存在状況を把握、追跡するための調整と対応力を構築しようとしている。連邦政府機関間の調整を円滑に行うため、全米下水道監視機関間リーダーシップ (NSSIL) 委員会が設置されている。NSSILはHHS、CDCに加えて米国環境保護庁 (EPA)、米国国土安全保障省 (DHS)、米国国防総省 (DOD)、米国地質調査所 (USGS)、米国国立衛生研究所 (NIH)、全米科学財団 (NSF)、退役軍人省 (VA) で構成されている。NSSIL 参画機関は、NWSSの開発および実施においてCDCを支援している。州や地方行政のパートナーがCOVID-19への対応を決定できるように、下水に基づくCOVID-19データを収集、分析し、症例に基づくCOVID-19データ等と統合し、それらを公開している。

NASA地球観測システムEOS (Earth Observing System)⁸

米国航空宇宙局 (NASA) は宇宙探査だけでなく、地球環境の観測衛星でも重要な役割を果たしている。その取得データ、解析データはNASAと連携機関 (NOAAやUSGS等) を通して公開されている。1997年から開始しており、2024年2月時点で34のミッションが軌道上で運用中である (50が終了、11が計画)。※ここでのミッションとは人工衛星に関する一連の計画検討、搭載機器開発、運用、行動など全般を意味する)。終了ミッションには1985年に南極上空のオゾンホールを初めて上空から明らかにしたERBS衛星 (1984年打ち上げ、2005年運用終了、2023年大気圏再突入) などが含まれている。運用中ミッションには全世界

7 National Wastewater Surveillance System (NWSS)
<https://www.cdc.gov/nwss/wastewater-surveillance/index.html> (2023年3月1日アクセス)

8 <https://eosps.nasa.gov/content/nasas-earth-observing-system-project-science-office> (2023年2月20日アクセス)

に地表面画像を提供している LandSat-7、8、9や、森林破壊を監視する GEDI、重力場の変化をとらえ氷床の融解などを検出可能な GRACE-FO、日米合同で全球の降水を観測する GPM 主衛星などがあり、そのデータは世界の研究者や防災機関等に広く利用されている。たとえば、2021年8月の福徳岡ノ場（東京の南方1300kmにある海底火山）の噴火では日本の衛星データ（ひまわり8号、だいち2号、しきさい）のデータに加えて、LandSat-8等のデータも活用された。打ち上げ前の衛星として、欧州と合同の Sentinel-6B、インドと合同の NISAR などが開発されている。

(3) EU (欧州連合)

■ 気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2014.5	欧州委員会	EUエネルギー安全保障戦略	2030	ロシアの天然ガスに依存している状況等を踏まえた中長期的な行動計画。2030パッケージの促進 (エネルギー効率向上)、EU内でのエネルギー増産、エネルギーインフラの連携等の重点5分野を提示。
2015.2	欧州理事会	エネルギー同盟	2030	EUエネルギー安全保障戦略と2030枠組みを補完する戦略。EU内でのエネルギー源の多様化、域内エネルギー市場の統合、再エネ開発やエネ消費効率向上等が柱。
2016.2	欧州委員会	エネルギー安全保障パッケージ	2030	エネルギー同盟の推進のための方策群を提示。ロシアからの天然ガス供給途絶への市場の強靱性を増すための国境を越えたアプローチの導入や、EUのエネルギー供給安全保障のための国家間合意がEU法と整合性を保つようにするための事前チェックの導入等。
2016.11	欧州委員会	「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージ	2030	エネルギー移行を促進するため2030年までの目標を温室効果ガス (GHGs) 排出45%削減、再エネ割合32%以上、エネルギー消費32.5%以上削減に引き上げる等の方針を示した一連の政策パッケージ。
2018.11	欧州委員会	2050長期戦略	2050	「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージの下でのエネルギー政策の新しい方向性を提示。2050年までに1990年比80%以上削減の他、気候中立 (実質排出ゼロ) 実現のための7つの戦略分野を設定: エネルギー効率、再エネ、モビリティ、産業と循環型経済、インフラと相互接続、バイオエコノミーと自然の炭素固定、固定排出源でのCCS技術的方策。
2019.12	欧州委員会	欧州グリーンディール (EGD)	2050	2050年までに欧州を気候中立にするための長期戦略を支える総合的な政策イニシアチブ。一連の法規制や取引制度、基金、戦略などからなる。法規制では欧州気候法の批准を目指す。2030年気候目標計画では2030年のGHGs排出削減目標を1990年比で40%から少なくとも55%に引き上げることを目指す。2021年から2030年までの第4世代のEU排出量取引制度 (EU-ETS) も含む。政策・プロジェクト資金はInvestEUにより管理され、2021~2027年で少なくとも6,500億ユーロの見込み。関連する戦略は後段の産業戦略、循環型経済行動計画、生物多様性戦略、水素戦略、エネルギーシステム統合戦略、リノベーションの波、化学品戦略、メタン戦略、Farm to Fork 戦略等。
2020.7	欧州理事会	水素戦略	2030	EGD関連の戦略。欧州におけるクリーンな水素生産を促進し、産業、輸送、電力、建築分野での利用を促進することを目的とした戦略。

2020.7	欧州理事会	エネルギーシステム統合戦略	2050	EGD 関連の戦略。エネルギー源とインフラをつなぐ、より効率的で統合されたシステムを生み出す欧州のエネルギーシステムの改革を進める戦略。
2020.10	欧州委員会	リノベーションの波	2050	EGD 関連の戦略。今後 10 年間で年間改修率を倍増させ居住者の生活の質向上、GHGs 排出量削減、建設部門のグリーン雇用創出を実現する目標。
2020.10	欧州理事会	メタン戦略	2050	EGD 関連の戦略。メタン排出量を最小化して大気質を改善すること、EU の世界的なリーダーシップを強化することなどが目標。
2021.2		気候適応戦略	2050	EU における気候変動適応の能力強化が目的。そのためのデータ収集の強化、既存の欧州の気候変動適応ポータルサイト「Climate-ADAPT」の改善。また体系的な適応として地方での適応能力の強化、対策の開発と実行の支援など。
2021.6	欧州議会	欧州気候法	2050	2050 年までに EU 全体として気候中立を達成するための拘束力のある目標を定める法律。
2021.7	欧州委員会	Fit for 55	2030	欧州グリーンディールで掲げられた 2030 年の排出削減目標の 1990 年比 40% から 50% 以上への引き上げを包括的に推進するための政策パッケージ。特定産業に関する加盟国ごとの排出目標強化、森林保全を推進するための EU 森林戦略の策定、気候変動対策社会基金の設立、持続可能な航空燃料イニシアチブ、再生可能エネルギーやエネルギー効率化等に係る各種指令改正などを含む。
2022.5	欧州委員会	REPowerEU	2030	Fit for 55 で策定された温室効果ガス排出削減目標に、ロシア産化石燃料からの早期脱却を実現するために追加の対策を盛り込んだ政策文書。2030 年のエネルギーミックスに占める再エネ比率を Fit for 55 で示した 40% から 45% に引き上げるなど野心的な目標を設定、EU 域内のエネルギー転換を加速し安全保障を確保する事が狙い。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2015.12	欧州委員会	循環型経済行動計画	2030	循環型経済への移行を促すための行動計画。気候変動及び環境問題への対処と同時に雇用創出や経済成長等の促進も狙いとする。食品廃棄物を 2030 年までに半減、肥料関連指令の改正、プラスチックに関する戦略の策定等を提示。
2018.1	欧州委員会	欧州プラスチック戦略	2030	循環型経済行動計画に基づく戦略。EU 域内における全てのプラスチック包装材のリユース又はリサイクル、使い捨てプラスチックの削減、化粧品等に用いられるマイクロプラスチックの使用制限等を目指す。

2020.3	欧州理事会	産業戦略	2030	EGD 関連の戦略。学界、企業、公的機関、各種サービス提供者、サプライヤーとの連携を促進することでEUの競争力を高めることを目的とした戦略。
2020.3	欧州理事会	循環型経済行動計画	2030	EGD 関連の戦略。2015年の第1次循環型経済行動計画に代わる新計画。
2020.5	欧州理事会	2030年に向けた生物多様性戦略	2030	EGD 関連の戦略。2011年の戦略に代わる2030年までの新計画。2021年までに欧州の陸海の少なくとも30%に保護区を設定、法的拘束力のある自然回復目標を設定、農地での有機農業と生物多様性に富んだ景観の増加、農薬使用と有害性の50%削減、EUの河川の回復、30億本の植林などを目標として設定。
2020.5	欧州委員会	Farm to Fork 戦略	2030	EGD 関連の戦略。食品ロス・廃棄物の削減、動物福祉の向上、より良い消費パターンや農法の促進、農薬の使用を最小限に抑えることで食品システムを持続可能なモデルへとシフトさせること等を目指す。
2020.10	欧州委員会	化学品戦略	2030	EGD 関連の戦略。不可欠な場合を除く全ての用途でのパーフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物（PFAS）の段階的な禁止等。
2020.11	欧州委員会	第8次環境行動計画	2021-2030	EGD 関連の戦略。EUの2030年と2050年の排出目標の達成、気候変動への耐性の強化、経済成長と資源利用の分離、大気汚染物質の排除、生物多様性の保護と回復、資源使用量の多いセクターに関連した環境や気候への圧力の軽減という6つの優先目標を掲げる。
2021.5	欧州委員会	大気・水・土壌汚染ゼロ行動計画	2050	大気・水・土壌の汚染を人間の健康や自然生態系に無害と考えられるレベルにまで下げる行動計画
2021.7	欧州委員会	2030年に向けたEU森林戦略	2030	EGD 関連の戦略。Fit for 55の一環として策定。森林の経済的利用の推進、カーボンニュートラルへの貢献、森林生態系・生物多様性の保全を目的とする。
2021.11	欧州委員会	2030年に向けたEU土壌戦略	2030	EGD 関連の戦略。2050年までにEUのすべての土壌生態系を健全な状態にし、各種環境・気候問題の解決策として貢献することが目標。その2030年中間目標を提示。
2023.6	欧州委員会	経済安全保障戦略	2023-	経済的依存から生じる可能性のあるサプライチェーン、エネルギー、重要インフラに対するリスク等の軽減、研究、技術、産業基盤を育成することにより競争力を促進する

■ 科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2015.9	欧州委員会	新戦略的エネルギー技術計画 Integrated SET plan		研究イノベーションの目標として10の優先事項を設定。技術の低コスト化を図り、エネルギーシステムと輸送部門の脱炭素化を促進することを目的とする。

2019.1	欧州理事会	Euratom2021-2027	2021-2027	Euratomの第2期方針。27加盟国から総額12億5,100万ユーロの資金提供がなされ、プログラムを通じた予算総額は19億8,100万ユーロとなる見込み。
2019.4	欧州委員会	Horizon Europe	2021-2027	Horizon2020の後継となる研究・イノベーションプログラム。社会変革を含む気候変動への適応、がん、気候変動に左右されないスマートシティ、健康な海、沿岸・内陸水域、土壌の健康と食料の5つの重点分野を特定。

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス（組織体制）

EUの行政機関である欧州委員会の中で省庁と同格の役割を果たすのが総局である。総局のうち研究・イノベーション総局（DGRTD）が科学技術・イノベーションを所管している。他にも市場・産業・起業・中小企業総局（GROW）、環境総局（ENV）、エネルギー総局（ENER）、気候行動総局（CLIMA）などがあり、それぞれの担当分野における科学技術・イノベーションに関連した政策を立案している。DGRTDは各総局の提案を調整し、政策提案としてまとめている。

EUの資金提供の大部分は、地域開発基金（ERDF）、社会基金（ESF）、結束基金（CF）、農業農村開発基金（EAFRD）、海洋・漁業基金（EMFF）の5つの欧州構造・投資基金（ESIF）を通じて行われている。これらの基金の利用は加盟国が欧州委員会とパートナーシップ契約を結んで管理している。これにより、EUの包括的で長期的な気候目標と加盟国の具体的な目標の両方に対して持続可能性に関連する事項への配慮が保証されている。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

欧州グリーンディール以降の気候変動関連政策動向

気候変動関連の政策とエネルギー政策は一体的に行われている。温室効果ガス（GHGs）の排出削減、エネルギーミックス全体の中での再生可能エネルギーの割合、エネルギー効率について中長期的な目標を設定しその実現に向けた方策を講じている。2019年12月に発表された「欧州グリーンディール」（EGD）は、コロナ禍においてグリーン復興計画の中核にも位置付けられ、現在も欧州委員会の優先事項の1つとなっている。EGDは2050年気候中立（ネットゼロエミッション）を達成するための総合的な政策イニシアチブであり、多数の法規制や取引制度、基金や戦略の導入により実現されることになる。EGDには2050年の気候中立と2030年の中間目標（EUにおける脱炭素化努力の新たな主眼）の両方が含まれており、クリーンエネルギー、持続可能な産業、建築・改修、農業、炭素隔離、汚染除去、持続可能なモビリティ、生物多様性などを包含する。

2021年6月に欧州議会で採択された「欧州気候法」はEGDで示された目標に法的義務を課し、EU加盟国に批准させることを目的としている。2030年のGHGs排出削減率の中間目標（法的拘束力あり）は当初40%（1990年比）であったが、欧州委員会がこの目標では2050年までの気候中立達成は困難として、2020年3月に中間目標値を50%～55%とする欧州気候法案を公表した。その後、この法案は2030年GHGs排出55%削減を中間目標とすることに修正され、2020年12月の欧州理事会での中間目標値55%の合意を受けて、2021年6月末に改定された。

同年7月にはその目標達成のための政策パッケージ「Fit for 55」が公表された。このFit for 55は経済成長とGHGs排出のデカップリングを実現した既存の法的枠組みを基盤としており、2030年の中間目標の達成に向けて、気候目標とエネルギー、土地利用、運輸、税制分野のイニシアチブを組み合わせた包括的な提案となっている。具体的には、「エネルギー効率の改善」、「再生可能エネルギーの利用拡大」、「土地利用・林業によるGHGs吸収の拡大」、「EU排出量取引制度（EU-ETS）の適用拡大」、「低排出・持続可能な輸

送手段・燃料の普及」、「税制と気候目標の整合化」、「カーボン・リーケージ（排出規制が緩やかな国・地域への産業流出）対策」などを目的とする13の法提案（8つの現行規則改正案、5つの新規則案）から成っている。新規則案にカーボン・リーケージ対策のためのEU域外から輸入（現時点ではセメント、電力、肥料、鉄鋼、アルミニウムが対象）への炭素価格適用を考慮した「炭素国境調整メカニズム（CBAM）」提案、持続可能な航空燃料（SAF）の促進を目的とした「持続可能な航空の公平な競争条件に関する規則案（ReFuel EU）」、「海運における低炭素・持続可能な燃料使用に関する規則案（Fuel EU）」などが含まれている。

またEGDを支えるサステナブルな投資を促進する仕組みとして2020年7月にEUタクソミー（Taxonomy）規則が施行された。持続可能なプロジェクトへの投資を促進するためには「持続可能性」に関する共通かつ明確な定義が必要となる。EUタクソミー規則は環境的に持続可能かどうかを決定するための統一した基準を示すことを目的としており、情報開示としての指標となる分類システムである。このことは金融市場参加者に対して、直接的にタクソミーに合致する活動へ投資を求めているものではない。

タクソミー規則では6つの環境目標（①気候変動緩和、②気候変動適応、③水・海洋資源の持続可能な利用・保護、④循環型経済への移行、⑤汚染防止・管理、⑥生物多様性・エコシステム保全・修復）、が設定されており、「環境面で持続可能な経済活動」として定義されるためには、1つ以上の環境目標へ貢献、いずれの環境目標に著しい害を与えないことを含めて4つの要件・条件の全てを満たす必要がある。なお2022年7月に原子力、天然ガスが脱炭素への移行を支える「持続可能な経済活動」、いわゆる「グリーン」として条件付き（共通：ライフサイクルでのCO₂排出量100 g未満/kWh、原子力では放射性廃棄物管理関係など）でEUタクソミーとして含めることを決定している。この決定はEU加盟国間で意見が分かれていたが、コロナ禍からの回復、ロシアのウクライナ侵攻などによるエネルギー価格上昇による対応として再生可能エネルギーのみでは立ち行かないことも背景にあるとされる。

EGDの推進において、米国のインフレ削減法などの各国の補助金競争の激化への対抗策として、「グリーン・ディール産業計画（Green Deal Industrial Plan:GDIP）を2023年2月に発表した。この計画は（1）投資環境を改善するための規制緩和、（2）投資誘致のための財政支援、（3）人材育成、（4）ネットゼロ技術や原材料の確保のための貿易推進、という4つの柱からなる。その一環として、再エネ技術の域内生産を支援するネットゼロ産業法案が2024年2月に暫定的に合意¹された。ネットゼロを実現する設備を域内で40%生産することを努力目標として挙げている。その中で、原子力についても再エネと同等の支援対象とされた。また、二酸化炭素（CO₂）の回収・有効利用・貯留（CCUS）技術と輸送に関する産業炭素管理戦略も発表された²。

欧州グリーンディールを進めるためのメカニズム、手段、加盟国の貢献

「第4次EU排出量取引制度（EU ETS）」では、「炭素国境調整メカニズム（CBAM）」が導入された。この新しいメカニズムは、EU域外から輸入される特定の商品に炭素価格を課すことで、加盟国が気候変動への野心を高め、炭素流出（カーボン・リーケージ）のリスクを低減するようインセンティブを与えるものである。カーボン・リーケージは、企業が排出量を削減するのではなく、規制がそれほど厳しくない他国に排出量を移転させてしまうことであり、欧州の気候中立化の努力を打ち消すことになる。CBAMの移行期間は2023年10月から始まっており、2026年1月から本格運用される予定である。

各加盟国は、国内総生産（GDP）をはじめとするいくつかの要因に応じた貢献度目標（NDC）を設定し

1 Council of the EU, "Net-Zero Industry Act: Council and Parliament strike a deal to boost EU's green industry", <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/06/net-zero-industry-act-council-and-parliament-strike-a-deal-to-boost-eu-s-green-industry/> (2024年2月アクセス)

2 European Commission, "Commission sets out how to sustainably capture, store and use carbon to reach climate neutrality by 2050", https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_585 (2024年2月アクセス)

ている。その結果、所得が低い国の中には、脱炭素化の可能性が高くて目標を低く設定している国もある。加盟国は、5年ごとに開催される会合において、長期目標に向けた全体的な進捗状況を評価するとともに、NDCを更新する必要性について国ごとに検討することとなっている。直近では2020年末までに開催される見込みとなっていた。ここでの議論を通じて、2021年のCOP26に先駆けてEUが国際的なパートナーに高い野心と基準を伝えることを目指している。なおEGDの下では、加盟国は、2021年から2030年の間に国家目標やEUレベルの目標達成に向けた戦略やツールを詳細に示した国家エネルギー・気候計画（NECP）を策定し、提出することが求められている。

EU圏内のGHGs総排出量の約60%を占めるETS対象外となる部門については、2018年5月に実施された「努力配分規則（ESR）」で、輸送、建築物、農業、非ETS産業、廃棄物等の2021年から2030年までの拘束力のある年間GHGs排出量目標が盛り込まれている。ESRセクターの大部分に排出量取引を導入することは、規制や加盟国に重大な影響を及ぼす可能性がある。そのため欧州委員会は、2021年6月に計画されているセクター別の政策イニシアチブを策定する際に、様々な脱炭素化の選択肢について協議を行う予定としている。

これまでエネルギー移行による経済的影響はEU全体としてのみ評価されてきたが、実際には加盟国レベルで影響が異なる。このためETSでは最も影響を受ける国や地域に対して経済的支援を行う2つの資金が用意されている。「ジャスト・トランジション・メカニズム」は炭素集約的なセクターを持つ地域に資金を提供する仕組みであり、2021年から2027年までに1,500億ユーロ以上を投入する予定である。「近代化基金」は、所得の低い10の加盟国におけるエネルギー移行への投資を支援し、2021年から2030年までにETSから140億ユーロが配分される予定となっている。

エネルギー安全保障への対応：REPowerEU

EUは2022年5月、ロシア産の化石燃料からの脱却と温室効果ガス排出削減の両立を目標に掲げた政策文書「REPowerEU」³を発表した。本計画は、欧州グリーンディール政策にて2021年7月に取り纏められた政策パッケージ「Fit for 55（FF55）」をベースに策定、「省エネルギー」、「エネルギー調達先の多様化」、「クリーンエネルギー普及の加速」の三本柱によって構成された。計画で中心となるのは、国や地域を跨るインフラの整備や資金調達の連携であり、関連するプロジェクトを支援する基金「復興レジリエンス・ファシリティー（RRF）」が重要な役割を担う。こうしたグリーン・トランスフォーメーションは、EU加盟国のみならず、近隣諸国やパートナー国らとの経済成長、安全保障および気候変動対策を強化することになる。

① 省エネルギー

2030年までのエネルギー効率の改善目標を「FF55」で示した9%から13%に引き上げた。市民や企業に行動変容を求めることで天然ガス・石油需要の5%減を目指す。具体的にはヒートポンプ等の省エネルギー機器の普及促進や、住宅・産業部門でのエネルギー高効率化を推進する。

② エネルギー調達先の多様化

EUは2020年時点で天然ガスの約41%、原油の約36%、石炭の約19%をロシアからの輸入に依存している。特に依存度の高い天然ガスは短期的な代替、大幅な削減が難しいエネルギー資源であり、段階的

3 European Commission, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483> (2023年2月8日アクセス)

な輸入量の低減措置を取る。2030年の輸入終結を目標に、2022年はLNGを500億m³、パイプラインガスを100億m³それぞれ削減する方針を示した。LNGはカタール、米国、エジプト、西アフリカ等、パイプラインガスはアゼルバイジャン、アルジェリア、ノルウェーからの輸入で補填する。パイプライン経由で輸入しているロシア産天然ガスの一部をLNGで代替するため、液状のLNGを一旦貯蔵し、需要に応じて再ガス化しパイプに送り出すターミナルの整備が喫緊の課題である。国内にLNGターミナルを保有していないドイツでは、陸上基地よりも工期が短い浮体式LNG貯蔵再ガス化設備（FSRU）と複数のチャーター契約を結んだ。2022年12月、北海に面する北部ウィルヘルムスハーフェンにドイツで初めてとなるLNGの受け入れに必要な基地が完成、稼働が始まった。2023年7月、欧州委員会はドイツ北部ハンブルク近郊のブルンスビュッテルで計画される陸上液化天然ガスターミナルの建設・運営について、独政府による4,000万ユーロの国家補助を承認した。処理能力は年間年間100億立方メートルで、陸上のLNG基地の設置はドイツ国内初となる。ブルンスビュッテルは現在FSRUが稼働しているが、陸上LNG基地が完成する2026年以降、これに代わる恒久的なターミナルとして位置付けている。また、将来的にはグリーン水素の受け入れ基地に転用することを計画しており、2043年までに水素ターミナルに転換される見通しを示している。プロジェクトの投資総額は約13億ユーロが見込まれている。

③ クリーンエネルギー普及の加速

EUは「FF55」の枠組みで最終エネルギー消費ベースのエネルギーミックスに占める再生可能エネルギー比率の2030年目標を32%から40%に引き上げる改正案を欧州議会の産業・研究・エネルギー委員会（ITRE）で議論してきたが、「REPowerEU」ではこれを45%まで高める野心的な提案を行った（2020年のEU全体の再エネ比率は22.1%）。目標達成に向けて示された主な施策は次のとおりである。

- ・ 太陽光発電：太陽光発電システムは比較的短期間で設置可能であり、2025年までに320 GW、2030年までに600 GWの新設を目指す（2020年の設置容量は約138 GW）。これを支える政策としてEUは、「欧州ソーラールーフトップイニシアチブ⁴」を策定。新規・既存すべての公共・商業ビル（250 m²以上）については2027年まで、すべての新築一般住宅については2029年までにソーラーパネルの設置を義務付ける。
- ・ 風力発電：「REPowerEU」では2030年の風力発電能力を当初計画の427 GWから480 GWに引き上げる目標を発表した（2021年の導入量は192 GW）。同日、ドイツ、デンマーク、オランダ、ベルギーは北海サミットにおいて洋上風力およびグリーン水素に関する協力協定を締結した。4カ国は相互連携により洋上風力の発電容量を、2030年までに65 GW、2050年までに150 GWに拡大するという（2021年のEU域内洋上風力発電導入量は約15GW）。欧州広域にわたり洋上風力発電を電力系統と効率的に連系させるには、送配電網が強化されたインフラ整備が重要となる。洋上ハブ（洋上の交直変換所）に送電ケーブルを相互接続することで、欧州諸国に電力を供給するオフショアグリッドという構想が改めて注目されている。
- ・ 再生可能水素：2030年までの再生可能水素のEU域内生産目標を、「FF55」において設定された年間560万トンから約1,000万トンの約2倍に引き上げるとした。これに輸入で賄う1,000万トン（水素600万トン、アンモニア400万トン）を加えた合計2,000万トンを生産する体制を整える。目標レベルの水素

4 European Commission, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS EU Solar Energy Strategy”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3AFIN&qid=1653034500503> (2023年2月8日アクセス)

の生産量を得るために、2025年までに電解槽の製造能力を現行水準の約10倍となる17.5 GWまで高める必要性を指摘している⁵。またEUは欧州共通利益に適合する重要プロジェクト (IPCEI) で水素分野の研究開発および実用化のためのプロジェクト「IPCEI Hy2Tech⁶」を2022年7月に承認した。(1) 水素製技術造、(2) 燃料電池技術、(3) 貯蔵・輸送運搬技術、(4) 活用技術について多角的に支援する方針を示している。

- ・バイオメタン：2022年時点で35億m³のバイオメタン生産量を2030年に170億m³に増産することを「FF55」で示した。さらに「REPowerEU」で180億m³を追加し、合計350億m³に引き上げるとした。欧州バイオガス団体 (EBA) の報告書によると、バイオメタン原料と計画生産量の内訳は次のとおり。家畜の排泄物由来 (160億m³)、農作物残渣 (100億m³)、連作・二毛作として生産されるサイレージ (40億m³)、産業排水 (30億m³)、食品廃棄物 (20億m³)。EBAは800億ユーロの投資に加え、約5,000基の新規バイオメタンプラントの設置が目標達成のために必要性を説明している⁷。

原子力も含め再エネ技術の域内生産を支援するネットゼロ産業法案が2024年に合意され、公共調達における環境面での持続可能性への貢献と域外の特定国からの依存度を評価する強靱性への貢献が盛り込まれている。

EUで初となる経済安全保障戦略

欧州委員会は2023年6月に「経済安全保障戦略⁸」を発表した。同戦略の核心は、主に経済的依存から生じる可能性のあるリスクからEUを保護することである。経済安全保障上のリスク評価の対象として、①エネルギー安全保障を含むサプライチェーンの強靱性に対するリスク、②重要インフラの物理的及びサイバーセキュリティ上のリスク、③技術安全保障や技術流出に関するリスク、④経済的依存の武器化や経済的威圧のリスクを挙げている。そのうえで、加盟国と共同で経済安全保障リスクの特定と評価を実施し、対策として投資や輸出に対する制限などを強化する方針を示している。

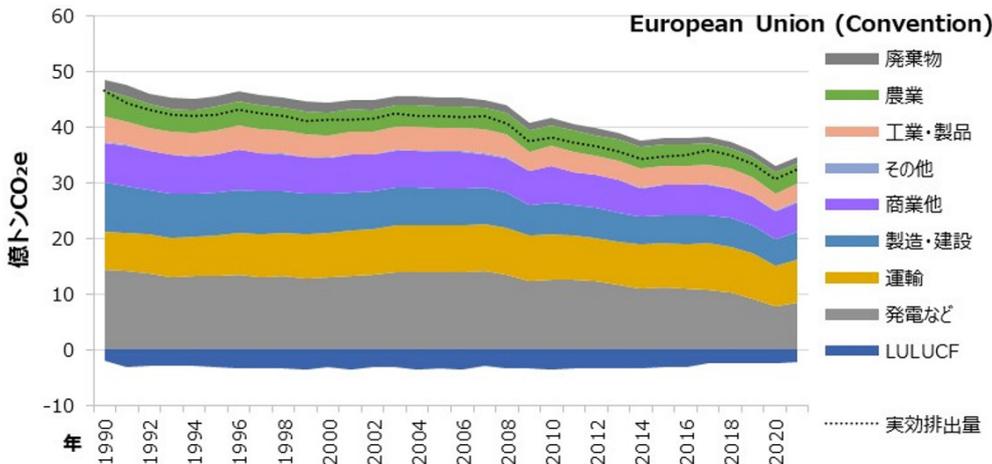
EUの温室効果ガス排出量推移と削減目標

これまでの取組により、2021年度のGHGs総排出量は基準年の1990年から28.6%減少して34.7億トンCO₂-eqであった。2016年から2021年の平均では1.0億トンCO₂-eq/年で減少している。2021年のパンデミックの影響からの回復で2021年はエネルギー起源のCO₂排出が増加している。陸域での吸収量 (LULUCF: 土地利用、土地利用変化及び林業) は排出量の約7%の実効的吸収があるが、森林の老化と伐採の増加により減少している。実効排出量は32.4億トンCO₂-eq/年。発生源は発電等のエネルギー部門が24%、運輸部門が23%、製造・建設部門が24%、商業他が15%、農業部門が11%となっている。

欧州気候法は2030年までに1990年比で55%以上の削減、2050年までの気候中立を定めている。2040

- 5 European Commission, “Hydrogen: Commission supports industry commitment to boost by tenfold electrolyser manufacturing capacities in the EU”, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2829 (2023年2月8日アクセス)
- 6 European Commission, “State Aid: Commission approves up to €5.4 billion of public support by fifteen Member States for an Important Project of Common European Interest in the hydrogen technology value chain”, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4544 (2023年2月8日アクセス)
- 7 European Biogas Association (EBA), “Commission announces groundbreaking biomethane target: ‘REPowerEU to cut dependence on Russian gas’”, <https://www.europeanbiogas.eu/commission-announces-groundbreaking-biomethane-target-repowerEU-to-cut-dependence-on-russian-gas/> (2023年2月8日アクセス)
- 8 EUROPEAN COMMISSION (EC), “JOINT COMMUNICATION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL AND THE COUNCIL ON ‘EUROPEAN ECONOMIC SECURITY STRATEGY’”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020> (2024年1月29日アクセス)

年に向けて90%の削減目標も2024年2月に示され、今後議論が進められる。



図表 1.2.4 (3) -1 欧州のGHGs排出量部門内訳の推移

(国連「Climate Change」のデータを元にCRDSにて作成)

環境行動計画

EUの環境政策の基本的方向性は環境行動計画（EAP）で定められている。EAPは4、5年ごとに見直されてきており、2020年までは第7次EAP（2014～20年）、2021年から2030年までは第8次EAPの期間とされている。第8次EAPでは以下に示す6つの優先目標が挙げられている。

- ① EUの2030年GHGs排出削減目標および2050年カーボンニュートラル目標の達成
- ② 気候変動に対する適応能力の強化、強靱性の強化、脆弱性の低減
- ③ 経済成長と資源利用・環境劣化の分離、循環型経済への移行の加速
- ④ 大気・水・土壌中の汚染物質除去、欧州市民の健康およびウェルビーイングの確保
- ⑤ 生物多様性の保護と回復、自然資本の増強
- ⑥ 生産・消費活動による環境および気候への影響緩和（特にエネルギー、産業、建物・インフラ、輸送、観光、国際貿易、食料システム分野）

欧州委員会は2022年7月に第8次EAPの進捗を把握するための主要指標を公表した（図表1.2.4（3）-2）。以下に示す主要指標に基づき毎年進捗を把握するとともに、2024年と2029年には実行状況に関する本格的な調査も実施予定である。

図表 1.2.4 (3) -2 第8次環境行動計画のモニタリング主要指標

カテゴリ	指標	ターゲット
気候変動緩和	温室効果ガス (GHGs) 排出量	2030年までに1990年比で55%以上削減
	土地利用 (LULUCF) に伴うGHGs 排出量	土地利用セクターで2030年までに3.1億トンCO ₂ のGHGs除去
気候変動適応	経済的損失 (金額)	気象・気候関連事象による経済的損失を低減
	生態系に対する干ばつの影響 (面積)	生態系のレジリエンス：生産性低下や干ばつ影響のある面積の減少
循環型経済	原材料消費量	マテリアル・フットプリント：域内消費される製品の生産に係る原材料消費の低減
	廃棄物総量	廃棄物総量の低減
汚染・有害物質ゼロ	PM _{2.5} ばく露による早死 (数)	2030年までに大気汚染による早死を55%減少
	地下水中の硝酸塩濃度	地下水への養分流出の50%以上削減
生物多様性・生態系	保護地域の割合 (%)	2030年までにEU域内の土地の30%、EU海域内の30%以上を法的に保護
	Common bird index (指数)	鳥類個体群の減少抑止
	森林接続性	森林間の接続性向上による生態学的回廊の増強・気候変動に対する強靱性向上
域内での生産・消費による環境および気候への影響	エネルギー消費	2030年までに2020年比で少なくとも13%削減
	最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー割合	2030年までに少なくとも45%まで拡大
	資源の循環利用率	2030年までに2020年比で2倍に
	内陸輸送におけるバス・電車のシェア	集団輸送のシェアの拡大
	有機農業の実施面積割合	2030年までに域内農地の25%を有機農業に
環境整備	税収に占める環境税割合	環境税の割合拡大
	化石燃料向け補助金	補助金の低減
	環境保護向け支出	家庭・産業・政府による汚染やその他の環境悪化の防止、削減、排除のための支出の増加
	グリーンボンド	グリーンボンドの発行増加
	エコ・イノベーション指数	エコ・イノベーションの促進
プラネタリー・バウンダリー内でのより良い生活	土地の取り込み (land take)	人工的な土地開発による農地・森林・自然もしくは半自然な土地の損失を2050年までに停止
	水開発指標 (WEI+)	水不足の低減
	消費フットプリント	EUにおける消費フットプリントの低減
	環境配慮製品・サービス分野の雇用者数および付加価値	グリーン経済、グリーン雇用のシェア増大
	公正性	環境的不平等の低減、公正な移行

なおEUは海洋・漁業に関しては関連政策を別途体系化させている。後段でも示すように Horizon Europe の5つのミッションエリアの1つにも海洋を挙げており、重視する分野の1つである。近年は、様々な海洋資源の持続的な利用を通じた「ブルー成長」に力点が置かれている。2021年5月には持続可能なブルーエコノ

ミー実現に向けたアプローチに関する政策文書が公表された。同文書は網羅的な行動計画ではなく、関連分野が一貫性を以てブルーエコノミーに取り組み、共存し、相乗効果を発揮できるようにするための各種重要事項を記した文書と位置付けられている。また同文書には研究・イノベーションやスキル向上への投資の必要性にも言及している。

循環型経済の推進

EUは「循環型経済」への移行を目指して2015年12月に「循環型経済行動計画」(CEAP)を公表した。CEAPには生産、消費、廃棄物管理、再資源化に係る54項目のアクションがまとめられた。これに基づき一連の政策パッケージが打ち出され、ほぼ全ての項目が2019年までに行動に移された。

欧州グリーンディール(EGD)が策定された翌年の2020年には新しいCEAPが公表された。新しいCEAPは循環型経済に関する政策を一層推進することを主目的としているが、同時にEGDの主要な構成要素にも位置付けられている。主要な柱は次の4つである。

