

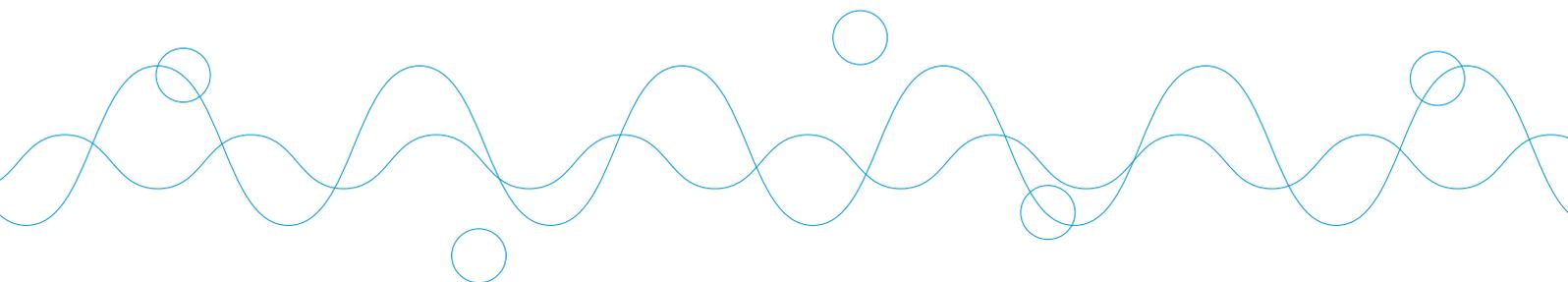
CRDS-FY2011-IC-02

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTCGCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC  
TGA C CTAAC TCTAGACC

環境・エネルギー分野

# 科学技術・研究開発の国際比較 2011年版

0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
00110 11111100 00010101 011



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

## エグゼクティブサマリー

日本の環境・エネルギーに関する研究開発の国際的な位置づけを把握し、新しい技術開発の動きを捉えることを目的に、エネルギー、環境保全、資源循環、自然生態管理の4つの分野において、米国、欧州、中国、韓国との比較を行った。前回までは、環境技術を本編の調査対象としていたが、今回は、環境・エネルギーと改め、エネルギー分野を明示して、エネルギーの供給から消費まで体系的に取り上げることとした。これに伴い、前回までの地球温暖化分野と環境汚染・破壊分野を、新たに、エネルギー分野と環境保全分野に再整理した。また、資源循環分野、自然生態管理分野も含め、すべての分野の中綱目も再編した。再編にあたっては、前回までの調査結果との継続性を保つように配慮した。

今回、調査対象とした4つの分野のうち、自然生態管理分野を除く3つの分野では、状況はそれぞれ異なるものの、日本は世界のトップレベルの研究開発水準と技術力を有することが再確認された。しかし、自然生態管理分野においては、日本の研究開発は必ずしも十分とは言えず、国際的に遅れが見られる。今後、地球規模の気候変動や環境変化が進行した際の影響を正確に予測し、適切な科学技術対策を採るには、この分野の研究開発への一層の取り組みが必要と言える。

過去2年間における注目すべき動向として、各国が特にエネルギー政策を重視し、関連技術の研究開発の戦略強化を進めていることがあげられる。日本では、エネルギー政策基本法に基づき、3年ぶりにエネルギー基本計画が改定された（平成22年6月18日閣議決定）。エネルギー政策の基本である3E（エネルギーセキュリティ、温暖化対策、効率的な供給）に加え、エネルギーを基軸とした経済成長の実現と、エネルギー産業構造改革が新たに追加された。また、2030年に向けた目標として、エネルギー自給率および化石燃料の自主開発比率を倍増して、自主エネルギー比率を現状の38%から70%程度まで向上させること、CO<sub>2</sub>を排出しない電源の比率を現状の34%から約70%に引き上げること、家庭部門のCO<sub>2</sub>を半減させること、産業部門での世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図ること、日本企業群のエネルギー製品等が国際市場でトップシェアを獲得することが唱われている。

国際的には、2007年6月のG8首脳会合（ハイリゲンダム）で日本が提唱したイニシアティブ Cool Earth 50（2050年までに炭酸ガス排出量を半減）が採択された後、その具体的な道筋について、気候変動枠組条約締約国会議（COP）で討議が進められてきた。しかし、2009年12月コペンハーゲンでのCOP15では「気温上昇2℃以下抑制、途上国も含む削減行動の提出を含む合意にtake noteする」に留まり、2010年12月カンクンでのCOP16では、コペンハーゲン合意に基づく各国の目標実施（新たな枠組み）と京都議定書上の義務に関する議論の継続に留意するとして、交渉破綻の危機をようやく回避した。このようにポスト京都議定書の枠組みに向けた国際的な合意形成への途は困難に面している。この間、日本は、2009年9月の国連気候変動首脳会合における総理大臣演説において、2020年までに1990年比で-25%の排出削減計画を発表し、世界各国の協力を要請している。

このように各国の思惑の対立があるものの、低炭素社会への移行は世界の潮流となり、化石資源利用を前提にした技術体系や産業構造の抜本的な改革の要請が益々強まっている。また、世界経済の停滞の中で、エネルギー技術を社会経済的価値につながるイノベー

ションの原動力と位置付ける国際的な技術開発競争が始まっている。エネルギーの課題は、特定技術での万能薬的解決は期待できない。様々な開発技術の効率や環境負荷を見極め、さらに経済性、社会的受容性などに応じて適材適所の導入を目指すと共に、日本としての、そして世界各国、地域ごとの総合的な中長期的プランニングが必要となる。

エネルギー分野については、多様な関連技術をエネルギー需給の上流から下流まで、すなわち、エネルギーの供給、需給調整、消費に分類し、それらから10の具体的な技術の中綱目として取り上げ、国際比較を行った。

発電・転換技術は日米欧が競って基礎・開発研究を推進しており、韓国、中国が先進技術の導入を通じてキャッチアップを図っている。特に、再生可能エネルギーは、太陽電池、風力発電、バイオ燃料を中心とした各国市場の急速な拡大によって、関連技術の研究開発も急速に充実してきているが、それに伴い研究開発の重点領域も変化しつつあることに留意する必要がある。また、日米、そして新興国である中国、インドにおいて、原子力発電の建設計画と研究開発は拡大傾向であったが、2011年3月の福島第一原子力発電所の事故以来、各計画の実施には不確かさが増している。我が国においては、自然災害に対する安全性、放射線被曝、汚染除去などに関する研究の強化が予想される。

送配電・蓄エネルギー技術については、自然変動エネルギーの大量導入に向けたグリッド技術などの研究開発が欧米日韓で進められているが、スマートグリッド導入の意義、そして制度や規制も異なるため、研究開発の状況は国によって違いがある。また、ポスト・リチウムイオン電池として、リチウム・空気電池が欧米をはじめ広く注目を集めており、さらに将来を見据えた金属・空気電池の基礎研究への動きもある。

産業・民生・運輸エネルギー利用技術では、住宅や家電機器、空調機器、自動車に関する研究開発が進んでいる。日本はいずれの技術についても優位にあるが、国際競争の激しさが増している。

環境保全分野は、気候変動緩和技術、地球環境保全技術、大気環境保全技術、水環境保全技術、土壌環境保全技術、化学物質の環境リスク評価・管理技術、環境アセスメント技術に対する国際比較を行った。

各中綱目においては、研究水準、技術水準、産業技術力のいずれにおいても、米国、欧州、日本の技術力が世界をリードしているが、中国、韓国はともに進展が著しく、近い将来、日米欧に並ぶ力をつけるものと予測される。日本は、環境保全に関わる法規制の整備、関連技術の実証研究およびビジネスとしての国際展開を推進する必要がある。

資源循環分野は、資源の種類に着目した4中綱目と廃棄物処理の1中綱目を取り上げた。本分野の技術や研究開発は、各国、各地域の法制度や地理的条件と密接なかかわりを持っている。

素材のリサイクル技術をはじめ、日本の技術水準は高いが、低コストで新興国や発展途上国の需要に応える技術の供給、技術のシステム化およびパッケージ化による海外展開、研究成果の英語での情報発信が重要である。

経済発展段階での旺盛な資源需要の中で、近隣諸国間だけでなく地理的隔たりのある地域間も含め、国際的な二次資源流通が盛んになっており、より開かれた形での国際競争や

国際標準化が進む可能性がある。製品中の有害物質の使用規制においては、日本が進めてきた 3R の国際的普及を、静脈産業の国際競争力強化につなげていくことが課題である。

自然生態管理分野は、米国が圧倒的な優位を誇る分野であると同時に、日本が最も遅れている分野でもある。米国が優位である理由はいくつかあるが、巨額な研究費をもつ民間財団が存在していること、NSF などを通じて国家予算の投入が積極的に行われていることなどがあげられる。

中国では、米国から帰国した多くの研究者が高等教育研究機関に着任し、研究を精力的に推進しているため、近年の研究開発水準の向上はめざましい。外来種管理や生物資材では、欧州が優位にある。日本では、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレータなどに関連する分野では国際的な競争力を維持しているが、他の分野では中国とは大差のない水準にある。

# 目 次

## エグゼクティブサマリー

目的・調査方法・本書の構成	1
国際技術力比較	5
1. エネルギー分野	7
1-1. 概観	7
1-2. 比較表	10
1-2-1. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／ 石油、非在来型石油	10
1-2-2. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／ 天然ガス、メタンハイドレード	12
1-2-3. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／石炭	14
1-2-4. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／原子力	16
1-2-5. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／再生可能エネルギー	20
1-2-6. 需給バランス調整／送配電ネットワーク	22
1-2-7. 需給バランス調整／蓄エネルギー	24
1-2-8. エネルギーの消費サイドの技術／産業	26
1-2-9. エネルギーの消費サイドの技術／民生	28
1-2-10. エネルギーの消費サイドの技術／運輸	30
1-3. 注目すべき研究開発の動向	31
2. 環境保全分野	44
2-1. 概観	44
2-2. 比較表	46
2-2-1. 気候変動緩和技術／二酸化炭素回収・貯蓄技術	46
2-2-2. 気候変動緩和技術／農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術	48
2-2-3. 気候変動緩和技術／気候変動予測・評価技術	50
2-2-4. 地球環境保全技術	52
2-2-5. 大気環境保全技術	54
2-2-6. 水環境保全技術	56
2-2-7. 土壌環境保全技術	60
2-2-8. 化学物質の環境リスク評価・管理技術	62
2-2-9. 環境アセスメント技術	64
2-3. 注目すべき研究開発の動向	66
3. 資源循環分野	
3-1. 概観	73
3-2. 比較表	74
3-2-1. バイオマス系循環資源リサイクル技術	74

3-2-2. 非金属鉱物系循環資源リサイクル技術	76
3-2-3. 金属系循環資源リサイクル技術	78
3-2-4. 化石系循環資源リサイクル技術	80
3-2-5. 廃棄物処理技術	82
3-3. 注目すべき研究開発の動向	86
<b>4. 自然生態管理分野</b>	90
4-1. 概観	90
4-2. 比較表	94
4-2-1. 生物多様性の観測・評価・予測技術	94
4-2-2. 生態系の観測・評価・予測技術	96
4-2-3. 陸域管理・再生技術	98
4-2-4. 陸水管理・再生技術	100
4-2-5. 海洋管理・再生技術	102
4-2-6. 野生動物管理・復帰技術	104
4-3. 注目すべき研究開発の動向	106
<b>付録</b>	111
海外の政策動向	113
略語集	122
2011年版執筆者・協力者一覧	128

# 目的・調査方法・ 本書の構成

## 目的・調査方法・本書の構成

### 1. 目的

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（CRDS）は、社会ニーズを充足し、社会ビジョンを実現させる科学技術の有効な発展に貢献することを目的に、国が行うべき研究開発の戦略立案を行い、科学技術政策立案者に提言を行っている。

有効な戦略立案・提言のためには、①国内外の科学技術水準や現在行われている研究開発の動向を比較し、我が国の技術力の国際的なポジションを把握するとともに、②新しい技術の芽にも注意を払い、今後の研究開発動向を的確に捉える必要がある。そこで、CRDSでは2008年より、科学技術・研究開発に関する国際比較調査を実施し、その結果を刊行、発表してきている。

本報告書は、環境・エネルギー分野において、2011年3月末までの調査結果をまとめたものである。

国際比較の結果はCRDSにおける研究開発戦略の企画立案の基礎資料として活用されるとともに、独立した報告書として、科学技術政策立案に関連する関連機関等に配布される。

### 2. 調査方法

本調査は、我が国の専門家集団の主観評価（見識）に基づき実施し、まとめたものである。

具体的には、全体の監修を上席フェローが行い、調査対象の設定、「中綱目」（技術力の比較が可能なレベルに分野をさらに細かくカテゴリ化した技術領域）の設定、担当専門家の分担の決定などを行った。専門家（調査協力者）は、担当する中綱目について、最新の文献や国際学会等の動向、関連する研究者、技術者等からの聞き取り調査などにより、科学技術・研究開発の国際技術力比較、及び注目すべき研究開発の動向の調査を実施した。これらの調査結果をCRDSフェローがとりまとめ、編集の上、報告書としてまとめた。

### 3. 本書の構成

本調査は、それぞれの科学技術をいくつかの「分野」に分け、さらに比較可能な技術カテゴリーとして「中綱目」を設定し、「中綱目」単位で比較調査した。

本報告書の「国際技術力比較」は、「分野」ごとに、「概観」「中綱目ごとの比較（比較表）」「注目すべき研究開発の動向」から構成した。

また、「付録：海外の政策動向」は、各分野に関する主要国の科学技術政策や研究開発システム、可能な範囲で分野別のファクトを記述した。

#### （1）概観

「分野」ごとに、日本及び各国の技術力の現状の概観を記載した。

## (2) 中綱目ごとの比較 (比較表)

専門家の知見に基づき各国の科学技術力の比較を中綱目ごとに集めたもので、各国の科学技術力を比較する際のベンチマーク資料と位置づけられる。

技術力の比較は、「研究水準」「技術開発水準」「産業技術力」という3つの観点で行った。

- ・ 「研究水準」：大学・公的研究機関の研究レベル
- ・ 「技術開発水準」：企業における研究開発のレベル
- ・ 「産業技術力」：企業における生産現場の技術力

またこれらの評価は、各国の技術力の「現状」と、各国の技術力が過去と比較してどのように変化してきているかの「近年のトレンド」の二つの視点で行った。

- ・ 「現状」：◎非常に進んでいる ○進んでいる △遅れている ×非常に遅れている
- ・ 「近年のトレンド」：↗上昇傾向 →現状維持 ↘下降傾向

国、地域のカテゴリーは、原則、日本、米国、欧州、中国、韓国とし、その他の国、地域は必要に応じて追記した。

## (3) 注目すべき研究開発の動向

国際技術力比較としての対象設定が可能な、世界的に普及した研究開発領域の動向とは別に、専門家の見識によって選定された注目すべき研究開発動向の最新動向を取りまとめたものである。将来的に重要性が増すと予想される技術革新の芽や、一国単独での記述にはおさまらない国際的な潮流の新しい動向、あるいは我が国においてその情報が十分に紹介されてこなかった諸外国の研究開発や政策上注目すべきトピックを収集、紹介するための手段として位置づけられる。

# 國際技術力比較



## 1. エネルギー分野

### 1-1. 概観

エネルギー分野での国際技術比較を実施するにあたり、エネルギー分野の多様な関連技術をエネルギー需給の上流から下流まで、すなわち、エネルギーの供給、需給調整、消費に大きく分類し、それらから10の具体的な中綱目を取り上げた。これらは、一次エネルギー別の発電・転換技術、送配電・蓄エネルギー技術、そして産業・民生・運輸エネルギー利用技術という構成とした。以下は、このような分類の中から、重要度の高い技術の研究開発の現状について各国比較を試みたものである。

- ・ 在来型石油（天然ガス）資源開発技術としては、既存油田からの回収率や生産効率の向上を目的とした技術開発や進められ、タイトガス、シェールガス、オイルサンドなどの非在来型資源の利用技術の開発が、特にアメリカ、カナダで進展している。資源小国の日本や韓国での研究は欧米に比べ低調である。
- ・ 火力発電技術では、日米欧の主要メーカーがガスタービンの高効率化を目指し競ってきたが、日本は1700℃級発電用ガスタービンや高温分空気ガスタービンといった新目標をさらに掲げ開発を続けて欧米の先を行く。中国が今後急速に追い上げる勢いにある。
- ・ 燃料電池に関しては、世界的な開発競争が続いている。基礎・応用開発研究はアメリカが幅広く展開し、燃料電池を商用販売している会社の大半は米国にある。欧州、日本での研究も高水準にあり、韓国では急速に燃料電池の普及が進むと考えられる。固体電解質形燃料電池についても日米欧で競って基礎・開発研究が進められ、熱効率60%（LHV）を達成する定置用小型機が豪州で市場導入された。
- ・ 世界の発電の40%を占める石炭火力のCO<sub>2</sub>排出量を抑制し、高効率を達成する石炭ガス化複合発電（IGCC）については、特にアメリカ、豪州で、CCSを組み合わせたシステムとして基礎・応用開発研究プロジェクトが進められている。日本も技術レベルでは同等以上の位置にあり、基礎研究を基に着実に進展している。韓国、中国が先進技術の導入からキャッチアップを狙う。
- ・ エネルギー安定供給と温暖化ガス削減対策と位置付けられた原子力発電所の建設計画は拡大傾向であり、各国において新型軽水炉などの研究開発が進められている。特に、中国、インドでは自主開発、海外導入技術を基に、研究開発の着実かつ大幅な進展が予想される。米国では、軍事面において核利用の研究開発力、技術力が高水準である。欧州では、原子力推進国であるフランス、ロシアが新型軽水炉、高速増殖炉サイクルの研究開発を精力的に進めており技術開発水準も高い。元来高い技術開発力を有する日本では、2011年3月の福島第一原子力発電所事故が継続する中、自然災害に対する安全性、放射線被曝、汚染除去などに関する研究の強化が予想される。
- ・ 再生可能エネルギーは各国政府の手厚い政策支援をベースに急速に導入量が増加している。特に、太陽電池、風力発電、バイオ燃料については、21世紀に入って毎年数十%という急速な拡大が続いている。このような急速な市場拡大が基礎となり、再生可能エネルギー技術の研究開発も急速に充実してきているが、それに伴い研究開発の重点領域も変化しつつあることに留意する必要がある。

- ・ 風力発電と太陽電池が世界の新市場を形成しつつあり、各国とも再生可能エネルギー技術に関わる基礎・応用開発研究に注力している。薄膜シリコン、有機系、化合物、さらに次世代太陽電池の基礎研究では、日米欧が先頭を競っているが、製品開発・市場導入ではドイツ、中国、日本が先行している。風力発電では欧米が、バイオ燃料では日米が先行している。日本の洋上風力開発が始まり、バイオ燃料では中国の研究開発の進展がある。
- ・ 太陽光発電については、透過型のタイプや建物一体型などの太陽電池建材、太陽熱給湯器と一体となった業務用タイプが各国において普及し始めた。量産化に向けたコスト低減が今後の研究開発の課題であろう。
- ・ 太陽熱発電は、日照条件の良いスペインや北アフリカなどで導入への計画があり、技術開発が進んでいる。機器技術は日米欧が高位にあるが、今後、送配電技術も含めたシステム技術としての競争になる。太陽熱給湯については、高性能な給湯器が欧米で開発され、利用量が落ち込んでいた日本で新たな展開の向きにある。また、太陽熱を熱源としたデシカント冷房システムは、フランス、ドイツ、米国、日本で研究開発が進んでいる。
- ・ コージェネレーションは、欧米で歴史が長いですが、近年日本でも導入が進んでいる。高効率ガスエンジンシステム開発では欧州が先行し、日本では固体高分子形燃料電池を用いた家庭用システムの研究開発で優位に立っている。
- ・ 日本は超高压送電技術（UHV 送電）、超電導線材技術などで優位にあるが、欧州はパワエレ技術、直流送電技術で先行している。自然変動エネルギーの大量導入に向けたグリッド技術などの研究開発も盛んになっている。スマートグリッドを構成するスマートメーターや情報通信端末、ホーム・エネルギー・マネジメント・システム（HEMS）に関する研究開発が米欧日韓の各国で進められている。各国におけるスマートグリッド導入の意義、そして制度や規制も異なるので、研究開発の状況は国によって違いがある。家庭でのディマンド・サイド・マネージメント（DSM）についても、研究開発が活発となっている。
- ・ 電力貯蔵用の NAS 電池、ハイブリッド・電気自動車用の革新型リチウムイオン電池の研究開発が日米欧で盛んである。研究・技術水準では日本は優位にあるが、産業力では必ずしもそうではない。欧米、中国は重点的投資と共に、長寿命電極材料、電解液の研究・技術水準を上げつつある。ポスト・リチウムイオン電池として、リチウム・空気電池が欧米をはじめ広く注目を集めており、さらに将来を見据えた金属・空気電池の基礎研究への動きもある。
- ・ 欧米でゼロエネルギー住宅、エネルギー生産住宅について研究開発が進められており、日本では高断熱住宅の建設が始まり、今後、この種の研究が盛んになると予想される。日本では、真空断熱材、断熱性の窓ガラス、樹脂製サッシも普及し始めた。欧州では太陽光に有利な透明断熱材の研究が盛んで、技術的にはドイツが先行している。高反射性建材は、特に米国で開発が進んでいる。潜熱蓄熱体の開発は欧州で、アースチューブシステムは欧米日で開発が進んでいる。
- ・ トップランナー方式をとる日本では、高効率家電機器の研究開発が最も進んでいる。空調機器産業は日米が優位であるが、技術的には日本が優位にある。二酸化炭素冷媒のヒートポンプは日本の開発技術であり、さらに効率向上のための研究開発が、ま

