

1 | 俯瞰対象分野の全体像

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・エネルギー分野の科学・技術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。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。このような認識の下、本書では環境・エネルギー分野を以下の範囲としている。

エネルギー分野：エネルギーの生産・流通・利用に係る分野

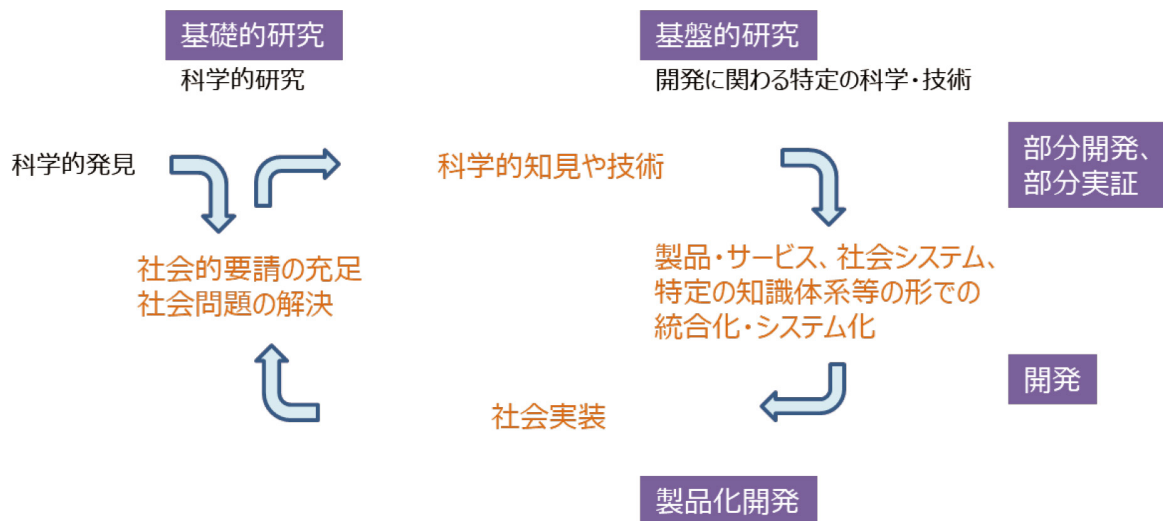
環境分野：人間活動に必要な土地や生活環境の開発・管理・改善、およびそれらを取り巻く自然環境の管理・活用に係る分野

環境・エネルギー分野の研究開発は、「社会の要請の充足や社会課題の解決に資する科学的知見や技術・システムを創出し、社会に実装する循環的な営み」と言える。オゾンホールが発見や地球温暖化など、科学的な発見をきっかけとして社会問題として新規に設定される問題もあるが、そうしたものも含めた種々の社会問題の解決や社会の要請の充足のために創出された新たな科学的知見や新技術・システムは、製品・サービス、社会システム、特定の知識体系等の様々な形で統合化・システム化され、社会に実装されてゆく。その後、知識や技術が実装された社会には何らかの改善や進展がもたらされるが、同時に更なる社会的要請や課題が生じることとなり、それらが新たな研究開発の動機となる。こうした科学技術と社会との間の循環的な関係性の中に本分野の研究開発がある（図表1.1.1-1）。

社会の要請、ビジョン

「持続可能な豊かな社会」の実現は人類社会の共通目標である。これに向けて国際社会は経済・社会・環境に関わる広範な課題に統合的に取り組むための枠組みを設けている。その代表的な枠組みが2016年1月に発効した「持続可能な開発目標（SDGs）」である。SDGsの中には環境・エネルギー分野と関わりの深い目標が多数設定されている。これには人類のあくなき挑戦が社会を飛躍的に発展させてきた一方、地球環境への負荷は軽減されず、負の影響が顕在化し始めていることへの危機感も背景にある。実際に、世界経済フォーラムが毎年公表する「グローバルリスク報告書」では、ここ数年は異常気象、気候変動、自然災害、生物多様性など環境・エネルギー分野と関わりの深いリスクが上位を占めている。

様々な課題の中でも、とりわけ地球温暖化に伴う気候変動への対応については、世界の懸念・関心は一層深まっており、動きが活発化している。2016年11月に発効した「パリ協定」の実現に向け、野心的な長期目標を掲げる国・地域が徐々に増えている。具体的な排出削減のシナリオや方策の検討も、欧州を中心に各地で進められている。しかし、現行努力の延長線上ではパリ協定が目標とする地球上の平均気温を2℃以内に抑えることは困難であるとの見方は変わっておらず、更なる挑戦的な取組みと、その結果生じる非連続的な展開が必要とされている。我が国でも2020年10月の菅総理の所信表明において2050年までに温室効果が



