

1. 研究対象分野の全体像

1.1 俯瞰の範囲と構造

1.1.1 社会の要請、ビジョン

環境・エネルギー分野とは

環境・エネルギー分野は人間社会の基盤として古くから社会の発展を支えてきた分野である。現代に続くエネルギーの大規模利用の歴史は18世紀の蒸気機関の革新にまでさかのぼることができ、環境分野に関する取組みは産業社会の高度化・多様化に伴って深刻化した様々な環境問題への対応とともに発展してきた。時代とともに分野を取り巻く状況は様々に変化してきたものの、社会の要請に応え、将来ビジョンの実現に貢献する分野であるとの根幹は普遍である。本書では、こうした本分野の範囲を以下のように捉えている。

エネルギー分野： エネルギーの生産・流通・利用に係る分野

環境分野： 人間活動に必要な土地や生活環境の開発・管理・改善、
およびそれらを取り巻く自然環境の管理・活用に係る分野

また、本分野に係る科学技術、研究開発とは、「社会の要請の充足や社会課題の解決に資する科学または技術を提供するもの」と言える。社会の要請の充足や社会課題の解決のために創出された新たな科学的知見や新技術は、製品・サービス、社会システム、特定の知識体系等の形で、統合化・システム化され、社会へ実装されてゆく。また知識や技術が実装された社会の中では、新たな社会的要請や課題が生じることとなり、それらは新たな研究開発を始める動機となる。こうした科学技術と社会との間の循環の中で本分野の研究開発が行われ、発展してきたと言える。

社会の要請

環境・エネルギー分野に関連する社会の要請は、「持続可能な社会」の実現に向けた取組みの強化である。かつて社会的に大きく注目された概念である「プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）」で示されたように、人間活動が地球環境に対して与える影響は地球温暖化、生物多様性の損失、物質循環、大気汚染、化学物質汚染等、多岐にわたる。またその一部は自然のメカニズムによって回復可能な許容レベルを超えている可能性が高いと指摘された。こうした状況下で人間社会が今後も健全な発展を続けていくためには何をすべきかという問題は、国際社会がここ数十年にわたって取り組み続けている問題である。経済・社会・環境に関わる広範な課題に統合的に取り組むことを目指して2016年1月に発効した「持続可能な開発目標（SDGs）」は、まさにその問題意識に立っており、それゆえ環境・エネルギー分野に関する多数の課題をSDGsの目標としても設定している。

多数の課題の中でとりわけ地球温暖化についてはここ数年で世界の動きが一層活発化している。2016年11月に「パリ協定」が発効し、全ての国が地球温暖化の原因となる温室効果ガス

の排出の削減に取り組むことを約束した。我が国を始めとする世界の各国は、自国を取り巻く様々な状況の中でいかにしてその方向性を進めていくかに努力している。しかしそれにも関わらず、現行努力の延長線上のみでは地球上の平均気温を 2℃以内に抑えるという目標の達成は困難であると見られており、環境・エネルギー分野における科学技術イノベーションを含めた様々な方策を総動員していかに現状を打破するかが国際的な関心事である。

地球温暖化への対応では温室効果ガス排出の削減という緩和策とともに、温暖化による影響への対応という適応策も重要な課題であることはパリ協定でも指摘されている。とりわけ適応策を検討するにあたっては、温暖化によってどこでどのような影響が生じる可能性があるのかということ、できるだけ精度高く予測することが求められる。これに基づきどのような災害への備えをするか等の対策が検討されることになる。それゆえ、温暖化そのものの把握と同時に、温暖化による影響の予測・評価及びそれに基づく適応策の検討が必要とされている。

もう一つ、ここ数年、議論が活発化しているのは「循環型経済（サーキュラーエコノミー）」に係る課題である。代表的な事例はプラスチックである。欧州がプラスチック廃棄物の抑制やリサイクルの推進を開始し、中国がプラスチックごみを始めとする様々な廃棄物の輸入規制を始めたことが世界中に影響を及ぼしつつある。

以上に加えて、エネルギーに関する極めて重要な社会の要請は、「安全性（Safety）」を前提とした「安定供給性（Energy Security）」、「経済効率性（Economic Efficiency）」、「環境への負荷低減（Environmental Load）」の同時達成の追求である。エネルギーが持続的かつ身近に利用できることが人間社会の発展に極めて重要であることは論をまたない。しかしながらこれらの同時達成は、限られた国土の中で天然資源に乏しくエネルギー資源の大半を海外からの輸入に頼っている我が国にとっては、国際社会の情勢にも大きく依存するため、必ずしも容易なことではない。それゆえ科学技術イノベーションはもちろん、あらゆる方策の総動員によって取り組む必要のある課題となっている。

以上に述べた社会の要請は現在の地球環境のひっ迫した状況を背景としているが、それら課題への取り組みを新たな機会と捉える前向きな面もある。とりわけあらゆるヒトやモノが情報通信技術を介して繋がる IoT（Internet of Things）もしくは IoE（Internet of Everything）、それらによって利用可能になるあらゆる種類のデータ、そしてそれら膨大なデータ（ビッグデータ）の活用を可能にする高性能な計算機器等の最大限の活用によって実現する社会は、我が国では Society5.0 としてその実現に向けた取り組みが推進されている。また、こうした社会ビジョンは「デジタルエコノミー」と呼ばれるものとも方向性が一致する。これらに関連する取り組みは、当然ながら環境・エネルギー分野においても様々な課題の解決に向けた重要な後押しになると期待されている。

1.1.2 科学技術の潮流・変遷

潮流

環境・エネルギー分野の科学技術を取り巻く潮流は、大きく分ければ社会的要請や政策的誘導、あるいは世界的企業による戦略的なキャンペーン等に基づくニーズ・プルの潮流と、技術的進展等に基づくボトム・アップの潮流の 2通りがある。これらを踏まえて近年の潮流を挙げるとすると、ニーズ・プルの潮流としては「気候変動対応（緩和策と適応策）」、「循環型社会」、

「デジタルエコノミー」が挙げられる。またボトム・アップの潮流としては「ビッグデータ化」と「スマート化」が挙げられる。以下ではこれらの潮流に関する科学技術の変遷を概観する。

気候変動対応（緩和策と適応策）

地球温暖化の問題が国際的に認知され、本格的に議論され始めたのは、20世紀半ば以降のことである。その後、1988年に「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」が世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された。IPCCは地球温暖化による気候変動に関して科学的・技術的・社会経済的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、国際社会の取組み強化に対し、評価報告書をまとめる等を通じて科学的裏付けを与えてきた。このIPCCによる評価報告書はこれまでに5回作成・公開されており、第5次評価報告書（AR5）は2013～2014年にかけて公開された。現在は2021～2022年に公表予定のAR6の作成検討が進められている。またAR5公表後、京都議定書の後継であるパリ協定が採択・発効されると、気候変動への対応（緩和策と適応策）は大きな社会的要請として国際社会の中で改めて強く認識された。それは科学技術に対しても例外ではなく、大きな潮流として影響を及ぼしている。

循環型社会

「循環型社会」（欧州では「Circular Economy」）の形成に向けた取組みは、かつての公害対策のような排出源で規制するようなEP（End of Pipe）型の対応のみならず、低環境負荷型の生産システムの構築を目指すCP（Cleaner Production）型の対応も広く認知されている。また雇用創出等の産業政策的な取り組み方として位置付ける動きもあり、規制・基準の改正や開発に加えて新しい技術やシステムに係る研究開発への期待も大きい。

デジタルエコノミー

デジタル技術やデータを活用した経済活動（デジタルエコノミー）はインターネットの商用化以降急速に広まった概念だが、今や社会の中に幅広く浸透している。その背景には、①情報通信技術の発達やネットワーク化の進展に伴い、取り扱うことができるデータの量や種類が増大していること、②社会やビジネスが抱える課題が複雑化するなか、データをその解決に活用すべきという社会的な要請が大きくなっていることなどがある。加えて、実世界とサイバー空間をつなぐCPS（サイバーフィジカルシステム）が進展し、様々な領域の多種多様なデータを収集・蓄積し、可視化することで事実を客観的に把握したり、予測分析や予兆検知の精度を高めたりすることなどができるようになってきた。こうしたことから、ITやネットワークとともにこれらデータを有効に活用して、より良い意思決定や行動、価値創造に結び付けようとする「データ駆動型社会」の構築を目指す潮流が出てきている。ドイツでは製造業の高度化を目指す戦略的プロジェクトとして「インダストリー4.0」が2011年から進められている。中国の「中国製造2025」や米国の「Manufacturing USA」のように国家的な戦略の柱の一つに組み込まれ、科学技術イノベーション政策の潮流に大きく影響を及ぼすものもある。

ビッグデータ化

IoTの隆盛の中、観測・計測のための技術や通信技術等の高度化が多種多様なデータを大量

に収集することを可能にしている。またインターネット上でのデータの公開・共有により様々なデータへのアクセスも容易かつ広範になっている。これらを通じてアクセス可能になったデータは膨大で、これらをどのように利活用するかは、民間のみならず国家の安全保障や産業政策、あるいは地球規模課題の解決のためにも極めて重要なテーマとなっている。

スマート化

情報通信技術やデータ解析手法、計算機性能の高度化により、機器やサービスの利用をリアルタイム化することなどが可能になってきた。60年代から始まったAI技術は現在第三次ブームのただ中にあり、当該技術の高度化に加え、用途の拡大も著しい。こうした技術進展に呼応する形で産業向けIoTプラットフォーム技術への要請が高まり、データの高度活用がニーズ、シーズともに拡大してきた。例えばシーメンスやGEは、上記プラットフォーム技術開発を進め、都市、送配電網、工場などのスマート化を推進している。

1.1.3 俯瞰の考え方（俯瞰図）

2019年版の俯瞰においては環境・エネルギー分野を一冊の報告書の中でとりまとめた。前回（2017年版）は分冊となっていたが、各分野の背景にある社会経済的状況には共通する部分が多分にあり、それらを分けて考えるのではなく、横断的あるいは統合的に捉えることが重要であると考えたためである。

その一方で、本書で示す俯瞰図は、引き続きエネルギー分野と環境分野を区別し、前回版を更新する形とした。共通部分が多いものの、各分野の細部を見ればそれぞれに固有の構造や世界観を有しているため、分けて整理することが最善であると考えられたためである。但し、俯瞰図の構造は共通した考え方に沿って作られている。いずれも「社会の要請の充足や社会課題の解決に資する科学または技術を提供する」分野であり、個々の要素が組み合わせられ、構成技術となって社会実装されていくのが基本的な流れである。当然ながらこうした流れの中には新技術の社会への適用が新たなニーズを生み出したり、研究開発段階を進める中で基礎への立ち返りが生じる等のサイクルがある。これらを踏まえて作成された俯瞰図は図1.1.3-1、図1.1.3-2の通りである。

またこの俯瞰図を構成する多数の研究開発領域のうち、本書第2章で取り上げた研究開発領域は表1.1.3-1に示す26の領域とした¹。

¹ これらに加え、本書「研究開発の俯瞰報告書」のナノテクノロジー・材料分野では「太陽電池」、「蓄電デバイス」、「パワー半導体」、「ファイン触媒」、「分離技術」、「複合材料」、「極限環境材料・計測技術」を環境・エネルギー分野に関連の深い研究開発領域として設定している。

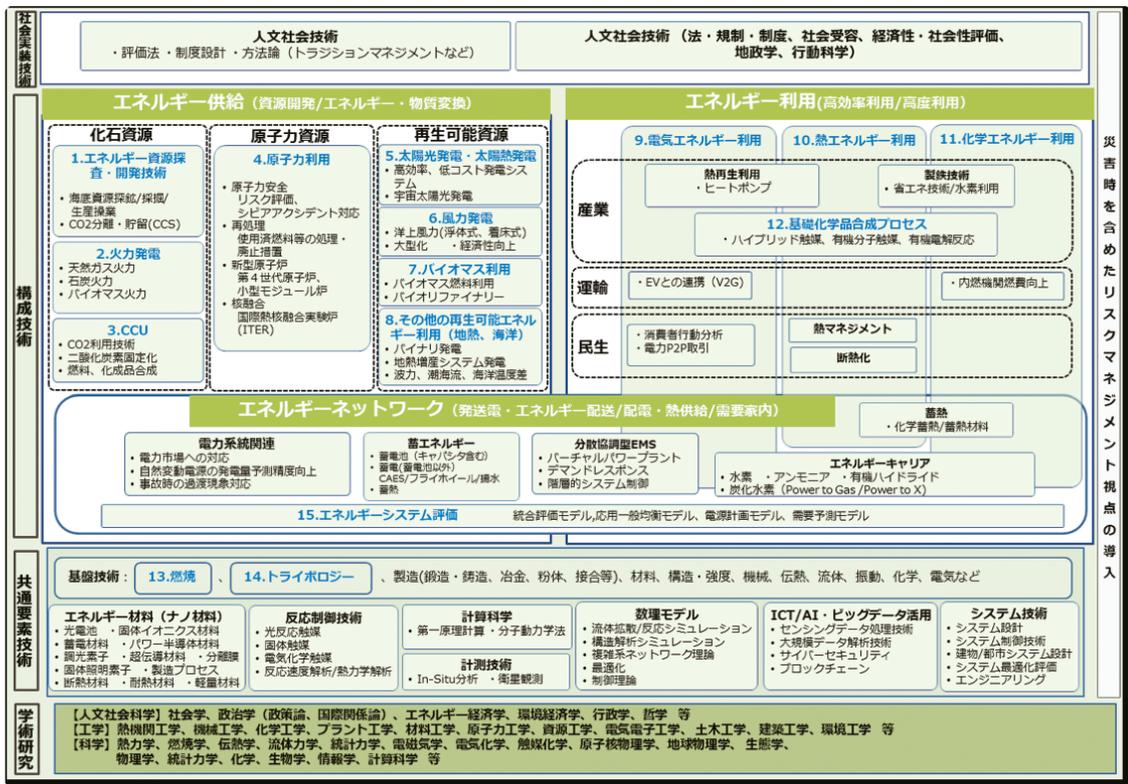


図1.1.3-1 エネルギー分野の研究開発の俯瞰図

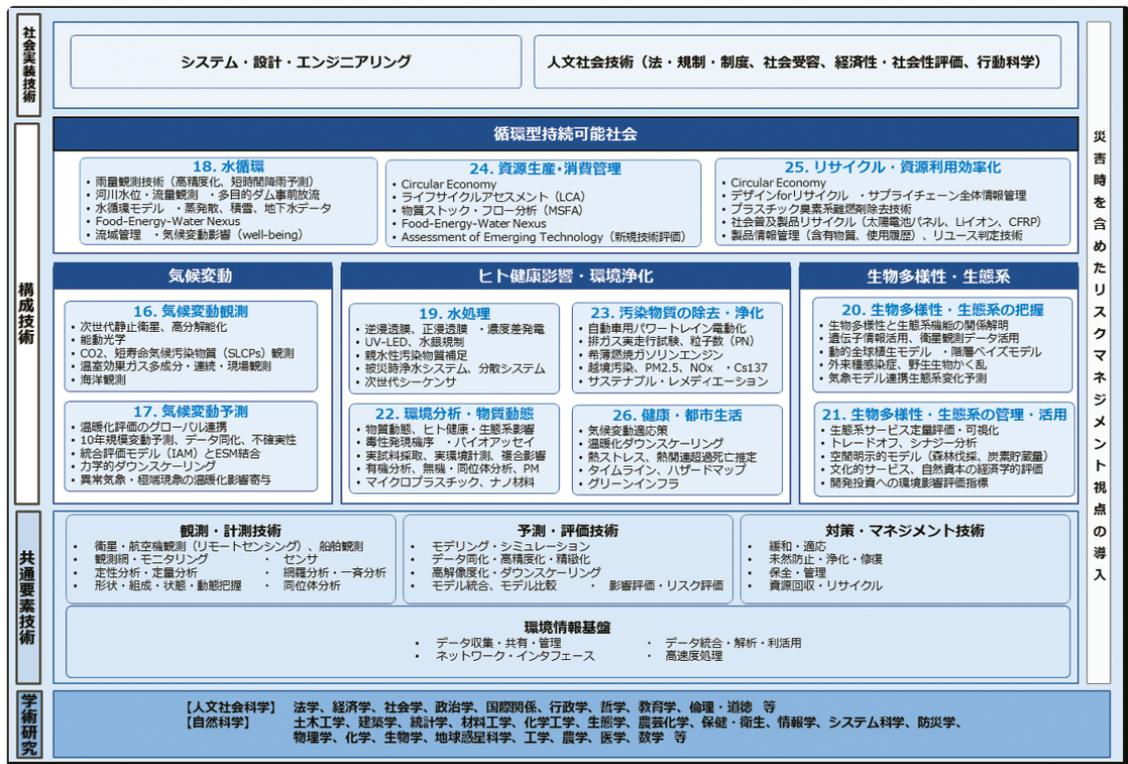


図1.1.3-2 環境分野の主要な研究開発領域

表1.1.3-1 第2章で取り上げた研究開発領域

研究開発領域名		研究開発領域名	
1	エネルギー資源探査・開発技術*	16	気候変動観測
2	火力発電	17	気候変動予測
3	CCU (Carbon Capture and Utilization)	18	水循環
4	原子力利用	19	水処理
5	太陽光発電・太陽熱発電	20	生物多様性・生態系の把握
6	風力発電	21	生物多様性・生態系の管理・活用
7	バイオマス利用	22	環境分析・物質動態
8	その他の再生可能エネルギー利用（地熱、海洋）	23	除去・浄化技術
9	電気エネルギー利用	24	資源・生産・消費管理
10	熱エネルギー利用	25	リサイクルと循環利用
11	化学エネルギー利用	26	健康・都市生活
12	基礎化学品合成プロセス		
13	燃焼		
14	トライボロジー		
15	エネルギーシステム評価		

* CCSを含む

1.2 分野の研究開発を取り巻く現状

1.2.1 社会・経済の動向

<世界的動向①：地球規模課題への対応>

持続可能な開発目標

国連の推計によれば2017年時点の世界人口は76億人である。今後はアジア、アフリカ地域での経済発展に伴う増加によって2050年には97億人超にまで達すると予測されている。こうした世界の発展が持続可能な形で進むことを目指し、2030年を目標年とした「持続可能な開発目標（SDGs）」が2015年に国連で採択された。SDGsには貧困、飢餓、ジェンダー、健康・福祉、気候変動、経済的不平等、イノベーション、持続可能な消費、平和と正義など多方面に亘る17の目標が掲げられた。表1.2.1-1に示すように、これら17の目標の中には環境・エネルギー分野に関連深い目標が多数含まれており、当該分野が地球および人間社会の持続可能性と深い関わりを持つことが分かる。

表1.2.1-1 環境・エネルギー分野と関連の深いSDGs

番号	目標
目標2	飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
目標3	あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
目標6	すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
目標7	すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
目標9	強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
目標11	包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市及び人間居住を実現する
目標12	持続可能な生産消費形態を確保する
目標13	気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
目標14	持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
目標15	陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する

気候変動問題

環境・エネルギー分野と関連の深いSDGsの中でも近年とりわけ国際社会が懸念する問題は目標13に掲げられている気候変動問題である。気候変動問題とは地球温暖化とそれによって引き起こされる様々な気候変化（異常気象等）に関連する問題を指す。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2018年版では、「発生の可能性」が高く、かつ「影響」が大きいと予想されるグローバルリスクの上位に「異常気象」、「自然災害」、「気候変動の緩和や適応への失敗」が挙げられており、これらはいずれも気候変動と関連が深い（「影響」が大きいと予想されるグローバルリスクの中には「水危機」、「生物多様性の喪失、絶滅と生態系の崩壊」も上位に挙げている）。

気候変動の現状に関する科学的知見は、「気候変動政府間パネル（IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change）」の評価報告書に集約されている。IPCCによる評価報告書はこれまでに5回作成・公開されており、第5次評価報告書（AR5）は2013～2014年にかけて公

開された。現在は 2021～2022 年に公表予定の AR6 の作成検討が進められている。以下には AR5 で示された事項を幾つか示す¹。

【科学的根拠】

- 気候システムの温暖化には疑う余地はない。
- 人間の影響が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が「極めて高い（95% 以上）」。
- 気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の抜本的かつ持続的な削減が必要。
- CO₂ の累積総排出量とそれに対する世界平均地上気温の応答は、ほぼ比例関係にある。

【影響・適応・脆弱性】

- ここ数十年、気候変動は全ての大陸と海洋にわたり自然及び人間システムに影響を与えている。
- 適応は一部の計画立案過程に組み込まれつつあるが、実施されている対応はより限定的である。
- 適応は、場所や状況によって異なり、あらゆる状況にわたって適切な単一のリスク低減手法は存在しない。
- 確度の高い、複数の分野や地域に及ぶ主要なリスクが 8 つ挙げられた（注釈：極端な気象現象によるインフラ等の機能停止のリスク、熱波による特に都市部の脆弱な層における死亡や疾病のリスク等）。

【緩和策】

- 温室効果ガス排出量は、特に最近 10 年間に大幅に増加した。
- 人為起源の CO₂ の累積排出量の約半分は過去 40 年間に排出された。
- 現状を上回る温室効果ガス排出削減努力が無いと、2100 年の気温は産業革命以前から 3.7～4.8°C 上昇する。
- 2100 年の温室効果ガス濃度が約 450ppm となるシナリオでは、人為起源の排出による気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C 未満に抑えられる可能性が「高い（66% 以上）」としている。また同シナリオの場合には、2050 年の温室効果ガス排出量は 2010 年比 40～70% 減、2100 年にはほぼゼロ～それ以下にすべきとされている。

温室効果ガス排出

AR5 によると 2010 年時点の世界全体の温室効果ガス（GHG）排出量は約 490 億トンであり、人為起源 CO₂（化石燃料燃焼、工業プロセス過程）の排出量はその内の 65%（約 319 億トン）を占める（図 1.2.1-1a）²。セクター別、および国・地域別では図 1.2.1-1b、図 1.2.1-1c のとおりである。

¹ 環境省：気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 5 次評価報告書（AR5）等について、<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/>

² 環境省：IPCC 第 5 次評価報告書の概要・統合報告書、2015、http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_syr_overview_presentation.pdf

³ 経産省温室効果ガス排出量の現状等について http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/042_s05_00.pdf

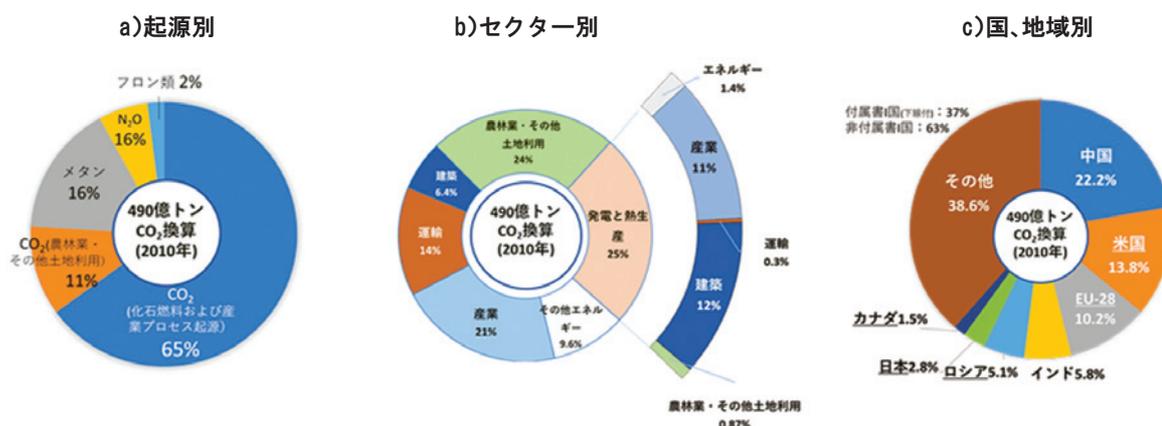


図1.2.1-1 2010年温室効果ガス排出(起源別、セクター別、国・地域別)

より最近の状況を見ると、国連環境計画 (UNEP) の報告では 2017 年の GHG 排出量は世界全体で 535 億トンとなり、前年から 7 億トン増加した⁴。国際エネルギー機関 (IEA) によると 2017 年の人為起源 CO₂ 排出量は約 326 億トンだった。

資源エネルギー庁の「エネルギー白書 2018」によれば、世界のエネルギー消費量は経済成長とともに年平均 2.5% で増加し続けてきており、2016 年には石油換算で 133 億トンとなった。また同書の中で示されている複数機関による推計では 2016 年から 2030 年にかけてのエネルギー需要は年平均 1.2 ~ 1.8% で増加し、2030 年には石油換算で約 1.2 ~ 1.3 倍の約 157 ~ 172 億トンになると見込まれている。エネルギー需要の伸びの大部分を占めるのはアジア地域 (中国、インド、東南アジア) だが、中東やアフリカ地域の伸びも大きいと見られている。

こうしたエネルギー需要の伸びと GHG 排出量の伸びが切り離されること (デカップリング) が必要になるが、先の UNEP の報告では、現行ペースでは 2030 年の GHG 排出量は世界全体で 590 億トン前後にまで増えると予測している。また後述する「2°C 目標」の 2030 年ターゲットが 400 億トン前後であり、「1.5°C 目標」の同年ターゲットが 240 億トン前後であることと比べると、GHG 排出量の理想と現実の間には現状大きなギャップがあると指摘している。

気候変動問題への国際的な取組み

2016 年 11 月に発効したパリ協定は、全ての国が温室効果ガスの排出の削減に取り組むことを約束した国際的な枠組みである。締約国だけで世界の温室効果ガス排出量の約 86%、159 か国・地域をカバーする (2017 年 8 月時点)⁵。世界共通の長期目標としては以下の点が掲げられた。

- 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C より十分低く保ち、1.5°C に抑える努力を追求する
- そのために、世界の温室効果ガス排出量のピークアウト時期をできる限り早め、21 世紀後半には、人為的な温室効果ガス排出量と森林などによる吸収量の均衡を達成する

⁴ UNEP: Emissions Gap Report 2018, 2018

⁵ 経済産業省資源エネルギー庁、『今さら聞けない「パリ協定」～何が決まったのか？私たちは何をすべきか？～』
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html>

各参加国・地域は 2020 年以降の温室効果ガス削減・抑制目標を定めることが求められているが、この目標には達成義務は課せられておらず、努力目標となっている。現時点で主な国・地域が提出している目標（約束草案）は表 1.2.1-2 のとおりである。

表1.2.1-2 主要国の約束草案^{6,7}

国	約束草案
日本	2030 年度までに 2013 年度比▲ 26.0%（2005 年度比▲ 25.4%）
米国	2025 年までに 2005 年比▲ 26 ～ 28%
EU	2030 年までに 1990 年比▲ 40%
中国	2030 年までに GDP あたり CO ₂ 排出量 2005 年比▲ 60 ～ 65% （2030 年頃に CO ₂ 排出量のピークを達成）
韓国	2030 年までに BAU 比▲ 37%
インド	2030 年までに GDP あたり GHG 排出量 2005 年比▲ 33 ～ 35%

2018 年 12 月に開催された COP24（国連気候変動枠組み条約第 24 回締約国会議）ではパリ協定が適用される 2020 年以降のルールブック（実施指針）に関して議論が進められた。パリ協定の採択時には、各国・地域の削減目標の全体的な進捗を評価するために、2023 年からは 5 年ごとに目標に対する実施状況を評価し、それを踏まえて以降の削減目標を改めて更新・提出すること（プレッジ&レビュー）等が合意されたが、今回の COP24 ではその実施方法等、いくつかの事項について合意が得られた。

1.5°C特別報告書

2018 年 10 月に IPCC が公表した「1.5°Cの地球温暖化：気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から 1.5°Cの地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス（GHG）排出経路に関する IPCC 特別報告書」（「1.5°C特別報告書」）では、人為活動によって地球の平均気温は既に工業化以前よりも約 1°C温暖化していると指摘し、現行のまま進めば 2030 年から 2052 年の間に 1.5°Cに達する可能性が高い（確信度が高い）とした。

また同報告書は、生物多様性及び生態系、健康、生計、食料安全保障、水供給、人間の安全保障、経済成長等、地球温暖化による自然および人間社会に対する様々な気候関連リスクは 1.5°Cの気温上昇で増加し、2°Cでは更に増加すると指摘している。一方で各国・地域の削減目標の積み上げでは GHG 排出量は 2030 年に年間 520 ～ 580 億トン程度に留まり、2030 年以降の削減を挑戦的に引き上げたとしても 1.5°C目標を達成することはないとしている。この結果を受けて国連は、1.5°C目標を達成するためには、エネルギー、土地、都市、インフラ（建築、輸送等）、産業システムにおける「急速かつ広範な」移行が必要になると指摘した⁸。

⁶ 環境省：平成 28 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書、2016

⁷ 環境省、「日本の約束草案（2020 年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標）」<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>

⁸ 国際連合広報センター、「IPCC 特別報告書『1.5°Cの地球温暖化』の政策決定者向け要約を 締約国が承認」http://www.unic.or.jp/news_press/info/30738/

排出削減シナリオ

パリ協定の2°C目標は世界の国・地域が合意した目標だが、それがどのようにして達成できるかの道筋は必ずしも明確ではない。なぜなら各国・地域の削減目標を足し合わせたとしても目標達成に必要な排出削減量を満たせないことがほぼ明らかとなっているためである。そのためパリ協定では、より野心的な目標を各国・地域が掲げるよう促すための仕組み作りが議論されている。一方で、そうした目標設定からのアプローチと並行して、削減を実現するためのエネルギーシステムおよびそれに向けた長期シナリオを検討するために数値解析モデルを用いて統合的に評価・検討する研究も行われている。ここではそうした検討から事例を紹介する。

① IEA による長期シナリオ分析

IEAの毎年の報告書であるWorld Energy Outlook (WEO) やEnergy Technology Perspective (ETP) ではエネルギーに係る長期シナリオとして、GDP、人口、各エネルギー技術の進展（効率やコスト）、鉄・化学品などの素材需要、交通需要などの将来予測をベースに、環境規制（CO₂削減目標など）や政策動向などの見通しを複数のシナリオとして与え、それらを前提としたモデル数値解析を行い、将来のエネルギーシステムの絵姿をシナリオ毎に描いている。例えば2016年版のWEOでは、公表されている各国等のエネルギー政策や関連計画の実施を見込んだNPS (New Policies Scenario) と、2100年の平均気温上昇を2°C未満に抑えるための目標値となっている大気中CO₂濃度約450ppmの達成を目指す450S (450 Scenario) という2040年までの長期シナリオの解析結果が示されている。またWEOの2017年版からは450Sに代わってSDS (Sustainable Development Scenario) というシナリオが新たに登場した。このシナリオはSDGsとの整合性を考慮している点が特徴であり、具体的には(1) 2030年までに全ての人に電気等の近代的なエネルギーサービスへのアクセスを実現する (SDG7)、(2) GHG排出のピークアウトをできるだけ早期に実現する (パリ協定、SDG13)、(3) エネルギーが関連する他の汚染の改善にも貢献する (大気汚染や大気汚染による健康被害の大幅低減等) (SDG3、SDG11) の3点を組み込んだ450Sと言える。

一方ETPでは2060年までを対象としており、パリ協定の際に提出された各国の自国の貢献 (NDC) に基づいたシナリオであるRTS (Reference Technology Scenario) を基準シナリオとして、平均気温の上昇を2°C未満に抑えることを目指した2DS (2°C Scenario) がある。直近の2017年版では、2°Cを十分に下回ること (およそ1.75°C) を目指したB2DS (Beyond 2°C Scenario) もある。B2DSは2060年にエネルギー起源CO₂排出をゼロにすることを前提としたシナリオとなっており、より一層のGHG削減を行う場合のエネルギーシステムの絵姿が描かれている。図1.2.1-2にWEOのNPSとETPのRTSの解析結果 (2040年の一次供給エネルギー、電源構成) の比較を示す。この2つはシナリオ、モデル構造とも大まかには同じと考えられることから、ほぼ同様の結果が得られる一方で、細部の前提条件等の違いにより完全には一致しない。モデルを用いた解析結果を用いる際には、解析ツールとしてのモデル構造やその前提条件を理解することも重要になる。

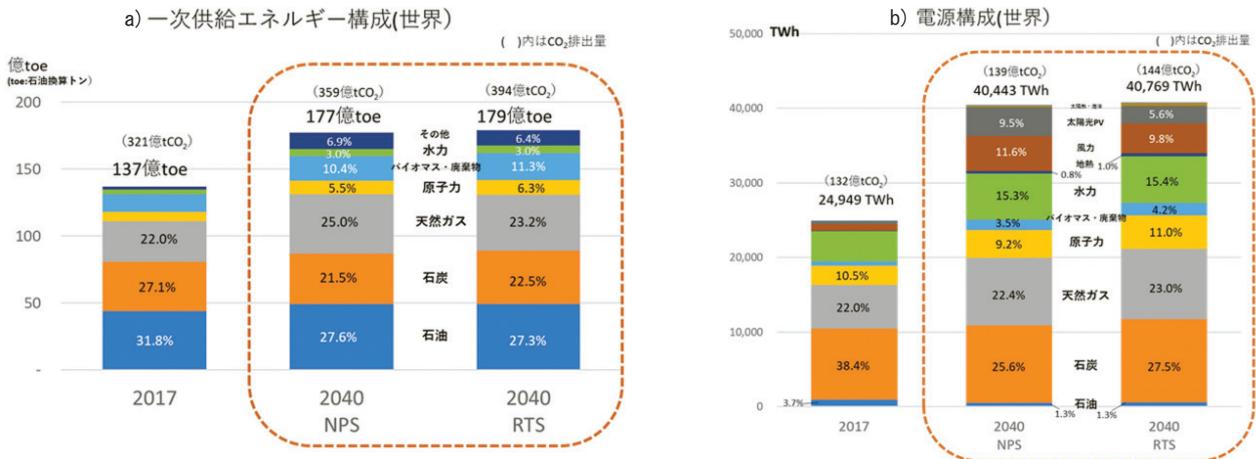


図1.2.1-2 WEOのNPSおよびETPのRTSの解析結果比較
(2040年の一次エネルギー供給構造、電源構成)

(© OECD/IEA WEO2018/ETP2017 データより CRDS で独自に作成)

IEAの長期シナリオ例としてETP2017の解析事例を示す。図1.2.1-3は、IPCCの長期目標年である2050年時点における3つのシナリオ(RTS、2DS、B2DS)の結果である。ここからは、RTSと比較して、2DS、B2DSのいずれにおいても電力のCO₂フリー化に向けた対応と需要側の効率向上策、さらにはCCSの重要性が高まることが読み取れる。特にB2DSではCO₂フリー電力となっており、発電システムの大幅な転換が必要となる。

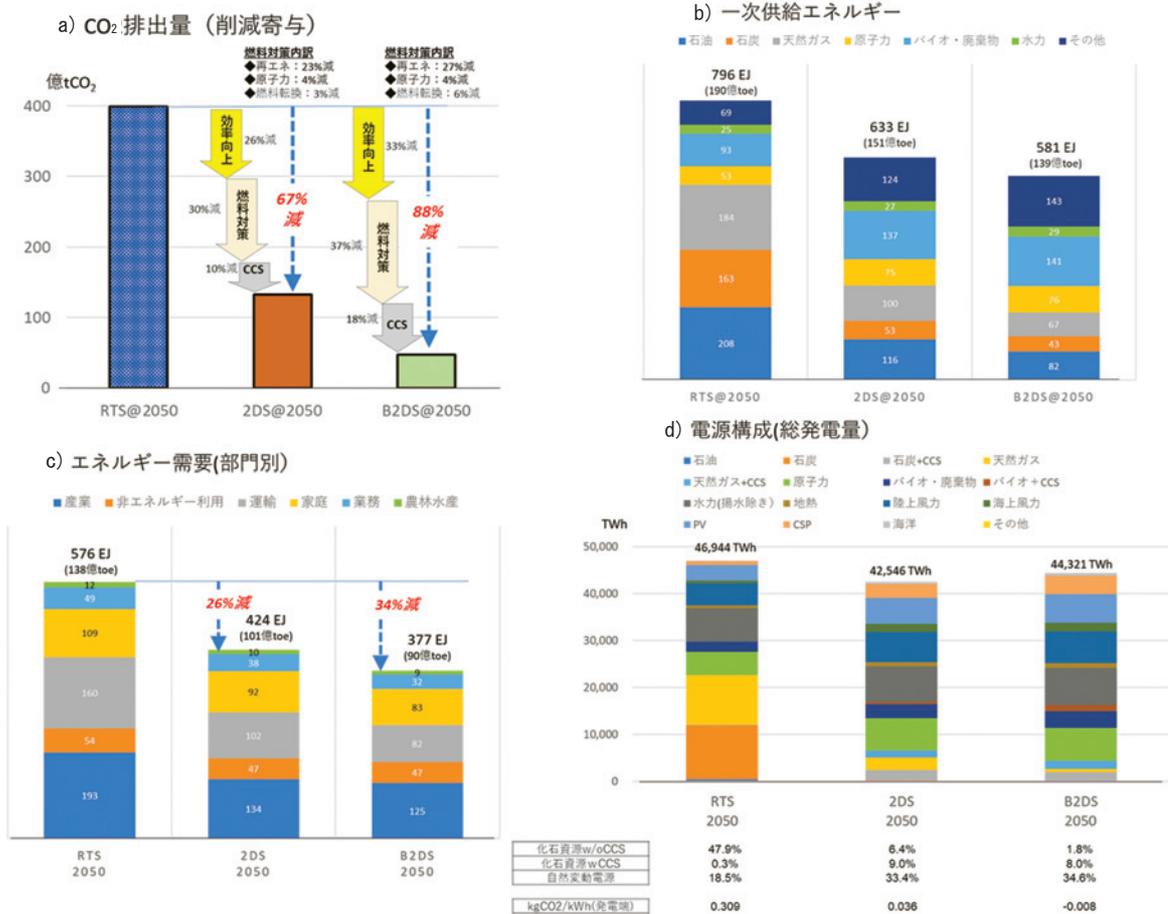


図1.2.1-3 ETP2017における3つのシナリオ(RTS、2DS、B2DS)の比較結果
(全世界でのCO₂排出量、一次エネルギー供給構造、電源構成、部門別最終エネルギー)

(© OECD/IEA ETP2017 データより CRDS で独自に作成)

②日本エネルギー経済研究所 (IEEJ) のアウトルックにおける長期シナリオ分析

IEEJ のアウトルックでは主に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・技術等に基づいた将来見通し) と技術進展シナリオ (関連政策が協力に実施され、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) での GHG 排出量 (CO₂ 換算。エアロゾル等を含む) の比較を行っている⁹。特徴的な点の一つは、技術進展シナリオの分析において、任意の GHG 排出削減を実現する経路の分析にあたり、緩和 (排出削減) に係る費用だけではなく、気候変動に伴う被害や適応策に係る費用も考慮している点である。排出削減という緩和のみに焦点が当たりがちであるが、適応他とのバランスが重要であることが指摘されている。

また同アウトルックでは技術進展シナリオから更に削減を強めるシナリオとして「2°C 最小費用パス」並びに「2050 年半減パス」も検討している。前者は 2150 年における気温上昇幅を 2°C に抑えるという条件下で、係る費用が最小になる経路を推計したものである。後者は 2010 年比で 2050 年に GHG 排出が半減となるとした場合の経路を推計したものである。これらの結果を踏まえ、同アウトルックでは技術進展シナリオを超えた一層

⁹ 日本エネルギー経済研究所 IEEJ Outlook 2019, 2018

の排出削減を実現するためには、革新的な技術の大量導入が必要としている。

図 1.2.1-4 に 2050 年時点のレファレンスシナリオと技術進展シナリオの解析結果を示す。このうちレファレンスシナリオを前述の IEA・ETP2017 の RTS（図 1.2.1-3）と比較すると、例えば CO₂ 排出量では RTS が 40Gt であるのに対して 42Gt、一次エネルギー量では RTS が 190 億石油換算トンであるのに対して 193 億石油換算トンといずれもその差は小さい。このことは、現状の NDC の延長線上を想定した基準となるシナリオにおいては、IEA と IEEJ の分析の間で大差がないと言える。一方、2DS と技術進展シナリオを比較した場合、CO₂ 排出量では 2DS が 13Gt に対して 29Gt、一次エネルギー量では 2DS が 151 億石油換算トンに対して 170 億石油換算トンとその差は大きい。CCS についても 2DS が 7Gt に対して、2Gt と少ない。これは 2DS では CO₂ 排出量シナリオとして 2°C 達成を前提としたエネルギーシステム分析になっているのに対して、技術進展シナリオでは現実感を持たせた対応（例えば CCS では貯留ポテンシャルのある国・地域の 2030 年以降の新設火力についてすべて敷設するなど）により 2050 年において最大限どこまで CO₂ 削減できるかを分析したものになっており、各シナリオにおける前提が異なるためと言える。

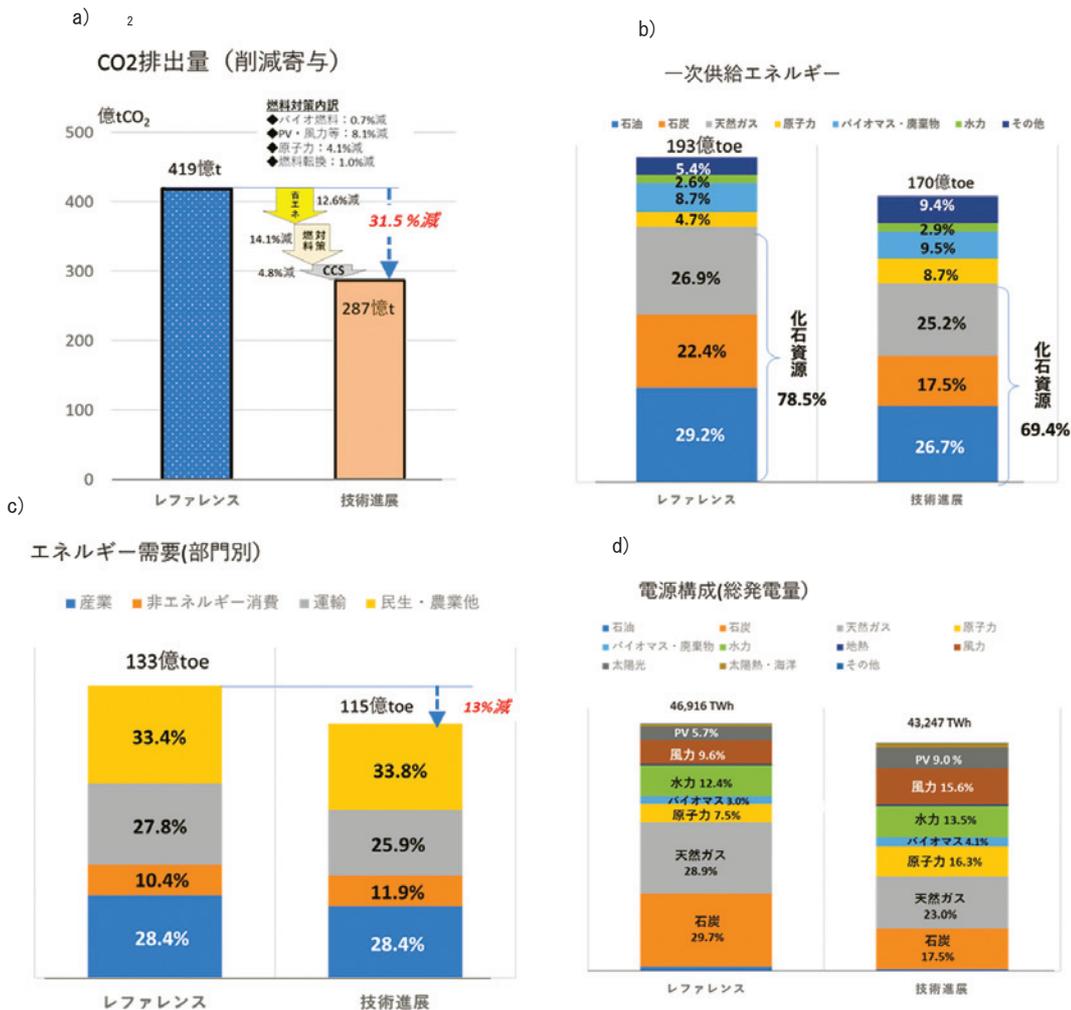


図1.2.1-4 IEEJ Outlook 2019における2050年時点のシナリオ比較(資料9よりCRDSで独自に作成)