た、低外気温対応のヒートポンプ機器の開発が進んでいる。産業用ヒートポンプはこれらの民生用ヒートポンプの技術を利用しつつ、この数年、日本では民間を中心に活発な開発が進められている。最近では 60℃→140℃のヒートポンプで COP（仕事率）が 3 以上のものができつつある。今後、産業分野に展開されていくことによって、大きな市場として成長すると期待される。

- 交通分野では、ハイブリッド自動車（HV）、電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）、水素貯蔵に関連する研究開発が、日米欧が先行し、韓国での開発も急速であり、小型 EV については中国の勢いも顕著である。今後の市場導入のシナリオは明確ではないが、現行の HV からプラグイン HV 車へ、電池開発と共に近距離用の EV が、そして水素インフラの整備と共に FCV の導入が予想され、中長期的目標に向けた基礎・開発研究の競争が始まっている。

## 1-2. 中綱目ごとの比較

## 1-2-1. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／石油、非在来型石油

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	△	→	1980年代から地熱開発を目的としたフラクチャリングの研究が進められてきている
	技術開発水準	△	→	日本には非在来型天然ガス資源はないし、高温岩帯の本格的開発も行われていない
	産業技術力	○	↑	カナダで SAGD 法によるオイルサンドの開発事業に参加している
米国	研究水準	○	→	フラクチャリングおよびそのモニタリング
	技術開発水準	◎	↑	水平掘り、水圧破砕（フラクチャリング）、マイクロサイスミック（AE）による割れ目進展のモニタリングなど、非在来型天然ガス開発に関わる技術開発が著しい
	産業技術力	◎	↑	商業ベースでの非在来型天然ガス資源の開発の進展
欧州	研究水準	△	→	
	技術開発水準	△	↑	シェールガスの開発が期待されている
	産業技術力	○	→	
中国	研究水準			
	技術開発水準	△	↑	基本的にはアメリカの技術を吸収する戦略
	産業技術力	○	↑	北米の非在来型天然ガス開発事業に積極的に参加。国内では GTL も。
韓国	研究水準			
	技術開発水準	△	→	日本と同様の状況
	産業技術力	○	↑	シェールガスの開発に関心を示している。
<p>全体コメント： 従来型エネルギーに関する研究開発で温暖化抑止を考える場合、技術開発段階、産業応用段階での取り組みが必須であり、大学等で行われる要素技術の研究水準は比較対象としなかった。</p>				

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*  
\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]



1-2-2. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／天然ガス、メタンハイドレード

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	WE-NETにおける水素燃焼タービンや二酸化炭素回収対応クローズド型高効率ガスタービン等、世界で唯一1700℃級ガスタービンを目指した研究開発を国のプロジェクトとして進められてきた結果、発電用ガスタービンの高温高効率化技術は他国を引き離しつつある。ただし現在は産官学が連携した大型の研究開発プロジェクトが無く、大学における取組も減少傾向にある。燃料電池に関しては、ガスタービンとのハイブリッド化による高効率期待されるSOFCについて、幅広く研究が行われている。また、MCFCの研究開発は国プロの終了などにより縮小傾向にあるものの世界トップレベルである。
	技術開発水準	◎	↑	2011年より受注が開始される1600℃級ガスタービンコンバインドサイクルは、世界で初めて60%（LHV）を超える熱効率が見込まれている。また中小容量機の高効率化と運用性向上を可能にするAHAT（アドバンスド型高温湿分空気利用ガスタービン）の開発も着実に進んでおり、次世代型ガスタービンの開発では他国を引き離している。燃料電池に関しては、国内の主なメーカーがすべてMCFCの開発から手を引いたものの、PEFCは商用販売されており、SOFCも実用化に向けて着実に開発が進められている。
	産業技術力	◎	→	ガスタービンに関しては関連するほとんどの技術分野において世界最高レベルの技術力を有している。今後は組立工場の海外移転などが進むであろうが、高度な製作技術を要する重要な部品については国内での生産が続くと考えられる。燃料電池に関しては、商用化の面では欧米に遅れを取っているが、SOFCで重要となるセラミクス材の製造技術などでは日本が秀でている。国内市場が縮小する中、技術力の維持・継承が課題である。
米国	研究水準	◎	↘	エネルギー関連の研究の中心が、再生可能エネルギー導入拡大に向けたスマートグリッド等に移ってきており、ガスタービン関連の研究は縮小傾向。Vision21ではガスタービンに関しても多方面にわたる研究開発計画が謳われていたが、その後の研究開発動向や成果はあまり伝わっていない。燃料電池についてはエネルギー省（DOE）のHydrogen Programなどで研究開発が進められている。
	技術開発水準	◎	→	90年代半ばまでは米国が世界のガスタービン開発を先導してきたが、現在は新型機の開発よりもアフターセールスのビジネスに注力しており、発電用ガスタービンの開発は停滞気味。ただし、航空用ジェットエンジンの開発が続けられており、これらを転用した航空転用型のガスタービン発電機は今後も新しいモデルが投入されるであろう。燃料電池に関してはFCE社が着実にMCFCの売り上げを伸ばしている。またHydrogen Programにおいて燃料電池の普及に向けた開発が幅広く進められている。
	産業技術力	◎	→	発電用のみならず航空用も含めると多くのガスタービンメーカーを抱え、産業技術力の裾野は広く、技術レベルも高い。
欧州	研究水準	◎	→	エネルギー関連の研究の中心が、再生可能エネルギー導入拡大に向けたスマートグリッド等に移ってきており、燃料電池やガスタービン関連の研究は縮小傾向。
	技術開発水準	○	→	ガスタービンに関しては新技術の開発よりも新興国や途上国への販売等のビジネスに注力しており、発電用ガスタービンの技術開発力は低下傾向にある。しかし、軍用も含めた航空用ジェットエンジンの開発は続いており、これらの技術を転用した発電用ガスタービンは今後も開発されるものと考えられる。燃料電池に関してはCFCL社が60%（LHV）を達成するSOFCを開発した他、国家レベルも含め、複数の開発プロジェクトが進められている。
	産業技術力	○	↘	欧州では最近20年間に火力プラントの新設が少なかったことから、火力発電設備全般について技術力が低下傾向にある。

中国	研究水準	△	↑	これまで発電の大半を石炭に頼っていたが、今後は天然ガス消費量も増加すると考えられ、天然ガス関連の研究も盛んになると考えられる。ガスタービンに関する研究はまだ緒について段階であるが今後急速な水準の向上が予想される。燃料電池に関しては日本の研究機関との研究協力などにより着実にレベルを向上させており、今後は日米欧との差を急速に縮める可能性がある。
	技術開発水準	△	↑	これまではガスタービン関連の技術開発で注目すべき点はなく、発電用ガスタービンに関してはMWクラスをようやく国産した段階であるが、戦闘機用ジェットエンジンの国内開発も進められており、これらの技術の産業用への転用が進めば、巨大な市場と豊富な資金を背景に、躍進する可能性がある。また、燃料電池に関してはすでに水素燃料電池自動車の開発を行っており、今後は発電用の分野でも技術開発水準が大きく向上すると予想される。
	産業技術力	△	↑	現状ではまだ技術力は低いが、近年石炭火力発電に関する技術力を急速に向上させたように、国外の技術を吸収して急激に技術力を向上する可能性が高い。ただし、当面の間、高度な加工技術を要する部品等は日本などからの調達に頼らなければならないであろう。
韓国	研究水準	○	→	ガスタービンに関しては基礎的研究および海外から導入したガスタービンの運用に関する研究等が中心であり、特に注目すべき点は見られないが、燃料電池に関しては国レベルで80年代半ばから積極的な研究開発が行われている。
	技術開発水準	○	↑	ガスタービンに関しては国内開発に向けた動きは見られないが、燃料電池に関しては着実に研究開発が進められており、国外との技術提携などにより、商業生産間近にある。
	産業技術力	△	↑	外国企業との技術提携によるライセンス生産などを通じて徐々に技術力を蓄えていくものと考えられる。
<p>全体コメント：</p> <p>発電用ガスタービンに関して、1500℃級までは日米欧の有力メーカーのほとんどが開発を競ったが、その後の研究開発を進めているのは日本のみと言える。また、高度な加工技術など産業技術力の裾野も日本が優位にある。</p> <p>燃料電池に関しては、これまで米国のFCE社のMCFCが圧倒的なシェアを得ていたが、オーストラリアに本社を置くCeramic Fuel Cells Limitedが2kW級SOFCで1.5kW出力時に60% (LHV) の熱効率を達成し、さらに日本ガイシ㈱は2009年に700W級SOFCで63%を達成しており、今後、寿命や価格などの課題がクリアされればSOFCが急速に普及する可能性もある。また、さらなる高効率化を目指した燃料電池とガスタービンのハイブリッドに関しては商用化間近の段階であるが、さらに蒸気タービンも組み合わせたトリプルコンバインドについては、プラント規模が巨大となることからスタック（モジュール）の大型化や生産設備の整備などの課題もあり、相当数の中小容量機が定期的導入される状況となった次の段階と考えられる。全体として日米欧の水準が高いが、燃料電池に関しては韓国の存在感が増しており、今後は中国が急速に伸びてくるものと考えられる。</p>				

(参考情報)

- [1] IEA World Energy Outlook 2010
- [2] 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2010」
- [3] <http://www.cfcl.com.au/BlueGen/>
- [4] <http://www.ngk.co.jp/news/2009/0611.html>
- [5] <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/933/933-07.pdf>
- [6] [http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review09/program\\_overview\\_2009\\_amr.pdf](http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review09/program_overview_2009_amr.pdf)

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

1-2-3. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／石炭

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	2015年頃を目途に、700℃級のA-USCを開発目標とした研究が進められている。これに先立ち、A-USCのボイラー・タービンの開発に必要な要素技術開発のための補助事業も行われている。このA-USCに使用される材料はNi系となるため、新たな耐熱材料の開発が課題となっている。 並行して、IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle: 石炭ガス化複合発電) の高度化に関する研究も進められている一方、発生したCO <sub>2</sub> を回収・貯留するCCS技術に関する研究も、(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)他により推進されている。 ただし、日本は石炭火力の比率が欧米に較べて低く、かつ最近は低炭素化の要求のため、石炭には逆風が吹いており、大学での石炭の基礎研究は、それほど盛んには行われていないのが実情である。
	技術開発水準	◎	↑	日本の現在の石炭火力発電効率は世界第1位であるが、これは総容量3800万kWの半数が蒸気の圧力と温度を高めた最新鋭のUSC(超超臨界圧火力: 蒸気温度600℃級)であることが主要因である。現在日本には20基、1850万kWのUSCが運転中である。またこれよりさらに圧力・温度を上げたA-USC(700℃級)の研究も進みつつある。 一方、複合発電によりさらに効率向上が可能なIGCCに関する研究開発も進んでいる。2007年度より福島県いわき市勿来において、日本の全電力が参加した25万kWのIGCC実証機が稼働している。この実証機は日本の独自技術である高効率の空気吹きガス化炉を採用しており、2010年6月には世界最速(2年半)で長期耐久運転試験5000時間を達成した。この実績に基づき商用機の検討も始まっている。 また、電源開発と中国電力により、17万kW級の酸素吹きIGCCの実証試験を行うプロジェクトも検討されている。 IGCCはガスタービンの性能向上によりさらに発展が期待でき、また高温型燃料電池(SOFC)と組み合わせたIGFC(Integrated coal Gasification Fuel Cell)への発展も考えられる、石炭火力の切り札ともいえる技術である。またCCS技術も研究が行われているが、規模が小さいものの技術水準は日本は世界のトップレベルにある。
	産業技術力	◎	↑	日本の既存の石炭火力は、USCの比率が高いこともあり、平均効率は世界で最も高く、また国内の製造拠点も維持されており、生産現場の技術力も非常に高い。しかし日本のUSC技術はすでに中国にライセンスされており、中国での大量生産が始まっていることから、この技術優位性はあと5年程度と考えられる。また欧州はUSCの生産・建設に力を入れており日本に迫っている。 一方、IGCCについては勿来25万kW実証機の成功で日本が世界を完全にリードしており、また国内での製造能力や運転技術も維持されている。
米国	研究水準	◎	↑	A-USCの研究に際し、米国ではもともとNi系材料の技術レベルが高い事もあり、日本、欧州よりも高温条件である760℃級を目標とし、適用材料評価・選定を行っている。2020年頃に、760℃級のA-USCを開発する目標で、各種研究がなされている。 日本と同様、並行してIGCCに関する研究も進められており、国立エネルギー技術研究所(NETL)では、タービン技術の研究開発を推進している。また、国の支援のもと、CCS技術に関する研究も活発化してきている。
	技術開発水準	◎	↑	現在、25万kW級のIGCCが2炉稼働しているが、旧式炉であり発電効率も低い。 新規IGCC計画としては、Duke Energy社の630MWのIGCCプロジェクトが進んでおり、2012年末に運転開始予定。その他、IGCC+CCSも含め、5つのプロジェクトが検討されている。 また、国の支援により、CCSにおける技術開発の水準も高まってきている。 米国は世界最大の石炭資源国(世界の25%)であり、クリーンコール技術については国の高い支援策が継続して取られている。
	産業技術力	○	→	USCやIGCCの重要機器を米国内で生産する工場が無く製造能力は落ちている。しかし総合エンジニアリング力は依然として強く、中国など海外で生産したものをプラントとしてまとめるコントラクターとしては高い競争力を維持している。

欧州	研究水準	◎	↑	2015年頃を目途に、700℃級 A-USC の建設を目標とした研究が進められている。700℃蒸気に耐える材料の選定が課題となっており、材料のスクリーニング、物性評価、製造性の確認等の基礎研究に加え、700℃の蒸気を用いた2万時間の耐久試験を実施している。ドイツでは、独自に2020年頃に、800℃級の A-USC の材料を開発する目標である。欧州においても、並行して IGCC、CCS 技術に関する研究が行われている。欧州では、EU 大で盛んにクリーンコール技術、及び CCS への取り組みがなされている。実証試験に対しては、EU からの補助が行われることも決定している。
	技術開発水準	◎	↑	欧州では USC はもとより、それに続く A-USC (750℃級) の開発に力を入れており、ドイツでは、2014年建設を目指して、A-USC (700℃) 石炭火力を開発中である。一方、IGCC については、RWE 社の45万 kW の IGCC + CCS プロジェクトが進んでおり、2014年末に運転開始予定。また、Vattenfall 社 (オランダ) の計画では、130万 kW の IGCC + CCS プロジェクトが進んでおり、2011年に IGCC 設備が、2013年には CCS 設備が運転開始予定。
	産業技術力	○	→	イタリア、スペイン、ポーランドに2008年から運転中の USC が7基、2010年に運転開始予定が2基、その他計画中は21基。ドイツでは、2基の USC が建設中。欧州メーカーは、低コストを目指して東欧などに分散して製作している為、納期管理や品質管理に問題があるケースも見受けられるが、改善されつつある。
中国	研究水準	○	→	A-USC、IGCC、CCS 等の最新技術に関する研究も、積極的に進められてはいるが、日米欧と比較すると、まだ遅れをとっている状況。
	技術開発水準	○	↑	中国は発電の80%が石炭火力であり、石炭技術に対する関心は非常に高い。USC については日本メーカーのライセンスが完了し、急速に力を付けつつある。また IGCC については、華能集団が主導して第1期として25万 kW の IGCC + CCS プロジェクトが進んでおり、2020年までには60万 kW の大型実証プラントを建設予定。その他にも、IGCC プロジェクトは数プロジェクト存在する。
	産業技術力	○	→	日本からのライセンスをもとに USC の建設に力を入れており、日本の全 USC 火力に匹敵する2000万 kW を1年で建設するなど驚異的なスピードで進んでいる。現在はまだ品質問題、納期問題などが散見されるようであるが、この改善は時間の問題と考えられ、また圧倒的なコスト競争力で日本メーカーを駆逐し国際市場でのリーダーシップを取る可能性がある。一方、IGCC についてはまだ技術開発段階であり、信頼性と競争力に優れた IGCC の設計・再策はまだ時間がかかると予想される。
韓国	研究水準	○	→	A-USC、IGCC、CCS 等の最新技術に関する研究も進められてはいるが、日米欧と比較すると、まだ遅れをとっている状況。
	技術開発水準	○	↑	USC の技術開発に積極的に取り組んでいる。IGCC 計画としては、欧米のライセンスによる30万 kW の IGCC プロジェクトが進んでおり、2014年に運転開始予定。
	産業技術力	△	↑	700MW 級の SC (超臨界圧) を手掛けているが、USC までは手が届いていない。しかし一國一メーカーで国を挙げて支援しており、国際市場における競争力は高まりつつある。
<p>全体コメント：</p> <p>これまで日本が世界最高の技術を有していた USC は、欧州はもとより中国が膨大な製造能力と低コストで猛烈な勢いで追随してきており、日本の優位性はあと5年程度とみられる。次の A-USC については700℃を超える耐熱材料の開発が鍵となる。一方、IGCC については技術力、製造能力とも日本が完全に世界をリードしており、主要機器であるガスタービンの進歩と相まって、当分日本が世界のトップの産業技術力を維持するものと考えられるが、国際市場での販路拡大には日本における商用機の建設と運転に加え、韓国などに負けない国のバックアップが必要と考えられる。</p>				

(参考情報)

[1] (財) 石炭エネルギーセンター 「クリーンコールを巡る最近の動向 2010」

[http://www.brain-c-jcoal.info/news\\_images/ccd2010\\_material.pdf](http://www.brain-c-jcoal.info/news_images/ccd2010_material.pdf)

(注1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(注2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

1-2-4. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／原子力

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↘	高速増殖炉サイクルについては、「もんじゅ」の運転が再開し、今後、早期に所期の目的達成が期待される。高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT) については一定の成果が出つつあるが、サイクル技術については、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期の再処理技術の研究開発、技術開発が今後必要である。五者協議会の有効な役割発揮を期待する。高レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発は高いレベルにあるが、今後は地下研究施設や、地上研究施設での研究開発を進めるとともに、地震の影響も含めて最新の知見を取り入れていく必要がある。核融合研究開発については ITER、ITER-BA、大学等で研究の進展が見られるが、外国での研究開発の進展速度が早いこともあって、我国としても、核エネルギー開発の一環としての位置づけのもと、他の核エネルギー研究開発とも連携しつつ着実に進めて行く必要がある。高温ガス炉による水素製造研究開発も一定の成果が見られるが、今後は高温ガス炉の利用開発とも合わせて、実用化の目標を明確にした研究開発が必要である。しかし、これらについては世界的な競争の中で、今後注意しないと高い研究水準を維持することは難しい。
	技術開発水準	○	→	軽水炉については、これまでも建設を続けてきたことと次世代軽水炉の開発を進めてきたこともあって技術開発水準は高いレベルにある。燃料サイクル技術の内、再処理については商用再処理工場におけるガラス溶融炉のトラブルがあり操業開始が遅れている。現在、アクティブ試験の実施と新型溶融炉の開発を行っているところである。また、新型遠心分離ウラン濃縮機の技術開発が進み、世界最高水準の機器が開発された、今後実用化に向けた進展が期待される。高速増殖実証炉の開発は、中核企業 MFBR が日本原子力研究開発機構と連携しつつ進めている。高レベル放射性廃棄物処分技術については、今後のサイト選定作業の展開に遅れることなく進めていく必要がある。
	産業技術力	○	→	軽水炉製造、運転保守に関する産業技術力は極めて高いものがある。これをもとに、今後ますますの国際展開が望まれる。これは国益にもかなうものと考えられる。サイクル技術の内、遠心分離ウラン濃縮機は高い産業技術力を有しており、国際市場への展開も期待される。再処理、燃料製造技術については世界のトップレベルではないものの、我国の得意とする技術の特徴を踏まえ、また、適宜、外国企業との連携も図りつつの展開が期待される。
米国	研究水準	◎	→	軽水炉の建設を 30 年以上行ってこなかったことや、サイクル路線をとらず、また、高速増殖炉サイクルの研究も将来技術という政策により、研究開発が遅れているように見られることが多いが、米国では、核兵器の開発維持や原子力潜水艦があること等により、原子力の研究開発に関係するかなりの部分はそこで行われていることに注意する必要がある。さらに、将来の再処理や高速増殖炉サイクルに関連する先進的基礎研究は多くの国立研究機関で行われているとともに、政府関係の予算で多くの大学で行われおり、その研究水準は高いとともに、今後も高くなることに留意すべきである。また、新しい型の原子炉として、中小型炉や、溶融塩炉、ハイブリッド炉、受動性安全炉など様々な炉の基礎研究が多く行われており、その中で、人材育成も行われている。また、最近では、核セキュリティや核不拡散に関連した多くの研究開発が国立研究所、大学で行われている。核融合に関する研究開発も、ITER への参加とともに、レーザー核融合研究が進んでいる。特に後者では最近 National Ignition Facility で多くの成果が得られている。放射性廃棄物処分について商用軽水炉使用済燃料の直接処分場であった、ヤッカマウンテンプロジェクトが撤回されたこともあって、研究開発のインセンティブ低下が見られるが、軍関係廃棄物の処分技術開発は進んでいると思われる。これには、ハンフォードにおける汚染環境修復技術開発も含まれる。
	技術開発水準	○	↗	上述の研究開発と関連して一部のものは高い技術水準になっている。たとえば、高度化再処理技術、環境修復技術、レーザー核融合技術、核セキュリティ、核不拡散技術などである。原子力発電所建設技術については、今後、海外企業と連携したアメリカ国内での建設などと相まって技術開発レベルの向上が予想される。
	産業技術力	△	↗	軽水炉を 30 年間以上建設してこなかったこともあって製造能力の低下見られるが、今後は海外の企業と連携して、その回復が図られようとしている。核セキュリティ、核不拡散技術は相当の高さにあるが、これらには技術セキュリティに注意する必要がある。また、産業ではないが、軍関係では核利用、核物質管理、核物質処理等について高い技術力があることに留意する必要がある。