図表 1.1.1-1 環境・エネルギー分野の研究開発

スの排出を実質ゼロにするとの目標が示され、これまでとは一線を画する取組み強化への期待が高まっている。

環境負荷軽減と経済成長の両立は今や当然の目標となっている。特にエネルギーはあらゆる人間活動の基盤であり、エネルギーへのアクセスは持続可能な豊かな社会の実現の一要素である。元来、「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)」の同時達成はエネルギー分野における中心的な社会の要請であり、昨今はこの同時達成にこそ今後の新たな成長の機会があるとの期待も大きい。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る我が国は、安定供給性において大きなリスクを抱えており、国際社会の情勢にも大きく依存する。そのため日本社会にとってはこの「3E+S」はパリ協定への貢献とともに極めて重要な目標である。

「循環型経済 (サーキュラーエコノミー)」も近年頻繁に取り上げられるようになり、定着しつつある。プラスチックごみの問題が昨今の代表事例である。回避可能な使用の抑制や廃棄物の適正管理などに各国政府が取り組んでいる。懸念されたマイクロプラスチックの環境影響リスクについては未だ科学的に未解明であり、リスク評価のための研究が欧州を中心に、また日本においても、展開され始めている。この他、人為的な活動に伴い大気中に放出される CO₂ を回収し、貯留ないし利用しようとする取組みをカーボンリサイクルと呼ぶ動きも出てきており、循環型経済は拡大的に捉えられつつある。

最後に、新たに生じた極めて大きな社会的要請に触れる必要がある。それは今般の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) による影響とその克服に向けた対応である。2020 年は、原油価格の大幅下落もあり、エネルギー需要と供給の双方においてこれまでにない大きな変化が生じた。COVID-19 は各地で経済活動を停滞させたため、エネルギー需要の様相を大きく変えた。とりわけ甚大な影響を受けたのは輸送部門である。また環境にも大きな変化をもたらした。経済活動の停滞によって大気や水環境の改善が観察されたとの報告が相次いだ。CO₂ 排出量も大きく減少すると見込まれている。感染拡大と環境要因との関連を調べる研究も出てきている。当該ウイルスの特徴が次第に明らかになると、感染リスクをどう把握し、管理するかという観点からの研究も活発化した。詳細は後段で述べるが、こうした COVID-19 への様々な対応は、環境・エネルギー分野にとっても極めて重要な社会的要請となっている。

1.1.2 科学技術の潮流・変遷

今般の俯瞰を行うにあたって前提として捉えるべき、既に顕在化しているトレンドは以下の4つである。これらは環境・エネルギー分野の科学技術、研究開発の潮流に大きな影響を与えている。

- ① 気候変動緩和に貢献する科学技術（ネットゼロエミッション）
- ② 気候変動適応に貢献する科学技術（予測、対策）
- ③ 持続可能なエネルギー技術の位置づけに関する議論
- ④ DX化（AI、自動無人機、ビッグデータ、CPS）

世界共通の関心事項である気候変動緩和への取組みとして、人為活動起源の温室効果ガスの排出を実質ゼロ（ネットゼロ）にするための方策検討が行われている。再生可能エネルギーに関する研究開発が活発化している他、化石資源を利用する機器であればその高効率化が研究開発のターゲットとなる。個々の機器レベルだけではなくエネルギーマネジメントシステムの研究などシステムレベルの研究も盛んに行われている。昨今では大気中に放出されるCO₂を回収するための方策、いわゆるネガティブエミッションの検討も活発化している。

熱波、洪水、干ばつ、低気圧、火災といった気候関連の極端現象や食料生産への影響など、気候変動の影響は世界中の様々な場所で既に顕在化している。社会を維持していくためにはこうした様々な環境変化に適応していかなければならず、その認識は年々高まっている。研究開発としては将来起こり得る影響の予測や評価、あるいは対策検討に係るものが行われている。食料生産においても従来のように増産や効率化などに加えて環境変化への適応を念頭においた研究開発が課題に加わっている。