排出削減に係る費用

各種の排出削減シナリオの実現には費用がかかる。IEEJ アウトルック 2019 での推計によると、まずレファレンスシナリオでは、2017～2050年の間に82兆3,000億ドルのエネルギー関連投資が必要になるとしている。その内訳の4割強が化石資源燃焼（石油、天然ガス、石炭）であり、大部分は生産に向けられる。新興国におけるエネルギー消費の増大が著しく、化石燃料関連の投資が引き続き大きなウエイトを占めるとしている。

これに対して技術進展シナリオでは90兆ドルの投資が必要になるとしている。これはレファレンスシナリオよりも7兆7,000億ドル多い金額である。化石燃料への累計投資額はレファレンスシナリオの8割程度に留まるが、省エネへの投資は約1.6倍になる。電力関連への累計投資額は微増だが、その内訳において再生可能エネルギーへの投資が増えるとしている。

緩和策だけではないパリ協定

前述のIEEJ アウトルックでも指摘があったように、気候変動対応としては緩和策に取り組むだけでは不十分である。パリ協定も緩和策のみに関する協定ではなく、緩和、適応、資金、技術、能力構築、透明性といった要素をバランスよく包括的に取り扱っている点が特徴とされている。特に適応に関しては、「締約国は、気候変動に対し、適応能力を拡充し、強靭性を強化し、脆弱性を減少させる世界全体の目標を設定する」等としている。

大気汚染問題（エネルギー・大気ネクサス）

大気汚染問題の一部はエネルギー分野と関連が深い。昨今では中国における石炭火力発電所や内燃機関自動車からの排ガスによる大気汚染の深刻化が注目された。これを受けて中国政府は環境政策への注力を本格化しようとしているが、こうした状況は中国に限らず、今後の経済発展が見込まれるアジア・アフリカ地域において幅広く問題となる可能性がある。先に述べたIEAのSDSも、エネルギーと関連する大気汚染問題への取り組みを強く意識したものとなっている。

なお、エネルギー問題と大気汚染問題のように相互に関連性がある問題を同時に扱い、統合的な解決を目指す取り組み方は、「ネクサス・アプローチ」と呼ばれている¹⁰。ここではその詳細は割愛するが、エネルギーと関連が深い事柄としては大気汚染以外にも食料や水もある。IEAの2018年版のエネルギー展望ではエネルギーと水のネクサスが項目として扱われている。

海洋汚染問題とサーキュラーエコノミー（循環型経済）

プラスチックによる海洋汚染問題は以前から問題視されていたが、予め微細化された、又は環境中で微細化したナノ・マイクロサイズのプラスチックが海洋中で増大していることが確認され、またプラスチックの使用量は現行のままでは今でも増加が見込まれていることから、近年社会的な関心が急速に高まっている。

こうした状況を指摘した「エレン・マッカーサー財団」の循環型経済に関する報告書などを契機に、EUでは「第7次環境行動計画」（2013年11月）、「サーキュラーエコノミーパッケージ」（2015年12月）、「EUプラスチック戦略」（2018年1月）など立て続けに方針や戦略を打ち出している。これらは海洋ごみ削減と同時にプラスチックの削減や循環利用といった適性

¹⁰ JST/CRDS: Beyond Disciplines JST/CRDS が注目する12の異分野融合領域・横断テーマ。2018年8月

対処等を進める内容である。これを受ける形で欧州各国では包装用プラスチックなどに対して課税や有料義務化などの法制化が進められている。また、時期を同じくして中国では2017年12月にプラスチックごみの輸入を禁止した。これにより、日米欧などのプラスチックごみ輸出国は対応に迫られる形となっている。

国際的な議論も始まりつつあり、G7カナダ・シャルルボワサミット（2018年6月）では「海洋プラスチック憲章」等が議論された。

ESG投資と持続可能な金融

金融分野の動きも活発化している。ここでは始めに「ESG投資（Environmental, Social and Governance Investment）」について紹介した後、以下3点について概説する^{11,12}。

- 「持続可能な金融（Sustainable Finance）」
- 「気候変動ファイナンス（Climate Finance）」
- 「グリーンファイナンス（Green Finance）」

ESG投資とは、環境（Environment）、社会（Society）、および企業統治（Governance）の3つの視点を取り込んだ投資活動を言う。ESG投資が現在のように注目される契機となったのは、2006年に国連から公表された「責任投資原則（PRI、Principles for Responsible Investment）」である。PRIは機関投資家がESGの課題を投資分析と意思決定のプロセスに組み込むことや、投資対象の主体に対してESGの課題に関する適切な開示を求めること等を示した原則である。PRIへの署名機関数は増加の一途を辿っており、既に2000を超えている。またそれら機関の運用資産総額は80兆ドルを超える。

持続可能な金融はこのESG投資を実践するファイナンス全体を指すことが多い。またSDGsの推進支援を目的としたものである点も特徴である。複数の機関投資家がこの持続可能な金融への取組みを表明している。欧州委員会も2016年10月に「持続可能な金融についてのハイレベル専門家グループ（HLEG）」を設置し、2018年1月にその促進に向けた最終報告書を公表した。これを受けて2018年5月には行動計画を公表し、同年7月からはより詳細な検討を行うための専門家グループを発足させている。専門家グループでは持続可能な経済活動の統一的な分類、EUグリーンボンド標準、低炭素指標の開発手順、気候関連の情報開示の評価基準等について検討する見込みである。更に持続可能な金融については2018年に国際標準化機構ISOの技術委員会（TC322）も設置されている。

次に気候変動ファイナンスは、パリ協定に至る気候変動枠組み条約締約国会議（COP）のプロセスの中で合意された「長期資金目標（Long Term Finance）」を指す。これは2020年までに年間1,000億ドルの気候変動ファイナンスの動員を行うというものである。こちらについても世界銀行やアジア開発銀行等を始め複数の機関投資家が取組みを表明している。

最後にグリーンファイナンスは、主に環境に関する持続可能な開発のためのファイナンスを

¹¹ European Commission, Sustainable finance, https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance_en#implementing

¹² 大和総研グループ、グリーンファイナンスを考える 第1回（2017年3月3日）・第2回（2017年3月21日）、<https://www.dir.co.jp/report/research/introduction/financial/esg-greenfinance/index.html>

指す。前述の持続可能な金融および気候変動ファイナンスの一部等と関連付けられている場合もあり、昨今の注目の契機はSDGsとされている。グリーンファイナンスに関する金融商品の一つとして注目されているのは、「環境問題の解決に資する（グリーンな）事業に用途を限定して資金調達する債権」であるグリーンボンドであり、ここ10年程で発行額は60倍以上に増加している。

ESG投資がもたらすインパクト

ESG投資の拡大に代表される金融分野における昨今の動向は、従来の金融の在り方を大きく方向転換させるものと言える。すなわちこれからの金融は、社会や地球の問題解決に資するものでなければならず、言わばSDGsとパリ協定に貢献する金融でなければならないという大きな価値観の変化が顕在化しつつある状況にある。更にESG投資はかつての社会的責任投資（SRI）とも異なるものであり、倫理的な価値観等に基づく投資ではなく、受託者責任やステークホルダーシップ責任を果たすための投資と捉えられている。実際の成果が現れるのはまだ先の話となるが、こうした変化が環境・エネルギー分野に与える影響が大きいことは疑いようがない。

ESG投資の代表的な投資手法にはネガティブ・排除型スクリーニング、ESGインテグレーション等のいくつかの種類がある¹²。このうち昨今注目されるのはネガティブ・排除型スクリーニングである。いわゆるダイベストメント（投資引き揚げ）により化石燃料関連事業からの引き揚げが世界的に起きつつある。こうした状況はGHG排出の大幅削減の方向性には寄与する一方、急激な資金の流れの変化がもたらす世界のエネルギーシステムへの影響を懸念する声もある（関連事項は1.2.1の国内動向、及び1.2.5にも記載）。

<世界的動向②：エネルギーを取り巻く情勢>

エネルギーを取り巻くここ数年の動向は変化が激しく、また広範である。ここではエネルギーシフト（脱化石燃料化）の下での再生可能エネルギーの導入拡大、電気自動車（EV）市場を巡る競争、エネルギー安全保障、非在来型化石資源（シェールガス）の台頭について触れる。

石油価格の見通し

産業革命以降のグローバル経済発展史を振り返ると、エネルギー問題と経済発展は相互に強く影響しあっている。1950年頃からの急激な石油の供給・消費量の増加の理由の一つは、石油価格が在来エネルギー源であった石炭資源を下回る価格となったことが大きい。また1973年、1979年の2回の石油ショックや、2005～2010年の石油価格高騰期には新エネルギー（太陽電池などの再生可能エネルギー）の研究開発、普及が進んだことも留意すべき事実である。このような認識から、エネルギー消費に支えられる豊かな社会の現実として、代表的なエネルギー源である石油の価格動向は研究開発テーマへの期待にも強く影響をもたらすイシューである。

IEAの2018年版のWEOでは、CPS（Current Policies Scenario）、NPS（New Policies Scenario）、SDS（Sustainable Development Scenario）の各シナリオにおける石油需要量と石油価格の見通しを示している（図1.2.1-5）。同見通しによれば、2040年時点の需要量の違いに応じた価格幅は64～137ドル/バレルである。また、気温上昇を抑えるためにはGHGの累積排出量に上限を定める必要が生じるという「カーボンバジェット（炭素排出上限枠）」の考え方に基づいて、利用可能な化石資源量が今後限られてくることによって化石資源が座礁

資産化するリスクも出てきている¹³。こうしたリスクによる開発投資の不透明さも、更なる価格変動要因となりつつある。

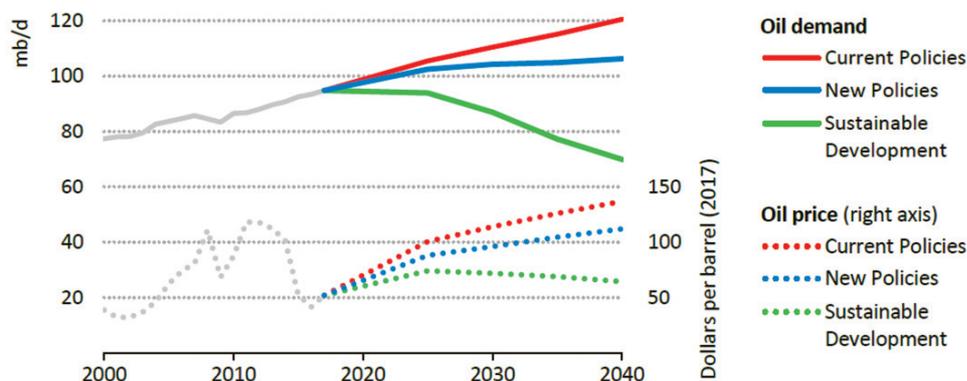


図1.2.1-5 世界の石油需要及び価格の実績と今後のIEAシナリオ毎の予測

© OECD/IEA 2018 World Energy Outlook, IEA Publishing. Licence: www.iea.org/t&c

再生可能エネルギーの導入拡大

英国エネルギーデータ大手のブルームバーグ・ニュー・エナジー・ファイナンスの2017年再生可能エネルギー関連分野投資トレンドレポート「Clean Energy Investment Trends 2017」によると、世界の再生可能エネルギー関連投資は、過去最高だった2015年の3,603億米ドルには達しなかったものの、2017年に3,335億米ドルだった。その内訳は、太陽光関連技術1,610億米ドル、風力関連技術1,070億米ドル、スマートエネルギー技術490億米ドル、バイオエネルギー技術70億米ドルとなっている。2016年の3,246億米ドルから3%上昇した要因としては、中国での投資が1,072億米ドルから1,326億米ドルに24%増加したことが大きく影響していたと考えられている。

またIEAの2018年版WEOによると、風力発電および太陽光発電の再生可能エネルギーは、2017年の全世界電源設備新設容量310ギガワット（GW）のほぼ半分のシェアとなった。世界の太陽光発電市場は2017年に大幅に伸び、前年比でほぼ30%増加の97GWの新たな容量が追加された。中国で大量の太陽光発電導入が拡大し、2017年には約53GWが新設され、世界の太陽光発電需要とセル製造能力の両方の6割を中国が占めた。また世界の風力発電の新設は、2016年レベルで2015年の最大を3割下回り、2017年にはさらに48GWまで減少している。ただし、2017年の洋上風力発電市場は大幅に伸び、3.8GWの新容量が追加された。2017年のその他の再生可能エネルギー新設が減少したのは、地熱を除いて主に水力発電開発が減速したためである。一方、化石燃料由来の電源設備新設容量は、再生可能エネルギーに対する政策支援と設備コスト低減の影響を受け、2015年以降は減少傾向にある（図1.2.1-6）。

太陽光発電と風力発電の世界の平均発電コストは、過去5年間で大幅に減少し（図1.2.1-7）、太陽光発電で65%、陸上風力発電で15%と推定されている。ただし、水力やバイオマスエネルギーなどは成熟した技術であり、海洋エネルギーは導入地域の制約ゆえ学習機会が少ない技術であること等から、すべての再生可能エネルギーが、上記のような大幅なコスト削減ができていないわけではない。洋上風力発電の平均コストは2012年から2017年にかけて、陸上風力

¹³ 森尚樹, OECC 会報 81: 10-11, 2017

よりも大きく約 25%減少した。しかしながら、ヨーロッパでの継続的な洋上風力開発が、より深海のコスト高のプロジェクトへ進んだため、大型タービン開発によるコスト低減効果を相殺し、コスト削減は限定的となった。再生可能エネルギー技術のコストは、再生可能エネルギー資源の品質、業界での経験、人件費、土地等のコスト、および認可と許可のプロセスなど、様々な要因によって地域ごとに異なる。太陽光発電では、中国とインドが、土地等の低コストと日射量等の好条件から 2 つの最も低コストな地域になっている。日本は、人件費、土地等のコストなど、新規プロジェクト資本コストが非常に高いと言われている。米国も資本コストが高いが、日射量など質の高い資源に恵まれる。また米国には卓越した風況資源と優れた風力発電産業があり、世界で最も平均発電コストが低い陸上プロジェクトを推進しようとしている。

上記のように再生可能エネルギーの導入拡大が進む一方、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー電源は天候など自然状況によって出力が大きく変動するため、今後の更なる導入拡大によって送配電グリッドが不安定化したり、年間を通じた設備利用率が低下したりする等の問題が各地で顕在化することが懸念されている。

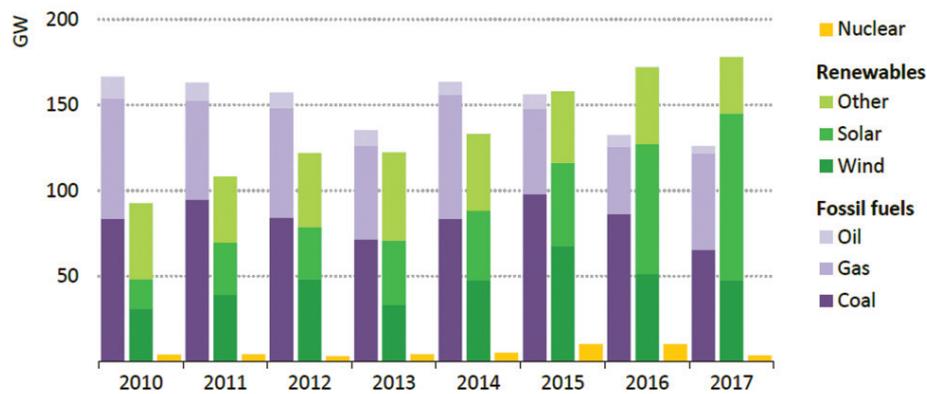


図1.2.1-6 電源設備の年間新設容量の推移

© OECD/IEA 2018 World Energy Outlook, IEA Publishing,. Licence: www.iea.org/t&c

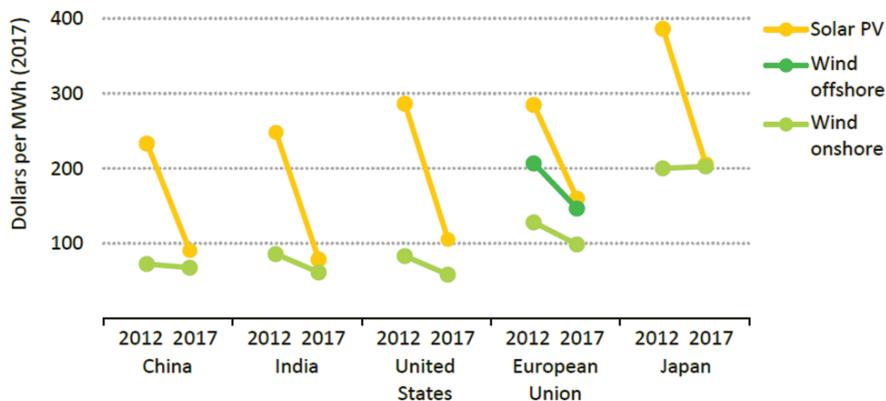


図1.2.1-7 世界における再生可能エネルギー平均発電コストの低下動向

© OECD/IEA 2018 World Energy Outlook, IEA Publishing,. Licence: www.iea.org/t&c

EVの導入や研究開発の競争激化

2017年における世界の新車販売台数において、EV（電気自動車。但しここではプラグインハイブリッド車、燃料電池車を含む）が初めて100万台を突破し、保有台数としても310万台となった。特に政策的支援が強い中国での保有台数は122万台となっている。また欧州では運輸部門でのCO₂削減（世界でのCO₂排出の1/4）や大気改善の観点から、フランスや英国が2040年までにガソリン車、ディーゼル車の販売禁止を表明するなど、EVシフトへの動きが大きくなっている。このような動きの中で2030年時点のEV販売シェアは乗用車新車販売台数の20%になると見込まれている¹⁴。

同時に現時点でEVは航続距離やコストにおいて電池が技術ボトルネックとなっており、研究開発の競争も激化している。世界各国で現在主流であるリチウムイオン電池の高性能化や全固体化による充電高速化等の次世代電池の研究開発が進められており、日本ではNEDO事業においてエネルギー密度、安全性、充電特性を向上させるべく次世代電池として注目されている全固体電池、さらに2030年頃を見据えた革新的な蓄電池の開発が行われている。

エネルギー安全保障

エネルギー安全保障確保や再生可能エネルギーの導入加速への対応などの観点から、EUは2015年2月に「エネルギー同盟」の政策方針に関する文書を発表し、国際連系線の整備により加盟国間での国際融通を図り、EUとして十分に統合された域内エネルギー市場を構築することを目標として掲げた。EUでは既に、欧州エネルギー規制当局間協力庁（ACER）や欧州送電系統運用者ネットワーク（ENTSO-E/G）等を通して、加盟国のエネルギー市場の協調を図っているが、十分に統合されたEUエネルギー市場構築に向け、この取り組みを強化する方向である。一方、英国のEU離脱により、統合を進めるEUエネルギー市場へのアクセスが滞ることが危惧されている。特に、フランス、ベルギー、デンマークといった隣国との間で進められている新たな国際連系線の整備計画が進まない可能性が出てきており、問題視されている。

非在来型化石資源（シェールガス）の台頭

石油、ガス供給において、シェール革命は、依然として大きな影響を与え続けており、米国はこの分野で他国の追随を許さない世界最大の生産国となっている。IEAの2018年版WEOにおけるNPS（New Policies Scenario）では、2025年までの間の世界の石油ガス生産量伸びに占める米国の割合は50%を超える。2025年には、世界で生産される石油の5分の1、ガスの4分の1が米国産となる。2025年までのこの米国シェール生産の増加により、行き先が柔軟な米国の取引量が各地域の価格の上限を提供するグローバル化LNG市場では、石油ガス輸出収入が大きい従来の輸出競合国、例えば、中東、ロシアは、競争力のある地理的優位性を持つ市場、すなわちアジアとヨーロッパの2つの重要な地域への輸出量を増やすと予測されている。

<世界的動向③：技術関連情勢>

デジタル化の進展

実世界とサイバー空間をつなぐCPS（サイバーフィジカルシステム）の実用化が進展し、様々な領域の多種多様なデータを収集・蓄積し、可視化することで事実を客観的に把握したり、予

¹⁴ IEA、ETP2017:2°C目標シナリオベース

測分析や予兆検知の精度を高めたりすることなどができるようになってきた。そこで、IT やネットワークとともにこれらデータを有効に活用して、より良い意思決定や行動、価値創造に結び付けようとする「データ駆動社会」の構築を目指す潮流が出てきている。

スマート化の進展

AI/IoT が隆盛の時代となり、情報通信機器やデータ解析手法、計算機性能の高度化によって様々なシステムやサービスの開発が進められている。前述の CPS の実用化では VR や AR、デジタルツインの活用による製造現場の効率化・近代化を進めようという取組みが活発である。また稼働を始めたエネルギー関連機器の運用・管理の現場においてもリアルタイムで稼働状況を把握することで事故や故障の予防や効率的なメンテナンスに繋げようという取組みがある。その他にも情報を介することで従来は別々であったエネルギー関連機器やサービスを横断的なプラットフォームの上で繋ぎ合わせるような、いわゆるセクターカップリングも既に試みが始まっている。更にブロックチェーン技術の応用も検討が進められている。

ブロックチェーンは、非中央集権的な仕組みでデータ等の台帳を分散共有することで、データの改ざん耐性およびトレーサビリティを高め、さらには契約の自動化（スマートコントラクト）も可能な技術であり、中央集権型よりもシステムコストの削減を可能にできるとされる。プラットフォーム技術として現在さまざまなビジネスへの適用検討がされている。エネルギー分野においては、小口電力取引、電力計測と課金、グリーン認証と炭素取引、IoT 利用などが主なものである¹⁵。特にマイクログリッド等における小口電力取引としては、家庭等に設置された余剰の太陽光発電を近隣家庭に販売する個人間取引（P2P 取引）をブロックチェーン技術で対応しようとするものであり、将来的には電力の価格シグナルを用いた市場原理を用いて系統安定化にも寄与できことも期待されている。日本では環境省事業として埼玉県浦和美園地区で再エネ最適融通決済システム開発・実証事業検証が実施され、その取引システムのプラットフォームとしてブロックチェーン技術（イーサリアム）が用いられた。

挑戦的な技術開発への投資

チャレンジプログラムあるいはプライズ方式と呼ばれる形での研究開発も複数行われており、ここでは 2 つの事例を示す。

X プライズ財団（X Prize Foundation）は、1995 年に設立された米国の非営利組織であり、エネルギー、環境、宇宙、海洋などの 17 分野の挑戦的な技術開発コンテストへ投資している。既に終了しているコンテストも含め、環境・エネルギー分野と関連が深いテーマとして以下が挙げられる。

- NRG COSIA Carbon X Prize – 発電所や工場から排出される CO₂ を構造物や代替燃料等の有用物質へ変換するための技術を開発するコンテスト
- Water Abundance X Prize – 高いエネルギー効率で大気から淡水を得るための技術を開発するコンテスト
- Progressive Insurance Automotive X Prize – 超低燃費の実用的な自動車を開発するコン

¹⁵ Andonia, M., et al.; Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.100, February 2019, Pages 143-174

テスト

- Wendy Schmidt Oil Cleanup X CHALLENGE – 海水から原油を回収するコンテスト
- Shell Ocean Discovery XPRIZE – 自律型海中ロボットを使用して海洋底の精密な3次元地図を作成するコンテスト

世界的な実業家や創業者、企業によって運営される連合体「Breakthrough Energy Coalition」が、「Breakthrough Energy Ventures」と呼ばれるファンドを設立し、基礎研究と製品化の狭間にあつて支援を必要としている起業家への投資を行っている。2019年2月時点で10のプロジェクトが確認でき、次のようなテーマが取り組まれている：回収CO₂を固定したコンクリート、地熱発電、低コスト・長期間蓄エネルギー、車載用蓄電池、微生物を利用した窒素固定等。

<国内動向>

人口動態

日本社会では人口減少及び高齢化が進んでいる。総務省の統計によると日本の総人口は2008年の1億2,808万人をピークにして減少基調にあり、2018年7月時点の総人口（確報値）は前年同月に比べて25万7千人減（0.20%減）の1億2,652万人だった。年代別では64歳以下の人口が減少する一方で65歳以上が増加している。また人口減少は地域間で差異があり、都道府県単位では大半が減少率2.0%以上を示している。増加しているのは1.0%以上の増加率を示している東京都と、1.0%未満の増加率を示している5県に留まる。

エネルギーの供給・消費と国内総生産（GDP）

人口減少、高齢化が進む日本社会においてエネルギーの消費、供給はいずれも減少傾向にある（図1.2.1-8、図1.2.1-9）。一方で実質GDPはリーマンショックによる急激な落ち込みを挟みつつも概ね増加傾向を維持している。

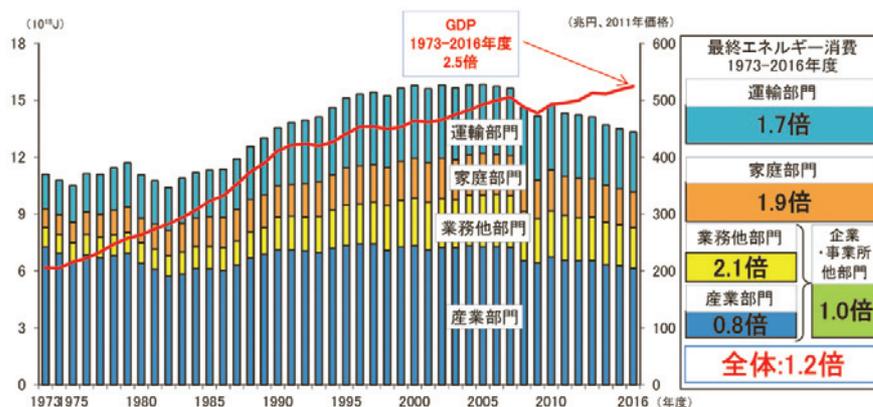


図1.2.1-8 最終エネルギー消費と実質GDPの推移¹⁶

¹⁶ 経済産業省：平成29年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2018）、2018

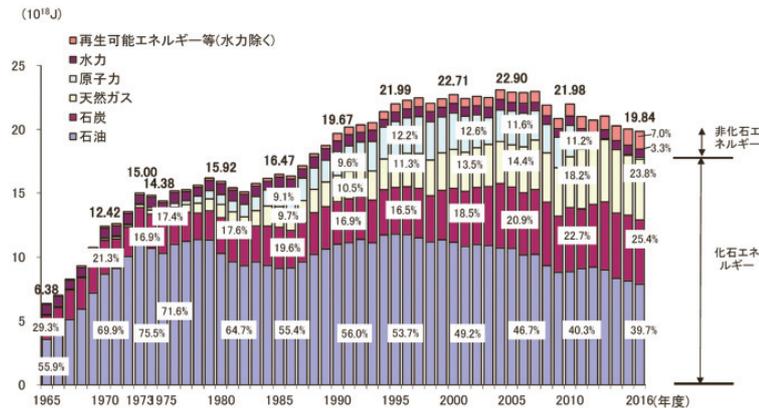


図1.2.1-9 一次エネルギー国内共有の推移¹⁷

温室効果ガス排出

2017年度のCO₂排出量(速報値)は12.9億トンだった(図1.2.1-10)。そのうちエネルギー起源CO₂の排出量は11.1億トンだった。パリ協定における日本の約束草案は2030年度に2013年度比で26.0%減の水準(約10.4億トン)としている。

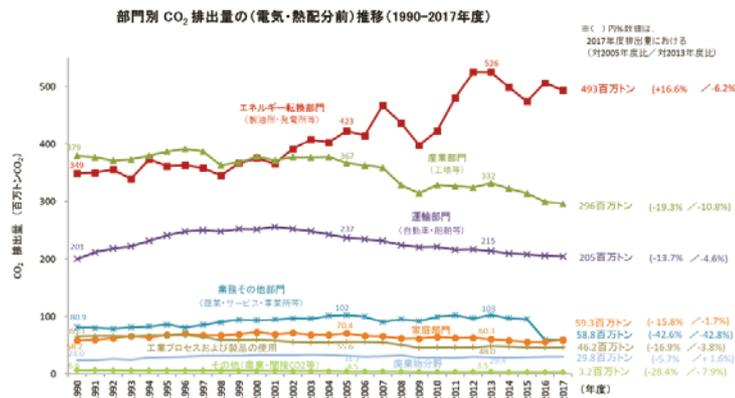


図1.2.1-10 部門別CO₂排出量推移(電気・熱配分前)¹⁸

気候変動の日本への影響

日本を対象とした気候変動の観測・予測及び影響評価に関する最新知見を統合したレポート¹⁹によると、日本においても既に多数の変化や影響が確認されている。その一部を以下に例示する。

- 日本の年平均気温は、100年あたり1.19℃の割合という、世界よりも早いペース(100年あたり0.72℃の割合)で気温が上昇している。
- 真夏日・猛暑日の日数が増加している。
- 強い雨が増加している一方、降水日が減少している。
- 気温の上昇によるコメの品質低下が全国で確認されている。一部地域等では収量の減少も

¹⁷ 経済産業省：平成29年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2018)，2018

¹⁸ 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス、<http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>

¹⁹ 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018～日本の気候変動とその影響～、環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁、2018年2月、http://www.env.go.jp/earth/tekiou/pamph2018_full.pdf

報告されている。

- 将来的にみかんやぶどう等の栽培適地が変化すると予測されている。
- サンマの南下が遅くなる、ブリの漁場が北上する等の影響が指摘されている。
- 豪雨の増加に伴う土砂災害の激甚化・形態の変化が懸念されている。
- 熱中症が増加すると予測されている。
- 豪雨や強い台風等の極端現象の頻度・強度の増加が各種産業に甚大な損害をもたらす可能性が指摘されている。

社会インフラの老朽化

気候変動による影響の中で自然災害の激甚化が予測されているが、その被害を増大しかねないリスクとして社会インフラの老朽化が長年指摘されている。ここではその代表的な事例として水道管を取り上げる。

水道管の法定耐用年数（寿命）は40年と定められているが、この耐用年数を経過した水道管の割合は増加の一途を辿っており、平成28年度には14.8%となった。一方でその更新は十分に進んではおらず、ここ数年は0.75%（平成28年度）前後に留まっている。水道管の技術開発は進んでいるものの、社会を取り巻く環境変化を踏まえた水道インフラの再構築は道半ばにある。

エネルギーの流れから見た動向

日本のエネルギーの流れを図1.2.1-11に示す。またこれに関連する事項について以下に示す。

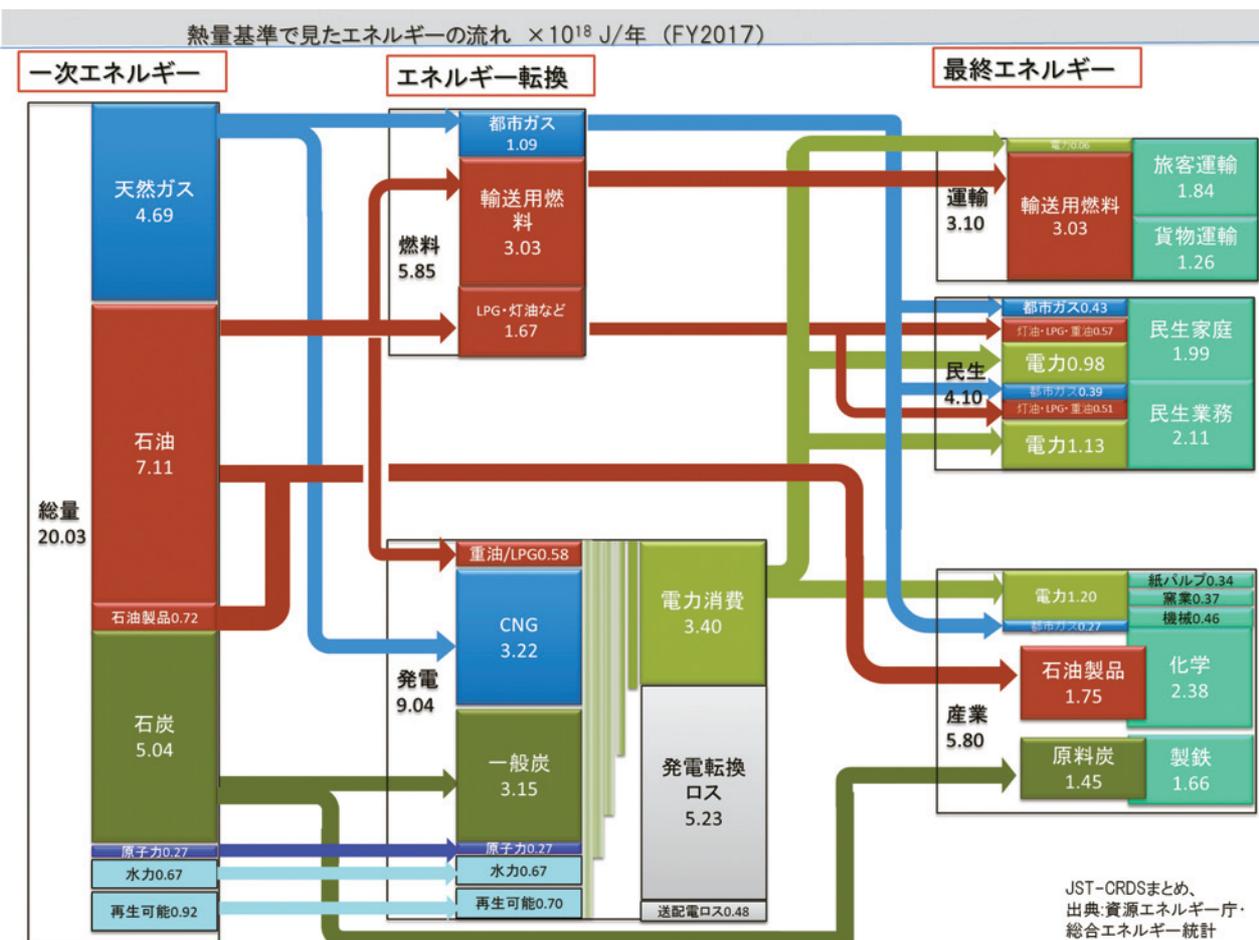


図1.2.1-11 エネルギーの流れ

① 高い海外依存度

日本はエネルギー資源に乏しく、現在のエネルギー自給率は8.3%（2016年度）と他のOECD諸国と比べても低い水準にある。またその中でも他国からの輸入に大きく依存しているのは石油・石炭・天然ガス（LNG）などの化石燃料である。特に石油に関しては二度の石油ショックを契機にしてエネルギー源の多様化が図られたことで石油代替が進んだ面もあるが、原油価格の推移、原油の輸入先の変化、原油輸入減少と石油製品（ナフサ）輸入増加、あるいは主要な輸入先である中東における地政学リスクの増大等、将来に対する不確実性の高さが懸念事項として認識されている。また石炭は地政学的リスクが低く可採年数が長く経済性に優れることから石油に次ぐ割合を占めているが、GHG排出削減という国際潮流の中において世界的に厳しい視線が注がれている。天然ガスは相対的にクリーンであるとされているため期待が高まっており今後の行方が注目されている。

② 再生可能エネルギーの導入拡大

2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」でも主力電源化を目指すとした再生可能エネルギーは国を挙げて普及拡大が引き続き推進されている。現状としては一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギー（水力含む）の割合は約8%（2017年速報値）であり、電源構成に占める割合では約16%である。

再生可能エネルギーの導入は2012年7月に創設されたFIT（固定価格買取制度）により太陽光発電を中心に飛躍的に拡大したが、それに伴い顕在化しつつあるのは出力制御に関する問題である。九州では再生可能エネルギーの導入が進んでいたが2018年10月に太陽光発電の出力制御が国内で初めて実施された²⁰。電力需給のバランスを保つための計画的な措置であるが、今後、再生可能エネルギーの導入拡大が進めばこうした事例が国内の他地域でも生じる可能性はある。これ以外にも再生可能エネルギーを巡っては様々な課題が顕在化しつつある。例えば太陽光パネルのコストダウン、災害発生時の安全面への対応、太陽光パネルの大量廃棄問題、メガソーラー発電のための立地を巡る開発側と地域との関係等である。そのため今後の更なる拡大に向け、こうした状況を受けた検討が始まっている²¹。

③ 電力消費の推移

エネルギー白書によると日本の電力化率（最終エネルギー消費に占める電力消費の割合）は2000年代後半まで増加の一途を辿ったが、ここ数年は横ばいに推移しており、2016年度は25.7%である。これに関連して近年はIoT/AIの普及拡大が官民で推進される中、情報処理や情報通信関連機器の増大が今後も見込まれており、それらによる電力消費量の増大と電力消費全体に対する影響増大が懸念されている。一部調査では、7品目のIT機器（PC、サーバ、ストレージ、ルータ、ディスプレイ、テレビ、スマートフォン）によるエネルギー消費量は2010年時点で約760億kWh/年だった²²。これは当該年度の最終エネルギー消費（電力）1兆354億kWh/年の約7%に相当する。さらに同調査の予測では7品目のIT機器による2025年のエネルギー消費量はBAUだと約1500億kWh/年に増加するが、技術革新によって約740億kWh/年が削減されるとしている。

循環型社会形成に向けた現状

2000年度と2015年度の日本における物質フロー（図1.2.1-12）を比較すると、入口側では総物質投入量のうち国内資源からの投入量が約5割減少し、出口側では土木構造物や耐久財として経済活動の中に蓄積した量、及び最終処分量がそれぞれ約5割、及び7割強減少しており、物質フローの量的規模が縮小している様子がうかがえる。またこの物質フローに関する3つの指標の進捗を見ると（表1.2.1-3）、第三次循環基本計画で設定された2020年度目標に対して最終処分量は既に目標を達成している。一方で残りの2つの指標に関してはここ数年は横ばい傾向となっており、目標達成に向かっては足踏み状態である。

²⁰ 離島を除く広域での出力制御は国内初

²¹ 経済産業省資源エネルギー庁、「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた今後の論点」、http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/007_01_00.pdf

²² 平成24年度 我が国情報経済社会における基盤整備（IT機器のエネルギー消費に係る調査事業）報告書、2013年2月、株式会社NTTデータ経営研究所

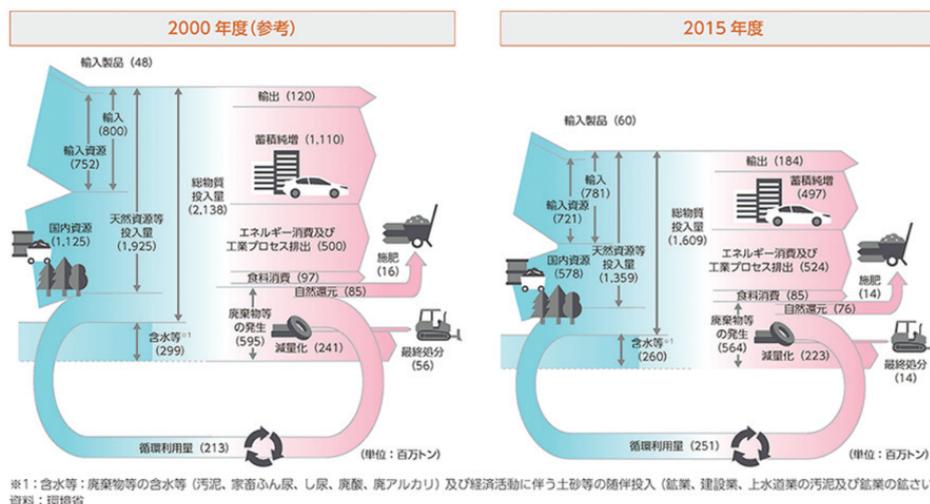


図1.2.1-12 日本における物質フロー²³

表1.2.1-3 物質フローに関する目標値と進捗²⁴

指標	2015 年度	2020 年度目標
資源生産性（=GDP/天然資源等投入量）	38.2 万円 / トン	46 万円 / トン
循環利用率 （= 循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源等投入）	15.6%	17%
最終処分量（= 廃棄物の埋め立て量）	1,430 万トン	1,700 万トン

プラスチックの物質フロー

近年国際的に注目されているプラスチックについて、日本における物質フローを図 1.2.1-13 にまとめる²⁵。日本におけるプラスチックの生産量は現在 1,075 万トンであり、最も多かった 1990 年代後半から 2000 年代後半頃の 1,400 万トン前後と比べると減少している。また使用済み製品と生産・加工ロス排出量からなる廃プラスチック総排出量のうち再びプラスチックの原料として用いるマテリアルリサイクルの割合は 23% である。一方で、モノマー化・ガス化して用いるケミカルリサイクルや、固形燃料等として熱エネルギーを利用するサーマルリサイクルを含めた「有効利用率」は 84% に達する。

マテリアルリサイクル分 206 万トンのうち 145 万トンは海外へ輸出されている。JETRO レポートによれば、従来は中国および中継貿易地となる香港への輸出量が大きかったものの、中国の輸入制限により 2017 年から 2018 年にかけて東南アジア諸国（タイ、マレーシア、ベトナム等）向けが急増した²⁶。一方でこれらの国々も 2018 年後半から輸入制限を開始しており、

²³ 環境省：平成 30 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書，2018

²⁴ 環境省：平成 30 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書，2018

²⁵ 一般社団法人プラスチック循環利用協会、「プラスチックリサイクルの基礎知識」、<https://www.pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf>

²⁶ 日本貿易振興機構、「東南アジアでも廃プラスチックの輸入禁止へ」、<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2018/87f587bf7c717578.html>