- ①製品政策に関する法案を作成し、既に発効しているエネルギー関連製品を対象にしたエコデザイン指令を他製品へ拡大・強化する。これを通じてEU域内に上市される製品の長寿命化・再利用・修理・リサイクル・リサイクル材の使用等を促進する。
- ②製品の耐久性や修理関連の情報へのアクセスを確保することによる消費者の循環型経済への参加の促進、グリーンウォッシング等からの消費者の保護強化、グリーン公共調達等の促進等を通じて消費段階の対策を強化する。
- ③特定の資源集約型産業分野における個別の具体施策を打ち出すことを通じて産業部門における循環型経済への移行を加速させる：電子・情報通信機器、バッテリーおよび車両、包装、プラスチック、繊維、建設・建物、食料・水利用。
- ④特定の工業製品(バッテリー、包装、車、電子機器)に関する法律の改正、拡大生産者責任の普及・拡大、再資源化における有害物質の区別・除去のための手法や仕組みの構築、域外への廃棄物輸出の最小化等を通じて廃棄物を削減する。

2020年9月に発表された「循環型経済に関する戦略的研究革新アジェンダ(SRIA)」は、ホライゾン2020下で実施されたCICERONEプロジェクトで作成された研究アジェンダ。EUにおける研究・イノベーション資金の方向付けを支援するものと位置付けられている。4つの共同プログラム、「循環型都市」、「循環型産業」、「クロージング・ザ・ループ」、「領土と海の資源効率化」の形成を通じて、循環型経済アクションプランを補完することを目的としている。これらのプログラムでは、バイオマス、バイオテクノロジー、化学品、建設・解体、食品、プラスチック、原材料、廃棄物、水などの分野がイノベーションの優先分野として設定されている。SRIAは国、地域、地方の資金提供機関(研究・イノベーションプログラムの所有者)を対象としており、相互の連携・協力を促進するための枠組みとしての役割を果たすことを目的としている。

農地や森林への炭素固定

EGDの下にある「Farm to Fork戦略」は、損失や廃棄物を減らし、農薬や肥料の使用を最小限に抑え、低負荷の農法を促進することで、食料システムの持続可能性を向上させることを目的としている。この戦略では農家や森林経営者にとっての炭素隔離の重要性が強調されており、大気中のCO₂を除去する農法によって共通農業政策(CAP)やカーボンマーケットのような官民のイニシアチブによる報酬を受けるビジネスモデルなどが示されている。

欧州気候協定(ECP)の下で行われている新しい炭素農業イニシアチブは、この新しいビジネスモデルを推進し、農家に新たな収入源を提供し、他のセクターのフードチェーンの脱炭素化を支援するものである。

ECPは2020年に導入されたイニシアチブで、市民を気候行動に参加させることにより脱炭素化を追求する上でのコミュニティの役割を育成することを目指す。この協定は、国、地域、地方自治体から企業、組合、市民社会組織、教育機関、研究・イノベーション組織、消費者団体、個人に至るまでの人々や組織に情報を提供し、協力を拡大することを目的としている。

前述の循環経済活動計画（CEAP）は、生態系の回復、森林保護、植林、持続可能な森林管理、炭素農法による炭素隔離、あるいは循環性の向上に基づく炭素の再利用と貯蔵を通じた炭素隔離（例えば木材建築における長期貯蔵や建築材料における鉱物化）についても言及している。この計画に基づき、炭素排出の真正性を監視・検証するため、強固で透明性のある炭素会計に基づき炭素排出を認証するための新たな規制の枠組みが開発される予定である。また農業分野では従来型の農業からカーボンファーム（もしくは再生農業、regenerative agriculture）に移行しやすくするための法制化を進めている。これは、土壌中の有機物を増やすことで土壌の劣化を最小限に抑え、更に大気中の炭素を吸収しやすくするという多面的な効果を持つ農業の確立を目指すことが狙いである。

欧州委員会では、2022年11月に炭素除去の認証枠組みの導入に関する規則案が発表され、炭素除去を目的とした行動の基準などが示された。この規制案は今後も議論が続く予定である。

「2030年生物多様性戦略」の概要、およびその後の動向

「2030年のための生物多様性戦略」では、今後10年間の自然生態系と生物多様性の保全と回復のための重要な戦略が概説されている。この戦略では、2021年までにヨーロッパの陸と海の30%以上の保護区を設定し、法的拘束力のある自然回復目標を設定するとしている（現在は陸海それぞれ26%と11%）。自然のプロセスを乱さないための厳格な保護の対象は、保護地域の3分の1にもなる（すなわちEUの陸海の10%ずつ）。その他には、農地での有機農業や生物多様性に富んだ景観の実現、ミツバチなどの花粉媒介者の減少の回避、農薬の使用および有害性の半減、25,000km以上の河川の自由な流れの回復、30億本の植樹などを目指すとしている。EU加盟国において、鳥類およびその生息地についての指令をさらに強化することを通じて農林水産業、地域開発、貿易などの政策に生物多様性保全を効果的に組み込もうとするなど、自然資本の重要性が注目されている。

2021年7月には生物多様性戦略を基にして更新版「EU森林戦略」が公表された。森林戦略は欧州グリーンディールならびにFit for 55政策の一環と位置付けられており、木材利用製品の長寿命化、バイオエネルギー向け木材資源の持続可能な利用の確保、気候変動適応や強靱性向上のための森林管理強化、30億本の植樹等が目標として掲げられた。このうちエネルギー利用に関しては、木材市場を不当にゆがめることならびに生物多様性への影響を最小限に抑える必要性を強調している。森林バイオマスのエネルギー利用がカーボンニュートラルか否かについては以前から議論があった。そのような中で欧州委員会から委託を受けた共同研究センター（JRC）が調査を実施し、2021年に報告書を公表した。報告書では大半のケースにおいて森林バイオマスのエネルギー利用はカーボンニュートラルではないかもしくは生物多様性に対するリスクがあると評価された。また域内の木材バイオマス利用が過去20年間で増加傾向（約20%増）にあり、その背景にはバイオエネルギーとしての利用の増加があると指摘された。これらを受けて再生可能エネルギー指令は再度改正が検討され、エネルギー向けバイオマスの持続可能性基準強化や適用範囲の拡大等が議論されたが、結果的にはその点での変更は行われなかったと伝えられている⁹。

9 自然エネルギー財団 連載コラム（2022年9月28日）相川高信「欧州議会REDIIIを可決：再エネとしての森林バイオマスは現状比率を維持へ」
<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20220928.php>（2023年3月2日アクセス）

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

科学技術イノベーションの分野には、エネルギーに関する計画である「SETプラン」、全分野を含めた研究・イノベーション枠組み「Horizon Europe」、原子力研究のための「Euratom」などの各種イニシアチブがある。具体的なプログラムについては次節で触れるため、ここではSETプランに関して記載する。

SETプラン

欧州委員会が2007年11月に発表した欧州戦略的エネルギー技術計画「SETプラン (Strategic Energy Technologies plan)」は10年間のEUのエネルギーおよび気候政策を推進するために必要な技術戦略の柱を規定したものである。2015年9月には、新SETプラン (Integrated Strategic Energy Technology plan) が採択された。従来のSETプランの下で再生可能エネルギー導入やエネルギー効率向上が進んだことを踏まえ、新SETプランはその加速を狙った。研究イノベーション (R&I) の重点アクションとして10領域が設定されている。10領域とは、再生可能技術をエネルギーシステムに統合する、技術のコスト削減、消費者向けの新しい技術とサービス、エネルギーシステムの弾力性と安全性、建築物のための新素材と新技術、産業界のエネルギー効率化、グローバルな電池分野とe-モビリティにおける競争力、再生可能燃料とバイオエネルギー、炭素回収・貯留、原子力安全である。

2021年11月に13の実施作業部会 (IWG) に新たに高圧直流送電 (HVDC) が加わった。実施作業部会は相互に連携し、徐々に連携を強める計画になっている。2021年に刊行された2020～2021年の評価報告書によると、改訂済みIWGは電池、CCUS、深部地熱、産業界のエネルギー効率、集光型太陽熱発電、エネルギーシステム、海洋エネルギーである。また改訂中のIWGは洋上風力、再生可能燃料・バイオエネルギー、太陽光発電である。既に設定されている13のIWGには150件の研究・イノベーション活動がある。2018年に287億ユーロ (83%が民間から、12%がEU加盟国から、5%がEUから) 拠出されている。

2023年10月には欧州グリーン・ディール、REPowerEU、グリーン・ディール産業計画といった現行の主要政策とSETプランとの整合を図るための改訂が公表された。

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

Horizon Europe

Horizon Europe (2021～2027年) はHorizon2020 (2014～2020年) に続くEU全体の研究・イノベーション枠組み計画であり、第一の柱「卓越した科学」、第二の柱「グローバルチャレンジ・欧州の産業競争力」、第三の柱「イノベティブ・ヨーロッパ」、および「参加拡大と欧州研究圏 (ERA) 強化」から構成される。現欧州委員会の最優先課題は気候変動対策であり、7年間の予算約955億ユーロのうち35% (約334億ユーロ) を気候変動対策に充てる方針としている。うち2023-2024年の予算としては、56億7,000万ユーロ (42%以上) が気候変動関連、16億7,000万ユーロが生物多様関連に充てられる。

第二の柱「グローバルチャレンジ・欧州の産業競争力」では6つの社会的課題群 (クラスター) が設定されており、それらは「健康」、「文化、創造性、包摂的な社会」、「社会のための市民の安全」、「デジタル、産業、宇宙」、「気候、エネルギー、モビリティ」、「食料、生物経済、資源、農業、環境」である。

Horizon Europeの特徴のひとつに、社会課題の解決を目的とした「ミッション」が新たに導入されたことが挙げられる。第二の柱で掲げる社会的課題の解決に向けては、社会の関心が高い複数の地球規模課題に横串をさすようなミッション志向のアプローチが必要であるとされ、インパクト重視のミッションが策定された。2021年9月に、各ミッションエリアにおいて2030年までに達成すべきミッションが決定した。Horizon Europeの予算から2021～2023年の3年間で約17億7,000万ユーロ、2023～2024年で6億ユーロ以上がミッションに充てられる (図表1.2.4 (3) -3)。

図表1.2.4 (3) -3 Horizon Europeの5つのミッションと3年間 (2021～2023年) の予算

ミッションエリア		2030年までのミッション	予算 (€)
1	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	3億6,836万
2	がん	予防、治療、そして家族を含むがん患者がより長くより良く生きることを通じ、300万人以上の人々の生活を向上させる	3億7,820万
3	健全な海洋・沿岸・内陸水域	海洋と水の回復	3億4,416万
4	気候中立・スマートシティ	100の気候中立・スマートシティの実現	3億5,929万
5	健全な土壌・食料	欧州のための土壌計画：健全な土壌に向けた移行を主導する100のりビングラボとライトハウス（実証拠点）の創出	3億2,000万

例えば「気候中立・スマートシティ」においては、27加盟国の100都市が2030年までに気候中立でスマートな都市を目指す。選抜された100都市は欧州委員会とそれぞれ気候都市契約を締結し、エネルギー、建物、廃棄物管理、輸送などのすべてのセクターにわたる気候中立計画を立案し、クリーンなモビリティ、エネルギー効率、グリーンな都市計画に取り組む。NetZeroCitiesが運営する専用のミッション・プラットフォームから支援を受け、Horizon Europeと他のEUプログラムとの相乗効果も期待できる。

欧州原子力共同体 (Euratom)

Euratom (欧州原子力共同体) とは、原子力の平和的利用を目的として原子力の共同開発と管理のために1957年のローマ条約の下で設立された国際組織である。また、原子力分野の独自の共同研究センター (JRC) も持つ。Euratom規則の下で、核融合、核分裂、安全、放射線防護の研究とJRC活動がある。Euratomの新しい計画は2021年から2027年まで実施され、Horizon Europeが配分する予算は、計画期間中に合計19億8,100万ユーロが配分される予定である¹⁰。

国際熱核融合実験炉 (ITER)

ITERは、エネルギー源としての核融合の実現可能性試験を目的とした実験炉を建設・運転する世界初の長期プロジェクトである。2025年の運転開始を目指し、欧州・米国・ロシア・韓国・中国・インド・日本の国際協力により、進められている。2021年から2027年までで60億ユーロが割り当てられる。

環境・気候行動プログラム (LIFE)

環境および気候変動対策のためのプログラムで1992年より実施されている。2021年から2027年までのLIFEプログラムは、環境・資源効率化、自然と生物多様性、環境ガバナンスと情報、気候変動の緩和、適応、気候ガバナンスと情報に分かれており、総額54億ユーロが拠出される予定である。

欧州研究インフラ戦略フレームワーク ESFRI

欧州研究インフラ戦略フォーラム (ESFRI) は、欧州における科学的統合を発展させ、国際的なアウトリー

10 European Commission, Multiannual Financial Framework 2021-2027 (in commitments) - Current prices, https://commission.europa.eu/publications/multiannual-financial-framework-2021-2027-commitments_en (2023年3月16日アクセス)

チを強化するための戦略的ツールとして、欧州理事会の要請を受けて2002年に設立された。質の高い研究インフラへのオープンアクセスを通じて欧州の研究者の活動の質的向上を支援すると同時に、世界中の研究者を惹きつけることを目的としている。

主な活動の一つにESFRIロードマップの作成・更新がある。ロードマップに掲載されているインフラプロジェクトの継続的なフォローアップ、優先順位付け総合評価などを行う。ロードマップ2021が最新であり、分野毎の研究インフラのランドスケープ分析を行い、EUの優先事項に関する研究促進のため4つのランドマーク（実装済みの研究インフラ）と11の新規プロジェクトが追加され、22のプロジェクトと41のランドマークが含まれている。例えばエネルギー分野では海洋再生可能エネルギー研究インフラのMARINERG-iや環境分野では欧州の長期生態系・社会生態系研究インフラのeLTERなどのプロジェクトがある。研究インフラ間の効果的な相互接続により、欧州研究インフラエコシステムを強化している。

(4) ドイツ

■気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2019.12	連邦議会	連邦気候保護法 (Climate Protection Law)	2050	ドイツ及び欧州全体の気候保護に関する目標（主に2050年までにカーボンニュートラル）を達成するための法律。炭素税を導入。2021年にはCO ₂ 1トンあたり25ユーロに設定し、以降毎年30ユーロ、35ユーロ、45ユーロに順次引き上げられ、2025年には55ユーロとなる計画。
2020.6	連邦経済エネルギー省 (BMWi)	国家エネルギー・気候変動計画 (National Energy and Climate Plan、NECP)		EU全体のGHGs排出目標達成に向けて、EUが加盟国に義務付けている2030年までの国家エネルギー・気候変動計画 (NECP) の提出への対応。脱炭素化、エネルギー効率性、安全保障、研究開発、革新と競争力の観点から検討。
2020.6	連邦議会	未来パッケージ		1,300億ユーロ規模の経済刺激策の1つ。気候変動への対応としてモビリティとデジタル化を重視。水素関連市場の立ち上げのための予算90億ユーロも確保。
2020.6	BMWi	国家水素戦略 (NWS)		水素の製造・活用拡大を目指し、(1) エネルギー転換の中核要素としての水素技術の確立、(2) 水素技術の市場拡大に向けた規制要件の明確化、(3) 革新的な水素技術に関連する研究開発と技術輸出の促進を通じた国内企業の競争力強化、(4) 製造過程でCO ₂ を発生させない水素とそれを用いた製品の供給量確保。
2020.7	連邦議会	脱石炭法、石炭地域における構造強化法	2038	2038年までに石炭火力発電を段階的に廃止する道筋を明確化。解雇となる高齢労働者への手当支給、経済的被害を受ける地域における新たな雇用創出や経済構造多様化を支援するための予算の確保も含んでいる。
2021.6	連邦議会	改正気候保護法	2045	2019年の気候保護法に対する提訴がなされ、連邦裁判所は一部違憲の判決を下した。これを機に法改正が行われ、気候中立達成を2050年から5年前倒して2045年とし、2020年代と2030年代の年間GHGs削減および許容排出量の目標を新たに定めた。2030年までにGHGs削減目標を1990年比65%減に引き上げ（改正前55%減）、2040年までに88%減の目標を追加。部門ごとの目標も設定。
2021.6	連邦政府	気候保護緊急プログラム2022	2025	改正気候保護法の目標引き上げに伴い、追加の施策及び投資を定めた。2022年から2025年にかけて建築、交通、製造業、土地利用、農業、エネルギー産業などの分野に総額80億ユーロ以上を拠出する見込み。
2022.4	連邦経済気候保護省 (BMWK)	イースター・パッケージ	2045	再生可能エネルギー法 (EEG) はじめ関連法の改正法案をパッケージとして1つにまとめたもの。2030年までに電力消費量の80%以上を再エネとし、2035年以降は国内で発電・消費される電力部門のほとんどを気候中立とするとしている。

2022.5	連邦政府	エネルギー確保法 (改正)		石油危機を背景に1975年に施行された法に危機予防策を強化。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。エネルギー供給を担う基幹企業の業務遂行が困難となった場合、一時的に信託管理下に置くことや収用可能などの内容が含まれる。
2023.1	BMWK	改正再生可能エネルギー法 (EEG2023)	2030	総電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合目標をこれまでの65%から80%に引き上げ。総予算280億ユーロを各種支援制度に充てる計画を含む。また「再生可能エネルギーの特別な意義」に関する条文が新設され、再生可能エネルギー関連設備の建設と運営は「最優先の公益であり、公共の安全に資するものである」と記された。
2023.5	BMWK	太陽光発電戦略	2030	各種の既存措置を補う形で太陽光発電の導入拡大加速を目指す戦略。地上設置拡大に向けて営農型太陽光発電や生物多様性太陽光発電の推進を提案する等、重要な行動分野および措置を提案。またこれらは「ソーラーパッケージ」を通じて実施されるべきと提案。
2023.7	BMWK	国家水素戦略 (NWS2023)	2030	2020年の国家水素戦略を改定。水電解能力の倍増など、2030年の達成目標値が引き上げられている。水素の海外からの輸入、インフラ整備、産業用途への展開などの内容が含まれる。
2023.8	BMWK	ソーラーパッケージ	2030	太陽光発電戦略を実行するための複数の法改正をまとめた政策パッケージ。地方および都市部における太陽光発電の拡大加速、土地の二重利用の可能化、PV設備設置の手続き簡易化等を進める。
2023.9	BMWK	エネルギー効率化法 (EnEfG: Energieeffizienzgesetz)	2030	エネルギー効率を高めるための分野横断的な法的枠組みを策定。
2023.10	連邦政府	気候保護プログラム2023	2030	2030年までに全排出量の約3分の2削減を実現するため産業、建物、運輸、農業の部門別施策を策定。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2015.10	連邦環境庁 (UBA)	行動計画「積極的自然保護2020」	2020	2007年策定の生物多様性国家戦略の追加的措置。生物多様性の維持と向上、持続可能な利用を目的に10分野で40の具体的な施策を提示。
2016.11	UBA	第2次エネルギー資源効率プログラム (ProgRess II)	2020	資源保護の基本・行動指針を明確に打ち出した資源効率化プログラム (ProgRess、2012年～) の更新版。特に市場インセンティブや経済・社会における自主的取り組みの促進を強化。

2020.6	UBA	第3次エネルギー資源効率プログラム (ProgRess III)	2024	資源効率の重要性をより強調したProgRess IIの更新版。DXの可能性とリスクの分析、輸送の検討、今後必要なアクションの優先順位について明示。
2021.3	連邦首相府	持続可能な開発戦略	2030	2016年に策定したSDGs推進戦略の改訂版にあたる。
2021.9	連邦食糧農業省 (BMEL)	森林戦略2050	2050	気候保護に中核的な役割を果たす森林を再生させ、生物の多様性を維持するとともに、林業の活性化、保養の場としての森林の環境改善などを図る。これまでの最大規模の15億ユーロを投じる。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2018.10	BMWい、連邦教育研究省 (BMBF)、BMEL	第7次エネルギー研究プログラム	2018~2022	エネルギー産業の技術革新を促進することに重点を置いて、2022年までに研究およびイノベーションへの支出を更に45%増加させる。連邦経済気候保護省 (BMWK) のエネルギー転換実地ラボ、ドイツ教育研究省 (BMBF) の水素プロジェクト、連邦食糧農業省 (BMEL) のバイオマスエネルギーなどが行われている。
2019.6	BMBF	第4期研究・イノベーション協定 (Fourth Pact for Research and Innovation)	2030	連邦政府と州政府による研究・イノベーション協定。5つの目標を軸に、ドイツの研究競争力向上を図る：1) ダイナミックな開発の促進、2) 研究に関するシステム内のネットワークの強化、3) 研究のためのインフラの改善、4) 産業界や社会との交流の強化、5) 研究のための知の結集。連邦政府と州政府は170億ユーロの資金に加えて毎年3%の増額を予定。
2023.2	BMBF	未来戦略		シヨルツ新政権に代わり新しい科学技術・イノベーション政策として「未来戦略」を発表。前政権のハイテク戦略からの大きな方針転換はなく、引き続き省庁横断的に、社会的課題の解決に向けたミッション志向型イノベーション政策を推進する。総研究開発費は対GDP比3.5%を達成する。
2023.10	BMWK	第8次エネルギー研究プログラム		エネルギー転換のためのミッション志向型イノベーション政策としてエネルギーシステム、熱の転換、電力の転換、水素、成果の移行を柱とする。

1.環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス (新政権の組織再編)

2005年から16年間首相を務めたアンゲラ・メルケル氏に代わり2021年12月、ドイツ連邦議会はオラフ・シヨルツ氏を新首相に選出した。新政権発足に伴い、エネルギー政策全般を所管する連邦経済エネルギー省 (BMWい) は経済気候保護省 (BMWK) に省名を変更、担当大臣には連立政権を組む緑の党からロベルト・ハーベック氏が就任した。BMWKは連邦政府の支出する研究開発予算の約20%を管理し、科学技術・イノベーション政策において重要な省となっている。

環境、自然保護、原子力安全政策の所管は連邦環境・自然保護・原子力安全省 (BMU) であったが、新政権発足後に消費者保護を組み込む再編がなされ、連邦環境・自然保護・原子力安全・消費者保護省 (BMUV) となった。BMWKと同じく緑の党所属のステフィ・レムケ氏が大臣に就いた。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

新政権のエネルギー政策方針

シヨルツ政権では緑の党が連立政権に加わったことを受け、環境を重視した政策の促進、とりわけ気候変動 (地球温暖化) 対策への取り組みが、これまで以上に加速することが予測される。社会民主党 (SPD)、緑の党、自由民主党 (FDP) の3党間で2021年11月にまとめた連立協定には環境に関して野心的な政策が列記された。その概要は以下の通り。連立協定は翌年策定されたエネルギー政策パッケージである「イースター・パッケージ」(後述)の土台となり、法制化されることとなる。

- ・火力発電所 (石炭・褐炭) の段階的廃止を2038年から2030年への前倒しを目指す。
- ・2030年に年間総電力需要680~750 TWhのうち80%を再生可能エネルギーとする。
- ・2030年までに太陽光発電容量を200 GWまで拡大する。
- ・水素など気候中立的ガスを対象とした発電設備を建設する。
- ・2030年までに水素の製造で10 GWの電解容量を実現する。
- ・社会的公平性のため再生可能エネルギー賦課金を2023年から廃止する。

イースター・パッケージ

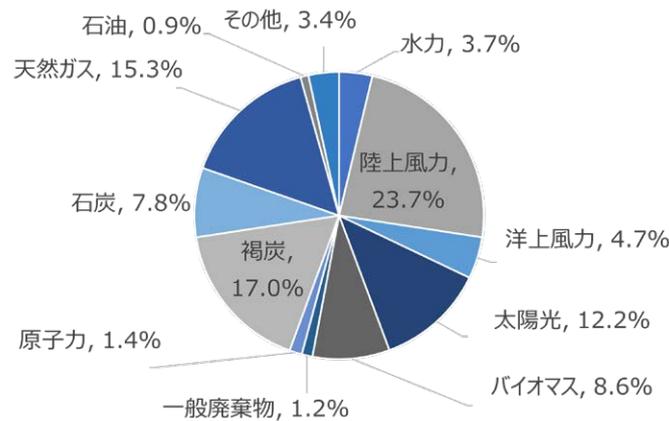
ドイツ連邦政府は2022年4月に複数のエネルギー政策関連法の改正法案をまとめた「イースター・パッケージ¹」を閣議決定した。これは再生可能エネルギー法 (EEG)、海上風力発電法 (WindSeeG)、エネルギー事業法 (EnWG)、連邦要求計画法 (BBPlG)、系統拡張加速化法 (NABEG) などの関連法の改正法案をパッケージとして1つにまとめたエネルギー戦略である。EEGは2021年に前政権下でも改正されているが、このときに目標に設定された2030年までの国内の総電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合は65%であった (2021年の再生可能エネルギー割合は42%)²。一方、イースター・パッケージに基づく改正案では、同割合を80%以上に引き上げた。さらに2035年以降、国内で発電・消費される電力部門のほとんどを気候中立とするという野心的な目標を掲げた。目標達成に向けた主な施策は次のとおりである。①風力・太陽光発電の入札量、用地の拡大、②バイオマス発電の利用活性化、③地域コミュニティ電力の投資促進、④水素貯蔵、蓄電に関する助成拡大、⑤エネルギー・気候基金を通じた消費者の負担軽減、⑥再エネの系統連系を加速させるための行政手続きの簡略化、など多角的な政策を講じる。①では2030年時の設備導入量として陸上風力115 GW (2021年時は56.2 GW)、洋上風力30 GW (同7.7 GW)、太陽光215 GW (同58.9 GW) の容量確保を目指すとしている。

1 Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action (BMWK), "Overview of the Easter Package", https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/Energy/0406_ueberblickspapier_osterpaket_en.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (2023年2月8日アクセス)

2 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), "Erneuerbare Energien deckten im Jahr 2021 rund 42 Prozent des Stromverbrauchs", <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/erneuerbare-energien-deckten-im-jahr-2021-rund-42-prozent-des-stromverbrauchs/> (2023年2月8日アクセス)

エネルギー安全保障³

2021年のドイツの電源構成を図表1.2.4 (4) -1に示す⁴。ドイツの電力供給は石炭、風力、天然ガス、原子力、バイオマス、太陽光など多様な電源がそれぞれ一定程度の割合を占めることによって支えられていることが分かる。カーボンニュートラルに向けて石炭火力発電の割合を下げる一方、風力発電や太陽光発電など再生可能エネルギーの割合を上げていくことがエネルギー政策の基幹である。



図表1.2.4 (4) -1 ドイツの電源構成 (2023年)
 (「エネルギー供給 2023 - 年次報告」 最新版をもとにCRDSにて作成)

化石燃料の中でGHGs排出量が最も少ない天然ガスはトランジションエネルギーとして重要な役割を果たすほか、ドイツの冬期の暖房の燃料として欠かせない。天然ガスの国別輸入量は、かつてはロシアが最も多く、ノルウェー、オランダと続いており、ドイツとロシア間には海底天然ガスパイプラインシステム「ノルドストリーム」が敷設され、大容量の天然ガスを輸送していた⁵。しかしながら、2022年2月に勃発したロシアによるウクライナ侵攻は、ロシア産の化石燃料に依存してきたドイツのエネルギー安全保障や政策に重大な転換を促した。ドイツを含む欧州連合 (EU) は2022年5月、ロシア産の化石燃料からの脱却とGHGs排出削減の両立を目標に掲げた政策文書「REPowerEU⁶」を発表した。

EUの枠組みによる共通的な戦略に加え、エネルギー安全保障の確保に向け各国が独自の政策を打ち出した。

3 Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action (BMWK), “Energy security progress report”, https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/Energie/fortschrittsbericht-energiesicherheit-layout-english.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (2023年2月8日アクセス)

4 Die Energieversorgung 2023 - Jahresbericht des BDEW - UPDATE (BDEW), <https://www.bdew.de/service/publikationen/jahresbericht-energieversorgung/> (2024年6月アクセス)

5 Bundesministerium für wirtschaft und klimaschutz, “Erdgasversorgung in Deutschland”, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/gas-erdgasversorgung-in-deutschland.html#:~:text=Neben%20der%20inl%C3%A4ndischen%20Produktion%20wird,von%20Russland%20mit%202022%20Prozent> (2024年2月20日アクセス)

6 European Commission, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483> (2023年2月8日アクセス)

ドイツでは、石油危機を背景に1975年に施行された「エネルギー確保法⁷」の法改正案が連邦議会に提出され2022年5月に可決、施行された。改正案ではエネルギーの基幹インフラ運営に関わる企業が業務を遂行できなくなり、エネルギーの安定供給に問題を生じる恐れがある場合には、その企業を一時的に信託管理下に置くことを可能にするとしている。エネルギー安全保障の確保において、最終手段として法規命令により当該企業を収用できるようになる。ガス輸入量の大幅な減少が確認されるなどの緊急時には、供給側は需要側にガスの価格を適切に調整し、提供・割当てを可能にする規定が追加された。また、天然ガスのデジタルプラットフォームに関する規定が設けられた。これは、製造業者やガス取引業者をプラットフォームに登録させ、ガスの購入量や消費量などに関するデータを管理するものである。エネルギー使用量を削減できる部分や方法を把握することで、緊急時にガスの節約や操業の停止に関わる判断を行えるようになる。

ロシアからの天然ガスの段階的な輸入の廃止に向けて、ドイツは液化天然ガス（LNG）への転換を進めている。LNGは米国やカタールなど複数国から調達する計画だが、国外から船舶により輸送されてきたLNGを受け入れ、貯蔵し需要に応じて再ガス化しパイプラインで出荷するLNGターミナルの設置が急務となる。国内にLNGターミナルを保有していないドイツでは、陸上基地よりも工期が短い浮体式LNG貯蔵再ガス化設備（FSRU）と複数のチャーター契約を結んだ。2022年12月には北海に面する北部ウィルヘルムスハーフェンにドイツで初めてとなるLNGの受け入れに必要な基地が完成、稼働が始まった。

脱原子力政策をとるドイツでは2022年9月の段階で3基の原子力発電所が運転を続けているが、原子力法上の閉鎖期限を迎え、同年末までに脱原子力が完了する予定であった。しかしながら冬の電力安定へ非常用の予備電源として活用することを目的とし、同年10月ドイツ連邦政府は原子力法の改正案を閣議決定した⁸。本改正案は同年11月にドイツ連邦議会（下院）、連邦参議院（上院）共に賛成多数で可決、承認された。これにより、「イザール原子力発電所2号機」と「ネッカーベストハイム原子力発電所2号機」、「エムスラント原子力発電所」の原子力発電所3基の稼働を2023年4月15日まで延長する決定を下した。その後、再延長は無く、同日をもって運転を停止、60年以上続いたドイツの原子力発電の歴史が幕を閉じた。2023年10-12月期の原子炉3基がドイツの総発電量に占める比率は約5%であった。ドイツ政府は発電電力量に占める再エネの割合を2030年に80%、2035年には100%にする目標のもと、クリーンエネルギー導入促進を図る。一方、欧州連合は2022年に脱炭素化に貢献するグリーンな投資対象として原子力発電を認めており、欧州全体でも足並みが揃っていない。ドイツおよび欧州におけるエネルギー政策については引き続き注視する必要がある。

石炭火力発電の段階的削減と廃止

2020年7月に「脱石炭法」と「石炭地域における構造強化法」の2法案が連邦議会（下院）と連邦参議院（上院）で可決された。これら法案では、石炭ベースの火力発電を2022年、2030年と段階的に廃止し、2038年には全廃するとしている。石炭発電所の設備容量は2017年の42.5 GWから、2022年までに30 GW、2030年には17 GWまで削減される予定である。ただし、2038年までに石炭火力発電所を廃止とする目標ではパリ協定の目標を達成するには不十分であるとの批判もある。現在のエネルギー対策のままでは2050年までに4°Cを超えると指摘されている。

旧炭鉱地帯への行政機関の移転による新規雇用、175件のプロジェクトが立ち上がり、77件163億ユー

7 Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action (BMWK), “Federal cabinet agrees amendment to the 1975 Energy Security of Supply Act - Update necessary to strengthen crisis preparedness”, <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2022/04/20220425-federal-cabinet-agrees-amendment-to-the-1975-energy-security-of-supply-act.html> (2023年2月8日アクセス)

8 Bundesregierung, “Energy supply security is key”, <https://www.bundesregierung.de/breg-en/news/nuclear-power-continued-operation-2135918> (2023年2月8日アクセス)

口の投資が承認された。また、2022年9月には鉱山地域にあるザクセン州のドイツ天体物理センターとザクセン＝アンハルト州の化学工場へのドイツ化学産業回復力のための22億ユーロの投資が発表されるなど将来に向けた着実な投資が進められている。石炭地域構造強化法は2年毎に効果を検証することが義務づけられており、2023年6月に最初の報告書⁹が出された。その報告書ではパンデミックと重なり継続調査が必要としているが、資金配分実績の不均一への対応などが指摘されている。

水素戦略の推進

ドイツは国家水素戦略¹⁰に沿って着実に実行している。ドイツの今後の水素需要をまかなうためには他国からの輸入が不可欠で、西アフリカ諸国経済共同体 (ECOWAS) 諸国、北アフリカ地域、中東地域、南アフリカ、オーストラリアなどに注目している。BMWKのハーベック大臣は2022年3月にアラブ首長国連邦(UAE)を訪問し、同国との間でグリーンな水素やアンモニアの輸送など4つのプロジェクトについて合意している。それに先立ちドイツ政府はグリーン水素などの輸入のコーディネーションを行う「H2Global」という財団を2021年5月に設立し、さらに子会社Hydrogen Intermediary Network Company GmbH (HINT)を設立して、まだ割高なグリーン水素の価格に対し、売り手と買い手の希望価格との差を補填し取引を成立させるCCfD (気候炭素差額決済契約) に似た役割を担わせている。そのため政府は9億ユーロの助成金を投じる。

欧州委員会はイノベーションの必要な重点産業への加盟国による共同支援の枠組み「欧州共通利益に適合する重要プロジェクト (IPCEI)」を設けているが、2022年7月に水素分野のプロジェクトが「IPCEI Hy2Tech」として承認された。ドイツ政府によれば、ドイツが関係する62件のプロジェクトが採択され、投資総額は330億ユーロ、これらのプロジェクトが成功すれば、2030年までのドイツ国内に2 GW以上の水電解設備 (国家戦略目標は5～10 GW) と全長1,700 kmの水素パイプラインの構築に貢献するとしている。

ドイツの温室効果ガス排出量推移と削減目標

2011年のEnergiewendeの下で2020年末までに温室効果ガス排出量を1990年比で40%削減する目標を設定していた。図1.2.4 (4) -2に示すように、2021年度の総排出量は7.6億トンCO₂-eqであり、1990年から39.2%の減少、2017年から2021年は平均0.24億トンCO₂-eq/年で減少している。土地利用変化や森林吸収では総排出量の約0.5%の吸収があるが、吸収量は微減している。発生源はエネルギー部門が32%、製造部門が25%、運輸部門が19%、商業等が16%、農業部門が7%となっている¹¹。

2020年時点では目標は達成されているが、パンデミックの影響から回復した、2021年は増加した。その後、環境活動家の提訴により一部違憲判決を受けた「連邦気候保護法」は2021年6月に改正され、2030年の気候目標が55%削減から65%に引き上げられるとともに、カーボンニュートラルの達成目標が2050年から2045年に繰り上げられた。2023年9月の予測レポート¹²では2045年までに温室効果ガスを実質的に中立