ESG投資に象徴されるような、持続可能な社会の実現に向けた金融分野の動きも研究開発に影響を与えている。2006年に国連が公表した責任投資原則を受け、世界中の機関投資家には環境、社会、企業統治に係る課題を投資分析や意思決定プロセスに組み込むことが求められ、投資対象の主体にはESGの課題に関する適切な開示が求められるようになった。徐々にその動きは広まっており、気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）が2017年に公表した提言も浸透しつつある。またEUはパリ協定やSDGsの採択以降に「サステナブルファイナンス」の法制化を進めている。その一環として、一般に「タクソノミー規則」と呼ばれる規則を2020年7月に発効した。同規則の詳細は1.2.2で触れるが、気候変動緩和、気候変動適応、水や海洋資源の持続的利用・保全、循環経済への移行、汚染の予防と管理、生物多様性と生態系の保全・回復、という6つの目的に照らして経済活動の持続可能性を判断するための規則である。これは、ある意味では各種エネルギー関連技術の位置づけを明確化する動きであり、多くの機関投資家もこの規則に照らして投資先を判断することになっていくと予想される。投資先となる様々な主体は、自らが保有する技術が「持続可能である」か、「持続可能ではない」か、をこれまで以上に真剣に考えなければならなくなり、研究開発にも影響を与え始めている。

DX化（デジタルトランスフォーメーション）も進みつつある。ドローンなどの自動無人機を活用したデータ収集は環境・エネルギー分野の重要なツールになり始めており、これまで観測困難だった場所や地域の観測を可能とし、新たなデータ収集に貢献している。膨大なデータを処理・解析するためのプラットフォームも普及し始め、グローバルな規模の環境分析が研究室レベルでも可能になっている。データ解析では機械学習・深層学習の応用が本分野でも幅広く浸透している。計算機性能の向上を背景としたシミュレーション技術の

高度活用も活発化している。とくに産業界では観測・計測技術や情報通信技術との組み合わせによっ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）を自社の技術やサービスに取り込む事例が多数出現している。

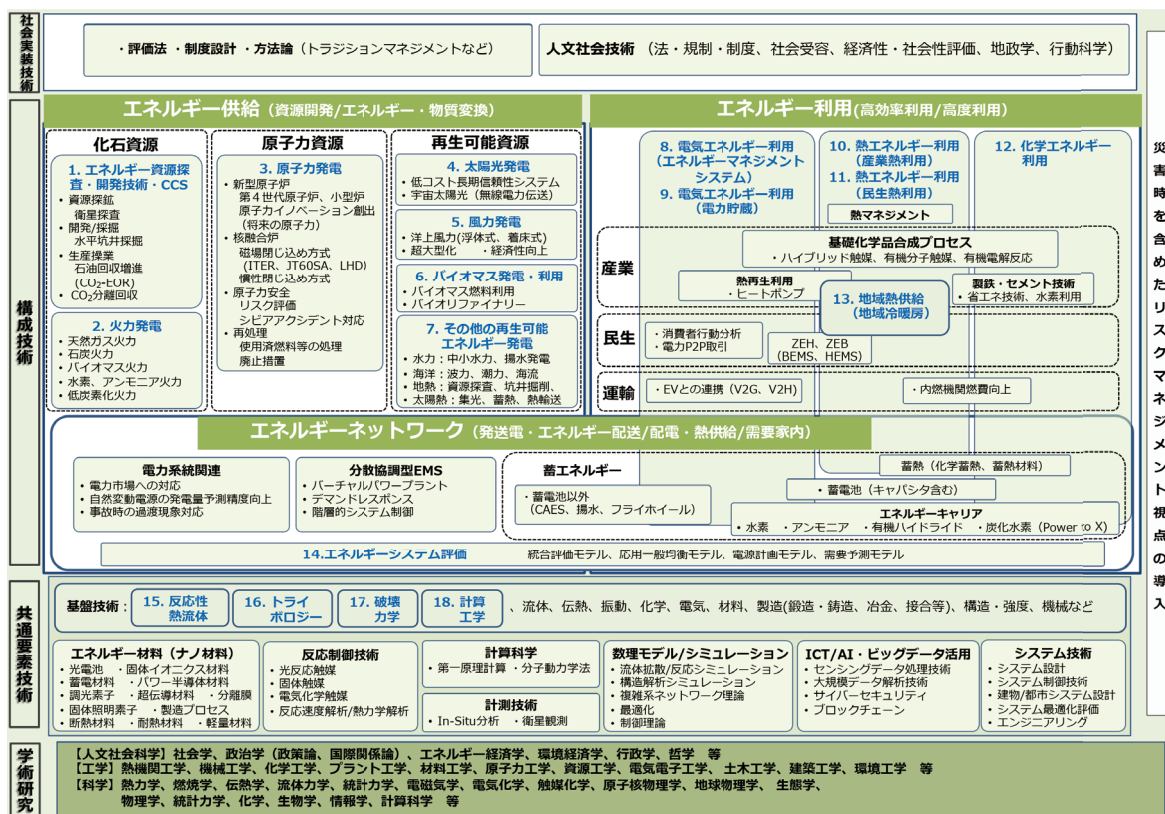
以上4つのトレンドは本書第2章に示す30の研究開発領域の構成検討においても念頭に置いた。

