

# エグゼクティブサマリー

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は私たち人類社会の様々な側面に影響を及ぼしている。特に社会経済活動の抑制・停滞は深刻だが、一方、これに伴い、人為起源の温室効果ガス（GHG）の排出量が一時的に減少すると見込まれている。ただ残念ながらその減少量はそもそもの排出量全体から見ればごく一部に過ぎず、この苦難の時期にあっても、パリ協定の目標達成に向けた取組みが引き続き必要であることには変わりがない。それゆえコロナ禍からの復興の主軸にグリーン成長戦略を掲げる国や地域もある。

パリ協定の目標達成は人類共通の課題であり世界が協調して取り組むべきものである。その反面、技術的あるいは制度的な優位性を巡る国家間の競争も激化している。GHG排出の実質ゼロ（ネットゼロエミッション）、いわゆるカーボンニュートラルな社会への移行を達成するには社会を構成する様々な要素を根本から変更していく必要がある。それは極めて困難な課題であるとともに新たな機会でもある。この新たな機会の恩恵を受けるべく、あるいは移行に伴う損失を極力回避すべく、各国は取組みを加速しつつある。

気候変動緩和や適応への取組み以外にも、気候変動により深刻化しつつある自然災害への対応、人間活動に伴ってもたらされる様々な環境負荷や生物多様性の損失への対応など、世界が直面する重要課題は多い。またエネルギーの安全かつ安定的な供給も人類社会の基盤として不可欠な要素である。環境・エネルギー分野の研究開発には、こうした様々なリスクや社会的要請への貢献が求められている。

COVID-19は、先に述べたような社会経済活動の変化やエネルギーの需給バランスへの影響だけではなく、我々を取り巻く身近な環境とも深い関係を持っている。感染拡大に関しては、私たちの身の回りにある様々なモノ（環境表面）を介しての感染リスクをどう管理（リスクマネジメント）するかが、コロナ禍の日常を考える上での重要な視点となっている。また、室内環境における換気や空調などとの関連性も重要な視点である。感染拡大の検知については、下水疫学と呼ばれる新たな動きもある。あるいはより広域スケールで見た感染の拡がりについての解析や、都市部と郊外の役割といった都市の在り方の再考など、様々な観点から環境と感染症との関連を掘り下げる動きがある。

本書では、こうした環境・エネルギー分野を取り巻く社会経済的な動向を把握するとともに、30の研究開発領域を設定し、個別領域における研究開発動向を俯瞰した。領域を超えて共通的に見られた潮流は以下の3点である。

- ・「科学的知見や技術の総合化・統合化、技術間の協調・調和」：システムとしての高度化を目的とした個別技術の高効率化や高性能化や、技術間の協調・調和を考慮したものが多く見られた。更に理工学的な知見や技術に加え、人の行動や価値観、経済・社会システムとの関わりに関する科学的知見の必要性も増しており、知の総合化・統合化も大きな研究開発課題となっている。
- ・「観測・計測、分析、予測などの高精度化・高解像度化」：技術的發展により得られるデータは量的にも質的にも増加している。また、多様な観測・計測手段の統合的な利用や、得られたデータの統合的な解析も増加している。予測の精度や解像度を高める方向での研究開発も活発である。
- ・「DX（デジタル・トランスフォーメーション）・CPS（サイバー・フィジカル・システム）による仮想化・知能化」：多様な観測・計測から得られたデータの高度な解析が新たな発見や新たな研究アプローチの機会をもたらしている。人工知能の応用を通じた帰納法的なアプローチの導入は分野を横断して活発である。

次に個別研究開発領域の動向から見てきた日本の研究力について述べる。

### <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、米国など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研究で新規素材などに強みをもつ。一方、各発電方式の応用研究・開発で国際的に熾烈な事業競争が続き、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にはなく、それゆえ国内での応用研究・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研究や、産業的に強みをもつ応用研究・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。
- ・気候変動の観測・予測・評価分野：高精度の雨量観測、気象衛星観測、海洋観測などで欧米に次ぐ水準の研究開発が進められている。独自の地球システムモデル (ESM) の開発・利用によるIPCCへのデータ提供などを通じて国際的枠組みにも貢献している。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研究にも強みを有する。
- ・環境資源の持続的利用分野：水利用・水処理では膜処理やUV-LEDなどに強みをもつ。また除去・浄化 (大気、土壌・地下水) に関してはガソリン車用三元触媒や鉱山廃水浄化技術などで国際的に高い水準の研究や技術がある。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。
- ・生態系・生物多様性の観測・評価・予測分野：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。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など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も後れをとっている。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が今後の課題と認識されている。
- ・環境に係る基盤的分野：大気環境分析分野ではPM<sub>2.5</sub>に係る研究で国際的に高い水準の研究や技術がある。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。相対的な弱みとしては、観測体制、独自の観測機器や分析技術の国際的展開などが挙げられる。ライフサ

イクルアセスメントや環境影響評価では個別の製品開発や企業ニーズに対しては蓄積を有する。一方、欧米と比べて、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などで後れをとる。

以上の国内外の研究開発動向や社会経済動向を踏まえると、今後の環境・エネルギー分野の研究開発の展望や方向性は次のように考えられる。

研究開発として今後一層重要性が増すと予想されるのは、「社会の移行 (transition) を促進する研究開発」である。目指す社会への移行を各国が加速させる中、これに貢献することが研究開発にも求められている。