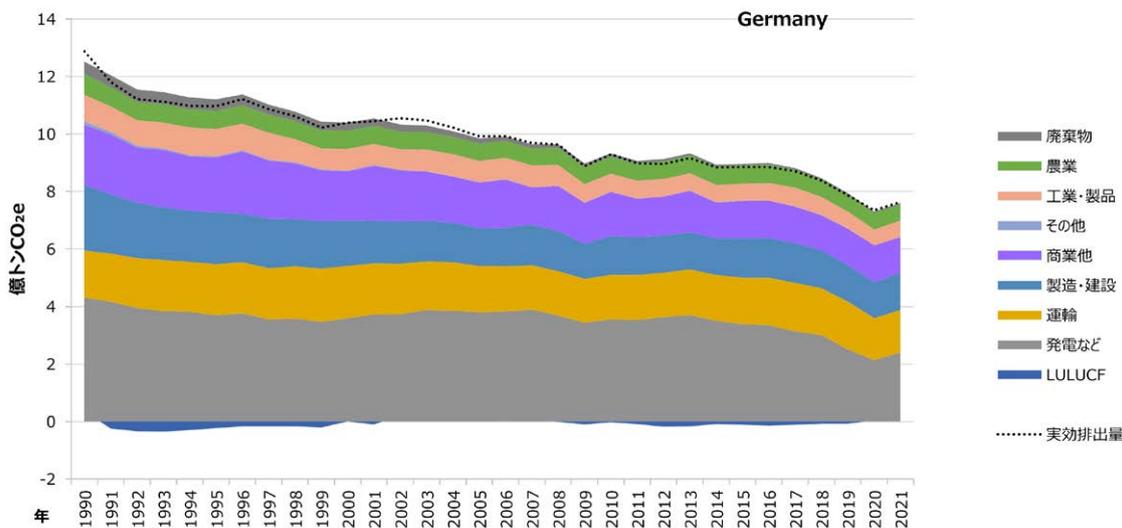
9 Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, “Erster Bericht über die Evaluierung des Investitionsgesetzes Kohleregionen (InvKG)”, https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/20230816-erster-bericht-evaluierung-invkg.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (2024年2月20日アクセス)

10 Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action (BMWK), “The National Hydrogen Strategy”, https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (2023年1月26日アクセス)

11 United Nations Climate Change, “GHG Profiles - Annex 1”, https://di.unfccc.int/ghg_profile_annex1 (2023年2月28日アクセス)

12 Umweltbundesamt, “Projektionsbericht 2023 für Deutschland”, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland> (2024年2月20日アクセス)

にするという目標は達成されないとしている。2024年1月のドイツ政府の発表では2022年の排出量は基準年から40%の削減となったことが報告された¹³。



図表 1.2.4 (4) -2 ドイツにおけるセクターごとの温室効果ガス排出量の推移

(国連「Climate Change」のデータを元にCRDS作成)

森林戦略 2050

2021年9月、連邦食糧農業大臣の Julia Klöckner氏によって、連邦省の国家森林戦略2050が発表された。新しい森林戦略2050は、ドイツの森林を温暖化していく気候に耐えられるようにしていくことを目的としており、ドイツの森林をそのまま維持しながら国の排出量のバランスを取るために、地球温暖化に適応させる必要があると述べられている。温暖な中央ヨーロッパの気候に備えて森林をより適切に保ち、それを常にモニタリングすることにより、生物多様性と生息地を保護する。木材の持続可能な利用を促進し、炭素吸収源としての森林の役割を高めていく必要もある。新築の建築材料として 30% の木材を割り当てることが目標として掲げられているが、気候変動対策における樹木の価値、価格体系などは議論が続いている。

森林戦略傘下の森林未来フォーラム (2023年4月に第2回) では、森林政策の将来設計への意見交換や今後の森林に関する法改正などを背景に議論が進められている。

サーキュラーエコノミー政策

連邦政府は、多様な原材料や再生可能資源などの天然資源の持続的な利用と経済成長の両立を実現するための目標や行動指針を定めた「ドイツ資源効率化プログラム (ProgRess)」を2012年に採択している。4年ごとに更新することとなり、2016年から第二期 (ProgRess II)、2020年からは第三期 (ProgRess III) が始まっている。ProgRessは原材料の確保から生産、利用に至るサプライチェーン全体を対象とするとともに、これらを支える情報通信インフラや研究・イノベーション、教育、法規制までを包含する包括的な枠組みとなっている。これに対してProgRess IIでは、特に市場インセンティブや経済・社会における自主的取り組みの促進が強化された。具体的施策として、中小企業への助言の拡充、環境マネジメントシステムの支援、

13 Das Umweltbundesamt, “Treibhausgas-Emissionen in Deutschland”, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> (2024年2月20日アクセス)

資源効率の高い製品・サービスの公共調達、消費者情報の改善などが記載されている。更にProgRes IIIでは、資源効率の重要性がより強調されている。資源効率を高めるためにデジタルトランスフォーメーション (Digital Transformation : DX) を活用することの可能性とリスクの分析、資源効率の観点からの輸送部門の検討、および今後必要となるアクションの優先順位について示されている。

2019年にCircular Economy Initiative Deutschland (CEID) が設立され、2021年にCEに向けたロードマップ¹⁴が公表された。このロードマップでは2030年までにドイツがIndustrie 4.0をベースにしながらCEに段階的に移行する道筋を示している。2023年にはCE標準化ロードマップを公表し、7分野 (エレクトロニクス、ICT、バッテリー、包装、プラスチック、繊維品、建設、地方自治体) を中心にEUの標準化を推進している。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

シヨルツ新政権のSTI政策

政府の研究開発予算は2006年ごろから大幅な伸びを示しており、前政権下では国内総生産の約3%を占めるまでに至った。この背景には、メルケル政権発足後に発表された省庁横断型の戦略である「ハイテク戦略」(2006～2009年)がある。公的資金を効率的に利用することを目指した包括的な戦略であり、ドイツの科学技術イノベーション政策の基本的な方向性を示していた。その後、「ハイテク戦略2020」(2010～2013年)、「新ハイテク戦略」(2014～2017年)、「ハイテク戦略2025」(2018年～)と続いてきた。

シヨルツ新政権に代わり、政権発足から1年以上経過した2023年2月に新しい科学技術・イノベーション政策として「未来戦略」が発表された¹⁵。前政権でのハイテク戦略からの大きな方針転換はなく、引き続き省庁横断的に、社会的課題の解決に向けたミッション志向型イノベーション政策を推進するとしている。循環型経済と持続可能なモビリティに関するミッションや、気候保護、気候適応、食料安全保障、生物多様性保全に関するミッション等が掲げられている。また卓越した科学研究の成果を迅速にイノベーションに繋げるための施策の立案や新機構 (ドイツ技術移転イノベーション機構、DATI) の発足などを進め、2023年7月にBMBFはパイロットプログラムとなるDTAIPilotを発表した¹⁶。

ハイテク戦略における環境・エネルギー分野の位置づけの変化

前政権で2025年までの予定で進められていた「ハイテク戦略2025」は、①社会的課題の優先分野、②鍵となる未来技術と人材、③イノベーション環境の整備の3つの柱から構成される。優先分野とする社会的課題は「持続性、エネルギー、環境」、「健康と介護」、「輸送」、「安全」、「都市と地方」、「経済4.0、労働4.0」の6つであった。優先分野や重点分野の変遷を図表1.2.4 (4) -3にまとめた。前期にあたる新ハイテク戦略との比較では、「デジタル化への対応」がなくなり、「都市と地方」が新たに追加されている。環境やエネルギー、その他にも交通・輸送や安全は、期を超えて継続的に取り上げられている。

14 Acatech, Circular Economy Initiative Deutschland, SYSTEMIQ, “Circular Economy Roadmap for Germany”, <https://www.circular-economy-initiative.de/circular-economy-roadmap-for-germany> (2023年3月1日アクセス)

15 Federal Ministry of Education and Research (BMBF), “Zukunftsstrategie Forschung und Innovation“, https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie_node.html (2023年2月28日アクセス)

16 DATIPilot https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/datipilot/datipilot_node.html (2024年2月13日アクセス)

図表 1.2.4 (4) -3 ドイツの各戦略における社会的課題優先分野の変遷

	ハイテク戦略 (2010～2013年)	新ハイテク戦略 (2014～2017年)	ハイテク戦略2025 (2018～2025年)
社会的課題優先分野	気候・エネルギー	持続可能なエネルギーの生産、消費	持続性、エネルギー、環境
	健康・栄養	健康に生きるために	健康と介護
	交通・輸送	スマートな交通、輸送	輸送
	安全	安全の確保	安全
	コミュニケーション	デジタル化への対応	都市と地方
	-	イノベーションを生み出す労働	経済4.0、労働4.0

ハイテク戦略2025で社会的課題とならぶ柱の1つとされている未来技術の内訳に関しては図表1.2.4 (4) -4の通りである。マイクロエレクトロニクス、材料、バイオテクノロジー、人工知能といった技術領域を「未来技術」と位置づけていた。

図表 1.2.4 (4) -4 ハイテク戦略2025の未来技術

重点領域	要素技術	主たる研究開発推進方策
人工知能	機械学習、ビッグデータ	AI 戦略 (2018 年秋発表)、学習システムプラットフォーム、AI プラットフォーム他
ITセキュリティ及びユーザーフレンドリな技術	サイバーセキュリティ、ヒューマンマシンインタラクション (HMI)、ロボット、VR	サイバーセキュリティ庁設置
マイクロエレクトロニクス	通信システム、5G 通信技術	インダストリー 4.0 プラットフォーム、自動走行アクションプラン
材料	電池、3D プリント、軽量化、製造技術	電池研究・生産戦略白書
量子	シミュレーションシステム、超精密計測技術、画像化技術	量子技術プログラム
ライフ	バイオテクノロジー、ナノテクノロジー、IT	「バイオからのイノベーション」アジェンダ
航空宇宙	衛星、材料	枠組プログラム「宇宙と物質 ErUM」

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

ここではドイツの代表的な研究開発に関する動向について述べる。まず「ハイテク戦略2025」の代表的な研究開発内容について、環境・エネルギー分野関連のハイライトを示す。社会的課題には、「持続性、エネルギー、環境」などが挙げられており、そこで示された課題を解決するための種々のプロジェクトについて示す。最新のエネルギー計画である第7次エネルギー研究プログラムでは、産業の脱炭素化のため、政府が再生可能エネルギーへの支援を決定した。この一部として、コペルニクス・プロジェクトが現在も進行中である。加えて、持続的発展のための研究フレームワークプログラム (FONA) では、循環型経済や生物多様性に対する枠組みも含めて支援されることが決定している。

Power-to-Gas プロジェクトや国家水素戦略では、再生可能エネルギーや水素の利用を促進することで、CO₂ 排出量削減を促している。

政府の支援プログラムの一環として、国際気候イニシアチブ (International Climate Initiative、IKI)、

パリ気象協定に関するドイツとフランスの共同イニシアチブなど、気候変動関連のイニシアチブについても述べる。その他、デジタル化の促進のための、スマートエネルギーショーケース (SINTEG)、2019年設立された飛躍的イノベーション機構 (SprinD) についても述べる。

ハイテク戦略2025における環境・エネルギー分野関連のハイライト¹⁷

ドイツは、特に中小企業を対象に、技術の商業化や普及を目的としたプロジェクトを継続的に支援することで、インダストリー4.0に関する世界的な先駆者となった。技術開発においては、資源効率の高い技術、3Dなどの付加製造技術やデジタル技術を用いて、産業向けの軽量な材料開発分野などを強化していく予定である。材料や製品の設計、デジタルツインの作成、製造プロセスの制御までを含めた産業のデジタル化に向けた研究を推進している。

「ハイテク戦略2025」で掲げられている社会的課題のうち、「持続性、エネルギー、環境」では、産業部門での気候中立、循環型経済、プラスチック問題、生物多様性などに関する施策が関連づけられている。

このうちエネルギー関連では、産業部門での気候中立において、排出量抑制のためにエネルギー効率の向上と再生可能エネルギー電源への切り替えを目指している。主要なエネルギー関連のプログラムである「エネルギー研究プログラム」やエネルギー転換のためのフラッグシップ・イニシアチブである「コペルニクス・プロジェクト」、あるいは電池生産や合成燃料開発のプログラムなどの施策もこの社会的課題に含まれる。ドイツは、エネルギー貯蔵システムの研究を強化し、燃料電池や電池製造の開発を支援する戦略をとっている。電池のバリューチェーンにおいて幅広い技術的優位性を確保するため、セルの製造技術開発を支援し、電池製造まで適切な支援策を講じることを追求している。また合成燃料に関する研究にも支援を行い、市場開拓への条件を検討している。全体としての目標は革新的な技術と適切な計画により温室効果ガスの排出量を削減することである。

循環型経済では、資源効率を高めた持続可能な経済を目標としており、「ProgRess III」が含まれる。その他にも持続可能な水利用のための技術開発プログラム、廃棄物処理問題に取り組む国際連携枠組み、循環型経済実現のための技術開発プログラムなどがある。プラスチック問題では、生産・消費・リサイクルなども含めた流通経路や生物への影響などについて、社会的問題や政治的課題についても言及している。生物多様性については、農業生態系の大規模モニタリングや生態系・生物多様性の研究プログラムなどが含まれる。もう1つの社会的課題である「輸送」においては、統合された全体システムとして未来のモビリティ像を考慮するとしている。電動化、自動化、水素利用などの推進が含まれる。また都市交通、港湾、航空、海上輸送、宇宙などに係る研究開発プログラムなどもあり、輸送全般の向上を促している。

エネルギー研究プログラム

連邦政府によるエネルギー分野の研究推進は「エネルギー研究プログラム」に基づいて行われている。2018年から2022年の期間は「第7次エネルギー研究プログラム」が進められてきた。政府は同期間中にエネルギー技術革新の強化に対して約64億ユーロを投資する方針を示していた。2023年10月に後継の第8次エネルギー研究プログラムが公表された。

研究助成を所管するのはBMW i、BMBF、BMELの3省である。基本的な役割分担は、まずTechnology Readiness Level (TRL) が1～3の基礎から応用にかかる段階の研究プロジェクトをBMBFが担当する。BMBFは基礎研究と産業界が取り組む課題を結び付けることを指向しており、後述するコペルニクス・プロ

17 Federal Ministry of Education and Research (BMBF), "Fortschrittsbericht zur Hightech-Strategie 2025", https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/1/31522_Fortschrittsbericht_zur_Hightech_Strategie_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (2023年3月1日アクセス)

ジェクトはそのモデルプロジェクトの一つと位置づけられている。なおBMBFはプロジェクト助成以外にヘルムホルツ協会およびドイツ航空宇宙センターへの機関助成も行う（ドイツ航空宇宙センターにはBMWも機関助成を行っている）。BMWはTRL3辺りの応用段階の研究プロジェクトを支援する。BMELもTRL3辺りだが特にバイオマスからのエネルギー生産に関連した研究プロジェクトを支援する。

第7次では水素フラッグシッププロジェクト（Wasserstoff-Leitprojekte）として「Wasserstoffrepublik Deutschland; ドイツ水素共和国」のアイデアコンペティションで選ばれた3つのリードプログラムH2Giga（電解装置の量産とアップスケーリング；4億4,920万ユーロ）、H2Mare（グリーン水素のオフショア生産；1億450万ユーロ）、TransHyDE（グリーン水素の輸送技術の開発；1億3,480万ユーロ）が中心的に進められた。また蓄電ではIPCEI（Important Projects of Common European Interest）のプロジェクトの一環としてヨーロッパ全土でのバッテリーの大規模な生産の確立を目指す他、機械式、高温熱システムなどが推進され、2021年には2,547万ユーロが提供された。CO₂の産業利用においてはあらゆる技術的アプローチの研究開発を支援し、製鉄所のCCUアプローチを開発する「Carbon2Chemプロジェクト」、地下貯蔵施設でCO₂のメタンへの生物学的変換を行う「Bio-UGSプロジェクト」、多接合太陽電池による光電気化学（PEC）セルによるCO₂の長鎖炭化水素へ変換するDEPECORプロジェクトなどに資金が提供された。火力発電では非化石燃料での利用を踏まえた研究や、太陽熱発電の研究、原子力安全での若い才能の能力開発を主題とする「原子力安全のための研究資金」などが支援された。

第8次¹⁸ではミッション志向型研究開発が柱として打ち出され、以下に示す次の5つのミッションが掲げられた。資金については本書作成時点では発表されておらず、第7次エネルギー研究プログラムの一環で資金提供が続けられている。

- ① エネルギーシステム2045：強靱で効率的なエネルギーシステムの研究
- ② 熱の転換2045：気候中立的な冷暖房供給
- ③ 電力の転換2045：電力供給を再生可能エネルギーに転換するための研究
- ④ 水素2030：持続可能な水素経済の研究
- ⑤ 移行：研究結果の迅速な実践への移行

コペルニクス・プロジェクト¹⁹

2016年4月にBMBFが発表した「エネルギー転換に関するコペルニクス・プロジェクト」はエネルギー転換に関する研究イニシアチブとして国内でも最大規模のものとされていた（当時）。第7次エネルギー研究プログラムの一環として推進され、①エネルギー転換を実現するための新しいネットワークの構築（ENSUREプロジェクト）、②再生可能エネルギー由来の余剰電力の貯蔵（P2Xプロジェクト）、③エネルギー多消費型の産業プロセスの転換（SynErgieプロジェクト）、④エネルギー転換を進めるための政策分析やステークホルダーとのコミュニケーション（ARIADNEプロジェクト）の4プロジェクトから構成されている。なおP2Xプロジェクトから派生した微生物を利用したCO₂変換（Rheticusプロジェクト）、SynErgieプロジェクトから派生したガラス産業に特化した産業プロセスの転換（DisConMelterプロジェクト）も姉妹プロジェクトとされている。コペルニクス・プロジェクトは（I）基礎研究段階（2016～2019年）、（II）実用化に向けた検証段階（2019～2022年）、（III）実証試験での技術開発段階（2022～2025年）の3つのフェーズに

18 BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, “Das Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz”, <https://www.energieforschung.de/energieforschungsprogramm/energieforschungsprogramm-des-bmwk> (2024年2月アクセス)

19 Federal Ministry of Education and Research (BMBF), “KOPERNIKUS Project”, <https://www.kopernikus-projekte.de/> (2024年2月27日アクセス)

分けられており、現在フェーズIIIの期間にある。

P2Xプロジェクトでは余剰な再生可能エネルギーを化学的原料、ガス燃料、または燃料の形で貯蔵するプロセスの研究 (Power-to-X) などを実施する。P2Xの基本となる技術は水電解による水素製造であり、目的に応じさらに合成メタン、合成燃料、熱、化学品等に変換する。主な技術成果として、水電解触媒における貴金属イリジウムの使用量削減、共電解による合成ガス (COとH₂) 製造技術、水素キャリアから水素を取り出すための触媒技術などが挙げられる。2019年にカールスルーエ工科大学で、DACによるCO₂分離、共電解による合成ガス、FT (フィッシャー・トロプシュ) 反応、およびアップグレーディングからなる一貫プロセスによる合成燃料の小規模実証も行われている²⁰。

P2Xプロジェクトからの派生であるRheticusプロジェクトでは、エボニック社とシーメンス社が協同で再生可能エネルギー由来の電力を利用して水とCO₂を一酸化炭素 (CO) と水素にし、さらにその合成ガスを特殊な微生物による発酵を通じてブタノールやヘキサノールへと変換するプロセスを開発し、テストプラントを稼働させている²¹。

Power-to-Gasプロジェクト

ドイツは、コペルニクス・プロジェクトの1つであるP2Xプロジェクトが開始する以前から再生可能エネルギーの余剰電力貯蔵に取り組んでいる。その背景には、北部エリアが再生可能エネルギー資源に恵まれていた一方で需要が工業地帯のある南部エリアに集中しており、北部から南部への電力の輸送が課題となっていたことがある。そこで解決策の一つとして“Power-to-Gas”プロジェクトが構想された。この概念は既に欧州全域に広がっており、再生可能エネルギーから発電した電力を主に水素や合成メタンに変換し、既存の天然ガス導管などを用いて供給する取組などがなされている。

Power-to-Gasプロジェクトは、1988年から2019年11月時点までの間に、22カ国で、約143件のプロジェクトが実施されている。2019年は、水素については56、合成メタンは38のプロジェクトが進行中である²²。国別ではドイツにおける実施件数が最も多く、全体の4割強を占めている。ドイツ以外では、風力発電の導入が進むデンマークやイギリス等において比較的多く実施されている。ドイツ国内では、Hybrid power plant Falkenhagen、Wind Gas Hamburg、Bio Power2 Gasなど、様々な再生可能エネルギーを用いたプロジェクトが行われている。

国家水素戦略

2020年6月に国家水素戦略が連邦政府によって採択され、水素関連の研究開発を強化する方針が示された。国家戦略策定に際して、コロナ危機からの経済振興策の一部から90億ユーロ (約1.1兆円) が投じられている。水素燃料電池技術革新国家プログラム (NIP) が継続され、第2フェーズ (2016～2026年) において36億ユーロ (4600億円) の追加予算を計上、経済・エネルギー省 (BMW) と交通・デジタル・インフラ省 (BMVI)

20 Pipeline Technology Journal, “The world’s first integrated Power-to-Liquid test facility to synthesize fuels from the air-captured carbon dioxide”, <https://www.pipeline-journal.net/news/worlds-first-integrated-power-liquid-test-facility-synthesize-fuels-air-captured-carbon> (2024年2月27日アクセス)

21 Evonik Industries AG, “TECHNICAL PHOTOSYNTHESIS”, <https://corporate.evonik.com/en/technical-photosynthesis-25100.html> (2024年2月27日アクセス)

22 POWER Magazine, “A Review of Global Power-to-Gas Projects To Date [INTERACTIVE]”, <https://www.powermag.com/a-review-of-global-power-to-gas-projects-to-date-interactive/> (2023年3月1日アクセス)

は水素関連事業に対して80億ユーロ(約1兆円)を助成する²³。欧州グリーンディール政策に沿って2050年のカーボンニュートラルを達成するために水素が大きな役割を担うとし、また水素の拡大、技術で世界をリードすることを標榜している。水素は再生可能エネルギーの貯蔵、移動体の燃料、産業界のエネルギー源、熱利用など幅広く活用する。

同戦略は2023年7月に改定され、2030年の目標が引き上げられている²⁴。再生可能エネルギー由来電力を利用して生産される「グリーン水素」を重視しているが、過渡期においては「ブルー水素」や、「ターコイズ水素」、廃棄物由来水素も活用する。2030年の国内の水素の生産能力は10GWを目標とする(改定前5GW)。2030年のドイツの水素の需要は95~130 TWhであり、うち50~70%(45~90TWh)を輸入とし、2030年までは船舶輸送を想定して短期的にはアンモニア、その後はメタン、メタノール、有機ハイドライド、液体水素など多様なキャリア形態に広げる。また2030年までにドイツ国内に1800kmの水素パイプラインを整備し、欧州の4500kmのバックボーンに接続する。欧州域外との接続も検討する。

持続的発展のための研究フレームワークプログラム (FONA)

2005年に発足した「持続的発展のための研究フレームワークプログラム」(FONA)はBMBFが所管するプログラムである。気候保護と持続可能性に関する研究を助成する。2021年からの第4期は「機能する未来のための知識」をモットーに掲げ、SDGsや欧州グリーンディール、ハイテク戦略2025など持続可能性およびSTIに関する国際的な政策や国内政策に貢献するためのツールの1つと位置付けられている。2020年にフラウンホーファーシステムイノベーション研究所 (ISI) によって「国際的な影響力を持つドイツでの持続可能性研究の確立に大きく貢献した」と評価されたことを受け、予算は前期2016年~2020年の20億ユーロから40億ユーロに倍増された。

第4期では「気候目標の達成」、「生息地および自然資源の研究・保護・活用」、「社会・経済の発展-国全体にわたる良好な生活環境」という3つの戦略的な目標の下に8分野・25項目の行動項目が設定されている。これらの行動項目が研究助成時の優先項目となる。25の行動項目は図表1-2-4(4)-5の通りである。

図表1-2-4(4)-5 FONAにおける25の行動項目

目標	分野	行動項目
気候目標の達成	温室効果ガス排出削減と削減貢献 (緩和策)	<ul style="list-style-type: none"> ●産業プロセスにおけるCO₂排出削減とCO₂原材料利用 ●ドイツにおけるグリーン水素の国内確立 ●低環境負荷型の大気中CO₂除去手法の検討
	適応能力の向上とリスク予防 (適応策)	<ul style="list-style-type: none"> ●気候変動がもたらすドイツでの極端現象の研究 ●気候変動による健康影響の理解と予見 ●都市と地域のレジリエンス向上
	実効性ある気候政策のための知識	<ul style="list-style-type: none"> ●全球気候モデルの改善 ●気候保護のための温室効果ガスのモニタリング ●地球の気候エンジンである海洋と極域の理解

23 環境省, 「国・地域別サマリードイツ」
https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/PDF/overseas-trend_06_germany_202211.pdf (2023年3月1日アクセス)

24 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, "Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie," Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6, (2024年2月22日アクセス) .

生息地および自然資源の研究・保護・活用	生物多様性と生息地の保全	<ul style="list-style-type: none"> ●ドイツ国内の生物多様性モニタリングの開発と拡大 ●生物多様性の変化の体系的な相関性を理解する ●生息地と生態系の保護
	自然資源（水、土壌）の確保	<ul style="list-style-type: none"> ●世界の水危機の緩和 ●河川や海の汚染を止める ●健全な土壌の維持と土地の持続可能な利用 ●農業食糧システムの開発の拡大
	循環型経済	<ul style="list-style-type: none"> ●原材料の生産性を高める ●バイオエコノミー：バイオ由来原材料の利用と廃棄物の回避 ●プラスチック・サイクルを閉じる ●リンのリサイクル：廃棄物の再利用、資源の回収
社会・経済の発展-ドイツ全体にわたる良好な生活条件	協働で社会を形成する一結束の強化	<ul style="list-style-type: none"> ●平等な生活条件 ●持続可能な経済、金融システムの支援
	イノベーション領域	<ul style="list-style-type: none"> ●石炭採掘地域の構造的変化を形成する ●都市、農村、地域の変革を持続可能にする ●持続可能な都市と農村のモビリティの確保

国際気候イニシアチブ (International Climate Initiative, IKI)

国際気候イニシアチブは、ドイツ政府の国際的な気候資金提供プログラムである。国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) や生物多様性条約 (CBD) の枠組みの一つとして、気候変動の緩和と適応、REDD+、生物多様性保全の分野において途上国や新興国との協力強化を目的に、2008年にBMUBが開始した。2022年からはBMUV、BMWKとドイツ外務省が主導している。IKIのプロジェクトや活動の範囲は、例えば、政策立案者への能力開発および技術提携に関するアドバイスから、革新的な金融手段を用いたリスクヘッジまで、多岐にわたる。インフラ開発のための調査やプロジェクト準備のアドバイス、気候変動緩和や生物多様性保全のための投資手段も含まれる。2023年には、連邦政府が2030年に向けた戦略を発表した。承認したプロジェクト数は1000を超え、2008年以降2022年までの総プロジェクト投資額は60億ユーロに上る。

スマートエネルギーショーケース (SINTEG)

BMWの資金提供プログラム「SmartEnergyShowcase-Digital Agenda for the Energy Transition」(SINTEG)により、300を超える企業やその他関係者を含む5つのモデル地域（いわゆる「ショーケース」）で、技術的、経済的、規制上の課題に対するソリューションの開発を行っている。同プロジェクトでは、デジタルネットワーキングを通じて、再生可能エネルギー発電、電力網、エネルギー利用者を効率的に組み合わせること、また、全てのエネルギー源を効率的に統合し、電力、熱及び輸送交通利用の全体最適化を図ることを目指している。

飛躍的イノベーション機構 (SprinD)

ドイツ連邦教育研究省 (BMBF) と連邦経済エネルギー省 (BMW) が2019年12月に設立、ドイツ連邦が出資する形態の法人で、イノベーター育成・支援組織である。ドイツ発の破壊的イノベーション創出を目的にしており、既存製品の性能向上の漸進的イノベーションと区別している。IT分野の連続起業家、投資家のラファエル・ラグーナ・デ・ラ・ヴェラ氏が理事長で、研究精神と起業家精神の間に橋をかけると打ち出している。飛躍的イノベーションをもたらす可能性のある研究者、エンジニアなどの研究開発助成に加えて、GmbH(有限責任会社)設立支援、起業経験者による助言、会計、法務、マーケティングなどの経営支援、チームビルディングなどを包括的に支援する。2029年までの10年間の予算は約10億ユーロの予定である。支援分野は限定しておらず、2021年は375件の申請を受けたが、破壊的イノベーションの可能性があると審査

した約7%の半分、申請のうち約3.5%に絞ったと公表している。環境・エネルギー分野と関連あるプロジェクトとして「超高層軽量低コスト風力発電装置」「マイクロバブルを利用したマイクロプラスチック除去技術」「光工学と微生物学による飲料水・食品安全検査技術」「流体の力とサイクロン技術による水浄化技術」などが挙げられる。2022年に公募された4つのSprinDチャレンジのうち、2つが環境・エネルギー分野の課題で公募されている。「長期エネルギー貯蔵：電力貯蔵およびクリティカルマテリアル不使用での効率的な10時間以上の電力供給技術」「炭素に価値を：経済的に成立する大気中CO₂の長期的な大量除去技術」である。それぞれ5件のチームを可能性検証ステージに応じて段階的に支援するとしている。2024年1月現在、これら2つのSprinDチャレンジは、第2フェーズに入っている。

未来クラスターイニシアチブ (Clusters4Future)

未来クラスタープログラムはドイツBMBFによる産学連携拠点形成の支援である。2019年夏に構想が発表され、2020年から10年間で最大4億5,000万ユーロを投入し、産業界にもドイツ政府と同額の拠出を求める計画である。将来のイノベーションのためには、有望な研究成果がビジネスや社会へうまく移転する機能をもつシリコンバレーのような地理的に集中した地域拠点が重要である。ドイツの大学と研究機関は、基礎研究の分野で優れた位置を占めているが、それだけではイノベーションには不十分で、地域パートナーシップ構造の構築が必要であり、未来クラスターとなる地域拠点を作る目的の支援制度である。2段階の選考方式で、第1回目の公募では137の提案が第1段階で16に絞られ、最終審査で7つが未来クラスターとして採択されたと2021年2月に公表している。第2回目の公募は2020年11月に開始し、117の提案が第1段階で15に絞られ、最終審査で7つが採択されたと2022年7月に公表された。各クラスターは大学、研究機関、企業、その他関係者が多く集まる地域拠点を利用し、最長9年間、最大4,500万ユーロが提供される。

環境・エネルギー分野では合計4件が採択されている。第1回公募採択ではバイエルン州ミュンヘンの「MCube：大都市圏におけるモビリティの未来に関するミュンヘン・クラスター」、メクレンブルク=フォアポンメルン州ロストックを核とした「OTC Rostock：ロストック海洋技術キャンパス」、ノルトライン=ヴェストファーレン州アーヘン工科大学を核とした「水素クラスター：水素の製造から利用まで」の3つの未来クラスター、第2回公募ではテューリンゲン州イエーナの「ThWIC：テューリンゲン・水・イノベーションクラスター」が採択されている。ThWICは水資源の持続可能な利用、インテリジェントな水の供給と処理、清潔で安価な水の持続的かつ十分な利用を可能にする技術的・社会的イノベーションのための開発に焦点を当てるとしている。

(5) 英国

■気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2008.11	議会	2008年気候変動法 (Climate Change Act 2008)	2050	2050年までに1990年比GHGs排出80%削減を最終目標とした世界初の気候変動対策を規定した法。気候変動委員会を設立すること、2008年以降5年毎のカーボン・バジェット (排出量上限) を設定し進捗を管理すること、その間に実施された政策を報告書にまとめること等が定められた。
2017.10	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	クリーン成長戦略 (Clean Growth Strategy)	2032	GHGs排出削減 (2050年80%削減) への取組みを柱とした成長戦略。グリーン投資推進のための環境整備、省エネのためのインセンティブ、CCUSの積極推進、GHGs除去技術開発推進、エネルギー・資源効率・プロセス効率関連の研究開発への約1.6億ポンドの投資等を提示。
2017.11	BEIS	産業戦略 (Industrial Strategy)	2030	英国がグローバルな技術革命を主導できる領域として4つのグランド・チャレンジを特定 (人工知能とデータ、高齢化社会、クリーン成長、未来の輸送手段)。
2018.11	BEIS	CCUS展開パスウェイ (The UK carbon capture, usage and storage (CCUS) deployment pathway)	2030	英国のクリーン成長戦略の一環として、2030年までに炭素回収利用・貯蔵の大規模展開を実現するために、英国政府と産業界がとるべき主要なステップの概要を示したアクションプラン。
2019.6	議会	2008年気候変動法 (改正)	2050	法改正をする形でGHGs排出削減目標を1990年比で正味ゼロへと大幅に引き上げ。
2020.11	BEIS	グリーン産業革命のための10項目計画 (The ten point plan for a green industrial revolution)	2030	コロナ禍からの経済立て直しと雇用創出、および2030年までの気候変動対策の強化を目的とした政策。政府がグリーン雇用を支援し、GHGs排出正味ゼロへの道を加速させるための10項目 (洋上風力、水素、原子力、電気自動車、公共交通機関・サイクリング・ウォーキング、航空・船舶、住宅・公共建物、炭素回収、自然環境、グリーンファイナンス・イノベーション) を提示。
2020.11	財務省	国家インフラ戦略 (National Infrastructure Strategy)	2050	インフラの質を抜本的に改善し、2050年までにゼロ・エミッションを達成するための戦略。
2020.12	BEIS	エネルギー白書 (Energy white paper : Powering our net zero future)		グリーン産業革命のための10項目計画に基づくエネルギーシステムの長期戦略ビジョン。産業、運輸、建物の分野で約2.3億トンのGHGs排出を削減するための方針や施策を提示。
2021.3	BEIS	産業脱炭素化戦略 (Industrial Decarbonisation Strategy)	2050	グリーン産業革命のための10項目計画に基づく産業部門 (製造業と建設業) の脱炭素化に向けた戦略ビジョンを提示。
2021.8	BEIS	水素戦略 (UK Hydrogen Strategy)	2030	グリーン産業革命のための10項目計画に基づく2030年までに5GWの低炭素水素製造能力の目標を達成するための戦略。