対応に関する懸念が増している。

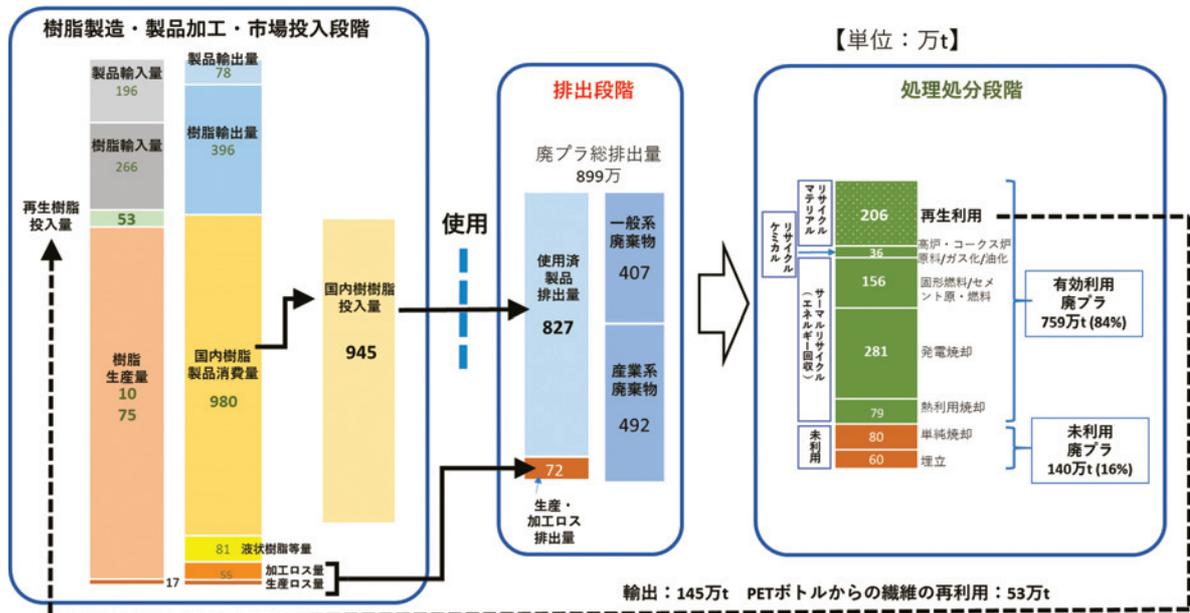


図1.2.1-13 プラスチックの物質フロー(資料25よりCRDSで作成)

環境・エネルギー分野関連産業の規模

環境・エネルギー分野に関連する産業は多岐に亘る。エネルギー分野に関しては、産業大分類で見ると「電気・ガス・熱供給・水道業」が深く関連する²⁷。総務省の「平成28年経済センサス・活動調査」²⁸によれば同産業の売上高は約26兆円（2015年）、付加価値額²⁹は約4兆円（2015年）であり日本全体の合計額に占める割合はそれぞれ1.6%、1.4%である。しかしながらこれ以外にも「鉱業、採石業、砂利採取業」、「製造業」、「卸売業、小売業」、「サービス業（他に分類されないもの）」の一部も関連するため、これらを総合した同分野の産業規模は極めて大きい。産業小分類別の2015年の売上高の上位リストにおいても「自動車・同附属品製造業」（約67兆円、1位）、「電気業」（約21兆円、17位）、「石油精製業」（約17兆円、23位）、「発電用・送電用・配電用電気機械器具製造業」（約7兆円、62位）、「ガス業」（約5兆円、84位）、「鉱業用プラスチック製品製造業」（約4兆円、91位）等の複数のエネルギー関連産業が含まれている。

エネルギー関連産業は電気、ガス、水道といった公益事業を担う産業が含まれ、海外ではユーティリティ産業とも呼ばれている。日本では人口構成の変化やインフラ老朽化が進み、電力市場、ガス市場の規制緩和が進められているため同産業は大きな変革期の中にある。またGHG排出の大幅削減やデジタル化等の技術進展といった世界的な潮流も大きな影響を及ぼしている。

環境分野関連の産業に関しては、既存の産業分類の中では「廃棄物処理業」が該当するが、それにより全てが包含されるということにはならない。OECDによる環境産業の定義・分類

²⁷ 総務省、「日本標準産業分類（平成25年10月改定）（平成26年4月1日施行）」

²⁸ 総務省統計局、「平成28年経済センサス・活動調査 調査の結果」

²⁹ 付加価値額＝売上高－（費用総額（売上原価＋販売費及び一般管理費））＋給与総額＋租税公課

では「環境汚染防止」、「環境負荷低減」、「資源有効利用」の3分類が用いられている。これを踏まえた環境省による検討では「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分類が用いられている³⁰。これらに含まれる産業は極めて広範かつ多岐に亘る。また前述のエネルギー分野に関連する産業とも一部が重複しうる。従って以下に示す環境産業の規模は、前述のエネルギー分野の関連産業との単純な足し合わせにはならない点に留意が必要である。

環境省による推計では、環境産業の規模は約104兆円（2016年）に達する（図1.2.1-14）。これは日本の全産業の産出額（名目）約1,000兆円（2016年）の10.4%を占める規模である。2000年にはこの値は6.1%であったことから、日本の経済成長に対して与える環境産業の影響が年々大きくなっていると指摘されている。なおこの成長に大きく寄与しているのは、先の4分類の中では「地球温暖化対策」だった。2016年時点では同分類に含まれる「再生可能エネルギー設備管理」、「省エネルギー輸送機関・輸送サービス」、「省エネルギー電化製品」、「エコドライブ支援機器」、「エネルギー貯蔵設備」が前年度から市場規模を増加させていた。

エネルギー分野と同様に環境分野の産業も大きく変化しつつある。先の環境省の検討では次の4項目について新たに推計対象に含めるかどうか議論された：(1) 炭素繊維素材・製品、(2) 宅配ボックス、(3) 高度道路交通情報システム（ITS）要素技術、(4) シェアリングエコノミー。こうしたことから従来の産業分類では捉えきれない多様な事業形態が生み出されつつある分野となっていることがうかがえる。

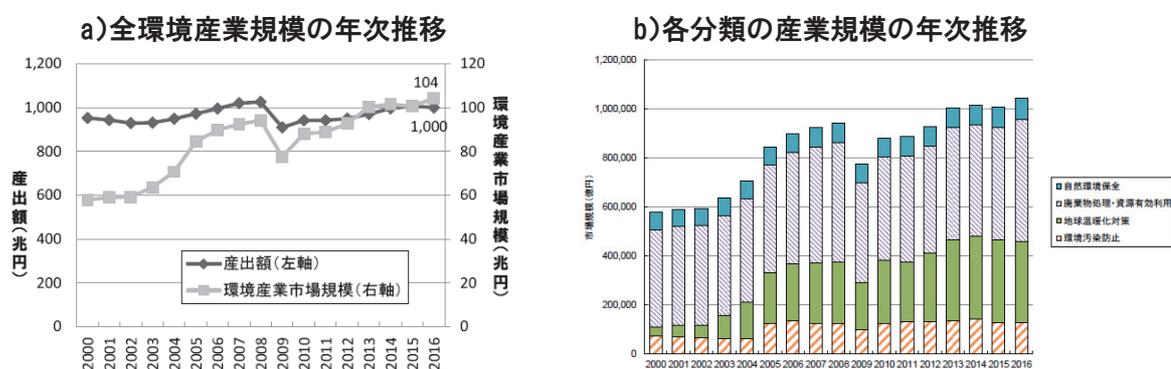


図1.2.1-14 環境産業の規模³⁰

地球温暖化対策への産業界の取り組み

世界最大規模の年金基金であり総額約165.6兆円を運用する年金積立金管理運用独立行政法人（GPIF）を始め、日本の60を超える会社・機関が、投資にESGの視点を組み入れること等からなる国連の責任投資原則（PRI）に署名している（2018年6月時点）。この下、GPIFは2017年7月に「ESG指数」を選定・公表しているが、全般的な考慮を行う「統合型」及び「社会（S）」に係る指数を計3件選定したところであり、「環境（E）」のテーマについては継続審査中としている。なおこうした投資手法に係る性質として、ネガティブ・排除型スクリーニングや統合タイプのもの等の幾つかの種類があるが、日本では統合タイプのものが多いと言

³⁰ 環境省：環境産業の市場規模・雇用規模等に関する報告書、2018

われている³¹。

ESG 投資に関するもう一つの動きとして、気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）の活動がある。TCFD は 2015 年に金融理事会によって設置された。2017 年 6 月には投資先における気候関連のリスク・機会に関する最終提言を公表した。このガイドラインへの賛同が日本国内でも広まりつつある。2018 年 12 月時点では既に金融、製造、運輸、公的機関（環境省、金融庁）等の様々な業種の約 40 社・機関が賛同を表明している³²。

また TCFD に沿った情報開示を要請する各種イニシアチブが複数立ち上がっている。そのうち投資家団体が 2017 年 12 月に立ち上げた 5 ヶ年のイニシアチブ「Climate Action +100」には 200 を超える機関投資家が加盟し、日本企業 10 社を含む 161 社が対象企業としてリストアップされている（2018 年 12 月時点）³³。

国内では経団連が、1997 年に環境自主行動計画を策定して以来、地球温暖化対策に継続的に取り組んでいる。現在は 2013 年に策定した「経団連低炭素社会実行計画」の実施とその進捗のフォローアップを行っている。同計画は業種ごとの（1）国内事業活動における 2030 年の削減目標策定、（2）主体間連携の強化、（3）国際貢献の推進、（4）革新的技術開発の 4 つを柱に据えて産業界における CO₂ 排出削減に取り組んでいる。その他、企業、自治体、NPO が気候変動抑止のためのネットワークである「気候変動イニシアティブ（Japan Climate Initiative : JCI）」を 2018 年に発足させた。

政府による主な取組みとしては「SBT（Science Based Targets）」（企業版 2°C 目標）及び「RE100（Renewable Energy 100%）」（100% 再エネ導入）が挙げられる。SBT は、2°C 目標の達成に向けたシナリオと整合的な削減目標の設定支援や認定等を企業に対して行う国際的なイニシアチブである。環境省は SBT 策定支援事業を始めとして企業によりバリューチェーン全体に亘る CO₂ 排出削減の取組みを支援する各種取組みを実施している。

RE100 は事業を 100% 再生可能エネルギーで賄うことを目指す企業連合として 2014 年に発足した。世界中の様々な業種の 159 社が参画している（2018 年 12 月時点）³⁴。日本の企業も約 10 社が参画している。環境省は SBT と同様に RE100 への企業の参画を促す事業も実施している。

³¹ 小川芳樹, 水素エネルギーシステム 43(2): 84-90, 2018

³² Susustainable Japan: 「【日本】日本生命、TCFD に賛同。国内生保で 2 社目。日本全体では 40 社・機関に到達」. 2018 年 12 月 20 日, <https://sustainablejapan.jp/2018/12/20/nissay-tcfid/36161>

³³ Climate Action 100+, <https://climateaction100.wordpress.com/companies/>

³⁴ The Climate Group, RE100, <http://there100.org/companies>

1.2.2 研究開発投資や論文、コミュニティ等の動向

研究開発投資

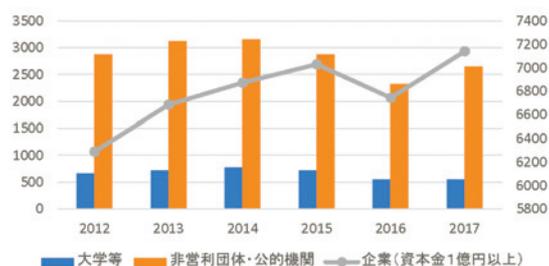
総務省統計局の科学技術研究調査によると平成 29（2017）年度の科学技術研究費総額は 19 兆 504 億円だった。その内訳は大学等が 3 兆 6,418 億円、非営利団体・公的機関が 1 兆 6,097 億円、企業が 13 兆 7,989 億円である。またこれらを「特定目的別研究費」の分類に基づき分野ごとの状況を見てみると、「エネルギー」分野と「環境」分野の状況は下表の通りだった。

表1.2.2-1 主体別の科学技術研究費

	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 6,418 億円	1 兆 6,097 億円	13 兆 7,989 億円
うち「エネルギー」分野	545 億円	2,648 億円	7,141 億円
うち「環境」分野	903 億円	853 億円	1 兆 149 億円

研究費の年次推移を見ると、エネルギー分野の年次推移は比較的变化が激しい（図 1.2.2-1）。大学等および非営利団体・公的機関では 2014 年度から 2016 年度にかけて大きく減少し、2017 年度に再び増加に転じた。企業ではやはり 2016 年度に減少したが 2017 年度に回復している。この 2016 年度の減少の要因について同調査では言及されていない。また環境分野では大学等の研究費が減少傾向にあり、2012 年度と 2017 年度を比較すると約 40 億円減少していた。減少傾向は非営利団体・公的機関でも同様である。一方で企業における研究費は 2012 年度から 3 年間に亘り増加した後高止まりしていた。

a) エネルギー分野



b) 環境分野

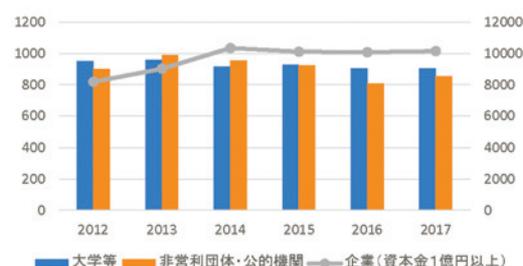


図1.2.2-1 エネルギー分野および環境分野の研究費年次推移 [億円]

続いて「特定目的別研究費」で設定されている 8 分野の各研究費に占める研究主体ごとの研究費の割合を見てみると、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（図 1.2.2-2）。これに対して環境分野は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。エネルギー分野も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。こうした構造は 2012 年度でも同様であり概ね固定化した状況と思われる。

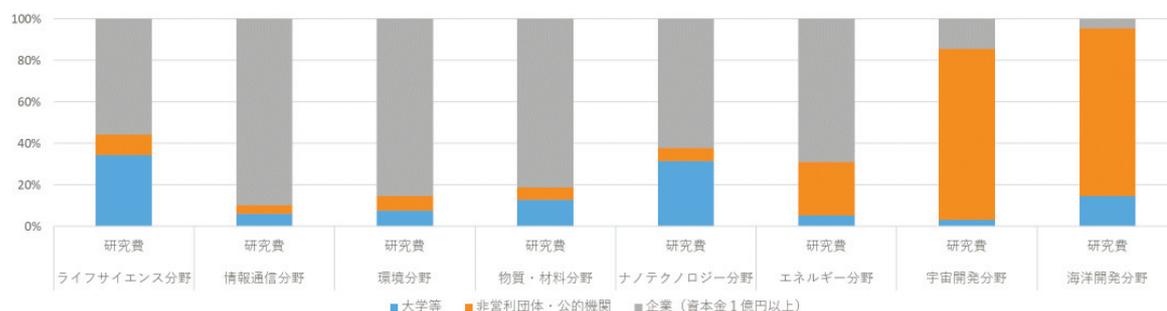


図1.2.2-2 各主体の研究費が占める割合(分野別、2017年度)

基礎研究課題の分野・分科構成

科学研究費助成事業データベース（KAKEN、<https://kaken.nii.ac.jp/ja/>）の登録課題を基に環境・エネルギー分野の研究課題構成を調べた。検索条件は下表に示す通りである。なお環境・エネルギー分野の研究開発を支える事業は科学研究費助成事業のみではないため、ここで示す結果は一部（特に大学や公的研究機関等における純粋基礎研究のフェーズにあるもの）の状況を示すものであることに留意が必要である。

表1.2.2-2 検索条件

	エネルギー分野	環境分野
研究種目	基盤 S・A・B、若手 A	
審査区分/研究分野	化学、工学、総合理工	環境学、総合理工、数物系科学、化学、工学、総合生物、生物学、農学（但し分科の絞り込みあり）
時期（研究開始年度）	2008～2017年度（10年分）	
「フリーワード」への入力	エネルギー	環境
検索結果	3,068件	5,559件

上記検索結果を母集団とした研究課題群の中で採択件数上位 50 機関の課題内訳を研究分野別に調べると図 1.2.2-3 及び図 1.2.2-4 のようになった。過去 10 年分の採択課題累積が 100 件を超えるのはエネルギー分野では上位 8 機関、環境分野では上位 50 機関までであり、過半数は 50 件未満であった。

また研究分野の内訳を見ると、エネルギー分野では大半が工学で、化学、総合理工と続く。環境分野では工学や農学が多くを占め、上位機関では化学、環境学、数物系科学や生物学の割合も比較的大きい。

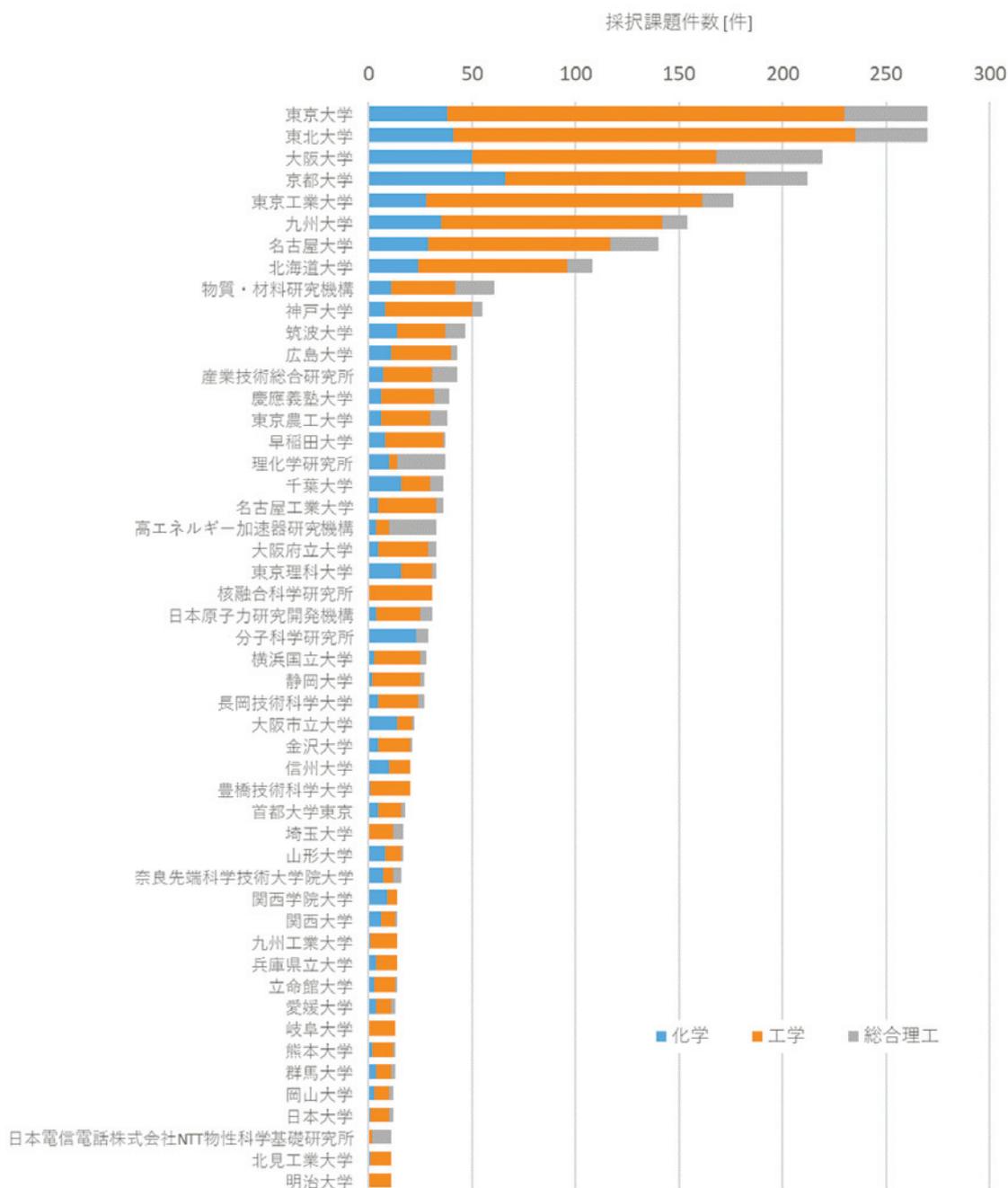


図1.2.2-3 KAKEN検索結果における採択件数上位50機関の研究課題内訳(研究分野別):エネルギー分野

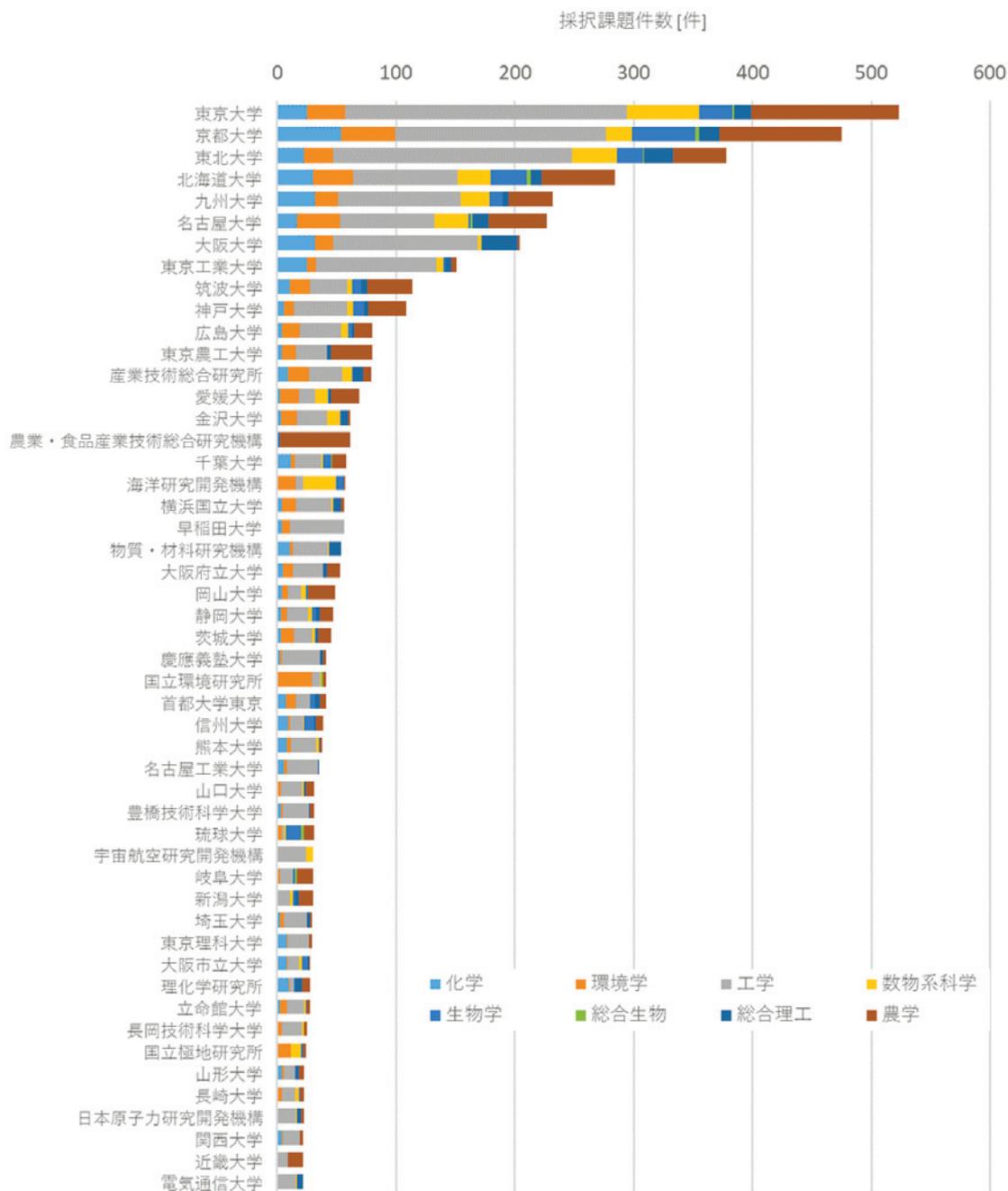


図1.2.2-4 KAKEN検索結果における採択件数上位50機関の研究課題内訳(研究分野別):環境分野

続いて研究分野及び分科別の採択課題件数の年次推移を調べた(表1.2.2-3、表1.2.2-4)。エネルギー分野、環境分野とも2013年度前後から採択課題件数は増加傾向から減少傾向へと転じている。

表1.2.2-3 KAKEN検索結果における採択件数の年次推移(研究分野/分科別):エネルギー

研究分野/分科	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	総計
化学	56	73	63	93	68	71	79	68	61	18	650
基礎化学	21	33	28	33	22	26	28	18	20	2	231
材料化学	17	18	17	25	25	21	16	21	14	5	179
複合化学	18	22	18	35	21	24	35	29	27	11	240
工学	204	238	222	264	224	219	220	174	147	46	1958
プロセス・化学工学	18	15	16	23	21	18	17	10	14	3	155
機械工学	36	37	41	50	34	35	34	20	26	6	319
建築学	15	21	26	21	14	20	12	8	8	4	149
材料工学	33	50	33	53	40	41	47	35	29	2	363
総合工学	45	56	65	56	56	48	59	46	41	22	494
電気電子工学	37	43	31	45	46	41	38	46	21	9	357
土木工学	20	16	10	16	13	16	13	9	8		121
総合理工	40	26	26	47	33	81	86	59	50	12	460
ナノ・マイクロ科学				1		30	30	19	15	4	99
応用物理学	40	26	26	45	33	33	40	28	27	1	299
計算科学						2	3	2		1	8
量子ビーム科学				1		16	13	10	8	6	54
総計	300	337	311	404	325	371	385	301	258	76	3068

表1.2.2-4 KAKEN検索結果における採択件数の年次推移(研究分野/分科別):環境

研究分野/分科	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	総計
化学	50	66	48	65	54	57	66	45	28	10	489
基礎化学	7	21	12	14	11	12	15	9	7	3	111
材料化学	12	15	13	15	9	19	10	5	10	1	109
複合化学	31	30	23	36	34	26	41	31	11	6	269
環境学				1		126	122	138	141	150	678
環境解析学						62	68	75	82	78	365
環境創成学				1		40	30	34	33	45	183
環境保全学						24	24	29	26	27	130
工学	252	262	249	302	266	277	271	217	193	74	2363
プロセス・化学工学	18	16	17	20	18	13	20	13	10	4	149
機械工学	42	31	33	42	44	49	41	30	34	6	352
建築学	40	36	45	46	31	39	40	28	34	18	357
材料工学	31	32	24	37	25	29	34	27	21	6	266
総合工学	31	52	50	54	60	53	40	37	33	4	414
電気電子工学	34	36	34	42	33	39	37	31	25	6	317
土木工学	56	59	46	61	55	55	59	51	36	30	508
数物系科学	37	49	50	47	45	44	43	44	24	8	391
地球惑星科学	37	49	50	47	45	44	43	44	24	8	391
生物学	23	27	24	34	36	30	30	28	31	20	283
基礎生物学	23	27	24	34	36	30	30	28	31	20	283
総合生物						5	5	2	5	5	22
生物資源保全学						5	5	2	5	5	22
総合理工	12	14	13	22	16	53	44	42	31	3	250
ナノ・マイクロ科学				1		25	15	15	10	3	69
応用物理学	12	14	13	19	16	22	21	18	17		152
計算科学				1		2	2	3			8
量子ビーム科学				1		4	6	6	4		21
農学	59	59	65	84	58	171	173	154	152	108	1083
境界農学	18	19	18	23	19	20	31	23	15	18	204
社会経済農学						8	11	9	9	3	40
森林園科学				9		28	16	18	19	5	95
水圏応用科学				3		17	23	14	16	6	79
生産環境農学				6		50	53	47	49	48	253
農業工学	23	20	23	24	20	23	17	25	27	24	226
農芸化学	18	20	24	19	19	25	22	18	17	4	186
総計	433	477	449	555	475	763	754	670	605	378	5559

科学研究論文生産の動向

文部科学省の科学技術・学術政策研究所(NISTEP)の「科学研究のベンチマーク2017」(2017年)では「化学」、「材料科学」、「物理学」、「計算機・数学」、「工学」、「環境・地球科学」、「臨床医学」、「基礎生命科学」各分野の科学研究論文数の動向を調査している。分野全体の傾向としては、日本は量的・質的な論文数シェアを下げている。これに準ずる形で環境・エネルギー分野と関連が深い化学、物理学、工学、環境・地球科学分野いずれも国際的に順位を下げている。分野別ごとの分析では、2003年から2005年までの平均値と2013年から2015年までの平

均値を比べたときに、化学や工学は論文数及び Top10% 補正論文数の減少が見られ、物理学では論文数の減少が見られた。対照的に環境・地球科学は論文数、Top10% 補正論文数、Top1% 補正論文数のいずれでも増加していた。

こうした論文生産を支える研究機関の内訳を見ると、いずれの分野でも国立大学が量的・質的に最も多くの論文を生産している。一方で国立大学に次ぐ機関は特殊法人・独立行政法人であることが多いが、工学だけは企業からの論文生産が量的にも質的にも大学に次ぐ順位となっている点が特徴的である。ただし量的には減少を続けており、今後も動向を注視する必要がある。

学協会の会員数変化

エネルギー分野、環境分野と関連が深い国内の学協会を抽出し、その会員数動向をアンケート調査を通じて調べた。回答を得た 38 学協会（エネルギー分野：21、環境分野：17）のうち、数万人規模の学会はエネルギー分野には 6 学会（自動車技術開、日本機械学会、日本建築学会、電気学会、応用物理学会、高分子学会）あり、環境分野には 2 学会（土木学会、日本化学会）あった（表 1.2.2-5）。いずれの分野も大半は数千人規模の学協会だが、環境分野では 1000 人未満の学協会が比較的多い点が特徴的である。また 2004 年度と 2014 年度の 10 年間での個人会員数増減を調べると、全体的には減少傾向にあった。増加していたのはエネルギー分野では 4 学協会（自動車技術開、日本鉄鋼協会、日本金属学会、電気化学会）、環境分野も 4 学会（土木学会、廃棄物資源循環学会、日本生態学会、水文・水資源学会）あった。

表1.2.2-5 環境・エネルギー分野の関連学協会会員数(2004年度末、2014年度末)

学会名	個人会員数（人）		
	2004年度末	2014年度末	増減
自動車技術会	37,872	47,000	9,128
日本機械学会	37,837	34,696	▲ 3,141
日本建築学会	35,576	33,741	▲ 1,835
電気学会	24,328	21,814	▲ 2,514
応用物理学会	23,132	21,603	▲ 1,529
高分子学会	11,555	10,248	▲ 1,307
日本鉄鋼協会	8,721	8,927	206
化学工学会	8,197	7,165	▲ 1,032
計測自動制御学会	7,461	5,550	▲ 1,911
日本原子力学会	7,059	6,861	▲ 198
有機合成化学協会	5,233	4,918	▲ 315
日本冷凍空調学会	5,150	4,045	▲ 1,105
日本セラミックス協会	4,985	4,516	▲ 469
日本金属学会	4,436	5,340	904
石油学会	3,668	3,069	▲ 599
電気化学会	2,945	3,193	248
トライボロジー学会	2,645	2,629	▲ 16
触媒学会	2,545	2,476	▲ 69
エネルギー・資源学会	1,912	1,322	▲ 590
日本伝熱学会	1,379	1,285	▲ 94
日本流体力学会	1,367	1,257	▲ 110
土木学会	36,406	37,284	878
日本化学会	33,340	28,394	▲ 4,946
日本分析化学会	6,884	5,346	▲ 1,538
廃棄物資源循環学会	3,826	4,000	174
日本気象学会	3,812	3,311	▲ 501
日本生態学会	3,682	3,819	137
水産学会	3,593	3,235	▲ 358
日本水環境学会	2,614	1,982	▲ 632
日本森林学会	2,542	2,444	▲ 98
環境科学会	1,510	1,020	▲ 490
日本環境化学会	1,489	885	▲ 604
水文・水資源学会	1,272	1,279	7
大気環境学会	NA	1,080	
日本陸水学会	NA	733	
LCA学会	NA	405	
日本リトセツク学会	NA	1,063	
環境経済・政策学会	NA	1,185	

大学院入学者数の推移

前述の KAKEN 検索結果における研究分野構成からも分かるように、環境・エネルギー分野の研究者の専門分野は理学系に加えて工学系や農学系も大きな割合を占める。そこでこれらの分野への大学院進学者がどのように推移しているかを科学技術・学術政策研究所（NISTEP）の「科学技術指標 2018」から調べた（図 1.2.2-6）。

NISTEP の「科学技術指標 2018」にて修士課程への入学者数及び博士課程への入学者数推移を見ると、まず修士課程への入学者総数は 2010 年度の 8.2 万人をピークに大きく減少していた。ここ数年は緩やかに増加の傾向がまた現れ始めているが、2017 年度は 7.3 万人でありピーク時と比べて 1 万人少ない。その内訳を見ると理学が 0.7 万人、工学が 3.1 万人、農学が 0.4 万人である。ピーク時の 2010 年度からはそれぞれ 200 人、5,000 人、700 人減少しており、工学分野における減少幅が大きい。

続いて博士課程への入学者数を見ると、総数のピークは修士課程よりも早期で 2003 年度にあった。2003 年度の総数は 1.8 万人でありそこから緩やかに減少を続け 2017 年度は 1.5 万人となった。その内訳は理学、工学、農学でそれぞれ 1,129 人、2,362 人、703 人となっており、2003 年度前後の各ピークと比べて 600 人、1,200 人、400 人ずつ減少していた。今後、研究開発人材がどの程度まで減少するかは引き続き注視が必要である。

人材確保に関する懸念は企業にもあり、経済産業省が 2018 年 4 月に取りまとめ・公表した「理工系人材需給状況に関する調査結果概要」によれば、「5 年後技術者が不足すると予想される分野」の上位に「機械工学」、「電力」、「土木工学」が並んでいる。また「不足する理由」としては「他社が当該分野の採用数を増やしているため」、「業界や自社に対する学生認知が低く、応募が集まらず採用に至らないため」に次いで、「当該分野を学んでいる学生が少ないため」が続いている。本調査結果は大学院修了者のみを対象としたものではないため先の入学者数推移と単純に関連付けることはできないが、人材確保に対する懸念の強まりが環境・エネルギー分野においても見られることが分かる。

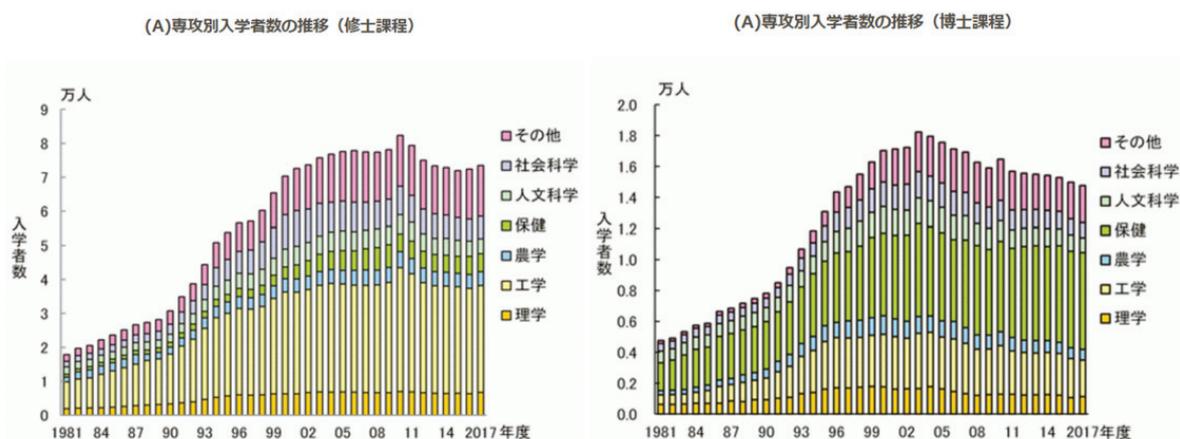


図1.2.2-6 大学院入学者数

1.2.3 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
2014.4	経済産業省 (METI)	エネルギー基本計画 (第4次)	2030	エネルギー政策に関する基本方針。中長期 (今後20年程度) のエネルギー需給構造を視野に入れて今度取り組むべき政策課題とエネルギー政策の方針を提示。
2015.11	環境省 (MOE)	気候変動の影響への適応計画		気候変動による様々な影響に対する取組に関する基本方針。分野別施策を設定。
2016.5	MOE	地球温暖化対策計画	2030、2050	約束草案と同じ2030年度の排出削減目標を中期の目標と位置づけ。また2050年までに▲80%を長期的な目標と位置づけ。
2017.12	METI	水素基本戦略	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。
2018.7	METI	エネルギー基本計画 (第5次)	2030、2050	第4次計画での2030年の計画の見直しに加え、パリ協定の発効を受けて2050年を見据えた対応等についても基本方針を提示。
2018.10	MOE	気候変動適応計画		気候変動適応法 (2018年2月閣議決定) に基づく計画。気候変動適応に関する施策の基本的方向性やその具体を提示。

■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。

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。

2015.7	水循環政策本部	水循環基本計画		水循環に関わる個々の施策の統合的な推進のための基本方針。流域における総合的かつ一体的な管理等を提示。
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	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	MOE	プラスチック資源循環戦略（案）※	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。

※ 2019年1月時点

■ 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
2015.8	MOE	環境研究・環境技術開発の推進戦略について	2025、2030、2050	環境基本計画に基づく環境分野の研究・技術開発の基本方針。中長期（2025～2030年、2050年）を見据えた上で向こう5年間で取り組むべき重点課題やその推進方を提示。
2016.1	総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）	科学技術基本計画（第5期）（2016～2020年度）		科学技術イノベーション政策の基本方針を提示。「Society5.0」の推進等を提示。
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	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。
2016.5	CSTI	科学技術イノベーション総合戦略2016		第5期科学技術基本計画の初年度の総合戦略。Society5.0の推進を提示。
2017.6	CSTI	科学技術イノベーション総合戦略2017		Society5.0の実現、「科学技術イノベーション官民投資拡大イニシアティブ」および「Society5.0の推進と政府研究開発投資目標の達成に向けて」の着実な実行等を提示。
2018.6	統合イノベーション戦略推進会議	統合イノベーション戦略		政策の統合により基礎研究から社会実装・国際展開までを「一気通貫」で実行するために、従来の「科学技術イノベーション総合戦略」から発展して新たに「統合イノベーション戦略」を策定。

2019	MOE	環境研究・環境技術開発の推進戦略(案)※	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。
------	-----	----------------------	-----------	---

※ 2019年1月時点

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）

環境に関する政策の主要所管省は環境省だが、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。エネルギーに関しては経済産業省が主要所管省である。

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。環境・エネルギー分野においては内閣府、文部科学省、経済産業省、環境省、農林水産省、国土交通省が主な関連府省となる。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

エネルギー分野の基本政策はエネルギー基本計画である。第5次の基本計画ではパリ協定の発効を受けて2030年及び2050年に向けた対応方針が示された。2030年度の長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）は図1.2.3-1のとおりであり、パリ協定における約束草案と整合するものとなっている。一方、2050年に向けた方針は、その将来に対する不確実性等に鑑みて、「あらゆる選択肢を追求する『エネルギー転換・脱炭素化を目指した全方位での野心的な複線シナリオ』を採用する」としている。

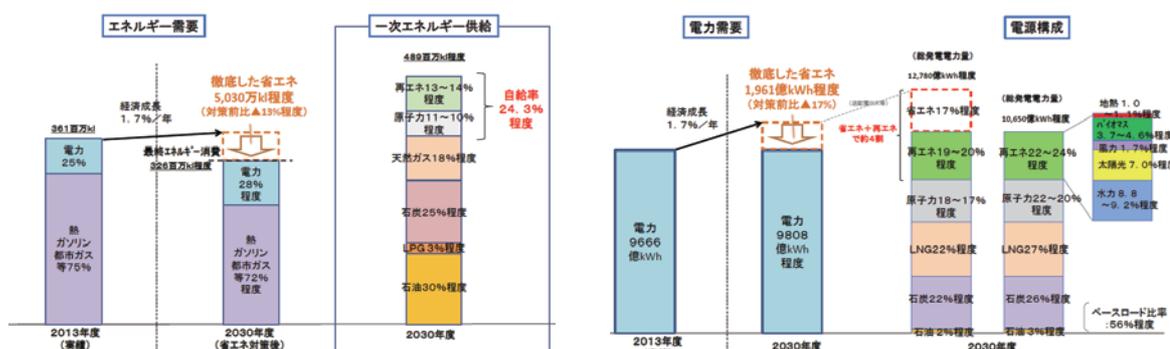


図1.2.3-1 2030年度の長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)

(第5次エネルギー基本計画資料から抜粋：エネルギー需要、一次エネルギー供給、電力需要、電源構成)

環境分野の基本政策は環境基本計画である。第5次の基本計画においては、我が国が抱える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 等が個々に関連付けられている。

上記以外には内閣官房にて策定された計画や戦略もある。水循環基本計画は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すものとして「水循環政策本部」で策定された。また水素基本戦略は、「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」における総理指示に基づき関係府省庁がとりまとめた戦略が基になっている。

3. 環境・エネルギー分野の STI 政策

STI 政策として注力されているのは気候変動対応の緩和策（GHG 排出の大幅削減）である。2050 年に GHG 排出量 80% 削減を達成するためにはこれまでの延長線上の取組みのみでは十分ではないとの認識から研究開発・技術開発の企画立案が積極的に行われている。

現行のものに関しては、まず CSTI が策定した第 5 期科学技術基本計画では、世界に先駆けた「超スマート社会」の実現（Society 5.0）の中で、「エネルギーバリューチェーン」、「地球環境情報プラットフォーム」が取り上げられている。また重要政策課題として掲げられた 13 課題のうち、環境・エネルギーに関連するものには「エネルギーの安定的確保とエネルギー利用の効率化」、「資源の安定的な確保と循環的な利用」、「地球規模の気候変動への対応」、「生物多様性への対応」がある。

同基本計画に基づき策定された「科学技術イノベーション総合戦略 2016」では、経済・社会的課題への対応として「エネルギーバリューチェーンの最適化」と「地球環境情報プラットフォームの構築」が挙げられている。これらは翌年度の「科学技術イノベーション総合戦略 2017」でも引き継がれている。なお「エネルギーバリューチェーンの最適化」に向けて重きを置くべき課題としては「エネルギープラットフォームの構築」、「クリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化」、「水素・蓄電池等の蓄エネルギー技術を活用したエネルギー利用の安定化」、「新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減」、「革新的な材料・デバイス等の幅広い分野への適用」の 5 つが示された。

総合戦略ではその他にもエネルギーシステムについて高度道路交通システム、地球環境情報プラットフォーム、あるいは効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新の実現との連携等を通じてエネルギーの枠に留まらない新たな価値創出を可能とする社会の構築を目指すことが基本的認識として示された。またパリ協定並びに「地球温暖化対策計画」を受けて総理指示の下で 2016 年 4 月に取りまとめられた「エネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI2050）」についても、この戦略に基づく取組の着実な推進が言及された。

