

1.3 今後の展望・挑戦課題

1.3.1 今後重要となる研究の展望・方向性

環境・エネルギー分野の研究開発の今後の方向性を象徴する言葉は「移行（transition）」である。持続可能性（サステナブル）と包摂性（インクルーシブ）を中心的な価値観とした上で、気候変動緩和のための「ネットゼロエミッション」社会、顕在化する気候変動影響に対して「アダプティブ」（適応的）な社会、気候変動影響以外にもCOVID-19や自然災害等に対して「レジリエント」（強靱）な社会、また効率性やリサイクル性を高める「サーキュラー」（循環型）な社会への本格的な移行の促進に、直接的または間接的に貢献する研究開発がこれまで以上に求められることになるだろう（図表1.3.1-1）。

これら4つの方向性の中でも特に「ネットゼロエミッション」社会については、我が国でも2050年のカーボンニュートラルが宣言され、それまでの80%削減とは次元が異なる野心的な目標設定となった。既に政府からも方針が示されているように電化の推進だけでは十分ではないため、電源の脱化石燃焼化や、非電力部門での水素化、CO₂回収の導入などと組み合わせた総合的な取り組みが必要になる。ネガティブエミッション技術も手段の一つとしてこれまで以上に真剣に検討され始めると予想される。CO₂排出の評価の在り方も重要な論点になり得る。これらを2050年までに実現するには、2030年ころからエネルギーシステムを大きく変え始める必要が生じる。これまで以上に強力かつ継続的な取り組みが求められ、分野の縦割りを超えた総合力が不可欠である。

こうした認識は日本のみならず国際社会においても概ね共通である。従って各国はこれらの問題に協調して取り組む必要があるが、世界の規範が揺らぐ中、それがどこまで実現可能であるかは国際社会にとっての一つの課題でもある。しかしながら天然資源の多くを海外に依存し、国土も限られる我が国が、全ての問題に自国だけで対応することは極めて困難である。そのため率先して取り組む積極的な姿勢を示しつつ、同時に他国との協調を図ることが不可欠となる。また、地理的背景から気候変動影響や自然災害には日本特有の事情もあり、いかに自国の問題をアジア地域の問題解決や国際的な協調へ繋げることができるかという点も重要な課題となる。

社会の移行を促進するために鍵となるのは、まず「人の行動や社会との関わり方の深化」である。ネットゼロエミッションをはじめ、目指す社会の実現には科学技術単独では当然ながら到達し得ない。法制度や経済システムの変革、あるいは人々の意識変化や行動変容も重要になる。これらに科学技術がどう貢献できるのかという視点が必要になる。例えば人の行動そのものやそれによる影響についての理解を深める研究、あるいは特定の人や社会に経済的なインセンティブを与えるための仕組みを構築するための研究が一定の貢献を果たすだろう。特定の意思決定を支援するために、多様な科学的知見を統合し、社会が受け取り易い形にまとめていくための研究なども必要になる。そのためには人そのものの理解や、人あるいは社会と自然環境との関わり合いをより深く理解する必要も生じる。さらに研究開発そのものも、社会との関わり合いがより一層重要になる。新しい技術やシステムの社会実装を促進するために、研究計画段階から社会との対話を行ったり、地域の様々なステークホルダーとの関わり合いを持ちながら研究開発を進める形もあり得る。

また「DX化（デジタルトランスフォーメーション）」も社会の移行を促進するための鍵である。情報を取得する手段は多様化・高度化している。得られたデータを解析し、新たな知識を引き出すための方法も多様化している。高度な解析により予測精度が高まれば、予測に基づく対応の検討もより効果的なものとなる。