2021.10	BEIS	ネット・ゼロ戦略：グリーンな復興 (Net Zero Strategy: Build Back Greener)	2050	グリーン産業革命のための10項目計画に基づくクリーンエネルギーとグリーン技術への移行を支援する方策と経済全体の包括的な計画を提示。
2022.4	BEIS、 英国首相府	英国エネルギー安全保障戦略		COVID-19拡大後のエネルギー需要増とロシアによるウクライナ侵攻に伴う世界的なエネルギー価格高騰を受け、英国のエネルギー自立を一層強化するための戦略。グリーン産業革命のための10項目計画とネット・ゼロ戦略にも基づいており、風力、原子力、太陽光、水素の展開を加速する方策を提示。
2023.3	エネルギー安全 保障・ネット・ゼロ 口省 (DESNZ)	パワーリングアップ・ブリテン		長期的なエネルギー安全保障と自立の強化を目指し、安価かつクリーンな国産電力の拡大と、グリーン産業の繁栄構築のための計画。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2011.8	環境・食糧・ 農村地域省 (Defra)	生物多様性 2020 (Biodiversity 2020)	2020	生物多様性に関する国家戦略。2010年に名古屋で開催されたCOP10の「愛知目標」への対応も含む。
2018.1	Defra	25年環境計画 (25 Year Environment Plan)		環境の持続可能性を確保するために英国がとるべき行動をまとめた政策文書。この計画で、1) 持続可能な土地の利用と管理、2) 自然の回復と景観の美しさの向上、3) 健康と福祉を向上させるための環境と人々のつながり、4) 資源効率の向上と汚染と廃棄物の削減、5) 清潔で生産性が高く生物学的に多様な海と海洋の確保、6) 地球環境の保護と改善に関する行動、を提案。
2018.7	Defra	第2次国家適応プログラム (NAP: Second National Adaptation Programme)	2023	第2次気候変動リスク評価 (CCRA) に対する対応策を定め、2018年から5年間で行うべき主な行動を設定。
2019.1	BEIS	クリーンエア戦略 2019 (Clean Air Strategy 2019)		25年環境計画やクリーン成長戦略などを補完するために策定された戦略。目的として、1) 国民の健康を守る、2) 環境を守る、3) クリーンな成長とイノベーションを確保する、4) 輸送、家庭、農業、産業からの排出量を削減する、5) 進捗状況の把握、を掲げる。
2021.11	議会	環境法 (Environment Act)		EU離脱後の英国における環境保護や環境浄化を改めて規定するための法律。環境ガバナンスの仕組み、野生生物保護、環境保全、生物多様性、大気汚染、廃棄物、水などに関する方針を提示。これらの項目に関する長期目標の設定にも言及。

2023.1	Defra	環境改善計画 2023 (Environmental Improvement Plan 2023)	2028	25年環境計画の目標達成に向け、これまでの取り組みの進捗や今後の道筋・計画の見直しを提示。
2023.7	Defra	第3次国家適応プログラム (NAP: Third National Adaptation Programme)	2028	第2次国家適応プログラムに続き、第3次気候変動リスク評価 (CCRA) および市民対話などを受けて設定。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2014.12	ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS)	成長計画：科学とイノベーション (Our Plan for Growth: Science and Innovation)		科学イノベーションに関する基本戦略。掲げられている6つの柱の1つ「優先分野の決定」では、「8大技術 (Eight Great Technologies)」を特定。
2021.7	BEIS	国家イノベーション戦略：未来を創ることによって先取りする (UK Innovation Strategy: leading the future by creating it)		研究開発イノベーション・システムを最大限に活用して企業のイノベーションを支援する戦略。世界のイノベーション・ハブになるビジョンに向け、1) ビジネス賦活、2) 人、3) 機関・地域、4) ミッション・技術の4つの行動計画を設定。
2023.3	科学イノベーション技術省 (DSIT)	国家科学技術枠組み (The UK Science and Technology Framework)	2030	10項目からなる科学技術推進のためのビジョンをまとめた枠組み。重要技術の特定、研究開発投資、調達、国際連携、規制・標準化などを挙げる。

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス (組織体制)

環境・エネルギー分野の政策を所管するのは主としてビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS: Department for Business, Energy and Industrial Strategy) だったが2023年2月に再編された。BEISは、英国のEU離脱に伴う省庁再編の一環として、2016年7月にエネルギー供給や気候変動対策を担当するエネルギー・気候変動省 (DECC: Department of Energy and Climate Change) と、科学・イノベーションを担当するビジネス・イノベーション・技能省 (BIS: Department for Business, Innovation and Skills) の合併により設立された。そのBEISの業務は今回の再編でエネルギー安全保障・ネット・ゼロ省 (DESNZ: Department for Energy Security and Net Zero)、科学・イノベーション・技術省 (DSIT: Department for Science, Innovation and Technology)、ビジネス・通商省 (DBT: Department for Business and Trade) にそれぞれ移管される。なお環境・エネルギー分野ではこの他に環境・食糧・農村地域省 (Defra: Department for Environment, Food and Rural Affairs) も関連する。

2017年の高等教育・研究法 (Higher Education and Research Act 2017) に基づいて、BEIS (現在はDSIT) 傘下の研究資金助成機関は統合され英国研究・イノベーション機構 (UKRI: UK Research and Innovation) が発足した。UKRIは7つの研究会議 (工学・物理科学研究会議 EPSRC、自然環境研究会議 NERC 他) と、主に企業の研究開発を助成対象とした Innovate UK、そして英国内の大学への助成を担う機関として新たに発足した Research England から構成される予算規模約 89 億ポンドの組織である。

その他、気候変動関連では、2008年に制定された気候変動法に基づき創設された気候変動委員会 (CCC: Committee on Climate Change) がある。CCCは2008年気候変動法で規定された2050年に向けた温室効果ガス排出削減やその他の気候変動対策に関する英国の取り組みに関して政府に対して専門家としての助言を行う独立機関である。

2022年10月、首相を議長とする国家科学技術会議（NSTC：National Science and Technology Council）が内閣府委員会として設置された。社会の重要課題、国全域の賦活化、世界の繁栄促進に取り組む際、科学技術を手段として用いるための戦略的方向付けを趣旨としている。首相（議長）の他、11名の大臣（副首相・司法大臣・大法官、財務、外務、内務、国防、ランカスター公領、DSIT、国際貿易・商務兼女性・平等、教育、デジタル・文化・メディア・スポーツ、科学・研究・イノベーション）により構成されている。また、内閣府内に科学技術戦略局（OSTS：Office for Science and Technology Strategy）が新設され、新任の国家技術顧問（NTA：National Technology Adviser）パトリック・バランス博士が最高責任者に任命された。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

気候変動対策

英国における気候変動対策の根拠は2008年に定められた気候変動法（Climate Change Act 2008）である。温室効果ガス排出量の長期的な目標として2050年までに1990年比で80%以上削減することが定められたが、2019年に正味ゼロにする法改正案が可決され、同国の長期目標は大幅に引き上げられた。世界主要7か国（G7）の中で2050年までの正味排出ゼロを法制化したのは英国が初めてとなる。

なお同法改正案の可決に先立ち政府はネット・ゼロを達成すべき時期など排出削減の長期目標に関する助言を英国気候変動委員会に諮問した。これを受けて2019年5月、同委員会は、ネット・ゼロ報告書「Net Zero -The UK's contribution to stopping global warming」を公表した。報告書では、電力・建築物・産業の更なる低炭素化や電化率の向上、CCSの推進、運輸部門での自動車の電動化や航空のバイオ燃料・ハイブリッド電動航空機の導入などの対策を織り込んだシナリオを示した。それは技術的に難しくコストがかかるものの1990年比で96%の削減が期待される。またBECCSやDACCSなどの炭素除去の拡大やカーボンニュートラル合成燃料の導入などを追加したシナリオでは100%削減も期待されるとしている。ただしその実現には明確で継続的な政策を強力に進めることが不可欠で、現行政策では従来の80%減の目標にも不十分と指摘した。

気候変動法は政府に対し、5年毎のカーボン・バジェット（排出量上限）を気候変動委員会の助言を参考にして定め、同バジェットを達成するための政策を策定することを義務付けている。2020年12月9日に気候変動委員会が公表した報告書「第6次炭素予算」（The Sixth Carbon Budget）では上記ネット・ゼロ報告書を更新する形で100%削減を実現するための電源構成が例示された。

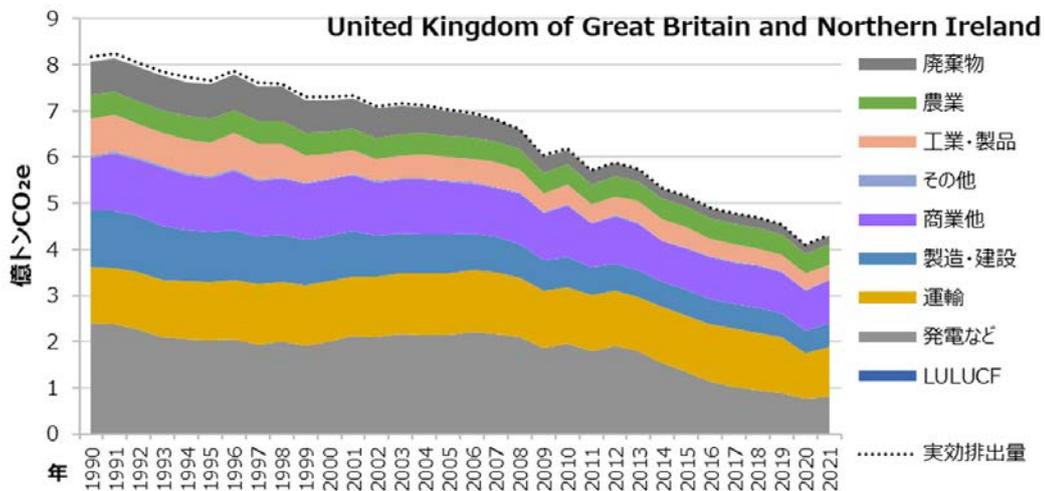
英国の温室効果ガス排出量推移と削減目標

カーボン・バジェットでは次の様に期間内のGHGs排出量上限（括弧内は年平均）を定めている。2008-2012年は3,018（平均6.04）MtCO₂-eq、2013-2017年は2,782（平均5.6）MtCO₂-eq、2018-2022年は2,544（平均5.1）MtCO₂-eq、2023-2027年は1,950（平均3.9）MtCO₂-eq、2028-2032年は1,725（平均3.4）MtCO₂-eq、2033-2037年は965（平均1.9）MtCO₂-eqである。

2021年のNIRによるGHGs総排出量は4.3億トンCO₂-eqであり、基準年から46.7%の減少、2016年から2021年は平均0.15億トンCO₂-eq/年で減少している。発生源は運輸部門が25%、商業等が22%、製造部門が20%、エネルギー部門が19%、農業部門が10%となっている。土地利用、土地利用変化及び林業部門（LULUCF：Land Use, Land Use Change and Forestry）では実質は排出となっている。2022年までの排出量上限は達成されると見られる。

排出量削減の進捗については気候変動委員会（CCC：Climate Change Committee）が監視と助言を行っ

ている。2023年の議会に対する進捗報告¹では緊急性の不足、特定の技術への過度な依存、国民参加の戦略の必要性などを指摘し、300項目の提言が示されている。



図表 1-2-4 (5) -1 英国のGHGs排出量推移
(国連「Climate Change」のデータを元にCRDSにて作成)

気候変動適応への取組み

気候変動への適応については「第三次国家適応プログラム (NAP3; Third National Adaptation Programme)」が2023年に策定されている。気候変動法において「英国気候変動リスク評価政府報告書 (CCRA)」を作成し、5年毎にそれらのリスクに対処するためのNAPを策定することが義務付けられていることに基づいており、2023年から2028年までの気候変動適応に関する政府の行動をまとめたものである。NAP2を発展させ、インフラ、自然環境、健康とコミュニティと建築環境、ビジネスと産業の各分野に国際リスクを追加している。当該分野のビジョン、CCRAにおいて当該分野で抽出されたリスクの一覧、重点領域ごとの目標と取り組みの説明及び優先度の高いリスクに対する行動が記載されている。これらの取り組みにおいて、“行動 (action)”、“情報 (information)”、“連携 (coordination)”のテーマに焦点を当て、より行動に重点を置くとしている。

エネルギー安全保障戦略

英国政府は2022年4月、パンデミック後のエネルギー需要の急増とロシアのウクライナ侵攻によるガス電力価格の高騰に対応するための新たなエネルギー安全保障戦略、「英国エネルギー安全保障戦略²」を発表した。これは、国際市況の影響によりガス価格が大きく変動する輸入化石燃料への依存度を低減し、多様な国産エネルギー源を増強することで長期的なエネルギー安全保障を強化する取り組みが基本となっている。同

1 Climate Change Committee, “2023 Progress Report to Parliament”, <https://www.theccc.org.uk/publication/2023-progress-report-to-parliament/> (2024年2月20日アクセス)

2 British government, “British energy security strategy”, <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy> (2023年2月8日アクセス)

戦略は、同政府がこれまでに示してきた「グリーン産業革命のための10項目の計画³」と「ネットゼロ戦略⁴」をベースに策定され、風力発電、原子力発電、太陽光発電、低炭素水素の導入を加速し、短期的には国内の石油とガスの生産を支援することで2030年までに電力の95%を低炭素化で実現するとしている。

• 風力発電

洋上風力発電は2030年の設備容量目標を40GWから50GWに拡大する。このうち浮体式は最大5GWの容量確保を目指す。陸上風力発電はインフラ設置を望む地域との協議を行うという表現に留まり、具体的な目標値の提示はない。

• 原子力発電

2030年までに最大8基の原発を新設し、2050年までに最大24GW、電力需要の最大25%を賄う計画を示した。将来の原子力開発を可能にするための基金「Future Nuclear Enabling Fund」の設置、プロジェクトを支援する政府機関「Great British Nuclear」の設立など実行に向けた予算措置、体制構築を講じる。

• 太陽光発電

太陽光発電のコストは過去10年間で約85%低下、一般家庭への設置について経済的、時間的な制約がなくなり2035年までに導入量は5倍に増加すると予測している。これにより現在の発電容量14GWから2035年までに最大70GWまで増強する計画である。

• 低炭素水素

2030年までの水素生産能力の目標を現在の2倍に当たる最大10GWに引き上げ、その半分以上を電解水素で生産する。これに向け2025年までに1GWの電解水素生産プラント稼働を目指す。また水素経済の成長に不可欠な水素輸送および貯蔵インフラについて新しいビジネスモデルを同年までに設計するとしている。

• 石油・ガス

2030年までにガスの総消費量を現在から40%以上削減する。2050年までにネットゼロを達成しても、現在のガス消費量の4分の1は必要になる可能性を指摘している。GHGs排出量を少なくできる国産ガスの利用により輸入ガスの依存度を下げる。英国のエネルギー安全保障の基盤と位置付ける北海石油ガスの新たな開発を促進する。

同戦略では安定したエネルギー市場と価格を維持するために、国際的なパートナーと協力することが不可欠であると指摘している。2020年2月に英国はEUを離脱したが、英国とEU加盟国双方の消費者が負担する電力コスト削減のため、電力相互接続間の効率化を図る。また、石油とガスの代替供給の利用可能性を通じて市場の安定を促進するため、ロシア以外のOPEC諸国、米国との重要なパートナーシップを構築する。

2023年3月、英国政府は長期的なエネルギー安全保障と自立の強化を目指し、安価かつクリーンな国産

3 British government, "The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution", https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/936567/10_POINT_PLAN_BOOKLET.pdf (2023年2月8日アクセス)

4 British government, "UK's path to net zero set out in landmark strategy", https://www.gov.uk/government/news/uks-path-to-net-zero-set-out-in-landmark-strategy?utm_medium=email&utm_campaign=govuk-notifications&utm_source=36f30e26-79f6-47ca-a667-73742daaa963&utm_content=immediately (2023年2月8日アクセス)

電力の拡大と、グリーン産業の繁栄構築のための計画、「パワーリングアップ・ブリテン⁵」を発表した。本計画は、これまでビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) が担ってきたエネルギー政策を引き継いだエネルギー安全保障・ネットゼロ省 (DESNZ) (2023年2月発足) が取りまとめた。パワーリングアップブリテンは、ネットゼロを達成し、かつエネルギー安全保障を実現し、英国の国際競争力を高めることを目標とした実行計画を示している。具体的な施策として、CCUSプロジェクト支援、グリーン水素プロジェクト支援、電気自動車 (EV) 充電インフラ強化、ヒートポンプ暖房への買い替え支援策などを挙げている。

環境法の新たな長期目標

EU 離脱後の英国における環境保護や環境浄化を改めて規定する法律として環境法が2021年11月に成立した。同法では法的拘束力のある長期目標を設定できるようにしている。優先分野としては「大気の質」「水」「生物多様性」「資源効率と廃棄物削減」が挙げられている。また環境保護局 (Office for Environmental Protection) を設立して独立した立場から取り組みを監視する体制を整えるともしている。

2022年12月には長期目標が公表された。以下のような目標が示されている。

- ・ 2042年までに種の個体数を10%増加 (野生生物の減少抑制)
- ・ 下水道や廃鉱山由来の汚染物質の低減と水利用効率化による水環境の改善
- ・ 2050年まで森林被覆率を16.5%までに増加
- ・ 2042年までに廃棄物の半減
- ・ PM_{2.5}へのばく露を削減
- ・ 2042年までに海洋保護区の70%を良好な状態に改善

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

クリーン成長戦略と産業戦略

2017年10月に政府は「クリーン成長戦略」を発表した。GHGs排出削減への取り組みを柱とした成長戦略と位置づけ、技術開発の推進のほか投資環境の整備やインセンティブ付与、大規模展開の加速などに取り組む方針を示した。「CCUS展開パスウェイ」は、そうしたクリーン成長戦略の一環として策定された行動計画である。2030年までに炭素回収利用・貯蔵の大規模展開を実現する上で必要な項目を政策上の障壁、供給能力、インフラ、イノベーション、コラボレーション等の様々な観点から検討している。

同時期 (2017年) に発表された「産業戦略」は、STI政策も包含し、以降の政権でもSTI政策の中核として位置づけられている。同戦略では2030年までに英国を世界最大のイノベーション国家にすることを目指し、生産性向上などの長期構想を示した。英国がグローバルな技術革命を主導できる領域として「グランド・チャレンジ」を特定し、その具体的な目標として「ミッション」を設定した。グランド・チャレンジは「人工知能とデータ」、「高齢化社会」、「クリーン成長」、「将来のモビリティ」の4つである。このうち「クリーン成長」では低炭素技術やエネルギー効率改善技術における自国の優位性の更なる向上、「将来のモビリティ」ではGHGsやその他の大気汚染物質排出の大幅抑制を目指すとしていた。

グリーン産業革命のための10項目計画

クリーン成長戦略に代わる新たな戦略として「グリーン産業革命のための10項目計画 (The ten point plan for a green industrial revolution)」(以下、10項目計画) が2020年11月に公表された。10項目計画では合計120億ポンドの公的投資を行うことで、その3倍以上の規模の民間投資を呼び込むことを提案

5 British government, "Powering up Britain", <https://www.gov.uk/government/publications/powering-up-britain> (2024年1月30日アクセス)

している。10項目計画の概要は図表1-2-4(5)-2の通りである。このうち「グリーンファイナンス・イノベーション」では電力、建物、産業部門における革新的な低炭素技術・システムの商業化を加速するため「ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオ (NZIP)」と呼ぶ10億ポンドの研究開発投資を新たに開始することも発表された (NZIPの概要は後段参照)。

10項目計画を受けて2020年末から2021年にかけて個別の戦略が複数策定されている。これらはいずれも英国の2030年もしくは2050年目標の達成に向けた個別戦略であり、10項目計画と整合する形で戦略が策定されている。例えば「エネルギー白書」(2020年12月)はエネルギーシステムに関する2050年を見据えた長期戦略ビジョンと位置付けられている。今後10年で産業、運輸、建物分野で2.3億トンのGHGs排出を削減するための方針や施策を提示している。「産業脱炭素化戦略」(2021年3月)は産業部門、特に製造業と建設業の脱炭素化に向けた戦略ビジョンを示している。GHGs排出量を2035年までに2018年比で67%削減、2050年までに2018年比で90%削減することを目指している。「ネット・ゼロ戦略」(2021年10月)では分野横断的なアクションも含めた包括的な視点から、2050年目標の達成に向けた実現経路の検討が行われた。

しかしながら、2023年における様々な世界情勢の影響を受けたインフレにより、目標達成に要する多額のコストを家計が負担することが現実的で無いとの判断から、計画の見直しが同9月に英政府から示された⁶。主な内容はガソリン車とディーゼル車の新車販売の禁止を2030年から2035年に延期、石油・ガスボイラーの新規設置禁止を後ろ倒して2035年まで延期、大型建物のエネルギー効率性向上を義務付け案を撤回、等である。その発表の中で首相から「より適切で現実的な方法 (a more pragmatic, proportionate, and realistic approach)」で行う必要があると説明された。一方、2050年までのネットゼロの達成に向けた対策は継続し、ゼロエミッション車への移行に向けた販売目標の設定 (the zero emission vehicle mandate⁷) や建物の断熱やヒートポンプの導入補助、洋上風力等の再エネルギー発電の送電ネットワークへの接続迅速化などを表明している。

6 “PM re-commits UK to Net Zero by 2050 and pledges a “fairer” path to achieving target to ease the financial burden on British families”, <https://www.gov.uk/government/news/pm-recommits-uk-to-net-zero-by-2050-and-pledges-a-fairer-path-to-achieving-target-to-ease-the-financial-burden-on-british-families> (2024年3月アクセス)

7 “Pathway for zero emission vehicle transition by 2035 becomes law”, <https://www.gov.uk/government/news/pathway-for-zero-emission-vehicle-transition-by-2035-becomes-law#:~:text=The%20zero%20emission%20vehicle> (2024年3月アクセス)

図表 1-2-4 (5) -2 10項目計画の概要

項目	概要
1. 洋上風力	全世帯へ洋上風力発電による電力供給を行うため、洋上風力設置容量を2030年までに40GWに拡大。最大6万人の雇用を支援。
2. 水素	2030年までに低炭素の水素生産能力を5GWに拡大。2030年までに完全に水素で電力・熱供給される水素タウンの開発を目指す。最大5億ポンドを支援。
3. 原子力	クリーンエネルギー源として原子力発電を推進。大規模発電所・小型モジュール炉 (SMR)・先進炉の開発、1万人の雇用を支援。5億2500万ポンドを支援。
4. 電気自動車	自動車製造拠点を支援し、電気自動車への移行を加速。2030年までにディーゼル車・ガソリン車の新車販売を廃止。ハイブリッド車については2035年に販売を廃止。道路輸送において、世界主要7か国初の脱炭素化国家を目指す。 ・EV充電設備の普及やインフラ整備に13億ポンドを支援。 ・ゼロ排出車 (ZEV) および超低排出車の購入者手当5億8200万ポンドの補助 (2023年の見直しで期限を2022年から2023年まで延長)。 ・EVバッテリーの開発・拡大生産支援のため4年間で約5億ポンド。
5. 公共交通機関	公共交通機関のゼロエミッション化と自転車道路や歩道の整備を支援し、より快適なサイクリングとウォーキング環境を目指す。
6. 航空・船舶	ゼロエミッションの航空機・グリーンな船舶に向けた技術開発を支援し、脱炭素化が困難とされる産業をより環境に優しいものへ。2千万ポンドを支援。
7. 住宅・公共建物	2030年までに5万人の雇用を創出し、2028年までに毎年60万台のヒートポンプ設置を目指す。住宅、学校、病院をより環境に優しく、より暖かく、よりエネルギー効率の高いものへ。住宅グリーン化に10億ポンド。
8. 炭素回収	2030年までに10MトンのCO ₂ 除去を目標とし、国内4ヶ所の炭素回収クラスター開発に向けて2億ポンドの追加支援。
9. 自然環境	自然環境保護と回復に向け、年間3万ヘクタール相当の植樹を行い、雇用創出・維持を支援。
10. グリーンファイナンス・イノベーション	グリーン産業革命・クリーンエネルギー開発に向けた最先端技術を生み出し、ロンドンをグリーンファイナンスの世界的中心に。

水素戦略

英国は2021年8月に水素戦略⁸を発表した。2020年11月に発表した10項目計画に基づいている。2030年までに5GW規模の水素製造能力 (グリーン水素およびブルー水素) を開発するとし、これは300万世帯のガス需要を賄う量に相当し、CO₂の削減とともに新たな雇用の創出に貢献する。電解に必要なクリーンな電力としては洋上風力が期待され、原子力の活用についても追求していく。英国は風況に恵まれるとともにCCSの適地を有し、グリーン水素、ブルー水素の両方に対応できる環境にある。またガスパイプライン網が発達しており、水素利用の一つとして水素を天然ガスに混合して供給するとしている。なお2022年4月のエネルギー安全保障戦略で水素製造能力の2030年目標を10GWに引き上げている。2050年には240~500TWh相当の水素が必要であるとしており、これは現在の英国の電力使用量に匹敵する量である。

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

科学技術・イノベーションの主たる所管省である科学イノベーション技術省 (DSIT) 傘下には英国研究・イノベーション機構 (UKRI) がある。UKRIには研究助成を担う分野別の7つの研究会議、産学連携やイノ

8 British government, "UK Hydrogen Strategy", https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf (2024年3月10日アクセス)

ベーション創出を支援する Innovate UK 等が存在する。大半が UKRI を通じて予算配分されているが、「ネット・ゼロプログラム」のような BEIS (現在は DESNZ) が直接執行するプログラムもある。以降ではネット・ゼロプログラムと UKRI の概要を紹介する。

ネット・ゼロプログラム

ネット・ゼロプログラムには「ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオ (NZIP)」、「先進原子力基金」が含まれる。これらの概要を以下で紹介する。

① ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオ (NZIP)

10項目計画の一方策として創設された NZIP は、電力、建物、産業部門における低炭素関連の技術・システム・ビジネスモデルの商業化加速を目的とする総額10億ポンドに上る大型基金である。図表1-2-4 (5) -3に示す10の優先分野を対象に支援するプロジェクトが進められている。

図表1-2-4 (5) -3 NZIPにおける10の優先分野とその概要

優先分野	概要
先進的炭素回収・利用・貯蔵 (CCUS)	CO ₂ の回収、利用、貯留 (CCUS) イノベーション2.0プログラム:新規CCUS技術のイノベーション、商用化の加速。2025年からの商用展開を目指した次世代CCUS技術の実証、リスク軽減。CCUS導入コストの削減、現在利用可能な技術に対する競争力の誘発など。(最大2,000万ポンド)
バイオエネルギー	バイオマス供給の生産性向上、変換技術の利用可能性、バイオメタン、グリーン水素、バイオ燃料、電気などのエネルギーベクトルの生成プロセスが含まれる。 水素 BECCS イノベーションプログラム:フェーズ1 (500万ポンド) で複数のプロジェクトを実施し、フェーズ2 (3,000万ポンド) で実行可能なプロジェクトを絞り込む。 バイオマス原料イノベーションプログラム:持続可能な国内バイオマスの生産におけるイノベーションを支援。(フェーズ1:400万ポンド、フェーズ2:2,600万ポンド)(終了)
直接空気回収および温室効果ガス除去	DACおよびGGRイノベーションプログラム:直接空気回収(DAC)と温室効果ガス除去(GGR)の技術開発支援。フェーズ1(調査)終了。フェーズ1の審査が通過した場合のみ、フェーズ2に進むことが可能。(最大1億ポンド)
破壊的技術	Energy Entrepreneurs Fund (EEF):エネルギーの高効率化、発電、貯蔵に関する技術、製品、プロセスの開発を支援。 宇宙ベースの太陽光発電(SBSP):英国のネットゼロ政策を実現するための新しい発電技術として注目。SBSPの技術実現可能性、コスト、経済性に関するプロジェクト。
エネルギー貯蔵と柔軟性	Flexibility Innovation Program:大規模で広範な電力システムの柔軟性を実現するイノベーションへの支援、2022年開始。(1億ポンド) 代替エネルギー市場イノベーションプログラム:未来のエネルギーシステムの代替エネルギー市場の下での、コスト、製品、またはサービスの設計と開発の支援。 V2X (vehicle-to-everything) イノベーションプログラム:電気自動車の双方向充電によるエネルギー柔軟性の実現を目指したプログラム。(1,140万ポンドでフェーズ1は200万ポンド。フェーズ2は2023年に募集開始予定。) 相互運用可能なデマンドレスポンスプログラム(IDSRI:Interoperable Demand Side Response Program):スマートエネルギーシステムの開発。(最大915万ポンド) スマートメーターエネルギーデータリポジトリ(SEDRI)プログラム:商用化への検討、実現可能性の評価等。(最大100万ポンド)
未来の洋上風力発電	浮体式洋上風力発電(FOW)デモンストレーションプログラム:コスト削減、浮体式洋上風力タービンの実装を進めるための革新的技術への支援。(終了) 次世代風力タービンの英国製造技術-複合材フェーズ2:Offshore Renewable Energy CatapultとNational Composites Centerによる次世代の洋上風力タービンに新しい複合材ベースのコンポーネントを組み込むためのロードマップとそれらの製造方法の開発。(500万ポンド) 英国防空のウィンドファームの緩和フェーズ3:洋上風力発電所と英国の防空監視システムとの共存を可能にする技術開発を支援。(1,400万ポンド)

住宅・建物	ヒートポンプ支援プログラム (The Heat Pump Ready Programme) : ヒートポンプ技術のツールの開発と実証、実装を支援。 Green Home Finance Accelerator (GHFA) : 家庭のエネルギー効率と低炭素暖房対策の導入を促進する様々な革新的資金提案の設計、開発、試験運用を支援。(最大2,000万ポンド)
水素	産業用水素アクセラレータプログラム : 産業用燃料の水素への切り替えを実証。(2,600万ポンド) 低炭素水素供給2 : 水素供給の革新的技術を支援。(最大6,000万ポンド) 水素技術と熱の規格化プログラム : 水素ガス設備の技術基準の開発、フレームワークや設備設置者向けのトレーニングのための規格化。既存の天然ガスシステムを再利用し、緊急制御弁 (ECV) の下流での水素利用100%を目指す。
産業	産業用燃料転換 (IFS : Industrial Fuel Switching) : 産業向けの燃料転換およびその関連技術への支援。水素、電気、バイオマス、その他の低炭素燃料への転換を含む。(フェーズ1:21プロジェクト、5-30万ポンド/プロジェクト、フェーズ2:最大4,940万ポンド、100-600万ポンド/プロジェクト) 未来の産業プログラム (IFP : Industry of Future Program) : 産業界の迅速な脱炭素化支援プログラム。 IEEAプログラム (Industrial Energy Efficiency Accelerator) : 産業におけるエネルギーと資源の高効率化、炭素排出量の削減を支援。現在、フェーズ4。(約800万ポンド) レッドディーゼル代替 : 建設、採掘、採石用のレッドディーゼルに代わる低炭素燃料を開発するプロジェクト。(フェーズ1 : 17プロジェクトに670万ポンド、最大4,000万ポンド) グリーンディスティラリー : 蒸留所での低炭素燃料に関する技術開発。(フェーズ1 : 17プロジェクトに101万ポンド、フェーズ2 : 4プロジェクトに1,132万ポンド)
先進モジュール	AMR RD&Dプログラム (AMR : Advanced Modular Reactor) : 高温ガス炉 (HTGR) 技術開発と実証を支援。ロット1は高度なモジュラーHTGR技術を開発する原子炉実証プロジェクト。ロット2はHTGR技術用の被覆粒子燃料 (CPF)を開発する実証プロジェクト。(最大250万ポンド)

② 先進原子力基金 (ANF)

NZIPと同様に10項目計画で実施するとされたANFは総額約3.9億ポンドに上る研究開発向け基金である。その内訳は小型モジュール炉のための小規模発電所関連技術の開発に約2.2億ポンド、先進モジュール炉の2030年までの実証実現に向けた研究開発に約1.7億ポンドとなっている。

なお英国政府は「ネット・ゼロ戦略」において1.2億ポンドの「未来の原子力可能化基金」(Future Nuclear Enabling Fund)を創設する意向も明らかにしている。限られたプロジェクトを対象に、市場への参入障壁に対処するための的を絞った支援の提供を目的としており、今後、議会で審議される予定である。

英国研究・イノベーション機構 (UKRI)

UKRIは研究助成を担う7つの研究会議、主に産業界や企業におけるイノベーション活動を支援するInnovate UK、およびイングランド地方の大学にブロックグラントを助成するResearch Englandを統合した法人組織である。2022年に初の長期戦略2022-2027を発表し、5つの戦略テーマを定めた。環境・エネルギー分野に関連するテーマとしては「Building a green future」が挙げられる。研究会議およびInnovate UKは従来の名称で自主性・自律性を維持しつつ予算を執行しており、2022-2025年の予算は189億ポンドである。近年は政府との協議に基づき分野横断型の研究プログラムを設置する等も行っている。各組織の予算規模は図表1-2-4(5)-4の通りである(2023/24および2024/25予算は2023年10月公表情報に更新)。

図表 1.2.4 (5) -4 UKRIにおける研究開発予算額

研究開発予算額 (百万ポンド)		2021/22	2022/23	2023/24	2024/25
Core R&I	Core R&I	4,839	4,881	5,396	5,862
	芸術・人文学研究会議 (AHRC)	61	71	74	76
	バイオテクノロジー・生物科学研究会議 (BBSRC)	306	300	318	326
	工学・物理科学研究会議 (EPSRC)	617	621	639	653
	経済・社会研究会議 (ESRC)	114	121	121	124
	医学研究会議 (MRC)	563	548	587	615
	自然環境研究会議 (NERC)	289	255	311	325
	科学技術施設会議 (STFC)	485	531	544	575
	Research England	1,772	1,730	2,003	2,198
	Innovate UK	631	669	800	970
R&I (期限付)		355	140	140	154
Collective Talent Funding		571	599	678	731
インフラ・設備		942	868	1,000	1,217
UKRI 横断戦略的プログラム (新規分)		0	100	261	466
UKRI 横断戦略的プログラム (既存分)		1,202	1,222	807	507
中央管理費		195	330	383	264
合計		7,785	7,904	8,375	8,874

UKRIは全組織的に気候変動問題への取組みを行っている。工学・物理科学研究会議 (EPSRC)、自然環境研究会議 (NERC)、経済・社会研究会議 (ESRC)、バイオテクノロジー・生物科学研究会議 (BBSRC)、科学技術施設会議 (STFC) といった各研究会議からの助成に加え、Innovate UKがハブとなった組織横断的なプログラムを通じても支援が行われている。以下には例としてEPSRC、NERC、ESRC、Innovate UKの取組みについて紹介する。

① 工学・物理科学研究会議 (EPSRC)

EPSRCは「産業戦略」推進のための特に基礎基盤フェーズの研究開発を担う主要機関の一つと位置づけられている。環境・エネルギー分野の資金助成領域としては、従来型および新型の発電所、エンドユーザのエネルギー需要 (エネルギー効率)、核融合、原子力、グリッドと貯蔵、再生エネルギー、社会経済政策、代替燃料、燃料電池、水、インフラなど多数ある。2022年には持続可能な未来のためのものづくり研究拠点 (2,400万ポンド)、水素研究ハブ (2,500万ポンド)、2023年には交通脱炭素化のためのデジタル ツイン研究ハブ (1,900万ポンド) などの公募が実施されている。EPSRCのポートフォリオ⁹によるエネルギー分野の主な研究テーマと予算額 (助成件数) は、エネルギーと脱炭素化 (横断分野) が386百万ポンド (246件)、製造とサーキュラーエコノミー (横断分野) が319百万ポンド (202件)、工学 (基

9 EPSRC Visualising our Portfolio, <https://public.tableau.com/app/profile/epsrdatateam/viz/VisualisingourPortfolio/VoP> (2023年2月8日アクセス)

盤分野) が318百万ポンド (463件) である。

② 自然環境研究会議 (NERC)

NERCは環境科学に関する研究を支援している。科学研究の主要なテーマとして、気候変動やプラスチック汚染、クリーンエネルギー、持続可能な農業、レジリエンスなどがある。南極、地質、大気化学、地球観測、海洋、生態学・水文学の6つのセンターを支援している。2022年には水素排出に対する環境対応 (2,500万ポンド)、乱流大気プロセスのモデル表現の改善 (510万ポンド)、2023年には海洋炭素貯留に対する生物学的影響 (570万ポンド)、航空によるCO₂以外の気候影響評価 (1,000万ポンド) などの公募が実施されている。

③ 経済・社会研究会議 (ESRC)