総合戦略は 2018 年度から「統合イノベーション戦略」になった。この統合イノベーション戦略では、特に取組を強化すべき主要分野の一つとして「環境エネルギー」が挙げられている。また、目指すべき将来像として Society5.0 の実現に向けたデータ連携基盤の構築と整合性のとれた、世界最先端のエネルギーマネジメントシステムの実現等を掲げている。

NESTI2050 と関連するものとして「環境エネルギー技術革新計画」がある（図 1.2.3-2）。同計画は 2008 年に策定され、2013 年に改訂が行われた。その中では、地球全体の環境・エネルギー制約の解決及び各国の経済成長に必要と考えられる 37 の「革新的技術」が特定された。短中期（2030 年頃まで）で実用化が見込まれる技術と中長期（2030 年頃以降）で実用化・普及が見込まれる技術から構成される。これに対して NESTI2050 は「2050 年頃という長期的視点に立って、世界全体で温室効果ガスの抜本的な排出削減を実現するイノベーション創出をターゲットとしている」。

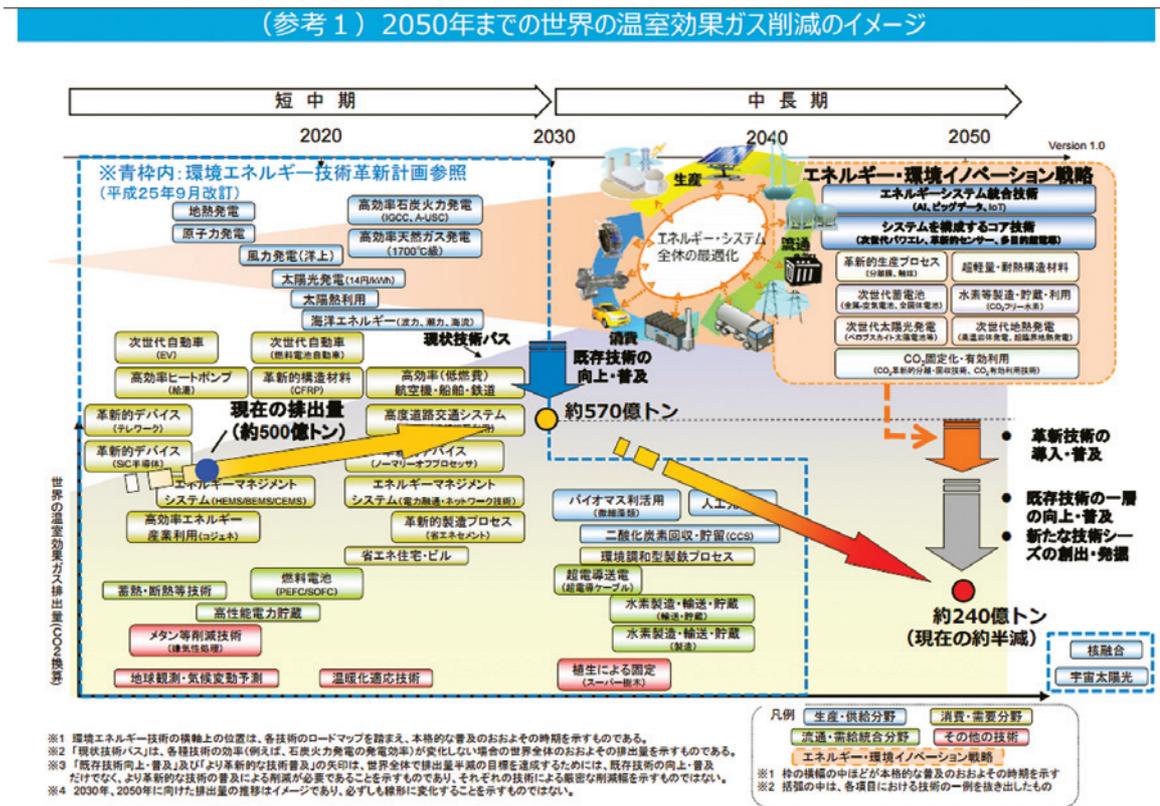


図1.2.3-2 環境エネルギー技術革新計画とエネルギー・環境イノベーション戦略の関係性²

環境分野に関しては、環境省では、「環境研究・環境技術開発の推進戦略について」(2015年8月中央環境審議会答申)をもとに研究開発が推進されてきた。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中長期(2025年～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策定されたものである。領域構成としては、「低炭素」、「資源循環」、「自然共生」、「安全確保」の従来の4領域に加え、社会科学分野等との連携の推進や災害対応・地方創生等の複合的な課題の解決に資する「統合領域」が新たに設定された。これに続いて今般、「環境研究・環境技術開発の推進戦略(案)」の検討が改めて行われた。2019年1月時点ではパブリックコメント版が公表されているが、基本的な領域構成は前回と同様である。

4. 代表的な研究開発プログラム/プロジェクト

関連府省における環境・エネルギー分野の代表的な研究開発プログラムやプロジェクト等を表1.2.3-1に示す。

² 内閣府 エネルギー・環境イノベーション戦略 (NESTI2050) 【参考】、<https://www8.cao.go.jp/cstp/nesti/index.html>

表1.2.3-1 代表的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"> ● SIP (第1期) (2014～2018) 「革新的燃焼技術」「エネルギーキャリア」「革新的構造材料」「次世代パワーエレクトロニクス」「レジリエントな防災・減災機能の強化」「次世代農林水産業創造技術」 ● SIP (第2期) (2018～) 「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」「スマートバイオ産業・農業基盤技術」 ● FIRST (2009～2013) 「Mega-ton Water System」「低炭素社会創成に向けた SiC 革新パワーエレクトロニクスの研究開発」「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」「高性能蓄電デバイス創製に向けた革新的基盤研究」 ● ImPACT (2013～2018) 「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」
内閣府・食品安全委員会	<ul style="list-style-type: none"> ● 食品健康影響評価技術研究課題 (2005～)
文部科学省	<ul style="list-style-type: none"> ● 省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発 (2016～2020) ● 元素戦略 (2012～) ● 気候変動適応戦略イニシアチブ「統合的気候モデル高度化研究プログラム」(2017～2021)「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)」(2015～2019)、「地球環境情報プラットフォーム構築推進プログラム (DIAS)」(2016～2020) ● 気候変動リスク情報創生プログラム (SOUSEI) (2012～2017) / 21世紀気候変動予測革新プログラム (2007～2011) ● 革新的エネルギー研究開発拠点形成事業 FUTURE - PV Innovation (2012～2017) ● 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 (2015～) / 原子力システム研究開発事業 (2005～) ● 深海底資源基礎調査事業 (2011～2018)
経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> ● 二酸化炭素削減技術実証試験事業 (2009～2020) ● 二酸化炭素回収技術実用化研究事業 (2015～) ● 被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業課支援事業 (産総研・福島再生可能エネルギー研究所 (FREA)) (2017～2020) ● 革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業 (2015～2019)
国土交通省	<ul style="list-style-type: none"> ● 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"> ● CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (2005～) ● 気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT) (2016～) ● 潮流発電技術実用化推進事業 (経済産業省と連携) (2014～2018) ● いきものログ(2013～)、モニタリングサイト1000(2003～)、緑の国勢調査(1973～)
農林水産省	<ul style="list-style-type: none"> ● 戦略的プロジェクト研究推進事業 (2018～)・委託プロジェクト研究 (2009～) ● 「安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究」(2015～) / 「レギュラトリーサイエンス新技術開発事業」(2010～2015) ● 食料生産地域再生のための先端技術展開事業 (福島県・岩手県・宮城県) (2011～)
NEDO (経済産業省)	<ul style="list-style-type: none"> ● 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～) ● 先進的な火力発電技術等の海外展開推進事業 (2017～2021)、次世代火力発電等技術開発 (2016～2021)、クリーンコール技術開発 (2016～2019)、 ● 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発 (2015～2019)、太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト (2014～2018)、太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト (2014～2018) ● 風力発電等導入支援事業 (2013～2022)、風力発電等技術研究開発 (2008～2022) ● 海洋エネルギー発電実証等研究開発事業 (2018～2020)、次世代洋上直流送電システム開発事業 (2015～2019)

	<ul style="list-style-type: none"> ●超臨界地熱発電技術研究開発 (2018 - 2020)、未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 (2015 - 2022)、再生可能エネルギー熱利用技術開発 (2014 - 2018)、地熱発電技術研究開発 (2013 - 2020) ●バイオジェット燃料生産技術開発事業 (2017 - 2020)、バイオマスエネルギー技術研究開発 (2004 - 2019)、バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業 (2014 - 2020)、 ●先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (第2期) (2018 - 2022)、革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (2016 - 2020)、固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業 (2015 - 2019)、固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発 (2013 - 2019) ●超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 (2018 - 2022)、水素利用等先導研究開発事業 (2014 - 2022)、水素社会構築技術開発事業 (2014 - 2020)、 ●高温超電導実用化促進技術開発 (2016 - 2020)、分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業 (2014 - 2018)、電力系統出力変動対応技術研究開発事業 (2014 - 2018) ●二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発 (2014 - 2021) ●CCS 研究開発・実証関連事業 (2018 - 2021) ●非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発 (2013 - 2019) ●省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発 (2018 - 2022) ●高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業 (2017 - 2022) ●アジア省エネルギー型資源循環制度導入実証事業 (2016 - 2020)、エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業 (1993 - 2020)
<p>JST (文部科学省)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●ALCA・未来社会創造事業「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域 (2010 ~) -革新技術領域「太陽電池および太陽エネルギー利用システム」「超伝導システム」「蓄電デバイス」「耐熱材料・鉄鋼リサイクル高性能材料」「バイオテクノロジー」「革新的省・創エネルギー化学プロセス」「革新的省・創エネルギーシステム・デバイス」-特別重点技術領域「次世代蓄電池」「ホワイトバイオテクノロジー」-実用技術化プロジェクト「高品位大口径 GaN 基板の開発」「液体水素冷却による超伝導電気機器の開発」「低 CO₂ 排出型次世代火力発電用新規耐熱材料の開発」「省エネルギー社会に向けた革新的軽量材料の創製」「自律分散型次世代スマートコミュニティ」「バイオマスの化成品化およびポリマー化のための高効率生産プロセスの開発」「生物資源の制御によるバイオマス・有用成分の増産」「高効率エネルギー機器システム実現のための先進的産業用電気機器の開発」「新規材料および新機構による熱利用技術」「光マネジメントによる CO₂ 低減技術」「炭素循環化学システムの高効率化」 ●未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」領域 (2017 ~)、「世界一の安全・安心社会の実現」領域 (2017 ~) ●CREST (1995 ~) 「革新的制御」(2018 ~)、「革新的触媒」(2015 ~)、「微小エネルギー」(2015 ~)、「エネルギーキャリア」(2013 ~)、「EMS」(2012 ~)、「相界面」(2011 ~ 2018)、「藻類バイオエネルギー」(2010 ~ 2017)、「CO₂ 抑制」(2008 ~ 2015)、「太陽光利用」(2009 ~ 2016)、「ナノ構造触媒」(2002 ~ 2007)、「エネルギー高度利用」(2002 ~ 2007)、「植物頑健性」(2015 ~)、「海洋生物多様性」(2011 ~ 2018)、「水利用」(2009 ~ 2016)、「水循環」(2001 ~ 2008)「資源循環」(1998 ~ 2005)、「地球変動」(1997 ~ 2004)、「環境低負荷」(1995 ~ 2002) ●さきがけ (1991 ~) 「反応制御」(2018 ~)、「熱制御」(2017 ~)、「革新的触媒」(2015 ~)、「微小エネルギー」(2015 ~)、「エネルギーキャリア」(2013 ~)、「相界面」(2011 ~ 2017)、「CO₂ 資源化」(2011 ~ 2017)、「藻類バイオエネルギー」(2010 ~ 2015)、「太陽光」(2009 ~ 2016)、「物質変換」(2009 ~ 2016)、「変換と制御」(2000 ~ 2005)、「生体における微粒子の機能と制御」(2017 ~)、「フィールド植物制御」(2015 ~)、「情報協働栽培」(2015 ~) ●ERATO (1981 ~) 「野村集団微生物制御プロジェクト」(2015 ~)、「北川統合細孔プロジェクト」(2007 ~ 2012)、「橋本光エネルギー変換システムプロジェクト」(2006 ~ 2011) ●RISTEX「フューチャー・アース」(2014 ~)「多世代共創」(2014 ~)、「地球温暖化・地域再生」(2008 ~ 2014) ●COI プログラム・ビジョン3：活気ある持続可能な社会の構築 (2013 ~) ●SATREPS (2008 ~)、「SICORP・SICP (2003 ~)」、多国間研究プログラム「e-ASIA」「CONCERT-Japan」「EIG CONCERT-Japan」「Belmont Forum」(2011 ~)
<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 ~)

環境再生保全機構 (環境省)	●環境研究総合推進費「統合領域」、「低炭素領域」、「資源循環領域」、「自然共生領域、安全確保領域」、「戦略的研究開発プロジェクト（Ⅰ）・（Ⅱ）」
原子力規制庁 (環境省)	●放射線安全規制研究戦略的推進事業費（2017～）
資源エネ庁 (経済産業省)	●風力発電のための送電網整備実証事業（2013～） ●高効率ガスタービン（A-HAT）技術実証事業（2012～2020） ●石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業（2012～2018） ●深海底資源基礎調査事業（2011～2018） ●メタンハイドレート開発素促進事業（2001～2018）
林野庁 (国土交通省)	●森林生態系多様性基礎調査（1999～）
農研機構 (農林水産省)	●スマート農業技術の開発・実証プロジェクト（2018～2020） ●スマート農業加速化実証プロジェクト（2019～2025）

（2）米国

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2009	大統領府	米国の再投資及び再生に関する計画		第一期オバマ政権（2009～2013年）による景気対策法。その方策の一つとしてグリーン・ニューディールの推進を図る（再エネの倍増、スマートグリッドへの変革の再活性化等）。
2011.3	大統領府	未来の安定したエネルギーを確保するための構想 (Blueprint for a Secure Energy Future)		アフリカや中東の政情不安を背景に、①国内資源の開発によるエネルギー安全保障確保、②省エネの推進による石油利用の削減、③石油以外の資源から電力を生産するクリーン・エネルギーの推進の3つを柱とする。
2013.6	大統領府	気候行動計画		気候変動政策の実行計画として、①国内のGHG排出削減、②気候変動の影響への備え、③気候変動緩和と適応の両方で国際的なリーダーシップの発揮の3つを柱とする。
2014.5	大統領府	全方位的エネルギー戦略 (All-of-the-Above Energy Strategy)		第二期オバマ政権（2013～2017年）のエネルギー政策基本方針。
2015.8	大統領府・環境保護庁 (EPA)	クリーンパワープラン	2030	大気浄化法に基づく計画として策定。2030年時点の発電部門のCO ₂ 排出量を2005年比で▲32%することを目指して自治体の行動オプションを提示。
2015.4	エネルギー省 (DOE)	4年毎のエネルギー計画見直し (Quadrennial Energy Review) 第一号		オバマ政権の気候行動計画の一環として行われるレビュー。エネルギーインフラのレジリエンス、配電網の近代化等にフォーカス。
2016.11	大統領府	United States Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization	2050	2050年までに2005年比でGHG排出▲50%を目標として掲げたシナリオを提示。
2017.1	DOE	4年毎のエネルギー計画見直し (Quadrennial Energy Review) 第二号		オバマ政権の気候行動計画の一環として行われるレビューの第二弾。電力システムの近代化促進にフォーカス。
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。

■その他の環境とエネルギー関連

年	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 (FY2018-2022 EPA Strategic Plan)		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。

■科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2011	DOE	4年毎のエネルギー 技術見直し (Quadrennial Technology Review)		大統領科学技術諮問委員会（PCAST）からの提言に基づき実施。DOE にとっての優先課題等について整理。
2014.4	DOE	戦略的計画 2014～ 2018 (Strategic Plan 2014-2018)		①科学とエネルギー、②核安全保障、③管理と成果、の3つの大目標。
2015.4	DOE	4年毎のエネルギー 技術見直し (Quadrennial Technology Review)		QTR（2011年）に続く第二弾。QER（2015年）の補遺としてエネルギー関連技術の研究開発の状況についてレビュー実施。
2015.1	EPA	戦略的研究行動計画 2016-2019 (Strategic Research Action Plans 2016- 2019)		個別分野の研究の基本方針が示された6つの研究計画の統合を図ったもの。省庁横断的に実践するための4つのトピックエリア（気候変動、子供の環境健康、窒素等汚染物質、環境正義）も特定し、ロードマップを策定。
2018.7	大統領府	2020年度のR&D 予算優先事項	2020	連邦省庁に対して通達された2020年度の基本方針。8つの優先分野（安全保障、人工知能・量子情報科学・戦略的コンピューティング、コネクティビティと自律性、次世代製造、宇宙開発・商業化、エネルギー、メディカル、農業）と5つの優先取組みを提示。
2018.9	EPA 研究開発局 (ORD)	研究開発局戦略計画 2018-2022 (ORD Strategic Plan 2018-2022)		2018-2022年度 EPA 戦略計画に対応する3つの戦略目標を設定（環境科学技術の推進、経済性のあるリスク評価・リスクマネジメント方法の開発、能力開発）。

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

現政権（2017～2021年）のエネルギー分野の基本政策は、前政権からは大きく方針転換している。前政権では「グリーン・ニューディール」が掲げられ、その後、シェール革命等を背景にして「All-of-the-Above Strategy」へ移行した。現政権の基本方針は2017年に公表された「米国第一エネルギー計画」である。国家安全保障を重視し、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している。主な方針は以下の通りである。

- 気候変動行動計画や水に関する規則等、これまでエネルギー開発の障害となってきた政策を廃止
- 特に国有地でのシェールオイルやシェールガスの開発を促進
- クリーン・コール技術の活用と国内石炭産業の復活を図る
- OPEC 諸国や米国と利害が対立する諸国からのエネルギー依存脱却
- EPA の任務を大気や水の保全といった本来の役割に戻す

また上記方針に沿って、前政権下で策定された気候変動対策等に関する規制や施策の撤回、見直しを実施している。主なものは以下の通りである。

- パリ協定からの離脱の表明（2017年6月）
- エネルギー自立と経済成長促進のための大統領令（2017年3月）：EPA が既存石炭火力発電所を規制したクリーン・パワー・プラン（CPP）の見直しが含まれる（その後、EPA は2018年8月に CPP を撤回し、新たな計画 Affordable Clean Energy を提案）
- 自動車及び軽量トラックの自動車燃費基準である CAFÉ 基準（企業平均基準）の見直し：新たな規定案（SAFE）を公表。2021～2026年型の平均燃費の2021年水準での凍結や、カリフォルニア州が持つ独自基準設定権限の廃止が含まれる

環境分野の基本方針は EPA の「2018-2022年度 EPA 戦略計画」で定められている。同計画では前述の方針に従って原点回帰を掲げており、同庁の中核的なミッション（環境政策）の実施・向上に取り組むとしている。

環境・エネルギー分野に関連する2019年度予算の審議状況（2019年1月時点）は表 1.2.3-2 のとおりである。環境・エネルギー分野の科学技術、研究開発と関連が深い機関・部門等に関する大統領予算案は軒並み前年度比で減少とされている。しかし上院、下院での審議過程で大幅に変更されることが多く、状況は流動的である。

表1.2.3-2 2019年度予算の審議状況(2019年1月時点)

環境エネルギー分野に関連する機関・部門等の2019年度予算審議状況 [単位: 百万ドル] *1

機関・部門等	FY2019 大統領 予算案	前年度比 (%)	FY2019下院 歳出委員会 承認予算案	前年度比 (%)	FY2019上院 歳出委員会 承認予算案	前年度比 (%)	最終 予算案	前年度比 (%)
科学局	5,391	-13.9	6,600	5.4	6,650	6.2	6,585	5.2
その他の主要なエネルギー関連プログラム								
エネルギー省 (DOE)								
エネルギー効率化・ 再生可能エネルギー	696	-70.0	2,082	-10.3	2,322	0.0	2,379	2.5
配電・エネルギー信頼性	61	-59.7	176	15.6	175	14.9	156	2.4
原子力エネルギー	757	-37.2	1,346	11.7	1,206	0.1	1,326	10.0
化石エネルギー研究開発	502	-30.9	785	8.0	727	0.0	740	1.8
エネルギー高等研究計画 (ARPA-E)	0	-100.0	325	-8.0	375	6.1	366	3.6
国立科学財団 (NSF)								
工学 (ENG)	921	-5.2	-	-	-	-	-	*2
地球科学 (GEO)	853	-5.8	-	-	-	-	-	*2
環境保護庁 (EPA)								
関連項目*3	256	-	-	-	-	-	-	-
海洋大気庁 (NOAA)								
大気・海洋	322	-41.4	503	-8.2	549	0.1	-	-
気候	99	-37.6	99	-37.6	160	1.3	-	-
気象・大気化学	92	-30.3	132	0.0	116	-12.1	-	-
気象衛星	1,640	-21.9	1,662	-20.9	1,743	-17.0	-	-

*1-「AAAS FY2019 R&D Appropriations Dashboard」から抜粋（2019年1月時点）。詳細は抜粋元参照。
 *2- NSFの部門別の予算審議状況については今のところ情報なし。AAASのDashboardには次のような注釈あり：“Congress does not typically appropriate funding by directorate, but provides a lump-sum appropriation for Research & Related Activities”。
 *3- Total Science & Technologyで表示されている数字に不整合が見られたため、「GUIDE TO THE PRESIDENT’S BUDGET Research & Development FY2019」から2019年度大統領予算案の数字のみ記載。

3. 環境・エネルギー分野の STI 政策

2018年7月に公表された「2020年度のR&D予算優先事項」では表1.2.3-3に示す8分野が優先分野として提示された。環境分野は自然災害対応、エネルギー分野は国内資源活用、産学連携促進、アーリーステージ研究推進が優先分野に含まれた。前政権が示した優先事項（例えば「気候変動」、「クリーンエネルギー」、「地球観測」）のように環境問題に係る課題を明示したものはなかった。

表1.2.3-3 2020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
安全保障	AI、自律システム、超音波、核抑止、マイクロエレクトロニクス、コンピューティング、自然災害・物理的脅威・サイバー攻撃・新興脅威（自律的システムや生物学的因子）に対するセキュリティ及びレジリエンス
人工知能、量子情報科学、 戦略的コンピューティング	機械学習、自律システム、人間工学、エッジデバイス、スパコン
コネクティビティと自律性	5G ワイヤレスネットワーク、高速インターネット、自動運転やドローン
次世代製造	産業基盤、スマートデジタル製造、次世代産業ロボ、先端材料、プロセス技術（アディティブ・マニュファクチャリング等）
宇宙開発・商業化	長期宇宙飛行、極低温燃料貯蔵・管理、宇宙空間での製造・資源調達、宇宙空間での推進力・パワー

エネルギー	環境性・経済性・安定供給性を持った国内資源の活用技術 (エネルギーサービスへの変換技術)、産学連携促進のための共用施設整備、アーリーステージ研究
メディカル	個別化医療、バイオメディカル、ヘルスデータのセキュリティ・相互運用
農業	生産性、肥料、先進・精密農業・養殖技術、ゲノム編集微生物・作物・動物の安全性

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おり、そのロードマップとして 2014 年 4 月に「戦略計画 2014～2018 年 (Strategic Plan 2014-2018)」を公表している。ロードマップでは①科学とエネルギー、②核安全保障、③管理と成果、の 3 つの大目標が掲げられている。

2015 年 4 月に発表された「4 年毎のエネルギー技術見直し (QTR)」は、2015 年 4 月に策定された「4 年毎のエネルギー計画見直し (QER)」の補遺と位置付けられているものである。また QER は前政権下の気候行動計画の一環として行われたエネルギー政策についてのレビューであり、QTR はエネルギー関連技術の研究開発の状況についてのレビューである。QTR では、レビュー結果として分野横断的な研究開発項目を「技術的トピック」と「可能化ツール」の 2 種類に大別して整理している。それぞれに関連する研究開発項目は以下の通りである。

- 技術的トピック：グリッド近代化、システム統合、サイバーセキュリティ、エネルギーと水、地中、内燃機関エンジンの最適化、蓄エネルギー
- 可能化ツール：コンピューターシヨナルモデリング・シミュレーション、データ・解析、複雑システムの解析、物質のマルチスケールでの特性評価と制御

環境分野の研究開発の基本方針としては戦略的行動計画 2016-2019 がある。EPA には以前から 6 つの研究プログラムがあり、それぞれに戦略的研究行動計画 (StRAP) が策定されている。本計画ではこれらの各戦略的研究行動計画が統合化されている。更にこれらプログラム間の連携や統合的な推進を進めるために 4 つの優先的な研究領域について研究ロードマップが策定されている。

- StRAP が策定された 6 つの研究プログラム
 - 大気、気候、エネルギー (ACE : Air, Climate, and Energy)
 - 安全で持続可能な水資源 (SSWR : Safe and Sustainable Water Resources)
 - 持続可能で健康なコミュニティ (SHC : Sustainable and Healthy Communities)
 - 持続可能性のための化学物質の安全性 (CSS : Chemical Safety for Sustainability)
 - 健康とリスクアセスメント (HHRA : Human Health Risk Assessment)
 - 国土安全保障 (HS : Homeland Security)
- 4 つの研究ロードマップテーマ
 - 気候変動 (climate change)

- 子どもの環境健康（children's environmental health）
- 窒素等汚染物質（nitrogen and co-pollutants）
- 環境正義（environmental justice）

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

主要な研究プログラム

DOE では、各国立研究所による研究に加えて、エネルギー分野におけるイノベーション推進のため「エネルギーフロンティア研究センター（EFRC）」、「エネルギー高等研究計画局（ARPA-E）」、「エネルギーイノベーション・ハブ」、「バイオエネルギー研究センター（BRC）」等の研究プログラムを推進している（図 1.2.3-3）。以下ではこれらの研究プログラムの概要を示す。

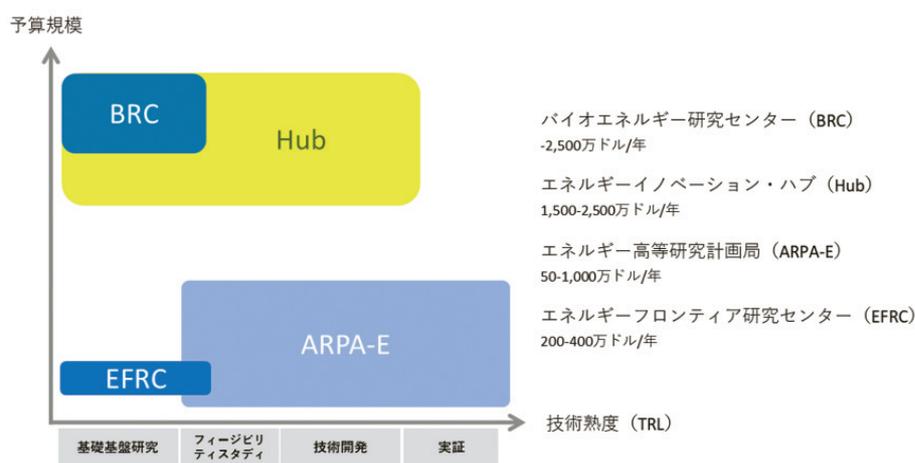


図1.2.3-3 DOEにおける3つの研究イニシアチブの位置付け³

(1) 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。研究期間は 5 年である。2014 年に再び公募が行われ、32 のセンターで再始動した。その内訳は再編されたセンターが 22、新規のセンターが 12 である。このときの研究期間は 4 年である。その後 2016 年に新たに 4 センターが期間 4 年で採択された。二度目の再編は 2018 年に実施され、42 センターが採択された（既存センターの 2 年延長：11、既存センターの刷新で新たに 4 年間：9、新規のセンターで 4 年間：22）。以上より現在は 2016 年に採択されたものと合わせて 46 のセンターが進行中である。

EFRC では当初から以下に示す 5 つのグランドチャレンジが掲げられている。採択されたセンターはこれらの 1 つ以上のグランドチャレンジと紐づけされている。

³ JST-CRDS「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略(2015年)」他を参考にJST-CRDS作成

- ①材料プロセスを電子レベルでいかに制御するか
- ②必要な特性を発現する新規構造をいかに設計し、原子やエネルギー効率の面で最適な方法でいかに形成するか
- ③原子や電子などの構成因子の複雑な相互作用から生まれる優れた特性を見出し、これをいかに制御するか
- ④生物や植物が行っているようなナノスケールでのエネルギーや情報の操作を可能にする新技術をいかに創出するか
- ⑤関係する事象を、特に非平衡下において、いかに評価し、そして制御するか

また、もう一つの観点として2015年からは5つの「Transformative opportunity」が導入された。先のグランドチャレンジに向かう際の5つの方向性を新たに示したものであり、グランドチャレンジ同様、採択されたセンターはこれらのいずれかと紐づけされている⁴。

- ① Mastering Hierarchical Architectures and Beyond-Equilibrium Matter
- ② Beyond Ideal Materials and Systems: Understanding the Critical Roles of Heterogeneity, In-terfaces, and Disorder
- ③ Harnessing Coherence in Light and Matter
- ④ Revolutionary Advances in Models, Mathematics, Algorithms, Data, and Computing
- ⑤ Exploiting Transformative Advances in Imaging Capabilities across Multiple Scales

EFRC 下で推進されている研究分野の変化について、各センターの研究領域を2014年と2018年で比較した結果を表1.2.3-4に示す。「超電導」、「燃焼」、「ジオサイエンス」に関連するセンターがなくなり、代わりに「材料」、「触媒」、「エネルギーと水」に比較的多くのセンターが関連する形となった。公募時のアナウンスにおいて「量子材料」、「触媒科学」、「合成科学」、「計測科学」、「次世代蓄エネルギー」、「将来的な原子力エネルギー」、「エネルギーと水の問題」を優先する旨の方針が予め示されていたこともあり、その方針がある程度反映された結果になった。

表1.2.3-4 EFRCに採択された各センターの研究領域比較(2014年採択時、2018年採択時)

年	水素	太陽エネルギー	超伝導	固体照明	核エネルギー	燃焼	ジオサイエンス	蓄電	材料	触媒	CO ₂	エネルギーと水
2014	9	14	2	3	2	3	5	7	4	13	2	-
2018	4	8	-	3	6	-	-	8	17	16	1	13

(2) 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

⁴ DOE Office of Science, Transformative Opportunities Addressed by EFRCs, <https://science.energy.gov/bes/efrc/history/transformative-opportunities/>

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。

現政権の基本方針として政府による研究開発支援は基本的に基礎研究に対して行い、応用研究以降は民間に委ねるとしている。そのため応用研究を対象とする ARPA-E は 2018 年度、2019 年度のいずれにおいても大統領予算案の段階では廃止の方針とされた。しかしながら上院・下院における審議においてその方針は変更され、結果的に概ね例年通りあるいは前年度増で推移している。そのため ARPA-E では引き続き各種プログラムを推進している。プログラムの一覧は表 1.2.3-5 のとおりである。

表1.2.3-5 ARPA-Eプログラム(プログラム期間を公表年から3年と想定、2018.12時点)

プログラム名	プログラム名(日本語)	件数	エネルギーに対する目的	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
OPEN 2009	包括型提案公募	41	—												
OPEN 2012	包括型提案公募	67	—												
OPEN 2015	包括型提案公募	41	—												
OPEN 2018	包括型提案公募	40	—												
ELECTROFUELS	微生物による燃料生成	13	バイオ												
PETRO	非食用作物による燃料生成	10	バイオ												
REMOTE	微生物によるガスからの燃料生成	15	バイオ												
TERRA	再生可能農業からの輸送用燃料資源	6	バイオ												
ROOT	炭素固定(排出低減)、生産性向上のための根と土壌の微生物の計測技術、モデル	10	バイオ												
MARINER	海藻(大型藻)	18	バイオ												
IMPACCT	炭素回収のための材料&プロセス	14	化石												
MOVE	天然ガス自動車	13	化石												
MONITOR	メタン排出検出用	8	化石												
ARID	ドライ冷却における先進的研究	14	(化石)												
INTEGRATE	天然ガス分散型発電システム	8	化石												
ADEPT	柔軟で効率的な電力技術	14	伝送												
GENI	再生可能エネルギーを統合した伝送網	15	伝送												
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												
BEEST	輸送機械の蓄電池	10	貯蔵(車)												
GRIDS	伝送用エネルギー貯蔵	12	貯蔵												
HEATS	高エネルギーな熱貯蔵	15	貯蔵(熱)												
AMPED	エネルギー貯蔵の高度管理	14	貯蔵												
RANGE	輸送機械の蓄電システム	22	貯蔵(車)												
REBELS	電気化学システムに基づく電力	13	変換・貯蔵												
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												
DAYS	長時間(10~100h)蓄電システム	10	蓄電												
Solar ADEPT	太陽光発電の効率を高めるシステム	7	太陽												
FOCUS	太陽光の最適な活用方策	13	太陽												
MOSAIC	マイクロ素子型太陽光発電	11	太陽												
BEETIT	植物のエネルギー効率を高める熱機器	17	効率												
DELTA	局所熱制御システム	11	効率												
TRANSNET	運転者への案内の制御アーキテクチャー	5	効率(車)												
GENSETS	家庭用CHP開発	12	効率												
SHIELD	窓ガラス	14	効率												
NEXTCAR	コネクテッド&自動化学車	10	効率												
REFUEL	カーボンニュートラルな液体燃料	16	効率												
ENLITENED	データセンターのエネルギー効率(2倍に向上)	16	効率												
CIRCUITS	ワイドギャップ半導体による電力変換装置	21	効率												
SENSOR	ビル空調効率化	15	効率												
REACT	希土類元素の代替方策	14	戦略材料												
METALS	軽金属の先進製造	18	戦略材料												
SWITCHES	広帯域トランジスタ	14	戦略材料												
PNDIOS	広域半導体製造	7	戦略材料												
ALPHA	低コストのプラズマ加熱と部品	9													
IDEAS	エネルギー関連適用技術における革新的開発(アイデア出し)														
MEITNER	先進核反応炉	10	核エネルギー												

(3) 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・ループ」で行うための仕組みである。これまで支援されてきているのは以下の4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。
- 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

ア工科大学がリーダー。2010年開始。2015年に更新され、5年間で7,500万ドルの助成。

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。

またこれらに加え、2018年12月に5つめの公募テーマが発表された⁵。「Energy-Water Desalination Hub」という名称で、エネルギー効率化・再生可能エネルギー局（EERE）の先進製造オフィスが担当し、エネルギー効率とコスト競争力が高い淡水化技術に関する初期ステージの研究開発を支援するという。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・解析の4つとしている。

（4）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⁶。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表1.2.3-6の通りである。

表1.2.3-6 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～）
① BioEnergy Science Center (BESC) : オークリッジ国立研究所がリーダー	① Center for Bioenergy Innovation (CBI) : オークリッジ国立研究所がリーダー
② 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	② 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
③ Joint BioEnergy Institute (JBEI) : ローレンス・バークレー国立研究所がリーダー	③ 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 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

その他のエネルギー分野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（EERE）、化石エネルギー局（FER&D）、電気伝送・エネルギー信頼性局（OE）、原子力エネルギー局（NE）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

⁵ DOE: Department of Energy Announces \$100 Million Energy-Water Desalination Hub to Provide Secure and Affordable Water, <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-100-million-energy-water-desalination-hub-provide-secure-and>

⁶ DOE: Department of Energy Provides \$40 Million for 4 DOE Bioenergy Research Centers, <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provides-40-million-4-doe-bioenergy-research-centers>

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：FOGGE）、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。

また DOE、商務省（DOC）、国防総省（DOD）等の複数の省や機関に横断するファンディングプログラムの例として、National Network for Manufacturing Innovation（NNMI）が挙げられる。「次世代製造」が安全保障や宇宙開発、エネルギー等と並んで 2020 年度の R&D 予算優先事項と位置づけられており、ものづくりへの回帰（製造業の復興）が雇用拡大の観点から強い方向性として打ち出されている。Manufacturing USA と呼ばれる産学官の連携プラットフォームも作られ、積極的な取組みが見られる。

その他、DOE 以外では National Science Funding（NSF）における ERC（Engineering Research Center）などの工学に関するファンディングもある。

EPA の研究開発プログラム

EPA では前述の 6 つの研究プログラムを継続して運営している。各プログラムで掲げられている挑戦的課題は以下の通りである。

- ACE：混合した汚染物質の健康及び環境への影響、気候変動の大気・水・生態系への影響、エネルギー選択肢ごとの健康及び環境への影響と新技術による便益、大気環境保全や気候関連政策の有効性に影響を与える社会・行動・経済的因子
- SSWR：水質悪化や生態系への影響をもたらす栄養塩の環境流出、地下水の持続可能性、旧式水道システムの効率性・老朽化、増水に伴う合流式下水道からの未処理下水の流出、社会変化・気候変化による水資源や水系生態系への影響
- SHC：インフラ・土地利用・交通・廃棄物管理に関する情報、社会・経済・環境間のトレードオフ、人の健康・福祉・生態系・地域経済・環境負荷の相互関連に関する情報
- CSS：化学物質の特性評価、個別の対策に伴う環境への意図しない副作用リスク、実環境を考慮した毒性研究のモデル、概念実証
- HHRA：適時性・頑健性あるリスク評価、分子生物学や計算科学等の科学的進展を取り込んだリスク評価手法の改善、環境汚染の迅速診断や複数汚染物質による曝露の影響評価
- HS：災害被害、迅速な災害対応・復旧

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 年間毎に研究計画を策定・更新することとなっている。最初の 2 期（20 年間）は主に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 期目の現在は、「戦略計画 2012-2021」に沿って、さらに統合化された地球システムの研究推進に加え、気候変動適応策などへの対応準備を支援する情報やツールに関するプログラムを実施している。予算は 24.7 億ドル（2015 年度）、26 億ドル（2016 年度）、27.9 億ドル（2017 年度）と安定的に推移してきたが、2018 年度以降の予算額は明らかになっていない。

戦略計画 2012-2021 における 4 つの達成目標は以下の通りである。

- 【目標 1】 地球システムにおける自然と人間との要素の統合の科学的知識を推進すること
- 【目標 2】 知らせるべき科学的知識を用意し、適用策や緩和策におけるタイムリーな決定を可能にすること
- 【目標 3】 気候変動影響や脆弱性について理解、予知、対応するための国民の能力について持続的に評価する力を構築すること
- 【目標 4】 気候変動の幅広い公衆への理解に向けたコミュニケーションと教育を進めること

（3）EU（欧州連合）

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2008.1	欧州委員会	気候変動・エネルギーパッケージ	2020	温室効果ガス排出削減：再エネ割合：エネルギー消費削減＝▲20%：20%：▲20%を掲げた「2020 パッケージ」。
2009.2	欧州議会	2050年：将来は今日始まる一気候変動に関するEUの将来的な統合政策のための勧告	2050	2007年に設置された「気候変動に関する臨時委員会」による報告書。いずれも1990年比でGHG排出を2020年までに▲25-40%、2050年までに少なくとも▲80%とする目標を盛り込んだ。
2010.3	欧州委員会	欧州2020	2020	リスボン戦略（2000～2010年）の後継として新たに示された長期的な経済成長戦略。「スマートな成長」・「持続可能な成長」・「包括的な成長」を優先事項として掲げ、2020パッケージを数値目標に取り込んだ。
2010.11	欧州委員会	エネルギー2020	2020	2020パッケージの促進を目的としてエネルギー政策における5つの優先課題を掲げた ⁷ 。
2011.12	欧州委員会	エネルギー・ロードマップ2050	2050	安定供給と産業競争力を維持しながらGHG排出2050年▲80-95%（1990年比）をいかに実現させるかについてシナリオベースで分析し道筋を示したものの。
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て今後の中長期的な行動計画を策定。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。
2014.1	欧州委員会	2030気候およびエネルギー政策枠組み	2030	2020パッケージを更新して目標値を40：27：27とした「2030パッケージ」を提示。また加盟国間のエネルギーの相互接続の割合を15%にするとの目標も含む。
2015.2	欧州理事会	エネルギー同盟		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を柱とする。
2016.2	欧州委員会	エネルギー安全保障パッケージ		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靭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GHG排出▲45%、再エネ割合32%以上、エネルギー消費▲32.5%以上に引き上げる等の方針を示した一連の政策パッケージを提示。2018年12月までに8法案のうち4法案が採択 ⁸ 。

⁷ JETRO ブリュッセル・センター：EUのエネルギー新戦略の概要，ユーロトレンド，2011

⁸ European Commission: Clean energy for all Europeans, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>

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、更に気候中立（実質排出ゼロ）を実現するための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、に向けた道筋を検討。
---------	-------	-----------	------	--

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2011.5	欧州委員会	生物多様性戦略	2020	2020年までに生物多様性の損失を半減させることを目指し6つの目標を設定。
2013.11	欧州委員会	第7次環境行動プログラム	2020	2020年までのEUの環境政策の基本方針を提示。3つの目標を設定：1) 自然資本の保全・向上、2) 資源効率が高く、グリーンで、競争力のある低炭素経済への移行、3) 健康・福祉に対する環境由来リスクからの防御。
2013.4	欧州委員会	気候変動適応戦略		適応策に関する行動の促進を目的とした戦略。(1) EUメンバー各国の行動を促進、(2) より良い意思決定を支援するための情報集積、(3) リスクの高いセクターにおける対策支援の3つを柱とする。
2015.12	欧州委員会	循環型経済行動計画		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で策定するとされていた戦略。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、化粧品等に使用されるマイクロプラスチックの使用制限等を目指す ⁹ 。

■科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2002	欧州理事会	欧州研究インフラのための戦略的フォーラム (ESFRI)		欧州の科学的統合の進展と国際的なアウトリーチ強化を目的に設立された。2006年、2010年、2016年、2018年と定期的にESFRIロードマップを更新。

⁹ Europe Magazine: 循環型経済に向けたEU初のプラスチック戦略, 2018年4月20日, <http://eumag.jp/issues/c0418/>

2007.11	欧州委員会	戦略的エネルギー技術計画 (SETplan)	2020、2050	「2020 パッケージ」に基づく低炭素技術進展の骨組みとなる計画。
2014	欧州委員会	Horizon2020 および Euratom	2014～2020	EU の研究・イノベーションプログラム。Euratom は原子力研究に関するプログラム。
2015.9	欧州委員会	新戦略的エネルギー技術計画 IntegratedSETplan		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。
2018	欧州委員会	HorizonEurope および Euratom (案)	2021～2027	Horizon2020 の後継となる EU の研究・イノベーションプログラム。
2018	ESFRI	ロードマップ 2018 - 研究インフラに関する戦略レポート		研究インフラの利用・発展のための多国間イニシアチブの促進を目的としたロードマップ。37 のランドマーク及び 18 のプロジェクト（新規プロジェクト 6 つを含む）等が取り上げられた。