欧州	研究水準	◎	→	欧州では国によって原子力開発に関する事情が大きく異なるので一概には言えない。フランス、ロシアでは新型軽水炉に向けての研究開発が精力的に行われている。また、これらの国では高速増殖炉サイクルの研究開発も精力的に、日本などとの国際協力も視野に入れつつ行われている。また、これらの国では、新しい再処理技術の研究開発にも力が注がれている。EU、ロシアは ITER 参加国であるとともに、フランスのカデラッシュは ITER 建設地でもあり、核融合炉に対する研究開発が、プラズマのみでなく、原型炉ブランケット試験、原型炉設計などとともに精力的に行われている。また、欧州では最近新型研究炉が建設、運転中であり、それらを用いての斬新的な研究が多く行われている。また、加速器駆動システム(ADS)を用いての、加速器駆動炉、核変換の基礎研究なども行われている。
	技術開発水準	○	→	フランス、ロシアという原子力推進国においては長年の軽水炉の建設、運転経験を踏まえ、新型炉の技術開発も精力的に行われており、技術開発水準も高い。また、最近の世界規模での原子力の拡大と相まって、韓国、日本などのメーカーとの競争の激化も技術開発水準向上に貢献している。軽水炉再処理については、フランス、ロシアで大規模の再処理工場が運転中であり、その運転経験を踏まえての次世代再処理技術についての技術開発水準も高いものがある。高速増殖炉サイクルの開発に関連しては、ロシアでは現在実験炉が運転中であり、さらに実証炉の建設が進んでいる。フランスでは、過去にフェニックス、スパーフェニックスを建設、運転した経験もあり、技術開発水準は高い。ウラン濃縮についてはフランスを中心に新型遠心機の開発が行われ、実用化されている。高レベル放射性廃棄物の地層処分について、フィンランド、スウェーデンで処分サイトが決定し、他の国でもサイト選定プロセスに進展が見られることと相まって、処分技術は高いものがあり、実施に向けて更なる向上も図られている。
	産業技術力	◎	→	フランス、ロシアとも、軽水炉の輸出を国策として考えており、自国での建設、運転経験と相まって産業技術力は極めて高いものがある。再処理工場やウラン濃縮という燃料サイクルについても相当高い技術力を有する。放射性廃棄物処理、処分技術についても相当の経験を有している。核燃料の多国間管理についての議論が世界で起こりつつあるが、ロシアの濃縮工場、フランスの再処理工場の貢献が期待されている。
中国	研究水準	○	↑	原子力発電所はこれまで海外からの輸入が主であったが国産化に向けての研究開発、技術開発が盛んである。高速増殖炉実験炉(CEFR)は2010年7月に臨界になった。また、関連しての再処理研究開発を含めた高速増殖炉サイクル研究開発が着実に進展している。また、国内で原子力の研究、教育を行う大学が大幅に増大し、そこでは、新しい原子力システム、放射線応用、核融合炉等に関する研究が精力的に行われている。核融合研究開発は2つの研究開発機関を中心に行われており ITER への貢献も大きい。なお、核融合研究開発では核融合・核分裂ハイブリッド炉の研究も盛んに行われているのが特徴である。
	技術開発水準	○	↑	再処理についてパイロットスケール規模での試験が2010年末に成功し、今後は商用再処理に向けての技術開発が進められる。高速増殖炉開発については、ポンプなど一部が海外からの輸入であるが、今後国産化に向けて技術開発水準の向上が予想される。このことは軽水炉についても言え、近い将来、軽水炉の輸出がさらに行われると考えられる。
	産業技術力	○	↑	軽水炉、燃料サイクル施設、高速増殖炉の国産化と並行して、産業技術力の大幅な進展が予想される。また、安全規制や規格基準の整備なども並行して行われている。

(注1) フェーズ[研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(注2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

韓国	研究水準	○	↑	原子力発電所の推進および国際展開を国レベルで推進している。このことと関係して、新型軽水炉の研究開発が精力的に行われており研究水準も高い。使用済燃料処理については乾式処理についての研究開発を精力的に行っている。これをもとに米韓原子力協定に臨んだところでもある。高速増殖炉についての研究開発については乾式再処理の研究開発に関連して金属燃料高速炉の研究開発を進めているが、乾式再処理の研究に比べるとやや遅れている。また、核不拡散や核セキュリティに関する研究も最近加速されている。さらに、核融合に関する研究開発については核融合法を制定するなど、国を挙げて精力的に行われている。また、原子力の国際展開と関連して国際原子力大学院を建設し、2012年春からの学生受け入れを計画するなど人材育成についても極めて精力的である。
	技術開発水準	◎	→	原子力産業の国際展開に関連して、新型軽水炉の技術開発が精力的に行われ高い水準にある。同時に、自国での軽水炉建設、外国での受注成功に関連して建設、運転保守技術は高いレベルにあり、常にそれを向上させようとしている。
	産業技術力	○	↑	原子力発電所の国内での建設、海外での受注と相まって、原子力発電所建設、運転保守に関する産業技術力は高いものがある。また、中低レベル放射性廃棄物処分場が決定したこととも関連して、処分技術も高いものがある。今後は、燃料サイクル技術についても産業技術力の向上が考えられる
インド	研究水準	○	↑	今後原子力発電の大幅な伸びが予想されるインドでは、軽水炉、高速増殖炉サイクル、トリウムサイクルという3段階で進める長期計画であり、着実に研究開発、技術開発が進んでいる。また、その先には核融合炉も考えていることはITER参加からも理解される。インドでは高速増殖炉実験炉が運転中であり、原型炉の建設が進んでいる。関連してのサイクル関連の研究開発、技術開発も盛んである。同時に人材育成についても国家プロジェクトとして考えていることも特徴である。
	技術開発水準	○	↑	原子力エネルギーの開発は、民間企業と研究機関との密な連携のもとに行われており、企業の技術水準も高いものがあり、今後ますます向上の傾向にある。
	産業技術力	△	↑	サイクル技術を中心に国産技術での開発を進めており、将来は原子力発電所についても国産化を目指している。そのために企業における産業技術力はますます向上している。
<p>全体コメント：原子力カルネサンスと言われるように世界で原子力発電所を導入、拡大する傾向にある。そのため、フランス、日本、韓国、ロシアなど原子力発電所の売り込みに向けての競争が激化している。これと相まって、それらの国においては新型軽水炉の研究開発が盛んに行われている。今後大きな原子力の拡大が予想される、中国、インドにおいては軽水炉建設、運転に係る技術レベル向上と人材育成を精力的に考えている。高速増殖炉サイクル研究開発については、日本、フランス、インド、中国、ロシアなどで精力的に行われているが、とくにインド、ロシアでは一歩先を行っている感がある。核融合炉研究開発についてはITERを基軸として動いているが未だ原型炉の明確な計画は出されていない。</p>				

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]



1-2-5. エネルギー供給サイドの技術（転換部門含む）／再生可能エネルギー

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	結晶シリコン、薄膜シリコンの太陽電池では世界をリードしており、有機系、化合物、量子ドット等次世代技術の研究水準も欧米に引けをとらない。風力発電も研究水準は高い。バイオマスではユニークな研究開発がなされ、バイオ燃料に関する研究水準は高い。
	技術開発水準	◎	→	シリコン系など現在製品化されている太陽電池分野では世界をリードしている。風力発電、地熱発電も技術開発水準は欧米に劣らない。バイオマス利用技術はバイオ燃料技術等一部を除けば外国からの技術導入への依存度が高く、選択と集中が望まれる。
	産業技術力	○	→	国内市場が小さく技術の実用化が遅れている。太陽電池と風力発電は世界市場が急速に拡大しているがコスト競争力の点で劣勢。ただし、地熱発電の実用技術では大きな世界シェアを維持。
米国	研究水準	◎	↑	CIGS系、有機半導体系で巻き返しをめざし、次世代太陽電池の研究水準では世界をリードしている。風力発電での研究水準も欧州に接近している。バイオ燃料では基礎研究は高い水準にあるが、実用研究にやや遅れが見られる。
	技術開発水準	○	→	太陽電池は研究に比べて技術開発水準が日欧より劣る。風力発電は日欧に劣らない。バイオエタノール開発には国家的な取組みを展開中で、技術開発水準は高い。
	産業技術力	○	→	太陽電池は産業が大きく育っていないので、技術力も日欧より劣る。風力発電は巻き返しの兆し。バイオエタノール開発には国家的戦略と穀物メジャーの思惑が一致して、産業技術力はきわめて高い水準にある。標準化などシステム開発の点は相変わらず強い。
欧州	研究水準	◎	→	太陽電池の研究水準は総じて高いが、特に、ドイツのフラウンホーファー研究所が世界的に有名。国ごとで多少異なるが、太陽熱発電、風力発電、地熱発電の研究水準も高い。バイオエタノールではBDFに比べて普及率は低い、先導的な研究が行われている。
	技術開発水準	◎	→	太陽電池は市場の発展により技術開発水準が急激に伸びている。BDFについては、変換技術や周辺技術が高い。風力発電、地熱発電も技術開発水準は高い。
	産業技術力	◎	→	太陽電池は市場の発展により産業技術力は急激に伸びているが、世界的に激しいコスト競争に曝されている。風力発電についても同様。BDFについては、需要の増加に対応する形で、産業技術力も高くなってきた。
中国	研究水準	△	↑	欧米、日本に大きく及ばないが、追跡研究により猛烈なキャッチアップの機運が顕在化している。バイオマス利用は、日本とは異なり混焼利用を中心に検討されている。
	技術開発水準	○	↑	現状では高くないが、向上のスピードには侮れないものがある。
	産業技術力	◎	↑	急速な技術開発によって、また、人海戦術によって産業化への流れが進み、太陽電池生産では世界一のシェア。風力発電においても同様に急速に産業技術力を充実している。太陽熱温水器の普及も注目される。
韓国	研究水準	○	↑	欧米、日本に大きく及ばないが、一定の存在感はある。特にエレクトロニクス産業と密接な関係がある太陽電池分野では基礎力が充実している。
	技術開発水準	○	↑	サムスンやLG社の技術開発力には要注目である。太陽電池では海外企業との連携で、急速に力を付けている。バイオエタノールやBDFも導入され始めており、技術水準も向上の兆しが見られる。
	産業技術力	△	→	生産技術では欧米、日本に相当遅れているが、潮汐発電や都市ゴミの分別収集による乾式メタン発酵処理など意欲的な取組みが一部で始まっている。

## 全体コメント：

送配電ネットワークは、停電が少なく品質が高く経済的に、発電された電力を需要家へ送ることを目的としている。日本においては、電力需要の増加が鈍化しており、ネットワーク拡充のための技術開発よりは、これまで構築されてきた巨大なインフラ設備を保守し取り替えていくことに技術開発の重点が移ってきている。しかし、地球温暖化対策としての分散電源である太陽光発電や風力発電が大幅に増加すると様々な課題が引き起こされるので、これらを解決する方策としてスマートグリッド技術が注目を集め、技術開発も急激に進んできている。スマートグリッド技術とは、需要家と電力供給者との間での双方向の情報通信により、例えば、太陽光発電が出力を低下させる時には需要家の電力消費も低下させ（これにはEVの制御も含まれる）全体としてのバランスをとるような制御をおこなうことである。この状況は欧州でも同じである。米国でもこの状況は同様であるが、電力需要の増加が続くことが予想されているので、そのための発電所や送配電ネットワークの建設や拡充を遅らせることによる経済効果も大きな要因となっている。これに対し、中国では電力需要が急速に増加しつつあるので、送配電ネットワークの拡充が第1の目的であるが、その拡充に併せてスマートグリッド技術も取り入れることが目論まれている。

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

1-2-6. 需給バランス調整／送配電ネットワーク

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	日本は送配電ネットワークの自動化では世界をリードしてきた。スマートグリッド関係では、マイクログリッドおよび太陽光発電大量導入時の電圧問題や周波数制御の研究で世界をリードしている。ただし、PMU (Phase Measurement Unit: 位相計測装置) 利用に関する研究は、基幹系統ですでに監視計測網が整備されている日本では必要性が大きくないことからあまり進んでいない。
	技術開発水準	◎	↑	UHV (Ultra High Voltage: 800kV 超の超高電圧送電) 技術は極めて高く、中国でも日本の技術を採用した。自動化技術でも欧米と並んで極めて高い。一般需要家と電力供給者間の双方向通信やスマートメーター関係では試験運用を開始し、欧米を追い上げている。EV (Electric Vehicle: 電気自動車) の充放電制御では欧州と並んで進んでいる。総じて、個別技術は高いが、これらをまとめてスマートグリッドやスマートコミュニティとして一体的に運用制御する技術については、実証事業を通じて追い上げを図っている段階である。
	産業技術力	◎	↑	送配電ネットワークでの自動化では最も進んでいる。スマートグリッド関係では、これまで蓄積されたマイクログリッド技術や、種々の実証事業の開始により、欧米を急速に追い上げている。
米国	研究水準	◎	↑	電気電子学会 (IEEE) にスマートグリッド部門を設けるなど活動が活発であり、総じて研究水準も高い。特に、通信系のセキュリティ、DSM (Demand Side Management: 様々な手法により、需要家の電力消費を制御する技術) に関する研究では世界をリードしている。
	技術開発水準	◎	↑	スマートグリッドの実証を世界で初めて開始し、米国経済再生再投資法 (ARRA) による支援も得て各地で実証事業が開始されている。ただし、一部ではコスト面での見通しの甘さや DSM の説明不足などにより、計画の見直しや訴訟になっている例もある。
	産業技術力	◎	↑	送配電ネットワークの遮断器などの高度なインフラ技術は持っていないが、通信やソフト技術については世界をリードしている。
欧州	研究水準	◎	↑	総じて研究水準は高い。特に、VPP (Virtual Power Plant: 分散電源を集約して大規模発電相当の運用や制御を行う技術)、風力発電やその出力変動緩和のための DSM、その制御対象として EV を活用する研究などが盛んである。
	技術開発水準	◎	↑	風力発電や太陽光発電などの分散電源の導入割合が世界的に高く、そのための個別技術やこれを連系するパワーエレクトロニクス技術も進んでいる。スマートグリッドやスマートグリッドの実証事業が各地で開始されている。
	産業技術力	◎	↑	風力発電や太陽光発電技術は世界をリードしている。直流送電技術は独壇場であり、パワーエレクトロニクス技術も世界における存在感は大きい。
中国	研究水準	○	↑	電力消費の急激な拡大に応じて送配電ネットワークも拡大してきており、これに応じて研究も活発化している。ただし、研究水準は、まだ日本や欧米には及ばない。送配電ネットワークに関する基本的な研究と同時に、スマートグリッドに関わる研究も同時に増加してきている。
	技術開発水準	○	↑	電力技術全般にわたって、電力系統の急激な拡大に応じて、日本や欧米企業との合弁などにより自国生産の量を拡大してきているが、高度な技術についての技術開発水準はまだ日本や欧州には及ばない。UHV 送電技術の基本設計技術については、日本の技術を導入したが、日本では想定されなかった高地での絶縁特性などについては、新たに研究所設備を新設するなど、独自技術の開発を開始している。
	産業技術力	○	↑	電力系統の急激な拡大に応じて、自国生産の量を拡大してきているが、高度な技術についての産業技術力ではまだ日本や欧米には及ばない。しかし、生産量は大きく増加してきているので、生産で培う技術力の向上は目覚ましい。たとえば、一般的な太陽光発電のパネル生産はすでに日本と同等のレベルに到達しているといえよう。スマートグリッド技術については、元々不足している電力系統の信頼度を向上させることやその急激な拡大に対処するための方策としての考え方が強く、自動化の一環として多数の PMU が導入されている。

韓国	研究水準	○	↑	個々に見ると日本や欧米と同水準の研究もあるが、層の薄さから全般的には見劣りする。
	技術開発水準	○	↑	送配電ネットワーク技術に関しては、日本や欧米の2番手に位置している。ただし、スマートグリッドに関わる技術については、通信や家電機器の制御の側面が強いことから、官民一体となって世界のスマートグリッド市場の30%を獲得できるよう、濟州島を実証試験場所としたプロジェクトを立ち上げている。
	産業技術力	○	↑	送配電ネットワーク技術に関しては、800kVまでの変圧器や遮断器を製造できる企業が存在し、日本や欧米に続く2番手に位置している。スマートグリッド関係では、上記のように官民一体となったプロジェクトにより、技術力も向上していくと考えられる。

全体コメント：

送配電ネットワークは、停電が少なく品質が高く経済的に、発電された電力を需要家へ送ることを目的としている。日本においては、電力需要の増加が鈍化しており、ネットワーク拡充のための技術開発よりは、これまで構築されてきた巨大なインフラ設備を保守し取り替えていくことに技術開発の重点が移ってきている。しかし、地球温暖化対策としての分散電源である太陽光発電や風力発電が大幅に増加すると様々な課題が引き起こされるので、これらを解決する方策としてスマートグリッド技術が注目を集め、技術開発も急激に進んできている。スマートグリッド技術とは、需要家と電力供給者との間での双方向の情報通信により、例えば、太陽光発電が出力を低下させる時には需要家の電力消費も低下させ（これにはEVの制御も含まれる）全体としてのバランスをとるような制御をおこなうことである。この状況は欧州でも同じである。米国でもこの状況は同様であるが、電力需要の増加が続くことが予想されているので、そのための発電所や送配電ネットワークの建設や拡充を遅らせることによる経済効果も大きな要因となっている。これに対し、中国では電力需要が急速に増加しつつあるので、送配電ネットワークの拡充が第1の目的であるが、その拡充に併せてスマートグリッド技術も取り入れることが目論まれている。

(参考情報)

- [1] 大会論文集：Innovative Smart Grid Technologies Conference, January 19-21, 2010, NIST Conference Center, Maryland, USA
- [2] 大会論文集：IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11-13, 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg, Sweden
- [3] 大会論文集：The International Conference on Electrical Engineering 2010 (ICEE2010), July 11-14, Busan, Korea
- [4] [https://www.dur.ac.uk/somuchmore/regional\\_news/?itemno=10920](https://www.dur.ac.uk/somuchmore/regional_news/?itemno=10920)
- [5] <http://www.emeter.com/2010/heard-here-first-french-smart-meter-decree/>
- [6] [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/uploads/Recovery\\_Act\\_Innovation.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/uploads/Recovery_Act_Innovation.pdf)
- [7] Guidelines for Smart Grid Cyber Security: Vol. 1-3, NISTIR 7628, NIST, August 2010
- [8] [http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business\\_Policy\\_Regulation\\_News/Colorado-PUC-Will-Let-Xcel-Energy-Bill-Customers-for-Smart-GridCity-2953.html](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business_Policy_Regulation_News/Colorado-PUC-Will-Let-Xcel-Energy-Bill-Customers-for-Smart-GridCity-2953.html)
- [9] <http://www.reuters.com/article/idUSTRE67Q0YV20100827>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