ではどのような社会を目指すのか。これは、「ネットゼロエミッションな社会 (気候変動緩和)」、「アダプティブな社会 (気候変動適応)」、「レジリエントな社会 (強靱性)」、「サーキュラーな社会 (循環経済)」の4つが主な方向性と考えられる。これらの中核にある共通の価値観は持続可能性と包摂性である。これらの方向性のうち特にネットゼロエミッション社会に関しては、2050年カーボンニュートラルという野心的な目標が設定されており、逆算すれば2030年頃には社会の中のエネルギーシステムを大きく変えていかなければならない。特定の業界や個別の技術単体で解決できる問題ではないため、分野の垣根を超えて総合的に取り組む必要がある。

またこれらの社会への移行を促進するにあたって鍵となるのは「DX化」および「人の行動や社会との関わり」の深化である。ここでのDX化には、研究開発上のDX化のみならず、社会のDX化も含まれる。人の行動や社会との関わりについても、研究開発対象としてこれらをより深く理解するという側面と、社会実装や普及まで見据えた研究開発を進める上での多様なステークホルダーとの協働という側面が含まれる。

## 今後の展望・方向性

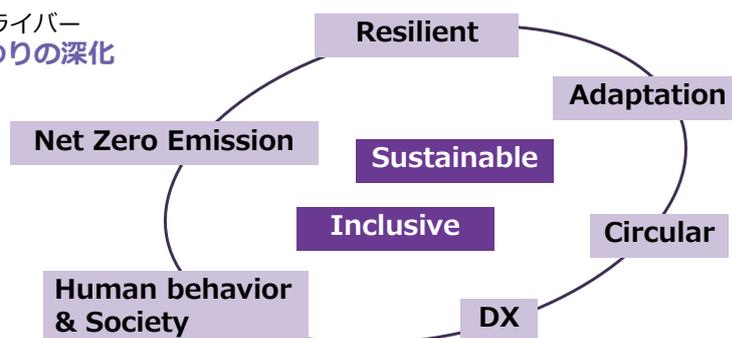
### 社会の移行 (transition) を促進する研究開発

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

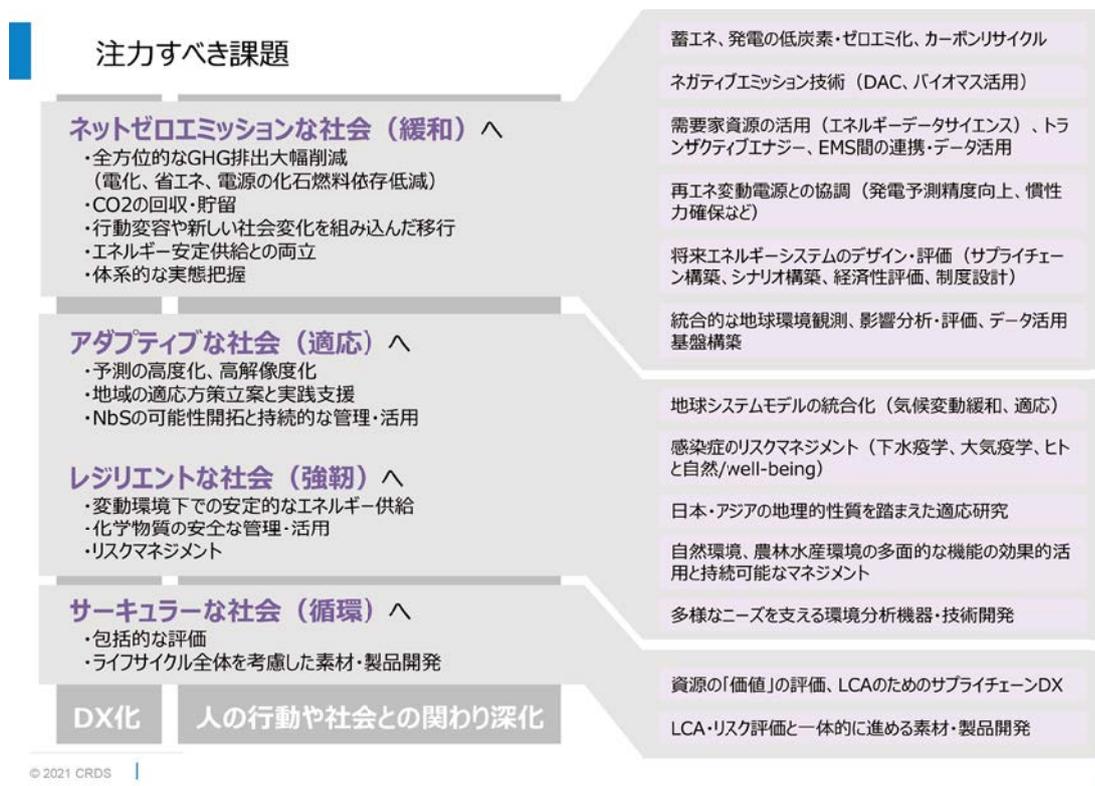
移行を進める上でのキー・ドライバー

- 人の行動や社会との関わりを深化
- DX化



4つの社会への移行に向けて今後注力すべき課題は下図のとおりである。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。

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。最後に循環経済の実現、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、これらを支える人材としての技術者の確保・育成、更にはデータを利用しやすいように保持する機構などが必要と考えられる。



環境・エネルギー分野の研究開発は極めて広範囲に亘る。現在の社会の発展とともに、より良い社会と地球環境を将来世代へと引き継いでいく責務も担っている。コロナ禍に直面し、明日の生活にも不安を抱かざるを得ない状況が続いているが、この困難を乗り越えてたくましく発展していく社会を支える柱として研究開発を力強く進めていくことが求められている。