ESRCは経済、社会、行動、人間データに関する科学研究を支援している。優先事項のひとつに気候変動と持続可能性があり、気候変動の社会的経済的原動力と影響、それにもなるリスクなどを研究している。2022年にはLocal Policy Innovation Partnerships (360万ポンド) などの公募が実施されている。

④ Innovate UK

Innovate UKは新たな製品・プロセス・サービスの開発と市場化に基づく企業成長の支援を行う助成機関である。現在は優先活動テーマとして「未来産業」「大規模な成長」「世界規模の好機」「イノベーション・エコシステム」「政府影響力」の5つを掲げている。更にこのうち「未来産業」においては活動の柱の1つとして「ネット・ゼロ・プラス」というテーマを掲げている。「ネット・ゼロ・プラス」の下、英国政府が掲げる2050年ネット・ゼロの目標達成に向け、グリーンエネルギー、材料・プロセスにおける環境負荷低減、農業・食料生産プロセスの改善、インフラ関連産業の脱炭素支援に対して投資を行うとしている。予算的には2020年度は2億7,300万ポンドをネット・ゼロ関連の取組み支援に充てられており、その内訳は図表1-2-4 (5) -5の通りである。

図表1-2-4 (5) -5 Innovate UKにおけるネット・ゼロ関連の分野別予算

分野	金額 (百万ポンド)
エネルギー	68.5
輸送	93
産業	89.3
建物・インフラ	7.7
農業・土地利用	15.4

Innovate UKが所管する2つの産学連携推進プログラムにおけるネット・ゼロ関連の取組みを紹介する。

• 産業戦略チャレンジ基金 (ISCF : Industrial Strategy Challenge Fund)

ISCFは産学共同研究開発により産業界が抱える技術的・社会的課題解決を実現することを目的としたプログラムである。個別テーマ (チャレンジ) は2017年に政府が発表した「産業戦略」内の「グランドチャレンジ」(「クリーン成長」、「高齢化社会」、「将来のモビリティ」、「AI・データ経済」) に基づき設定される。全体の資金は、26億ポンド公的資金が投入され、30億ポンドが民間セクターから提供される。「クリーン成長」な

らびに「将来のモビリティ」の下で行われているチャレンジは図表1-2-4 (5) -6の通りである。

図表1-2-4 (5) -6 「クリーン成長」と「将来のモビリティ」における各チャレンジ

クリーン成長			将来のモビリティ		
チャレンジ名称	予算額 (百万ポンド)	(期間)	チャレンジ名称	予算額 (百万ポンド)	(期間)
低コスト原子炉	238	(-)	ファラデーバッテリー チャレンジ	541	(2017-2025)
産業の脱炭素化	210	(2019-2024)	未来の飛行機	125	(2019-2024)
建築業転換	170 (-) *民間投資を合わせると420		国立衛星試験施設	105	(-)
スマートな製造	147	(-)	より安全な世界のための ロボット	112	(2017-2022)
エネルギー革命による繁栄	104	(2018-2023)	電力革命の推進	80	(-)
食糧生産による変革	90	(2019-2014)	自動運転車	28	(-)
基礎産業による変革	66	(2020-2024)			
スマートで持続可能な プラスチック包装	60	(2020-2024)			

• カタパルト・プログラム (Catapult Programme)

カタパルト・プログラムは世界的な科学技術・イノベーション拠点の構築を目指すプログラムである。産学連携で最終段階に向けた研究開発を行い実用化の実現を目指す。中小企業支援も念頭に置かれており最新設備の提供、情報提供、人材育成の役割も果たす。管理・運営はInnovate UKが行い、現在9分野のセンターが稼動している。環境・エネルギーに関連するカタパルトセンターとしては次の4つがある。

- 海上再生可能エネルギーカタパルト (Offshore Renewable Energy Catapult)
- エネルギーシステムカタパルト (Energy Systems Catapult)
- コネクテッド・プレイス・カタパルト (Connected places Catapult)
- 高付加価値製造・カタパルト (High Value Manufacturing Catapult)

(6) フランス

■気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2012.2	経済財政産業省	2050年のエネルギー構想 (Energies 2050)	2050	エネルギーに占める原子力の割合に特定の目標を設定せず、多様な選択肢を保持しながらエネルギー分野の研究開発強化を進める方針を提示。
2015.8	環境・持続的な発展・エネルギー省 (MEDDE)	緑の成長のためのエネルギー移行法 (LTECV、Energy Transition for Green Growth Act)	2050	2050年までに最終エネルギー消費を2012年比で50%削減、2030年までに温室効果ガス (GHGs) 排出量を1990年比で40%削減および電源構成に占める再エネ比率を40%、2025年までに原子力依存度を50%に低減。
2015.10	MEDDE	気候のための国家低炭素戦略 (SNBC、National Low-Carbon Strategy)		エネルギー移行法の目標達成の手段として策定。2015-2018年、2019-2023年、2024-2028年の3つの期間に区切り、期間毎のGHGs排出目標 (Carbon budget)、部門別排出上限および施策を設定。4-5年おきにレビューし、更新するとしている。
2016.10	環境・エネルギー・海洋省 (MEEM)	複数年エネルギー計画 (PPE、Multiannual Energy Plan)	2030	エネルギー移行法に基づき策定。パリ協定の目標達成に向けた政府のエネルギー政策における優先事項を示した計画で、SNBCとも整合を図っている。当面は2016-2018年、2019-2023年の2期間を設定し、2018年にレビュー実施。
2017.7	環境連帯移行省 (MTES)	気候プラン (Climate Plan)	2050	2004年以降、数年おきに策定。今回はパリ協定への取組み加速を目的とした5ヶ年の実行計画という位置づけ。2050年までにGHGs排出の実質ゼロを目指す、2040年までにガソリン車・ディーゼル車を国内市場からなくす等の長期目標も示し、その実現に向けた研究開発の推進やグリーンファイナンスの推奨などの具体方策を提示。気候変動の緩和策だけでなく適応や世界の熱帯雨林の破壊につながるような製品の輸入停止なども盛り込む。
2018.6	MTES	エネルギー移行のための水素展開計画 (Hydrogen Deployment Plan for Energy Transition)		国内の水素関連産業の強化や雇用創出を目指した計画を策定。カーボンフリー水素の産業利用の拡大、再生可能エネルギーの貯蔵容量の拡大、輸送部門におけるゼロ排出事例の創出の3つの柱から構成。2019年から産業・輸送・エネルギー部門向けに1億ユーロを投資するとした。
2019.11	MTES	改正 緑の成長のためのエネルギー移行法 (LTECV、Energy Transition for Green Growth Act)	2050	2030年までに17%、2050年までに50%のエネルギー消費削減。2030年までに40% (または2030年までに2012年レベルの60%) の化石燃料消費削減。賃貸住宅を対象とした省エネ基準の設定。すべての石炭火力発電所を2022年までに稼働停止等。

2020.4	MTES	国家エネルギー・気候変動計画 (NECP、National Energy and Climate Plan)	2030	EU全体のGHGs排出目標達成のため、EU加盟国に義務付けた項目（脱炭素化、エネルギー効率、エネルギー安全保障、内部エネルギー市場と研究、革新と競争力）に対応。2050年までにカーボンニュートラルを実現することを掲げた改訂SNBCと、エネルギー部門の今後10年の政策的な優先事項を示した改訂PPEを柱とする（ともに後述）。
2020.4	MTES	改訂SNBC		2018年実施のレビューを踏まえた更新版。2050年までにカーボンニュートラルを実現するため、部門ごとの短中期の排出削減目標などを提示。
2020.4	MTES	改訂PPE		レビューを踏まえた更新版のPPE。エネルギー効率の向上、最終エネルギー使用量の削減、再生可能エネルギーによる生産強化を通じ、2050年カーボンニュートラル達成に向けたロードマップ。再エネは拡大（陸上風力3倍、太陽光5倍）。2035年までに原子力14基閉鎖、50%削減等を提示。
2020.9	経済・財務・復興省	フランス再生計画 (France Relaunch Plan)	2030	新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の経済的影響に立ち向かうため策定。エコロジー、競争力、社会的結束の3つの重点分野を通じ、2020年から2030年にかけて国の気候回復力を再構築および強化を目指す経済刺激策。予算1,000億ユーロのうち40%はEUによる。300億ユーロが割り当てられる「エコロジー」には、産業・運輸の脱炭素化、循環経済、水素を含むグリーン技術の取込み強化等が含まれている。
2020.9	MTES、経済・財務・復興省	国家水素戦略 (National strategy for the development of decarbonised hydrogen in France)	2030	2030年までに70億ユーロ（うち20億ユーロはフランス再生計画予算から）を研究開発支援や実装・産業化に投資する計画。①水電解によるカーボンフリー水素製造産業の創出と産業部門の脱炭素化、②カーボンフリー水素を燃料とする大型モビリティの開発、③研究・イノベーション・人材育成支援の3つの柱で構成。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2014	MEDDE	廃棄物削減・リサイクル計画 2014-2020	2025	埋め立て処分する廃棄物量を2025年までに50%削減。使い捨てビニール袋の禁止措置等を提示。
2018.7	MTES	生物多様性プラン (Biodiversity Plan)	2025	気候プランに続くMTES第2の柱との位置づけ。2025年までに海洋プラスチックごみゼロほか。
2019.11	MTES	フレームワーク・モビリティ法 (Mobility framework Act)		運輸部門に関する広範な戦略。自動車への依存を最小限に抑え、新しい交通手段の成長を加速、交通インフラへの投資などが含まれている。

2020.2	MTES	廃棄物と循環経済との闘いに関する法律 (Law No.2020-105 regarding a circular economy and the fight against waste)	全部門が廃棄物に取り組み、循環経済を促進するための法律。プラスチック汚染に関するEU循環経済パッケージおよびEU指令のうち一部の条項を改訂。
2020.5	経済・財務・復興省	自動車産業支援計画 (Support plan for the automobile industry)	COVID-19の負の影響から自動車産業を支援する目的。“明日の車”生産に向けた投資と革新のため、困難な状況の企業の支援と従業員を保護。援助、投資およびローンの見積もりは80億ユーロ。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2016.12	MTES	国家エネルギー研究戦略 (SNRE)		エネルギー移行法に基づき、SNRのエネルギー分野を補完する目的で、SNBCとPPEに沿って研究開発戦略を策定。再エネ統合のためのシステムの柔軟性、分散型・階層型のエネルギーシステムガバナンス、消費者の役割増大、原子力の継続的改善等の研究開発を学際的に推進する方針を提示。
2021.10	大統領府	フランス2030	2030	産業競争力の強化と未来産業の創出に向けた投資計画。原子力、グリーン水素、EV、航空機燃料のほか、電子部品やディーゼックなど10の目標を設定し、5年間で約300億ユーロを投資する。

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス (組織体制)

環境・エネルギー分野の政策はエコロジー移行・地域結束省とエネルギー移行省が所管している (第2次マクロン政権発足に伴う内閣改造で環境連帯移行省 (MTES) から再編)。科学技術イノベーションの主要所管省は高等教育・研究省 (MESR) である (MESRは第2次マクロン政権発足に伴う内閣改造で高等教育・研究・イノベーション省 (MESRI) から名称変更した省)。

国の研究戦略は首相直属の合議体である研究戦略会議 (CSR) で立案され、その下部組織である運営委員会が戦略の執行・運営を行っている。運営委員会はMESRが主導し、関係各省、研究連合 (アリアンス) の各代表や、公的研究機関、大学、グランド・ゼコール、競争力拠点、カルノー機関といった研究関連諸機関の代表が集まる。

研究連合 (アリアンス) は国立研究機関や高等教育機関の活動と政策立案をつなぐ組織である。環境、エネルギー、ライフサイエンス・医療、情報科学技術、人文・社会科学の各研究区分に対応する5つの研究連合がある。エネルギー分野は国家エネルギー研究調整連合 (ANCRE)、環境分野は環境研究のための国家連合 (AllEnvi) である。それぞれの連合は国立科学研究センター (CNRS) を含む国立研究機関、大学、行政機関等によって構成されている。各連合は、国の研究戦略の基となる情報や提言を、前述の運営委員会に対して提示する役割を持つ。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

エネルギー政策の動向

フランスは第二次世界大戦直後に石炭から石油へと移行し、2004年に最後の炭鉱を閉鎖した。以来、

1970年代に原子力発電の大規模開発を進めると同時に、1990年代には天然ガスの割合を増やした。水力発電は25.9 GWの設備容量および51 TWhの年間発電量（2022年）を持つが、一次エネルギーの数%と資源の乏しい国であり、天然ガスと石油の大半、ならびに原子力発電のためのウランの半分を輸入に依存している。国際エネルギー機関の国別統計によると、2021年時点の同国の電源構成は、原子力68%、再生可能エネルギー22.9%（内訳：水力11%、風力7%、太陽光3%、潮力約0.1%、バイオマスと廃棄物2.1%）、天然ガス6.0%、石炭1.4%、石油1.1%、その他約0.1%である¹。水力発電と原子力発電の割合が大きいため、2005年以降、GHGs排出の削減と経済成長の切り離し（デカップリング）に成功しており、GHGs排出量は横ばいないし減少傾向にある。他のEU諸国に比べて太陽光発電の導入に遅れをとっているが、風力発電（陸上・洋上）の容量を大きく増加させているなど、再生可能エネルギーの将来的な展開の基礎を築いている。原子力発電は2022年における河川水温や設備課題などの影響による運転停止の時期を除き、EUにおける主要な電力生産、輸出国である。

原子力発電に関しては大きな変遷が見られる。東京電力福島第一原子力発電所での事故後、2012年2月に同国は「2050年のエネルギー構想」をまとめ、エネルギー全体に対する原子力発電の比率について具体的な目標は設定せず、様々な選択肢を維持しながらエネルギー分野の研究開発を強化していくことを基本方針として示した。その後のオランダ政権（2012年5月～2017年5月）では、電源の多様化の観点から2025年までに原子力発電への依存を2010年の約75%から50%に削減する方針が示され、2015年には2050年までのエネルギー政策の方針を示した「緑の成長のためのエネルギー移行法」が成立した。2022年2月にマクロン政権は原子力発電の削減を支持してきた政策を転換し、ロシアのウクライナ侵攻による国際情勢変化を受け、低炭素電力の増産のためには再生可能エネルギーと原子力発電の2本立てが必要であると、既存原子力発電の運転延長と新規建設の方針を打ち出している。

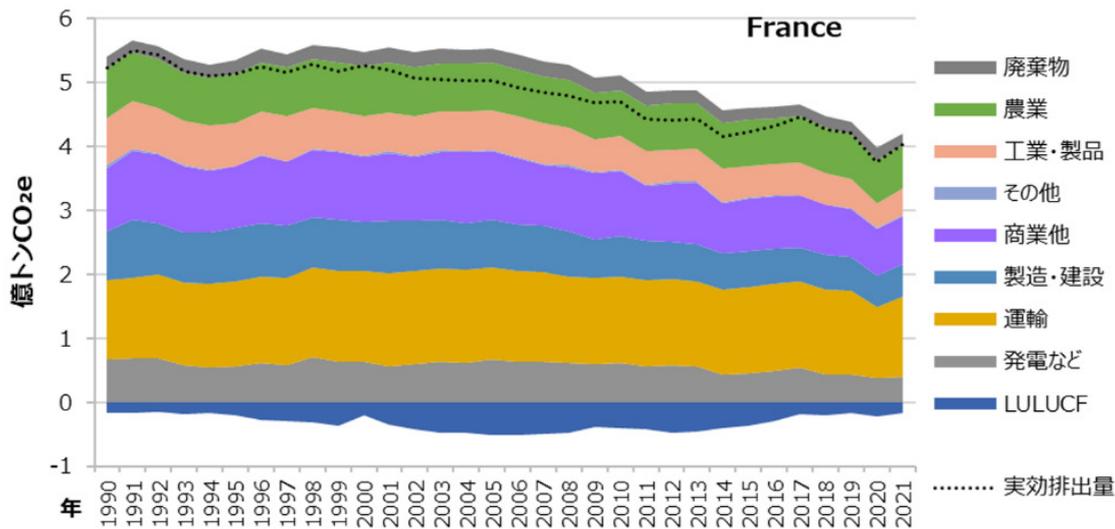
温室効果ガス（GHGs）排出量推移と削減目標

国家低炭素戦略（2020年4月改定）において図表1.2.4（6）-1に示すGHGs排出の削減目標を設定し、それを達成するための投資がなされている。

図表 1.2.4（6）-1 温室効果ガス排出量の計画（百万トンCO₂-eq）

部門	2019～2023年	2024～2028年	2029～2033年
運輸	128	112	94
建物	78	60	43
農業	82	77	72
産業	72	62	51
エネルギー	48	35	30
廃棄	14	12	10
（排出量合計）	422	359	300
LULUCF	-39	-38	-42

1 International Energy Agency (IEA), “France”, <https://www.iea.org/countries/france> (2023年2月28日アクセス)



図表 1.2.4 (6) -2 温室効果ガスのセクターごとの排出量の推移 (億トンCO₂-eq)

(国連「Climate Change」のデータを元にCRDS作成)

2021年のGHGsの総排出量は図表 1.2.4 (6) -2に示すように、4.2億トンCO₂-eqであり、基準年から22%の減少、2016年から2021年の平均としては0.12億トンCO₂-eq/年で減少していた。陸域での吸収量(LULUCF：土地利用、土地利用変化及び林業)など排出量の約4%の実効的吸収があるが、その吸収量は微減している。発生源は運輸部門30%、製造部門22%、商業などが18%、エネルギー部門10%、農業部門16%となっている²。電源構成は69%が原子力、再エネ23.6%、化石エネルギーが7.4%であり、エネルギー部門でのGHGsの発生量が少ないのが特徴である。

3.環境・エネルギー分野のSTI政策

STI政策における動向

フランスの研究・イノベーションに関する統一的な戦略としては、高等教育・研究・イノベーション省(MENESR・当時)が2015年に公表した「国家研究戦略(France Europe 2020: SNR)」がある。SNRは、10の社会的課題を優先的に設定し、EUの研究戦略であるHorizon 2020との整合性を重視しながら、研究機関との協力関係と資金配分機関の年間計画を設定している。

社会的課題のうち環境・エネルギー分野に関連が深い項目としては、「資源管理および気候変動への対応」(社会的課題1)、「クリーンで安全で効率的なエネルギー」(社会的課題2)、「持続可能な輸送と都市システム」(社会的課題6)、「欧州のための宇宙・航空」(社会的課題9)などが挙げられる。課題9には地球観測が含まれている。

また社会的課題とは別に5つの横断的課題が設定されている。これは社会的課題に直接的には属さないものの、別途競争的資金の配分を前提としたプロジェクトにより研究を進めるべき5つのテーマとの位置づけである。5つの横断的課題のうち環境エネルギー分野と関連するものには「地球系:観測、予測、適応」がある。

SNRに加え、緑の成長のためのエネルギー移行法を踏まえた「国家エネルギー研究戦略(SNRE)」も2016年12月に公表されている。SNRのエネルギー分野を補完する位置づけにあり、再生可能エネルギー

2 United Nations Climate Change, "GHG Profiles - Annex I", https://di.unfccc.int/ghg_profile_annex1 (2023年2月28日アクセス)

の拡大に向けたエネルギーシステムの柔軟性、分散型・階層型のエネルギーシステムガバナンス、原子力の継続的改善などに関する研究開発を推進するための基本方針が示されている。

2021年10月に公表された「フランス2030」は産業の育成やイノベーションの促進を目指すための新たな投資計画である。10の目標が設定され、環境・エネルギー関連では原子力、グリーン水素、産業の脱炭素化に80億ユーロ、電気自動車・ハイブリッド車の生産、低炭素航空機製造に40億ユーロを投資するとした。

国家水素戦略

2020年9月に発表された経済刺激策（「フランス再生計画」）と同時期に、「国家水素戦略」が公表された。フランスは水力と原子力に支えられて低炭素な電力供給が95%を超えている。その利点を生かしてカーボンフリー水素産業の創出や産業部門の脱炭素化などを進めるため、2018年に「エネルギー移行のための水素展開計画」を公表している。今般の国家水素戦略は同計画と基本的な方向性は同じであり、国の優先事項の1つとして改めて水素を位置付けた形となる。資金面でも、フランス再生計画では全体予算1,000億ユーロの3分の1を産業の脱炭素化、循環経済、水素を含むグリーン技術の取組み強化に充てるとしているが、その一部（20億ユーロ）がこの国家水素戦略予算に充てられる予定となっている。国家水素戦略全体では2030年までに約70億ユーロを本戦略に基づく研究開発や実装・産業化の支援に充てる予定である。

戦略は3つの柱から構成される。1つ目は水電解によるカーボンフリー水素製造産業の創出および産業部門の脱炭素化である。2030年までに6.5 GWの水電解装置の導入を目指す。2つ目はカーボンフリー水素を燃料とする大型モビリティの開発である。2020年からの3年間で約3.5億ユーロを水素エネルギーの製造・輸送に関わる機器やシステムなどの開発に投資する。3つ目の柱は研究・イノベーション・人材育成支援である。次世代水素技術の研究開発プロジェクトに2021年は6,500万ユーロを投じる予定としている。

その他、フランスは水素に関するドイツとの提携計画や、再生可能エネルギーについての国際的なプラットフォームの設置など、再生可能エネルギー推進のための連携強化を図っている。

4. 主要な研究開発プログラム/プロジェクト

研究開発とイノベーションのための同国の主要な公的資金提供機関は、フランス国立研究機構（ANR）である。資金は主に大学や国立研究機関に割り当てられている。環境・省エネルギー機構（ADEME）も環境・エネルギー分野に資金を投入している。

フランス国立研究機構（ANR）

ANRは基礎研究から技術移転プログラムまで、幅広く資金配分している。ADEMEは、ANRと比べると小規模だが、実証段階前後のフェーズを対象としている。いずれも、PIAの資金配分機関としても機能している。

ANRは、フランスの代表的な研究開発・イノベーションの公的資金配分機関である。公的部門と民間部門による共同の学際的プロジェクトの創造を目指し、主に民間企業と連携する大学・国立研究機関を対象に、プロジェクトベースで研究資金を提供している。基礎研究を支援すると同時に、学術および官民の連携を奨励し、欧州ならびに国際協力を促進する役割を担っている。

環境・省エネルギー機構（ADEME）

ADEMEは、再生可能エネルギー、大気、騒音管理、輸送と移動、廃棄物とリサイクル、汚染土壌と土地、環境管理などの分野を対象とした公共政策の実施を担い、環境保護とエネルギー管理に関する取り組みの促進を目的とした機関である。国内各地にオフィスをもち、これら取り組みの好事例の普及に向けて、研究から実施までのプロジェクト資金調達支援などを行っている。同時に、企業、地方自治体、コミュニティ、政府機関、および一般市民に対して専門的な知識と助言の提供を通じ、様々な環境に関するアクションを国として統合可能にする役割も担っている。ADEMEは、PIAを含めて、13の特定のプログラム、5つの主要なイノベー

ションプログラムを実施し、エネルギーおよび環境関連プログラムと輸送システムプログラムの市場投入に向けた種々の資金規模を備えている。投資対象には、中小企業向けの技術開発を目的とした競争ファンドや投資型ファンドが含まれる。ADEMEの主なプログラムは、1) 持続可能な都市、町、地域、2) 持続可能な生産と再生可能エネルギー、3) 農業、森林、土壌、バイオマス、4) 大気質、健康および環境への影響、5) エネルギー、環境、社会、である。エネルギーと環境は、建物、生物多様性、CCUS、生化学、廃棄物処理と産業生態学、土壌浄化、風力エネルギー、海洋エネルギー、太陽エネルギー、水、地熱、産業プロセス、スマートグリッドを含むADEMEの投資目標の中心的構成要素である。プログラムへの資金は近年増加しており、2017年の5億2400万ユーロから、2020年には7億2100万ユーロに増加している。2020年の予算構成は図表1.2.4 (6) -3のとおりである。

図表1.2.4 (6) -3 ADEMEの2020年予算構成

項目	予算額 (百万ユーロ)
再生可能熱	350
循環経済と廃棄物	164
大気とモビリティ	70
建物	23
コミュニケーションとトレーニング	12
エネルギーと気候への領土的アプローチ	22
汚染された場所と都市の荒地	21
調査	27
その他	32

将来への投資計画 (PIA)

2010年に創設されたPIAは、優先セクターへの投資と革新を奨励する成長促進計画で、雇用の刺激、生産性の向上、フランス企業の競争力向上などを目的としている。2010年の第一版 (PIA1) では350億ユーロ、2013年の第二版 (PIA2) では120億ユーロ、2017年の第三版 (PIA3) では100億ユーロが割り当てられた。

経済全体のイノベーションの加速を目的とするPIAにおける柱は、「戦略的かつ優先的な投資」と「高等教育、研究、イノベーションのための持続可能な資金調達」である。前者は「フランスの経済と社会の移行の課題に対応する例外的な投資」への優先投資で、グリーンテクノロジーやデジタルテクノロジー、医学研究、健康産業、気候への適応など、幅広い影響を与える将来のテクノロジーが含まれる。後者は、過去のPIAで開発された高等教育および研究システムの効率を高め、革新的な企業を支援する。

2020年9月の第4版 (PIA4) では、2022年までに110億ユーロが割り当てられている。PIA4は同年同月に開始した「フランス再生計画 (France Relaunch Plan)」の一環でもある。PIA4で環境・エネルギー分野に関連する公募として、水素の生産、輸送、使用に関連する項目とシステムの開発、改善を可能にするイノベーションや、生態学およびエネルギー転換で持続可能な雇用の開発、低炭素で競争力のあるエネルギーミックス、社会の受容性を促進しながら生産方法と消費慣行を変えるプロジェクト等がある。

大規模投資計画（GPI）

2017年9月に発表された大規模投資計画（LE GRAND PLAN D'INVESTISSEMENT 2018-2022 : GPI）は、2018年から2022年までを期間とした大型投資計画である。構造改革の支援を通じて、フランスの4大課題（カーボン・ニュートラルへのシフト、雇用の改善、イノベーションによる競争力強化、国の電子情報化）への対処を目的に、5年間で570億ユーロを投資する。投資額は4つの重点課題ごとに、環境に留意した社会への移行の加速化（200億ユーロ）、スキル社会の構築（150億ユーロ）、イノベーションによる競争力の定着化（130億ユーロ）、デジタル国家の建設（90億ユーロ）で配分される。特に環境・エネルギー分野に関連する「環境に留意した社会への移行の加速化」では、次のような取り組みが行われる。

- ・ 建物の熱源設備の大幅改良工事を開始することを通じ、一般の世帯用住宅および公共の建物のエネルギー効率の向上を図る（90億ユーロ）
- ・ 交通道路網や鉄道の主要な改良プロジェクトを支援することを通じ、フランスの日常の移動手段の改善を図る（40億ユーロ）
- ・ 再生可能エネルギーの生産能力の70%向上と同時に、個人や企業の働き方を改善するイニシアチブを支援することを通じ、将来モデルの創出を図る（70億ユーロ）

(7) 中国

■気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2017.4	工業・情報化部、 国家発展改革委員会、 科学技術部	自動車産業中長期発展計画	2020、 2025	新エネルギー車（NEV）の年間生産・販売台数を2020年に200万台を目指し、2025年には年間生産・販売台数の20%以上を目指すとしている。
2020.6	工業・情報化部 などの関係部署	新エネルギー車管理規則指令 (改正NEV規制)	2023	普通乗用車のNEV普及促進と、既存の燃費規制を弾力化。NEVクレジット目標を2019年10%から、2023年18%に順次引き上げ。売上台数ではなく、NEVのクレジットを対象に設定。クレジットは走行距離、効率などの指標に応じ付与。NEVに限定していた従来の優遇方針から、燃費性能に優れたハイブリッド車種なども優遇対象に追加。
2020.10	国務院	新エネルギー自動車産業発展計画 (2021-2035)	2025	2025年までの目標として、新規の一般乗用車NEVの平均消費電力を12.0 kWh/100 kmまで下げ、NEVの売上高は新車総売上高の約20%以上、高度な自動運転の、制限されたエリアや特定のシナリオのもとでの商用展開、バッテリー交換サービスの利便性の大幅な向上などを掲げている。
2021.3	国務院	中国国民経済・社会発展第14次 5カ年計画および2035年までの長期 目標綱要 (十四五)	2025、 2035	社会全体の中長期計画。2035年までの長期目標の1つで「美しい中国の建設 グリーンな生産・生活スタイル、CO ₂ 排出ピークアウト、生態環境改善」を掲げる。イノベーション主導の発展に向けて戦略的に科学技術力を強化するとしている。
2021.10	中国共産党中央 委員会、国務院	カーボンピークアウトとカーボン ニュートラルの完全、正確かつ全 面的な実施に関する意見 (双炭意見)	2025、 2030、 2050	一つの指導性政策に基づき、各産業、分野で関連政策「N」を打ち出して政策の実施を徹底する「1+N」体制を加速整備するとしている。統一的な計画、節約優先、政府と市場の両輪駆動、国内外連携、リスクの防止など10分野31項目の主要な任務を提示。2025年、2030年、2050年に向けたロードマップも策定。
2021.10	国務院	2030年までのカーボンピークアウト に向けた行動計画	2030	「双炭意見」の「1」つの指導性政策を詳細化した10項目の具体的な行動計画。2030年までにGDPあたりのCO ₂ 排出量を2005年比で65%削減、非化石エネルギー比率を25%以上に引き上げ等。
2021.10	国家発展改革委員会、 国家エネルギー局	石炭火力発電所の改修・改良のため の全国実施計画	2025	石炭火力発電の「省エネ・炭素削減改造」、「熱供給改造」、「柔軟性改造」という「3改連動」を掲げている。十四五期間の石炭火力発電の省エネ・炭素削減改造規模を3億5,000万kW以上、熱供給改造規模は5,000万kWを目指し、2億kWの柔軟性改造を遂行するとしている。

2022.1	国家発展改革委員会、国家エネルギー局	第14次5カ年計画 現代エネルギーシステム計画 (2021~2025)	2025	エネルギーサプライチェーンの安全性・安定性の強化、エネルギー生産・消費方式の低炭素化の促進、エネルギー関連産業のスマート化・高効率化の促進が目的。非化石燃料ならびに化石燃料のクリーン利用を統一的に計画・推進するとしている。関連の研究開発費を2025年まで年間7%以上増加させ、50前後の分野で基幹技術のブレークスルー達成を目標に掲げる。
2022.3	国家発展改革委員会、国家エネルギー局	水素エネルギー産業発展中長期計画 (2021~2035年)	2035	2025年までにモデル都市群における実証事業で成果を挙げ、2035年までに水素エネルギー産業システムの形成、多様な分野を含む水素エネルギー応用のエコシステムの構築、エネルギーのグリーン転換の促進等を目指すとしている。
2022.6	国家発展改革委員会、国家エネルギー局ほか8部門	第14次5カ年計画 再生可能エネルギー発展計画 (2021~2025)	2025	2025年に再生可能エネルギー消費量を標準石炭換算で10億トン前後、一次エネルギー消費量に占める割合を18%前後、年間発電量を3兆3,000億kWh前後、再生可能エネルギー電力量を33%前後等の数値目標が示されている。
2022.6	生態環境部ほか16部門	気候変動適応国家戦略2035	2035	2013年に策定された戦略の改定版。観測・早期警戒能力の向上、気候リスクの管理・防止体制の完備、重大・超大型気候関連災害リスクの効果的な予防・抑制等を目指す。
2022.9	国家エネルギー局	エネルギーのCO ₂ 排出ピークアウト・カーボンニュートラル標準化向上行動計画	2025、2030	習近平政権下のエネルギー安全保障のスローガンである「4つの革命、1つの協力(四個革命、一個合作：前者は中国国内の①エネルギーの消費、②エネルギーの供給、③エネルギーの技術、④エネルギーの体制。後者は一帯一路)」や双炭意見に対応して実施する政策をまとめている。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2015.4	国務院	水汚染防止行動計画 (水十条)	2020、2030	2020年までに全国水使用量を6,700億m ³ 以下、都市部の汚水処理率95%以上、長江・黄河・珠江・松花江・淮河・海河・遼河の7大重点流域で水質「優良 (III類以上)」割合を70%以上などの目標掲げ、2030年はさらに高い目標値を設定。
2016.5	環境保護部 (現：生態環境部)	土壌汚染防止行動計画 (土十条)	2020、2030	2020年までに汚染された耕地の安全利用率を90%前後、汚染されたエリアの安全利用率を90%以上などのミッション掲げ、2030年はさらに高い目標値を設定。
2021.7	国家発展改革委員会	第14次循環経済発展5カ年計画	2025	2025年までに2020年比で主要資源の産出率を約20%高め、単位GDP当たりエネルギー消費13.5%前後、用水量16%前後を低下させる目標を設定。

2022.11	生態環境部など 15当局	大気質改善における3大攻略行動	2025	重度の大気汚染を解消し、オゾン汚染を防止し、ディーゼルトラック汚染に対策を打つ攻略戦の実施を徹底するとしている。重度大気汚染の攻略戦はPM _{2.5} を重点対象として、頻繁に発生する京津冀など重点地域を定め、全国の重度の汚染日数の割合を1%以内に抑える目標などを設定。
2022.11	科学技術部、生態環境部、住宅都市農村建設部、気象局、林業草原局	第14次5カ年計画 生態環境分野の科学技術イノベーション特別計画	-	環境監視・早期警報、生態系保護・修復と生態安全、環境汚染の包括的予防、固形廃棄物削減・資源利用、新汚染物質の処理・国際的コンプライアンス、気候変動対応の6分野を対象にした計画を発表。異なる地域の特性に適應し、複数のニーズを満たす生態環境科学技術イノベーションシステムの構築を目指す。基礎研究の深化、コア技術の開発、国家重要研究所等の活用や革新、研究インフラの構築などを推進する。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2016.3	国家発展改革委員会、国家エネルギー局	エネルギー技術革命イノベーション行動計画 (2016~2030年)	2020、2030、2050	石炭無害化採掘、CCUS、原子力、太陽エネルギーの高効率利用、高効率ガスタービン、蓄エネルギー、水素エネルギーと燃料電池などの15項目の重点推進分野を定めている。
2016.5	中国共産党中央委員会、國務院	国家イノベーション駆動発展戦略綱要 (2016~2030年)	2020、2030、2050	重点分野「産業技術体系のイノベーションの推進、発展のための新たな優位性の創造」で、10の重点領域分野として「スマート・グリーン製造技術」、「現代的農業技術」、「現代的エネルギー技術」、「資源効率利用および環境保護技術」が示されている。
2021.11	中国科学院	中国科学院の基礎研究強化に関する若干の意見 (基礎研究十条)		「十四五」で引き続き基礎研究強化の方針が示された中で、基礎研究強化に関する考え方、政策、措置等についての10か条を提案。
2022.8	科学技術部、国家発展改革委員会ほか10部門	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)	2030	2030年のカーボンピークアウトと2060年のカーボンニュートラルの双炭目標 (3060目標) 実現に向けて科学技術支援を強化するための計画。基礎研究、技術開発、応用・実証、成果促進、人材育成、国際協力等を含む10項目の具体的な行動指針を提示。

1.環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス (組織体制)

2020年11月に中国共産党中央委員会は「国民経済・社会発展第14次5カ年計画と2035年長期目標の策定に関する建議」を発表した。同建議に基づき、数値目標や対象分野等の具体的な情報が追加された「中国国民経済・社会発展第14次5カ年計画および2035年までの長期目標綱要」(以下、「十四五」)が國務院によって起草され、2021年3月の全国人民代表大会にて審議・採択された。本要綱は国全体の方針を示し