1-2-7. 需給バランス調整／蓄エネルギー

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	<p>現行のリチウムイオン電池ではその材料の構造などの基礎研究で世界トップ水準にある。発論文数も多い。また、リチウムイオン電池の反応とその場測定については、世界をリードしている。一方で、リチウムイオン電池の次世代材料では正極・負極の基本的新規材料では海外勢にリードされている。ポストリチウムイオン電池では、RISING プロジェクトで研究・開発が目指されており、その成果が期待される。金属-空気電池、多価金属負極などで高い水準にあるが、ターゲットが未だ絞り切れていない。フローバッテリーでは研究が活発とは言えない。JST の CREST でも次世代負極などが基礎的に取り組まれている。ニッケル-水素蓄電池については、世界をリードしている。</p>
	技術開発水準	◎	→	<p>リチウムイオン電池を商品化してきたこともあり、リチウムイオン電池のエネルギー密度、安全性、耐久性の点で世界をリードしてきており、正極、負極材料の改良や電解液の最適化などでも世界をリードしている。最高性能の電池を作るといふ点では非常に高い水準にある。また、NEDO で技術開発プロジェクトが継続的に続けられてきた。ニッケル-水素蓄電池については、世界をリードしている。</p>
	産業技術力	◎	↘	<p>製造技術では世界をリードしてきたが、その技術が海外に急速に流出している。現行リチウムイオン電池技術の成熟とともに、コスト競争が要求される volume zone に入り、競争力を失うことが懸念される。これまで民生用小型リチウムイオン電池で発展してきた技術の中・大型蓄電池に発展させることが望まれる。そのため、標準化などについても積極的な取り組みが必要である。ニッケル-水素蓄電池では世界をリードしている。</p>
米国	研究水準	○	↗	<p>電池材料に関する基礎研究が強い。カナダも加えて、新規正極・負極材料や次世代電解質材料について、オリジナリティーがある研究を進めている。学術論文の数も比較的多いが、引用回数の多い論文が多いことは基礎研究の強さを示している。グリーンニューディール政策に沿って、ARPA-E プログラムなどで基礎研究を積極的に進めている。国立研究所を中心に大学にも急速に研究者が増え、また、研究領域の幅を拡げている。</p>
	技術開発水準	△	↗	<p>リチウムイオン蓄電池産業が弱く、研究・開発も材料を中心とする知財戦略が中心であった。しかし、グリーンニューディール政策もあり、海外メーカーの工場立地などが進められており、技術力の進展が予測される。</p>
	産業技術力	×	↗	<p>リチウムイオン電池に関する産業が弱く、技術は日本の後追いの面が強い。しかし、グリーンニューディール政策の中で DOE が力を入れており、海外の電池メーカーなどの工場立地が積極的に補助されており、今後発展すると予想される。</p>
欧州	研究水準	○	↗	<p>これまで ALISTORE プロジェクトなどを通して、欧州の連携が図られてきた。リチウムイオン電池の次世代電極であるコンバージョン電極や金属負極などに関する基礎研究で世界をリードしている。フランスが中心であったが、2009 年からドイツも力を入れている。ドイツは E-Mobility 政策などのプログラムの下、北部と南部の二つの拠点化（南北 Competent）が進められている。フランスは CNRS が中心で、酸化固体活物質材料に関する研究には蓄積がある。また、中性子や放射光などの活用も活発である。フランスで蓄電池の基礎研究を目指した Tarascon 教授を中心とするプロジェクトの立ち上げが進められている。</p>
	技術開発水準	△	↗	<p>リチウムイオン電池産業大手の SAFT 社が特殊電池を中心に高い技術を持っている。ドイツでは国の E-mobility 政策もあり、産業界が LIB2015 などのコンソーシアムを組み、自動車用リチウムイオン電池技術の育成を目指している。ローマ大学を中心として、産業と大学を結びつける研究がある。</p>
	産業技術力	×	↗	<p>フランスのリチウムイオン電池メーカーの SAFT 社は技術的に高い水準にある。ドイツでは大きなリチウムイオン電池産業は未発達であるが、Li-Tec 社への補助などを通して、電池産業の育成が図られている。また、電池材料については、化学産業が参画した LIB2015 のようなプロジェクトも始まっており、電池材料技術の急速な進展があると予測される。</p>

中国	研究水準	○	↑	中国の蓄電池研究は主に 863 Program で実施されているが、基礎研究では 973 Program もあり、科学アカデミーの研究所や大学で研究が行われている。 リチウム電池関連の学術論文数が飛躍的に伸びており、ISI の検索では 2001 年以後の総数では世界一である。電池材料の製造法や改良に関する応用寄りの研究だけでなく、基礎研究でも質の高い研究の数が急増している。 蓄電池の研究者には日本、米国からの帰国者も多く、幅広い研究が展開されている。
	技術開発水準	○	↑	蓄電池技術については、大学あるいは国立研究所と企業とが協力して技術開発を進めている。863 Program など活用されている。技術レベルは現状では日本、韓国に劣っているが、北京オリンピックや上海万博での実施の他にも電気自動車導入の国家プロジェクト (National "The tenth Five-Year "EV key project) が継続しており、安全性、耐久性を含む技術の発展が見込まれる。
	産業技術力	○	↑	民生用小型リチウムイオン電池の生産量は日韓に迫っており、大きな産業となっている。製造ラインの自動化や品質管理の面で日韓に遅れているが、国家プロジェクトもあり、技術の急速な進展が予測される。 日本のリチウムイオン電池企業も中国で生産量を増加させている。
韓国	研究水準	△	→	リチウムイオン電池の研究では海外、特に米国と共同のものが多く。米国からの帰国者が活躍している。世界レベルの応用研究が多いが、基礎研究は比較的弱い。
	技術開発水準	○	↑	日本からの技術移転が進み、また、日本人の人材活用も進んでおり、日本の技術に迫りつつある。 自動車用途のリチウムイオン電池ではこれまでラミネート型を中心に進めてきており、この技術では世界トップ水準にある。 現行リチウムイオン電池材料についても日本に迫りつつある。
	産業技術力	◎	↑	蓄電池はキー産業と認識されており、大企業が力を入れて日本技術に追いつくことを目指してきた。一部の調査会社によると Samsung SDI が生産量トップ座を 2010 年後半には獲得したとの推定もある。 自動車用の中型・大型リチウムイオン電池についても、大規模生産とそれに見合うマーケットの獲得を目指して世界の蓄電池ユーザーとの連携を戦略的に進めている。
<p>全体コメント：</p> <p>リチウムイオン電池とニッケル水素蓄電池は日本で商品化され、民生用小型電池として発展してきた。その研究開発、製造技術でも日本が世界をリードしてきた。しかし、リチウムイオン電池の正極材料は欧米の発明になるものが多い。また、次世代リチウムイオン電池材料についても、欧米の研究成果によるものが多い。</p> <p>日本のリチウムイオン電池産業はエネルギー密度向上を目指してきたが、技術の進展とともに最高性能の電池の競争力が弱まっている。</p> <p>現行蓄電池の性能はほぼ限界に達していると考えられるが、更なる発展のためには材料の革新が必要である。そのためには、研究機関がオリジナリティのある基礎研究を進め、ブレークスルーに繋げることが必要である。また、ポストリチウムイオン電池の開発を目指して、新コンセプトに繋がる基礎的な研究を幅広く進めることが必要である。</p> <p>蓄電池は次世代自動車産業や再生可能エネルギーの導入に必要な技術である。電気化学、固体化学だけでなく、関連する領域の研究者が協力して、着実且つ大胆に研究開発を進めることが望まれる。</p> <p>蓄電池は安全性の確保が重要であり、その開発には 10 年、15 年、と長期間を要するので、地道な研究開発の継続が必要である。自動車用電池では製品の国際化が必然であり、国際標準化などの点で国際協力を進め、議論をリードしていくことが必要である。</p>				

(参考情報)

- [1] <http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/access.html>
- [2] IT 総研 LIB 関連調査プログラム 09-10
- [3] <http://arpa-e.energy.gov/>
- [4] <http://www.emobility.eu.org/>
- [5] [http://www.most.gov.cn/eng/programmes1/200610/t20061009\\_36225.htm](http://www.most.gov.cn/eng/programmes1/200610/t20061009_36225.htm)
- [6] <http://www.973.gov.cn/English/Index.aspx>
- [7] <http://www.alistore.eu/>

(註 1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註 2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

1-2-8. エネルギーの消費サイドの技術／産業

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	マテリアル分野における研究水準は非常に高いものの、プロセス分野、システム分野においては、研究者の層も薄いこともあり、すべての領域で研究水準が高いとは言い難い。
	技術開発水準	○	↘	省エネ機器など、個別装置・部材などは優れた技術を有しているが、プロセス開発や大規模システム開発などが弱い。
	産業技術力	○	↘	発電用ガスタービンでは日本ではMHI 1社のみ、MCFCはすべて撤退など、リードタイムが長く、資金を多く必要とするエネルギー研究開発技術力はかなり落ちてきているといわざるを得ない。過度の集中と選択の結果、相対的な地盤沈下が続いている。
米国	研究水準	○	↘	エネルギープロセス分野における大学での研究者は減少しているようであり、ナノテクやバイオなどのハイテクに重点が置かれているように思われる。
	技術開発水準	◎	→	ベンチャー企業を中心とした、新技術開発のシステムは比較的うまく機能しており、高い技術開発水準を維持している。
	産業技術力	◎	→	産官の連携がうまく行われている。また、日本と違い、複数のプロセス開発を並行して進め、競争原理を働かせつつも、柔軟な開発体制となるという強みがある。しかし、システムあるいはプロセス分野では、企業と大学・国立研究所との間にある程度の距離が置かれているのが欠点かもしれない。
欧州	研究水準	○	↘	マテリアルなど、個々の材料などは、研究水準はトップクラスといえないものも多いが、システム分野では、標準化戦略など非常に高い研究水準にある。また、伝統的に大学での基礎研究を大事にする傾向があり、研究水準は高く維持されている。
	技術開発水準	○	→	システム化に優れ、多くの要素技術を含むような技術開発プロジェクトには一定の強みがある。
	産業技術力	○	→	EU全体にまたがった企業間連携がとりやすく、EUとしての産業競争力を高めている。また、標準化戦略など世界をリードしていることが産業技術力を高める要因と成っている。
中国	研究水準	◎	↑	研究者人口が多く、日欧米への留学生の帰国組も多い。また、国が重点的に予算配分していることから、大学における研究水準は高くなっている。特に、重点大学では、豊富な研究資金と人材に恵まれ、二次電池など分野によっては世界のトップ水準に達している。
	技術開発水準	○	↑	ガスタービン、圧縮機など高度の技術を必要とする機械分野では、まだ不十分であるが、USCや石炭ガス化、液化などのプロセス技術に関しては、日欧米からの技術導入もあり、着実に実績を作りつつある。
	産業技術力	◎	↑	高機能性部材などはまだ一朝一夕では難しいが、低コストを最大限利用して、急速に産業技術力を身につけつつある。特に、ペトロチャイナ、シノペックなどエネルギー産業は、世界の中でもトップクラスの大企業となっており、その産業技術力は目を見張るものがある。
韓国	研究水準	△	→	マテリアル分野では多くの優れた研究が行われているが、プロセス分野、システム分野では、遅れを取っているように見える。
	技術開発水準	○	↑	民間企業の成長とともに、技術開発水準は着実に向上している。
	産業技術力	○	↑	ポスコ、現代重工業などエネルギー関連の企業は大きく成長してきており、日本企業との連携を進めたこともあり、産業競争力は高まっている。また、韓国企業の経営者が比較的若く、チャレンジ精神に富んでいることから、新技術の開発には積極的に取り組んでいる。
全体コメント：				

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]



1-2-9. エネルギーの消費サイドの技術／民生

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	多くの研究が進められており、質、量ともに世界最高である。これは、日本建築学会大会におけるこの分野の論文数の推移や内容、様々な国際会議における日本の論文の質などからも推察できる。ただし、残念ながら英語のバリアーがあり、世界への発信が不十分である。
	技術開発水準	◎	↑	高性能ヒートポンプ、太陽光発電、蓄熱技術、コージェネレーション、ダブルスキン、エアフローウインドー、BMSなどの技術開発水準は特に優れている。企業の研究施設・設備も優れている。トップランナー制度は、家電製品の効率向上に大きな役割を果たしており、技術水準を高めている。マイクロコージェネレーションの技術は先端的であり、国際会議の場でも発電容量が小さいことに関心が集まった。
	産業技術力	◎	↑	生産現場における技術力は世界最高である。施工ロボットも実用化され利用されている。アジアを中心として世界各地の建築プロジェクトにも多くの日本企業が参加している。
米国	研究水準	◎	↑	ローレンスパークレー国立研究所、国立再生エネルギー研究所などをはじめとして、多くの国立研究所、大学で水準の高い研究が進んでいる。オバマ政権となつてからは環境分野に対する予算も増額され、研究開発に拍車がかかっている。空調関連の技術者が会員の多くを占めるASHRAE学会・展示会では、多くの研究発表が発表されており、世界から研究者、技術者が参加し、情報を得ている。
	技術開発水準	◎	↑	国立研究所では、高効率照明器具、高反射塗料、高性能窓、BEMS、建物気密化手法・測定法などが開発されている。空調設備関連の会社は歴史が長く、水準の高い研究が実施されている。ASHRAEでは近年、温暖化抑制に対する研究開発に力点が置かれるようになり、今後それらの技術開発が進むと予想される。なお、建設関係の企業で研究開発部門を持っているところは少ない。
	産業技術力	◎	→	産業技術力は高いが、家電機器の生産の一部は、中国など他の国で行われている。
欧州	研究水準	◎	↑	寒冷気候にある北欧では、断熱・気密技術に関する研究が進んでおり、水準も高い。スウェーデン王立研究所、デンマーク工科大学などが有名である。民間の研究所は少なく、大学や半官半民のフラウンホーファー研究所（ドイツ）などで実施されている。温暖な気候にあるイタリア、ギリシャなどでは、断熱・気密に対する関心が漸く高まってきている。また、昨今の欧州における熱波によって、夏期の環境改善に対する研究として、高反射建材の開発、日射遮蔽装置の開発、通風を促進する都市計画手法などが進められている。
	技術開発水準	◎	↑	ドイツのフラウンホーファー研究所では自然エネルギー利用の研究が以前から盛んであり、近年はゼロエネルギー住宅の研究を進めている。欧州議会では、2020年12月31日までに、すべての新築建物を Nearly zero-energy buildings にするという法律が採択されたことを受けて技術開発が活発に行われている。
	産業技術力	○	↑	国によって大幅に異なる。特に断熱・気密などの性能に関しては、寒冷地の方が、産業技術力が高い。ドイツでは環境に対する意識が強く、太陽熱利用など自然エネルギー利用に関する産業技術力が優れている。
中国	研究水準	△	↑	大学のレベルによって大幅に異なる。超一流の大学では、先進国の大学と同様であるが、平均的には水準は劣る。国際会議における論文をみると明らかである。環境関連の国際会議が中国で盛んに開催されており、エネルギー関連の論文が多く発表されている。清華大学、ハルピン工科大学、湖南大学など重点大学の一部では研究水準が高く、清華大学では省エネルギーモデルビルの建設と計測が行われている。また、Building Simulation という国際ジャーナルの刊行を開始し、この分野の研究における中心の一つとなっている。
	技術開発水準	△	→	建設関係の企業で研究開発部門を持っているところはない。研究的な業務は大学に委託している。清華大学では、各種の空調関係の省エネ技術が開発されている。ハルピン工科大学では新しいエアフローウインドーが開発されている。
	産業技術力	△	→	大都市、地方都市、農村部では全く異なるが、全体としてみると建設現場では、効率よく施工が進んでいるとは思えない。設備関連については、エアコンなどは需要の伸びと同時に生産量も急激に増加している。ただし、空調設備機器に関しては、外国資本で作られているダイキン工業などでは独自に研究が実施されており、産業技術力も比較的高い。

韓国	研究水準	△	↑	韓国における研究水準、技術開発水準は、日本の技術を吸収しつつ急激に上昇している。政権が変わり、グリーン技術開発に力点が置かれ、環境関連の研究が盛んになっている。大学や国立研究所、民間研究所のいずれも同様である。例えば、サムソングループではエンジニアリング部門に大規模な研究所をつくり研究を遂行している。
	技術開発水準	△	↑	日本などから技術を導入して技術開発に取り組み始めている。住宅暖房としては床暖房が普及しているがエネルギー消費量が大きいため、いかに省エネルギーを進めるかに関する研究や、超高層ビルにおいて煙突効果によって生じるドラフトをいかに防ぐかといった研究が国立の研究所や民間建設会社の研究所で実施されている。
	産業技術力	○	↑	省エネルギーの家電製品の生産力は高い。サムソンは建設部門に関しても力を入れており、海外の大規模建物の生産を受注している。
<p>全体コメント：</p> <p>建物は個々の技術の統合によって成り立っており、民生部門の温暖化抑制技術は極めて多岐にわたる。大きく分ければ建物自体の性能、建物と一体となった設備、家電設備のような建物とは独立した機器である。エネルギー消費の大きな割合を占める暖房・冷房負荷を低減させるためには、建物の熱的性能の向上、太陽熱などの自然エネルギー利用、換気熱損失の抑制などが重要である。そのための各種技術に関する研究水準、技術開発水準、産業技術力は国によって大きく異なる。建物と一体となった設備では、空気調和設備として、VAV (Variable Air Volume：可変風量制御) 空調、ディスプレイメント空調、BEMS (Building Energy and Environment Management System) など、暖房設備・給湯設備として高性能空気式ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプなど、照明設備として各種の高効率照明器具、タスクアンビエントライティング、ライトシェルフ、光ダクトなどの開発が行われている。家電設備の機器は技術開発が進み年々効率が向上してきているが、これも国によって大きく異なる。以上のように民生部門を対象とした温暖化抑制技術は多岐にわたり、欧州の中でも気候条件、社会的条件が異なるため、技術力を一括りに扱って、国際比較することは極めて難しい。そのことを前提として概要を上記に示した。</p>				

(注1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(注2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

1-2-10. エネルギーの消費サイドの技術／運輸

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	分野により欧米との差が異なるが、一般に新しいシーズ技術を生み出す点では遅れをとっている。 これは、研究者の体質によるところもあるが、教育、ベンチャーなどの支援体制の差にもよる。
	技術開発水準	◎	↑	小型自動車、ハイブリッド車で優位、ディーゼル車はやや遅れ。 周辺技術では、電池、燃料電池、水素貯蔵などの技術でも優位性を保っている。 バイオ燃料関連では、欧米の小回りのきく体制と異なり、キーとなる開発は官支援のものが主体で、開発スピードの点では不利。
	産業技術力	◎	↑	高い技術開発力をバックに全世界で優位を保っている。ただ、参入の歴史的な差で、必ずしも販売のシェアが高くない地域もあるが、しだいにその差をつめていくと考えられる。 HV車を始め環境対応車に全世界の市場が向いていけば、HV、電池、燃料電池関連の高い技術開発力により、今後も全世界的に優位性は保てるだろう。
米国	研究水準	◎	↑	新しい芽を生み仕組みがうまくできていて、先進電池や次世代バイオの分野でベンチャー的な技術が多く出てくる。 研究者の質、数、資金でも優位。 軍事用途の研究の転用も幅広いシーズ提供に寄与
	技術開発水準	○	→	経営の不安定で長期的には不透明であるが、短期的には実力はある。 産学連携においては、非常にいい関係を保っており、お互いのメリットをうまく生かした相乗効果が期待できる。 軍事用途の開発費が豊富で、その転用も有利に働いている。
	産業技術力	○	↓	商品戦略の誤りで現時点では下降傾向だが、資本力は侮れない。 GMが赤字から黒字に1年で復帰できたというのがそのよい例で、底力がある。
欧州	研究水準	◎	→	多様な文化を背景に、新たなコンセプトの技術の芽が出てくる。 バイオ研究の伝統がある。
	技術開発水準	○	→	小型車、ディーゼルエンジン技術で優位。 欧州全体の環境寄り政策をバックに先進技術の実証実験が多くあり、市場からのフィードバックによる開発促進のメリットが期待できる。
	産業技術力	○	→	欧州市場がディーゼルに偏向しており、他の地域での競争に不利。 長い歴史に裏打ちされた技術力は基本的な強み。
中国	研究水準	△	↑	研究者の質、数で今後大きく進展する可能性あり。
	技術開発水準	△	↑	今後の大きな伸びが想定される。 材料分野では資源も豊富（偏在）で、技術も優位になると大きな脅威となる。
	産業技術力	△	↑	今後の大きな伸びが想定される。 欧米からの技術移転をうまく利用して、急成長のパネにする可能性大。
韓国	研究水準	○	↑	他の地域に比べ後発で遅れ気味であったが、政府の援助もあり、着実に伸びてきている。
	技術開発水準	○	↑	今後の大きな伸びが想定される。 自動車製造のみならず、電池などの周辺技術でもその力を着実に上げてきている。
	産業技術力	○	↑	今後の大きな伸びが想定される。 米国市場の市場調査でも品質に対する顧客の評価は非常に高くなってきている。
<p>全体コメント：</p> <p>以上では自動車を主体に記述したが、他の分野たとえば、鉄道、船舶についても韓国、中国の追い上げは著しい。日本は高い高速鉄道の技術を持つものの、システムとしての売り込みに弱点があり、市場が必ずしも獲得できていない。</p> <p>また、航空機については、大型機に絞れば、米欧が主体になるが、個別技術では、日本も高い技術力を保有している。今後、日本が航空機製造の分野でも米欧の一角を崩していけるかは、民間航空機が世に出る2014年以降の結果に待たれるところである。</p>				

(参考情報)

[1] IEA, 2010: Energy Technology Perspectives 2010.