今後の展望・方向性

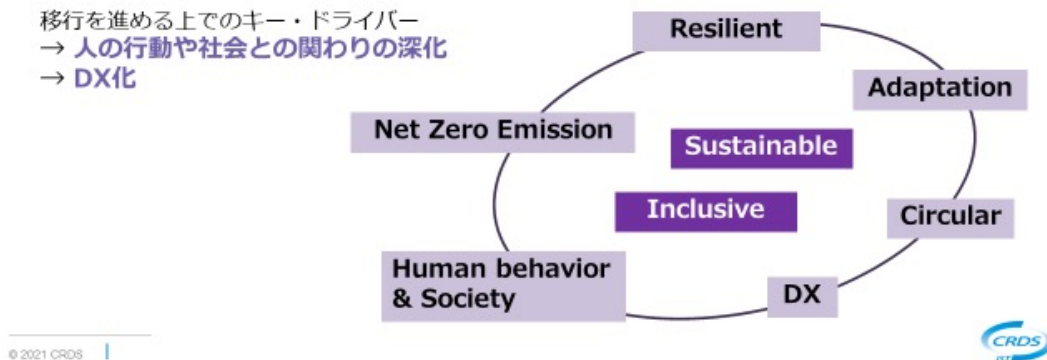
社会の移行（transition）を促進する研究開発

中核となる価値観（サステナブル&インクルーシブ）の下、

- ネットゼロエミッションな社会（緩和）へ
- アダプティブな社会（適応）へ
- レジリエントな社会（強靱）へ
- サーキュラーな社会（循環）へ

移行を進める上でのキー・ドライバー

- 人の行動や社会との関わりの深化
- DX化



図表 1.3.1-1 今後重要となる研究の展望・方向性

1.3.2 日本の研究開発の現状と課題

環境・エネルギー分野における日本の研究開発力の現状を以下に示す。なお個々の研究開発領域の概要は1.2.2に、その詳細は第2章に示す。

我が国の環境・エネルギー分野の研究開発は全体平均としては着実に進められてきており、一部は世界トップ水準の取組みもある。一方、技術として強みを有していても、社会や国際情勢などの逆風により、縮退の圧力を強く受けるものも見られ、国としての戦略的な対応がいつそう必要となってきた。また環境分野で顕著だが、国際的な枠組みの下で世界と協調して研究が進められる中において日本が主導的立場にあるものは必ずしも多くなく、それが結果として国際的な議論の場において優位性を発揮することができないという状況にも繋がっている。少数精鋭で世界的なレベルを維持している分野が複数あり、こうした個々の強みを如何に増幅させるかが極めて重要になっている。気候変動緩和および適応、自然災害対応、COVID-19への対応など、環境・エネルギー分野に関連する社会の期待が益々大きくなる中、それらに応えるだけの科学技術力、研究開発力を維持・強化していくために、国が中心となって多様なステークホルダーと連携して改めて体制強化を図ることが必要な局面を迎えている。

<エネルギー分野>

- ・ 集中型電力供給分野：日本は火力発電で高い技術水準の蓄積を有しているが、昨今は石炭火力に対して

国内外で社会的、政策的に厳しい状況がある。原子力発電では安全技術などで国際的に高い水準の研究が行われているが、米国等が活発に進める新型小型炉研究は国内で低調である。

- ・再生可能エネルギー供給分野：日本は太陽光発電の基礎で新規素材などに強みをもつ。一方、各発電方式の応用・開発で国際的に熾烈な事業競争が続く、太陽光セル、風力技術、バイオマス技術などで国際的な地位低下が顕著である。日本は地理・気象条件などの環境面で必ずしも恵まれた状況ではなく、それゆえ国内での応用・開発が進みにくい点に弱みがある。
- ・エネルギー利用分野：電気や化学、機械の基礎を背景にもつ研究開発が活発に行われ、国際的に注目される基礎や、産業的に強みをもつ応用・開発の取組みが見られる。デジタル技術を活用したEMS、電力システムの安定化、次世代二次電池、ヒートポンプ、有害排出物分離・除去技術、人工光合成、水素などの研究開発で国際的に一定の強みがみられる。一方、地域冷暖房などの分野で基礎研究者が少なく、システムとしてのエネルギー高効率化に弱みがある。
- ・エネルギーに係る基盤的分野：実用燃焼機器の熱効率、エミッション低減、低摩擦技術、複合材料の破壊解析などで強みを有する。一方、欧米の最先端研究開発拠点と比較すると個別組織や個別分野での研究に依存する傾向が弱みとなっている。

<環境分野>

- ・COVID-19と環境に係る分野：下水疫学、衛星観測、室内換気研究、シミュレーション研究などで社会貢献につながる研究や情報発信が積極的に行われている。国際協調体制を構築する動きもある。
- ・観測、分析分野：全球水循環モデルや洪水防止のためのダム事前放流支援技術、気候変動適応策の研究などで国際的に高い水準の研究が行われている。高精度の雨量観測、気象衛星観測、海洋観測などでも欧米に次ぐ水準の研究開発が進められている。大気環境分析分野ではPM_{2.5}に係る研究で国際的に高い水準の研究や技術がある。生態系・生物多様性観測では国際的な取組みに参加し東アジア地域の情報蓄積に貢献している。個別物質ではマイクロプラスチックやヒ素、水銀などで高い水準の分析的研究が行われている。一方、昨今の潮流である国内外に蓄積された膨大な観測データを使った解析や各種科学的知見等を駆使した総合的な研究などは欧米が主導するケースが多い。また相対的な弱みとしては、国内の観測体制どうしの横の繋がりが観測・シミュレーションの一体的な運用など体制面に関する課題、独自の観測機器や分析技術の国際的展開に関する課題、基礎的な解析結果の地域単位での実証と社会実装へのつなぎ込みに関する課題など、境界的・横断的課題があげられる。
- ・評価、予測分野：独自の地球システムモデル(ESM)の開発・利用によるIPCCへのデータ提供やIPBES(生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム)への参加などを通じて国際的枠組みに貢献している。また、高精度の気象予報モデルや、特徴的な温暖化ダウンスケーリング研究などの基礎に強みを有する。欧米で作成された基礎シミュレーションモデルの実装にあたっての煩雑な高度化、精緻化への対応などの応用・開発にも強みを持つ。一方、欧米と比較して国際的プラットフォームの構築や、社会-生態システムのガバナンス研究などで後れをとっている。また、社会・経済的側面からの研究や観測・シミュレーション一体での統合的研究の推進、地域での実証、社会実装、アジア・モンスーン気候に特化した国際発信力の向上なども課題と認識されている。
- ・環境資源の安全な利用分野：水利用・水処理分野では膜処理やUV-LED処理などで国際的に高い水準の研究や技術がある。また除去・浄化（大気、土壌・地下水）分野ではガソリン車用三元触媒や鉱山廃水浄化技術などでも国際的に高い水準の研究や技術があり、強みをもつ。一方、欧米や中国と比較し