たものであり、これに沿って各省庁、地方政府、研究機関等が政策を立案している。

科学技術政策の実施主体は主に国務院傘下の科学技術部 (MOST) が担っている。同部所管には、基礎研究だけでなく産業技術に係る研究領域も含まれている。戦略的計画、政策、規制、イノベーションシステム構築、基礎研究、ハイテク研究、技術移転、国際協力などの部門がある。MOST傘下には科学技術政策シンクタンクである中国科学技術発展戦略研究院 (CASTED) や科学技術情報基盤の構築を担う科学技術情報研究所 (ISTIC) が置かれている。

エネルギー分野は、国務院の国家エネルギー委員会を最高の意思決定機関としている。同委員会は、2010年に設立され、国務院総理、環境、金融、中央銀行、国家発展改革委員会など20人前後の閣僚で構成されている。エネルギー政策全般での省庁間の利害調整や、新エネルギー開発戦略の立案、エネルギー安全保障の評価、気候変動・炭素削減・エネルギー効率の国際協力調整などを行う。実際のエネルギー政策は国家エネルギー局を擁する国家発展・改革委員会、中国国家原子エネルギー機構を擁する工業・情報化部等が所管している。国家発展改革委員会の資源節約環境保護局は持続可能な開発戦略の実施を促進するため、環境配慮の開発に関する戦略、計画、政策の実施の策定と体系化を担っている。これに加え、国務院直属機構として中国最大の研究機関である中国科学院や主としてボトムアップで主に中央政府の資金配分を行う国家自然科学基金委員会 (NSFC)、トップダウン式で戦略的な研究資金を配分するMOSTハイテク研究開発センターも関与している。

環境分野に関しては、MOSTや中国環境科学研究院を擁する生態環境部 (MEE) 等が所管している。生態環境部は2018年3月の大規模な行政機関改編で、環境保護部を元に改組された際、他の組織が所管していたGHGs排出削減、温暖化対策、排水規制、土壌・地下水汚染防止、農業汚染管理、海洋汚染管理等の環境政策も統合され、環境規制強化の方針が打ち出されている。大気汚染に関しては国家気象局もモニタリングに関与する。国務院直属機構として中国最大の研究機関である中国科学院や主としてボトムアップでの資金配分を行う国家自然科学基金委員会も環境分野の研究開発に関与する。また地方政府も地域振興策の下で環境関連技術の推進及び環境産業の創出に取り組んでいる。全分野を合計した研究開発費では、2010年以降、地方政府の総合計は中央政府を上回っている。中央政府の研究開発支出額は増えているものの、地方政府はそれを上回る増加率を示している。中国のほぼすべての州と都市は、エネルギー転換と環境保護産業の促進を強力に支援するために、生態系および環境保護に関連した政策もしくは財政的支援や事業計画を交付している¹。

2023年3月13日に閉幕した第14期全国人民代表大会で「科学技術の自立自強」への注力、産業の高度化や質の高い発展という方針が言及されると共に、科学技術分野の再編を行う計画が発表され、今後が注目される。

中国における法体系は憲法、法律 (全国人民代表大会およびその常務委員会が制定)、行政法規 (国務院が制定)、部門規定 (国家発展改革委員会や国家エネルギー局、生態環境部などが制定)、地方法規および地方政府規定 (それぞれ地方人民代表大会と地方政府が制定) といった階層で構成されている。さらに法令効力を有する拘束的指標を明確に記載した通達も行動計画や決定、方案、指導意見などとして出されている。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

「十四五」では、2035年までの10の長期目標が記載されているが、環境・エネルギー分野に関連するものとして「美しい中国の建設—グリーン生産・生活スタイル、CO₂排出ピークアウト、生態環境の改善」があ

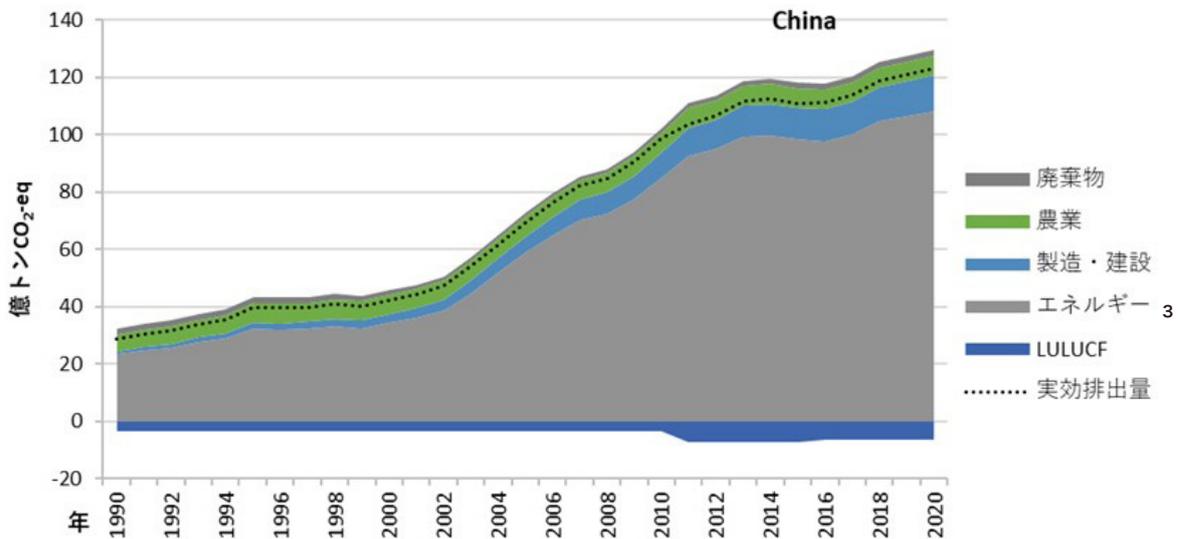
1 Prospective Industry Research Institute 「2019年全国及び各省市の環境保護産業政策の要約」『ポラリス環境保護ステーショングループ』, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20191023/1015328.shtml> (2023年3月1日アクセス)

る。「十四五」期間中の経済社会発展目標は、大きく6つ掲げられているが、環境・エネルギー分野に関連するものは、「社会の文明発達レベルを新たに向上する」「生態文明建設の新たな進歩を実現する」がある。「十四五」計画における経済社会発展の主要指標において、環境・エネルギー分野に関連するものは、生態環境²として「単位GDPあたりのエネルギー消費量を2020年から2025年累計で13.5%減」「単位GDPあたりのCO₂排出量を2020年から2025年累計で18%減」「都市で大気質が良好な日の比率を87.5%達成(2020年実績87%)」「地表水が飲用に適する水質の割合を85%達成(2020年実績83.4%)」「森林被覆率を24.1%達成(2020年実績23.2%)」など、安全保障として「食料総合生産能力を6.5億トン以上」「エネルギー総合生産能力を46億トン以上」などがある。

「十四五」の第十一編「グリーンな発展、人と自然の調和と共生の促進」では、生態系の質と安定性の向上、環境品質の継続的な改善、発展方式のグリーン化転換の加速をあげている。クリーンで低炭素、安全で効率的なエネルギーシステムの構築、エネルギー補給を保障する能力の向上を目指している。

中国のGHGs排出量推移と削減目標

中国におけるGHGsの排出量推移を図表1.2.4(7)-1に示す。Climate Watchにより推計された2020年のGHGs総排出量は129億トンCO₂-eqであり2005年73億トンCO₂-eqから78%の増加があり、陸域での吸収量(LULUCF:土地利用、土地利用変化及び林業)などが排出量の約5%(6.47億トンCO₂-eq)ある。エネルギー(運輸、製造等を含む)が84%(108億トンCO₂-eq)、製造プロセスが10%(13億トンCO₂-eq)、農業が5%(7億トンCO₂-eq)であった。直近のCO₂排出量について、IEAの推計では2019年、2020年は増加率が低減しているものの、エネルギー分野を主体として増加している。



図表1.2.4(7)-1 中国のGHGs排出量推移³

Climate Watchからのデータを元にCRDSにて作成

2 中国の政策文書等で頻繁に「生態」の語がみられるが、生物集団、生物と環境との相互作用のような意味合いではなく、人々の暮らす環境、公害で汚染されていない綺麗な環境のような意味合いで用いられている場合も多く、注意を要する。

3 Climate Watch,³ <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters> (2024年2月7日アクセス)

中国が2021年10月に国連に提出した貢献目標 (NDC) では2030年までにCO₂排出量のピークを達成し、2060年までにカーボンニュートラルを実現するとしている。2030年までに、エネルギー消費における非化石エネルギーの割合は約25%に達し、設置された風力および太陽光発電の総容量は12億kWに増やすとしている。これに先立つ2020年のChina's Mid-Century Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategyでは、2060年までに、非化石燃料の割合を80%以上まで改善するとしている (中国国家再生可能エネルギーセンター (CNREC) “CREO 2018”, Below 2 Scenarioと付合)。2025年までに、新しい建物の100%がグリーンビルディング基準を満たし、屋上の太陽光発電電力バー率を50%にする。2030年までに、新車の約40%を新エネルギー車とクリーンエネルギー車とし、森林被覆率を約25% (2021年22.1%) に高めること等を宣言している。2022年6月の「第14次5カ年再生可能エネルギー発展計画」では電力消費量の増加の50%を再エネで賄う目標としている。再エネ設備に付帯する蓄電施設の導入も進むと思われる。

2023年の年次報告書⁴では非化石エネルギー消費の割合が17.5%に達し、再生可能エネルギーの総導入量が12億1300万kW (世界の34%に総投資、国内総発電容量の47%)、全国森林被覆率が24%に達しており、顕著な成果が達成されたとしている。エネルギー構造の最適化対策として、石炭火力発電所の効率化やエネルギー貯蔵の開発 (2022年末時点で870万kW×約2.1時間で前年比110%増加)、省エネの推進などを挙げている。交通では都市バス77.2%にあたる54万台が新エネルギーバス、充電インフラの年間増加数が260万台で累積520万台、新エネルギー車は2023年6月時点で1620万台であり世界の半数を占めるとしている。

また、森林と草原の炭素吸収源の改善として、大規模な土地緑化事業が継続され、2021年時点で森林被覆率は24.02%、草地総合植生被覆率は50.32%に達し、砂漠化・砂漠化した土地の面積は「二重縮小」を続けており、2030年までに土地劣化の増加をゼロにするという目標は前倒しで達成されるとしている。

エネルギーに関する政策

「十四五」の焦点の1つが、持続可能な低炭素エネルギーの開発促進、加速である。より清浄な生産プロセス、環境保護産業の育成、清浄、安全、効率的なエネルギー利用、持続可能な建築を促進し、CO₂排出量のピークを2030年以前とする目標を掲げている。

「カーボンピークアウトとカーボンニュートラルの完全、正確かつ全面的な実施に関する意見 (双炭意見)」と「2030年までのカーボンピークアウトに向けた行動計画」では、「十四五」期間 (2021～2025年) とその次の5カ年「十五五」 (2026～2030) 年のカーボンピークアウトに向けた目標が図表1.2.4 (7) -2のように設定されている⁵。

図表1.2.4 (7) -2 中国の2030年のカーボンピークアウトに向けた目標

	2021～2025年	2026～2030年
1次エネルギー消費に占める非化石燃料の割合	20%	30%
GDPあたりエネルギー消費量	2020年比13.5%低下	-

4 中華人民共和国生態環境部, “中国应对气候变化的政策与行动2023年度报告” (2023年10月), https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202310/t20231027_1044184.shtml (2024年2月7日アクセス)

5 JETRO 武漢事務所ビジネス展開支援課, 中国「カーボンピークアウト・カーボンニュートラル」政策概要および中部地区の実行現状について (2022年11月), https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2022/05d428c7c4ec6e5d/202211.pdf (2023年3月アクセス)

GDPあたりCO ₂ 排出量	2020年比18%低下	2005年比65%低下
新規水力発電設備容量	4,000万kW	4,000万kW
風力・太陽光発電の総設備容量	-	12億kW以上
揚水発電の総設備容量	-	1.2億kW以上
新規の蓄電設備容量	3,000万kW	-

「十四五」において中国政府は、2021年10月の「双炭意見」と「2030年までのカーボンピークアウトに向けた行動計画」をトップレベルの「1」つの指導性政策として、各産業、分野で関連政策「N」を打ち出す「1+N」体制を加速、整備するとしている。中央行政組織や地方政府が「N」にあたる政策を、通知や意見、計画、方案といった形で次々と公表している。具体的には、生態環境部「国家生態工業模範区のカーボンピークアウト・カーボンニュートラル関連工作の推進に関する通知」(2021年8月)を皮切りに、国有資産監督管理委員会「中央企業の高品質発展の推進でカーボンピークアウト・カーボンニュートラル工作の徹底に関する指導意見」(2022年11月)、国家発展・改革委員会等合同「カーボンピークアウト・カーボンニュートラル目標要求の貫徹・徹底 データセンター等新型インフラストラクチャーのグリーンで高品質な発展の推進実施方案」(2021年11月)、財政部「財政によるカーボンピークアウト・カーボンニュートラル工作の徹底支持に関する意見」(2022年5月)、住宅・都市農村建設部等合同「都市・農村建設領域のカーボンピークアウト実施方案」(2022年6月)、科学技術部等合同「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)等である。

「第14次5カ年現代エネルギーシステム計画」(2022年1月)において、前期の第13次5カ年計画「十三五」(2016~2020年)期間での主要な達成成果として図表1.2.4(7)-3が示されている。同計画では、「双炭意見(3060目標)」の実現や中国のエネルギー安全保障、経済発展に向けて新たな変革が必要であり、中国内でのエネルギー生産の増加や非化石エネルギーの比率の増加などの目標を示している。非化石エネルギーの発電比率は2025年までに39%前後を達成、非化石エネルギーの消費比率は2025年度までに20%程度、2030年までに25%の引き上げを目指している。その目標実現のための科学技術革新の実証プロジェクトを複数実施するとしている。

図表1.2.4(7)-3 第13次5カ年計画期間における中国のエネルギー開発の主要な達成成果

指標		2015年	2020年	年平均または累計
総エネルギー消費量(石炭10億トン換算)		43.4	49.8	2.8%
エネルギー消費量構成比	石炭	63.8%	56.8%	-7.0%
	石油	18.3%	18.9%	0.6%
	天然ガス	5.9%	8.4%	2.5%
	非化石エネルギー	12.0%	15.9%	3.9%
一次エネルギー消費量(石炭10億トン換算)		36.1	40.8	2.5%
発電設備容量		15.3億kW	22.0億kW	7.5%
	水力発電	3.2億kW	3.7億kW	2.9%

	石炭火力発電	9.0 億 kW	10.8 億 kW	3.7%
	ガス火力発電	0.7 億 kW	1.0 億 kW	8.2%
	原子力発電	0.3 億 kW	0.5 億 kW	13.0%
	風力発電	1.3 億 kW	2.8 億 kW	16.6%
	太陽光発電	0.4 億 kW	2.5 億 kW	44.3%
	バイオマス発電	0.1 億 kW	0.3 億 kW	23.4%
東西送電能力		1.4 億 kW	2.7 億 kW	13.2%
石油・ガスパイプラインの総延長距離		11.2 百万 km	17.5 百万 km	9.3%

環境保護に向けた政策

環境分野に関しては、経済のみの発展から、環境と経済との両立に理念を変えた政策を継続している。2013年前後から、深刻な大気汚染、水質汚染、土壌汚染等の環境問題の回復を目的として、「大気十条」（2013年9月）、「水十条」（2015年4月）、「土十条」（2016年5月）と呼ばれる法的拘束力をもった環境浄化の指標を定めた行動計画や法改正が次々に行われて、中国の環境は最悪期と比べて全般的には良化基調にある。「十四五」では「双炭意見（3060目標）」が注目されるものの、引き続き環境改善、環境保護の項目が重要としており、「都市で大気質が良好な日の比率を87.5%達成（2020年実績87%）」「地表水が飲用に適する水質の割合を85%達成（2020年実績83.4%）」などの目標が示されている。「第14次5カ年計画 生態環境分野の科学技術イノベーション特別計画」（2022年11月）では図表1-2-4（7）-4に示す10の重点ミッションが示されているが、過半は環境保全に関するものである。

図表 1.2.4（7）-4 「十四五」生態環境分野の科学技術イノベーション特別計画の10の重点ミッション

1. 環境モニタリング	6. 複合汚染の分野横断統合管理
2. 水質汚濁防止と水生生態系の回復	7. 生態系の保護と回復
3. 大気汚染防止と管理	8. 新しい汚染物質への対応
4. 土壌汚染防止と管理新	9. 気候変動への対応
5. 固形廃棄物の削減と資源の利用	10. 国際的な環境保護条約遵守のための技術支援

地方政府にも省・市ごとに環境保護管理部門が存在し、従来は各地方の環境行政を担っていたが、2016年に環境規制強化のための指導意見が公布された。指導意見は省レベル以下の地方政府の環境保護管理部門の監視、監督および法執行を省に「垂直管理」する内容で、2018年6月までに完全に移行した。中央政府による現地査察や汚染企業の操業停止や取締りが強化され、大気汚染の達成日数などの監視が厳格化している。

新エネルギー車普及政策

環境保全と産業育成を目的に新エネルギー車の普及政策も相次いで行われている。2020年11月発表の

「新エネルギー自動車産業発展計画(2021～2035年)」⁶では、2025年までに新車販売における新エネルギー車(NEV: New Energy Vehicle。電気自動車: EV、プラグインハイブリッド車: PHV、燃料電池車: FCVが対象)の割合を20%前後に引き上げ、2035年までにNEVの主流をEVとする目標を定めていた。現状はNEVの販売台数は2021年350万台(NEV比率13%)、2022年690万台(NEV比率26%)と急増し、目標を前倒して達成した。2022年の中国のNEV市場において台数ベースで中国資本のメーカーが2/3以上を占め、世界の電動車市場に占める中国市場の割合は約6割となっている⁷。

電気自動車の普及に合わせて、国家エネルギー局は2015年10月に「電気自動車充電インフラ発展指南(2015～2020年)」を発表し、2020年までに交換式電気スタンド・ステーションを1.2万カ所、分散型充電設備を480万本、全国範囲で500万台の電気自動車をカバーする充電インフラを構築する目標を掲げ、2020年までの目標を達成するために国家発展改革委員会は2018年に「新エネルギー車充電保障能力向上のアクションプラン(2018～2020年)」を発表している。充電設備(公共と個人用の合計)は2021年260万基、2022年500万基と後ろ倒しで目標が達成されており、EV車の急激な増加もありさらなる拡充が進められている。なお、中国企業が充電に時間のかかる充電式スタンドだけでなく、ガソリン車並みの時間で対応できるロボットアームによる無人バッテリー交換スタンドなどを各地で建設を始めており、動向が注目される。

補助金については、2020年4月23日、中国財務省(MOF)、工業情報化部(MIIT)、科学技術部(MOST)、国家発展改革委員会(NDRC)が共同で、NEVの促進のための財政補助金の最適化に関する通知⁸を公表した。NEVについての10年にわたる国家補助金プログラムの修正であり、2020年末終了予定であった補助金の支給期限を2022年末まで2年間延長し、終了した。一方車両取得税の免税措置については2023年末までの延長、2027年末までの延長が相次いで発表されており、NEVに対する支援が継続されている。

2018年より「乗用車企業平均燃料消費量と新エネルギー車クレジット併行管理規則」が施行されている。燃費、NEV生産台数の2つの指標で一定基準を満たせなかった場合、他社の余剰クレジットの購入が必要になる。売上高ではなく、台数ベースで評価される。2020年6月に改訂版が公布され⁹、NEVのパーセント目標は、2019年10%、2020年12%、2021年14%、2022年16%、2023年18%とされていた。その後NEVの導入拡大に合わせ本規則の改定がさらに行われ、NEV比率の基準は2024年28%、2025年38%と大きく引き上げられている。中国市場に参入する現状NEV比率の低いメーカーに対しては厳しい目標値となっている。

このような中国のNEV躍進の要因は複数あげられ、普及のための補助金など国の政策の効果は大きいものの、深圳に代表される大手企業、ベンチャー企業、大学の集積により、実際の製品を大学でも扱い、工学的な基礎に立ち返って課題解決につなげるシリコンバレーにも似たイノベーションエコシステムの形成の効果なども大きかったとみられる。

- 6 中華人民共和国国务院令「新エネルギー自動車産業の開発と流通に関する計画に対する国务院令の通知(2021-2035年)」『中華人民共和国中央人民政府』、
http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm (2023年1月アクセス)
- 7 JETRO「競争激化する世界最大の新エネ車市場、知能化・自動運転の取り組み進む」
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/1201/36ff4eee5d8f5019.html> (2024年3月1日アクセス)
- 8 中華人民共和国財政部経済建設司「新エネルギー車の普及と応用のための財政補助政策の改善に関する通知」、
http://jjs.mof.gov.cn/zhengcefagui/202004/t20200423_3502975.htm?from=timeline&isappinstalled=0 (2024年3月アクセス)
- 9 International Council on Clean Transportation (ICCT), “China announced 2020-2022 subsidies for new energy vehicles”, ICCT,
<https://theicct.org/publication/china-announced-2020-2022-subsidies-for-new-energy-vehicles/> (2024年3月アクセス)

水素および燃料電池普及支援

中国は2015年の中国製造2025の主要技術の1つに水素を挙げるなど、これまでも燃料電池車を中心に水素に着目してきたが、2020年9月に表明された2030年までにCO₂排出をピークアウトし、2060年までにカーボンニュートラル実現を目指すとするいわゆる「双炭目標（3060目標）」以来、さらに水素の重要性が強調されている。「十四五」に基づき、2022年3月に国家発展改革委員会より「水素エネルギー産業発展中長期計画（2021～2035）」¹⁰が発表され、水素がCO₂ゼロ排出の重要なソリューションの一つであり、中国の水素エネルギー産業の発展を育むものと位置づけられている。現時点は石炭や天然ガスがエネルギー資源の中心だが、石油精製や肥料用アンモニア製造を目的に約3,300万トンの水素を製造している水素大国であり、うち2割程度が工業副生による水素で、外部での利用が可能な水素として存在している¹¹。これらの水素の活用によりまず社会の水素インフラを整備し、世界首位の再生可能エネルギー容量を有する利点を生かして将来的にグリーン水素にシフトしていく構想を立てている。一帯一路の諸国との協力も模索するとしている。水素関連のプロジェクトが積極的に進められており、風力・太陽光発電由来のグリーン水素からのアンモニア製造のプロジェクトの認可（2022年9月）¹²、石炭火力発電設備でのアンモニア混焼の技術開発の成功（2022年1月）¹³、SINOPECによる長距離水素パイプライン設置計画などが報じられている。燃料電池車（FCV）についてはさらなる産業力強化と水素ステーションなどインフラ整備が必要だとしている。

2022年10月に中国国家自然科学基金委員会工学・材料科学部は「双炭特別プロジェクト」を開始すると公表している。水素に焦点をあて、化石燃料からの低エネルギー水素製造、再生可能エネルギーによる水素製造、高効率地下水素貯蔵といった研究課題を対象に、3年（2023年1月～2025年12月）で平均300万元の助成を3～4プロジェクト行う予定である。

一帯一路

中国が2017年から推進している「一帯一路」は、中国から中央アジア・中東・ヨーロッパ・アフリカにかけての広域経済圏の構想・計画・宣伝などの総称を指す。科学技術に関しては2017年に「一帯一路」科学技術イノベーション行動計画を開始し、中国は「一帯一路」共同建設国と科学技術、人文交流、研究所、科学技術パーク共同建設の協力、技術移転等の分野において協力を展開し、新しいラウンドの科学技術革命と産業変革を共同で迎え、イノベーションの道の建設を推進している。2023年6月末時点で中国は約150カ国、30の国際機関と200件余りの「一帯一路」共同建設の協力文書に署名している。一方、23年12月にイタリアが「一帯一路」からの離脱を正式に発表するなど、その衰退も指摘されている。

資源ごみ輸入禁止などの通商に関する環境政策

資源循環分野では、2017年7月に「海外ごみの輸入禁止と固形廃棄物輸入管理制度改革の実施計画」を発表し、2018年より施行している。これを受け、日本をはじめとした資源ごみ輸出国は環境政策の一層の強化が求められている。

中国企業の海外進出にあたり、「一帯一路生態環境保全協力計画」（2017年5月）では一帯一路の開発途

10 NEDO「水素エネルギー産業発展の中長期計画（2021～2035年）」、
<https://www.nedo.go.jp/content/100952923.pdf>（2024年3月1日アクセス）

11 MUFGバンク（中国）経済週報「中国における水素関連産業」
https://reports.mufgsha.com/File/pdf_file/info001/info001_20210831_001.pdf（2024年3月アクセス）

12 JETRO「吉林電力、中国初のグリーンアンモニア製造プロジェクトをアピール」、
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/09/7f1f0468ee725ad3.html>（2024年3月1日アクセス）

13 JOGMEC「中国：国家エネルギー集団、石炭火力でのアンモニア混焼技術開発に成功と発表」、
https://coal.jogmec.go.jp/info/docs/220217_17.html（2024年3月1日アクセス）

上国へのインフラ整備進出では、中国国内と同じ環境保護基準を満たす基本方針としている。

循環経済

2021年7月公表の第14次循環経済発展5カ年計画で「十四五」期間中の循環経済分野の5大重点プロジェクトと6大重点行動が記されている。5大重点プロジェクトは具体的には、「都市廃棄物リサイクル利用体系の構築」、「地区リサイクル開発」、「粗大ごみ総合利用実証事業」、「建築廃棄物資源化利用モデル」、「循環経済重要技術と設備革新」である。6大重点行動として「リサイクル産業の質の高い発展」、「廃棄電気電子製品の回収利用」、「自動車の使用の全ライフサイクル管理」、「プラスチック汚染対策のサプライチェーン全体の管理」、「宅配物包装のグリーン転換」、「使用済みパワーバッテリーのリサイクル利用」が記されている。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

科学技術イノベーションの基本的な方針は「国家イノベーション駆動発展戦略綱要」(2016～2030)および「科学技術イノベーション『第13次5カ年』発展計画」(2016～2020)に示されていた。後者は対象期間が終了し、後継の「科学技術イノベーション第14次5カ年計画(仮称)」が検討されていると見られていたが、その後の動きは確認されていない。一方、2021年3月に発表された「十四五」ではイノベーション主導による発展が掲げられている。そのためここでは「十四五」で示された方針を概観する。

「十四五」では、国の戦略的科学技術力の強化のために、①科学技術の資源配分の統合・最適化、②先進的な科学技術によるブレークスルーの強化、③基礎研究の継続的な強化、④主要科学技術イノベーションプラットフォームの建設を推進するとしている。①では、焦点を当てる主要なイノベーション分野の1つに現代エネルギーシステムを挙げている。これらの分野を対象に国家実験室の設立、国家重点実験室の再編、イノベーション拠点の最適化・向上等を図るとしている。また④においては、国の主要な科学技術インフラの適切な配置を通じて共有と利用効率向上を進めるとしている。このほか、戦略的科学技術力強化と並行して、企業の技術イノベーション能力の向上、人材のイノベーション活力の活性化、科学技術イノベーションの体制・メカニズムの整備を進めるとしている。

中国科学院による「基礎研究10条」

「十四五」で引き続き基礎研究強化の方針が示される中、基礎研究強化と重要コア技術の開発強化を中心的なミッションとしてきた中国科学院は、新時代の基礎研究強化をめぐるその考え方、政策、措置等についての意見を10項目にまとめた(図表1.2.4(7)-5)。これらを通じ、ミッション主導の制度化された基礎研究に注力し、国の戦略的科学技術力の主力としての役割を果たすことを目指す。

図表1.2.4(7)-5 基礎研究10条

1. 基礎研究の位置づけの調整	6. 重要施設の役割の発揮
2. 重点的科学研究配置の最適化	7. 人材集団の構築強化
3. 科学研究院・研究所の改革の深化	8. 科学技術評価制度の改革
4. 科学研究テーマ選択メカニズムの革新	9. 国際科学技術協力の強化
5. 科学研究の組織方式の変革	10. 良好な科学研究エコシステムの構築

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)

2030年までのカーボンピークアウトと2060年までのカーボンニュートラルの「双炭目標(3060目標)」

達成に対する科学技術による支援についての実施計画が策定された。本計画の実施を通じて、2030年までに、いくつかの最先端技術・破壊的技術の研究でブレークスルーを生み出すとともに、GDPあたりCO₂排出量を2005年比で65%以上削減、GDPあたりエネルギー消費量を大幅削減することを目指す。実施計画は10項目から構成され、その概要は図表1.2.4（7）-6のとおり。

図表 1.2.4（7）-6 双炭目標（3060目標）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	6. 低炭素・ゼロカーボン技術の実証行動
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	7. CO ₂ 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
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	8. CO ₂ 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
4. カーボンマイナスおよびCO ₂ 以外のGHGs排出削減の技術能力強化行動	9. グリーン・低炭素科学技術企業の育成・サービス行動
5. 最先端の破壊的な低炭素技術革新行動	10. CO ₂ 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

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

中央政府の主要なトップダウン型競争的研究資金は、2014年から「国家自然科学基金」、「国家科学技術重大プロジェクト」、「国家重点研究開発計画」、「技術イノベーション誘導計画」、「研究拠点人材プログラム」に集約されている。環境・エネルギー分野に関わる部分については以下のものがある。

国家科学技術重大プロジェクト

国務院が所管官庁となっている。「国家中長期科学技術発展計画綱要」（2006-2020）で「国家科学技術重大プロジェクト」が言及されて以降、複数のプロジェクトが開始している。2016年からは13テーマに集約されており、環境・エネルギー関連では、大型天然ガス田及びメタン開発、大型加圧水型原子炉及び高温ガス冷却炉、水質汚染抑制と対策技術、大型航空機の開発、高精度地球観測システム、有人宇宙飛行と月面探査プロジェクトなどがある。

「国家イノベーション駆動発展戦略要綱」（2016-2030）を受けた「科技创新2030」の16テーマもこの枠組みに含まれる。環境エネルギー関連では、航空機用エンジン及びガスタービン、深海探査ステーション、深宇宙探査・車両システム、石炭のクリーン、効率的利用、スマートグリッド電力システム、宇宙・地上一体ネットワークシステム、北京・天津・河北地区環境対策などがある。

詳細な金額は不明であるが、2014年時点での9テーマ・558件では、1件あたり約7,800万元であり、企業66%、研究機関27%、大学9%の割合であった。

国家重点研究開発計画

各省庁による課題解決型研究費助成を集約したプログラムであり、国家発展改革委員会、科学技術部、工業情報化部が所管省庁である。2021年のファンディング項目は53項目あり、各項目に更に3～5の詳細な研究テーマが設定され、784件（197億元、約2,500万元/件）が採択されている。研究期間は3～5年となっている。このなかで、環境・エネルギーに関わるものは図表1.2.4（7）-7のようなものがある。

図表 1.2.4 (7) -7 環境・エネルギー分野に関わる国家重点研究開発計画の研究項目

グリーンバイオ製造	農産物の高収量と高品質向上技術	農作物の重要度形成と環境適応に関する基礎研究
農業バイオ種子資源の発掘と革新的な利用	北部乾燥地での収量拡大技術	黒地質に関する科学技術
重金属汚染防止技術	林業の種子資源の育成と品質向上	工場化農業の技術とインテリジェント農業機器
食品製造と農産物物流の科学術的支援	農村の技術開発と統合アプリケーション	水資源と水環境の包括的管理
戦略的鉱物資源の開発と利用	大規模自然災害の防止と管理	スマートセンサー
高性能製造技術と設備	地球観測	水素エネルギー技術
エネルギー貯蔵とスマートグリッド技術	交通インフラ	新エネルギー車
触媒科学		

「東数西算」プロジェクト

2022年2月、國務院国家発展改革委員会が国家プロジェクトとして実施することを発表した。デジタル経済の発展に伴いビッグデータの処理など需要が沿海部（東部）を中心に増大する中、再生可能エネルギー電力（風力、太陽光、水力発電等）が比較的豊富な内陸部（西部）にデータセンター、クラウドコンピューティング等の拠点を設け、必要とされる電力の需給バランスを改善するとともに、カーボンニュートラルの達成と国土の均衡ある発展の両立を目指す。

2022年4月時点では、25件のプロジェクトが進行中であり、投資額 1,900 億元以上である。アリババや貴州中雲など、企業との連携により進めている。

中国製造 2025 (2021 - 35年)

2015年に習近平政権が発表した産業政策である。中国国内での新産業の創出、生産性の向上、雇用創出を目指すとしており、「5つの基本方針」と「4つの基本原則」を掲げ、三段階のロードマップを設定し2049年（中国建国100周年）までに製造大国の地位を固め「製造強国のトップ」、即ち製造強国となる目標を掲げている。「5つの基本方針」とは、イノベーション駆動、品質優先、グリーン発展、構造最適化、人材本位である。「4つの基本原則」は、市場主導・政府誘導、現実立脚・長期視野、全体推進・重点突破、自主発展・協力開放である。

更に「9つの重点戦略」は、国家の製造イノベーション能力の向上、情報化と産業化のさらなる融合、産業の基礎能力の強化、品質・ブランド力の強化、グリーン製造の全面的推進、重点分野における飛躍的発展の実現、製造業の構造統制のさらなる推進、サービス型製造と生産者型サービス業の発展促進、製造業の国際化発展レベルの向上である。

(8) 韓国

■ 気候変動とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2017.12	産業通商資源部 (MOTIE)	再生可能エネルギー 2030 計画	2030	2030年までにエネルギーの20%を再生可能エネルギー源から生産し、関連雇用を創出する目標。低炭素エネルギーと新しい気候枠組みに適応したエネルギーシステムガバナンスといった環境の創出を掲げる。エネルギー供給業者向けの再生可能ポートフォリオ基準 (RPS) と小規模な再生可能エネルギー事業者向けの固定価格買取制度 (FIT)、農村地域や建物へのPVの導入、実用規模の再生可能プロジェクトへの環境エネルギー基金の調達、環境にやさしくエネルギーに依存しない都市の実証が主要トピックとして記載。
2018.7	環境部 (ME)	国家温室効果ガス排出削減ロードマップ2030	2030	2014年の国家温室効果ガス (GHGs) 排出削減ロードマップ2020の改訂版。目標年を2020年から2030年に変え削減目標を更新。※ 2015年にパリで開催されたCOP21で2030年のGHGs排出2005年BAUケース比37%減を公表。※ 2016年12月に一度公表したが、排出削減内訳を変更したものを2018年に改めて公表。
2019.1	産業通商資源部などの関係部庁合同	韓国水素経済計画	2040	2040年までの目標として620万台の燃料電池車の生産、1200以上の充填ステーションを設置。2019年に35台以上の水素バスを路上で運用し、2022年までに2,000台、2040年までに41,000台の運用を目標。2040年までに15 GWの発電用の燃料電池の供給を目標。
2019.6	産業通商資源部 (MOTIE)	第3次国家エネルギー基本計画 (2019~2040年)	2040	5つの分野をカバーしたエネルギーミックス計画。再生可能エネルギー：2040年までに電力構成に占める発電量の割合を30~35%に増加。原子力エネルギー：主要なエコシステムを維持。石炭：微細粉塵とGHGs排出量を削減。石油：運輸利用を削減して、産業利用に増加。ガス：発電と運輸でより大きな役割を分担。エネルギー輸入を減らし、安定したエネルギー供給システムを築くため、2040年までにエネルギー消費をBAUケース比18.6%削減を目標。
2019.12	国務会議	第5次国家環境総合計画 (2020-2040)	2040	石炭、内燃機関、プラスチックの段階的廃止を含む、経済および社会的グリーン移行への全体的な方向性を提示。「持続可能でエコロジカルな国を人々とともに建設」「2040年までに環境分野のリーダー国に」といったビジョン。生命にあふれた緑の環境、生活の質を向上させる幸せな環境、経済・社会システムを変革するスマートな環境という3つの主要な目標を設定。
2020.12	非常経済中央対策本部会議	2050年カーボンニュートラル推進戦略	2050	GHGsの排出削減を進めパリ協定を着実に履行するための総合政策。カーボンニュートラルと経済成長、生活の質向上の同時達成を目指して「経済構造の低炭素化」「低炭素産業エコシステムの形成」「カーボンニュートラル社会への公正な転換」に関する課題を設定。