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

### 1-3. 注目すべき動向

#### 在来型石油（天然ガス）資源開発技術

在来型石油（天然ガス）資源開発技術は、その圧倒的な経験値を元に常にアメリカと蘭英オイルメジャー（IOC：International Oil Company）主導で研究開発が進められてきた。しかし、単位探鉱投資当たりの新規発見埋蔵量は減少を続けており、また、原油生産量の52%以上、確認埋蔵量の88%をNOC（National Oil Company：産油国の国営石油会社）が占めるようになった現在、IOCのNOCに対する相対的な地位は低下し続けている[1]。新規油田開発に対する投資機会が限定されつつある中、IOCや独立系石油会社（Independent）は、既発見油田からの生産促進に軸足を置かざるを得ない。このため、水平掘削、坑井刺激、EOR（Enhanced Oil Recovery）、インテリジェントウェルなど、既発見油田からの回収率や生産効率の向上を目的とした技術開発や、タイトガス（緻密な、砂岩・石灰岩などの岩盤中の天然ガス）、シェールガス（頁岩の堆積盆地中に胚胎されている天然ガス）、CBM（Coal Bed Methane：炭層中のメタンガス）、オイルサンドなどの非在来型資源の開発が盛んに行われるようになってきた。

アメリカにおけるタイトガスの生産は1980年代から始まっており、現在ではすでに、アメリカ国内における、石油の随伴ガス（全ガス生産の2割強を占める）を除く天然ガス生産の3割強に達している。このため最近のEIAの統計上は単にガス井からの生産の一部ということで、非在来型として区別していない。1990年代半ばからはCBMの開発が急激に進み、現在は石油の随伴ガスを除く天然ガス生産の1割弱を占めている。最近注目が集まっているシェールガスは2000年以降に生産が本格化し、2008年にCBMの生産を凌駕し、2009年にはCBMの生産のほぼ1.7倍に達している。2009年のアメリカにおける全天然ガス生産の内訳は（タイトガスを含む）ガス井からの産出14,839.13Bcf（415.5Bcm）、石油の随伴ガス5,813.2Bcf（162.8Bcm）、CBM 1,977.253Bcf（55.4Bcm）、シェールガス3,383.532Bcf（94.7Bcm）、合計26,013.115Bcf（728.4Bcm）となっている。（Bcf = Billion cubic feet, Bcm = Billion cubic metres 10億m<sup>3</sup>）

アメリカにおける非在来型ガスの期待可採鉱量は年々改訂されているが、FERC（Federal Energy Regulatory Commission）によれば、2008年11月時点におけるシェールガスの期待可採鉱量は742Tcf（Trillion cubic feet）と2006年時点の推定値の3倍以上に増加している。CBMの期待可採鉱量に関しては2008年にコロラド鉱山大学のPotential Gas Committeeが163Tcfと発表している[2]。

非在来型天然ガスは、現在まだ北米以外ではほとんど開発が行われていないが、北米に匹敵するシェールガスの資源量があると考えられている中国は戦略的に開発を進めようとしている。2010年7月にはペトロチャイナがカナダ太平洋岸のシェールガス鉱床の開発に参加し、中国海洋石油（CNOOC）も米国で、チェサピーク・エナジー社の保有するイーグルフォード・シェールガス鉱床の権益の1/3を取得した[3]。

1980年代から注目された、比較的開発が容易な、いわゆるタイトガスサンドと呼ばれる砂岩中心のフラクチャー型低浸透率貯留層に対しては、当初垂直井に坑井刺激（水圧破碎）を施しガスを産出していたが、最近の開発対象は炭酸塩岩・火山岩・石炭層・シェールに広がりを見せており、それらに対応した水平坑井掘削技術やフラクチャリング技術に著しい進展が見られる[4]。非在来型ガス田における井戸の生産減退率は高く、

1 坑井当たりの生産レートは在来型に比べて一桁小さい。このためより多くの井戸を効率的に掘る必要がある。一つの坑口から複数の水平坑井を仕上げるマルチラテラル坑井はその一つの手段である。貯留層内を水平に掘り進む水平掘削も現在では 2km 以上可能となっており、水平部分により多くの人口亀裂を入れて生産性を上げるための多段階水圧破碎も広く適用されるようになってきた。

非在来型石油資源に関してはカナダのオイルサンドとベネズエラのオリノコータルが中心である。オイルサンドに関しては従来の露天掘りと、貯留層中に平行に掘削された上下 2 本の坑井のうち、上部の坑井から水蒸気を注入して貯留層を加熱し原油の流動性を上げて、下部の坑井から回収する SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) が商業化されている。SAGD に関しては露天掘りのような環境破壊を伴わない利点があるが、単位生産当たりのエネルギー投入が大きく、EPR (Energy Profit Ratio: エネルギー収支) が非常に悪いのが欠点で、基本的には天然ガスと石油の価格スプレッドが収益の源泉である。ここでも精度の高い水平掘削技術とフラクチャリング技術が正否を左右する。

一方のオリノコータルに関しては、ベネズエラの Ramirez エネルギー石油大臣が、2009 年 11 月 3～5 日にベネズエラのマルガリータ島で開かれた第 3 回世界重質油会議で、ベネズエラの原油生産能力を 2009 年の 300 万 b/d から 2015 年に 425 万 b/d、2021 年には 686.2 万 b/d に引き上げ、その増加分の 76% をオリノコベルトの新規開発プロジェクトから供給する計画であると明らかにした。2010 年 1 月末に米国国立地質調査所 (USGS) は、オリノコベルトの可採鉱量を 3,800 億～6,520 億 bbl (mean volume 5,130 億 bbl) であると発表した。ベネズエラが発表しているオリノコベルトの原始埋蔵量は 1 兆 3,000 億 bbl で、回収率を 20% とすると可採鉱量は 2,600 億 bbl となる。

GTL (天然ガス液化)、CTL (石炭液化)、BTL (バイオマス液化) といった液化技術のうち現在完全な商業レベルで稼働しているのは GTL のみである。南ア、マレーシア、カタールなどで GTL プラントが稼働している。CTL に関しては原油価格が高騰した 2006 年以降世界各地で商業プラントの建設計画が発表されている。

(参考情報)

- [1] U.S. Energy Information Administration report (28, January, 2009) , Who are the major players supplying the world oil market?  
[http://tonto.eia.doe.gov/energy\\_in\\_brief/world\\_oil\\_market.cfm](http://tonto.eia.doe.gov/energy_in_brief/world_oil_market.cfm)
- [2] Natural Gas Supply Association HP  
[http://www.naturalgas.org/overview/unconvent\\_ng\\_resource.asp](http://www.naturalgas.org/overview/unconvent_ng_resource.asp)
- [3] 週刊エコノミスト 2010/11/16 号、pp.38-39
- [4] JOGMEC レポート、非在来型天然ガス開発技術の現状、伊原賢、2009 年 4 月

## ガスタービン

ガスタービンに関しては、1990年代まではGE社、Westinghouse社、シーメンス社、および三菱重工業㈱による1500℃級の開発や、ABB社による再燃式ガスタービンの開発など、日米欧の主要メーカーすべてが発電用ガスタービンの高温高効率化を目指した開発を競ったが、さらに先を目指した研究開発を進めたのは実質的には日本のみであり、WE-NETにおける水素燃焼タービンや二酸化炭素回収対応クローズド型高効率ガスタービン等の国のプロジェクトにおいて、世界で唯一1700℃級発電用ガスタービンの開発が進められた。これらの成果を受けて三菱重工業㈱は2011年より1600℃級の受注を開始すると発表しており、将来は1700℃級まで商用化されるものと予想される。また、運用性向上やコスト低減等を目指した高温分空気を利用したガスタービン発電システムについても、ロールスロイス社によるWIWRなどの開発計画があったものの、現在、日立製作所のAHATシステムの開発のみが着実に進められている。同社は3MW級検証機の運転試験に成功し、40MW級試験機についても平成23年度に運転試験を開始する計画である。燃料電池に関しては、米国FCE社がDFC（直接内部改質型MCFC）システムが大きなシェアを得て売り上げを着実に伸ばすなど、現時点で燃料電池を商用販売している会社の大半は米国にある。韓国ではPOSCON社がFCE社と提携して大規模なMCFC生産工場の建設を進めており、急速に燃料電池の普及が進むと考えられる。SOFCについては、オーストラリアに本社を置くCeramic Fuel Cell Limited社が熱効率60%（LHV）を達成する2kW機の販売を開始しており、さらには日本ガイシ㈱が63%（LHV）を達成する等、ガスタービンとのハイブリッドとせずとも最新のコンバインドサイクル並み以上の熱効率を達成しつつある。

## IGCC（石炭ガス化複合発電）

日本では今後の強力なCO<sub>2</sub>削減対策のため石炭への逆風が見られるが、世界の発電の40%は石炭火力によるものであり、また世界のCO<sub>2</sub>の30%は石炭火力から排出されている。今後、世界中で増加傾向にある電力需要という観点からも、石炭の消費量は飛躍的に増加するものと考えられる。そこで、地球温暖化への懸念を拭うべく、CO<sub>2</sub>の排出量を最小限に抑え、石炭を効率よく利用可能なIGCC（石炭ガス化複合発電）は、最も注目すべきキーテクノロジーである。

日本のIGCC優位性を保ち、各国の垂涎の的として国際協力の切り札とするためにも、実証機に続く商用機の建設と運転、および更なる技術開発の継続が望まれる。

日本では現在、最新鋭ガスタービンの適用、乾式ガス精製の開発、CCS技術、低品位炭の利用に関する研究開発が推進されている。IGCCのメリットの一つはガスタービンの進歩によりどんどん性能が向上することであるが、日本では最新鋭ガスタービンの研究開発に力を入れており、世界のトップを切ってガスタービン入口ガス温度1600℃の商用機が関西電力および東京電力で計画されており、さらに国家プロジェクトとして燃焼温度が1700℃級のガスタービンを開発中である。

## 次世代石炭ガス化複合サイクル発電 (A-IGCC/IGFC)

石炭火力からのCO<sub>2</sub>削減の切り札として、IGCC/IGFCによる高効率発電とCCS(CO<sub>2</sub>回収・貯留)の開発が進められている。IGCCの開発・商用化に関してはアメリカとEUが日本より先行していたが、日本では、初めて250 MW実証機が勿来で、送電端効率(LHV)42%の達成、5000時間の連続運転に成功した。これにより、商用化が射程に入ったと言える。このMHIのIGCCは豪州のZeroGenにおいても採用される予定で、日本のIGCC技術は着実に進んできている。また、褐炭への適用も考えられており、豪州における自己熱再生乾燥技術を用いた褐炭IGCCの計画などが進められている。最近の傾向は、アメリカにおけるFutureGen、中国におけるGreenGen、豪州におけるZeroGenのように、CCSを組み込んだ高効率IGCC開発プロジェクトが進められてきている。

さらに、CCS付きのIGCCに続いて、水素燃焼タービンやCO<sub>2</sub>循環型タービンなどの技術を基礎として、CO<sub>2</sub>を燃焼前に分離・回収する新規CO<sub>2</sub>回収型IGCCの開発が進められている。日本では、電中研が中心にCO<sub>2</sub>回収型高効率IGCCの開発、東大、産総研などを中心にエクセルギー再生型高効率IGCCの開発が進められている。

(参考情報)

[1] <http://www.ccpower.co.jp/igcc/>

[2] CCT (Clean Coal Technology) ワークショップ 2009 資料 (平成 21 年 8 月 3 日～8 月 4 日、ベルサール神田)

## 軽水炉開発

新型軽水炉、次世代軽水炉の研究開発は日、韓、仏、露などで盛んである。たとえば日本で行われている、次世代軽水炉研究開発では、濃縮度5%超燃料を用いた原子炉系の開発による使用済燃料の大幅削減と世界最高の稼働率実現、免震技術の採用による立地条件によらない標準化プラントの実現、プラント寿命80年とメンテナンス時の被ばく線量の大幅低減を目指した新材料開発と水化学の融合、斬新な建設技術の採用による建設工期の大幅短縮、パンプ系、アクティブ系の最適組み合わせによる世界最高水準の安全性・経済性の同時実現、稼働率と安全性を同時に向上させる世界最先端のプラントデジタル化技術を目指している。これは将来の世界標準炉を目指したものである。今後国際原子力競争はますます激化することが容易に想像される。技術立国を目指す我国として、世界競争に勝ち残れるものを今後全日本で行って行く必要がある。現在我が国の原子力発電所製造企業は3つあり、それぞれ外国の企業と様々な形で連携している。将来的には産業構造の変化を見通しつつ世界で生き残れる姿の検討も必要であろう。

## 中小型炉研究開発

電源コストという経済性から見れば大型の軽水炉が勝るものの、特別な地域、用途での中小型炉の研究開発にも注目すべきである。過疎地域での発電や、海水脱塩、メンテナンスフリーなど多くのアイデアが世界で出ているものの、我国における研究開発は限られた少数しかない。これらは、大学における研究課題にも適したものも多く、今後研究の展開が期待される。

## 安全研究

原子力エネルギーの平和利用は安全確保が大原則であることはいままでもない。最近、原子力発電に関係する安全研究が少なくなっていることは問題である。地震対策、津波対策、シビアアクシデントマネジメント、マンマシンシステム、安全確保の考え方、安全目標の立て方、など安全に関する研究開発をいつの時代においても常に現状の見直しと課題の選定を伴って実施し、最新の知見を反映することと、それらの中で安全研究に携わる人材を育成していくことが必要である。

## 新型研究炉研究開発

わが国では日本原子力研究開発機構の材料試験炉（JMTR）の改良が行われており近く再運転が開始される見込みであるが、研究開発機関、大学などにおける研究炉は老朽化しており、一部廃止されるものもある。研究炉は中性子を安定して発生することができるものであり、材料研究、医療研究、化学分析など多くの利用分野がある。欧州においては最近新型の研究炉が建設され特徴的な研究開発が進められている。我が国においても、新型研究炉の開発、設計、建設を進めるべきである。

## 廃止措置研究開発

現在3基の原子発電所が廃止措置中であり、今後もこの数は増えることが予想される。また原子力発電所のリプレースと関連して、原子力ライフサイクル研究開発が重要となってくる。その中で廃止措置については経験を踏まえ、研究開発、技術開発を進めていくことも重要である。また、発生する廃棄物の多くはクリアランスレベル以下であり、その再利用方法についても広く検討を進めることが必要である。

## 燃料サイクル技術

燃料リサイクルの中で中心的に重要なものは再処理工場である。残念ながら六ヶ所再処理工場においてはガラス溶融炉のトラブルで操業開始が遅れている。着実に技術的対策を講じて安定安全な操業につなげるべきである。また、新型溶融炉などの研究開発、技術開発を幅広く進めておくことも将来予想される様々な廃棄物の処理に必要である。

ウラン濃縮についてはわが国で開発した新型遠心機の実用規模での使用がまず重要である。また、遠心機の経済性は連続運転時間に大きく依存するところ、適宜の改良も求められる。また、国際的には、様々な形での連携、資本参加などが行われているところ、わが国としても核不拡散透明性を高める観点からも、国際連携などを検討すべきである。

## 高速増殖炉サイクル研究開発

原子力エネルギー利用を最大限図るには、高速増殖炉サイクルが有効であり、我国としても中長期的な視野で研究開発を進める必要がある。炉については、まず「もんじゅ」について所期の目的を達成する必要がある。その後の実証炉についてはFaCTプロジェクトの中で研究開発が進められているが、国際協力も有効に活用しつつ進める必要がある。FaCTの中での高速炉開発については中心的に行っていくMFBRが設立され有効に研究開発が行われているが、中長期的な予算的裏付けも必要とされる。燃料サイクル技術においては、我が国は軽水炉インフラがある、すなわち、軽水炉燃料製造、軽水炉

使用済燃料再処理工場があるという事実を踏まえつつ、将来の高速増殖炉サイクル用の燃料製造、再処理技術として何を考えるか、その中で、わが国として今から研究開発を進めていく必要があるのは何であるのかを明確にしつつ着実に進めていくべきである。その中で再処理技術については東海再処理工場や六ヶ所再処理工場での経験を最大限反映すべきである。また、このようなサイクル技術の研究開発には必要なインフラの整備も重要である。そこでは研究開発機関が重要であるが、サイクル技術研究開発については民間企業との連携をさらに図ることも有効である可能性がある。

### 移行期燃料サイクル研究開発

上記の高速増殖炉サイクルに関する研究開発と関連して、軽水炉燃料サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期での燃料サイクルに関する研究開発、技術開発を着実に進める必要がある。六ヶ所再処理工場の次の第2再処理工場ではまず運転初期には軽水炉使用済燃料の再処理を行うことが予想される。そこでは、核拡散抵抗性をより高めた再処理技術や、Am、Cm、Npなどのマイナーアクチニド(MA)分離技術、MA入り燃料製造技術などの採用が考えられ、それらに向けての研究開発を計画的に行って行く必要がある。

### 放射性廃棄物処理処分

様々な中低レベル放射性廃棄物の減容、固化に関する研究開発、技術開発は継続して行う必要がある。また、高レベル放射性廃棄物の処分技術の研究開発、地質、地震工学などの最新の知見の採用、処分後の性能評価の精度を高めるための廃棄体長期挙動、核種挙動などに関する基礎的研究を着実に進める必要がある。これらの多くは大学における研究課題としても相応しい。

### 加速器駆動システム

欧州、中国、韓国、米国などでは、加速器で中性子を発生し、それをを用いて未臨界炉体系で熱を発生するシステムに関する研究や、中性子を用いた核変換に関する基礎研究が盛んに行われている。この研究は、将来の新しい炉の開発や、廃棄物低減方策の研究に繋がっていくものであり、わが国としても、海外との連携も踏まえつつ効果的に進める必要がある。J-PARC計画の初期の時点では第2フェーズとして位置づけられていたが、現在はそれが見えなくなっている。

### 核融合炉研究開発

核融合炉は高レベル放射性廃棄物を発生しない、および炉の核的暴走が原理的にない、資源が豊富などの利点があり研究開発が行われている。現在国際プロジェクトとしての実験炉ITERの建設がフランスのカダラッシュで行われている。日本も参加国であり重要な機器の建設を担当している。将来のエネルギー源となる可能性がある核融合システムについてわが国としてもITER参加の利点を活かしてできるだけ多くの技術的知見を得ることが必要である。また、核融合エネルギーの開発はITERで終わるものでなく、原型炉の早期建設と運転が求められる。現実的な計画を作成し、国際協力も着実に使いながら確実に進めていくことが必要である。そのとき、ITER-BAについては適宜の見

直しとともにこの制度を有効に活用することが重要である。また、研究開発機関、大学などが、費用、人材などで一体となって進めていくことも求められよう。

### 核セキュリティ、核不拡散技術

原子力エネルギーの利用を進めるには、3 S、すなわち安全 (safety)、核セキュリティ (security)、核不拡散 (保障措置 (safeguards)) が確実に守られることが必要である。安全研究についてはすでに記したが、核セキュリティ技術、核不拡散技術についても着実に研究開発、技術開発を進める必要がある。これらは今までわが国としては十分でなかったきらいもあるが、今後世界規模での原子力の発展、その中でわが国の貢献とも関係し、IAEA など国際機関とも連携しつつ、研究開発機関、大学で着実に進めていく必要がある。

### 再生可能エネルギーの普及

再生可能エネルギーは各国政府の手厚い政策支援をベースに急速に導入量が増加している。特に、太陽電池、風力発電、バイオ燃料については、21世紀に入って毎年数十％という急速な拡大が続いている。このような急速な市場拡大が基礎となり、再生可能エネルギー技術の研究開発も急速に充実してきているが、それに伴い研究開発の重点領域も変化しつつあることに留意する必要がある。