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。

企業・産業総局、環境総局、エネルギー総局など他の総局も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の形成を行っている。これらの各総局が作成した案を DGRTD が調整し、政策案としてまとめる。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

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。現在の目標値は、後述するように「2020 パッケージ」「2030 パッケージ」および「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージで設定されている。

一方、こうした積極的な取組みは欧州レベルでのエネルギー安全保障との関係も大きい¹⁰。2014 年 6 月の欧州理事会で「エネルギー同盟」の構築が長期戦略の一つとして採用された。EU 諸国はエネルギー源として天然ガスの多くをロシアに依存しているが、ロシア・ウクライナ間の問題の深刻化を受けて、EU 全体としてこの問題に取り組む考えから、気候変動対策の強化に加えてエネルギー安全保障確保の観点から「エネルギー同盟」が構築された。構築の目的は「エネルギーの確実で安定した供給の確保」、「手ごろな価格を保証するエネルギー市場の創出」、「持続可能なエネルギー社会の実現」である。また 2014 年 10 月の「2030 パッケージ」では前述の 3 つの目標値に加えて「加盟国間のエネルギーの相互接続の割合を 15% 増大させる」との目標値も設定されている。

こうした中長期的な目標設定に対する取組みと地政学的な現実問題への対応の組み合わせの結果、2017 年の EU28 か国の電源構成は以下の状況になっている。主要電源は原子力と天然

¹⁰ Sustainable Japan: [EU] 欧州委、エネルギー政策パッケージ発表。再エネの大規模推進とともに容量メカニズムを問題視。2016 年 12 月 19 日、<https://sustainablejapan.jp/2016/12/19/clean-energy-for-all-europeans-package/24696>

ガスだが近年は再生可能エネルギーの伸びが著しい¹¹。

- 再生可能エネルギー： 30.0%（うち風力 11.2%、水力 9.1%、バイオマス 6.0%、太陽光 3.7%）
- 原子力： 25.6%
- 石炭： 20.6%（うち無煙炭 11.0%、褐炭 9.6%）
- 天然ガス： 19.7%
- その他： 4.1%

気候変動・エネルギー関連の目標の達成状況：2020年、2030年

「2020 パッケージ」の目標に対しては順調な進捗を見せている。GHG 排出削減は 2017 年には達成済み（22% 削減）、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合は達成間近（2017 年に 17.4%）、エネルギー効率は 2016 年に 2005 年レベルから 10% まで引き上げ、というところまで来ている。

こうした状況を受け、現在は 2030 年に向けた目標値が「2030 パッケージ」での値から「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージでの値へ引き上げられたところである。「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージ法案は、2030 年までの目標を再エネ比率 32% 以上、省エネ率 32.5% 以上と設定している。仮にパッケージ法案の全ての法案が完全実施されると、2030 年までに温暖化ガスは約 45% 削減される（90 年比）と見込まれている（これまでは 40% 削減を予期）。

更に欧州委員会は 2018 年 12 月、2050 年までの長期戦略として 2050 年までに温室効果ガス排出の「気候中立」（実質排出ゼロ）を目指すとする削減目標案も提示している。

また欧州委員会は、2011 年に、エネルギー部門全体をカバーする「エネルギー・ロードマップ 2050」を策定している。エネルギー供給と競争力に支障を与えずにいかに 2050 年目標に向けた道筋を見出すかという課題に対して、以下に示すようないくつかのシナリオを検討・分析することでいくつかの道筋を提示した：高エネルギー効率化、供給技術の多様化、再生可能エネルギー割合のさらなる促進、炭素回収・貯留の遅延、原子力発電の新規建設困難。

循環型経済の推進

2015 年 12 月に「循環型経済行動計画」を発表して以降、EU では 2030 年に向けて「循環型経済」という新たな経済モデルを成長戦略の中心に据えていこうとしている。一連の循環型経済パッケージに盛り込まれている廃棄物関連法案群では、廃棄物埋め立ての削減や、都市ごみや包装廃棄物のより良い管理、再利用や再資源化の向上に向けた長期目標を設定している。

また 2018 年、欧州委員会は、「欧州プラスチック戦略」を採択した。2030 年までに EU 域内における全てのプラスチック包装材のリユースまたはリサイクル、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（原則として大きさ 5 ミリ以下の微小なプラスチック粒子）の使用制限等を目指すとしている¹²。製品のデザインから製造、使用、リサイクルまでのあらゆる段階で変革を促し、プラスチック産業全体の投資機会と雇用の創出を図る。

¹¹ Energy Transition in the Power Sector in Europe : State of Affairs in 2017

¹² Europe Magazine: 循環型経済に向けた EU 初のプラスチック戦略, 2018 年 4 月 20 日, <http://eumag.jp/issues/c0418/>

実際に EU のプラスチック産業は 2015 年には年間約 3,400 億ユーロの売り上げを計上する巨大市場であり、2030 年にはプラスチック戦略が構築する新たなリサイクル産業によって約 20 万人の雇用が生まれる見通しとされる。プラスチック戦略は環境保護と同時に経済成長促進のための戦略ともいえる。

プラスチック戦略の推進に向けてホライズン 2020 からは 2020 年末までに追加的に 1 億ユーロが拠出される予定である。リサイクル性に優れた材料開発やより効率的なリサイクルプロセス、リサイクルする製品中の有害な物質の除去等の技術開発等を進める見込み。また「プラスチックのための戦略的研究イノベーションアジェンダ」も策定中である。この下で更に 3.5 億ユーロの投資が行われる見込みとなっている¹³。

気候変動への適応に関する動き

2013 年 4 月に策定された「気候変動適応戦略」は国レベル、地域レベル、ローカルレベルで適応の枠組みをつくることが重要であると、次に示すような 3 つの目的を挙げている：(1) EU メンバー各国の行動を促進、(2) より良い意思決定を支援するための情報集積、(3) リスクの高いセクターにおける対策支援。

関連して欧州環境庁 (EEA) は、2017 年から 2018 年まで EU 気候変動適応戦略に参加する国へ実施状況を調査し、その結果をまとめ報告書を発表した。大半の国がアセスメントを実施し、適応計画の一環としてリスクの特定にとどまらず適切な対策を提案し、半数以上が地域別対策を示しているとした。

環境分野に関する動き

環境行動計画は 4、5 年ごとに見直され、現在は第 7 次 (2014 ~ 20 年) が進行中である。第 7 次計画では、人間の福利のための健全な環境と高い資源効率を持つ経済性の確保を重視し、経済活動の中で廃棄物を資源として活用する「循環型経済」と、資源の利用効率化と人間の福利向上、自然体系の維持を目指す「グリーン経済 (環境調和型経済)」を打ち出した。

そうした中で EU が注目するものに、さまざまな海洋資源の持続可能な利用・活用で成長を目指す「ブルー成長 (Blue Growth)」がある¹⁴。2013 年には「大西洋における海洋戦略のための行動計画」を採択し、同地域の環境と生態系を安定させつつ、2020 年までに 700 万人の雇用を創出できるようなブルーエコノミー推進に向けて動き出している。その一環としてここ数年注目されているのが「海洋ごみ」の問題である。これについては第 7 次環境行動計画にも、海洋ごみの削減を含め、特にプラスチックごみへの対処や人々の啓発活動を行うことが含まれている。

2018 年 10 月にインドネシア・バリ島で開催された国際会議「Our Ocean (私たちの海洋)」は、目標 14「海洋と海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する」を中心とした SDGs への貢献を議論する国際会議であり、その場において EU は海洋と海洋資源の保全および持続可能な利用のために 3 億ユーロ近くを拠出すると発表した。これにはプラスチック汚染対策のための研究・開発計画への 1 億ユーロ、生態系評価、海底地図作成および革新的な養殖システムなどの

¹³ Government Europa: Plastics in a circular economy: the European approach, 2019 年 1 月 8 日, <https://www.government.europa.eu/plastics-in-a-circular-economy/91767/>

¹⁴ Europe magazine: EU が取り組む「緑の未来」への投資, 2016 年 9 月 30 日, <http://eumag.jp/feature/b0916/2/>

海洋・海事研究への8,200万ユーロ等が含まれる見込みである。

「生物多様性戦略」（2011年）の概要、およびその後の動向

欧州委員会は2011年5月に今後の10年間に向けたEUの新たな生物多様性戦略を公表した。同戦略では、2050年までに生態系や生物多様性が人間に提供する多様な自然の恵み（＝生態系サービス）を保全、評価、そして回復するというビジョンを掲げた。

また欧州委員会は、生物多様性戦略の中期レビューを公表し、EUの重要自然生息地のうち望ましい状態にあるのは4分の1に届かず、多くの生物が絶滅の危機に瀕しているとして、EU加盟国が鳥類・生息地両指令の実施をさらに強化すること、また生物多様性保全を農林漁業、地域開発、貿易などの政策に効果的に組み込むこと、自然資本の重要性は、保護地域内だけでなく欧州の陸・海全体にわたって認識されるべきことなどを指摘した。欧州委員会は、「生物多様性を失うことは、我々の生命維持システムを失うこと」として、2020年目標へ向けた取組強化を訴えた。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

エネルギーに関する計画であるSETプランと、あらゆる分野を含んだフレームワークプログラムであるHorizon2020、原子力研究のEuratom、およびその他の各種イニシアチブがある。具体的なプログラム等については次項で触れるため、ここではSETプランおよびHorizon2020に関して記載する。

SETプランから新SETプランへ

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)は今後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ている。またこのSETプランはHorizon2020から大きな研究支援を得ている。Horizon2020のエネルギー関連研究の全分野はSETプランに関連付けられており、反対にSETプランの全重点分野は網羅されている。同時に、エネルギー研究、実証、イノベーションに関する長期的なアジェンダも設定している。研究面では、再生可能エネルギー（バイオ、太陽光、風力、水力地熱）、化石エネルギー（二酸化炭素の回収・貯留、精炭）、送電網、エネルギー効率、燃料電池・水素電池等にフォーカスが当てられている。2018年時点のSETプランの実行進捗は10の重要分野の内、7分野が是認済み、3分野が進行中である。

2015年9月、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が、新SETプランはこれの加速を狙った。重要分野としては、以下に示すように再生可能エネルギー、消費者向けスマートエネルギーシステム、エネルギー効率向上、持続可能な輸送技術、CCS、原子力の安全強化等が挙げられている。

- ①高効率再生可能エネルギー技術を開発しEUのエネルギーシステムに導入
- ②再生可能エネルギー技術（風力、海洋エネルギー、太陽光、太陽熱、藻類などのバイオマス燃料）のコスト削減
- ③消費者向けスマートハウス技術とサービス

- ④エネルギーシステムの回復力、安全性、スマートさの向上
- ⑤ゼロエネルギービルディング技術
- ⑥エネルギー集約的な産業を低減し、競争力を高める
- ⑦電気自動車向けのバッテリーの競争力強化
- ⑧持続可能な交通手段（燃料電池自動車）に必要なバイオ燃料や再生可能エネルギー由来の水素の商業化強化
- ⑨ CCS の研究強化
- ⑩原子力反応炉の高安全性維持

Horizon 2020 から Horizon Europe へ

Horizon2020 の中間評価では、「欧州は研究・イノベーションへの投資を強化して、その効果を最大にする必要がある。一方で EU の研究・イノベーションプログラム『Horizon 2020』についてもさらに磨きをかける必要がある」との提言がなされた。また、プログラムのインパクトを向上させる方法として、特定の課題の解決に焦点を絞ったミッション指向型アプローチが必要であるとした。この下で欧州レベルで達成すべき重要な事項への取り組みに注力すべきとの提言もなされた。

Horizon2020 及び後続の Horizon Europe の予算規模は表 1.2.3-7 の通りである。また Horizon Europe 中での環境・エネルギー分野関連予算は主には「Global Challenges & Industrial Competitiveness」の中の 150 億ユーロの見込みである。

表1.2.3-7 予算規模

Horizon2020	Horizon Europe
Excellent Science : 242 億ユーロ	Open Science : 258 億ユーロ
Industrial Leadership : 165 億ユーロ	Open Innovation : 135 億ユーロ
Societal Challenge : 286 億ユーロ	Global Challenges & Industrial Competitiveness : 527 億ユーロ

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

Horizon 2020 : 「社会的課題への取り組み」

Horizon 2020 のサブセットとして複数のプログラムが存在し、プログラムごとにファンディングが行われている。予算総額は 748 億ユーロで、主に 3 本柱（卓越した科学、産業界のリーダーシップ確保、社会的課題への取り組み）で構成されている。エネルギー分野の取り組みは主に「社会的課題への取り組み」に属し、予算額は 86 億ユーロ（7 年間分）である。

具体的には「社会的な課題の取り組み」の中の「保障されたクリーンで効率的なエネルギー」（57 億ユーロ）並びに「気候変動対策、環境、資源の効率化、原材料」（29 億ユーロ）の分野に位置づけられる。

前者の分野には以下に示す 7 つの目的がある。特に「エネルギー効率」、「低 CO₂ 技術」、「スマートシティ、コミュニティ」に焦点が当てられており、採択プロジェクトは 1,939 件に上る（2018 年 12 月 18 日現在）。

- エネルギー消費量と CO₂ 排出量の縮小
- 低価格、低 CO₂ 電力供給
- 代替燃料と機動性の高いエネルギー源
- 単一の ICT を活用した欧州送配電網
- 新たな知見と技術
- 強い意思決定と市民の広い参画
- エネルギーの市場への取り込みと ICT イノベーション

また後者の分野には以下に示す3つの目的がある。採択プロジェクトは1,059件に上る（2018年12月18日現在）。

- 水を含む資源の利用の効率と気候変動に対する経済社会のレジリエンスの向上
- 天然資源や生態系の保護、及び持続可能な管理
- 地球の限界の範囲内で世界の人口増に応えるための持続可能な原材料の供給と利用

Horizon 2020 : 「産業リーダーシップ」

Horizon2020 の三本柱のもう一つである「産業リーダーシップ」においては、「先進製造」というキー技術区分において、エネルギー低減型の製造技術、エネルギー効率の高い建物、CO₂ の排出を抑える製造技術についての研究が優先事項に挙げられており、2016年12月段階で135件のプロジェクトが採択されている。プロジェクト額の上位10件は、再生可能資源からの高効率な製品分離プロセス、中小企業の研究支援、余剰電力によるCO₂ からメタノール合成、バイオマスの利用、固体処理プロセス、テキスタイルのビジネスモデル、希少金属の分離、低CO₂ 発生型製鉄プロセス、ロボットと機械の調和再構成、モバイルの製造・廃棄・循環再利用を考えた設計手法となっている。

また産業リーダーシップの中にある「宇宙」は、費用効果が高く、競争力の高い、革新的宇宙産業（中小企業を含む）を育成し、EUの将来の政策や社会の必要性に応えられる宇宙インフラを開発、利用することを目的としている。その中にはガリレオ（Galileo）とコペルニクス（Copernicus）という2つのプログラムがある。

ガリレオはEUの全地球測位衛星航法システム（GNSS）に関するものである。正確な測位とタイミング情報を提供する、民間の管理下にあるプログラムでもある。データは幅広い応用に使用される。

コペルニクスはEUによる全球の環境監視と安全保障が目的の地球観測プログラムである。衛星データだけではなく、地上観測データも合わせてデータプラットフォームに置くことで、包括的に地球観測ができるようなプログラムとなっている。EUが行う宇宙施策のひとつだが全世界からアクセスが可能であり、データも無償公開されている。コペルニクスプログラムの2018年公募では、地球観測のアプリケーションの市場開発を促進し、公的機関のニーズに合致させ、コペルニクスのサービスの発展のための研究が提示された。2019年公募ではCO₂ 排出量のモニタリング、コペルニクスのサービスと国際協力に取り組む研究等が提示された¹⁵。

欧州ではこれまでコペルニクスプログラムを通じて環境監視と安全保障を含む幅広いテ

¹⁵ Horizon 2020, http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/horizon-2020_en

マで「複数システムからなる全球地球観測システム（GEOSS : Global Earth Observation System of Systems）」への貢献を行ってきた。数年前からは地球観測データの相互運用性に関する新しいコンセプトを開発し、生物多様性や森林など一部の分野に適用し始めた。それが「欧州全球観測システム」（EuroGEOSS）プロジェクトである。

なお日本ではデータ統合・解析システム（DIAS）が2006年度から国家基幹技術 海洋地球観測探索システム「データ統合・解析システム」として活動を開始し、2016年度からは「地球環境情報プラットフォーム構築推進プログラム」として気候変動適応・緩和等さまざまな社会課題の解決に貢献するアプリケーションの開発とサービス提供を目指した長期的安定的な社会基盤としてのシステム構築および運用を開始している。GEOSSに参加する世界各国のデータセンターとの接続を実現しており国際貢献としても位置付けられている。

研究インフラ枠組み：ESFRI

ESFRI（European Strategy Forum on Research Infrastructures）は、欧州の科学的統合を進展させ、国際的なアウトリーチを強化するための戦略的手段として、2002年に欧州理事会の要請により設立された。質の高い研究インフラへのオープンなアクセスによって欧州の研究者の活動の質を支え、同時に世界中の研究者を引き付けることを目指す。主な活動事項は以下の通りとなる。

- 欧州における研究インフラに関する政策立案のための、一貫した戦略主導のアプローチを支援する
- 研究インフラのより良い利用と発展につながる多国間イニシアチブを促進する
- 今後10年間～20年間、研究インフラ（新規および主要なアップグレード、汎欧州関心事）のための欧州ロードマップを確立し、これらの施設の実施を促進し、必要に応じてロードマップを更新する
- ESFRIのロードマップに記載されているインフラプロジェクトの優先順位付け、包括的な評価、継続中のESFRIプロジェクトの実施についてフォローアップする

Euratom

Horizon2020は原子力を研究対象としていないが、Euratom（欧州原子力共同体）プログラムがその役割を担っている。Euratomは原子力の平和的利用を目的にしてEU加盟国の研究プログラムを調整するため1957年にローマ条約の下で設立された組織である。原子力分野に独自の共同研究センター（JRC）も持つ。Euratom規則の下、核融合、核分裂、安全、放射線防護の研究とJRCの活動がある。予算は2016年0.59億ユーロ、2017年0.67億ユーロである。後継のHorizon EuropeにおけるEuratomの予算は7年間で24億ユーロと見込まれている。

その他のイニシアチブ等

技術ロードマップの作成を目的とした欧州技術プラットフォーム（ETP : European Technology Plat-form）や、技術開発を目的とした共同技術イニシアティブ（JTI : Joint Technology Initiative）、研究の推進を目的とした共同プログラミングイニシアティブ（JPI : Joint Programming Initiative）といったイニシアティブがある。そのすべてがファンディン

グ機能を持つわけではないが、複数のイニシアティブがファンディング機能をもち、研究プロジェクトに対して資金配分を行っている。

JTIは、FP7の「Cooperation」事業の一つで大規模多国間参加型研究活動である。2007年12月に開始され、現在までに7テーマが選定されている。JTIでは選定された後にそれぞれJoint Undertaking（共同事業体）を設置し、事業を実施している。JTIは、欧州技術プラットフォーム（ETP）の戦略研究アジェンダ（SRA：Strategic Research Agenda）を実行するための効果的な手段と見なされている。また小規模なファンディングの機能も有する。JTIは当初FP7の枠内でスタートしたが、研究レベルが商業化を目指す段階であるので、FP7から独立して活動を行うようになった。Horizon 2020の活動からもJTIは独立している。

JTIにおいて欧州委員会（加盟国政府が参加の場合その国も）は毎年、研究開発費と事務局経費を拠出し、産業界は研究プロジェクトの資金の50%以上を拠出、スタッフ・施設・機材提供等を行う。総額は30億ユーロ超である。JTIの7テーマの内、エネルギー関連としては次の1件がある：「Fuel Cells and Hydrogen（FCH）」（水素供給と燃料電池技術の研究開発、2008～2017年で予算総額9.4億ユーロ）。

JPIは、医療、農業、都市環境、気候変動、文化遺産保護等を対象としている。現行の10課題の中では環境分野関連としては「Water Challenges for a Changing World」、「Healthy and Productive Seas and Oceans」、「Connecting Climate Knowledge for Europe（CliK'EU）」、「Urban Europe - Global Urban Challenges, Joint European Solutions」、「Agriculture, Food Security and Climate Change（FACCE）」が挙げられる。

(4) ドイツ

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2010.9	連邦経済エネルギー省 (BMWi)、連邦環境自然保護原子力安全省 (BMUB)	環境適合性及び信頼性を備えたエネルギー供給構想 (Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply)		環境適合性、経済的なエネルギー供給、供給セキュリティという3つの柱で構成。
2011.6	BMUB、BMWi	Energy Package 2011	2050	Energiewende (Energy transition) と呼ばれる。2011年3月の福島第一原子力発電所事故を受けて国内の停止中原子炉の即時閉鎖と稼働中原子炉を2022年までに段階的に閉鎖するという脱原子力の方針および Energy Concept を具現化する6つの法律と1つの政令。
2014.11	BMUB	気候行動プログラム 2020	2020	「2020年までにGHG排出▲40% (1990年比)」の目標達成に向けた包括的政策パッケージ。国家エネルギー効率行動計画、エネルギー非関連分野の排出削減、研究開発等9つの要素から構成。研究開発は特に再生可能エネルギーとエネルギー効率が中心的要素。
2016.11	BMUB	気候行動計画 2050	2030	気候行動プログラム 2020 では足りない長期目標に必要な追加削減に向けた施策。2050年までの中間点となる2030年のGHG削減目標を全体で最低でも▲55% (1990年比) と設定。初めて部門ごとの削減目標と達成への具体的な指針を示す。エネルギー部門：▲61～62%、農業分野：▲31～34% (主にN ₂ O) 等。そのほかに土地利用や林業に対する方針等。

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2015.1	連邦環境省 (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) の後継。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。

■ 科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2010.3	連邦教育研究省 (BMBF)	ハイテク戦略 2020	2010 ~ 2013	第2期、10の「未来プロジェクト」(Industrie4.0含む)。
2011.7	BMWいほか3省	第6次連邦政府エネルギー研究プログラム、環境適合省庁横断型のプログラム性及び信頼性を備えたエネルギー供給のための研究	2011 ~ 2014	研究開発投資の主要課題や優先事項を提示。重点研究開発領域として、エネルギー効率、再生可能エネルギー、送電網、エネルギー貯蔵を選定。
2014.9	BMBF	新ハイテク戦略	2014 ~ 2017	第3期
2018.9	BMBF	ハイテク戦略 2025	2018 ~	第4期

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・イノベーション関連の基本政策の主要所管省は連邦教育研究省（BMBF、連邦政府の研究開発関連投資の約60%を管理）であり、外部機関からの助言・強力を得ながら各種戦略を作成している。2013年末発足した第3期メルケル内閣の省庁再編により、連邦経済エネルギー省（BMWい）が宇宙を含めエネルギー政策全般を所管し、連邦政府の支出する研究開発投資の20%を管理している。その他には連邦防衛省（BMVg）が約6%、連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMUB）が約2%を所掌する。

エネルギーに関する各省の所掌区分は次のようになっている。

- BMWい：省エネルギー及び高効率化、エネルギー効率、エネルギー貯蔵、送配電、炭素回収&貯蔵、燃料電池、原子力安全と貯蔵など
- BMUB：風力、太陽（光、熱）、地熱、水力、海洋などの再生可能エネルギー
 - 深部地熱：システム構成と探索技術、地下データ、地震挙動と処理の課題
 - 低温太陽熱発電：集熱技術、ビルにおけるシステム技術、ソーラー冷房およびソーラープロセス熱、熱貯蔵
 - 太陽熱発電プラント：トラフ型、フレネル型、タワー型システム、貯蔵モジュール
 - 水力および海洋エネルギー
 - 再生可能エネルギーと新規エネルギーシステムの融合：再生可能エネルギー CHP プラント、スマートグリッド負荷管理、グリッド技術、貯蔵技術、システムサービス、電力需給予測
 - 横断的研究：再生可能エネルギー普及拡大条件・連邦食糧農業消費者保護省：バイオエネルギーなど
 - バイオエネルギー：適切なバイオマス生産、固体バイオマス資源、気体バイオマス資源（バイオガス）
- BMBF：エネルギー分野の基礎研究
 - 新規研究計画および行動要求

- エネルギー効率向上の基礎研究：気候条件を改善に向けたカーボンニュートラル、高効率都市、気候保全（カーボンマネージメントへのスマートアプローチ）、横断領域
- 再生可能エネルギーに関する基礎研究：グリッド開発の新技術と対策、再生可能エネルギーの貯蔵システム、太陽エネルギーからの PV 電気、電力生産のための生物資源利用、風力の未開発ポテンシャル利用、太陽熱技術、光合成、水力発電
- システム解析による知見
- エネルギー研究と社会
- 原子力安全性、廃棄物処理、放射線研究
- 核融合研究

また環境に関する主要な政府関連機関は BMBF、BMUB、連邦環境省（UBA）である。環境政策全般については BMBF が所掌し、BMUB、UBA、連邦食料・農業省（BMEL）などが関連している。BMBF が所管しているドイツ研究振興協会（DFG）やフラウンホーファー研究所、さらに国際環境技術センター（ITUT）などが関わっている。また、連邦エネルギー経済省（BMWi）は、ハイテク戦略で示された「気候・エネルギー（持続可能なエネルギーの生産、消費）」の一環として、カーボンニュートラルや気候に適した都市など、エネルギー分野の研究を通じた環境負荷低減の研究を行っている。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

気候変動・エネルギー関連の目標の達成状況

BMWi と BMUB は、2010 年 9 月に共同で「環境適合性及び信頼性を備えたエネルギー供給構想（Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply）」をまとめた。これは、気候変動問題への対応を目的とした基本的なエネルギーシステムの改革を策定したもので、環境適合性、経済的なエネルギー供給、供給セキュリティという 3 つの柱から構成された。2010 年時点では、原子力を再生可能エネルギーへの「橋渡し技術」と評価していたが、2011 年 3 月の福島第一原子力発電所事故を受けて、国内の停止中原子炉の即時閉鎖と稼働中原子炉を 2022 年までに段階的に閉鎖するという政策転換を行った。上記 Energy Concept と脱原子力の方針を具現化する 6 つの法律と 1 つの政令（通称：Energy Package 2011）が 2011 年 6～7 月にかけて連邦議会で成立し、Energy concept の 3 つの柱に脱原子力という新たな柱を加えた Energiewende（Energy transition）と呼ばれる政策が形作られた。2022 年までの原子力の段階的廃止、エネルギー効率向上、再生可能エネルギーへのシフトを加速するエネルギー政策を打ち出している。Energiewende の主要な長期エネルギー目標を表 1.2.3-8 に示す。

表1.2.3-8 Energiewendeにおける長期エネルギー目標

	2020年	2030年	2040年	2050年
温室効果ガス排出量（1990年比）	少なくとも ▲40%	少なくとも ▲55%	少なくとも ▲70%	▲80～ ▲90%
最終エネルギー消費に占める 再生可能エネルギー比率	18%	30%	45%	50%
電力消費量に占める 再生可能エネルギー比率	少なくとも 35%	少なくとも 50% ^{※1}	少なくとも 65% ^{※2}	少なくとも 80%
一次エネルギー消費量（2008年比）	▲20%	—	—	▲50%

※1 再生可能電源法（Renewable Energy Sources Act）では、2025年の目標が40～45%

※2 再生可能電源法（Renewable Energy Sources Act）では、2035年の目標が55～60%

Energiewendeにより、ドイツの再生可能エネルギーは、風力・太陽光を中心に固定価格買い取り制度（Feed-in Tariff, FIT）やフィードイン・プレミアム制度の下で順調に伸び、発電量で約33%（2017年）を占めるまでになったが、太陽光発電や陸上風力発電の稼働率の低さ（例えば2017年は太陽光で約11%、陸上風力で約20%と、80%程度の稼働率を持つ火力に比べて数分の一）から、現在のところドイツ政府が目標とするCO₂削減には結びついていないという指摘もある。実際、転換政策が本格化した2009年以降は、CO₂排出量はほぼ横ばい状態で削減が進んでおらず、2020年や2030年目標の達成は難しくなっている（図1.2.3-4）。Energiewendeで掲げられた数値目標や再生可能エネルギーの大規模導入実績には目を見張るものがあるものの、賦課金の拡大、送電インフラ整備、石炭との関係等の課題が残されている。

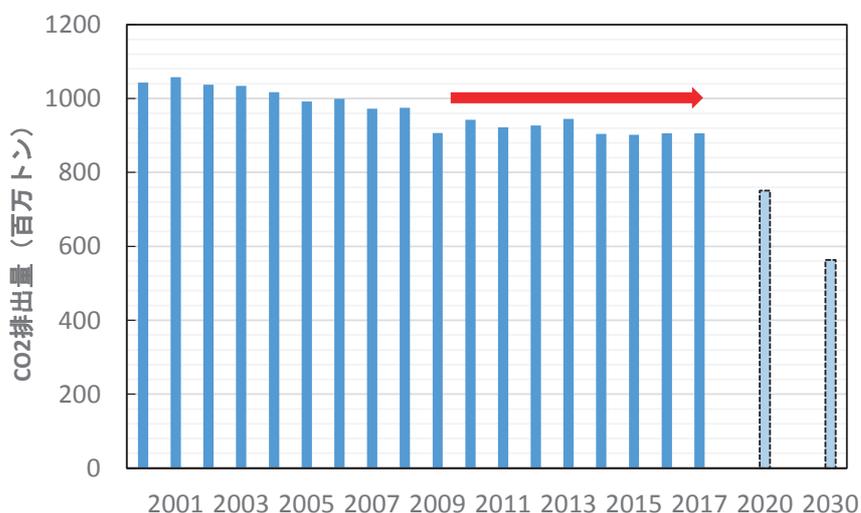


図1.2.3-4 ドイツのCO₂排出量推移実績と今後の目標(百万トン)¹⁶

¹⁶ 日本エネルギー会議 (<http://www.enercon.jp/topics/13815/?list=contribution>) のデータをもとに CRDS にて作成

エネルギー安全保障の観点からの動き

2000年代と2010年代のエネルギー安全保障の状態を比べると、天然ガスと再生可能エネルギーの拡大およびエネルギー効率の改善により、「エネルギー源多様化」と「エネルギー消費のGDP原単位」が改善している¹⁷。天然ガスはロシアへの依存度が高い。2017年のロシアからのガス輸入は538億立方メートル、2020年の完全稼働を目指すノルド・ストリーム2の輸送能力は年間550億立方メートルで、同パイプライン完成により、ドイツは現在の倍の量の比較的安いロシア産ガスを輸入可能となる。オランダとノルウェーのガス生産が縮小する中、EUにとって、特に脱原子力と脱石炭を目指すドイツにとって、安定的な代替供給源が重要である。しかしながら、ノルド・ストリーム2は、ロシア依存を深め、固定化するという戦略的側面があり、ポーランドなどの東欧諸国およびバルト諸国は同プロジェクトに異を唱えている。EUも、供給源多様化、ロシア依存低減という政策に反するとして反対との立場である¹⁸。

気候変動への適応に関する動き

2007年に策定した「2020年までにGHG40%削減（1990年比）」という目標の達成に向け、包括的政策パッケージとして「気候行動プログラム2020」を2014年に決定した。これは次の9つの要素から構成される：①国家エネルギー効率行動計画（NAPE）、②建築、③運輸、④エネルギー非関連分野の排出削減（産業・商業・貿易・サービス・廃棄物管理・農業）、⑤排出権取引、⑥エネルギー部門、⑦モデルとしての州政府の機能、⑧研究開発、⑨コンサルタント・自覚の向上・イニシアチブ。⑧については、特に再生可能エネルギーとエネルギー効率が中心的要素である。

長期目標に必要な追加削減施策として、「気候行動計画2050」を2016年に決定した。2050年までの中間点となる2030年のGHG削減目標を、全体で最低でも55%（1990年比）とした。初めて部門ごとの削減目標と達成への具体的指針を示し、エネルギー部門では2030年削減目標を61～62%、農業分野では過剰な肥料により生じる一酸化二窒素排出の大幅な削減を目指し31～34%の削減を見込んだ。土地利用と林業では、森林における炭素固定に焦点をあてるとともに、持続的森林管理、木材利用、草原保全、湿原保全、自然林形成における潜在力の活用を挙げている。

環境分野に関する動き

生物多様性の減少の抑制と生物多様性の持続可能な利用を実現するため2007年に策定されたドイツ生物多様性国家戦略の実施の追加的措置として、「積極的自然保護2020」が2015年に発表され、10分野で40の具体的な施策が示された。最も取り組みが必要とされるのは農業が行われている草地であり、農業補助金の仕組みを自然保護に重点化したものに変えるなどの措置が設けられた。沿岸や海洋、河川の氾濫原や森林を対象とした施策も示され、保護地域、ビオトープネットワーク、自然のまま残されている地域、さらに都市部も含めた施策も提案された。

¹⁷ 資源エネルギー庁：スペシャルコンテンツ，世界と日本の「エネルギー安全保障」の変化をくらべてみよう，2018年5月22日，<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/anzenhosho.html>

¹⁸ Wedge Infinity：ノルド・ストリーム2は欧州のロシア依存を高めてしまうのか，2018年9月11日，<http://wedge.ismedia.jp/articles/-/13865?page=2>

2017年には、ドイツ自然保護法の改正案がドイツ連邦議会によって承認された。同法案により、北海・バルト海での海洋保護地域の指定における連邦環境省の権限が強化される。さらに同法案では、北海とバルト海の排他的経済水域における開発に対して優先的相殺対策が導入される。これにより洋上風力発電設備（2018年3月以降）や石油やガスのパイプラインなど、将来実施される開発に対して補償対策や代替対策を先んじて実施することが可能になった¹⁹。

ドイツ資源効率化プログラム（ProgRessII）は、2012年に他国に先駆けて資源保護の基本・行動指針を明確に打ち出したドイツ資源効率化プログラム（ProgRess）の後継にあたる（2016年、4年毎に更新）。ProgRessII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、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²⁰。

その他

BMBFは2017年にSDGsへの貢献に向けて「持続可能性科学プラットフォーム2030」の発足を発表した²¹。同プラットフォームでは研究コミュニティ、シンクタンク、あるいは対話フォーラムとして提案や勧告を作成する。アカデミアや産業界など社会のトップ代表者26名からなり、首相府のイニシアチブによって創設されたものである。国土計画および食糧、持続的な消費および生産、デジタル化や都市化における労働の未来等のテーマの中から、幅広く一般を行動へと促すことのできる領域を選択している。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

政府支出における研究開発投資は、2008年のリーマンショックの時期も着実に増加し、特に連邦政府の支出は2006年ごろから大幅な伸びを示している。「ハイテク戦略」（2006～2009年）、「ハイテク戦略2020」（2010～2013年）、「新ハイテク戦略」（2014～2017年）等の個別具体的な政策を増強、もしくは新たに開始し、経済的な困難の中でも科学技術・イノベーションに力を注いでいる。

ハイテク戦略2020、新ハイテク戦略からハイテク戦略2025へ、環境・エネルギー分野の位置づけの変化

2006年8月に科学技術イノベーション基本政策である「ハイテク戦略」を連邦政府が発表した。ファンディングから研究開発システムに至るまで、省庁の枠組みを超えた施策やイニシアチブが実施されている。2006～2013年で合計120億ユーロの追加的な資金も配分されている（分野横断研究領域への投資：119.4億ユーロ、研究機関と産業連携の強化：6.0億ユーロ、中小企業の環境改善：18.4億ユーロ、技術ベンチャーの起業支援：2.2億ユーロ）。2010年にはハイテク戦略の改定版「ハイテク戦略2020」を発表。2010年～2015年の期間で5つの重

¹⁹ 環境展望台ニュース：ドイツ議会、ドイツ自然保護法案を承認、海洋保護地域の指定が簡素化、2017年6月23日、<http://tenbou.nies.go.jp/news/fnews/detail.php?i=21921>

²⁰ 環境展望台ニュース：ドイツ、新たなエネルギー効率プログラムを承認、2016年3月2日、<http://tenbou.nies.go.jp/news/fnews/detail.php?i=18252>

²¹ JST-CRDS デイリーウォッチャー：持続可能な未来に関するアカデミアの責務、2017年6月28日、<http://crds.jst.go.jp/dw/20170628/2017062811765/>

点分野として 10 の未来プロジェクトが政策として示されている（表 1.2.3-9）。

表1.2.3-9 ハイテク戦略2020の5つの重点分野と10の未来プロジェクト

重点分野	未来プロジェクト
気候・エネルギー	カーボンニュートラル、エネルギー高効率、気候に適応した都市（5.6 億ユーロ）
	エネルギー供給のスマートな構造改革（37.0 億ユーロ）
	石油に替わる再生可能な資源（5.7 億ユーロ）
健康・栄養	個別医療による治療手段（3.7 億ユーロ）
	適切な予防と食生活による健康増進（9.0 億ユーロ）
	自立した高齢者の生活（3.1 億ユーロ）
輸送	持続性のある輸送・移動（22.0 億ユーロ）
安全	通信ネットワークの安全な運用（6.0 億ユーロ）
通信	インターネットベースのサービス（3.0 億ユーロ）
	製造業デジタル化「インダストリー 4.0」（2.0 億ユーロ）

2014 年 9 月には第三期に相当する「新ハイテク戦略」が 2015 年以降の基本方針として BMBF から示された。その際、第二期の「ハイテク戦略 2020」の未来プロジェクトは「新ハイテク戦略」でも継続実施されることとなった。「新ハイテク戦略」の優先課題「持続可能なエネルギーの生産、消費」に対して BMWi は「10 のエネルギーアジェンダ」（表 1.2.3-10）を発表した。2022 年までに原子力発電から完全撤退することを決めたドイツは、一極集中型の化石・原子力発電所から分散型の再生可能エネルギーへの転換を目指して再生可能エネルギー転換策（Energiewende）を採った。エネルギーアジェンダは、同転換策を実現するための第一歩として位置付けられている。この他「新ハイテク戦略」に関しては 6 つの優先課題のうちの一つ「デジタル化への対応」の中の一項目として「Industrie 4.0」が位置づけられている。

表1.2.3-10 新ハイテク戦略の優先課題とプログラム(2014年9月時点)

優先課題	プログラム
I. デジタル化への対応 「デジタルアジェンダ 2010～2017」	<ul style="list-style-type: none"> ・ Industrie4.0 スマートファクトリ研究 ・ IT インフラ整備によるスマートサービス ・ 中小企業のビッグデータ利用推進 ・ 安全性の高いクラウドコンピューティング ・ デジタルネットワーク ・ デジタル化で変わるサイエンス ・ デジタル化で変わる教育 ・ デジタル化で変わる生活

<p>II. 持続可能なエネルギーの生産、消費 「10のエネルギーアジェンダ」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー研究 (「第6次エネルギー研究プログラム」) ・グリーンエコノミー ・バイオエコノミー (「バイオエコノミー 2030」) ・持続可能な農業生産 ・資源の確保 ・都市のエネルギー消費効率化 ・エネルギー高効率な建築 ・持続可能な消費 (「持続可能な開発研究 FONA」)
<p>III. イノベーションを生み出す労働 「未来の生産、サービス、労働のイノベーション」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・デジタル社会における労働 ・未来の市場における革新的なサービス産業 ・デジタル化社会を踏まえた人材育成
<p>IV. 健康に生きるために 「健康研究」、「高齢化社会の未来」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・がん、成人病など主要な疾病研究 - 6つの研究センター強化 ・個別化医療 ・予防と栄養 ・介護分野のイノベーション ・材料、創薬研究・医療技術分野のイノベーション
<p>V. スマートな交通、輸送 「エレクトロモビリティ」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・運転自動化、ITS などスマートな交通インフラ ・カーシェア、e-Ticket など革新的な輸送コンセプトとネットワーク構築 ・電気、燃料自動車研究、ビジネスモデル構築 ・車両、鉄道、地上輸送に係る新技術 ・航空・船舶
<p>VI. 安全の確保：新政策 「デジタル社会の自己決定 (仮題)」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・自然災害、大規模事故などから市民を守る ・サイバーセキュリティ (「ドイツのサイバーセキュリティ」) ・ITセキュリティ・個人情報の保護

2018年には、BMBFは、「新ハイテク戦略」の後継の第四期ハイテク戦略として「ハイテク戦略 2025 (HTS2025)」を策定。未来のためのガイドラインとしてドイツにおける繁栄、持続可能な発展および生活の質を向上させることを目標に、研究とイノベーションを結集させるとした。

HTS2025は、イノベーション環境、社会的課題、未来技術から構成される。社会的課題は、「持続可能なエネルギー・環境保護」、「健康と介護」、「モビリティ」、「セキュリティ」、「都市と地方」、「経済 4.0・労働 4.0」の6つの課題があり、さらに、プラスチックごみの削減や都市と地方の格差解消等、社会的課題のための12のミッションを挙げている。新ハイテク戦略における優先課題をほぼ引き継ぐ形となっているが、「デジタル化への対応」がなくなり、「都市と地方」が新たに入った。またHTS2025では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」と位置づけた (表 1.2.3-11)。

表1.2.3-11 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

以上踏まえた 2010 年以降の 3 つのハイテク戦略における重点分野、社会的課題の推移を表 1.2.3-12 に示す。環境エネルギー分野は、継続して重点課題に設定されている。

表1.2.3-12 ハイテク戦略2020、新ハイテク戦略、ハイテク戦略2025における重点分野、社会的課題の推移

戦略	期間	分野・課題					
		気候・エネルギー	健康・栄養	輸送	安全	通信	
ハイテク戦略 2020	2010～2013年						
		↓	↓	↓	↓	↓	
新ハイテク戦略	2014～2017年	持続可能なエネルギーの生産、消費	健康に生きるために	スマートな交通、輸送	安全の確保	デジタル化への対応	イノベーションを生み出す労働
		↓	↓	↓	↓		↓
ハイテク戦略 2025	2018～2021年	持続性エネルギー環境保護	健康と介護	モビリティ	セキュリティ	都市と地方	経済 4.0 労働 4.0

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

ここでは今後の「ハイテク戦略 2025」の代表的な研究開発内容、および「新ハイテク戦略」の 10 のエネルギーアジェンダに関連して、第 6 次エネルギー研究プログラムの後継である「第 7 次エネルギー研究プログラム」や「コペルニクス・プロジェクト」について述べる。またドイツを中心に欧州で推進されている代表的な研究開発プロジェクトのひとつとして「Power-to-Gas プロジェクト」の動向にも触れる。環境分野の代表的な研究開発プログラムとして、「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」や「FONA3」他についても述べる。

(1) 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

ハイテク戦略 2025 の社会的課題「経済 4.0」のインダストリー 4.0 に関して、ドイツは世界的なパイオニアになっており、インダストリー 4.0 ソリューションおよびスマートサービスの研究やテスト、普及における事業、特に中小企業への支援を引き続き実施している。競争力のある持続可能な経済 4.0 に向け、新しい資源効率技術、付加製造、技術開発におけるデジタル技術の活用、および軽量材料と産業を産業間で強化するとしている。その際、素材や製品