2022.3	環境部 (ME)	炭素中立・グリーン成長基本法 (炭素中立基本法)	2050	2030年のGHGs削減目標を2018年比40%削減と明記。計画の進捗を点検する「2050カーボンニュートラル・グリーン委員会」を設置。「気候変動対応基金」を設置、2022年は2兆4,000億円を投じる。
2022.7	産業通商資源部 (MOTIE)	尹新政権のエネルギー政策の方向性	2030	尹錫悦 (ユン・ソンニョル) 新政権によるエネルギー政策。エネルギー安全保障とカーボンニュートラルの両立のために原子力を積極活用。2030年の総発電量における原子力のシェアを30%以上に設定。既存炉の運転延長、前政権下で停止していた新規炉の建設再開、SMRの開発促進などについて言及。
2023.1	産業通商資源部 (MOTIE)	第10次電力需給基本計画	2036	15カ年計画を2年ごとに更新。現在、第10次計画が最新。原子力、LNGおよび再生可能エネルギーが拡大し、石炭火力は減少する。原子力については、既存の原発の継続運転と新ハヌル原発3、4号機の建設計画が反映された。2020年12月に前政権下で発表された「第9次電力需給基本計画」では2030年時の総発電量に占める割合が25%から32%に引き上げられた。また、2030年までに再生可能エネルギー発電比率を21.6%まで拡大を図る。

■その他の環境とエネルギー関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2023.12	環境部 (ME)	第5次国家生物多様性戦略 (2024~2028年)	2030	1997年から策定している生物多様性戦略の最新版。韓国環境部は、生物多様性保全目標達成を通じて国際社会の一員として義務履行、地域社会における自然共生及び経済効果創出、全ての社会構成員が参加する生物多様性主流化などを目標としている。また、2030年までに全国土の30%を保護地域として管理する目標を掲げている。

■科学技術イノベーション関連

年月	策定主体	名称	目標年	主な内容
2019.12	産業通商資源部 (MOTIE)	第4次エネルギー技術開発計画 (2020~2028年)	-	クリーンかつ安全なエネルギー転換の加速を目標に、エネルギー産業における新ビジネスの参入を積極的に支援する内容が盛り込まれている。中でも、エネルギー新産業分野の人材育成に向けたエネルギー融合大学院を設立するために2020~2024年に50億ウォン (約4億5,000万円) を投じる計画である。
2022.11	環境部 (ME)	第5次環境技術・産業・人材育成計画 (2023~2027年)	2027	環境産業の輸出額2020年の8.2兆ウォンの実績から2023~2027年の累計で100兆ウォン受注、環境人材の育成2018~2022年で16万人の実績から2023~2027年に18万人の目標を掲げている。

2022.12	科学技術情報通信部 (MSIT)	第5次科学技術基本計画 (2023~2027年)	2027	科学技術基本法に基づき、韓国の中長期的な目標と国家科学技術発展の基本的な方向性を定めた包括的な計画である。2023年から5年間で、40を超える省庁、機関、委員会によって実施される。
---------	------------------	--------------------------	------	--

1. 環境・エネルギー分野および関連科学技術分野の政策立案のガバナンス (組織体制)

韓国は大統領制であり、政権交代により大きな省庁再編や、政策変更が行われることが多い。2022年5月に発足した尹錫悦(ユン・ソンニョル)政権では科学技術関連で体制に大きな変更は見られていない(2023年2月時点)。大統領直下の科学技術関連の諮問機関としては国家科学技術諮問会議(PACST)がある。PACSTは科学技術政策全体の総合調整や諮問機関と位置付けられている。科学技術政策は科学技術情報通信部(MSIT: Ministry of Science, ICT)が所管している。MSITの所管の国家科学技術研究会(NST: National Research Council of Science & Technology)には、韓国グリーンテクノロジーセンター(GTC-K)がある。GTC-Kは、関連府省・機関におけるグリーン技術関連の研究開発政策立案やその推進を支援する公的シンクタンクと位置付けられている。

韓国の政策調査機関である韓国科学技術企画評価院(KISTEP: Korea Institute of S&T Evaluation and Planning)には、戦略的に将来展望を行う技術フォーサイトセンターが設けられている。その主な目的は、科学技術の進展予測、その結果の科学技術政策への活用、科学技術の発展で将来がどうなるかを国民に知らせるアウトリーチなどである。KISTEPは科学技術基本計画や国家戦略技術などの科学技術政策を設定する上で重要な役割を果たしている。科学技術基本計画は5年おきに更新され、韓国の科学技術関連政策の最上位の政策文書にあたる。韓国研究財団(NRF: National Research Foundation of Korea)は、科学とイノベーション資金を助成している。創造的な研究を支援し、人材を育成することで、知識の向上と生活の質の向上に貢献することを目的としている。

エネルギー政策は産業通商資源部(MOTIE: Ministry of Trade, Industry and Energy)が担当している。MOTIEの外郭機関として、韓国エネルギー公団(KEA: Korea Energy Agency)、エネルギー管理公社(KEMCO)が省エネ政策、エネルギー効率改善対策、気候変動緩和の推進に係る取組みを担い、韓国エネルギー経済研究院(KEEI: Korea Energy Economic Institute)がエネルギー関連統計の収集・分析や需要予測等を実施している。

環境政策は環境部(ME: Ministry of Environment)が所管している。所管機関には国立環境科学院(National Institute of Environmental Research)や8つの地方環境庁がある。関係機関として環境管理公団、韓国環境資源公社等がある。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

尹新政権の基本方針

尹新政権の発足に伴い国政ビジョンと目標、ならびに国政課題が新たに設定された¹。国政ビジョン「再び飛躍する韓国、共に豊かに暮らす国民の国」の達成に向けた国政目標は、①常識を取り戻した正しい国、②民間が引っ張り政府が後押しするダイナミックな経済、③温かく寄り添い、誰もが幸福な社会、④自律と創意で生み出す動じない未来、⑤自由・平和・繁栄に寄与するグローバル中枢国、⑥韓国のどこでも暮らしやすい地方時代、の6つが設定された。これらに基づく120の国政課題が、迅速な履行を実現するための推進状

1 聯合ニュース 2022年7月26日記事「韓国政府 6大國政目標・120の國政課題を確定」
<https://jp.yna.co.kr/view/AJP20220726001700882> (2023年2月22日アクセス)

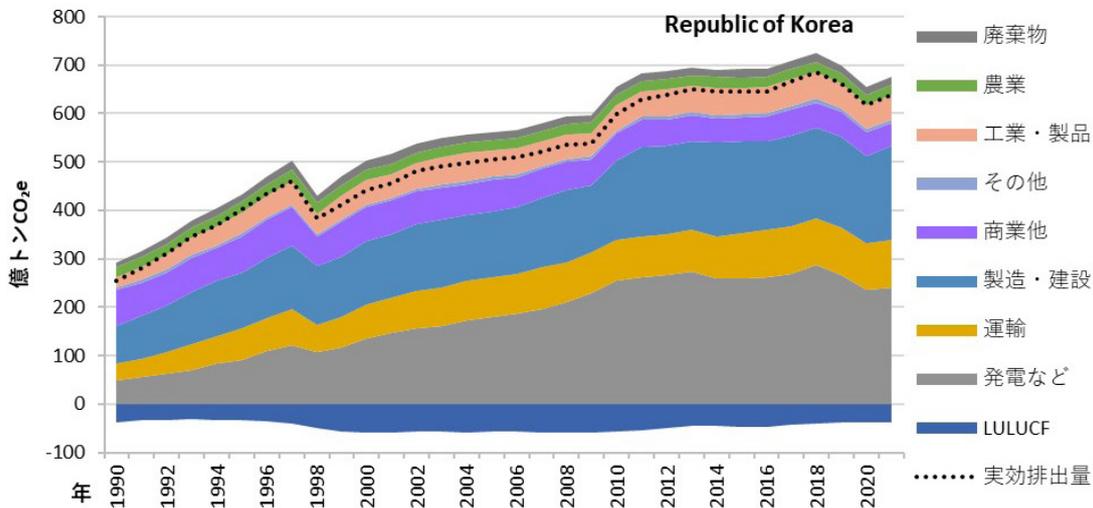
況管理方策とともに発表された。環境・エネルギー分野と関連するものとしては、目標①に脱原発政策の廃止、目標②にエネルギー安全保障の確立、が主要課題として含まれている。

韓国企画財政部が2022年6月に発表した「新政権の経済政策方向」では、①民間中心の力強い経済、②体質改善で飛躍する経済、③未来に備える経済、④共に進む幸福の経済、の4つの方向性に重点を置き、経済政策を推進するとされた。

このうち③未来に備える経済では、第5次科学技術基本計画の策定や国家戦略技術育成特別法の制定を進めること、国家的課題を解決するためのメガプロジェクトや超格差技術（半導体、ディスプレイなど）の確保に重点投資すること等を含む、科学技術・研究開発による革新のための制度改変・制度支援を進める方針とした。先端戦略産業の育成の一環として原子力産業の競争力確保に努めること、独自の小型モジュール炉の開発や10基の原子力発電所輸出を目指すとの方針も示された。カーボンニュートラル・気候変動対応としては、炭素中立・グリーン成長基本計画の策定、エネルギーミックスの合理的な調整、廃プラスチック・廃バッテリーのリサイクルなど循環型経済の基盤構築が方針として示された。

韓国の温室効果ガス排出量推移と削減目標

韓国政府発表の2021年報告では2021年において総排出量は6.77億トンCO₂-eqであり、2018年をピークとして低下減少しているが、パンデミックの影響を受けていた2020年よりは増加していた。2018年までの総排出量の増加はGDP増加による発電や製造などのエネルギー部門の増加が主要な要因となっていたが、1990年の643トンCO₂-eq/十億ウォンから2021年には323トンCO₂-eq/十億ウォンにほぼ継続的に改善している²。森林吸収は0.37億トンであるが、樹齢増加により低下している。このような状況において、排出量の削減を実現するには強い政策の実行が必要と思われる。



図表 1-2-4 (8) -1 韓国のGHGs排出量推移³

(韓国国家統計データを元にCRDSにて作成)

2 韓国 環境省 温室効果ガス総合情報センター, 「国家温室効果ガス排出インベントリ (1990-2021) まとめ」, <https://www.gir.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=6753&fileSeq=1> (2024年2月7日アクセス)

3 韓国 環境省 温室効果ガス総合情報センター, 「国家温室効果ガス排出インベントリ (1990-2021) まとめ」, <https://www.gir.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=6753&fileSeq=2> (2024年2月7日アクセス)

カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー政策動向

カーボンニュートラルをめぐる世界的な潮流を踏まえ、2020年10月当時の文在寅（ムン・ジェイン）政権は、「2050炭素中立宣言」を発表した。この中で2030年時の温室効果ガス削減目標（NDC）を2018年比で26.3%削減、翌年10月にはこれを同年比40%削減に引き上げた。また、2022年3月には世界で14番目となるカーボンニュートラルを法制化した「炭素中立・グリーン成長基本法⁴」を施行した。同施行令は上述の「2050炭素中立宣言」を踏襲、2030年のNDCを2018年比40%削減（基本法では35%以上削減と規定）と明記しているほか、計画の進捗を点検する「2050カーボンニュートラル・グリーン成長委員会」や「気候変動対応基金」といった統治機関や関連予算の設置など具体的な施策を示している。文政権では電力ポートフォリオにおける再生可能エネルギーの割合を高めることで、これまで主力電源だった石炭火力を40.4%（2019年）から15.6%（2034年）へ大幅に低減させ脱炭素化を推進する方針を示した。2019年時点で25.6%と全体の1/4を賄う原子力エネルギーは段階的に縮小する基本方針も示していた。政権交代で2022年5月から発足した尹政権では、エネルギー安全保障とカーボンニュートラルの両立のため原子力の積極活用を表明している。尹政権のエネルギー政策の方向性を示す文書が同年7月に国务会議で決定され、文政権の脱原子力政策は撤回された。尹政権の主な原子力政策の基本方針は次の通りである。

- ・ 2030年の総発電量における原子力のシェアを30%以上に設定（第9次電力需給基本計画⁵に記載された2030年時の原子力発電割合は11.8%）
- ・ 前政権下で撤回された新ハナル3、4号機の建設計画の再開
- ・ 安全性の確保を前提とした既存炉の運転延長
- ・ 2030年までに10基の原子炉を輸出
- ・ SMR開発促進に向け4,000億ウォン投入

2023年3月、斗山エナビリティは韓国水力原子力と約2兆9000億ウォン規模の新ハナル3、4号機主機供給契約を締結、同年6月に産業通商資源部が新ハナル原発の3、4号機の建設に関する実施計画を承認した。3号機は2032年、4号機は2033年の完成を目指すとしている。このように、尹政権下における原発回帰の動きが実態を伴い進んでいる。

2050カーボンニュートラル・グリーン成長委員会が2022年11月に初会合を開き、その場で「カーボンニュートラル・グリーン成長推進戦略」と「カーボンニュートラル・グリーン成長技術革新戦略」が発表された。前者は、前政権で策定された部門別の削減目標を、脱原発政策の転換も踏まえて更新するものである。後者はSTI政策に関連するもので詳細は3.で述べる。また両戦略に基づく詳細計画として「国家炭素中立・グリーン成長基本計画」が2023年4月に公表された。同計画では部門別の削減目標の実現に向けた各種政策ツールを提示するとともに、中核的なグリーン技術の開発や新産業創出にも触れている。

2023年1月には尹錫悦政権による「第10次長期電力需給計画⁶」が発表された。2036年の発電量について原子力は新設を反映して2018年の133.5 TWh（23.4%）から230.7 TWh（34.6%）に増加、石炭は老

4 MOE, "South Korea to move towards the goal of carbon neutrality by 2050", <http://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=461&orgCd=&boardId=1516150&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=> (2023年2月8日アクセス)

5 MOTIE, 「第9次電力需給基本計画」, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156429427> (2023年2月8日アクセス)

6 MOTIE, 「第10次電力需給基本計画」, http://www.motie.go.kr/motie/nc/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=166650&bbs_cd_n=81¤tPage=21&search_key_n=title_v&cate_n=&dept_v=&search_val_v= (2023年2月8日アクセス)

朽設備廃止で239.0 TWh (41.9%) から95.9 TWh (14.4%) に低下、LNGは老朽石炭設備の更新で設備容量は増加するが実効容量は変わらず、152.9 TWh (26.8%) から62.3 TWh (9.3%) に低下、再生可能エネルギーは太陽光発電主体から風力発電の電源ミックスとして35.6 TWh (6.2%) から204.4 TWh (30.6%) に大幅な増加としている。水素・アンモニアなどは47.4 TWh (7.1%) 導入するとしている。LNG発電での水素50% 混焼、石炭発電でのアンモニア20% 混焼も設定された。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

STI政策の全体方針である「第5次科学技術基本計画」が2022年12月に PACSTから公表された。「第5次科学技術基本計画」は、科学技術基本法に基づき、韓国の中長期的な目標と国家科学技術発展の基本的な方向性を定めた包括的な計画である。2023年から5年間で、40を超える省庁、機関、委員会によって実施される。

「科学、技術、イノベーションが導く大胆な未来」を創造するというビジョンを掲げ、「より強力な研究開発戦略」、「民間部門主導」、「グランドチャレンジへの対応」の目標を立てている。更に3つの柱、「戦略I 質的成長のための科学技術体制の高度化」、「戦略II イノベーション力の向上とオープンなエコシステムの醸成」、「戦略III 科学技術による国家懸案の解決と将来への備え」を設定している。環境・エネルギー関連の内容は、戦略IIIの①カーボンニュートラルと⑤サプライチェーンと資源である。

① カーボンニュートラル

韓国は、2030 NDC (国が決定する貢献) 及び2050 カーボンニュートラル目標の達成に貢献するために、カーボンニュートラル達成のための重要な技術戦略計画を策定し、主要産業のエネルギー自給と低炭素排出のための重要な技術を確認し、科学的対応システムを構築する。

⑤ サプライチェーンと資源

韓国は、産業の戦略的自律性を確保し、グローバルサプライチェーン再編に対応するために、重要技術の研究開発を強化する。また、鉱物、エネルギー、食料など資源の国際的な共同探鉱や、資源などの海外生産に関する調査を実施し、グローバルなサプライチェーンの管理能力を強化する。

尹政権は2022年10月に「カーボンニュートラル・グリーン成長推進戦略」と「カーボンニュートラル・グリーン成長技術革新戦略」を発表した。後者は2050年カーボンニュートラルの実現に向けた科学技術・イノベーションの推進戦略と位置づけられ、(1) 民間主導のカーボンニュートラル技術の革新、(2) 迅速かつ柔軟なカーボンニュートラルの研究開発投資、(3) 革新的な技術開発のための基盤構築という3つの方向性が設定された⁷。また、今後、100のカーボンニュートラル・コア技術の選定や、省庁横断型の研究開発予算配分調整体制等の課題に取り組むとした。カーボンニュートラル・コア技術に関しては、エネルギー転換分野では超高効率太陽電池システムや小型モジュール炉 (SMR)、産業分野では水素還元製鉄の製造技術、建物・環境分野では超断熱材・設備技術、輸送分野では次世代二次電池やシリコンカーバイド (SiC) パワーデバイス技術等が含まれている。

環境分野に関する研究開発方針は、5カ年計画として「第5次環境技術・産業・人材育成計画 (2023~2027)」が2022年11月に尹政権で決定されている。第4次計画までの成果は継承発展させるが気候危機、循環経済、安全などの課題解決型技術やグローバルな環境産業、先制的に対応するグリーン産業の人材育成を関係省庁で推進するとしている。

7 JETRO ビジネス短信, 尹政権のカーボンニュートラル・グリーン成長推進戦略を公表 (2022年11月1日), <https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/11/8c7fcb5e5c8da889.html> (2023年2月22日アクセス)

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

韓国エネルギー技術評価・企画院 (KETEP)

政府が策定した国家ビジョンを支援するための技術開発戦略の開発および革新的なエネルギー技術開発の推進 (ファンディング) を目的としており、広領域のエネルギー技術開発プログラムを企画、実施、管理し、研究者や大学、民間企業等を支援している。年間予算は日本円で1,000億円強と言われている。

シンガポールやノルウェーとの国際連携を行っており、洋上風力の技術開発など大型プロジェクトが進行中である。

韓国研究財団 (NRF) の国家戦略的研究開発プログラム

韓国の最大のファンディングエージェンシーである韓国研究財団 (NRF) の支援では、環境・エネルギーに関連するものは少ない。国家的、社会的な課題に対する解決策や、ビッグサイエンスなどを支援している国家戦略的研究開発プログラムのなかで、一部だが、環境・エネルギーに関連するものを支援しており、それらを図表 1.2.4 (8) -2 に示す⁸。

図表 1.2.4 (8) -2 NRF 国家戦略的研究開発プログラムで環境・エネルギーに関連するプロジェクト一覧

名称	目的	期間	助成金額
放射線技術開発プログラム	韓国の科学技術開発の促進と、健康と産業競争力を強化するための主要な放射線技術を確保する	3年、5年 (2年+3年) (2019年7月選定)	約2億5,500万ウォン/ 年/プロジェクト
原子力技術開発プログラム	国民の安全と生活を焦点にして、原子力発電所の安定性の改善と、未解決の問題を解決するための主要な核技術を開発する。	約5年 (3年+2年) (2018年12月選定)	1億~170億ウォン/ 年/プロジェクト
宇宙・原子力国際協力プログラム (韓国・英国共同研究)	将来の主要な核技術を確保し、海外市場への参入の基礎を築くために、二国間および多国間国際協力を戦略的に強化する。	1年、3年、5年 (3年+2年)、9年 (2019年4月選定)	5,000万~30億ウォン/ 年/プロジェクト
輸出のための新型原子炉研究開発	新型原子炉技術の国内検証を通じた研究用原子炉の輸出能力の強化・医療および産業用放射性同位体元素、同位体製品輸出のための国内需要への対応・新産業の創出するための基盤の構築と関連研究開発の促進	約7年 (2019年選定)	2,900億ウォン/プロジェクト
気候変動解決のための技術開発プログラム	温室効果ガスの削減と気候変動適応、リサイクル分野において、革新的な独自技術で将来の成長エンジンを創出	1~10年 (2019年6月選定)	2億~174億ウォン/ 年/プロジェクト (CCSプロジェクト関連で174億ウォン)
国際核融合実験炉 ITER 韓国プロジェクト	ITER 計画には日米欧露中印韓が建設と運用に共同参加。2050年代までの核融合エネルギーの商業化、独自技術の保全、中核的な専門家の育成などを掲げる。	合計18年 (2007年10月~2025年12月)	3,000万~500億ウォン/ 年/プロジェクト

8 National Research Foundation of Korea (NRF), "Directorate for National Strategic R&D Programs", NRF, <https://www.nrf.re.kr/eng/page/644bb6b5-1754-41e0-a5dd-e0d55ca021e9> (2022年11月23日アクセス)

1.2.5 研究開発投資や論文、コミュニティー等の動向

世界のエネルギー分野への投資状況¹

世界のエネルギー分野への2023年の投資は前年比5.8%増の2兆8,000億ドルと予測されている。そのうちクリーンエネルギー技術への投資は1兆7,400億ドルであり、太陽光発電への投資が初めて石油生産への投資を上回ると見込まれている。クリーンエネルギー技術への投資は横ばいで推移していたものの、コロナ禍からの回復と世界的なエネルギー危機への対策により後押しされ、2021年から増加に転じた。この増加にはエネルギーコストの増加も含まれている。クリーンエネルギーのコストは2022年に上昇したものの、2023年には落ち着きを見せているが、投資や政策へも影響している。

国・地域別のクリーンエネルギー技術への投資では中国が5,600億ドル、欧州が4300億ドル、北米が3,100億ドル等となっている。クリーンエネルギー技術の内訳は再生可能エネルギー（6590億ドル）、エネルギー効率化（3770億ドル）、送電網（グリッド）（3310億ドル）、蓄電（370億ドル）、電気自動車（1290億ドル）、原子力（630億ドル）、低炭素燃料・CO₂回収・有効利用・貯留（CCUS）（260億ドル）となった。再エネについては新規投資の大半が太陽光発電で、風力発電は陸上から洋上へと移行しつつある。

政府からの公的研究開発投資は、10%増加して2022年は440億米ドルと推計され、その約80%がクリーンエネルギー関連だった。ただし、投資額の増加は主として中国によるものである。

クリーンエネルギー関連のスタートアップに対する初期ステージのベンチャーキャピタル（VC）投資額は2022年に67億ドルに達した。ほとんどのクリーンエネルギー分野で増加が見られた。特にCO₂回収、エネルギー効率化、原子力、再生可能エネルギー分野は2021年と比較し2倍以上に増加した。大幅な増額の背景には、エネルギー移行に対する信頼感、エネルギー移行が革新的な新規エネルギー技術の市場創出をもたらすことへの期待感、そして投資家が他の資産クラスで同程度のリターンを見出すことに苦労している中でVC市場が活況を呈していることがあると見られている。

国内の研究開発投資状況

総務省統計局の2023年（令和5年）科学技術研究調査によると、2022年度（令和4年度）の科学技術研究費総額は20兆7,040億円で、そのうち大学等は3兆8,421億円、非営利団体・公的機関は1兆7,312億円、企業は15兆1,306億円であった。特定目的別研究費のうちエネルギー分野と環境分野は図表1.2.5-1の通りである。

図表1.2.5-1 主体別の科学技術研究費内訳

（総務省統計局2023年（令和5年）科学技術研究調査を基にCRDS作成）

	大学等	非営利団体・公的機関	企業
各主体の研究費総額	3兆8,421億円	1兆7,312億円	15兆1,306億円
エネルギー	702億円	2,590億円	7,042億円
環境	1,007億円	1,010億円	1兆2,224億円

図表1.2.5-2にエネルギー分野および環境分野の研究費年次推移を示す。エネルギー分野では大学では安

1 International Energy Agency (IEA) , “World Energy Investment 2023”

定的に推移しているが、それ以外では2020年以降は若干の低下が見られる。環境分野では2020年を除けば単調に増加傾向を示している。

次に特定目的別研究費で設定されている8分野の2022年度研究費を図表1.2.5-3に示す。研究費の総額はライフサイエンス分野が最も大きく、エネルギー分野と環境分野は、ライフサイエンス分野の三分の一程度である。また、大学等の研究費の割合が比較的多いのはライフサイエンス分野とナノテクノロジー分野であった。これに対してエネルギー分野は大学等の研究費が占める割合は1割に満たず、非営利団体・公的機関の割合が一定程度あるものの、大半は企業（資本金1億円以上）の研究費であった。環境分野も情報通信分野や物質・材料分野と並んで企業（資本金1億円以上）の研究費が8割を超える。



図表 1.2.5-2 エネルギー分野および環境分野の研究費年次推移
(総務省統計局 2023年（令和5年）科学技術研究調査資料を基にCRDS作成)



図表 1.2.5-3 特定目的別研究費で設定されている8分野の2022年度研究費
(総務省統計局 2023年（令和5年）科学技術研究調査資料を基にCRDS作成)

研究開発を支える国内体制

研究開発を進める上では研究者のみならず技術系の人材も含めた体制が重要になる。図表1.2.5-4には日本の公的研究機関ならびに比較のためドイツの公的研究機関の組織概要をまとめている。理化学研究所、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所はいずれも数千人規模だが、ドイツの各機関は数万人規模と大きい。研究を支えるテクニカルスタッフや技術職員数も、ドイツは日本を上回る規模である。予算規模もドイツは日本を上回り、公的資金の割合もフラウンホーファー研究機構を除いてドイツの方が高い傾向にある。

図表 1.2.5-4 日本とドイツのエネルギー関連国立研究機関予算及び人員体制

(各種資料をもとにCRDS作成)

研究機関	役割	スタッフ数	予算総額	予算構成
理化学研究所	自然科学の総合研究所	3,253人 (うち研究者2,684人。72%にあたる1,941人は任期制職員)(2023年4月1日現在)	約1,001億円	運営費交付金54.7%、特定先端大型研究施設関連補助金27.3%、その他補助金3.2%、受託事業収入等13.2%、その他1.6%
物質・材料研究機構	物質・材料科学技術に関する研究所	1,536人 (うち研究者369人) その他にエンジニア職72人、任期付常勤研究者199人、任期付大学院生143人、任期付その他646人(2023年4月1日現在)	約338億円	運営費交付金43.8%、受託事業収入33.7%、設備整備費9.8%、その他12.4%
産業技術総合研究所	7領域の基礎研究・応用研究	2,865人 (うち研究者2,188人) その他にポスドク170人、大学や企業からの外来研究者289人、テクニカルスタッフ1,508人(2023年7月1日現在)	約1,813億円	運営費交付金60.1%、施設整備費補助金9.9%、受託収入15.9%、その他14.1%
マックスプランク協会 (MPG)	基礎科学研究	16,242人 (うち研究者9,580人、技術系職員3,161人)	約18億ユーロ	連邦政府42.5%、州政府42.5%、その他15%
ヘルムホルツ協会 (HGF)	大型研究施設を使用した研究	約34,682人 (うち研究者約17,831人、技術系職員8,885人)	約45億ユーロ	70%は公的資金 (連邦:州=9:1) 残りを官民のスポンサーから
ライプニッツ連合 (WGL)	社会・人文科学を含む広範な分野をカバー	約13,117人 (うち6,800人が研究者、技術系職員3,472人)	約20億ユーロ	63%が連邦及び州政府 (連邦:州=1:1) から、37%がその他
フラウンホーファー協会 (FhG)	応用研究	約19,928人 (約10,133人が研究者、技術系職員2,752人)	約28億ユーロ	外部資金約85% (企業から約4割、公的プロジェクト)、残り15%は連邦及び州政府 (比率7:3)、EUなどからの基盤助成

1 研究対象分野の全体像

国内の新規研究者人材

図表 1.2.5-5 に、総務省統計局の科学技術研究調査結果から、2022年度の男女別新規採用者数のうち女性の数および割合を示す。大学等、非営利団体・公的機関、企業の中で自然科学系の部門（理学、工学、農学、保健、医学、歯学、薬学）にそれぞれ新規採用された女性の数およびその割合を示している。全体的に工学系は新規採用者の中の女性の割合が低い傾向が見られ、所属機関を総括した場合の割合は13.5%であった。これは、前年度と比較すると2.5ポイントの減少であった。なお、大学等、非営利団体・公的機関、企業別では、それぞれの女性の割合は、18.4%、16.8%、13.2%となり、大学等の女性比率が最も高かった。

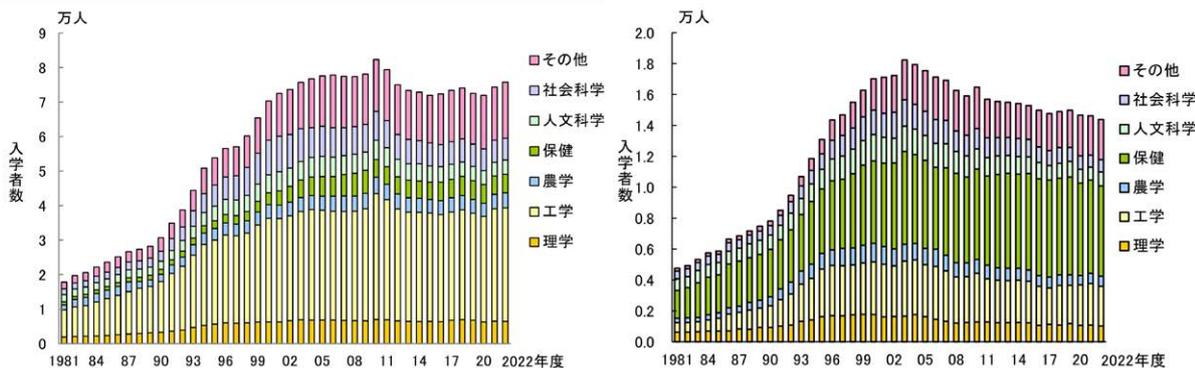
図表 1.2.5-5 2022年度自然科学部門別の女性新規採用者数および割合

(総務省統計局 2023年 (令和5年) 科学技術研究調査資料を基にCRDS作成)

	機関			
	大学等	非営利団体・公的機関	企業	総括
理学系	162(21.9%)	69(25.4%)	1,658(30.3%)	1,889(29.1%)
工学系	152(18.4%)	57(16.8%)	1,904(13.2%)	2,113(13.5%)
農学系	79(41.1%)	127(34.9%)	684(55.1%)	890(49.5%)
自然科学系部門全体 (保健・医歯薬学含む)	1,805(33.9%)	363(29.9%)	4,665(21.0%)	6,833(23.8%)

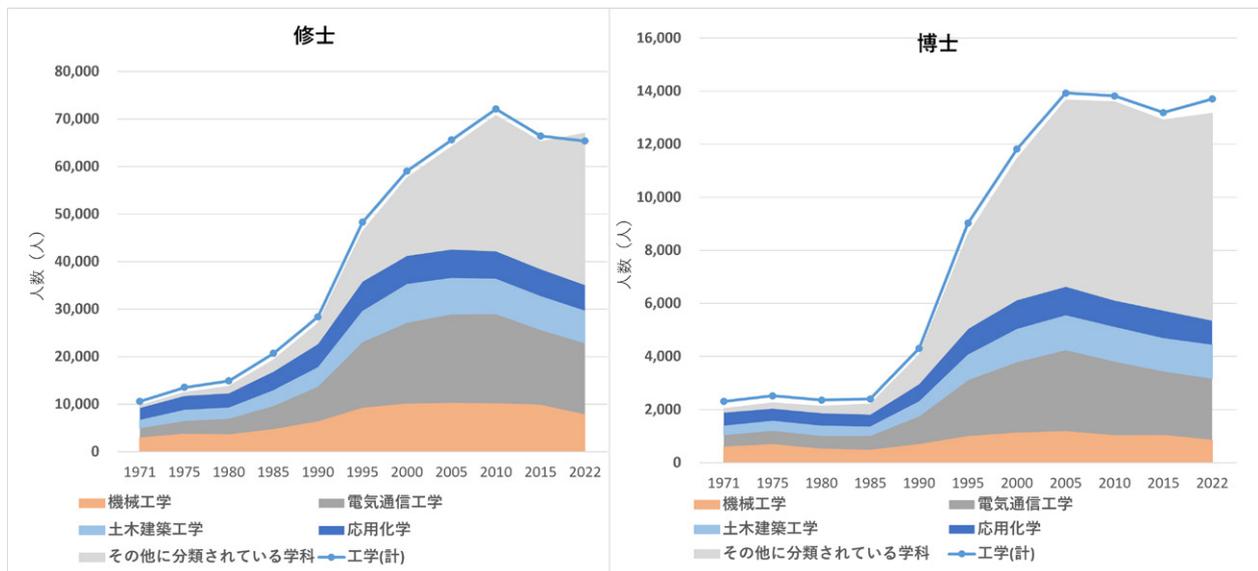
大学院入学者数の推移

大学院入学者数の推移を図表 1.2.5-6 に示す。2022年度の専攻別内訳では、修士課程は工学系が3.3万人と最も多く、次いで理学系0.6万人だった。博士課程は工学系が2,500人、理学系は1,000人程度となっていた。経年変化を見ると、工学系修士は2020年以降微増傾向、工学系博士は2017年度を境に微増傾向にあった。理学系は修士、博士とも横ばいであった。



図表 1.2.5-6 大学院入学者数の推移 (左:修士課程、右:博士課程)²

図表 1.2.5-7 はエネルギー機器や設備の研究開発で重要な位置づけとなる機械工学、電気通信工学、土木建築工学、応用化学分野の大学院入学者の推移を示している。いずれも伝統的な学問分野だが2005年頃までは入学者数がなだらかに伸びており、その後、減少に転じている。1990年以降は大学院の設置基準の大綱化の影響もあり工学系の新興分野が急増している。新興分野も2005年以降はなだらかに減少傾向にある。



図表 1.2.5-7 機械工学、電気通信工学、土木建築工学、応用化学分野の大学院入学者数の推移 (左:修士課程、右:博士課程) (文部科学省学校基本調査をもとにCRDS作成)

論文・特許動向

環境・エネルギー分野および本俯瞰報告書で取り扱う研究開発領域を対象に論文・特許動向の調査を行った。ここではその結果の概要について述べる。なお、検索条件や分析結果の詳細は「研究開発の俯瞰報告書 論文・特許データからみる研究開発動向 (2024年)」を参照されたい。