て研究者総数が少なく、国際学術誌での情報発信などに弱みを持つ。国際的な規制や施策への影響力や、国際標準的機器の市場形成力などが課題となっている。

- ・環境資源の持続可能な利用分野：LCAに係る研究分野は、個別の製品開発や企業ニーズに対して水準の高い研究や技術を有し、実問題に関する蓄積を有している。一方、欧米と比べて、社会全体システムの観点でのリスクに基づいた環境影響、環境運命の総合的評価や、環境保全のための法規制と産業振興政策の両面の観点を織り込んだデータベース構築戦略等で後れを取っている。

1.3.3 国として推進すべき重点テーマ

先述の4つの社会への移行に向けて今後注力すべき課題を以下に示す（図表1.3.3-1）。ここでは目指す社会ごとに対応関係を示しているが、相互に関連性もある。気候変動の緩和と適応は一体的に取り組むべき課題だが、気候変動への適応は異常気象など自然災害との関わりも深いため、レジリエントな社会に向けた取り組みとも共通する部分がある。循環経済もネットゼロエミッションやレジリエントな社会との一体的な推進が必要である。

なおこれらの課題を整理するにあたり、JST-CRDSでは2章で示す研究開発領域ごとの動向を基に全体を



図表 1.3.3-1 国として注力すべき課題

俯瞰し、今後の展望や方向性について議論するための「俯瞰ワークショップ」を開催した（付録1参照）。関連学協会から推薦いただいた民間企業・団体、大学、公的研究機関等所属の各分野の専門家とともに、国として推進すべき重点テーマおよび後段の研究開発体制・システムに関する議論を行った。重点テーマの抽出は次の3つの視点を設定した上で検討し、その結果をJST-CRDSが整理した：①急速に顕在化しつつあり、多方面に影響を及ぼす可能性のあるテーマ；②産業界や社会における潮流やニーズに応えていくために必要なテーマ；③様々な分野の科学技術の更なる進展に資する横断的なテーマ。

1.3.4 研究開発体制・システムのあり方

先に挙げた「注力すべき課題」への取組みを国として進めていくにあたっての研究開発体制・システムのあり方について述べる。

ネットゼロエミッションの実現に向けた取組みでは、アジャイルな研究開発やインセンティブ付与などによって社会実装を加速させること、GHG排出削減の状況やそれに向けた各種の取組み状況を把握しPDCAサイクルを回すこと、分野融合的な取組みやマルチステークホルダーとの協働を可能にする横断的な取組みを行うこと、次世代の人材や技術を育成すること、次世代技術の育成や実装加速を支える基礎・基盤を強化すること、そして社会の移行を支えるという我が国のスタンスを国際的にも示すことなどが重要と考えられる。

気候変動適応やレジリエントな社会の実現に向けた取組みでは、科学的知見や技術の統合化・総合化を進める体制づくり、およびそれらを社会に実装するモデルケースを創出・蓄積していくことが必要と考えられる。

循環経済の実現、あるいは他も含めた4つの目指すべき社会の実現に向けて必要な横断的な取組みとしては、DXのためのプラットフォーム構築が挙げられる。地球環境の観測・計測、データ処理、解析の間の連携強化や、エネルギー関連データ基盤の構築、更にはこれらを支える人材としての技術者の確保・育成などが必要と考えられる。

一方、これらの取組みを進めるための我が国の研究開発投資は出口志向が強まっている。2050年カーボンニュートラルを実現するために社会実装、普及・定着を加速することは目下の最重要課題であり、疑う余地はない。しかしながら現時点の候補技術だけを前提とした出口志向の研究開発推進のみでは技術シーズが枯渇するリスクもある。社会実装の加速に貢献したり、候補技術だけの代替となるような将来技術を育成するための土壌強化、ポートフォリオ管理も必要である。また生み出された萌芽的な科学的知見や技術シーズを社会実装可能な知識体系やシステムへとまとめ上げていく研究開発体制の構築も必要である。国内に点在する多様な研究資源を拠点化したりネットワーク化したりすることでオールジャパンの研究開発体制強化を進め、イノベーションエコシステムを醸成することが今後目指すべき方向性である。