今や風力発電と太陽電池の世界の年間導入量は、それぞれ 3000 万 kW と 1000 万 kW を超え、新設市場規模は両者を合わせて 10 兆円を超える規模になっている。つまり、これらの再生可能エネルギーはすでに巨大な産業に成長しており、研究開発も相当な部分は政府が支援する基礎基盤研究の段階から実用産業技術としてコスト競争を意識した開発段階になっている。このような段階における公的な研究開発としては、次世代の革新技术の開発とともに、太陽電池や風力発電のような自然変動電源の大量導入時に課題となる電力供給安定化に向けて、スマートグリッドなどのインフラ技術の開発へと研究領域のシフトが起こり始めている。このような再生可能エネルギーの大量導入時代に向けたインフラ技術の研究開発も、再生可能エネルギーに関する研究開発として認識される必要がある。

なお、再生可能エネルギー分野に関わらず、実用化した技術の開発を担う企業は国境を越えて世界的にビジネスを展開しており、これは研究開発も同様である。このような段階に入った分野について、国際技術力比較が可能かどうか考察しておく必要があると思われる。

### スマートグリッド

スマートグリッドの定義はまだ確立されていないが、一般には、ICT (Information and Communication Technology : 情報通信技術) を用いて電力供給者と需要家との間の情報交換により、よりスマートに運用する電力システムのことを指す。この概念は、2000 年前後から、日本では電力中央研究所の需要地システム、米国では EPRI の Intelligrid、欧州では EU の Smart Grid Technology Platform などとして検討されてきた。2009 年に米国経済再生再投資法 (ARRA : American Recovery and Reinvestment Act) の一部としてスマートグリッドに多額の資金を拠出することをオバマ大統領

領が発表したことにより世界的に広く知られるようになった。

スマートグリッドは、需要家が電力システムの運用に参加することによって、再生可能エネルギーの導入による悪影響を緩和させること、電力システムへの発電所や送配電システムの拡充のための投資を遅らせ電気料金を安定化させることを目的としている。この目的への重点の置き方は国や地域により若干の違いが見られ、米国では後者が、欧州と日本では前者への期待が大きい。一方、電力需要が急増している中国では、電力システムの拡充が急務であり、この拡大に合わせて一気にスマートグリッド化していきたいとの目論見がある。

スマートグリッドを構成する技術としては、極めて多数の需要家および需要家機器との間の情報通信技術そのもの、その中でも情報セキュリティ技術が重要である。需要家内で情報の仲立ちをするのが、スマートメーターや情報通信端末であり、HEMS (Home Energy Management System) や BEMS (Building and Energy Management System) と接続される。HEMS や BEMS の役割をスマートメーターに持たせることも想定されうる。HEMS や BEMS は、電力供給者側の料金や要請の情報に基づき需要家の意向を尊重しつつ、需要家内の家電機器、太陽光発電などの分散電源、電気自動車などの蓄電池を制御する。これにより、電力需要が制御され、最大電力の削減や再生可能電源の出力の不確実性や不安定性を緩和することが期待されている。これらの制御の内、比較的長い時間間隔 (1 時間程度以上) で実行されるのが DSM (Demand Side Management) や DR (Demand Response) である。一方、比較的短い時間間隔 (1 ~ 10 秒程度) で実行し電力システムの周波数調整などへも寄与する制御についても活発な研究が行われている。

これらの制御を実行するには、需要家の利便性を損なわないようにすることが重要であり、エネルギー蓄積機能を持った機器、たとえばヒートポンプ給湯器やエアコンあるいは電気自動車の蓄電池などが想定されている。この後者では、電気自動車の利用開始時 (プラグアウト時) に十分に充電されていることも重要である。

以上の制御は、需要家個別の単位で制御してもそれなりの効果が期待されるが、ある広がりを持ったコミュニティや、日本で言えば一般電気事業者 (電力会社) 程度の大きな単位での制御が、制御量が少なくなるのでより有効であり、この面での研究も盛んである。

## リチウムイオン電池

ハイブリッド自動車用のリチウムイオン電池の正極活物質として米国、中国ではオリビン型  $\text{LiFePO}_4$  が中心となっている。一方、日本ではスピネル型  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  が中心となってきた。安全性と出力、エネルギー密度とコストの点も含めて今後の方向が注目される。

高エネルギー密度正極活物質として、 $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  が注目を集め、実用化も始まっている。高電位正極材料  $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{3/2}\text{O}_4$  も含めて、電解液、耐久性などの課題の解決が望まれる。その解決法の一つとして正極コーティング技術があげられる。フッ素含有化合物やリン酸塩、ケイ酸塩系の材料などが高容量正極として期待される。

大容量合金負極の Sn や Si が期待されるが、その長寿命化が必要である。また、独立で研究が進められているコンバージョン電極は負極だけでなく、正極にも可能性がある。

電解液については安全性が課題であり、イオン液体の開発やポリマー電解質の見直しも必要である。固体電解質は硫化物系の材料が中心であるが、固体-固体界面の形成・維持と毒性の課題の解決が望まれる。

リチウムイオン電池の反応を十分に理解して、寿命推定と残存価値の評価手法に結びつける研究にも取り組まれている。

ポストリチウムイオン電池として、リチウム-空気電池が欧米をはじめ広く注目を集めている。リチウム金属負極の実用は多様な高性能リチウム電池に繋がる。一方、体積あたりのエネルギー密度が高い亜鉛-空気電池は水溶液が使用できるので安全性の点で有利である。金属-空気電池では、充電時のデンドライト生成の抑制と電解質材料、空気極の開発がキーである。長期的に視点から、Mg や Al を負極とする蓄電池がある。

## CO<sub>2</sub> 分離技術

CCS におけるエネルギー消費の 7～8 割は CO<sub>2</sub> の分離プロセスに因るといわれ、CO<sub>2</sub> 分離の低コスト化が重要である。現在、大規模回収用途として実用化されているのはアミンなど CO<sub>2</sub> 吸収剤を用いた化学吸収法であるが、アミンの再生に多量の低温スチームが必要で、4.0 GJ/t-CO<sub>2</sub> 程度のエネルギーコストと言われている。一般に、吸収剤には MEA (モノエタノールアミン) が用いられているが、RITE は MEA に対して 75% 省エネとなる新規吸収剤を開発しており、さらに 50% 省エネとなる新規吸収剤も開発中とされている。

最近、ヒートトランスフォーマーを用いて、吸収における吸収熱を再生塔での CO<sub>2</sub> 解離反応熱として供給する自己熱再生技術を適用した化学吸収プロセスが提案されており、COP が 2 のヒートトランスフォーマーを用いて 1.3 GJ/t-CO<sub>2</sub> になるという試算がなされている。

また、CO<sub>2</sub> 分離膜の開発も進められており、日本ではメソ細孔を有する新規 CO<sub>2</sub> 吸着剤や、ルネッサンス・エナジーによる CO<sub>2</sub> 選択透過膜 (促進輸送膜) などがある。

(参考情報)

- [1] Kishimoto, A., et al., Design Methodology of Absorption Process (use of MEA absorbent) based on Self-heat Recuperation Technology, *Chem. Eng. Transactions*, 21, 661-666 (2010)

## 省エネルギー型蒸留プロセス

蒸留プロセスは化学プラントのエネルギー消費の半分以上を占めるとされており、その省エネルギー化が化学産業の低炭素化の重要な鍵である。これに対して、日本で、濃縮部と回収部で直接熱交換を行う新しい蒸留プロセス (HIDiC: 内部熱交換型蒸留塔) が開発されてきており、従来型蒸留塔に対して 30% 以上の省エネが実現できている。

最近、自己熱再生理論を適用した自己熱再生型蒸留プロセスが提案された。これは、塔頂からの蒸気を圧縮することで昇温し、リボイラの熱源に用いることで従来型蒸留塔に対して 80% 以上の省エネが達成できるとしている。実プロセスへの適用として、バイオエタノールの蒸留などが検討されている。

(参考情報)

[1] <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/gaiyou/p02020/p02020.html>

Kansha, Y., et al., Integrated Process Module for Distillation Processes Based on Self-Heat Recuperation Technology, *J. Chem. Eng. Jpn*, 43 (6) , 502-507, (2010)

### 産業用ヒートポンプ

日本のヒートポンプ技術は、着実に進歩しており、特に、民生用ヒートポンプの高性能化、低コスト化は、この10年で著しく進んだ。ただ、高機能性を追求するため、オーバースペックでかつ高価なものとなっており、世界市場で大きな存在とはなっていない。産業用ヒートポンプはこれらの民生用ヒートポンプの技術を利用しつつ、新たな市場を開拓しようとするもので、この数年、日本では民間を中心に活発な開発が進められている。最近では60°C→140°CのヒートポンプでCOPが3以上のものができつつある。今後、産業分野に展開されていくことによって、大きな市場として成長するとともに、産業分野での省エネに貢献するであろう。

### 大規模電力貯蔵

太陽光や風力発電のような間欠性の再生可能エネルギーの導入が進むに従って、大規模電力貯蔵技術、特に二次電池が重要と成りつつある。従来、日本では東京電力がNAS電池の開発を続けてきており、まだコストは高いものの、着実に実績を積んできている。最近、スマートグリッドの研究開発が盛んに行われているが、スマートグリッドの開発予算の7割は二次電池関連であるという。PHV、PHEVで開発されているリチウムイオン電池を集積し電力貯蔵用に大容量化する開発研究も行われ始めた。また、最近、川崎重工がニッケル水素電池を基に、大容量・高出力の二次電池を開発し（ギガセル）、車両搭載および鉄道電力網に直結して平準化用として実証試験が行われている。

### ゼロエネルギー住宅、エネルギー生産住宅の開発

ゼロエネルギー住宅とは、高性能断熱材、高性能窓を導入し、暖房負荷をできる限り少なくした上で、太陽熱、太陽光を利用し、使用するエネルギーを限りなくゼロにしようという住宅である。エネルギー生産住宅は太陽エネルギーなどの自然エネルギー利用率をさらに高めて自らエネルギーも作り出す住宅のことである。これらの住宅は当然のことながら、初期コストが増えるので、ライフサイクルコストについての検討も必要になってくる。ドイツをはじめとして、スウェーデン、米国などで研究が進められている。日本でも、暖房負荷をゼロに近づけた高断熱の住宅が長野で建設されており、今後、この研究は盛んになってくることが予想される。また、日本においては、LCCM住宅（Life Cycle Carbon Minus House）という考え方が提案され、その評価法について議論されている。

### 真空断熱材などの超高性能断熱材、高性能断熱窓の開発

真空断熱材とは二重の面材内部を真空にした断熱材であり、限りなく熱伝導率が小さいものである。厚さを薄くすることができるので、リニューアルの際に適用できることが期待されている。日本でもすでに商品化されているが、問題は耐久性、施工性、コス

トである。

また、真空ペアガラス、エアロジェル入りガラスなど熱伝導率を低くした窓ガラスの開発も各国で実施されている。窓枠の熱伝導率をいかに抑えるかが鍵である。アルミなどの金属サッシに替わり樹脂製サッシも普及し始めている。

透明断熱材は、太陽光は通過させて熱は遮断するという材料であり、高性能窓ガラスも含めて定義されているが、欧州ではそのための国際会議がしばらく続いていたほどであり、これらの技術はドイツが先行している。

### パッシブクーリングシステム

冷凍機を利用しないで、建物を工夫して自然エネルギーを利用・調整することをパッシブクーリングシステムと呼ぶが、各種のシステムが開発されている。

高反射性建材は屋根や水平面に近い外壁に適用され、太陽エネルギーを反射させて冷房負荷を削減するものであり、特に米国ローレンスバークレー国立研究所が先行して開発が進んでおり、ヒートアイランド対策としても注目されている。

また、熱容量の大きい建物では夜間の冷えた外気を導入して躯体を冷却し、昼間の冷房負荷を減らすことが考えられ、そのために自然換気と機械換気を組み合わせて省エネルギーを図るハイブリット換気システムや蓄熱効果を増加させる効率の高い潜熱蓄熱体の開発が欧州では、進められている。

アースチューブシステムは、地中に埋設したダクトを通して外気を導入するシステムであり、夏は冷えた外気を、冬は暖まった外気を得ることができる。米国、欧州、日本で近年の環境共生建築に適用されている。

### 太陽熱・光利用の各種設備システム

太陽熱・光を利用したシステムは太陽熱給湯などをはじめとして各種のものが開発されてきている。しかし、まだ有効に活用されているとはいえない。太陽熱給湯については、日本において、1999年における普及率は11.5%であったが、メンテナンスの困難さなどから、利用量は落ち込んできている。屋根一体型で高性能な給湯器が欧州や米国で開発されており、日本において新たな展開が期待される。また、太陽熱を熱源としたデシカント冷房システムはフロンを利用しない、菌類の繁殖防止、低湿気の空気がつくれるなどの利点があり、今後の展開が期待され、フランス、ドイツ、米国、日本の大学、研究所で開発が進んでいる。

太陽光発電については、透過型のタイプや建物一体型などの太陽電池建材、太陽熱給湯器と一体となったタイプが各国において業務用に応用されるようになってきた。いずれにしても量産化によるコスト低減が今後の普及の鍵であろう。

### 高性能給湯器

家庭では暖冷房エネルギー使用量が相対的に減少しているのに対して給湯用エネルギーは、増加の傾向を示しており、この部分の省エネルギー対策が大きな課題である。二酸化炭素冷媒のヒートポンプはCOP (Coefficient of Performance) が約3.0と高く、日本が誇れる技術であり、さらに効率向上のためにメーカーがしのぎを削っている。また、低外気温対応のヒートポンプ機器の開発が日本では進められている。空気熱源のヒー

トポンプはヨーロッパでは自然エネルギー利用技術の一つとして扱われている。

また、家庭用の潜熱回収型給湯器も日本において開発されており、試算によれば従来型に比較して13%の省エネルギーになるという報告もある[1]。

(参考情報)

[1] [http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/04d1\\_j.html](http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/04d1_j.html)

## コージェネレーションシステム

コージェネレーションとは、発電時に発生する排熱を、冷暖房や給湯といった熱供給に利用する技術であるが、大規模建物に対する大型システム中心の開発から1kW程度の家庭用の小型のシステムの開発へと広がってきている。日本では、ガスエンジンを使った家庭用システムが2003年に発売されたが、発電効率18%、排熱回収効率59%、総合効率77%であり、CO<sub>2</sub>排出量を約29%削減できるとされている。発電機に固体高分子形燃料電池を用いたシステムが2005年に限定市場導入され、この機器はCO<sub>2</sub>排出量40%削減できるとされている。家庭用システムの開発では日本が先行している。

## BEMS、HEMS

BEMS (Building Energy and Environment Management System) および HEMS (Housing Energy and Environment Management System) は、ライフサイクルにわたって環境・エネルギーならびに使いやすさの観点から、使用者にとって最適な状態に維持するように建物・設備に対する監視機能、制御機能、管理機能を有するシステムであり、このシステムを適切に運用することにより、省エネルギーの実現が期待できる。多くの新築ビルで取り入れられており、優れたシステムの開発が各国で進められている。家庭用にも開発されているが、普及するところまでには至っていない。しかし、今後、システムが住み手にとって扱いやすいものとなれば広く普及することが期待される。

## スマートグリッド

自然エネルギーの利用などによって分散的に発電した電力や、余剰となった電力を有効に利用するために、電力需給を自動的に調整する機能を持たせた電力網であり、人工知能や通信機能を搭載した計測機器等を設置して、電力供給を最適化できるようにしたシステムである。

## 石油代替燃料

最近の交通分野、特に道路交通において、エネルギーセキュリティの面から石油代替燃料への動きが顕著である。その中で、バイオ燃料、電気へのシフトは多くの場合、地球温暖化対策としても有効である。

バイオ燃料の中ではエタノールが注目されているが、穀物/食料との競合、さらには土地制約、環境負荷への懸念などから、セルロース系原料からの製造が注目され、開発が盛んである。特に、大規模利用の際には、従来の農地や森林をバイオ燃料用に転用することが考えられ、その際の土地利用変化に伴うCO<sub>2</sub>排出も今後は、考慮する必要があり、持続可能性の基準クリアは益々困難になる。一方、長期的には藻類や新規の微生物利用(たとえば糖類→軽油)のバイオ燃料製造も有望と考えられ、効率のよい株の探

素、あるいは遺伝子解析／操作による効率化なども研究がスタートしている。

電気自動車はこれまでも何度か、注目された時期があったが、いずれも技術開発が進展せず挫折してきた。今回のブームがこれまでと少し違うのは、連続走行距離が現行車よりは低い目標設定でさらに小型車となっており、限られた市場向けの車であり、消費者の受容性を試すことになる。このリスクを回避するために、現行のハイブリッド車の延長線上のプラグインHV車が開発され、当面は電気利用のニーズの主役を演じるであろう。いずれも電池技術の大きな進展が必要で、先進電池の開発が国家プロジェクトとして立ち上がっており、長期的な視点での電池開発ニーズに答える形になっている。

## 2. 環境保全分野

### 2-1. 概観

環境保全分野の国際技術比較を実施するにあたり、当該分野を9の中綱目に分類した。すなわち、気候変動緩和技術（二酸化炭素回収・貯蔵技術、農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術、気候変動予測・評価技術）、地球環境保全技術、大気環境保全技術、水環境保全技術、土壌環境保全技術、化学物質の環境リスク評価・管理技術、環境アセスメント技術である。

本分野は、研究水準、技術水準、産業技術力のいずれにおいても、米国、欧州、日本の技術力が世界をリードしており、中国や韓国は後塵を拝しているが、両国ともに進展が著しく、近い将来、日米欧に並ぶ力をつけるものと推測される。

日本の気候変動緩和技術（二酸化炭素回収・貯蔵技術）は、研究開発力や産業技術力が高い水準にあるものの、欧米、中国、韓国が国家の支援のもとに実証に向けた研究を進めているのに対し、スピードや規模の点で見劣りする。

農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術は、日米欧ともに高い研究、技術開発水準にあるが、産業技術力に転換していない。中国はかなり遅れが目立つが、韓国はかなり進展し、日本の水準に近づいている。

気候変動予測・評価技術は、米国がスパコン、モデルのいずれの面においても日欧より進んでいる。ただ、中国がスパコンの分野で日欧を抑えて2位になるとともに、研究水準や産業技術力の面でも近年の進歩が著しい。

地球環境保全技術のうち、酸性雨、黄砂（大気中微小粒子を含む）、砂漠化は日米欧が進んでいる。技術開発面では法規制との関連も大きいために、法整備も含めた対応が日本の技術発展に不可欠であろう。また、これらの問題は多国間にまたがるものであるためデータ共有やその精度管理が国際技術力確保に必要であろう。

大気環境保全技術の核となる低公害車技術では日欧が米国より進んでいる。韓国は日米欧に急迫しているが、中国はこれからというレベルである。ただ、各国ともに政府支援の研究開発プロジェクトが進みつつあるため、その動向に注目していく必要がある。

水環境保全技術は日欧が米国に比較して進んでいる。日本は高い技術水準を持つてはいるものの、水ビジネスの国際展開はこれからである。一方、韓国は国策としての支援もあり、日欧に急迫している。

土壌環境保全技術は、米国がフロントランナーとして地位を保っているものの、日欧も法整備が進んだために非常に進んだ状況にある。一方、中国や韓国は基礎的な技術情報は日米欧と共有してはいるものの、それぞれの地域における具体化はこれからであろう。

化学物質の環境リスク評価・管理技術は、日本は韓国、中国と比較すれば進んではいるものの、欧米と比較して遅れている点が目立っている。特に欧州がREACH（化学物質の登録、評価、認可及び制限に関する規制）の導入で産業技術力を高めているのに対し、日本はそれに対応するのみにとどまっている。

環境アセスメント技術は米国がトップランナーである。欧州は加盟国間で温度差があるものの進んだ法制度と対応する研究や技術開発力を持っている。日本はそれに続くものの、簡易アセスメントなどの法的な側面でのさらなる整備が必要とされている。中国や韓国ではやや遅れているものの、急速な進展がみられている。