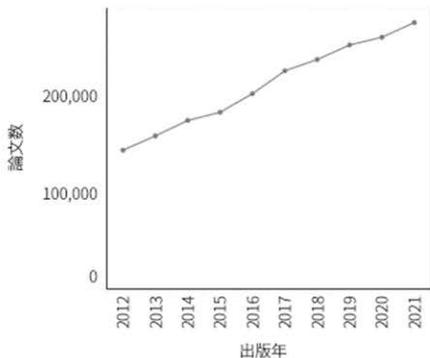
■環境・エネルギー分野の論文・特許動向

主要国のエネルギー分野における論文数の推移を図表 1.2.5-8 (A) に示す。エネルギー分野全体の論文数は一貫して増加していた。中でも中国は論文数、Top10%論文数ともに数を増やしており、特に2017年以降の伸びが顕著であった。米国、欧州は一定の論文数を有するが、論文数、Top10%論文数ともに停滞傾向である。日本は論文数は微増、Top10%論文数は横ばいであった。また、インドが論文数で中国、欧州、米国に次ぐ位置に浮上してきている。

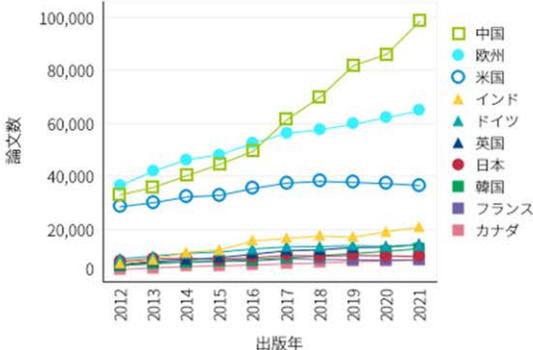
図表 1.2.5-8 (B) に示す環境分野における論文数推移についても、全体の論文数は一貫して増加していた。中国の論文数は2018年以降急激に増加し、2021年の論文数は1位であった。さらにTop10%論文数でも顕著な伸びがみられた。欧州、米国も増加傾向にあり、存在感を示していた。日本は論文数、Top10%論文数ともに若干の増加傾向にあるものの、これらの国には及ばない状況であった。

(A) エネルギー分野の論文数

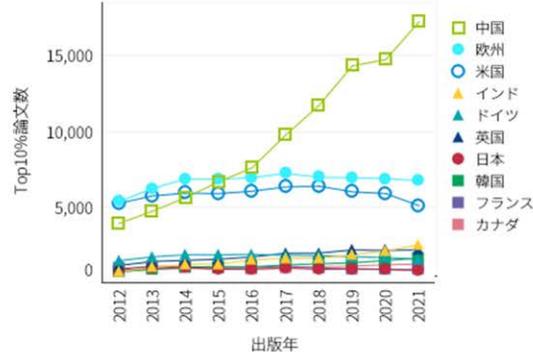
(A1) 分野全体の論文数推移



(A2) 論文数の国別推移

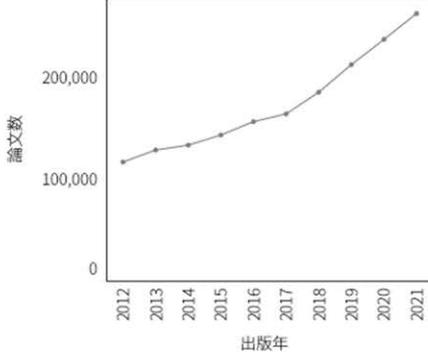


(A3) Top 10%論文数の国別推移

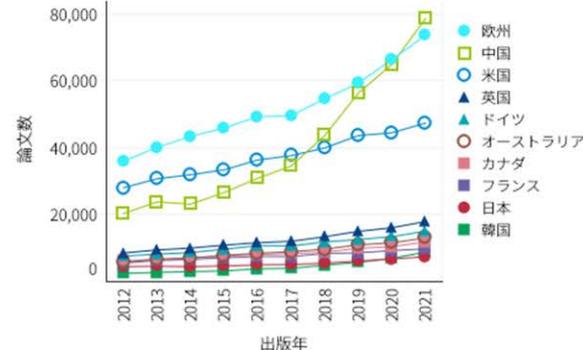


(B) 環境分野の論文数

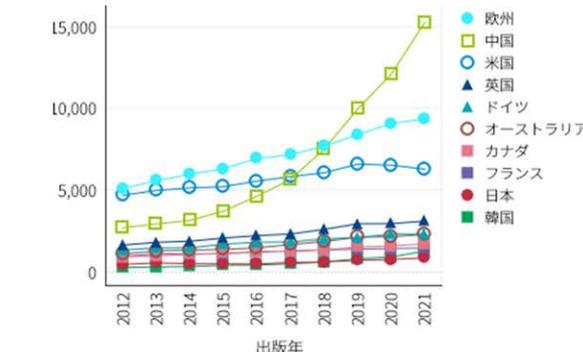
(B1) 分野全体の論文数推移



(B2) 論文数の国別推移



(B3) Top 10%論文数の国別推移



図表 1.2.5-8 (A) エネルギー分野 (B) 環境分野の論文数の国別推移

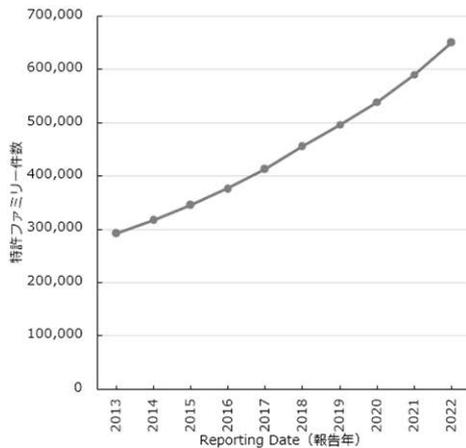
出典:クラリベイト社のWeb of ScienceデータをもとにJST-CRDSが作成。エネルギー分野の論文検索式は化学・工学関連等のWeb of Science Research Areaの中でキーワード(各種発電、水素・アンモニア、蓄エネルギー等)で検索される論文と、エネルギー関連のWeb of Science Research Area分類(燃料、核科学等)を対象とし設計。環境分野の論文検索式は農林水産分野や地球科学、分析化学分野等の環境分野における基盤科学技術分野でキーワード(環境、気候変動、温室効果ガス、カーボンニュートラル等)で検索される論文と、環境分野関連のWeb of Science分野(環境工学、環境科学、水資源等)を対象とし設計。

主要国のエネルギー分野における特許ファミリー件数の推移を図表 1.2.5-9(A)に示す。エネルギー分野全体の特許ファミリー件数は一貫して増加傾向であった。中国は一貫してシェアを伸ばしており、特許ファミリー件数において他国を圧倒していた。日本は中国に次ぎ2位の特許ファミリー件数を有し、一定の存在感を示していた。ただし、中国の勢いに押され、そのシェアは低下傾向にある。米国も同様にシェアを低下させていた。韓国のシェアは10%台を維持し、2022年時点で米国とシェアを並べた。ドイツのシェアはこれらの国に次いで5位に位置した。

図表 1.2.5-9(B) に示す環境分野における特許ファミリー件数においても、分野全体の特許ファミリー件数は一貫して増加傾向にあった。中国は2022年の時点で約70%の特許ファミリー件数シェアを占めていた。これは、エネルギー分野における中国のシェア（約55%）と比較しても大きく、環境分野は中国の存在感がひとときわ大きいと言える。2022年の時点で日本は中国、韓国に次ぎ3位であった。

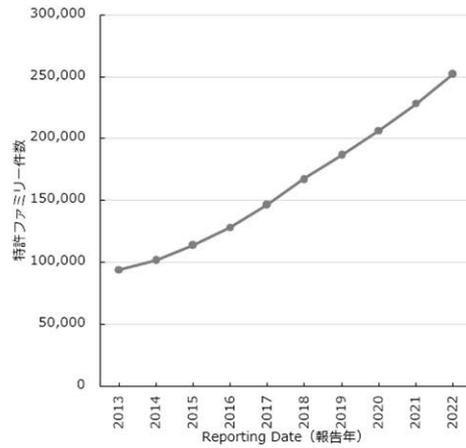
(A) エネルギー分野の特許ファミリー件数

(A1) 分野全体の特許ファミリー件数推移

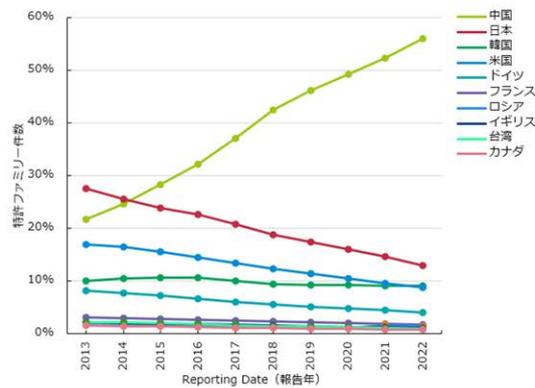


(B) 環境分野の特許ファミリー件数

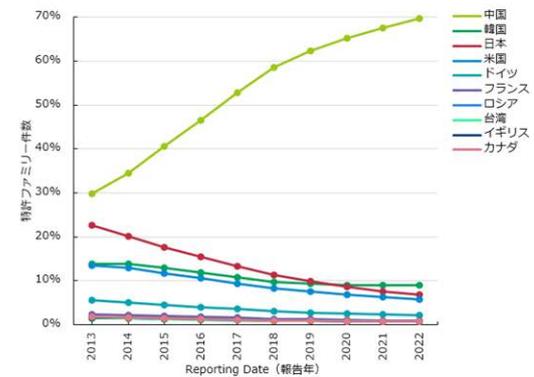
(B1) 分野全体の特許ファミリー件数推移



(A2) 特許ファミリー件数の各国シェア



(B2) 特許ファミリー件数の各国シェア



図表 1.2.5-9 (A) エネルギー分野および (B) 環境分野の特許ファミリー件数推移および各国シェア

出典: レクスネクシス社の Patent Sight データを基に JST-CRDS が作成。検索式はエネルギー分野および環境分野の各研究開発領域の検索式を積み上げ設計した。

■ 研究開発領域別の論文・特許動向

本俯瞰報告書で扱う研究開発領域別の論文・特許動向の分析を行った。図表 1.2.5-10 は、エネルギー分野・環境分野の各研究開発領域における 2021 年の論文数国別シェアを示したものである。エネルギー分野について、中国はほとんどの領域において首位を獲得し、「水素・アンモニア (52%)」「CO₂ 利用 (49%)」で特に高い論文シェアであった。米国はエネルギー分野の各領域にて 10-20% 程度の論文数シェアを有し、中国に次ぐ存在感を示した。特に論文シェアの高い領域は「ネガティブエミッション技術 (24%)」「原子力発電 (核融合) (20%)」であった。日本は多くの領域で 2-4% 程度だが、「原子力発電 (核融合) (11%)」「原子力発電 (原子力) (25%)」は高い論文シェアを有した。

環境分野については、いずれの領域も米国または中国が首位となった。中国は「持続可能な大気環境

(40%)」「持続可能な土壌環境 (42%)」で突出していた。大気・土壌汚染に関する関心が高く、2013年前後から環境浄化の指標を定めた行動計画や法改正が次々に行われ、研究が盛んに進められていることが背景にあると考えられる。米国は「気候変動予測 (30%)」の論文シェアが特に高かった。米国では気象・気候予測研究が活発で、欧州と同様に世界中から研究者が集まってくる環境にあり、さらに昨今は政権変更によらず継続的に気候研究が優先項目に挙げられ、政策的にも重視されていることが背景として考えられる。日本の論文シェアは、いずれの領域でも2-4%程度であった。

(a) エネルギー分野										
	日本	米国	中国	英国	ドイツ	フランス	韓国	オーストラリア	インド	
火力発電	3%	14%	34%	4%	4%	1%	5%	3%	7%	1位:青 2位:緑 3位:ピンク
原子力発電 (原子力)	11%	15%	26%	5%	4%	6%	9%	0%	6%	
原子力発電 (核融合)	25%	20%	22%	6%	10%	9%	3%	0%	4%	
太陽光発電	3%	12%	24%	5%	5%	3%	5%	4%	12%	
風力発電	2%	12%	30%	8%	6%	3%	3%	0%	8%	
バイオマス発電・利用	2%	11%	31%	5%	4%	3%	4%	0%	12%	
水力発電・海洋発電 (水力発電)	2%	16%	29%	5%	4%	2%	1%	0%	7%	
水力発電・海洋発電 (海洋発電)	4%	19%	30%	12%	3%	5%	5%	6%	5%	
地熱発電・利用	4%	15%	26%	7%	9%	6%	2%	0%	0%	
太陽熱発電・利用	2%	6%	27%	5%	3%	3%	2%	0%	16%	
CO2回収・貯留 (CCS)	3%	15%	34%	9%	5%	3%	5%	4%	0%	
蓄エネルギー技術	3%	13%	46%	5%	5%	2%	5%	4%	8%	
水素・アンモニア	4%	9%	52%	4%	4%	2%	6%	4%	7%	
CO2利用	4%	13%	49%	5%	5%	3%	6%	4%	7%	
産業熱利用	4%	12%	34%	6%	7%	4%	4%	0%	9%	
地域・建物エネルギー利用	3%	14%	23%	8%	5%	3%	3%	4%	5%	
ネガティブエミッション技術	4%	24%	28%	12%	10%	4%	2%	8%	0%	
エネルギーマネジメントシステム	2%	18%	25%	6%	4%	2%	3%	0%	9%	
エネルギーシステム・技術評価	2%	14%	25%	9%	9%	3%	2%	0%	6%	

(b) 環境分野										
	日本	米国	中国	英国	ドイツ	フランス	韓国	オーストラリア	インド	
気候変動観測	3%	27%	24%	9%	9%	7%	3%	6%	0%	
気候変動予測	3%	30%	22%	12%	10%	6%	3%	7%	0%	
水循環 (水資源・水防災)	3%	19%	29%	6%	5%	3%	3%	4%	8%	
生態系・生物多様性の観測・評価・予測	2%	28%	23%	10%	9%	6%	1%	7%	0%	
社会-生態システムの評価・予測	2%	24%	18%	10%	10%	6%	1%	8%	0%	
農林水産業における気候変動影響評価・適応	3%	24%	17%	11%	9%	6%	2%	9%	0%	
都市環境サステナビリティ	4%	23%	20%	10%	6%	3%	2%	7%	0%	
環境リスク学的感染症防御	3%	32%	11%	12%	6%	3%	2%	6%	0%	
水利用・水処理	2%	17%	28%	5%	4%	2%	4%	6%	8%	
持続可能な大気環境	3%	24%	40%	7%	4%	3%	5%	0%	7%	
持続可能な土壌環境	2%	7%	42%	3%	3%	2%	3%	0%	12%	
リサイクル	2%	8%	24%	6%	4%	3%	3%	0%	8%	
ライフサイクル管理 (設計・評価・運用)	2%	14%	20%	9%	7%	4%	3%	6%	0%	
環境分析・化学物質リスク評価	3%	14%	30%	6%	6%	5%	3%	0%	0%	

図表 1.2.5-10 (a) エネルギー分野 (b) 環境分野の各研究開発領域における 2021 年の論文数国別シェア

出典:クラリベイト社のWeb of ScienceデータをもとにJST-CRDSが作成。

検索式は各領域に対応するキーワードをもとに設計した。

図表 1.2.5-11 に、エネルギー分野・環境分野の各研究開発領域における 2022 年の特許ファミリー件数国別シェアを示す。エネルギー分野について、中国は全ての領域で首位を独占し、他国を大きく引き離していた。日本、米国、韓国が次いで多くの領域で高いシェアを獲得した。日本や韓国は、論文よりも特許において高いシェアを有する傾向にあるといえる。中国において特に特許ファミリー件数シェアの高い領域は「エネルギーシステム技術評価 (84%)」「火力発電 (68%)」「風力発電 (67%)」などがある。風力発電に関しては、国内産業支援策を背景に技術の導入が進められ、風車の大型化では世界トップに躍進していることが背景にあるとみられる。米国は「CO₂貯留や石油増産を伴う貯留 (EOR) を行えるフィールドを国内に有する地理的な優位性が背景にあると考えられる。日本は「蓄エネルギー技術 (22%)」「水素・アンモニア (20%)」などで強みを発揮していた。リチウムイオン電池の実用化に初めて成功し、また燃料電池の開発を積極的に進めてきた技術の蓄積が背景として考えられる。

環境分野についても、中国は全ての領域で首位を獲得した。70%以上のシェアを有する領域が複数存在し、環境に関する広い分野で特許出願が活発である。日本、米国、または韓国が次いで多くの領域で高い特許シェアを有していた。日本は特に「持続可能な大気環境(21%)」に関する特許シェアが高く、自動車関連企業が排気ガス浄化に関する技術で多数の特許を有していることが背景にあると考えられる。

(a) エネルギー分野 1位:青 2位:緑 3位:ピンク

	日本	米国	中国	英国	ドイツ	フランス	韓国	オーストラリア	インド
火力発電	9%	8%	68%	1%	3%	1%	8%	0%	1%
原子力発電 (原子力)	16%	8%	52%	1%	2%	3%	12%	0%	0%
原子力発電 (核融合)	7%	13%	59%	3%	2%	2%	5%	0%	0%
太陽光発電	9%	10%	60%	1%	3%	1%	10%	0%	0%
風力発電	4%	6%	67%	2%	5%	1%	6%	0%	1%
バイオマス発電・利用	7%	12%	56%	1%	3%	2%	8%	0%	1%
水力発電・海洋発電 (水力発電)	6%	4%	60%	1%	2%	1%	7%	0%	0%
水力発電・海洋発電 (海洋発電)	11%	10%	49%	2%	2%	2%	13%	1%	0%
地熱発電・利用	8%	13%	53%	2%	4%	2%	10%	1%	0%
太陽熱発電・利用	5%	10%	58%	1%	4%	2%	8%	1%	0%
CO2回収・貯留 (CCS)	14%	20%	36%	2%	4%	3%	12%	1%	1%
蓄エネルギー技術	22%	8%	52%	1%	4%	2%	7%	0%	0%
水素・アンモニア	20%	10%	46%	1%	6%	2%	11%	0%	1%
CO2利用	11%	12%	53%	1%	4%	2%	9%	0%	1%
産業熱利用	10%	7%	61%	1%	5%	3%	7%	0%	0%
地域・建物エネルギー利用	14%	7%	55%	1%	3%	2%	13%	0%	0%
ネガティブエミッション技術	5%	14%	64%	2%	2%	0%	8%	1%	0%
エネルギーマネジメントシステム	10%	9%	66%	1%	3%	1%	7%	0%	1%
エネルギーシステム・技術評価	1%	6%	84%	1%	4%	1%	2%	0%	1%

(b) 環境分野 1位:青 2位:緑 3位:ピンク

	日本	米国	中国	英国	ドイツ	フランス	韓国	オーストラリア	インド
気候変動観測	4%	7%	67%	1%	1%	1%	13%	1%	0%
気候変動予測	2%	4%	71%	0%	1%	0%	18%	0%	0%
水循環 (水資源・水防災)	4%	3%	84%	0%	0%	0%	6%	0%	0%
生態系・生物多様性の観測・評価・予測	1%	1%	93%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
社会-生態システムの評価・予測	6%	2%	77%	0%	0%	0%	13%	0%	0%
農林水産業における気候変動影響評価・適応	3%	25%	42%	0%	1%	0%	22%	0%	0%
都市環境サステナビリティ	8%	5%	71%	0%	1%	1%	12%	0%	1%
環境リスク学的感染症防御	9%	20%	49%	3%	7%	3%	6%	0%	1%
水利用・水処理	7%	6%	69%	1%	1%	1%	11%	0%	0%
持続可能な大気環境	21%	14%	39%	2%	10%	2%	9%	0%	1%
持続可能な土壌環境	9%	4%	74%	0%	0%	1%	7%	0%	0%
リサイクル	4%	5%	71%	1%	2%	1%	8%	0%	0%
ライフサイクル管理 (設計・評価・運用)	2%	10%	73%	0%	1%	0%	6%	0%	1%
環境分析・化学物質リスク評価	2%	10%	73%	1%	2%	1%	4%	0%	0%

図表 1.2.5-11 (a) エネルギー分野 (b) 環境分野の各研究開発領域における2022年の特許ファミリー件数国別シェア

出典:レクサスネクシス社の Patent Sight データを基にJST-CRDSが作成。検索式は各領域に対応するキーワードをもとに設計した。

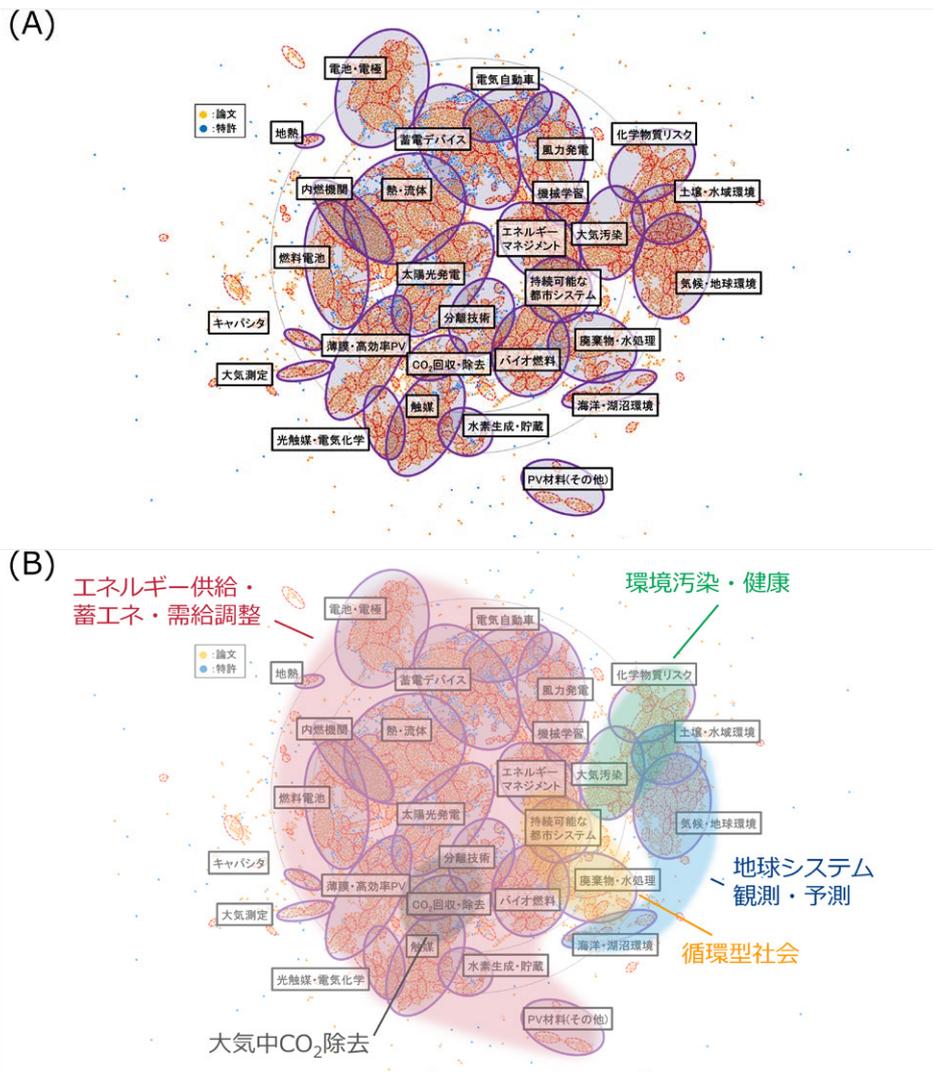
■論文・特許俯瞰マップでみる環境・エネルギー分野の俯瞰解析

環境・エネルギー分野の論文約44万件と特許約28万件、合計約72万件を対象にマッピングとクラスタリングにより関係性を可視化した論文・特許マップを作成し、俯瞰的分析を実施した。ここでは、その内の論文・特許俯瞰マップと年次推移の概要を記す。なお、調査の詳細については、CRDS 調査報告書³を参照されたい。

環境・エネルギー分野の論文および特許を統合しクラスター解析を行った結果を図表 1.2.5-12(A) の俯瞰マップに示す。技術領域として紫実線楕円で示す28領域が確認された。また、これらの技術領域を5つの概念でまとめ図表 1.2.5-12(B) に示した。概して、俯瞰マップ中央から左側には「太陽光発電」「薄膜・高効率

3 CRDS 調査報告書「論文・特許マップで見る環境・エネルギー分野の俯瞰とマテリアル関連研究の波及・展開 (仮)」2024年度発行予定

PV」「燃料電池」「熱・流体」「内燃機関」「バイオ燃料」「水素生成・貯蔵」「風力発電」などのエネルギー供給に関する技術領域、「電池・電極」「蓄電デバイス」「電気自動車」など蓄エネルギーやその利用に関する技術領域、「エネルギーマネジメント」など需給調整に関する技術領域が位置した。俯瞰マップ中央下側には「CO₂回収・除去」を主に大気中CO₂除去に関する技術領域が現れた。俯瞰マップ右側は環境に対するテーマが位置し、「化学物質リスク」「大気汚染」などの環境汚染・健康に関する技術領域、「土壌・水域環境」「気候・地球環境」「海洋・湖沼環境」など地球システム観測・予測に関する技術領域、「持続可能な都市システム」「廃棄物・水処理」など循環型社会に関する技術領域が見られた。



図表 1.2.5-12 環境・エネルギー分野の論文・特許俯瞰マップ (A: マップ全体 B: 5つの大分類)

環境・エネルギー分野の論文約44万件と特許約28万件、合計約72万件を対象にマッピングとクラスタリングにより関係性を可視化した。分析件数の制約上、論文は対象ジャーナルを限定し、特許は発行機関が世界知的所有権機関 (WIPO) であるものを対象とした。期間は2001年から2023年分までとし、分析対象はタイトル及び要約とした。論文を橙色、特許を青色でプロットしてある。赤破線楕円は、トピックモデルにおける筆頭トピックが共通する文献を技術群としてまとめている。さらに赤楕円の内容に基づいて、技術領域として関連する上位概念を紫色楕円で示した。

続いて、環境、エネルギー分野の研究開発の経年変化について分析した。今回分析対象とした論文・特許数の年次推移を図表 1.2.5-13 に示す。2023 年は集計途中のため件数が少なくなっている。

論文数に関しては、増加傾向が続いている。特に2015年以降の論文数の急激な伸びは、主に中国の牽引

によるものであった。特許件数に関しては、2000年代において増加し、2013年頃をピークに減少に転じた。その後、2017年頃からは再び上昇傾向にあった。

環境・エネルギー分野の論文数の推移を図表1.2.5-14にヒートマップで示した。2001年から2023年までを前半（2001年～2011年）と後半（2012年～2023年を4年毎、3期）の4期間に分けた。なお、各図が比較可能なように感度の調整を行っている。

2001年～2011年（図表1.2.5-14(a)）においては、色素増感太陽電池・材料、水素貯蔵合金・錯体、雲科学研究が出現しているが、顕著に集中した技術群は見られない。2012年～2015年（図表1.2.5-14(b)）においては、色素増感太陽電池・材料の顕著な増加とともに、電力変換効率向上、薄膜太陽電池技術、ペロブスカイト太陽電池、量子ドットPVのほか、リチウムイオン電池、高性能キャパシタ、光触媒、内燃機関、バイオ材料ガス化、微細藻類由来バイオ燃料、LCAほかの技術群が出現している。2016年～2019年（図表1.2.5-14(c)）になると、ペロブスカイト太陽電池、電力変換効率向上、リチウムイオン電池、高性能キャパシタへ集中しているとともに、酸素発生触媒、土壌分析、エネルギーシステム、まちづくりが出現した。さらに、直近の2020-2023年（図表1.2.5-14(d)）では、前期（2016年～2019年）と同様に、リチウムイオン電池、ペロブスカイト太陽電池、光触媒、酸素発生触媒への集中が継続していることに加え、熱エネルギー貯蔵、発電市場/取引などの技術群があらたに出現している。さらに、気候変動影響、プラスチック汚染など、俯瞰マップ右側の環境関連分野の隆盛が顕著となっている。

特許数の推移についても論文と同様、4期間に分けてヒートマップで示した（図表1.2.5-15）。2001年～2011年（図表1.2.5-15(a)）においては、空気エネルギー循環・空調、風車設計、燃料電池が出現しているが、顕著に集中した技術群は見られない。2012年～2015年（図表1.2.5-15(b)）においては、バッテリー技術、電気自動車技術、制御（充電・自動運転、電圧/電流）、活物質、電極技術、熱流体・輸送技術、エネルギー貯蔵技術、薄膜材料、表面改質、風車設計ほかへの集中が出現している。2016年～2019年（図表1.2.5-15(c)）になると、バッテリー技術、活物質、空気エネルギー循環・空調ほかへ集中が顕著であり、直近の2020-2023年（図表1.2.5-15(d)）でも継続している。一方、俯瞰マップ右側の環境関連の領域では特許件数の顕著な増加は見られず、論文を中心として研究開発が進められている特徴が見られた。

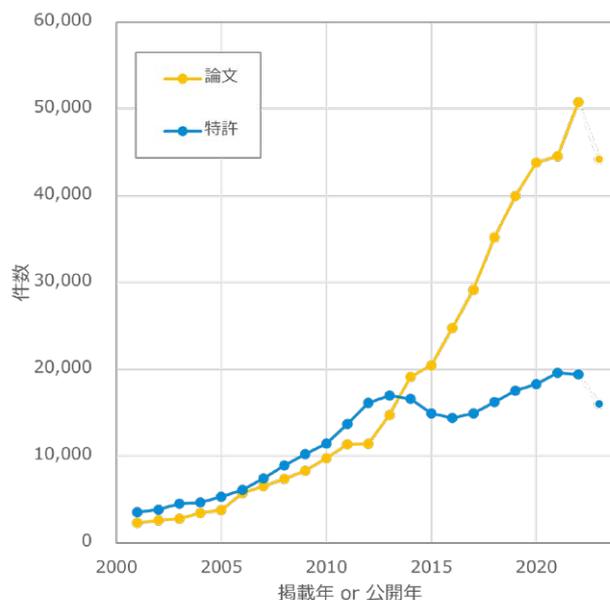
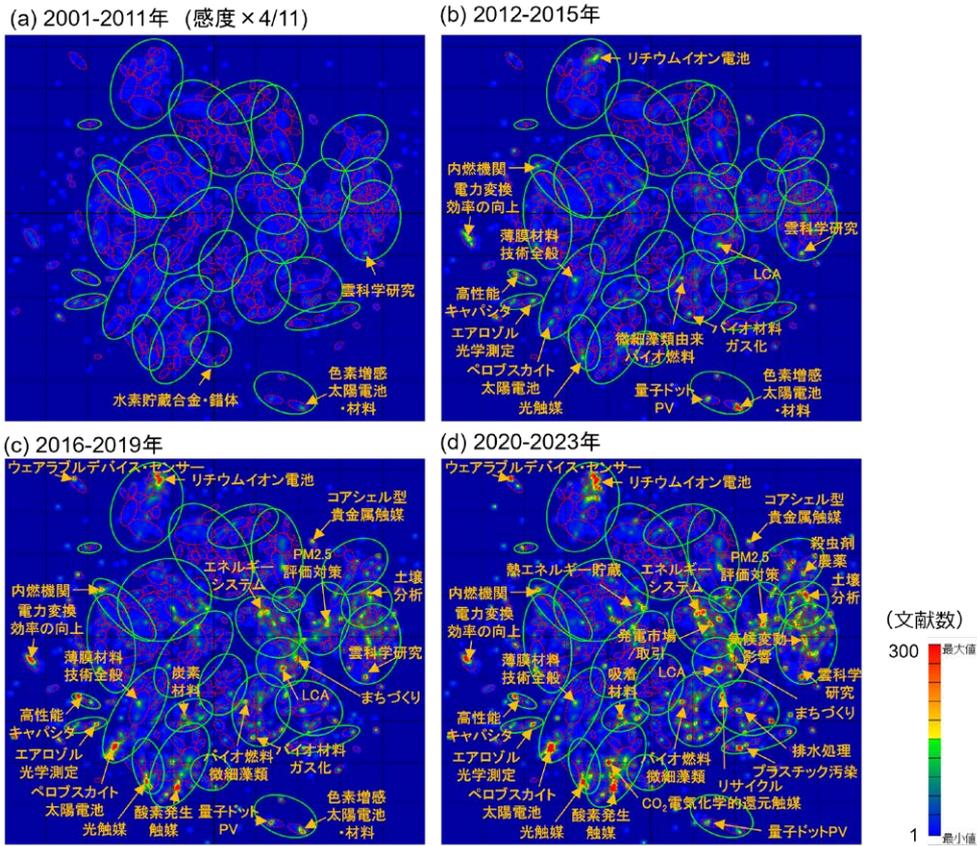
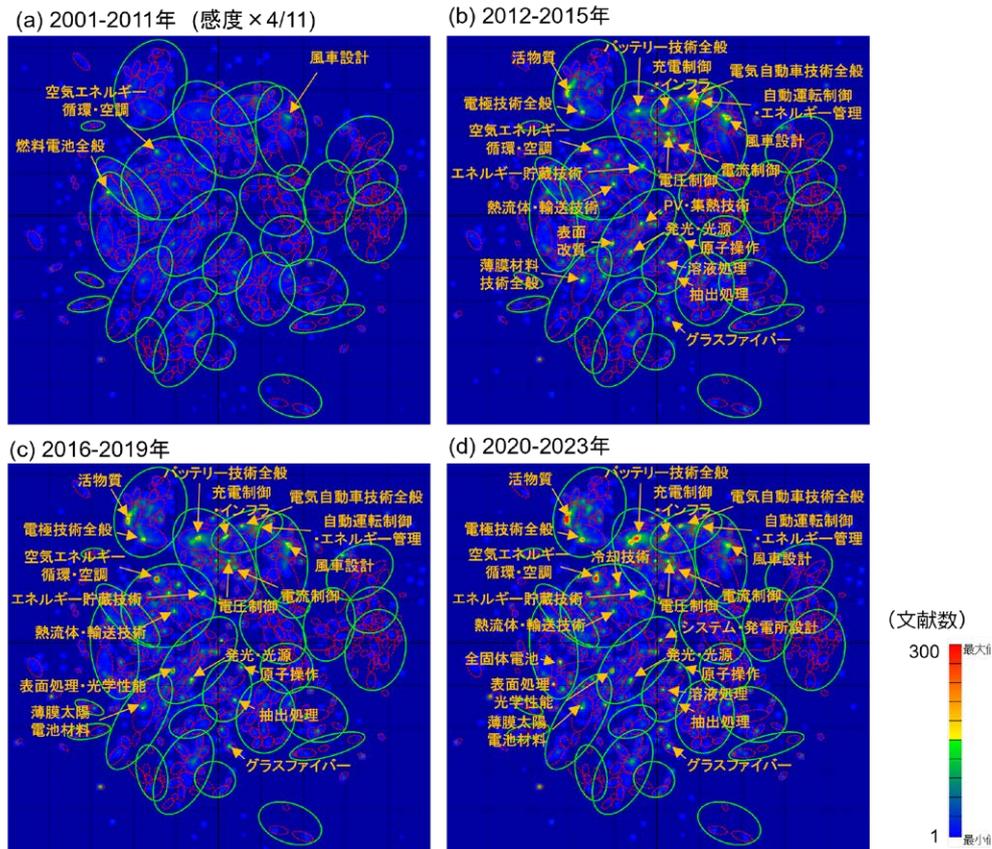


図1.2.5-13 分析対象とした論文・特許件数の年次推移

2023年は集計途中のため参考情報としてプロットのみを示す



図表 1.2.5-14 論文分布の経年変化



図表 1.2.5-15 特許分布の経年変化