の設計からデジタルツインの作成、生産プロセスのインテリジェントな制御まで、省資源なデジタルマテリアル研究を推進するとしている。

ハイテク戦略 2025 の社会的課題「モビリティ」では、統合された全体システムとして未来のモビリティを考慮するとしている。またモビリティ分野とエネルギー、環境、労働、貿易と生産、都市開発、大規模なデータと電気通信などの他の分野とより強力に連携させるとしている。

未来技術の「材料」に関しては、インテリジェントで排出量の少ない輸送のためのモビリティを強化するため、エネルギー貯蔵システムの研究を強化し、燃料電池と電池製造の開発を支援するとしている。電池のバリューチェーンにおける広い範囲の技術的優位性を確保するため、ドイツでのバッテリーセル製造能力の開発を支援し、電池製造を開始するまで、適切な支援策を講じてコンソーシアムを継続するとしている。また運転中のエネルギー供給をサポートする代替コンセプトの開発や、合成燃料の研究を進め、時機を得た市場開拓の条件を作り出すとしている。目標は、革新的な技術と全体的なコンセプトにより、資源の消費と排出量を削減することとしている。

(2) 第 6 次エネルギー研究プログラム

「10 のエネルギーアジェンダ」に含まれる「第 6 次エネルギー研究プログラム」の後継プログラムは、「第 7 次エネルギー研究プログラム エネルギー革新のためのイノベーション」である。連邦政府は 2022 年までにエネルギー技術革新の強化に約 60 億ユーロを投資する予定としている。燃料電池、太陽光発電、風力エネルギー、バイオマスおよび廃棄物のエネルギー利用、地熱、水力と海洋のエネルギーなどの分野の技術革新を図る。

(3) コペルニクス・プロジェクト

「第 6 次エネルギー研究プログラム」の一部として 2016 年 4 月に連邦教育研究省が「エネルギー転換に関するコペルニクス・プロジェクト」を発表した。プロジェクトはマックスプランク研究所により発案され、①新ネットワーク構造、②余剰電力の貯蔵“Power-to-X”、③社会的受容も含めた産業化プロセス、④エネルギーシステム・インテグレーションの 4 つの領域からなる。

このうち①では集中発電及び分散発電の電力コンビネーションにより電力変換にかかるコストを削減する研究など、②では余剰な再生可能エネルギーの 90%以上を化学的原料、ガス燃料、または燃料の形で貯蔵するプロセスの研究などを実施する。今後 10 年でアーヘン工科大などのアカデミア、シーメンス社などの産業界、及び市民が連携してエネルギーシステムの転換に必要な技術的、経済的解決策を生み出すことを目指すとしている。研究参加者の 1 割は社会学者である。BMBF は最初の 3 年間（2016～2018 年）の資金として最大 1.2 億ユーロ、2025 年までに更に 2.8 億ユーロを助成する予定である。

(4) Power-to-Gas プロジェクト

再生可能エネルギー政策で先行するドイツでは、再生可能エネルギーの国内総発電電力量に対する比率が 2017 年には約 33%まで上昇している。特に北部エリアは再生可能エネルギー資源に恵まれているが、需要は工業地帯のある南部エリアに集中している。北部から南部へ電力を輸送するためには大規模な送電線の建設が必要になるが、空中架線には景観や環境の観点で

周辺住民の抵抗が大きく、未だ送電設備は整備されておらず、北部エリアの電力が余剰となっている。そこで解決策の一つとして水素の蓄電能力に着目し、再生可能エネルギーによる余剰電力で水を電気分解して水素ガスを製造し利活用する“Power-to-Gas”プロジェクトを推進しており、その概念は欧州全域に広がりつつある。

欧州内の“Power-to-Gas”プロジェクトは、既に終了したものも含めると約 60 件強になる²²。国別ではドイツにおける実施件数が最も多く、全体の約 54%を占めている。ドイツで実施中のパイロットまたは実証プロジェクトは 19 件、計画中のプロジェクトは 10 件、終了したプロジェクトは 5 件の計 34 件となっている。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。

(5) 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

気候変動に関する研究を強化することを目的に独仏両政府がパリ協定後に締結した共同プログラム“Make Our Planet Great Again”の一環として、BMBF が 2018 年 5 月に発表。“Climate Change”、“Earth System Research”、“Energy Transition”の領域での約 300 人の応募から選考された。採択された 13 人の研究者の活動拠点は、7 名は米国、2 名は最近まで英国、そしてスイス、カナダ、韓国、オーストラリアが各 1 名という結果だった。期間 5 年間で、BMBF が 1,500 万ユーロを負担する。

(6) FONA

「10 のエネルギーアジェンダ」のひとつである「持続可能な開発のための研究」(FONA) は、現在は第 3 の枠組みプログラム“FONA³”となっている²³。「資源効率的な循環経済」を研究コンセプトとし、製品の長寿命化や恩恵の徹底、必要なデジタル技術、新しいビジネスモデルとデザインコンセプト、マテリアルリサイクルによる省資源に重点を置く。第一段階として、2017 年 12 月に資金援助「循環型経済循環・革新的製品サイクル」を発表した。EU と協力して多国間循環経済プロジェクトを支援するとしている。

(7) 国際気候イニシアチブ (IKI)

GHG 排出緩和、気候変動影響への適応、REDD+、生物多様性保全の分野において途上国等との協力強化を目的に 2008 年に BMUB が開始した。課題に対する革新的な解決策を模索し、新しい政治的、経済的、規制上のアプローチ、技術的オプションと協力モデルを開発している。各ソリューションが個々のプロジェクトを超えて譲渡可能なインパクトを持つことを目指している。プロジェクト数は 500 を超え、2008 年以降の総プロジェクト投資額は 23 億ユーロに上る。予算は着実に増加し、2008 年には約 1.7 億ユーロだったが、2014 年には 3.2 億ユーロに増加した。

²² <http://europeanpowertogas.com/projects-in-europe/>

²³ <https://www.fona.de/en/research-for-sustainable-development-fona-17833.html>

（5）英国

■気候変動とエネルギー関連

年	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GHG排出を1990年比▲80%を最終目標とした世界初の気候変動対策を規定した法律。
2009.7	エネルギー・気候変動省 (DECC)	低炭素移行計画 (LCTP、Low Carbon Transition Plan)	2020	2008年気候変動法の行動計画として、2020年までにGHG排出を1990年比▲34%とする目標を掲げ、その達成のための計画を提示。
2011.12	DECC	炭素計画：低炭素未来実現に向けて (Carbon Plan: Delivering Our Low Carbon Future)		低炭素化を実現するための技術的観点からのシナリオを提示。

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2005.3	環境・食糧・農村地域省 (Defra)	Securing the Future – The UK Government Sustainable Development Strategy		環境的限界の範囲内での生活や、強固で健全かつ公正な社会の実現を目指すことを基本的な原則とした戦略。「持続可能な消費および生産」、「気候変動とエネルギー」、「自然資源保護」、「持続可能なコミュニティ」等を優先課題として設定。
2011.8	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。
2013.7	Defra	国家適応プログラム2013～2018年 (National Adaptation Programme 2013-2018)		気候変動適応に関する政府の取組みをまとめたもの。2008年気候変動法に基づき実施。リスクアセスメント結果を踏まえた対策の方向性を提示。
2018.7	Defra	第二次国家適応プログラム2018～2023年 (Second National Adaptation Programme)		気候変動適応に関する政府の取組みをまとめたもの。2008年気候変動法に基づき実施。リスクアセスメント結果を踏まえた対策の方向性を提示。

■ 科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2011.12	ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS)	成長のためのイノベーション・研究戦略 (Innovation and Research Strategy)		科学イノベーション戦略
2014.12	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つの柱のうちの1つ「優先分野の決定」では、「八大技術 (Eight Great Technologies)」を特定。
2017.1	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	Clean Growth Strategy		GHG 排出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、GHG 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)。

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) である。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) の合併により新設された。BEIS には閣内大臣 (Secretary of State) の他、エネルギー・クリーン成長担当といった分野別に置かれた複数の閣外大臣が存在し、閣内大臣をサポートしている。また英国の科学技術行政は BEIS だけではなく複数の省庁にまたがって執り行われており、環境・エネルギー分野には環境・食糧・農村地域省 (Defra) も関連する。

BEIS は研究開発およびイノベーションの促進を中心的に行っており複数の研究資金助成機関を傘下に有している。2017 年、Higher Education and Research Act 2017 に基づいて、これら研究資金助成機関を統合した組織である UK Research and Innovation (UKRI) 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 60 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 Climate Change Act 2008 に基づき創設された気候変動委員会 (Committee on Climate Change) がある。同委員会は、Climate Change Act 2008 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。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

温室効果ガス排出量の中長期的な目標として GHG 排出量を 2050 年までに 1990 年比で 80%以上削減することが 2008 年気候変動法（Climate Change Act 2008）により定められている。この達成のための行動計画として、2009 年 7 月に DECC より低炭素移行計画（LCTP: The UK Low Carbon Transition Plan）が発表された。同計画は、2020 年までに GHG 排出量を 1990 年レベルから 34% 削減する目標を掲げ、その達成のための方策を示している。

2010 年 7 月には、DECC から長期展望結果である「2050 Pathways Analysis」が公表された。2050 年目標の達成に向けたシナリオとして 5 つの技術要件（火力発電所への CCS 設置、原子力発電所新設、再生可能エネルギー発電所増設、バイオ燃料、最終エネルギー消費削減）の影響を検討した 6 つの道筋（pathway）を提示している。

2011 年 7 月には DECC から再生可能エネルギーロードマップ（UK Renewable Energy Roadmap）が発表された。本ロードマップでは、2020 年のエネルギー消費の 15%を再生可能エネルギーで賄うとする目標の達成のために重要な技術として、陸上・洋上風力、海洋エネルギー、バイオマス発電・熱利用、ヒートポンプ、輸送部門の再エネを挙げた。またこの中では洋上風力発電の資源ポテンシャルが高いことが示された。

2011 年 12 月に DECC から発表された「炭素計画：低炭素未来実現に向けて（The Carbon Plan: Delivering Our Low Carbon Future）」では、エネルギー政策のフレームワークの中での低炭素化を実現するための技術シナリオを記載している。建物、輸送、産業、電気、農林・国土管理、廃棄物・資源効率の分野が挙げられている。

気候変動への適応については「国家適応プログラム（NAP）」が策定されている。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）」及び「国家適応プログラム（NAP）」の策定と 5 年ごとのレビューが義務付けられていることに基づいている。国家適応プログラムは、気候変動適応に関する政府の行動をまとめたもので、DEFRA が CCRA に基づいて、産業界、地方政府、その他の組織と連携しながら 2013 年に作成したものである。建築環境、インフラ、健全で強靱なコミュニティ、農業及び林業、自然環境、産業、地方政府の 7 つの分野について、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。2018 年にレビューが行われ、現在は第二次 NAP が進行中である。

3. 環境・エネルギー分野の STI 政策

現行の科学技術イノベーション政策としては 2014 年 12 月に公表された「成長計画：科学とイノベーション」が挙げられる。その中の 6 つの柱のうちの 1 つ、「優先分野の決定」では、経済成長を後押しする技術として「八大技術（Eight Great Technologies）」が掲げられた。環境・エネルギー関連では「エネルギー貯蔵」がそのうちの 1 つとして挙げられている（他の 7 つは、ビッグデータ、衛星、ロボティクス・自律システム、合成生物学、再生医療、農業科学、先端材料）。革新的なエネルギー貯蔵技術による社会全体へのインパクトは、電力消費量の削減（5 分の 1）、風力発電の導入促進（電力の 10%）、さらには 120 億ポンドのビジネス収入に繋がる等と期待されている。

また産業政策ではあるが関連深いものとして2017年に公表された「産業戦略」も挙げられる。技能、産業、インフラへの投資を通じて新たな雇用の創出や国としての生産性向上を図ろうとするものである。また同国の産業にとって将来的に重要となる4つの課題を「グランド・チャレンジ」として掲げている：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。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を目指すとしている。また「未来の輸送手段」ではGHGやその他の大気汚染物質の排出の大幅抑制を目指すとしている。

4. 代表的な研究開発プログラム

英国の研究開発費の総額は米国の1/10程度、日本の1/4程度である。民間セクターの科学技術活動が比較的弱いが、大学や政府出資による公的研究機関における基礎研究が強い。

(1) UKRI

新たに発足したUKRIの研究助成には大きく3つのカテゴリーがある。まず一つ目の「Global Challenges Research Fund」は、途上国が抱える課題に取り組む最先端研究への支援を行うもので、予算は15億ポンドとされている。二つ目の「Cross-organisational themes and programmes」は分野の枠を超えた研究開発を推奨することを趣旨としたカテゴリーである。

「Cross-organisational themes and programmes」の中では「Strategic Priorities Fund (SPF)」が高水準の研究開発を支援するものと位置付けられている。2019年2月時点の公募テーマではデジタル環境の構築や気候変動への対応が挙げられており、NERCとUKRIが共同で運営している。また「Multidisciplinary programmes」では分野連携、分野融合が必要な研究テーマが掲げられている。現在優先分野とされているのは、デジタルエコノミー、エネルギー、グローバルな食料安全保障、抗菌剤耐性への対応、ライフサイエンス研究のための技術、都市生活パートナーシップ、の6つである。また優先分野外であるもののプラスチック問題も対象分野に含まれている。

三つ目の「Industrial Strategy Challenge Fund、ISCF」は「産業戦略」と関連付けられており、産業上の課題や社会的課題への投資を目的としている。後述するInnovate UKが主に担当している。現在掲げられている15の「課題」の中で環境・エネルギー分野と関連が深いものは以下の通り。

- ファラデー・バッテリーチャレンジ：費用対効果、耐久性、安全性、軽量性、リサイクル性に優れた車載用及びその他用途の蓄電池の開発
- 国家衛星試験施設：宇宙関連技術の向上に向けた衛星試験施設の構築
- エネルギー革命：クリーンで効率的で経済性のあるエネルギーシステムの構築

(2) Innovate UK

主に産業界に対する助成を行う機関であり2007年から続いている。主な支援対象分野を次の4分野としている（括弧内は2017/18年の予算²⁴）：新興技術・実現技術（5,600万ポンド）、健康・ライフサイエンス（1億1,600万ポンド）、インフラシステム（1億1,600万ポンド）、

²⁴ Innovate UK: Innovate UK delivery plan 2017 to 2018, 2017

製造技術・材料（1億2,600万ポンド）。これらに加えて ISCF の運営も担っている。

Innovate UK が助成するエネルギー関連の主な研究プログラムに以下がある。

➤ カタパルト・プログラム（The Catapult centres）

世界をリードする科学技術・イノベーションの拠点構築を目指すプログラム。産学連携で最終段階に近い研究開発を行い、実用化の実現を目指す。また中小企業支援も念頭に置いた最新鋭設備の提供、情報提供、人材育成の役割も果たす。英国が学術的、産業的に強みをもつ技術分野が選択される。管理・運営は Innovate UK が行い、現在 11 分野のセンターが稼働している。セクターの垣根を越えた挑戦がカタパルトの枠組みで行われている点が特徴である。2011 年の開始以降、産業界を中心に、「カタパルト」ブランドが確立しつつある。

環境・エネルギー分野に関連するセンターは以下の通り。

- 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）
- 未来都市カタパルト（Future Cities Catapult）
- 輸送システムカタパルト（Transport Systems Catapult）

➤ イノベーションプラットフォーム（Innovation Platform）

主要な社会的課題に対し、イノベティブな製品のリードマーケット構築のために産学官共同で特定課題に取り組むプログラムとして、Innovate UK の前身である Technology Strategy Board 時代に創設された。6 つある社会的課題のうち環境・エネルギー分野に関連するテーマは以下の 2 課題である。但しこれ以降に新テーマの更新は確認されていない。

- 低炭素自動車（The Low Carbon Vehicles Innovation Platform）2007 年に設置。
- 環境に優しい建築物（The Low Impact Building Innovation Platform）2008 年に設置。

このうち「低炭素自動車」については、EPSRC における基礎研究段階から Innovation Platform による中間段階、そして先端推進システム技術センター（APC、Advanced Propulsion Centre）での市場に向けた後期段階へと研究開発の橋渡しが進んだ事例としても取り上げられている²⁵。APC は政府と自動車業界により 2013 年に設立された低炭素イノベーションに関する研究拠点である。

(3) 工学・物理科学研究会議（EPSRC）

UKRI 傘下の研究資金助成を行う 7 つの研究会議のうちの一つ。「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・エネルギー関連の資金助成領域としては、従来型および新型発電所、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、インフラ等多数ある。

²⁵ Kevin Baughan: Empowering Innovation, Blog Innovate UK, 2018 年 5 月 15 日, <https://innovateuk.blog.gov.uk/2018/05/15/empowering-innovation/>

（4）自然環境研究会議（NERC）

UKRI 傘下の研究資金助成を行う 7 つの研究会議のうちの一つ。傘下に研究施設を有し、自らも基礎・応用研究を実施している。科学研究の主要テーマとしては、気候システム、生物多様性、天然資源の持続可能な使用、地球システム科学、自然災害、環境・公害・健康、（環境関連）技術等がある。

（5）エネルギー技術機構（ETI）

エネルギー効率の向上や GHG 排出量の削減等に資するエネルギー技術の開発・実証・商業化を加速することを目的として、BIS や DECC、工学・物理科学研究会議（EPSRC）など政府関係組織と民間企業の官民連携で 2007 年に設立された。ETI が助成するエネルギー関連の主な現在推進中のプログラム（括弧内はプロジェクト数）は次の通り：洋上風力（7）、海洋エネルギー（8）、分散型エネルギー（2）、建物（1）、エネルギー貯蔵と分配（13）、スマートシステムと熱（15）、CCS（16）、輸送・重量車（19）、輸送・軽量車（4）、バイオエネルギー（12）、原子力（5）。

（6）原子力廃止措置機関（NDA）

2005 年に設立された独立行政法人であり英国内の指定された原子力施設の廃止やサイトのクリーンアップ等を安全、確実、経済的に行うことを担う機関。Innovate UK との協働でこれまでに 25 を超えるプロジェクトに総額 600 万ポンドの研究助成も行っており、エネルギー・セクター以外の革新的な中小企業にも配賦される。対象は例えばレーザによる切断やそれを無人で行うためのロボット技術等がある。

(6) フランス

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2005	政府	エネルギー政策指針法		向こう30年間のエネルギー政策の指針。2050年までにGHG排出▲75%、最終的なエネルギー効率を2015～2030年に毎年平均2.5%改善、エネ消費に占める再エネ割合を2010年までに10%向上、2015年を目途に新規原子炉（欧州型加圧軽水炉）の商業運転の技術的検証完了。
2009～2010	環境と持続的な発展省	環境グルネル法（I、II）		2009年の「環境グルネル実施計画法（グルネルI法）で気候変動の緩和、生物多様性と自然景観の保全、健全な環境への寄与に関する目標等を設定し、2010年の「環境に対する国内取組み法（グルネルII法）」で目標達成に向けた具体的施策を設定。エネルギー関連では再エネ導入促進に注力する方針を提示。
2010	環境と持続的な発展省	再生可能エネルギーアクションプラン		再エネ電力の割合を2020年までに27%とする目標を設定。
2012.2	経済財政産業省	2050年のエネルギー構想（Energies 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、原子力について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。
2015.1	環境・持続的な発展・エネルギー省（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GHG排出目標（Carbon budget）を設定し、かつ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・更新予定（2018年にレビュー実施）。
2015.8	MEDDE	緑の成長のためのエネルギー移行法（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%、2030年までにGHG排出量を1990年比で▲40%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。
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）		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GHG排出の実質ゼロを目指すこと、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こと等の長期的な目標も示し、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、その他の具体方策を提示。緩和策のみならず気候変動への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。

2018.11	MTES	PPE	2030	レビュー結果を踏まえた更新版。化石燃料消費は2012年比▲40%。石炭火力は2022年までに閉鎖。再エネは拡大（陸上風力3倍、太陽光5倍）。原子力は2035年までに▲50%（14基閉鎖）等を提示。
---------	------	-----	------	--

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2006.11	環境と持続的な発展省	国家気候変動適応戦略 (SNACC、National Strategy for Climate Change Adaptation)		国立天文台 (ONERC) で行われた議論を基に策定。4つの大目標を設定：(1) 安全と公衆衛生、(2) リスクに直面した際の不平等への対応、(3) 低コストとメリットの活用、(4) 自然資本の保全。
2010.7	Interministerial Committee for Sustainable Development	第2次持続可能な開発に関する国家戦略 2010-2013 (NSDS、National Sustainable Development Strategy 2010-2013)	2013	9つの戦略的挑戦課題を設定：持続可能な消費と生産；知識社会；ガバナンス；気候変動とエネルギー；持続可能な交通とモビリティ；生物多様性および自然資源の保護と管理；公衆衛生・リスクの予防と管理；人口構成・移民・社会的包摂；持続可能な開発と貧困撲滅への国際的な挑戦。
2011.7	環境・持続的な発展・運輸・住宅省 (MEDDTL)	国家気候変動適応計画 2011-2015 (PNACC、National Plan for Climate Change Adaptation 2011-2015)	2015	SNACC に基づく実行計画。
2011	MEDDTL	生物多様性国家戦略 2011-2020	2020	COP10 で採択された愛知目標を受けて2004年に策定された第1次国家戦略の改訂版。6つの戦略目標の下で20のターゲットを設定。
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%。実現のための方策として使い捨てビニール袋の禁止措置等を提示。
2015.1	MEDDE	持続可能な開発に向けた生態移行国家戦略 2015-2020 (National Strategy of Ecological Transition towards Sustainable Development 2015-2020)	2020	NSDS 2010-2013 の後継にあたる国家戦略として策定。2020年に向けた9つの目標を設定。
2018.7	MTES	生物多様性プラン (Biodiversity Plan)		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。
2018.12	MTES	第2次国家気候変動適応計画 2018-2022 (PNACC-2)		2016～2017年にかけて評価を行った上で第2次 PNACC を策定・公表。

■ 科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2013.4	大統領府	「イノベーションのための新原則と7の大志」報告書		大統領が設置したイノベーション2030委員会の検討結果をとりまとめた報告書。「7つの戦略分野」を特定：エネルギーの貯蔵、材料のリサイクル（レアメタル）、海洋資源有効活用（金属及び海水淡水化）、植物性タンパク質と植物科学、オーダーメイド医療、シルバー経済・高齢化社会に向けたイノベーション、ビッグデータ活用。
2013.5	国民教育・高等教育・研究省(MENESR)	France Europe 2020	2020	基本的な方向性を示した戦略。9つの戦略領域のうちの1つが「社会課題」への対応で、9つの課題。詳細の検討はその後に委ねるとした。
2013.9	製造業復興省	「フランスの産業再生」報告書		産業競争力強化のための「34の優先領域」を特定。
2013.11	製造業復興省	「イノベーションのための新方策」報告書		「7つの戦略分野」と「34の優先領域」を補完する目的で、政策に関する4つの軸に沿った40の方策を提示。
2015.3	高等教育・研究・イノベーション省(MENESR)	国家研究戦略(SNR France Europe 2020)	2020	France Europe 2020を詳細化した研究開発戦略。EUのHorizon2020との整合性も考慮。社会課題は10になった。「資源管理および気候変動への対応」、「クリーンで安全で効率的なエネルギー」、「欧州のための宇宙・航空」（地球観測含む）。
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に関する研究開発を学際的な研究によって推進する方針を提示。

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）

環境・エネルギー分野の政策は、環境連帯移行省(MTES。以前は環境・エネルギー・海洋省：MEEM)の中のエネルギー・気候総局(DGEC)が担当している。

国の研究戦略は首相直属の合議体である研究戦略会議が策定している。同会議に諮る議題は研究戦略会議の直下に位置する運営委員会が決定している。またここで決められた研究戦略等に基づく科学技術政策は高等教育・研究・イノベーション省(MENESR)の中の研究・イノベーション総局が担当している。

研究・イノベーション総局内には国立研究機関を横断的につなぎ各分野の研究を調整するテーマ別研究連合が置かれている。各連合は、首相直下の研究戦略会議が策定する戦略の元となる、分野ごとの情報を運営委員会に提示する役割を持つ。このテーマ別研究連合には5つの研究連合があり、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。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

フランスは、戦前から原子力の研究・開発の歴史を有し、大戦後は自前の核を保有するという国防の観点から米国、旧ソ連に次いで原子力開発を行ってきた。しかし、1990年代以降は温室効果ガス削減が大きなテーマとなり、2005年の「エネルギー政策指針法」では、2050年までにGHGを75%削減するため、①最終エネルギー消費の原単位を2015年まで毎年2%削減、2030年まで毎年2.5%削減、②エネルギー、発電での再生エネルギー比率を2010年までにそれぞれ10%、21%にまで引き上げ、③2020年に向けた原子力発電オプションを維持、が規定され、再生可能エネルギーと省エネルギーの開発も推進されるようになった。

東京電力福島第一原子力発電所事故後の2012年2月に、経済財政産業省が「2050年のエネルギー構想（Energies 2050）」をとりまとめた。エネルギーに占める原子力の割合について特定の目標は設定せず、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を強化することを基本方針として示した。

しかし、その後のオランド政権（2012年5月～2017年5月）では、電源多様化の観点から2025年までに原子力依存度を2010年当時の75%から50%に低減する方針が示され、2015年7月には、今後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。この法律は、政府の担当部局と、一般市民、各種団体、企業などフランス国内の様々な利害当事者との協議プロセスを経て作成された。2025年までに発電量における原子力発電の割合を50%に下げ、発電設備の容量を63.2GWまでとすること、再生可能エネルギー導入を2030年までに電源構成の中で32%に増やすこと、最終エネルギー消費を2050年までに2012年比で50%削減すること等が定められた。また、GHG排出量を2030年までに90年比で40%削減する目標が設定されている。

2016年11月には、MEEMが、エネルギー移行法の目標達成に向けて具体的な中期目標と施策を定めた複数年エネルギー計画（PPE）を決定し、2023年までに、最終エネルギー消費量を12%削減、再生可能エネルギーによる発電容量を70%増と熱供給を35%増、化石エネルギー消費量を22%削減とした。加えて、クリーンな輸送（電気・天然ガスへの燃料転換）、発電エネルギーの多様化・原子力の縮小、柔軟でレジリエントなエネルギーシステムなど新たなエネルギーモデルの実践や、地域・企業・市民に対するエネルギー移行支援策も示した。

3. 環境・エネルギー分野のSTI政策

フランスの研究戦略の方針はMENESRが2015年に公表した国家研究戦略（SNR：France Europe 2020）に定められている。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との年間計画を設定している。社会の観点からの課題設定は、研究戦略文書としては初めての試みとなる。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）、欧州のための宇宙・航空（社会的課題9）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つの横断的課題というものも設定されている。これは社会的課題には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は「地球系：観測、予測、適応」である。

国家研究戦略に加え、緑の成長のためのエネルギー移行法を踏まえた、SNRのエネルギー分野に関して特化した文書である国家エネルギー研究戦略（SNRE）も2016年12月に公表された。

関連する産業政策としては次の3つの動きがあった。まず2013年4月に「イノベーションのための原則と7の大志」報告書が公表された。フランスの長期にわたる繁栄と雇用を確保するために、重要かつ野心的な戦略分野を選択するために大統領が設置したイノベーション2030委員会での検討を踏まえ、7つの戦略分野を提示した。エネルギー分野に関連する戦略分野として、「エネルギーの貯蔵」が記載されている。

次に、経済・産業・デジタル省に関連する産業競争力強化に向けた戦略として、2013年9月に公表された「フランスの産業再生」報告書がある（当時は製造業復興省）。フランスの産業を再生するために重要な34の優先領域を示し、5～10年で革新的な製品を開発し、市場化を行う計画を規定している。優先領域のうち環境・エネルギー分野と関連するものは以下のとおりである。

- エネルギー分野に関連する優先領域（8領域）・・・再生可能エネルギー、環境に優しい船、2リットルで100km走る車、建物の熱効率を高めるリノベーション、電気自動車の充電ステーション、スマートグリッド、自律的かつ高性能なバッテリー、グリーンケミストリー、バイオ燃料
- 環境分野に関連する優先領域（3領域）・・・環境に優しい船、森林産業、リサイクル・環境に優しい材料

そして同年11月の「イノベーションのための新方策」報告書では、上記の「イノベーションのための原則と7の大志」報告書の7つの戦略分野と「フランスの産業再生」報告書の34の優先領域を補完する目的で政策や体制に関する4つの軸に沿った40の方策が提示された。

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

研究開発に関する予算は、研究・高等教育省際ミッション（MIREs : Mission interministérielle Recherche et Enseignement Supérieur）という枠のもとで配分されており、省ごとに予算を配分するという体裁はとられていない。2016年度の予算総額は262億ユーロで、うちエネルギー関連では学際的な科学技術研究に62億ユーロ（24%、大学教育と研究を除くと最大）、エネルギー開発および持続可能な開発の研究に17億ユーロ（6.7%）が配分されている。

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は国立研究機構（ANR）である。主として大学・国立研究機関を対象に競争的資金を配分している。そのほか、環境・エネルギー分野では環境・省エネルギー機構（ADEME）も資金配分を実施している。ADEMEは実証段階前後のフェーズを主な対象にしている。

(1) 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

気候変動に関する研究を強化することを目的に仏独両政府がパリ協定後に締結した共同プログラム“Make Our Planet Great Again”の一環として、マクロン大統領が2017年に発表。

採択された18人の研究者の内13名が米国在住の研究者だった。期間は3～5年間で、仏政府が150万ユーロを負担する。

（2）将来への投資計画（PIA）

2010年、サルコジ大統領により未来の重要課題への大規模投資である「将来への投資」が実施され、オランダ大統領も同名の施策を受け継いでいる。2017年までの第一次および第二次公募（PIA1とPIA2）では、クリーンエネルギーに約50億ユーロ（総額520億ユーロ）が配分され、第三次公募（PIA3）では、100億ユーロがエネルギー転換に配分される予定である。未来への投資は、企業と研究機関のリスクを分け合うことで、基礎研究を市場に結びつけ、イノベーションの全チェーンを支える重要な役割を担っている。次に示す6つの優先項目を挙げている：（1）高等教育、研究、訓練、（2）研究開発とスピノフ、（3）持続可能な開発、（4）産業と中小企業（SMEs）、（5）デジタルエコノミー、（6）健康とバイオテクノロジー。

PIAの主な公募機関であるANRにより運営されている官民連携の研究機関に、新エネルギーへの移行のための研究所（ITE：Institut pour la Transition Energétique）がある。ITEは、クリーン経済移行にむけた国際競争に対処するため以下に示す10プロジェクトを進めている（括弧内は予算総額と実施開始日）。PIAからITEへの支出割合は大きくはないが、エネルギーに特化した組織の設置に、国家としてのエネルギー転換重視の姿勢を感じ取ることができる。

- ① PIVERT バイオ関連（63.9百万ユーロ、2013年6月6日）
- ② IDEEL グリーン化学、エネ効率関連（40.2百万ユーロ、2013年6月13日）
- ③ EFFICACITY 都市エネルギー効率化（15百万ユーロ、2013年10月29日）
- ④ INEF4 持続可能な住宅建築（7百万ユーロ、2013年10月29日）
- ⑤ IPVF 太陽光発電（18.6百万ユーロ、2013年10月29日）
- ⑥ PS2E 都市共存産業設備のエネ効率向上（19百万ユーロ、2013年10月29日）
- ⑦ IFMAS グリーン化学（30.7百万ユーロ、2013年12月18日）
- ⑧ INES2 太陽エネルギー（39百万ユーロ、2013年12月18日）
- ⑨ VeDeCoM 持続可能な交通システム（54.4百万ユーロ、2014年2月11日）
- ⑩ SUPERGRID 将来の電力グリッド（72.7百万ユーロ、2015年12月）

また、以下にPIAの一環で実施されている環境・エネルギー分野に関連する主な拠点支援を示す。

- IDEX…「優れた拠点」のプログラムの1つ。11の大学拠点到70億ユーロを配分。エクス・マルセイユ拠点（Aix-Marseille Universite）は環境・エネルギーを主なテーマとする拠点の1つ。
- 競争力拠点（Poles de Competitivite）…産業クラスターを対象としたプログラム。エコテク、環境、エネルギーを活動領域とする拠点「EAU」（地域圏：ミディ＝ピレネー）は準国際レベルとして認定。
- 高度な研究施設（EQUIPEX）…国際レベルの研究設備整備を支援するもの。93プロジェクトに対し8.1億€を配分。研究領域「エネルギー・環境」として、プロジェクト「CLIEX」

には 2000 万€を配分。高出力レーザー設備（パリ・サクレイキャンパス）の支援。

- 明日の原子力…次世代原子炉、廃棄物処理研究の産業分野に根ざしたプログラム。9 億 €を配分。
- カルノー機関…企業との共同研究を推進する国の研究機関に認証を与え、その認証に基づき資金を配分するプログラム。ドイツのフラウンホーファー研究所をモデルに策定された。環境に関連するものとして以下の機関がある。
 - Irstea (National Research Institute of Science and technology for Environment and Agriculture) : ヨーロッパにおける環境研究や政策支援のリーダーを目指し、環境分野と農業分野における科学的・社会的課題に対する研究を実施。主な研究領域は水、環境技術、土地利用。全国にまたがる 9 つのセンターによる体制。

(3) 大投資計画 (GPI)

2018 年に発表された GPI は 2018～2022 年の 5 年間で 570 億ユーロを投資する計画である。PIA の後継と位置付けられており、PIA3 は GPI の一部として包含されることになる。

投資対象としては以下の 4 つの優先項目を挙げている。とりわけ環境・エネルギー分野と関連が深いのは 1 つ目の優先項目である。

- ① 環境に留意した社会への移行の加速化 (200 億ユーロ)
 - GHG 排出の 20% を占めるビル: 低所得者層の住宅や公共住宅の熱効率向上 (90 億ユーロ)
 - GHG 排出の 3 分の 1 を占める輸送: 日常的なモビリティにおける改善 (40 億ユーロ)
 - 再生可能エネルギーによる発電容量の 70% 増加 (70 億ユーロ)
- ② スキル社会の構築 (150 億ユーロ)
- ③ イノベーションによる競争力の定着化 (130 億ユーロ)
- ④ デジタル国家の建設 (90 億ユーロ)

(4) ADEME

ADEME は資金規模軸と市場投入への時間軸がバラエティに富む 22 の基幹的な分野のイノベーションプログラムを、エネルギー・環境関連のプログラムと交通システムのプログラムにおいて実施している。2011 年から 2016 年の間に 30 億ユーロが配分され、成功事例として、潮汐発電のパイロットファームが市場化目前の段階となっている。ADEME による PIA の投資には、競争的資金と投資型資金があり、中小企業の技術育成も目的としている。

- エネルギーとエコロジカルシステムへの移行実証プログラム: ビル、生物多様性、CCUS、生化学、廃棄物処理と産業エコロジー、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、エネルギー貯蔵、水素システムと燃料電池
- 未来の交通システムプログラム: 電気自動車と充電インフラ、ハイブリッドと熱モーターリゼーション、軽量自動車、トラック、移動と物流、鉄道、未来型船舶

(7) 中国

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2016.3	国家發展改革委員会、 国務院、 中国共産党中央委員会	国民経済・社会發展「第13次5カ年」計画綱要	2020	主要指標 25 項目のうち、環境・資源・エネルギー関係で 10 項目が設定。いずれも必ず達成する目標値として拘束性をもたせている。環境関係では、GDP あたり水使用量を 2015 年比▲ 23%、飲用可能な水質の割合 70% 以上、SO ₂ 排出量 2015 年比▲ 15%、NOx 排出量 2015 年比▲ 15% などのミッションを掲げる。
2017.1	国家發展改革委員会、 国家エネルギー局	エネルギー發展「第13次5カ年」計画	2020	エネルギー自給率 80%、非化石エネ割合 15% 以上、GDP あたりエネ消費量を 2015 年比▲ 15%、GDP あたり CO ₂ 排出を 2015 年比▲ 18% 等のミッションを掲げる。

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2013.9	国務院	大気汚染防止行動計画 (大気十条)	2017	一定規模以上の都市の PM10 の濃度を 2012 年比で▲ 10% 以上、京津冀 (北京市、天津市、河北省)、長江デルタ、珠江デルタなどの地域の PM2.5 の濃度をそれぞれ▲ 25%、▲ 20%、▲ 15% 低下などのミッションを掲げ、おおむね達成の自己評価がなされた。
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 6700 億 m ³ 以下、都市部汚水処理率を 95%、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)」割合を全体の 70% 以上などのミッションを掲げ、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を掲げ、2030 年はさらに高い目標値を設定。
2016.12	国務院、 環境保護部 (現：生態環境部)	生態環境保護「第13次5カ年」計画	2020	PM2.5 濃度基準未達成の一定規模以上の都市で PM2.5 濃度を▲ 18%、大気の質が良好な日数の比率を 80% 以上などのミッションを掲げている。
2016.12	国家發展改革委員会、 国家エネルギー局	再生可能エネルギー發展「第13次5カ年」計画	2020	再生可能エネルギーの発電設備容量を 6.8 億 kW、発電量は 1.9 兆 kWh と発電量全体の 27% を目指すとしている。再生可能エネルギー全体で 5 年中に 2 兆 5000 億元での新規投資を目標としている。

2017.2	国務院、 交通運輸部、 国家發展改革 委員会	現代総合交通輸送シ ステム「第13次5カ 年」發展計画	2020	2020年をめどに安全でクリーンな現代型交 通運輸システムを構築するとしている。一 定規模以上の都市で公共交通車のうち新エ ネルギー車（中国では電気自動車、燃料電 池車、プラグインハイブリッド車が対象。 ハイブリッド車は省エネ車という別区分） を35%以上にすることを目指すとしている。
2017.4	工業・情報化 部、 国家發展改革 委員会、 科学技術部	自動車産業中長期發 展計画	2020	新エネルギー車の年間生産・販売台数を 2020年に200万台を目指すとしている。
2017.12	国家發展改革 委員会、 国家エネル ギー局	石炭産業發展「第 13次5カ年」計画	2020	老朽化生産能力を8億t/年削減し、炭鉱 数を6000か所程度に抑制し、石炭企業を 3000社に半減させ、石炭生産量を39億t などのミッションを掲げる。
2018.6	国務院	青空防衛戦3カ年作 戦計画	2020	大気十条の後継計画。他の5カ年計画期限 と整合をとるため3カ年計画となっている。 二酸化硫黄と窒素酸化物の年間総排出量を 2015年比で▲15%以上、環境基準未達都 市のPM2.5濃度を2015年比で▲18%以上 などのミッションを掲げる。

■ 科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2016.5	中国共産党中 央委員会、 国務院	国家イノベーション 駆動發展戰略綱要 (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、發展のための新たな優位性の創造」 の中で10の重点領域分野のうち環境エネル ギー関連では「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。
2016.8	国務院	科学技術イノベ ーション「第13次5 カ年」計画	2020	国が長期にわたって安定的に支援する15の 重大科学技術プロジェクトのうち、「大型 航空機エンジン及びガスタービンの研究開 発」、「石炭のクリーン・高効率利用技術」、「 スマートグリッド技術」、「京津冀地域総合 的環境保全」が示されている。
2016.6	国家發展改革 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。

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）

国全体の方針を示す「中国国民経済・社会發展第13次五カ年計画」（2016～2020年）は、中国共産党の「中国共産党中央の国民経済・社会發展第13次五カ年計画に関する建議」を踏まえ、国務院が起草し、全国人民代表大会での承認を経て確定されている。ただし科学技術分野の政策については、その多くが「国家中長期科学技術發展計画綱要」（2006～2020年）お

よび「国家イノベーション駆動発展戦略綱要」（2016～2030年）の内容を踏襲した形になっている。

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、基礎研究のみならず産業技術に係る研究領域も含まれている。また MOST 傘下には科学技術政策に係る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。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 や中国環境科学院を擁する生態環境部（MEE）等が所管している。2018年3月に行政機関の大規模な組織改編が行われ、環境保護部が廃止されて生態環境部が新設された。生態環境部には環境保護部以外の組織が所管していた温室効果ガス排出削減、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。なお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。

2. 環境・エネルギー分野の基本政策

政府は、環境汚染と気候変動の主要因の1つはエネルギー資源の大規模な開発と利用であるとの認識を示しており、国民経済と社会の発展のためのニーズに立脚し、エネルギー、資源、環境の技術開発を優先している。エネルギー分野では「省エネと供給の多様化・拡大」、資源分野では「戦略的資源の調査・開発・利用に関する技術水準の向上」が柱に据えられている。また環境分野では「クリーンな生産と循環型経済の確立」と「脆弱な生態系の管理」が柱に据えられている。

中国における環境法体系は憲法、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な指標を明確に記載した通達も行動計画や決定、方案、指導意見などの名称で出されている。

環境と経済の両立が重視されつつあり、政策にそうした理念が取り込まれた象徴的な行動目標として大気十条、水十条、土十条と呼ばれる「大気汚染防止行動計画」、「水汚染防止行動計画」、「土壌汚染防止行動計画」が挙げられる。これらにより法的拘束力をもった環境浄化の指標が定められている。また環境を重点領域と位置づけた「京津冀（北京－天津－河北省）地域総合的環境保全」のような巨額のプロジェクトも存在する。

エネルギー関係では、「国民経済・社会発展『第13次5カ年』計画綱要」に基づき、国家発展改革委員会と国家エネルギー局の共同により「エネルギー発展『第13次5カ年』計画」が2016年12月に策定されている。同計画では、エネルギー消費総量を管理し、安全、安定、経済的、クリーンなエネルギー産業システムを構築するとした上で、2020年までに以下の7つのミッションを重点的に進める方針が示されている。

表1.2.3-13 中国「エネルギー発展『第13次5カ年』計画」の重点方針

① 総エネルギー消費量	標準炭換算でエネルギー消費量を50億トン以内とし、石炭消費量を41億トン以内とする。電力消費量を6.8～7.2兆kWhとする。
② エネルギー安全保障	エネルギーの自給率を80%とし、エネルギー安全供給能力、エネルギーの利用効率を向上させ、グリーンエネルギーの割合を高める。
③ エネルギー供給能力	供給能力を徐々に高め、国内の一次エネルギー生産量（標準炭換算で）を40億トンにし、そのうち、石炭は39億トン、原油は2億トン、天然ガスは2200億m ³ 、非化石エネルギーは7.5億トン（標準炭換算）を目標とする。発電容量は20億kWとする。
④ エネルギー消費構造	非化石エネルギーの割合を15%以上、天然ガスの割合を10%、石炭の割合を58%以下にする。発電用の石炭消費量は石炭消費量全体の55%以上とする。
⑤ エネルギー効率	GDP当たりのエネルギー消費量は、2015年と比べて15%減少させ、1kWhの電力を生産するための石炭消費を310グラム以下とする。電気供給の損失を6.5%以内とする。
⑥ 低炭素目標	GDP当たり二酸化炭素排出量は、2015年と比べて18%減少させ、エネルギー産業における環境保護能力を著しく向上させる。石炭を燃料とする火力発電所の汚染物排出量を大幅に減少させる。
⑦ エネルギーサービス	エネルギーサービス水準を向上させ、エネルギー利用の便利化を図り、都市部と農村部の電気消費の差を縮小させる