1.1.3 俯瞰の考え方（俯瞰図）

本書では分野の概観を図で示したものを「俯瞰図」と呼ぶ。環境分野とエネルギー分野の間には持続可能な豊かな社会の実現という共通するビジョンがあるが、研究開発の内訳は必ずしも同じではない。特にエネルギー分野は産業との関係が密接であるのに対して、環境分野は必ずしもそうではない。そこで本書では環境・エネルギー分野としての俯瞰図を、共通のフレームに基づく2つの図として描いている（図表1.1.3-1、図表1.1.3-2）。

また環境・エネルギー分野を構成する研究開発領域は広範だが、本書では以下に示す考え方に基づいて30の研究開発領域を設定した。これらの一部は2019年版からの継続領域だが、いくつかの領域は新規に設定した。

研究開発領域の抽出は主として3つの基準に照らして検討した（図表1.1.3-3）。それは、①「社会の要請・ビジョン」、②「社会的・産業的インパクト」、③「横断的基盤研究分野」、の3つである。「社会の要請・ビ



図表1.1.3-1 エネルギー分野の俯瞰図



図表 1.1.3-2 環境分野の俯瞰図

ジョン」の内容は前述のとおりであり、これらに応えるための研究開発にフォーカスする必要があるとの考えに基づく。「社会的・産業的インパクト」は、詳細は後段 1.2 にて触れるが、温室効果ガスの排出削減のように量的規模が求められること、また日本の産業構造を踏まえて見ておくべき研究開発領域があるとの考えに基づく。「横断的基盤研究分野」は社会の要諦・ビジョンや産業構造などからは直接的には浮かび上がってこないが、それらを支える基盤的な科学・技術があり、それらの研究開発動向も捉える必要があるとの考えに基づく。これら3つの基準を軸として、1.1.2 で述べた「科学技術の潮流・変遷」や2019年版の領域構成も勘案した上で、30の研究開発領域を設定した（図表 1.1.3-4）。

研究開発領域の設定

2019年版およびそれ以前の領域構成

↓

30領域を設定

↑

前提として捉えるべき既に顕在化しているトレンド

「研究開発領域抽出の考え方」

3つの抽出基準

①「社会の要請・ビジョン」
SDGs、パリ協定、循環型経済、
3E+S、エマージングイシュー*等

②「社会的・産業的インパクト」

③「横断的基盤研究分野」

* 気候変動適応への本格的な対応、
COVID-19への対応（ウイズコロナ）。

「科学技術の潮流・変遷」

1. 気候変動緩和に貢献する科学技術
(ネットゼロエミッション)

2. 気候変動への適応に貢献する科学技術
(予測、対策)

3. 持続可能なエネルギー技術の位置付けに
関する議論

4. DX化
(AI、自動無人機、ビッグデータ、CPS)

図表 1.1.3-3 研究開発領域の設定に関する考え方

	領域名		領域名
1	エネルギー資源探査・開発技術、CCS	16	トライボロジー
2	火力発電	17	破壊力学
3	原子力発電	18	計算工学
4	太陽光発電	19	気候変動観測
5	風力発電	20	気候変動予測
6	バイオマス発電・利用	21	水循環(水資源・水防災)
7	その他の再生可能エネルギー発電 (水力、海洋、地熱、太陽熱)	22	水利用・水処理
8	電気エネルギー利用 (エネルギーマネジメントシステム)	23	除去・浄化技術(大気、土壌・地下水)
9	電気エネルギー利用(電力貯蔵)	24	有機化学物質分析・毒性評価
10	熱エネルギー利用(産業熱利用)	25	無機化学物質分析・動態把握
11	熱エネルギー利用(民生熱利用)	26	生態系・生物多様性の観測・評価・予測
12	化学エネルギー利用	27	社会－生態システムの評価・予測
13	地域熱供給(地域冷暖房)	28	循環利用とライフサイクル評価
14	エネルギーシステム評価	29	都市環境サステナビリティ (気候変動適応、感染症、健康)
15	反応性熱流体	30	農林水産業における気候変動適応・緩和

図表 1.1.3-4 第2章で取り上げた研究開発領域の名称