## 2-2. 中綱目ごとの比較

### 2-2-1. 気候変動緩和技術／二酸化炭素回収・貯蓄技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	先鞭をつけてきた研究開発のレベルは、質的にも水準が高い。実証へと注目が集まる中、基礎的な研究開発への支援が必要である。分離技術では、RITEで開発中の分子ゲート膜分離技術や新規吸収液開発なども継続的に実施されている。世界の潮流である、発電所からの排ガス対応だけでなく、鉄鋼やセメント産業からの排気ガスへの対応が検討されているところは特筆できる。輸送関連では、船輸送に関する検討が、先進的に進められている。
	技術開発水準	○	→	研究開発に関する力点が、実証試験へシフトしてきている。しかし、その実施には欧米、アジア勢の昨今の動きに対してスピード感に欠ける。企業の研究施設・設備は優れており、その水準の高さは評価できる。純酸素燃焼技術はラボスケールで豪州との国際共同研究が進行している。
	産業技術力	◎	→	分離回収技術の水準は現場でも高水準であり、世界各地で進められている実証試験等へも採用され、実績を積んできている。また、CCS設備に関しても日本の企業による受注がされているなど強みを発揮している。実際の貯留に関しては、現在進められている実証試験に追うところが大きく、石油メジャーを中心とした各国のレベルには、まだ到達していない。
米国	研究水準	○	↑	従来のIGCCへの回収技術適用一辺倒から、新規のプロセスに着目した開発が進みつつあり、そのレベルも着実に向上している。特に、高濃度CO <sub>2</sub> の回収に適した形でプロセスを構築するケミカル・ルーピング技術などは注目される。
	技術開発水準	◎	↑	新規の燃焼法や実際の実証に向けた研究開発へ着実にシフトしつつある。エネルギー省による資金提供もあり、オキシフェルに関連しては、酸素プラントを使わない酸素選択的分離膜による酸素富化燃焼ボイラーの研究を実施している。当該技術は膜性能の向上が不可欠であり、またコスト低減などの課題もあるため、実用化には時間がかかると思われる。吸収法も、アンモニアを用いた技術など、多面的な研究が進められている。一時期トーンダウンしていたFutureGenも実施に向けて候補地の選定が進むなど
	産業技術力	◎	→	多くは石油メジャーの持つ産業技術力において高く、EORなど早期機会の適地も多数保有するため、国内展開においても有利である。
欧州	研究水準	◎	↑	目的に応じたコンソーシアムによる研究開発が活発に実施されている。EUからの資金などの支援もあり、活発な研究が推進されている。
	技術開発水準	○	↑	CASTORプロジェクトなど、分離回収に関するプロジェクトなども多面的に進行している。純酸素燃焼法に関しては、TOTAL社を中心に、実証が開始されるなど、技術開発水準は全体的に向上している。中国・インドなど発展途上国との連携も視野に展開を図りつつある。
	産業技術力	◎	→	北海油ガス田等を利用した実証研究が進んでおり、石油メジャーとの連携で技術的水準も高い。
中国	研究水準	○	↑	研究水準は、その対象となる機関により大きく異なる。研究開発は、CCSに特化したものはまだ少なく、資源開発につながるEOR等に関連した分野での研究を国が支援している。欧州や日本とも共同での研究が推進されてきており、そのレベルは向上してきている。
	技術開発水準	○	↑	CCSに関する技術開発は、基本的に企業からの資金によるものであり、特に資源開発に関わる企業と、欧州等との協力により推進されている。分離回収技術は、IGCCへの適用の検証が計画されるなど、各種の取り組みが開始されてきている。
	産業技術力	△	↑	海域ガス田開発なども実施されてきており、ポテンシャルを有しつつあるが、温暖化対策としての展開にはまだ至っていない。内モンゴルにおいて10万t規模のCCS事業に着手するなど着々と国内での実施への基礎を積み上げつつある。内陸での貯留ポテンシャルに関する評価も進められ、大量排出源と貯留地のマッチングも比較的良好であるとの報告もある。
韓国	研究水準	○	↑	研究水準は、その対象となる機関により大きく異なる。
	技術開発水準	○	↑	国家主導での研究開発も進められており、乾式吸着材を用いた回収技術やアンモニア吸収技術、コスト低減などの課題に取り組みつつある。純酸素燃焼技術の実証やIGCC+CCSの実証など各種計画が進められている。
	産業技術力	△	↑	自国内での適地には乏しいとの評価もされているが、2014年に、10万kW発電所からのCO <sub>2</sub> 回収プロジェクトを開始することを明言するなど技術力強化への取り組みは官民上げて進められている。

## 全体コメント：

2008年のG8洞爺湖サミットにおいて、CCSが推進すべき温暖化対策として位置づけられ、さらに2020年には実現可能な状態にするべく、2010年には世界で20の大型実証プロジェクトを開始することがうたわれた。その後の経済危機などを受けて、その動きは若干トーンダウンしたようにも見えるが、世界的に要素研究から全体のシステム実証へと舵が切られたことには間違いが無い。日本で計画されている実証プロジェクトの規模は、必ずしも十分なレベルではないが、将来展開への一歩となるであろう。欧州では、EU指令など制度的な追い風や、今後の化石資源発電プラントにCCSを義務付けるなどの動きも活発である。米国においても、そのポテンシャルの高さから当面はEORへの適用が中心で進み、加えて中国、韓国においても、欧米や日本との協力による研究開発が急ピッチで進められてきている。

これら、比較対象国以外には、産炭国、産油国を中心とした動きが活発である。特に、豪州はGCCSIを設立、支援するなど世界的な動きの中心としての役割を担おうとしている。また、UAEやカタールなど産油国でも、CCSの実証への動きを活発化させていることも特筆される。

研究開発の方向性は、CCS技術の総合的な実現を目指した実証と分離回収、輸送、貯留、モニタリングなどの各要素技術の高度化、システムの最適化といった課題があり、今後とも実証と個別の研究開発の相互的なフィードバックを並行して実施し、技術の向上を目指していくことが必要な段階である。

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

2-2-2. 気候変動緩和技術／農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	水田作における間断灌漑、畑作における肥料の抑制技術の研究が行われている。代替エネルギー源としてバイオマスの利活用を促進するバイオマスニッポンや、エネルギー効率の高い農業機械の利用、化学肥料の使用の抑制、家畜排泄物の適切な管理などを促進する環境保全型農業を進めている。省エネルギーハウスの研究が行われている。土壌中には有機物として大気の約2倍の炭素が蓄積されているが、農業などの土地利用変化がおこると大気中へ二酸化炭素を放出することが指摘されている。これに対して、適正な農地の管理および有機資材の施用で放出を抑制するなど、土壌炭素量を増加させる方法が研究されている。2010年に、文部科学省にて気候変動適応研究推進プログラムがスタートした。
	技術開発水準	○	↑	発生削減マニュアルが作られている。2007年を国産バイオ燃料元年とし、ホクレンなどを実施母体として大規模実証（合計3.5万キロリットル）を実施する計画。地球温暖化対策を念頭ににおいたアグリビジネスとして、低濃度エタノールによる土壌消毒法、生分解性プラスチックを強力に分解する微生物の探索、微生物農薬利用などが提案されている。2010年に総合的な対策事業として、全国の農地土壌炭素含有量等の調査、有機農業に対する総合的支援、肥料原料の安定確保が始まっている。
	産業技術力	○	→	緩効性肥料などの製品販売は行われているが、農業における温室効果ガス排出削減は、農家が有効な資材を利用し一つのシステムとして導入する必要があるため、工業製品の技術力とは異なる視点で考える必要がある。温室効果ガス削減対策のなかで「見える化」の議論がすすんでいる。この他、リターナブル容器の利用促進、木質ペレットボイラーなどバイオマス燃料の活用、発光ダイオードなどの光源利用に向けた技術開発が進んでいる。炭素貯留効果の高い営農法として、たい肥の施用、不耕起栽培、二毛作などが掲げられている。
米国	研究水準	◎	↑	独自の削減目標を掲げ、堆肥の管理、耕起の削減、農地への植林などによる削減に関する研究を実施している。土壌炭素、温室効果ガス排出、作物生長や収量をモニタリングし、地域の状況に応じた農法について研究している。2008年にバイオ燃料行動計画を発表し、連邦政府や研究機関が連携して持続可能なバイオ燃料供給体制を整備する行程を示し、次世代のバイオ燃料資源であるセルロース系植物の効率的利用の促進を強調した。
	技術開発水準	◎	↑	土壌の吸着機能について、堆肥1トン/年で化学肥料区と比較したところ、200万トンCO <sub>2</sub> の削減効果があるなどの、技術開発が行われている。バイオ燃料の素材として、茎、葉、穂軸(ストーパー)まで徹底的に利用することを掲げて研究を始めている。しかし、見通しがつくのは早くとも2015年ごろといわれる。当分はトウモロコシに依存すると考えられる。農業施設からのメタン回収が検討されている。
	産業技術力	△	→	バイオ燃料の生産に関して、2017年には1.3億キロリットルを目標にしており、これは日本(600万キロリットル)の22倍である。農家当たりの農地面積が広いことから、技術適用の効果が大きい。2008年にFAOは、「食糧と農業に関する年次報告2008」で、現時点では二酸化炭素削減効果は期待したほどでなく、森林破壊や食料価格の高騰など途上国にとってマイナスの面が大きいと述べた。
欧州	研究水準	◎	↑	農業部門は、二酸化炭素排出総量の約1割である。最近の異常気象がマイナスの影響を及ぼしているため、温暖化防止に貢献するバイオ燃料生産の研究と運用が進められている。この一方で、より集約的農業と森林伐採が農耕地からの温室効果ガス放出量を押し上げているという研究もある。
	技術開発水準	○	→	地球温暖化対策技術として、農業部門から排出される温室効果ガス(メタン、亜酸化窒素)削減技術の開発、および石炭燃料が気候に与える影響の研究が、ドイツで行われている。フランス経済財政産業省は、2005年の重要技術の一つとして、ライフサイエンスおよび農畜産加工技術を選定している。木質や麦わらなどのセルロース系原料によるバイオ燃料の開発技術は発展途上にある。
	産業技術力	○	↑	フランスは、持続可能な開発を目指しEUの共通農業政策の再検討に着手した。イギリスでは、食料の一部にエコマークの一種である二酸化炭素量フットプリントの数値を使用し始めた。EU加盟国が拡大するに伴いバイオ燃料の振興が期待されており、技術力が向上している。国によりバイオディーゼルとバイオエタノールの消費傾向が異なる。

中国	研究水準	○	→	水田の灌漑法および二酸化炭素濃度上昇が生産量に及ぼす影響を中心に、日本と情報交換している。各地で地球温暖化防止を目的とした環境保全の調査および研究が進んでいるが、政策の基準となる指標が明確に定まっていないため、合理的な対策の提案が遅れている。
	技術開発水準	△	↑	日本の水準より低い。従来、地球温暖化と農業生産との関わりについて定量的な分析が難しかったが、京都議定書以来、CDM 対応を開始した。2006年には78件のCDM事業が承認されている。最近では、廃棄物からのメタンガス排出抑制に関するCDM事業調査が行われている。
	産業技術力	△	↑	十分に実施されていない。2008年に初めて農薬工業水汚染排出基準が実施された。効果が高く環境にやさしい農薬の開発が求められているが、現状では困難な点が多い。
韓国	研究水準	○	↑	水田の灌漑法および二酸化炭素濃度上昇が生産量に及ぼす影響を中心に、日本と情報交換している。果樹と野菜について、病害虫の発生抑制の研究が進んでいる。また、気候変動による地域別・品種別の作物生育期間および生産性変化予測の研究の水準が高まっている。
	技術開発水準	○	↑	日本の水準に近い。特に、農耕地から排出されるメタンと亜酸化窒素を減らす技術、メタン発生量が少なく大量生産が可能な家畜飼料の開発、森林形成と都心の森づくりを通じた森林吸収源の拡充に力を入れている。
	産業技術力	△	→	日本の水準に近い。日本と韓国は相互の産業技術の発展を目的とした包括的な研究覚書を交わしているが、農業に関する内容は盛り込まれていないのが現状である。
全体コメント：				

(参考情報)

- [1] <http://unfccc.int/resource/docs/natc/korncl.pdf>
- [2] <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/foreigninfo/index.html>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

2-2-3. 気候変動緩和技術／気候変動予測・評価技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	海洋研究開発機構、東大・名大・九大、気象研・国環研・電中研等が文科省・21世紀気候変動予測革新プログラム（革新プログラム）等で温暖化予測研究を推進中。2030年までの近未来予測では、高解像度結合モデル（大気；空間解像度50km 海洋20km）、台風等の極端現象予測では超高解像度大気モデル（20～5km）が開発されており、世界を一歩リードしている。しかし、炭素循環を組み込んだ複雑な地球システムモデル、氷床・氷河モデル開発等では、欧米に比べて研究者の層が薄い。
	技術開発水準	◎	↑	世界最高速を達成した地球シミュレータ（2002年）の後継機（京コンピュータ）として、理化学研を主体として、2012年の運用時に理論演算性能10ペタフロップスの達成が予定されている。しかし、2009年にはNEC、日立の撤退によりスカラ型に設計が変更され、日本の独自のベクトル・スカラ複合機としての特色が薄まってしまった。なお、文科省では、大学等の共同利用を図るため、「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）」計画を進めているが、その有効活用が今後の課題。
	産業技術力	○	→	スパコンTop500（2010年11月）のベスト10では、米国（4機種）、中国（2機種）に対し、東工大のTSUBAME（NEC/HP）が第4位を占めるに過ぎない。2012年運用予定の京スーパーコンピュータは、2011年稼働予定の米国Blue Watersに次ぐ第2位と予想されているが、膨大な開発費（約1200億円）は行政刷新会議の「事業仕分け」でも話題になった。今後の方向性としては、ハードウェア偏重ではなく、ソフトウェア開発等との調和のとれた開発の必要性が指摘されている。
米国	研究水準	◎	↑	IPCC第4次評価書AR4（2007年）には、大気海洋結合モデル（AOGCM）として世界全体で23例が報告されたが、米国はそのうち7例を占め、第1位である。ちなみに、日本は3例で第2位。また、NSF予算は、NCAR（National Center for Atmospheric Research）に集中的に投資されており、研究員数や開発能力のレベルは高く、世界中の誰でも使えるコミュニティモデルを提供していることが特徴である。
	技術開発水準	◎	↑	大気海洋結合モデルの結果を相互比較するプロジェクト（CMIP5）からの膨大なデータは、米国研究機関（PCMDI、NCAR）をはじめとする幾つかの国の機関のデータサーバをネットワーク化したEarth System Grid（ESG）から世界の研究コミュニティに向けて公開される体制が構築されている。温暖化予測だけでなく、データ活用のためのネットワーク技術も高い水準にある。なお、日本も文科省のデータ統合・解析システム（DIAS）がこれに参加している。
	産業技術力	◎	↑	Cray社のスーパーコンピュータは、Top500のベスト10（2010年11月）で4機種（2位、5位、7位、10位）を占め、IBMも7位を占めるなど、スカラ計算機開発において依然として高い競争力を有している。また、データを高速の通信グリッド上で共有するシステムであるESGやクラウドコンピューティングのデータセンター等の国内整備も進んでおり、データの共有技術やデータ活用における産業技術力は強い。軍用・安全保障面でのニーズが高いことも産業技術力の向上に有利である。
欧州	研究水準	○	→	モデル作りでは、英国Hadley CenterやドイツMax Plank Institute等高い能力を保有する。が、スパコンメーカーが少なく、高速計算機資源不足が弱点である。Hadley Center等では地球シミュレータセンターとの共同研究によりESGを使うなどの工夫をしている。
	技術開発水準	◎	↑	ECMWF（European Center for Medium-Range Weather Forecasts）を中心とする中期気象予測モデル（10日程度）が世界最高の性能を誇る。また、各国の気象庁が協力を容易にするためのソフトウェアの標準化に便利なミドルウェアなどが開発され、計算科学技術にも強いところがある。
	産業技術力	◎	→	TOP500（2010年11月）のトップ10には、フランス（フランスメーカー Bull:6位）、ドイツ（IBM:9位）など入るようになった。上位500位の国別では、米国が275台で1位、中国が41台で2位、日本・フランス・ドイツが各26台で3位となっている。の国別計算能力の調査（2008年11月）では、英国、フランス、ドイツはいずれも日本を上回っている。

中国	研究水準	○	↑	IPCCのAR4(2007)で引用された23例の大気海洋結合モデルのうち、中国は2例を占め、米国(7例)、日本(3例)に次いで第3位であり、モデル数では英国、フランス、カナダと同数(2)である。また、中国の研究者がIPCC AR5(2012年)WG1の共同議長を務め、国際会議を度々開催するなど温暖化研究への関心も高い。また、広い国土を持つことから、温暖化影響(豪雨・旱魃)も深刻になる可能性があり、影響評価や適応への研究ニーズも高まる可能性があり、研究水準も急速に向上してくるであろう。
	技術開発水準	◎	↑	スーパーコンピュータTop500(2010年11月)では、中国の国防科学技術大学(NUDT)に設置された「天河一号A」(Tianhe-1A)が世界第1位となるとともに、ベスト10のうち、第1位、第4位を占めた。最近、目覚まし経済成長と連動して、中国の計算機メーカーの台頭が著しい。
	産業技術力	○	↑	国別計算能力の調査(フランスの研究機関の集計、2008年11月)では、日本(5位)について6位となるなど、産業分野(軍需を含む)での計算機の普及も急速に進んでいる。それに伴い産業技術力も急速に向上するであろう。
韓国	研究水準	△	→	韓国気象庁や韓国内の国際機関APCC(APEC Climate Center)、大学等では、気候モデル(AOGCM)を独自開発する試みもある。しかし、世界水準では、モデル自体が高度化しているため、米国で開発され自由に利用可能なモデル(NCARのコミュニティモデル等)をユーザーとして利用する傾向が強まるのではなかろうか。
	技術開発水準	△	→	国別計算能力の調査(フランスの研究機関の集計、2008年11月)においては、マレーシア、メキシコに次いで世界31位と意外に低い位置にあった。しかし、最新の資料であるTOP500(2010年11月)によると、2009年にKISTI(Korea Institute of Science and Technology Information)(Sun、24位)、2010年には韓国気象庁(Cray、20位)が相次いで導入されるなど、最近のスパコン導入は積極的である。
	産業技術力	△	→	KISTIを中心にスパコン、高速通信ネットワーク技術の研究体制が整備されているが、韓国独自のスパコン産業(ベンダー)は育っていない。しかし、計算科学面の研究者の厚みはある。
<p>全体コメント：</p> <p>日本では、2002年に運用開始された世界最高速のベクトル計算機である地球シミュレータを活用し、文科省の共生プロジェクト(2002年～2006年)では世界レベルの温暖化研究を実施した。しかし、その後、世界トップクラスの後継機開発に時間がかかり、海洋研究開発機構の地球シミュレータIIの計算能力(TOP500の54位)は世界的な主流であるスカラ機に遅れをとり始めた。地球温暖化の予測・評価技術は、観測データ(検証)・モデル開発・計算機能力・データ活用等の総合力が必要となる分野である。その意味で、2012年に京コンピュータ(2012年段階で世界第2位と予想)が運用された段階において、日本の温暖化予測・評価技術の新展開が注目される。</p>				

(参考情報)

- [1] Wikipedia: 京スーパーコンピュータ
- [2] TOP500 HP (<http://www.top500.org/>)
- [3] IPCC 第4次評価報告書AR4(2007) Working Group I Report “The Physical Science Basis”, Chapter 8, Climate Models and Their Evaluation, David A. Randall et al., Table 8.1, 597p.
- [4] Earth System Grid (<http://earthsystemgrid.org/>)