また同計画の下、政府の関連部門が以下に挙げるような政策・計画を制定している。これらの中では、「エネルギーの高効率、グリーン化」、「超高压送電技術・設備」、「分散型エネルギー技術」、「先進核燃料技術」、「高温材料・電池材料技術」が重点的に推進されている。

- 「エネルギー技術イノベーション『第13次5カ年』計画」（2016年12月）
- 「再生可能エネルギー発展『第13次5カ年』計画」（2016年12月）
 - 「電力発展『第13次5カ年』計画」（2016年11月）
 - 「風力発電発展『第13次5カ年』計画」（2016年11月）
 - 「水力発電発展『第13次5カ年』計画」（2016年11月）
 - 「太陽エネルギー発展『第13次5カ年』計画」（2016年12月）
 - 「全国『第13次5カ年』地熱資源開発利用計画」（審議中）
 - 「海洋再生可能エネルギー発展『第13次5カ年』計画」（2016年12月）
 - 「地熱資源開発利用『第13次5カ年』計画」（2017年1月）
- 「石炭産業発展『第13次5カ年』計画」（2016年12月）
- 「天然ガス発展『第13次5カ年』計画」（2017年2月）
- 「クリーン・エネルギー高効率利用アクションプラン2018－2020」（2018年10月）

環境分野に関しては、前述のとおり「クリーン生産と循環型経済の確立」と「脆弱な生態系の管理」が柱に据えられている。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、規制強化のための立法、法改正が矢継ぎ早に行われている。2014年4月24日全国人民代表大会常務委員会において「環境保護法」改正案、2015年8月に「大気污染防治法（主席令31号）」改正案、2016年9月に「環境影響評価法（主席令48号）」改正案、2017年4月に「海洋環境保護法」改正案、2017年6月に「水質汚染防止法」改正案、2018年8月に「土壌污染防治法」などが全国人民代表大会常務委員会によって可決され、環境汚染の防止について強い意思を示している。

「国民経済・社会発展『第13次5カ年』計画綱要」（2016年）では「グリーン発展」がテーマとして掲げられ、資源節約型、環境友好型社会の構築が言及されている。「科学技術イノベーション第13次五カ年計画」において、「国家科学技術重大専門プロジェクト」により水汚染のコントロールと修復、「科学技術イノベーション2030プログラム」により京津冀（北京－天津－河北省）環境の総合的修復を重点分野として指定している。同年9月に、「中国のSDGsの実現に向けた国別実施方案」を打ち出し、また、政府の関連部門は以下のような政策・計画を制定している。

- 「大気汚染防止行動計画（大気十条）」（2013年9月、国務院）
- 「水汚染防止行動計画（水十条）」（2015年4月、国務院）
- 「生態環境保護『第13次5カ年』計画」（2016年11月、国務院）
- 「国家環境保護『第13次5カ年』科技発展計画」（2016年11月、環境保護部、科学技術部）
- 「土壌汚染防止行動計画（土十条）」（2016年5月、環境保護部）
- 「青空防衛戦3カ年作戦計画」（2018年6月、国務院、生態環境部）

深刻な大気汚染対策として策定された大気汚染防止行動計画（大気十条）は目標年（2017年）までに一定の成果を収めた。これを受け、後継となる「青空防衛戦3カ年作戦計画」（2018～2020年）は、他の第13次5カ年計画の期限と合わせた2020年までの3か年計画として、大気浄化の目標を設定している。水、土壌についても同じく十条の浄化の目標を設定した行動計画が策定されている。

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2018年6月までに市の環境保護局を省に垂直管理する指導意見が公布され、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の強化が図られている。

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。2017年4月に発表された「自動車産業中長期発展計画」では、新エネルギー車（電気自動車、燃料電池車、プラグインハイブリッド車が対象。ハイブリッド車は省エネ車という別区分）の年間生産・販売台数を2020年に200万台を目指すとしている（2016年の中国での自動車生産・販売実績はともに約2800万台で、新エネルギー車の生産台数は約50万台）。とりわけ電気自動車の普及に向けて、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、分散型充電スタンド・ステーションを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ている。2018年の時点ではすでに60万本の分散型充電スタンド・ステーションを建設済みであり、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）」を発表した。

国際関係における環境分野での目立った政策として、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年より本格的に施行したことが挙げられる。これを受けて、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ることとなっている。

また中国企業の海外進出にあたり、「一带一路生態環境保全協力計画」（2017年5月）では一带一路の開発途上国へのインフラ整備進出に際して、中国国内と同じ環境保護基準を満たすことを基本方針としている。

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」および「科学技術イノベーション『第13次5カ年』発展計画」に示されている。

「国家イノベーション駆動発展戦略綱要」は、イノベーション駆動発展を知的発展、グリーン発展を前提とし、2050年を見据えた科学技術イノベーション中長期指針である。本戦略綱要では重点8項目を設定しているが、その一つである「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件の重点領域分野を指定しており、とくに環境・エネルギー分野に係わるものとして「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」「海洋及び宇宙政策」「スマートシティ・デジタル社会技術」「健康技術」がある。

「科学技術イノベーション『第13次5カ年』計画」では、重要項目として「重大科学技術プロジェクトの実施（国が長期に渡って安定的に支援するプロジェクト）」や「産業技術の国際競争力の向上」「国民生活水準の向上と持続的発展可能な技術体系の構築」「国家安全・国益に係る技術体系の構築」「基礎研究の強化」が掲げられているが、それぞれの中で環境・エネルギー分野に係わる重点分野が示されている。

表1.2.3-14 環境・エネルギー分野に特に係わる科学技術イノベーション第13次五カ年計画の重要項目

重要項目	環境・エネルギー分野に特に係わる重点領域
「重大科学技術プロジェクトの実施（国が長期に渡って安定的に支援するプロジェクト）」	<ul style="list-style-type: none"> ・大型航空機エンジン及びガスタービンの研究開発 ・深海ステーション研究 ・石炭のクリーン・高効率利用技術 ・スマートグリッド技術 ・京津冀地域総合的環境保全 ・健康福祉技術
「産業技術の国際競争力の向上」	<ul style="list-style-type: none"> ・先進農業技術 ・先進製造技術 ・グリーン・高効率なエネルギー技術 ・先進交通技術
「国民生活水準の向上と持続的発展可能な技術体系の構築」	<ul style="list-style-type: none"> ・環境・生態保全技術 ・資源の高効率的な利用技術 ・都市化に係る技術

「国家安全・国益に係る技術体系の構築」	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋資源利用技術 ・超深地層開発技術
「基礎研究の強化」	<ul style="list-style-type: none"> ○社会ニーズに向けた戦略的基礎研究 ・エネルギーのグリーン利用の高効率化に向けた物理学・化学理論 ・地球システムの統合的モニタリング研究 ・新材料の設計と製造工程に関する研究 ・極限環境（大電流・強磁場・超高温・超低温）における製造 ・メガプロジェクトが起こす災害及びその予測 ・航空機・ロケット・宇宙船に関わる力学問題 ○先端的基礎研究 ・グローバル気候変動と対策 ・深海・超深地層・宇宙に関する研究 ・物質深層構造と宇宙物理研究 ・磁気閉じ込め核融合

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

政府の環境・エネルギー分野に係わる主要なトップダウン式競争的研究資金プログラムは、2016年に「国家重点研究開発プログラム」に統合されている。エネルギー分野では「新エネルギー自動車」、「グリーン建築」、「石炭高効率利用」、「スマート・グリッド技術と設備」、環境分野では「グローバル気候変動と対策」、「大気汚染原因及び制御技術」がそれぞれ重点指定されている。

表1.2.3-15 環境・エネルギー分野に係わる国家重点研究開発プログラムの2016年の主な採択プロジェクト

領域	主な採択プロジェクト	採択機関情報・配分予算等
新エネルギー自動車 (19件、総額10.14億元)	高性能低コスト燃料電池のコア技術の研究開発	新源動力社 (SUNRISE POWER) 邢丹敏 1億2,558万元 (5年)
	軽量電気自動車のシステム集積技術の研究開発	重慶長安自動車社 季方勝 1億2,000万元 (5年)
	高い比エネルギーリチウム電池の研究開発及び応用技術	合肥国軒高科動力能源公司 徐小明 1億元 (5年)
	次世代リチウム電池の産業化技術	寧徳時代新能源科技公司 吳凱 1億元 (5年)
グリーン建築 (21件、総額5.97億元)	長江流域建築向けの暖房空調ソリューション及び暖房システムの開発	重慶大学 姚潤明 4,500万元 (4年)
	既存公共建築の総合的な性能向上と改造におけるコア技術の研究開発	中国建築科学研究院 王俊 3,963万元 (3.5年)
	プレハブコンクリート構造物の産業化技術向けの基本理論研究	東南大学 吳剛 3,848万元 (3年)
石炭高効率利用と新型省エネ技術 (17件、総額4.56億元)	石炭の熱分解反応による天然ガスへの転換技術	陝西石炭化工集団有限公司 鄭化安 4,955万元 (3年)
	ダストが同伴する排ガスの廃熱回収技術	重慶大学 廖強 4,500万元 (3年)
	超臨界循環流動層ボイラー技術	神華国能集団公司 凌文 4,290万元 (5年)

スマート・グリッド技術と設備 (19件、総額 5.81 億円)	柔軟な高電圧大容量直流グリッド技術	Global Energy Interconnection Research Institute 湯広福 5,000 万元 (3年)
	柔軟な高電圧大容量直流グリッド技術	南方電網科学研究院 饶宏 4,000 万元 (3年)
	± 1100kV 直流送電コア技術の研究開発	中国電力科学研究院 張福軒 4,000 万元 (4年)
グローバル気候変動と対策 (29件、総額 5.29 億円)	グローバル気候変動のデータ収集及び変動過程と要因に関するモニタリング	北京師範大学 梁順林 3,500 万元 (5年)
	衛星モニタリングシステムによるグローバル CO ₂ 変動観測システム	南京大学 居为民 2,800 万元 (5年)
	グローバル気候変動における陸地水循環の役割に関する研究	中国水利水電科学研究院 嚴登華 2,800 万元 (5年)
大気汚染原因及び制御技術 (93件、総額 10.62 億円)	船舶による大気汚染廃棄物の制御技術とデモンストレーション	上海齋耀科技集团有限公司 陳謹 4,500 万元 (4年)
	大気動的汚染源リストアップ技術及びデモンストレーション	清華大学 賀克斌 4,000 万元 (3年)
	東沿岸部複合型大気汚染に関する地上・空中・宇宙空間からのモニタリング技術	南京大学 丁愛軍 3,500 万元 (4年)

※支援金額が上位から 3 件ずつ記載

(8) 韓国

■気候変動とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2007		気候変動第4次総合対策 (2008～2012年)	2030	主要な産業に GHG 排出の削減目標設定。また 2030 年までに一次エネルギーの 9.0% を再エネで供給することを目標として設定。
2008	国家エネルギー委員会	第一次国家エネルギー基本計画 (2008～2030年) (NBEP: National Basic Energy Plan)	2030	従来は 5 年毎に 10 年間の計画を策定していたが、20 年間の計画を策定していたが、20 年間の計画を策定。2030 年までに一次エネルギー供給に占める再エネ割合を 11% と設定。
2009.7		低炭素グリーン成長国家戦略 (2009～2050年) および 5 年計画 (2009～2013年) ²⁶	2050	2030 年の GHG 排出削減目標を 2005 年比 ▲ 30%。2030 年の再エネ比率は 11% ※ 2009 年にコペンハーゲンで開催された COP15 にて 2020 年の GHG 排出 2005 年 BAU ケース比 (対策を講じない場合の排出量比) ▲ 30% を宣言。
2010.1		低炭素グリーン成長基本法		グリーン技術とクリーンエネルギーによって GHG 排出と環境汚染を減らす持続可能な成長を目指す基本方針。
2010.4	環境部 (MOE) 等の 13 部処庁合同	国家気候変動適応マスタープラン (NCCAMP: National Climate Change Adaptation Master Plan) (2011～2015年)	2015	健康、災害、農業、森林、海洋・水産、水管理、生態系、気候変動の監視・予測、産業・エネルギー、教育・国際協力の 11 分野で目標、主な課題などを提示。
2013.12	産業通商資源部 (MOTIE)	第二次国家エネルギー基本計画 (2013～2035年)	2035	2035 年の原子力発電比率を 29% (発電設備容量) と下方修正。その引き下げ分を天然ガスや石炭、再エネで賄うと規定。
2014.1	MOE	国家温室効果ガス排出削減ロードマップ 2020	2020	2020 年の GHG 排出 2005 年 BAU ケース比 ▲ 30% の目標に向けた 7 つのセクター (産業、ビル、輸送等) の排出削減目標を公表。 ²⁷
2015.12	MOE 等の関係 20 部処庁合同	第二次国家気候変動適応マスタープラン (2016～2020年)	2020	NCCAMP を引き継いだ適応計画。「科学的な気候変動リスク管理システムの構築」「気候変動に対して安全な社会の構築」「気候変動を活用した産業界の競争力強化」「持続可能な自然資源管理」「国内外の適応政策実施基盤の構築」の 5 つの政策課題に対応する適応策を提示。

²⁶ UNESCAP: Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and the Pacific Case Study, <https://www.unescap.org/sites/default/files/35.%20CS-Republic-of-Korea-National-Strategy-for-Green-Growth-and-Five9Year-Plan.pdf>

²⁷ Ministry of Environment News: National Greenhouse Gas Emissions Reduction Roadmap 2020, 2014 年 1 月 28 日, <http://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=titleOrContent&searchValue=roadmap&menuId=21&orgCd=&boardId=339283&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=>

2018.7	MOE	国家温室効果ガス排出削減ロードマップ 2030 ²⁸	2030	2014年のロードマップ 2020の改訂版。目標年を2020年から2030年に変えて削減目標を更新。 ※2015年にパリで開催されたCOP21で2030年のGHG排出2005年BAUケース比▲37%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 ²⁹ 。
2019	MOTIE	第三次国家エネルギー基本計画（2019～2040年）（見込み）		2018年末時点で検討中だが、2019年に国会提出され、文在寅政権の脱原発と温室効果ガス削減の方針が反映される見込み。

■その他の環境とエネルギー関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2013.12		社会問題解決総合実践計画（2014-2018年）		省庁横断で優先的に取り組むべき10の実践課題を設定。環境エネルギー分野に関するものも複数。
2014.3	MOE	第3次国家生物多様性戦略（2014～2018年）	2020	「生物多様性の保全と生態価値の向上を通じた創造経済の牽引」を2020年までと目標と設定。

■科学技術イノベーション関連

年	策定主体	名称	目標年	主な内容
2014.12	MOTIE	第3次エネルギー技術開発計画（2014～2023年）		エネルギー基本計画に基づくエネルギーの効率的な使用とGHG排出削減のための最上位の技術開発計画。5年ごとに10年計画を策定。
2018.4	国家科学技術諮問会議（PACST）	第4次環境技術・産業・人材育成計画（2018～2022）	2022	「環境技術と環境産業の育成計画」と「環境技術人材育成計画」を統合し、2022年までに5兆5526億ウォンを投資し、微細粉塵の低減、生活化学物質の管理、廃棄物の発生ゼロなどに向けた技術開発、海外市場の拡大等を推進する。
2018.6	科学技術情報通信部（MSIT）	第4次科学技術基本計画（2018～2022年）	2022	「技術により国民生活の質を高め、人類社会の発展に貢献」を最上位ビジョンとし、「未来の挑戦のための科学技術力の拡充」「革新が活発に行われる科学技術の生態系づくり」「科学技術がリードする新産業・雇用創出」「科学技術で誰もが幸せな生活を実現」の4大戦略のもと、重点推進課題を推進。

²⁸ Ministry of Environment: The revised plan of the national roadmap for greenhouse gas reductions by 2030 and the plan for the national greenhouse gas emission permit allocation from 2018 to 2020 are finalized, 2018年7月24日, <http://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=titleOrContent&searchValue=roadmap&menuId=21&orgCd=&boardId=903080&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=>

²⁹ <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20180702000451>

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が行われることが多い。2017年6月の文在寅（ムン・ジェイン）政権交代時には比較的小規模な変更に限られたが、「国家科学技術審議会（NSTC：National Science and Technology Council）」は廃止し、国家科学技術諮問会議（PACST）に統合する組織再編が行われている。現在の文在寅政権下では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。大統領直下の国家科学技術諮問会議は科学技術政策全体の総合調整や指紋機関と位置付けられている。

エネルギー政策は産業通商資源部（MOTIE：Ministry of Technology, Industry and Energy）が担当している。またその外郭機関として、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（MOE：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。また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

文在寅政権は主要政策課題として「国政運営5か年計画」を発表している（2017年7月20日）。5 大政目標、20 大政戦略、100 大政課題（487 実践課題）からなり、科学技術関係としては5 大政目標のうち「②共に豊かに暮らす経済」において5つの戦略の1つとして「科学技術の発展が先導する第4次産業革命」が挙げられている。またこれらとは別に新産業の創出に向けた複数の取組みも挙げており、環境・エネルギー関連では「電気自動車・水素自動車の普及拡大」や「太陽光や風力などの再生可能エネルギー分野の関連規制の緩和」、「微細粉塵の発生量を任期内に30%削減」が含まれる。

第4次産業革命に対応するため、2017年10月11日、大統領直属の第4次産業革命委員会が新設された。同委員会は「人中心の第4次産業革命」の推進を掲げ、政府レベルの大きな絵として「革新成長に向けた人中心の第四次産業革命対応計画」（I-KOREA4.0）を発表した（2017年11月30日）。この中で環境・エネルギー関連では以下の2件が挙げられている。

- エネルギー…電力効率化、スマートグリッドの全国普及、温室効果ガスの低減、高効率化技術の開発
- 環境…微細粉塵の精密対応、水質最適管理スマート上下水道の普及、IoTを活用した環境監視

またエネルギー分野に関しては、文在寅大統領が選挙公約で表明していた脱原発方針に沿って、政権交代直後の2017年6月に古里（コリ）1号機永久停止式典で脱原発宣言を行った。しかし、着工済みであった新古里（シンゴリ）5・6号機については2017年10月に建設継続する方針転換がなされた。2017年12月に産業通商資源部により策定された「第8次・長期電力需給計画」では、原発の新設は着工済みの5基（新古里5・6号機に加えて、暫定的に中止とした新古里4号機と新ハンウル1・2号機についても、社会的合意を通じて運転の是非を決定）にとどめ、運転期間を40年に限定し、11原発を停止するという方針が示されている。現在24基（2250万キロワット）の原発を2030年に18基（2040万キロワット）に減らし、再

生可能エネルギーや LNG 発電を拡大する方針が示された。国内では脱原発を進めるものの、国内産業の補完対策として、海外への原発輸出については積極的に進める姿勢を堅持しており、併せて今後は、原発解体技術の開発を進め、原発解体産業の育成にも努める方針としている。

「第3次国家エネルギー基本計画」（2019～2040年対象、産業通商資源部が検討中、2019年に国会に提出予定）においても、文在寅政権の脱原発と温室効果ガス削減の方針が反映される見込みである。

環境分野に関しては韓国がパリ協定を批准したのは2016年11月である。韓国は気候変動枠組み条約を1993年に批准していたが、2013年から温室効果ガス(GHG)の削減対象国となった。2018年に改訂された「国家温室効果ガス排出削減ロードマップ2030」は、2016年に一度公表された内容から変更が加えられている。排出量そのものは変わらないが、主な変更点は、国内削減分を減らし排出量取引分を増やしていることや、森林吸収分が追加されている等である。

3. 環境・エネルギー分野の STI 政策

現在の文在寅政権で「第4次科学技術基本計画（2018年～2023年）」が2018年6月25日に決定されている。重点科学技術として120項目があげられているうち環境・エネルギー関連では、エネルギー・資源として18項目、環境・気象として12項目があげられている。

表1.2.3-16 第4次科学技術基本計画に掲げられた環境・エネルギー分野の重点科学技術

大分類	中分類	重点科学技術
エネルギー・資源	電力とエネルギー保存	大容量・長寿命の二次電池技術、無線電力伝送・充電技術、スマートエネルギーグリッド技術、高効率の電力輸送技術
	再生可能エネルギー	高効率ガス発電技術、バイオと廃棄物資源エネルギー化技術、地熱エネルギー技術、高効率太陽電池技術、風力発電技術、水素・燃料電池技術、海洋エネルギー技術
	原子力	原子力エネルギー技術、原子力環境保護技術
	核融合・加速器	核融合エネルギー技術、次世代加速器技術
	資源開発と活用	インテリジェント融合資源探査技術、ICT基盤資源開発・処理技術、二酸化炭素回収・貯蔵・利用技術

環境・気象	気候・大気	微細粉塵などの大気汚染対応技術、 気候変動監視・予測・適応技術、 高効率エコ Non-CO ₂ の温室効果ガス削減技術、 自然災害監視・予測・対応技術
	環境・保健	有害要因の環境・人体リスク評価技術、 生活環境の安全性診断と予防技術
	水管理	スマート水循環と水資源の確保・管理技術、 環境の監視と管理技術、 水環境汚染物質超高度処理と制御技術
	土壌と生態系	土壌・地中環境汚染管理技術、 インテリジェントな自然生態系の保全と復元技術、 廃棄物資源リサイクル技術

エネルギー分野に関する研究開発方針である「第3次エネルギー技術開発計画（2014～2023年）」は、国のエネルギー基本計画と関連したエネルギーの効率的な使用とGHGの削減などのために推進する最上位の技術開発計画で、2014～2023年の10年間で、約20兆ウォン（政府支出12兆ウォン、民間支出8兆ウォンの投資を計画している。

環境分野に関する研究開発方針は、従来の「環境技術と環境産業の育成計画」と「環境技術人材育成計画」を統合した新しい5カ年計画として「第4次環境技術・産業・人材育成計画（2018～2022年）」が2018年4月に文在寅政権で決定されている。2022年までに5兆5526億ウォンを投資し、微細粉塵の低減、生活化学物質の管理、廃棄物の発生ゼロなどに向けた技術開発、海外市場の拡大等を推進するとしている。

4. 代表的な研究開発プログラム／プロジェクト

(1) Energy Innovation Architecture 2025（17の技術プログラム）

第2次国家エネルギー基本計画の達成に向け、2014年10月に開始。推進の方向性として、分散化、クリーン化、効率化、安全、知能化を掲げ、以下の17の技術プログラムを挙げている。

（主要プログラム － エネルギー供給）

- 次世代戦略的資源開発
- 高効率クリーン火力発電
- 国民の目線に合わせて安全安心な原子力発電
- 再生可能エネルギーのハイブリッドシステム
- 次世代クリーン燃料（バイオ燃料、石炭液化技術など）

（主要プログラム － エネルギー輸送）

- 次世代送配電
- CCUS

（主要プログラム － エネルギー需要）

- スマートホーム・ビル
- スマート工場エネルギー管理システム
- スマートマイクログリッド
- エネルギーネガワットシステム
- 需要対応型エネルギー貯蔵システム

（新技術プログラム）

- 未来のエネルギー発電
- ワイヤレス電力送受信
- 未来の高効率エネルギー変換 / 保存
- 3D プリンティングに基づく最先端の製造プロセス技術
- エネルギー IoT とビッグデータプラットフォーム

（2）Jeju Smart Grid Test-Bed

世界最大級かつ最も先進的なテストベッドの構築を通じて、スマートグリッド技術の商業化、輸出を狙う。5つの領域からなり、政府が7000万ドル、民間が1億7000万ドルを出資。

1. Smart Consumer

- Advanced Metering Infra Structure(AMI)、Energy Management System(EMS)

2. Smart Transportation

- EV Charging Infrastructure、Vehicle to Grid(V2G)

3. Smart Renewable

- Microgrid、Energy Storage、Power Quality

4. Smart Power Grid

- Smart Transmission and Distribution、Smart Power Communication Network

5. Smart Power Market

- Power Trade、Smart Grid Power Market Operation

（3）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7億ドル強となっている。

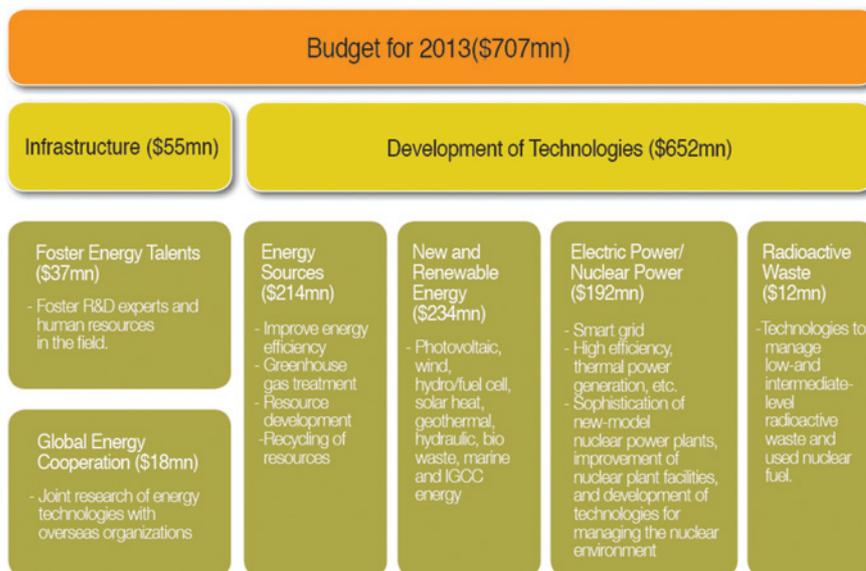


図1.2.3-5³⁰ 韓国エネルギー技術評価企画院のファンディングプログラム

³⁰ KETEP “Green Energy World、Global R&D Innovator” から抜粋

1.2.4 研究開発の動向

ここでは2018年11月に開催した「平成30年度 環境・エネルギー分野 俯瞰ワークショップ」における議論を基にして、今般の俯瞰で対象とした環境・エネルギー分野の研究開発動向についてまとめる（俯瞰ワークショップの開催概要については付録2参照）。

<エネルギー>

経済社会的観点からのポイント

環境倫理的観点からのポイント

研究開発動向のポイント：エネルギーシステム、エネルギー利用関連領域

研究開発動向のポイント：集中電源、大規模発電関連領域

研究開発動向のポイント：化学的エネルギーの活用関連領域

研究開発動向のポイント：分散電源、再生可能エネルギー関連領域

経済社会的観点からのポイント

① グリーンファイナンス

- 金融分野において Climate finance、Sustainable finance、Green bond 等のファイナンス関係の企画開発が進められていることは昨今の気候変動分野における国際的な重要動向。そこでは社会経済システムの中に環境・エネルギー分野の各種技術をどういう形で組み込むべきかという議論が技術開発とは別の次元で行われている。
- こうした動向の背景にはパリ協定がある。パリ協定は各国が自主的に示した目標や政策に対する法的拘束力を持たないため、推進のためのインセンティブが必要となっている。そのため技術に対してある種の評価軸を与えることにより資金の流れを作ろうという今般の動きがある。
- 例えばグリーンボンドでは、環境によいプロジェクトに対してファンドをつける、そのための基準作りが行われている。グリーンボンドとして適格かそうでないかを判断するガイドライン作りが検討されている。
- 例えば石炭火力については長期的な気候変動対策上「適切ではない」という判断をすべきかどうかの議論が行われる。確かに長期的な GHG 排出削減目標の達成に対しては、そのビルトインはマイナス要素と捉えられるが、一方で、石炭火力あるいは火力発電は CCS との組み合わせや一層の高効率化など統合的な技術として評価されることになれば、ビルトインされることが必ずしも大きなマイナスにはならないという評価もある。特に途上国のようにこれから安価で環境特性のよい電源が必要とされる地域が火力発電の導入を検討するような場合、従来型の火力発電を導入するのに比べれば削減に貢献するという見方も出てくる可能性がある。よってこうした議論は今後の技術開発の方向性に大きな影響を及ぼす可能性があるとともに、日本発技術の海外展開戦略を考える上でも重要になってくる。

- 一方、上記検討を行っているのは主としてビジネスや金融分野の専門家等であり、技術について十分な評価ができていないとは必ずしも言えない。そのため既存の国際的に認められている見通しや各種レポートが参照されているが、こうした世界の動きを理解した上で、日本の研究者もあらゆる機会を捉えて積極的な情報発信や専門性に基づく貢献を行っていくことが求められる。

② SDGs

- SDGs は地球の持続可能性を追求する包括的な目標群である。地球温暖化対策として「緩和策」が極めて重要であることは論を俟たないが、包括性という観点からは緩和策だけが目標となるとは限らず、他の目標との関係性にも配慮が必要。同時に、地球温暖化対策としては緩和策だけではなく、既に気候変動に伴う影響が指摘され始めている現状に鑑みれば、適応策への取り組みも重要というのが国際的な認識である。

環境倫理的観点からのポイント

社会的公平性

- 社会からの要請として大きなものは、持続可能性すなわち資源やエネルギーの持続可能な利用と、もう一つは社会的公平性である。
- 社会的公平性には、現在の世代と将来の世代の間での資源エネルギーの配分の問題と、同時代に生きている人々の中での配分の問題の2種類がある。エネルギー分野においては、後者に関する配分の問題、すなわちエネルギーを生産する地域と消費する地域が異なっているということが問題として議論されることが多い。例えば発電所をつくる、風車をつくる、太陽光パネルをつくるといったときの地域社会の受容可能性が問題になる。また生産地域は人口減少著しい地域である場合も多いため、公平性への担保として生産地域をブランド化して人々が戻ってくるような仕組みが如何にして作れるかといった議論もありうる。今後、集中型あるいは分散型のエネルギーシステムについての議論がより活発になっていく際には、こうした公平性という視点があるということも念頭に置くことが重要である。

研究開発動向のポイント：エネルギーシステム、エネルギー利用関連領域

〔研究開発領域：エネルギー資源探査・開発技術、電気エネルギー利用（分散型エネルギーマネジメント）、熱エネルギー利用、エネルギーシステム評価〕

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- GHG 排出の大幅削減（ゼロエミッション）に向けた方策検討が一層強く求められている。その大きな流れの一つとしてゼロエミ電源由来電力の拡大（電化推進）の流れがある。
- 再生可能エネルギーの導入拡大や分散化の進展を系統とどう組み合わせていくかが重要なポイント。「エネルギーが上から下へ需要側に流れる」、「エネルギー構成を需要側に合わせてつくっていく」という考え方から、「エネルギーが下から上へ、分散型が沢山入ってくる」、「一方向のフローだったものがネットワーク状になってくる」という考え方によって変わってきている。こうした流れに沿った技術開発、制度改革が求められている。またエネルギー自体がサービス化するという流れも注目が高まっている。
- 再生可能エネルギーを増やし火力発電を減らした場合のエネルギーシステムにおける慣性力低下に対しての方策が必要になっている。パワエレだけで本当に解決できるのかどうか、太陽光等の分散型電源に対する要求や系統とのマッチングはどうか等の検討が必要になっている。これからインバーター接続の電源がふえていく中でこうしたことの評価が必要とされている。またその上で回転機をどれだけ残さなければいけないかといったことも検討が必要になる。
- 一方で、一つの技術の効率性が色々な部分に波及したり、多少の不確実性がシステム全体の安定性に一定の影響を及ぼしたりするようなことが起きてきており、全体的な解析が一層難しくなっている。
- 電化推進の流れの中では、生産プロセス等、今まで電気を使っていなかったところで電気をどう使っていくのかという点も課題になっている。ただし本質的に難しい分野もあり、慎重な議論が必要とされている。
- エネルギーシステム：階層的なモデリング（地域エネルギーの詳細な需要調査、エネルギーマネジメント評価）
- エネルギー資源探査・開発・CCS：衛星の画像解析（IT 技術の進展）、掘削（制御技術、CO₂EOR の高度化）
- 電気エネルギー利用：分散型エネルギー資源（DER）（蓄電池、需要側制御）、VRG（PV 対応、風力対応）
- 熱エネルギー利用：産業用・民生用とも熱交換器、材料に根差した熱エネルギー技術

② 科学技術上の課題

- 産業用の高温熱源に対応した技術
- 系統（グリッド）の安定化および高信頼化
- 負荷追従性の高い電源に係る技術開発
- パワエレの高度化（変動への対応性、系統への親和性など）
- 上記の中で必要になる材料開発（長寿命化、高温高圧耐性）、ICT 関連技術開発

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- 地域のエネルギー需要データを収集、活用、管理する仕組みの構築
- 日本領域内に存在する CCS の貯留層の規模並びに経済性の推定
- 規制の適正化（EV の計量など）
- 制度設計（CO₂ 価格など）

④ 日本の立ち位置

- 日本というローカルな領域での対策が多く、国際ネットワーク化されていない。
- 電気エネルギー利用関連分野は技術的に高いレベルにある。今後は海外展開（アジアでの制度設計も含めて）を進めていくための検討も必要。熱利用関連分野も同様。
- CO₂ 回収技術には日本の強みがありそれを基にした展開が必要。

研究開発動向のポイント：集中電源、大規模発電関連領域

[研究開発領域：火力発電、原子力利用、燃焼、トライボロジー]

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- 従来、火力発電のような集中電源は高効率化が主要課題となってきたが、北海道のブラックアウトで顕在化したように、電力系統との関わり合いが新たな研究課題になっている。エネルギーシステムのレジリエンスを高めるために集中電源に求められる機能の探索およびその研究開発が必要とされている。
- 系統連系の問題：火力、原子力が再生可能エネルギーとどう共存していくのかについての議論が必要。その上で再生可能エネルギーの変動に対するバックアップを担うために必要な技術に関する研究開発課題を特定、推進することが必要。再生可能エネルギーとの統合下での負荷変動対応、部分負荷効率向上等に係る技術開発。過渡的な状態で異常な燃焼が起こらないようにするための技術開発。摩擦、摩耗等に起因した機械要素のトラブル発生を抑制、予防するための技術開発。統合的、融合的な運用のための IoT/AI 関連技術開発。

- IPCCによる1.5°C特別報告書で示された現状認識は、集中電源の技術開発の方向性にも影響を及ぼすと考えられるため、今後はGHG排出大幅削減のためにネガティブエミッション技術をどう視野に入れていくのかの検討も必要になってくる。

② 科学技術上の課題

- シミュレーション技術：原理に基づいた機構論的なモデルの集積（マルチスケール、マルチフィジクス）。システム全体のシミュレーション（サイバーフィジカルシステム）。
- レジリエンス向上：レジリエンスを判断するための統合的なデータ、モデル、数理的な研究（エネルギー問題におけるモデルベースエンジニアリング）。
- メンテナンストライボロジー（摩擦、摩耗による劣化等の故障の原因に関する研究）
- 燃焼とトライボロジー（異常燃焼の原因となる潤滑油の改良）

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- 海外との連携も踏まえた人材育成（欧米と中国の強力なネットワーク構築の動き。米国の学際的研究プログラムMURIプログラム）
- マルチスケール・マルチフィジクスな統合的シミュレーションの実現を支える研究開発環境（プラットフォーム）
- 原子力に関する安全性向上への取り組みの見える化
- 高効率化：一定の効率以上でないとプラントが運転できないとする法規制によって実施ハードルが高まるような新規技術開発へのインセンティブ検討
- 高効率化に加え、レジリエンス及び信頼性確保に重心を置いた技術開発の推進という方向性の打ち出し
- 公的な研究開発支援における中長期的なタイムスパンの研究開発の許容（燃焼：約2年、火力発電：約20～30年、原子力：約60～80年という様々なタイムスパンの研究開発がある中で、現在は経済性という観点から市場原理を持ち込んだ短期スパンでの研究開発支援が主流となり、長期スパンの研究開発が疎かになりがちな状況にあるとの指摘）

④ 日本の立ち位置

- 基礎フェーズの中規模・大規模連携研究（科研費や、個別の研究者もしくは数人の研究グループのレベルの基礎研究）では諸外国に比較して充実した環境にある一方、分野を融合するような形、境界領域を融合するような形での連携研究が遅れている。
- 応用フェーズでは原子力分野で中露の台頭、燃焼分野でサウジアラビアの台頭が目立つ。

研究開発動向のポイント：化学的エネルギーの活用関連領域

〔研究開発領域：CCU、バイオマス、熱エネルギー利用、化学エネルギー利用（主にエネルギー物質変換）、基礎化学品合成プロセス〕

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- 再生可能エネルギーの貯蔵・輸送・利用のための技術開発（蓄電、蓄熱、Power to X、CCU）が欧米を中心に進められている。
- 再生可能エネルギー由来電力を利用して水から水素を一旦作り、もしくは水素を介さず直接的に、様々な化学品、メタン、液体燃料等を製造するための技術開発は、欧州では「Power to X」と呼ばれるプロジェクト等で多数推進されている。
- Power to Xの中でも炭素源にCO₂を利用して様々な化学品等を製造するための技術開発は、原料分の化石資源利用を削減でき、また環境中のCO₂の回収も期待できることから「CCU」の一つとしても認識されている。ただし全ての化学品をCO₂から作ったとしても削減効果は化学産業からのCO₂排出の5%程度であると見込まれており、量的なインパクトは必ずしも大きくないと考えられている。
- 脱化石資源を目指す動きとして、水素バリューチェーンの構築に向けた取り組みが日本をはじめ活発化。
- 「Bioeconomy」という新しいビジョンに基づいて、バイオマスエネルギーだけでなくマテリアルとしても積極的に利用していくための技術開発の動きがある。またバイオマスへのCO₂の蓄積を促すBECCSは、大気CO₂除去技術（ネガティブエミッション技術）の一つとして位置づけられている。
- 再生可能エネルギーは組み合わせ利用という考え方が重要であり、その中では太陽光、風力のように主流と目されているが変動するものがある一方、バイオマスは国内では量的な制約もあり地熱等とともに補助電源、補助ベースロード電源との考え方。

② 科学技術上の課題

- 再生可能エネルギーや未利用熱の活用のための革新的触媒（光触媒・電極触媒など）の開発
- 低エネルギー投入で化合物を変換・合成するための反応制御技術（例：C-H結合活性化反応、C-C結合活性化反応）
- 水からの水素製造および水素キャリア関連技術開発（製造、貯蔵、利用）
- 熱の一層の利用を目指した熱マネジメントの高度化（新規熱交換システム・蓄熱・熱輸送・反応システム）
- 太陽光よりも社会実装が先行している太陽熱利用では次のターゲットは利用温度の高温化。600～800℃ぐらいの熱を貯められる、輸送できる技術。
- 電気自動車では熱利用が重要なポイント。電気自動車の電池（リチウムイオン電池）の約3～4割を暖房、冷房に使っているため、熱回収・蓄熱できればインパクトは大きい。

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- 排熱の賦存量把握が十分でない。
- 持続的に利用可能なバイオマス資源量の把握が必要。
- 社会的、量的インパクトのあるターゲットを決めた上でのメリハリある研究開発投資が重要。
- 再生可能エネルギー由来電力を利用するにあたっての負荷追従性（例：水電解装置の間欠的な運転における課題）は未解明。

④日本の立ち位置

- 水からの水素製造や水素キャリア技術等、再生可能エネルギーの貯蔵・輸送のための技術開発（PtoX、CCU、蓄電・蓄熱）の基礎技術は世界トップレベル。人工光合成の研究開発も最先端にある。
- CNF（セルロースナノファイバー）の研究開発は世界トップ。
- 基礎研究では世界トップレベルにあるものも多いが、実用化にいたる応用研究は、一部では実施されているものの密接な産学連携の土壌を有する欧米と比較すると少ない。
- 技術の海外展開による国際貢献が必要。

研究開発動向のポイント：分散電源、再生可能エネルギー関連領域

〔研究開発領域：太陽光発電・太陽熱発電、風力発電、その他の再生可能エネルギー利用（地熱、海洋）〕

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- 世界（とくに EU、中国）は本気で再生可能エネルギーの主力電源化に向かっている。発電コストは低下し、火力発電等に対しても競争力を持ちつつある。予測技術を活用することで変動への対応も可能な例が出てきている。またこうした動きは研究開発と産業育成がセットになって進められている。
- 太陽光発電は導入拡大を続けている。大規模導入に伴い発電量の正確な予測の必要性が増大している。また劣化機構の解明等による長期信頼性の向上等、ストックマネジメントを目的とした課題へのシフトも見られる。用途拡大も進展しており、一例としてソーラーシェアリングと呼ばれる農業との連携事例がある。宇宙太陽光発電に関連する技術として無線送電技術があり、その実証試験が行われている。
- 太陽熱発電では高温化・高効率化が注目動向。タワー型プラントで 700～800℃の熱を作り、輸送・蓄熱して超臨界 CO₂ タービンで発電するというシステムがある。また高温太陽熱を利用した水素等の燃料製造および CCU への適用等も検討されている。

- 風力発電は技術進展により着床式洋上風力発電の施工が効率化している。浮体式洋上風力発電は日本や欧州で実証研究が進行中である。また風車の運転保守に関する技術開発も進展しつつある（寿命診断、運転状況の把握・最適化等）。
- 地熱発電では地熱貯留層の空間的位置の可視化（弾性波探査の適用及び他の探査データを含む統合解析手法の開発）や生産技術（掘削、スケール対策、環境調和等）の開発等が進められている。超臨界地熱開発に向けた調査も進められている。
- 海洋発電では波力発電の性能向上のための制御技術開発や相反転プロペラ式潮流発電装置の開発等が進められている。

② 科学技術上の課題

- 大規模システム化のための包括的な設計手法及びシミュレーション技術の開発
- 運用中のシステムからのデータのリアルタイムな収集・活用等に基づくアセットマネジメント技術の開発
- 電力の融通だけではなく、ガス化や熱の融通も含めたエネルギーシステムの研究開発
- 余剰電力の安価な処理技術の開発（揚水発電、コージェネ発電所の発電比率変更、溶融塩による蓄熱、水素および水素キャリア製造等）
- 高度電力伝送技術の開発（低損失、遠距離）
- 太陽光発電：調整力、電圧サポート、遠隔制御のためのスマートインバータや疑似慣性力を持つインバータの開発
- 太陽熱発電：高エネルギー密度かつ低コストな蓄熱技術（潜熱蓄熱、化学蓄熱のための材料探索）
- 風力発電：大型部位の長期信頼性確保のための負荷制御や翼構造素材の開発、安価な洋上構造物（浮体式、着床式）の開発
- 地熱発電：高精度の地下イメージング技術・地熱探査技術、地熱貯留層のシミュレーション・モニタリング及び各種データ採取・整備・活用
- 海洋発電：高効率・低コストの波力・潮力発電装置、海流発電装置の係留技術や姿勢・水深の制御技術

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- 優れた要素技術や既存技術を活かすシステムインテグレーションに関する研究の評価を研究者間でも高めていく必要性。
- 市場形成や国民の合意形成等を含めた政府による総合的な主導。
- 法規制の緩和、個別法の制定（例：洋上風力新法への期待、温泉法）。
- 地域間での系統連系の推進（例：北海道と本州）。
- 再生可能エネルギー関連学協会の連携による発言力の強化、政策提言等。
- 国内メーカーが当該関連産業から撤退する事例が多く、技術力の低下やアカデミアにとっての共同研究先の減少が懸念されている。

- 太陽光発電・太陽熱発電：ソフトコスト（手続きや誘致等に係るコスト）の低減が必要になっている。
- 風力発電：長期にわたる海域の占有を実現するための統一的ルールがなく、また海運や漁業等との調整を図るための枠組みも未整備であったことによる国内事業リスクの高さが指摘されている。その他にも国内ブレード製造メーカーの不在や市場の成熟に伴う世界的な市場寡占化の進展等の懸念事項がある。
- 地熱発電：実機の 1/10 ～ 1/2 スケールの大型模型を用いた実海域試験段階への支援不在、地熱普及のための法制度整備等に課題。

④ 日本の立ち位置

- 技術はあるがエネルギー源にあまり恵まれていないため手持ち技術の活用戦略が必要。
- 太陽光発電・太陽熱発電：基礎、応用ともに一定の成果があるが、太陽熱発電は応用フェーズでの顕著な成果が見えていない。
- 風力発電：基礎・応用ともに日本の顕著な成果が見えていない。台風や冬期雷といった東アジア特有の気象現象に対するガイドラインや標準の制定等を主導することによる国際的な競争力向上を狙う等の戦略性が必要になる。
- 地熱・海洋：産学官共同による研究開発推進が必要。地熱ではフラッシュタービン、坑口装置等の開発で世界トップレベルにある。海洋では波力発電（NEDO 実証プロジェクト）で 30 円 / kWh、潮流・海流発電（NEDO 実証プロジェクト）で 30 円 / kWh の目標を達成済み。

<環境分野>

環境倫理的観点からのポイント

研究開発動向のポイント：環境観測関連領域

研究開発動向のポイント：気候変動適応関連領域

研究開発動向のポイント：環境分析・汚染除去 / 浄化・リサイクル関連領域

環境倫理的観点からのポイント

① 言葉の研究と地域の研究

- 気候変動影響に関するリスクコミュニケーションや社会・生態系システムの研究では人文社会科学が果たすべき役割が多いにある。人文社会科学の研究には言葉の研究や地域の研究があり、リスクコミュニケーションには言葉の研究、社会・生態系システムの研究には地域の研究が関連深い。

- 地域の研究に関しては、ローカルノレッジとも言われるような地域ごとの生態系管理やリスク管理の考え方についての研究において文化人類学者等によるフィールドワークの知見が役立つと期待される。

② 社会的公平性

- 環境倫理学の題材の一つは社会的公平性である。その中には世代間の公平性（世代間倫理とも言われる）が含まれる。最近、工学系の研究者らにより「フューチャーデザイン」というキーワードで将来世代の立場から現在の問題を考えようとする試みがなされており、世代間の公平性に取り組む実践事例の一つとして新しい動きと捉えられている。

③ 多様な価値観を前提とした合意形成

- もう一つの環境倫理学の題材は価値論である。以前の環境倫理学では、自然の価値というのを一本化して、一つの大きな価値に皆従ってもらうというアプローチがあった。しかし今はそういったことはほとんどなくなり、むしろ色々な価値観や価値基準の多様性があるという認識の下で、どういう風に合意形成していくかというアプローチになっている。ここでいう色々な価値観には、気候変動問題や経済的価値に加えて美的価値、宗教的価値、内在的価値、学術的価値等がある。

研究開発動向のポイント：環境観測関連領域

[研究開発領域：気候変動観測、水循環、生物多様性・生態系の把握]

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- 地球環境の変化や人間社会による影響の解明、予測、対策検討等に関する様々なニーズに応えるべく環境観測の手法や技術の高度化・多様化が進んでいる。また観測精度や観測項目が向上・拡大する中、データ解析の技術も AI の活用や統計手法の高度化により進展著しい。
- 無人航空機（UAV）/ 遠隔操作型潜水機（ROV）/ 自律型無人機（AUV）等の新しい機器を利用した観測が普及しつつある。それに伴って関連する各種センサーの開発も進められている。
- センサー自体の駆動・管理・制御・データ送信のための技術開発も進んでいる（例：海洋の自律型プロファイリングフロートによる物理・化学・生物観測の実用化）。
- CO₂ と短寿命気候汚染物質の日本独自の観測衛星計画が進展している。
- 次世代静止衛星の高分解能化が進んでいる。
- 海洋の温室効果ガス変動と海洋酸性化観測がネットワーク化されてきている。

- レーザーと高反射ミラー内蔵のキャビティリングダウン分光装置の利用による温室効果ガスの多成分・連続現場観測の普及が進んでいる。
- 能動光学（植生ライダー、雲・エアロゾルライダーなど）を用いた観測の高度化が進んでいる。
- 雨量観測技術（高精度化、IT 利用、短時間降雨予測、スパコン応用、等）に加えて河川の情報、水位や流量の観測技術の進展が注目されている。
- 多様な生物種の DNA バーコーディング、機能遺伝子のデータベースの拡充が進展している。
- 気象モデルと連携した生態系変化予測研究の進展が見られる。
- 衛星観測、環境 DNA 等の各種環境関連ビッグデータの活用が注目されている（例：機械学習等の技術を用いた地球観測データの解析）。
- 中国をはじめとしたアジア諸国の台頭が注目されている。

② 科学技術上の課題

- 衛星観測の空白域（雲がかかりやすい領域や熱帯雨林）を埋めるモニタリング観測研究
- 環境リモートセンシングのためのセンタ素子の技術開発のキャッチアップ
- キャビティリングダウン分光装置による安定同位体比測定精度向上（質量分析計レベル以上）
- 大気鉛直プロファイル観測用（特に低高度）の UAV 利用安全確保技術に関する研究
- UAV/ROV や画像解析を活用した生態系観測技術の開発
- 高時空間分解能レーダによる降水観測や河川水位・流量観測等におけるデータ同化技術の向上
- 地下水及び積雪に関する観測データの強化
- 環境関連ビッグデータのアーカイブ化（データの所在・種類等の透明性、利用しやすいフォーマットでの蓄積・管理、データペーパー等のインセンティブ、公的機関による環境データの公開、海外のグッドプラクティス参照等）
- 情報やデータの不確実さ、複雑性、非線形性に対応可能な新しい数理統計手法の開発
- 自然資本としての生態系の生態学的、経済学的評価研究

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- ビジネスとは距離があり、また日本国内に留まらないグローバルな利益に資する研究に予算がつきにくくなっている。
- 観測プラットフォーム（大気・水・物質循環と生態系予測のための統合的かつ省庁横断的な観測基盤）の整備

- 野外操作実験施設の整備
- 観測インフラの共有やデータの集積等を行う中核的機関とそれを支援する主体
- 観測研究とモデル研究の連携
- 観測衛星の予算化の仕組みの改革（縦割りから共通化へ）
- 森林、河川、農地、下水道、環境等の各種施策の連携及び一体的管理（総合的な水循環マネジメント）
- 海外の水問題の適切な把握（日本社会への影響の早期感知）
- 長期モニタリングやデータベース運用の継続性、安定性（人材・予算等）
- 若手人材の育成と技術の継承

④ 日本の立ち位置

- 現在の立ち位置は良好。しかし東アジア諸国の台頭を踏まえ、将来を見据えた戦略的なシナリオ構築が必要（質の重視、研究の多様性の確保等）。
- 欧米と比較すると人数が少ない（大気観測では統合的な解析を行う分野で人材不足）。
- 気候変動観測衛星についての戦略立案はここ数年停止状態。
- 海洋 CO₂ 観測では日本の公的研究機関等が国際的に重要な貢献を果たしている。
- 野外での大規模操作実験や広域なデータ統合に基づく実証研究等は欧米に比して遅れている。

研究開発動向のポイント：気候変動適応関連領域

〔研究開発領域：気候変動予測、生物多様性・生態系の管理・活用、健康・都市生活〕

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- 気候変動の影響評価と適応策の検討が進展。その目的として人類の福利が強く意識されている。
- 極端現象への温暖化の寄与がどの程度あるかに関する研究（イベント・アトリビューション分析）が進展。
- ストーリーラインアプローチ（予測結果の類型化に基づいた影響評価）の出現。
- 力学的ダウンスケーリングが進展（建物レベルまで可能に）。計算資源が制約になっている。
- 対象として都市レベル、地域レベル、生活レベルが注目されている。
- 社会・生態系を一つのシステムと捉えた研究（従来は生態系のみ、あるいは社会のみ）。
- 自然を基盤とした解決策（NbS、Nature-based Solution）の研究が日米欧で進んでいる。
- 環境省で「環境研究・環境技術開発の推進戦略」を策定中。

② 科学技術上の課題

- 降水量分布に関するシミュレーションの再現性向上のためのモデル改良
- NbSに関連する大型プロジェクトが進む中、全体としての進捗状況理解やリサーチギャップの把握のための国際的なストックテイキングの必要性
- 生物多様性・生態系に関する分かりやすい評価指標や目標の設定（例：エコシステムレッドリストの活用検討、時空間ダイナミクス評価手法等のレジリエンス評価手法）
- 社会転換のための分野融合的研究の実施（気候変動による影響等に関するリスクコミュニケーションや社会・生態系システムの解明における自然科学と人文社会科学の融合）
- 不確実性を含むダウンスケールシミュレーション結果の社会への提供手法（例：ヒートアイランド現象等の対策検討のための高解像度ダウンスケーリング）
- グリーンインフラの機能の実証および社会実装方法検討

③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）

- 分野融合研究への公的投資の強化
- 情報発信と科学に基づいた政策への貢献
- 発展途上国での積極的な社会実装（公衆衛生プログラム構築等）
- 社会実装への道筋検討やコーディネートを担う人材を含む人材育成
- 多分野連携を中心的に進める研究機関の必要性
- 各省庁が示すロードマップへの積極的な応答

④ 日本の立ち位置

- 防災研究者、温暖化緩和シナリオ開発研究者、気候科学者らの連携が増加し、地球システムモデル（ESM）の成果を適応策・緩和策立案に活用する素地が整備されてきた。
- 国内では統合的な研究を推進する公的プログラムがいくつか進行中。
- 国際的には ISI-MIP という適応関連研究のネットワークに関与しているが、全般的には国際的なネットワークやプラットフォームへの参画が必ずしも積極的にはなされていない。

研究開発動向のポイント：環境分析・汚染除去／浄化・リサイクル関連領域

【研究開発領域：水処理、環境分析・物質動態、汚染物質の除去・浄化、資源・生産・消費管理、リサイクル・資源利用効率化】

① 注目動向（科学技術、研究開発上の現在のトレンドやエマージングな動向）

- Food-Energy-Water Nexus（食料・水・エネルギーのネクサス）と呼ばれる食料、水、エネルギーの生産と消費の相互依存性に関する分析に基づく議論が徐々に増え活発化している。
- EUでは野心的な目標（2030年までに廃棄物は65%、包装廃棄物は75%をリサイクル、埋め立て廃棄量を10%削減）の下、Circular Economy（循環型経済）への取り組み活発化。
- 有用資源や汚染物質等の越境輸送に伴う問題のグローバルイシューとしての顕在化
- プラスチック規制動向の活発化
- CNT等の新材料、プラスチック、あるいは各種化学物質が人の健康や生態系・生物多様性等に及ぼす影響への関心の高まり（毒性研究への期待の高まり）
- 分析技術の進展（性能向上、バイオアッセイ等のライフサイエンス分野の技術の応用）
- 海水淡水化向け逆浸透膜のエネルギー高効率化・低ランニングコスト化技術の進展（耐久性の高いロバスト膜、透過性の高い膜、炭素粒子混合ポリマーを用いた膜等の開発）
- 水道水の安全常時稼働を担う地方自治体の体力低下、及び新技術、新システムへの慎重姿勢
- 日米欧と比較して自動車排出ガス規制や工場排気規制等が弱い途上国等での大気環境問題の継続、及び経済事情から進まない新型低排出ガス自動車への買い替え
- 中国政府はじめ複数国での大胆な電気自動車への転換策、あるいは従来車への規制の動き

② 科学技術上の課題

- 対象に応じた毒性評価手法の構築（バイオアッセイによる迅速計測、IATAによる毒性発現システムの網羅的研究等）
- 毒性発現に至る代謝経路の解明
- 社会的要請に迅速に応えるための集中的な研究プロジェクトの推進（例：プラスチック自動分別技術開発、毒性評価研究）
- 規制による効果の評価でも必要となるプラスチックのマテリアルフロー把握
- デザイン for リサイクルの推進（ライフサイクル全体最適の観点から健康被害リスクや環境負荷リスクに対応した設計を行う）
- 環境指標の多角化（CO₂排出量だけにならない多角的な環境影響評価の必要性）
- 逆浸透膜の性能向上（透過性、耐久性、薬品耐性）、新素材

- 新規除去対象物質や回収対象資源物質に備えた研究
 - 親水性の高い汚染物質（PFOS、PFOA、農薬等）の捕捉、対策
- ③ その他の課題（研究開発を推進する上で解決すべき課題）**
- 異分野連携による分野横断的研究の必要性
 - 国際共同研究等を通じた国際連携の必要性
 - 途上国への環境技術協力
 - 社会制度設計（リサイクルへのインセンティブ付与等）
 - 社会からの要請に応える毒性研究の在り方（時間、資金、人手がかかるため、社会的に要請に迅速に応えることが難しい場合がある。分析技術・測定技術の向上により新たに検出される懸念事項をどう取り扱い、また社会に対してどう伝えるかという問題がある）
 - 水道水の安全常時稼働を担う地方自治体の余裕不足、および新技術、新システムへの慎重姿勢
- ④ 日本の立ち位置**
- 個別の要素技術、要素研究では高いポテンシャルを持つが、システム的な取り組みでは欧米と比べて遅れが見られる（例：毒性データベース、毒性予測ソフトウェア）。
 - 自動車排気後処理技術は基礎・応用ともに世界トップ水準の研究開発を展開。

次に、本書の第2章で取り上げた26の研究開発領域について、各国・地域の「基礎研究」フェーズと「応用研究・開発」フェーズの「現状」及び「トレンド」を評価した国際比較結果の一覧表を表1.2.4-1と表1.2.4-2に示す。本表を参照するあたっては、CRDSによる主観的評価（エキスパートレビュー）であること、日本を基準とした相対評価ではないこと、補足として「評価の際に参考にした根拠など」を第2章には記載していることに留意が必要である。

表1.2.4-1 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								
1 エネルギー資源探査・開発技術*	*CCS含む	現状	○	○	◎	◎	◎	○	△	○	—	△
		トレンド	→	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	→	→
2 火力発電		現状	○	◎	◎	○	○	△	◎	◎	○	○
	トレンド	→	→	↗	→	→	↘	↗	↗	→	→	
3 CCU (Carbon Capture and Utilization)		現状	◎	◎	◎	◎	○	△	△	x	△	x
	トレンド	↗	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	→	↗	→
4 原子力利用	新型炉	現状	△	△	△	○	△	○	○	◎	△	△
		トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	↗	→	↘
	核融合	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	→	↘	→	→	→	→	↗	↗	→	→	
5 太陽光発電・太陽熱発電	太陽光	現状	○	○	◎	○	◎	○	○	◎	△	△
		トレンド	→	→	↗	→	↗	↗	→	↗	→	→
	宇宙太陽光発電	現状	○	○	△	○	x	△	◎	◎	○	○
		トレンド	→	→	→	↗	↘	↗	↗	↗	→	↗
	太陽熱発電	現状	○	△	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	x
		トレンド	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
6 風力発電		現状	△	△	△	x	◎	◎	△	△	x	△
	トレンド	↗	→	↘	↘	→	→	→	→	↘	→	
7 バイオマス利用		現状	○	△	○	○	◎	◎	△	△	△	○
	トレンド	↗	→	→	→	↗	↗	→	→	→	↗	
8 その他の再生可能エネルギー (地熱、海洋)	地熱	現状	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	△	△
		トレンド	↗	↗	→	→	↗	↗	→	→	→	→
	海洋	現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎
		トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
9 電気エネルギー利用		現状	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	トレンド	→	↗	↗	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	
10 熱エネルギー利用	蓄熱技術	現状	◎	△	○	○	◎	◎	◎	◎	○	△
		トレンド	↗	→	↗	↗	↗	→	↗	↗	→	→
	熱再生利用技術	現状	○	○	◎	○	○	○	△	○	△	○
		トレンド	→	→	↗	→	→	↗	↗	↗	→	→
	居住空間の熱マネジメント	現状	◎	○	△	○	◎	○	△	△	—	—
		トレンド	↗	→	→	↗	→	→	↗	↗	→	→
11 化学エネルギー利用		現状	○	◎	○	○	○	◎	△	○	○	○
	トレンド	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	↗	→	→	
12 基礎化学品合成プロセス		現状	◎	△	◎	○	○	△	◎	○	○	x
	トレンド	↗	→	↗	↗	→	↘	↗	→	↘	↘	
13 燃焼		現状	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△
	トレンド	→	→	→	↗	→	↗	↗	↗	→	→	
14 トライボロジー		現状	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	x	△
	トレンド	↗	↗	→	→	↗	→	↗	↗	↘	→	
15 エネルギーシステム評価		現状	○	○	△	△	○	○	○	○	—	○
	トレンド	↗	→	→	→	→	→	↗	↗	○	↗	

表1.2.4-2 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								
16 気候変動観測	衛星による観測	現状	○	○	◎	○	◎	◎	△	○	△	△
		トレンド	↘	↘	→	→	→	→	↗	↗	→	→
	大気の観測	現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	△	○	△
		トレンド	→	→	↗	→	→	↗	↗	→	↗	→
	海洋の観測	現状	◎	△	◎	◎	◎	△	○	△	○	△
		トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	→	→	→
17 気候変動予測		現状	◎	○	◎	◎	◎	◎	△	○	△	○
		トレンド	→	↗	↘	↘	→	↗	↗	↗	↗	→
18 水循環		現状	◎	○	◎	◎	○	◎	○	○	△	△
		トレンド	→	↗	→	↗	→	→	→	→	→	→
19 水処理		現状	○	○	○	○	◎	◎	○	○	○	○
		トレンド	→	→	→	↗	→	→	↗	↗	↘	→
20 生物多様性・生態系の把握		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△
		トレンド	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
21 生物多様性・生態系の管理・活用		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	△	△
		トレンド	→	→	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	→
22 環境分析・物質動態		現状	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○	△	△
		トレンド	→	→	→	→	↗	↗	↗	↗	→	→
23 汚染物質の除去・浄化技術	大気汚染	現状	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	○
		トレンド	→	→	→	→	→	→	↗	↗	→	→
	土壌・地下水汚染	現状	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△
		トレンド	→	→	→	→	→	↗	↗	↗	→	→
24 資源・生産・消費管理		現状	○	○	○	◎	◎	◎	×	◎	△	△
		トレンド	→	→	→	↗	↗	↗	↘	↗	↘	↘
25 リサイクルと循環利用		現状	△	○	△	△	○	◎	△	○	△	△
		トレンド	→	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	→	→
26 健康・都市生活		現状	○	○	-	○	◎	◎	-	△	-	△
		トレンド	↗	↗	-	↗	↗	↗	-	↗	-	↗

1.2.5 社会との関係における問題

環境・エネルギー分野の研究開発を進める上での社会との関わり方は大きく二つある。一つは研究を進める際に直面する事柄で、もう一つは技術の社会への導入・普及を考える際に直面する事柄である。

①研究を進める際に直面する事柄

（例1）データの整備・取扱い

省エネルギーやエネルギーマネジメント等の向上のために、住宅、ビル、工場等、様々な場所におけるエネルギー消費実態の詳細な解明が求められている。実際に一般家庭で導入が進んでいるスマートメーター（次世代電力量計）から得られるデータの有効活用は以前から注目されている。またそうしたエネルギー消費に関するデータは、個々の世帯の省エネ等のみならず、地域レベルでのより効率的なエネルギーマネジメントへの活用も期待されている。しかし、エネルギー消費に関するミクロなレベルのデータは整備されておらず、その重要性にもかかわらず、研究の進展は限定的である。一方で、こうしたデータは特定の個人の行動あるいは集団の行動を把握することにも繋がるため、データの取り扱いには一定の注意が必要となる。そのため当該研究分野の研究を進める際の留意点としてデータの適切な管理・利用が共通認識となっている。

（例2）トランスディシプリナリー研究・コンバージェンス研究

科学技術の発展に伴って扱う問題が高度化・複雑化するにつれ、異分野連携や異分野融合の必要性は今や広く認識されるようになってきている。昨今では更に進んでトランスディシプリナリー研究やコンバージェンス研究の重要性も指摘されている。全米科学財団はコンバージェンス研究の特徴を次の2点であるとしている¹：（1）問題に端を発した研究であること、（2）研究を通じて異なる分野の手法や考え方が統合され、新しい概念や方法論等が形成されてくること。

環境分野では特定地域を対象にその地域の社会-生態系システムの多様な価値を総合的に評価しようとする研究分野がある。こうした分野の研究を進める上では生態学的な研究を行う自然科学系の研究者や、地域の文化や歴史を研究する人文・社会科学系の研究者等、様々な分野の研究者が協力する必要がある。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。このような種類の研究には、従来の方法論だけではなく新しい価値観をもって臨むことが求められている。またこうした研究を取り巻く環境も、大学等における研究成果や業績の評価の在り方や、研究成果の地域への還元の方法等、従来の考え方に捉われすぎない柔軟な対応が求められている。こうした分野は他にもあり、例えば「水・エネルギー・食料問題の統合的解決のためのネクサス・アプローチ」もこうした特徴を有する研究分野である²。

¹ NSF 18-058 Dear Colleague Letter: Growing Convergence Research (<https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18058/nsf18058.jsp>)

² JST-CRDS: Beyond Disciplines – JST/CRDS が注目する 12 の異分野融合領域・横断テーマ（2018年）、2018

② 技術の社会への導入・普及を考える際に直面する事柄

（例1）気候工学研究

気候工学は「地球温暖化の対策のうちで、世界規模の気候を意図的に改変しようとする技術的対策群」であり、「緩和策」および「適応策」と並ぶものとされることがある³。大まかには2つの技術群に分けられ、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⁴と、CO₂を大気から取り除く二酸化炭素除去⁵の2種類である。詳細はここでは省略するが、これら2種類の技術群に関しては、技術以外の問題についても、例えばこれらがもたらす地球環境や社会への影響の可能性について、社会科学的研究や研究者間の議論等が以前から行われている。こうした研究は前述のトランスディシプリナリー研究に属するものとも言え、このような観点からの研究の重要性が今後一層増すものと考えられる。

（例2）ライフサイクルアセスメント

ライフサイクルアセスメント（LCA）は一般的に製品のライフサイクル全体（原料の採取、材料の加工、製造、流通、使用、メンテナンス、廃棄・リサイクル）を通じての環境負荷や資源消費を定量的に評価する技術である。温室効果ガス（GHG）排出量を始め、様々な評価指標がある⁶。LCAを行う意義としては、例えばGHG排出量を削減するためにある技術を導入した結果、ある条件ではGHG排出量が増加する可能性がある、といったことを予め評価することができる。またライフサイクルの一部では優れた性質を持つ製品あるいは技術であっても、ライフサイクル全体で見るときには必ずしもそうではない可能性もある、といったことも事前に評価できる。エネルギー関連技術の社会への導入・普及を考えるにあたっては多様な評価軸が必要と考えられるが、ライフサイクル全体を視野にいたした比較検討が重要であるとの認識は科学技術政策立案の現場においても定着してきている。

以下では、その他の代表的な事例について紹介する。

（例1）ダイベストメント

本書1.2.1の「ESG投資がもたらすインパクト」で触れた通り、ESG投資の投資手法の一つであるダイベストメント（投資引き揚げ）によってとりわけ石炭関連事業に対する視線は厳しさを増している。こうした社会的な情勢が関連分野の研究開発に及ぼす影響は今後一層強まる可能性がある。そのため、その正負両面について長期的な視点から慎重に検討することが必要になると考えられる。

³ 増田耕一, PETROTECH vol.38, No.7:21-25, 2015

⁴ 杉山昌広 & 増田耕一, エネルギー・資源 vol. 38, No.2:1-5, 2017

⁵ 加藤悦史, エネルギー・資源 vol.38, No.1:16-18, 2017

⁶ 一般社団法人日本化学工業協会（編集）：ライフサイクルアセスメント（LCA）－なぜやるのいつやるか．一般社団法人日本化学工業協会, 2013

（例2）再生可能エネルギー

導入拡大が進む中で再生可能エネルギーを巡る社会との関わりは従来よりも様々に顕在化してくることが予想される。例えば導入が進んでいる九州では2018年10月13～14日に離島を除き国内初の太陽光発電抑制が実施された。電気が余った場合にどうするかという問題は今後一層議論が活発化すると考えられる⁷。その他にも太陽光発電においてはパネルの設置と近隣住民との問題や、これらの廃棄の問題、また風力発電においては騒音問題や鳥の衝突等の問題が提起されている。太陽光発電や風力発電に限らず、再生可能エネルギーの導入拡大を推進する中では社会との関わりが極めて重要になる。

（例3）海洋プラスチックごみ

ここ数年で急速に注目されるようになった海洋プラスチックごみの問題は、直接的にはごみ廃棄の問題となるが、化学産業や関連分野の研究者にとっても重要な問題と認識されている⁸。企業の社会的責任やブランドイメージ・企業イメージへの影響懸念といった面と同時に、法規制の対象となる可能性を懸念する声もあるためである。実際にプラスチックマイクロビーズを含む製品の製造や販売を禁止する法規制が複数の国や地方自治体で制定されつつある。今後こうした動きが更に広がっていくことになれば、関連産業にとっては深刻な問題になる可能性もある。このような背景もあり日本企業を含む世界の主要な化学メーカー等によって国際的なアライアンスも設立された⁹。またEUは、「循環型経済」への移行を掲げる中で海洋プラスチックごみ問題への取組みを主導しようとしている。現在進められている生分解性プラスチックの海洋中での分解評価の国際規格の議論も欧州企業の研究者らが主導していると言われている。

このように、環境・エネルギー分野に関連する社会的な問題は、環境問題としてのみならず、各国・地域の産業政策との関連が深い場合もあるという点は、科学と社会の関係性を考える上でも見過ごせない重要な側面である。またこうした中、実態把握や影響評価、あるいは代替方策の開発等の科学技術、研究開発の社会的な意義が多岐に亘っているという認識がこれまで以上に重要になっている。

（例4）原子力発電

環境分野も含めたエネルギー分野の問題解決は、国主導の政策において行われることが多く、これに関する研究開発もこれら政策の影響下にある。このため、研究開発に携わる科学者の独立性確保と国民・市民とのコミュニケーションによる社会受容の観点が欠かせない。日本学術会議幹事会声明「東日本大震災からの復興と日本学術会議の責務」においても、①科学者コミュニティから政府への助言・提言を行うこと、②政府が科学者コミュニティの自立的な活動を保障すること、③市民との双方向のコミュニケーション、の重要性が強調されている¹⁰。

⁷ 資源エネルギー庁スペシャルコンテンツ、再エネの発電量を抑える「出力制御」、より多くの再エネを導入するために、2018年9月7日、http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/kyushu_syuturyokuseigyo.html

⁸ 海洋プラスチック問題対応協議会、JaIME事務局、2018、https://www.nikkakyo.org/upload_files/jaime/JaIME_jp.pdf

⁹ RecyclingToday、Alliance to End Plastic Waste targets plastic in the environment、2019年1月16日、<https://www.recyclingtoday.com/article/alliance-to-end-plastic-waste-targets-plastic-in-environment/>

¹⁰ 日本学術会議幹事会声明「東日本大震災からの復興と日本学術会議の責務」、2011

これら社会受容に関して、CRDS 環境・エネルギーユニットでは原子力の問題をテーマとした報告書「原子力の専門家に向けて～社会とともに原子力と向き合うために～」を平成 27 年 11 月に発刊し¹¹、科学者の役割、科学的助言の在り方、リスクコミュニケーションの重要性を論じた。他方、リスクコミュニケーションは、「画一的なゴールが存在し政策決定の障害となる諸問題を解決する処方箋になるもの」¹²として過度に期待されている面もある。しかし本来は、リスクコミュニケーションとは一定の理解を共有した上で議論を行うための土台であると考えるのが妥当と思われる。

（例 5）環境倫理学

環境倫理学は生命倫理学、情報倫理学とならぶ応用倫理学の三大テーマの一つであり、「倫理学者による環境問題の考察」という位置づけで捉えられている¹³。日本において環境倫理学が実質的に始まったのは 90 年代に入ってからのことと言われ、環境保護を中心とした欧米の環境倫理学と比べると比較的幅広いテーマが扱われている。

現在の日本では環境倫理学が法律や制度にまで影響を与えるような状況になっているとは言いがたい。しかし、環境・エネルギー分野を取り巻く社会の状況が様々に変化中、今後は環境倫理学が果たすべき役割は大きくなっていくものと予想される。関連する最近の事例としては、「日本学術会議高レベル放射性廃棄物の処分に関する検討委員会」が内閣府原子力委員会からの審議依頼に対して 2012 年 9 月にとりまとめた回答が挙げられる。その他の動向としては、環境倫理学が中心的なテーマの一つとして取り扱っている社会的公平性という問題に関連して、近年、「フューチャーデザイン」研究という取組みが、世代間倫理に関する実践的取組みとして注目されつつある。日本学術会議にも 2017 年 10 月からフューチャー・デザイン分科会が設置されている。

¹¹ JST-CRDS, 原子力の専門家に向けて～社会とともに原子力と向き合うために～ CRDS 環境エネルギーユニット 原子力サブユニット, 2015

¹² 第 7 期科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 安全・安心科学技術及び社会連携委員会（第 3 回）：「リスクコミュニケーションの推進方策」（仮称）作業部会の検討状況報告, 2013

¹³ 吉永明弘&福永真弓：未来の環境倫理学．勁草書房，2018

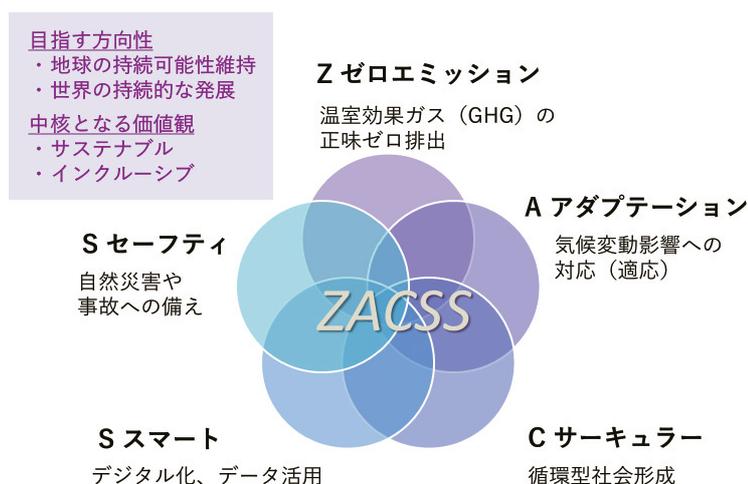
1.3 今後の展望・方向性

1.3.1 今後重要となる研究の展望・方向性

今後の我が国における環境・エネルギー分野の研究開発の方向性として重要なキーワードは5つある。それは、「ゼロエミッション」、「アダプテーション」、「サーキュラー」、「スマート」、「セーフティ」である。これらを大きな方向性として示しつつ、研究開発を統合的に推進していくことが必要である。

本書1.2でも概観したように、国際社会が目指そうとしている方向性には概ね共通の認識がある。それは持続可能な発展と、持続可能な社会の構築である。またこれに向かうためのあらゆる取組みを、持続可能性、包摂性を中心的な価値観として据えつつ進めようとしている。ここで示した5つのキーワードもこの価値観の中に包含されるものである。以下にはキーワードごとに研究開発との関連性を示す。

- 「ゼロエミッション」……当面の間は最も中心的な目標の一つである。ここでいうゼロエミッションとは、人間活動に伴う大気中へのCO₂の放出を正味ゼロにするということを目指す。CO₂排出の大幅削減が最も重要な課題になるが、より能動的に大気中のCO₂を回収・貯留または利用しようとするアプローチも一部具体化しつつある。ネガティブエミッションとも呼ばれるが、こうした可能性も視野に入れた研究開発が必要になる。
- 「アダプテーション」……昨今その重要性がより一層増している。気候変動の影響が顕在化する中であっては、それらへの適応策を講じなければ社会は甚大な被害を受ける可能性がある。その一方で、社会そのものに変化を促すこととなるため、単に科学的知見を提示したり、何らかの技術やシステムを導入したりするというだけでは済まない面もある。社会と科学が一体的に検討を進めていくことが重要になる。
- 「サーキュラー」……ここでは循環型社会の形成を目指す。昨今では海洋プラスチックごみの問題が国際社会の中でも極めて大きく取り上げられつつある。こうした社会からの要請に対して科学技術が応えるべき部分は大きい。例えばプラスチックの環境中での動態の解明や各種リスクの評価の他、持続的な利用を実現する社会の構築に向けた技術・システムの研究開発が必要になる。
- 「スマート」……目標でありかつ手段でもある。IoT/AIの隆盛の中で、情報を如何に有効に活用するかという点は大きな課題となっている。またSociety5.0に象徴されるように、人間社会をより創造的で効率的なものに発展させていくために、あらゆるデータを意味ある情報として活用できるような仕組みを構築していくことが求められている。
- 「セーフティ」……様々な意味での安全性を目指す。日本社会は、その地理的特性上、常に自然災害による脅威の中で日々を過ごしている。加えて気候変動影響に伴う変化も今後は一層の考慮が必要になる。こうした各種の災害に対する対応力の強化は今後更に重要になってくる。また我が国は資源制約も大きいため、エネルギー資源の大半を海外からの輸入に頼らざるを得ない中、エネルギー安全保障は国の生存基盤に関わる重要な課題である。



1.3.2 日本の研究開発の現状

第2章で示す各研究開発領域の俯瞰結果から日本の現状を抜き出すと以下ようになる。

<エネルギー分野>

- 火力、原子力といった従来から日本に強みのある分野では基礎及び応用・開発において世界的にアドバンテージがある。しかし、昨今の国内外での社会的状況変化を受けて今後どのように研究開発を進めていくのか岐路に立たされている。また、それらを支える基盤技術の弱体化が始まっている。
- 再生可能エネルギー分野ではそれぞれに研究の蓄積はあるものの、基礎研究の成果が応用・開発へと進み、更に社会実装へと繋がっていくといった力強い流れは見えにくい。但しこうした状況には政策、法規制、地理的条件等、社会的要因や環境面の制約も大きい。
- エネルギーマネジメント分野では、電力系統の安定化や新しい技術を活用したサービス開発のための研究等が盛り上がりを見せている。
- 化学分野は活発化しており、脱化石燃料化やCO₂排出削減の観点から、基礎研究並びに応用・開発が産学官で活発に取り組まれている。

<環境分野>

- 観測系の分野では雨量観測の高精度化や中小河川の流出予測、あるいは全球レベルの水循環や気候変動適応策の研究等、水の分野で欧米に匹敵する研究開発が進められている。また海洋観測でも国際的に重要な貢献をしている。しかし広域なデータ統合・解析、あるいは解析に基づく大規模実証研究等では遅れが見られる。気候変動観測衛星の戦略立案も停滞気味。
- 気候変動適応に関連する分野では地球システムモデル（ESM）の開発とその成果の活用が政策的支援の下で異分野連携によって進みつつある。一方で、社会と生態系を一体的に評価したり、そのガバナンスについて研究する取組みは他国に比して遅れている。
- 水処理や汚染物質の除去・浄化分野では個々に研究が進んでいる。自動車排気後処理技術

は世界トップ水準の研究が展開されている。

- 環境分析や LCA，資源利用関連の分野は企業ニーズに対応した研究は一部で活発に行われている反面、環境影響の総合評価、データベース構築、システム開発等では欧米と比べて遅れが見られる。

我が国の環境・エネルギー分野の研究開発は着実に進められてきており、一部では世界的にトップ水準の取組みもある。今後も引き続き社会からの要請に応える研究開発を進めていくためには、中長期的観点から大きな方向性を示し、それに向かう研究開発を全体バランスを考慮しながら推進していくことが必要である。またこれを実現するためには俯瞰的な視野を持った政策的リーダーシップの重要性がこれまで以上に増すものと予想される。

1.3.3 国として推進すべき重点テーマ

先に挙げた 5 つのキーワードに基づく研究開発は多岐に亘る。ゼロエミッションソサエティとスマートソサエティのように、課題間で多くの要素を共有する部分もある。従ってこれらを縦割りに進めることは効率性の観点からも最善とは言えず、相互の関連性を意識しながら統合的に研究開発を推進することが重要である。

またこれらの方向性は、国際社会が目指す方向性とも概ね一致しており、自国における取り組みと同時に、国際的な協調も意識した対応が求められている。但し課題先進国とも言われるわが国は、人口減少や高齢化、社会インフラの老朽化等、各国・地域に先んじて顕在化しつつある様々な課題も抱えている。そのため、国内特有の課題への対応と、国際的な課題への対応を、適宜区別して検討することが、ときには必要になると考えられる。

下表では、キーワードごとの今後の展望、ならびに当面の重要課題例をまとめた。

キーワード	展望および今後の重要課題例
ゼロエミッション	<ul style="list-style-type: none"> ● 2°C目標達成のためのGHG排出の大幅削減に向け、その手段として脱化石燃料、及び再生可能エネルギー主流化が進展。 ⇒回収CO₂を用いた合成炭化水素研究 ● 従来の一方向的・大規模集中型のエネルギーシステムの中に双方向的・分散型の要素が広がる。 ⇒日本の社会システムとしてのエネルギーの研究（エネルギー構成、都市と地方）
アダプテーション	<ul style="list-style-type: none"> ● 気候変動影響への適応がより重要に、影響予測の精度を高め、対策に繋げる。 ⇒温暖化に伴う異常気象による災害への対応（洪水・土砂災害） ⇒異常気象と温暖化影響の関連性解明（イベントアトリビューション）
サーキュラー	<ul style="list-style-type: none"> ● 海洋プラスチックごみ問題への取組みが国際的に本格化。 ⇒環境中での物質動態、環境影響評価 ⇒行動変容（ナッジ） ● 世界的な淡水資源の枯渇、日本では水インフラの老朽化と人口減少・過疎化。 ⇒グローバル・ローカルな水循環、水利用
スマート	<ul style="list-style-type: none"> ● データ駆動型社会が一層現実化。 ⇒エネルギー問題への適用（エネルギーネットワーク、需要科学、気象予測に基づく再エネ最適制御） ⇒データインフラの整備（共通データ基盤の構築、環境観測インフラ）
セーフティ	<ul style="list-style-type: none"> ● レジリエントな社会構築への要請高まる。 ⇒地震による社会への影響予測と対応検討（エネルギーや水のインフラ停止） ⇒日本のエネルギー源の確保（グローバルなエネルギーサプライチェーン） ⇒原子力と安全・安心

1.3.4 研究開発体制・システムのあり方

環境・エネルギー分野の研究開発は社会からの要請や政策的リーダーシップによる影響を大きく受ける。そうした中で我が国の研究開発は着実に進められてきており、一部では世界的にトップ水準の取組みもある。一方で、環境・エネルギー関連機器の開発・設計・製作・運用等に係る基礎基盤的な研究開発においては、軍事と一体的に進める国とはナショナルレベルの研究開発体制が違い、また人や資金の量的規模も違うため、中国や欧米に匹敵することの厳しさがしばしば聞かれる。また昨今は、これまでそうした分野の研究開発を牽引してきた国内大企業も、基礎基盤的な研究を抱えきれなくなっている状況であるとの指摘もある。そこで大学や公的研究機関への期待が高まるが、最先端科学の推進が重視される昨今の流れの中、とりわけ工学系の基礎基盤的な研究を戦略的に推進する機関や枠組みがなく、日本の産業を支える同分野の研究力の低下が懸念されている。

こうした状況を踏まえると、今後の環境・エネルギー分野の研究開発体制に関しては、とりわけ工学系分野の体制強化が極めて重要な課題になる。国による政策的リーダーシップに基づき、中長期的な観点から基礎基盤的な研究を戦略的に推進する仕組みを検討することが必要になる。

研究力低下の懸念と関連するが、新規研究者人材の減少懸念は当該分野も例外ではない。本来は分野ごとの検討ではなく、我が国全体の研究者人材の確保・育成の在り方の検討が求められるが、その大きな部分を占める本分野の今後の在り方の検討は、早急に議論が必要と考えられる。既に最近、文部科学省「大学における工学系教育の在り方について（中間まとめ）」（2017年6月）や経済産業省「理工系人材需給状況に関する調査結果概要」（2018年4月）において工学系人材に関する検討が行われたが、それらに加え、多様な社会からの要請や、我が国の産業競争力の強化に貢献する科学基盤や技術基盤をどのように維持・発展させていくのかということを入材の観点からも検討することが必要と考えられる。

社会にとっての資源であり研究資源でもあるデータの重要性は今後一層増すと予想される。有用データの活用は研究の競争力に繋がり、反対にデータの収集・管理・活用が進まなければ研究開発のボトルネックにもなりかねない。そのため安定的なデータ基盤の構築は、本分野において極めて重要な課題である。

例えばエネルギー分野では、エネルギー需要に関するデータの整備が望まれている。こうしたデータは省エネルギーやエネルギーマネジメントの向上に繋がると考えられているが、現在のところ、より詳細な、例えば建物レベルのエネルギー消費に関するデータを体系的に収集・蓄積・利用できる基盤はない。個々の研究の範囲での取組みは一部で実施されているものの、より大規模に行う上では、例えば個人のプライバシーに関わるような情報への倫理的配慮や、データのマスクングのような技術的対応、またその管理や利用に係る共通的なルールの設定等、個々の研究者で対応可能なスケールを超えた対応が必要になる。よってこうした面も含めたデータ基盤構築とその長期運用機構やシステムの構築が必要になると考えられる。

また環境分野においては、地球環境に係る膨大なデータは極めて重要な研究資源であり、かつそこから得られる成果は人間社会の将来への対応に重要な意味をもたらすものである。しか

しながらデータ収集のための観測・計測インフラの維持・管理に公的資金を投入する必要性・妥当性は常に社会から問われており、他国の状況に見られるように、政権の方針によってはその重要性が低く評価されることもある。こうしたインフラをいかに安定的に維持・活用していくかは、環境分野の研究にとって今後一層重要な課題になると考えられる。

最後に、本書 1.2.5 でも触れたように、今後の科学技術はコンバージェンス研究やトランスディシプリナリー研究がより重要になってくると考えられる。一方でこうした研究の成果は社会一般で言われるようなハイ・インパクトな学術誌に掲載される論文の形とは必ずしも限らない。より直接的な形で社会へ還元されることもありうる。今後、こうした新しい形の研究が普及・定着していくためには、大学等の機関において、こうした分野の研究や研究者の評価のあり方について改めて検討し、必要な改革を行っていくことが重要になると考えられる。