(註1) フェーズ[研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

2-2-4. 地球環境保全技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	モニタリング研究および将来予測などモデル解析研究は、いずれの項目とも世界のトップ水準にある。酸性雨に関しては北東アジア全体における二酸化イオウ、窒素酸化物、酸化性物質の発生量分布のシナリオ解析研究のレベルが高い。黄砂に関しては気象学的短期予報研究および大気汚染物質や微生物との混合・付着・輸送による健康影響に関する研究のレベルが高く先駆的である。砂漠化に関しては地球規模での気候変動と関連しての将来予測、黄砂の発生源対策を含む緑化や生態系回復に関する研究も世界水準。
	技術開発水準	○	→	酸性雨や黄砂の多点観測網では、北東アジア地域をリードするも、精度管理手法の確立がまだ整備途上。黄砂や粒子状大気汚染物質の空間分布観測を対象とするライダー観測技術では世界トップ水準にある。しかし、ナノ粒子計測では世界水準にあるが欧米よりも遅れ気味。対策・防止技術については、酸性雨主要原因物質の国内発生量が抑制されてきたことからこの分野における技術開発の関心は低下している。砂漠化対策についても同様である。
	産業技術力	◎	↑	酸性雨および主要原因物質、黄砂など鉱物ダストによる劣化対策技術（耐久性技術）は従来から世界トップランクである。送電線、自動車、建築外壁の塗装技術や素材開発においてナノテクノロジー分野における応用力が高い。発生源対策技術では、酸性雨原因物質 NOx の主要発生源である自動車について燃費向上や電気自動車の開発技術力が高い。固定発生源における脱硫・脱硝技術、省エネ関連技術、太陽光発電技術は現在も世界的に見て高い水準を維持している。黄砂対策には、空気清浄機の性能向上が寄与。
米国	研究水準	◎	→	北東アジアからの長距離輸送を対象とした研究が多い。黄砂をはじめとする土壌系ダストによる雲核作用を対象とした気象物理的研究、衛星リモートセンシングによる3次元の広域観測で世界をリードしている。IPCC レポートにあるように、地球規模での温暖化予測研究の中で、酸性雨原因物質である SO <sub>2</sub> や NOx 排出量変化、砂漠化の拡大現象に触れている程度である。酸性雨、ダストよりも、ナノサイズの都市大気粒子の形成過程に関する研究、特に二次生成有機エアロゾル (SOA) の研究が世界水準。
	技術開発水準	◎	→	黄砂等ダストの長距離輸送を対象としたモデリング、衛星搭載レーザーライダーによる3次元の観測技術開発のレベルが高い。PM2.5 観測やオゾン観測において米国仕様基準が実質的に世界基準となっている現状があるなど、法規制項目を対象とする装置開発において長けている。不安定なナノ粒子を対象とするフィールド観測装置（例えば TOF 型質量分析計）の開発が世界をリード。酸性雨および原因物質の低減化技術（省エネ技術も含む）、砂漠化対策などの防止技術、注目すべきものは見あたらない。
	産業技術力	○	→	米国内に酸性雨、黄砂、砂漠化問題の原因が深刻化していることがないため、これらを対象とした防止技術や耐久性技術開発に特筆すべきものはない。観測装置では、ナノサイズ粒子をオンサイトで測定する装置が製品化されているほか、ほとんどが世界トップレベルにある。省エネ関連産業の技術開発は遅れていると判断される。
欧州	研究水準	◎	↑	観測やモデルの両方において、酸性雨よりも大気中微小粒子 (PM) 問題の研究が豊富。PM (特にススや SOA を対象) の発生源特定や移流解明に関する連携研究が EC 域内で進行し、世界をリードするレベルにある。黄砂と同じ鉱物ダストであるサハラダストの飛来が地中海沿岸諸国で観測され、その長距離輸送と環境影響に関する研究は世界トップ水準。砂漠化に関する問題は、地球規模での温暖化予測の排出量予測や影響評価の中で論じられており直接的な研究は少ない。
	技術開発水準	◎	↑	酸性雨研究を最初に取り組んだ欧州であるが、酸性雨そのものに対する関心は低い。観測技術の関心は SOA やススなど微小粒子およびその原因物質の測定にあり、装置開発レベルが世界トップランク。酸性雨原因物質の低減化に関連するエネルギー構造の転換に注目され、風力発電の技術開発については世界トップランクにある。砂漠化対策技術については注目すべきものは見あたらない。
	産業技術力	○	→	風力発電技術をはじめとする省エネルギー産業は世界トップ水準にある。ナノサイズ粒子分析や成分分析を対象した測定装置に多数優れたものがあり計測産業の技術力が強い。酸性雨や PM を対象とする常時監視装置は一般水準である。

中国	研究水準	○	↑	酸性雨、黄砂、砂漠化のいずれの項目とも、中国国内の主要環境問題である。いずれの項目とも、トピック的研究やシミュレーション研究、政策研究は世界レベル近づいているが、長期継続を必要とするモニタリング研究、健康影響に関する実証研究のレベルが低い。
	技術開発水準	○	↑	砂漠化問題に対する緑化技術や流砂固定技術は非常に優れている。また、大気汚染成分や黄砂の空間分布や予測モデルの開発技術は世界水準に達している。しかし、観測技術に関する独自装置開発は、PM、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> など法規制項目といえども世界水準から見るとかなりレベルが低い。
	産業技術力	△	↑	外国産業をベースとした応用技術力は高い。しかし、計測産業技術力は低い。そのため、酸性雨および原因物質、黄砂を含むPMの計測装置は外国製品の方が優れていることから、主要監視局ではほとんど欧米メーカーの装置システムが導入されている。
韓国	研究水準	○	↑	酸性雨、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、PMの常時監視だけでなく微量成分分析を対象とする研究は世界水準にあり、日本とそれほど差がない研究成果をあげている。しかし、世界レベルでの先駆的研究は見あたらない。黄砂に関する関心が高く、PM10濃度基準による黄砂警報、黄砂注意報が定まっているのは韓国だけである。予報精度の向上に関する研究が世界でもっとも盛んに行われている。砂漠化に関する関心は低く論文などの成果は見あたらない。
	技術開発水準	◎	→	計測に関する技術開発は低い。エネルギー構造が日本に似ており、酸性雨原因物質のうちNO <sub>x</sub> （主に移動発生源由来）を対象とし、自動車の排気ガス成分の低減化対策技術が世界水準にある。黄砂警報が発令された場合、工場の操業停止措置も実施されるため、精密機械産業における黄砂侵入防止技術、予測対策システムが進んでいる。
	産業技術力	○	→	計測産業の技術力は低く、研究に利用される装置はほとんど欧米製である。自動車産業など輸出関連機械産業の成長に伴い、酸性雨やPM（黄砂を含む）による劣化対策技術力の向上が見られる。
<p>全体コメント：</p> <p>酸性雨に関する挙動解明的研究は、酸性雨そのものの研究、影響（評価）研究は、世界的に少なくなってきた。湖沼の生物多様性の劣化や表面土壌の酸性化などの直接的影響が指摘されているが関心が広がらない。むしろ、酸性雨の原因となるSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HClや有機酸の大気中の挙動や発生源に関する研究が少しずつ増えている。そのような対象成分は、ナノサイズのカス粒子化現象と併せて研究されることが多く、さらに二次生成有機エアロゾル（SOA）に関する研究とも関連することが理由である。酸性雨対策研究は塗装技術や材料開発で進捗しているのだが、前述の人為起源系排出成分を対象とした低減化技術、クリーンエネルギー開発も広義の意味では酸性雨対策技術に入る。</p> <p>黄砂および砂漠化に関しては、温暖化影響の結果が反映する現象として扱われている。そのような視点とは別に、中国や韓国では、日本が台風に寄せる関心と同じような関心を黄砂に寄せている。両国ではその飛来による直接的被害を最小限に抑えるための予報研究や経済損失の抑制に寄与する政策的研究がある、そのほか、韓国および日本では健康影響に関する関心も高く疫学的研究や病理学的研究も行われている。例えば、黄砂が前述の大気汚染成分を表面捕捉する量の多少や付着微生物の種類が環境影響や健康影響の強弱に関係すると指摘されている。経済的被害については、飛行機の欠航など輸送手段、農産物損傷、自動ドアなど日常の電気制御機能の故障率の上昇が報道されている。黄砂対策技術は、発生源対策が砂漠化対策と一致する部分があり、飛来時には花粉や室内ダストを対象とした空気清浄化技術が適用できる。</p> <p>砂漠化対策は、流動砂丘の固定化技術と緑化技術、植生回復技術が開発改良されている。中国や日本がその先頭を走っていると見て間違いはない。</p> <p>酸性雨、黄砂（PMを含む）、砂漠化は、多国間にまたがる環境問題である。それらの広域モニタリングは重要な基礎研究であり、精度管理が保証された多点観測網データ、多年観測データが将来予測や影響評価において必須項目であるという認識が世界的に高まっている。多国間共同研究や広域データ共有において、生データのトレーサビリティ確保や不確かさの大きさ程度の整合性（統一性）が問題となっており、国際技術力の今後の方向性にも影響を与えらるものと考えられる。</p>				

(註1) フェーズ[研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

2-2-5. 大気環境保全技術 ※自動車等による汚染対策に限る

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	大学や国の研究機関等では、エンジンの燃焼や新燃料の研究などの研究レベルは高い。クリーンディーゼルに関する官民共同研究などが実施されていることに加えて、次世代車開発に対する支援も検討されている。[1][2][3]
	技術開発水準	○～◎	→	ガソリン乗用車の低公害車技術開発では、世界の先端にいる。特に、ハイブリッドや電気自動車などの駆動系の電動化技術では、世界をリードしている。燃費向上を目的にしたエンジンのダウンサイジング化では、欧米に比べて出遅れ感がある。[4]
	産業技術力	◎	→	世界に先駆けハイブリッド車や電気自動車を市場投入するなど、電気駆動車の分野では先行している。また、先進的な生産管理や部品供給システムの効率化により、世界の見本となる生産システムを構築、その品質は、高いレベルを維持している。
米国	研究水準	○～◎	→	大学、研究機関におけるエンジンの燃焼研究等、特に基礎研究分野における研究水準は依然として高い。将来自動車については、政府主導で、先進エンジンやバッテリー、電動パワートレイン等に関する官民共同プロジェクトが実施されている。[5]
	技術開発水準	○～◎	↑	燃費向上技術では、やや立ち後れたところがあったが、政府の支援もあり、最近では、量産を前提にしたハイブリッド車の開発など、世界のレベルに近づきつつある。また、ガソリン直噴、ターボ過給によるダウンサイジング化も進められている。[4]
	産業技術力	○～◎	→	世界的な低燃費化の要請に対し、日欧に比べて出遅れ感があったが、最近では、燃費の良い小型車やガソリン直噴、ターボ過給エンジンを搭載した車両を数多く市場に投入し、競争力は向上している。ベンチャー企業から高性能電気自動車が市場投入されるなど、新しい動きも注目される。
欧州	研究水準	○～◎	→	産官学の連携が図られており、基礎研究分野の技術水準は高い。特に、燃費低減を目的にしたエンジンのダウンサイジング化技術については、世界をリードしている。また、車両の電動化についても、EUやドイツで大規模なプログラムが開始されようとしている。[6][7]
	技術開発水準	◎	→	ディーゼル車の技術開発や燃費向上を目的とした、直噴、過給化によるダウンサイジング技術では世界をリード。[3] 最近では、厳しい燃費規制に対応するため駆動系の電動化技術の開発にも力を入れている。
	産業技術力	○～◎	→	高度な排出ガス浄化技術を搭載したディーゼル車やハイブリッド車を市場投入するなど、規制の厳しい米国や日本等を市場に持つ企業の技術レベルは高い。しかし、欧州内すべての企業が高水準にあるわけではない。
中国	研究水準	△～○	↑	政府の環境、エネルギー技術に対する認識は高く、ハイブリッド車や電気自動車等の次世代車に対する多くの政府が支援するプロジェクトが実行または検討されている。[8]
	技術開発水準	△～○	↑	日米欧や韓国と比べて、環境、安全、耐久性等に課題があり。同水準とは言えないが、世界最大の市場を背景に着実に技術開発力は向上している。
	産業技術力	△～○	↑	民族系メーカーの産業技術力は日米欧韓に比べ遅れていたが、海外メーカーとの技術提携に加え、中国企業による海外メーカーの買収などもあり、技術力の向上は著しい。最近、中国で開催されたモーターショーでは、グローバルメーカーを驚かせるようなグレードアップした車両が展示されている。[8]
韓国	研究水準	○	↑	政府系の研究機関においては、エンジンの燃焼やダウンサイジング等に加えて、ハイブリッドシステムなど、次世代パワートレインに関する様々な基礎研究が実施されている。また、次世代車両に必須なリチウム電池等の研究においても政府主導のプロジェクトが実施され、研究レベルは向上している。
	技術開発水準	○	→	低燃費技術の開発では、出遅れ感があるが、ハイブリッド車や直噴、ターボ過給のダウンサイジング化したガソリンエンジンの開発などが行われ、市場に投入されつつある。[4] 現行車の開発力は世界最高水準にあると言われている。[9]
	産業技術力	○～◎	→	生産される自動車の品質は高く、欧米市場においても高い評価を得ており、米国市場では品質調査で、日本車を抑えて1位になる車両も出ている。コスト面では、日米欧より優位にある。[9]

## 全体コメント：

技術的には、エンジン単体の改良では欧州が、電動化技術では日本が世界をリードしている。米国も最近、日欧に近づきつつある。韓国は、日米欧と遜色のない品質の車両を市場に提供するまでになっている。中国は、技術的には、日米欧韓に劣るが、世界最大の市場を背景に、急速に技術力を向上させている。ハイブリッドや電気自動車等の次世代車の研究開発においては、日本が先行しているが、各国とも政府の支援を受けて研究開発プロジェクトを実施しており、その動向に注目していく必要がある。

## (参考情報)

- [1] <http://www.nts-el.go.jp/efv/index.html>
- [2] <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p04013.html>
- [3] 次世代自動車戦略 2010、経済産業省 次世代自動車戦略研究会、2010年4月
- [4] 自動車技術 特集：年鑑、自動車技術、Vol.64、No.8、2010
- [5] <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/index.html>
- [6] [http://ec.europa.eu/research/transport/info/green\\_cars\\_initiative\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/transport/info/green_cars_initiative_en.html)
- [7] <http://www.unendlich-viel-energie.de/en/transport/electro-mobility.html>
- [8] 「日立総研」2010年08月 (vol.5-2)号.
- [9] JAMAGINE、2010年8月号、<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/201008/index.html>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ /：上昇傾向、→：現状維持、\：下降傾向 ]

2-2-6. 水環境保全技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	地球規模課題対応国際科学技術協力事業のなかで、「気候変動に対する水分野の適応策立案・実施支援システムの構築」や「熱帯地域に適した水再利用技術の研究開発」などが進展している。また、戦略的創造推進事業「研究領域名：持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」が進められており、膜処理技術などの実社会への適用を考慮した科学的な研究が展開されている。地球の水循環変動や降水観測のために JAXA が NASA と共同して GPM 計画を推進している。すべての面において、国際的にも高いレベルの研究成果が期待される。水資源や水環境管理のために流域水物質循環モデルの開発も進んでおり、閉鎖性水域の水質モデルと連携されることでさらなる研究水準が上がることになる。また、国際的な連携のもと、GEOSS（全球地球観測システム）10年実施計画が進行中であり、日本は重要な貢献している。また、災害関連であるが X バンド MP レーダの試験運用がスタートしていることから、災害以外にも降水予測が可能となれば、ダム管理にも活用できるものと思われる。
	技術開発水準	◎	→	JAXA の地球観測衛星、通信・測位衛星を活用を目指して、宇宙利用 気象・水観測等チーム企業群が、水循環や流域水資源管理の手法検討を検討している。さらに、NEDO 委託事業の省水型・環境調和型水循環プロジェクトや最先端研究開発支援プログラム（Mega-ton Water System）が企業を中心として大学などと連携して現在展開中であり、技術開発力は国際的にトップに位置しているものと判断される。下水道分野では、MBR 導入が進み、再生水利用や省エネ技術とあいまって、技術力がアップしている。国土交通省の A-JUMP 事業も後押しをしている。さらには、水道分野でも低炭素社会へ向けた技術開発や技術導入が様々な場面でなされ始めている。
	産業技術力	◎	↗	水処理の膜材料も国際的なシェアも高く、海外での市場開発に貢献している。アジアや中東への水処理や海水淡水化、下水処理再生水利用の事業に参入している。特に、海外水循環システム協議会（GWRA）の設置などのより、国際水ビジネスへの参入を後押ししている。さらには、GCUS などの組織も下水道分野の国際化に貢献している。これらの組織的な支援を得て、企業の有する水処理技術と多様な用水との最適な配置を前提とした、技術開発や水供給システムが強みを増してきている。また、水道分野では東京水道の漏水管理技術などは特筆すべき技術である。
米国	研究水準	○	↘	GPM 計画では NASA が関わっていること、GEOSS（全球地球観測システム）10年実施計画は国際連携で実施されていること、この分野では高い研究水準と判断する。しかしながら、大学や国立研究機関での用排水処理技術関連の研究展開はさほど見られない。Yale 大学の正浸透膜技術開発があるが、他には公的な研究費がこの分野に配分されていないためか目立った研究展開がなされていないものと思われる。
	技術開発水準	◎	→	水処理技術関連では、GE などの技術開発力は高い水準はあると判断する。しかし、特段の変化があるとは思われない。
	産業技術力	◎	→	水ビジネス面では、ダウケミカルなど膜メーカーもあり、GE などの国際展開がことなどから高い水準はあると判断する。しかしながら、水関連企業ではなく、水道事業者の技術力は、日本が全般的に高いと思われる。また、IBM など IT 活用の水資源管理を関連付けビジネス展開がいち早く進められている。
欧州	研究水準	◎	→	GEOSS 10年実施計画は国際連携で実施されているが、この分野で目立った欧州特有の成果でていないものと思われる。水道分野ではオランダ KIWA やスイス EAWAG などの研究レベルは高いと思われる。また、EU という枠組みで国際的な大学連携研究はなされているが、水処理技術分野では特段の進展があるとは思われない。なお、日本に比べて高い研究水準はあると判断する。
	技術開発水準	◎	→	フランスのベオリア、スエズ、英国のテムズウォーター、ドイツのシーメンスなど水の分野の国際企業があり、技術開発においても国際競争力のある状況である。ドイツの MBR 技術導入が積極的に進められていること、スペインでは海水淡水化事業の推進など、技術開発力も同時に備えていると判断する。実務レベルでの技術が確立されてきているが、日本と比較して特段技術力としては高いとは思われない。
	産業技術力	◎	→	水ビジネスや民間水事業運営面では高い実力を保持している。国際的な大企業による、中東やアジア途上国向けの水道や下水道ビジネス展開において対応しているように判断する。なお、水質モニタリング、水質監視に関しては日本の技術力の方が、相対的に高いと思われる。

中国	研究水準	○	↑	流域管理や水資源管理に関して、欧米や日本より高い研究が進展しているとは言えない。しかし、下水処理や膜処理などに関する研究費が充実していることから、主要な大学で関連研究が実施されている。また、海外の企業と連携した形での研究や実際の処理場での研究などが実施されてきており、レベルが上昇している。
	技術開発水準	△	↑	海外の技術導入が多いものの、海外企業と合弁の企業も増えてきており、次第に実力をつけつつある状況と判断するが、本質的には独自技術開発水準は高いとは思われない。
	産業技術力	△	↑	上記のように、水分野ではまだ海外技術や海外企業依存の状況であると思われる。また、膜材料分野でも技術力があるとは思われない。経済発展と相まって、中国独自の産業技術力が上昇してくるものと思われる。
韓国	研究水準	◎	→	水処理関連では、国家レベルの膜処理技術の大型プロジェクトとして SEAHERO（海水淡水化 RO 技術）や ECO-STAR（浄水膜技術）が進められて、世界 No1 のための研究国策として研究と実務を連携した活性化が進められている。大学などの研究開発ではないが、国内主要 4 河川における流域管理が進められている点は評価できる。
	技術開発水準	○	↑	上記のように、研究プロジェクトと連携して、技術開発力を高めてきており、K-water（韓国水資源公社）を母体に水道事業以外でも下水の再生利用、民間の用水供給施設管理などを進めている。
	産業技術力	◎	→	用排水処理分野では、膜材料技術はないものの産業としては、海水淡水化プラント国際ビジネスでは斗山重工（Doosan Heavy Industries & Construction）が活躍中である。国レベルで水処理技術や膜処理技術の競争力を高める努力が継続されており、実績をベースに海外進出に積極的である。

全体コメント：

水環境保全技術の範囲が広すぎるために、それをさらに大局的に整理することは非常に困難であるが、水資源、用排水システム、水環境管理の観点は相互に関わっていることから、地球温暖化を想定した水資源問題や水利用、さらには水環境への影響を評価して、それに対応する研究活動や技術開発が進展している。

水循環や水資源管理を地球レベルでの気象観測や衛星観測システムを活用する動きが活発化しており、降水予測が可能となれば、防災だけでなく水資源管理としてダム管理技術への活用、さらには水道原水水質予測ができれば、効率的な浄水技術の研究や水利用システム技術開発へ進展する可能性がある。

流域水管理や水資源管理、水環境管理に、流域水物質循環モデルを活用する方向性が強く打ち出されていることから、地球の水循環変動や降水観測とつながることで、高度な水資源管理技術への進展が期待される。また、流域水物質循環モデルと湖沼や内湾の水質（水環境・生態系）モデルがリンクされることで、閉鎖性水域の水環境保全に役立つ研究展開も進展するものと思われる。その際には、環境モニタリング研究の充実も求められる。

用排水処理技術に関しては、浄水では膜処理、高度処理（オゾン、生物活性炭など）の実用化も進み、省エネルギー面が前面に出てくるものと思われる。一方で、海外への水ビジネス展開が今後さらに進められる必要があり、国際的にも膜ろ過材料分野では日本は最先端のレベルにあることを最大限に活用して、技術導入先のニーズに応じた技術開発力が求められている。また、水道事業者が独自に有している漏水検知、水質管理技術、環境負荷低減技術は、国際的にも高い技術力と現場力があり、すでに動き出しているが、商社+水企業と事業者や第三センターとが連携して、アジアや中東における水ビジネス展開を進めることが国際貢献になるものと考えられる。

(参考情報)

- [1] 国土交通省 A-JUAMP : [http://www.mlit.go.jp/report/press/city13\\_hh\\_000069.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/city13_hh_000069.html)
- [2] GEOS : [http://www.earthobservations.org/geoss\\_wa.shtml](http://www.earthobservations.org/geoss_wa.shtml)
- [3] IBM : <http://www-06.ibm.com/innovation/jp/smarterplanet/water-management/index2.shtml>
- [4] 全球降水観測 (GPM) 計画 : [http://www.jaxa.jp/projects/sat/gpm/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/gpm/index_j.html)
- [5] 宇宙利用 気象・水観測等チーム : <http://www.waterforum.jp/twj/team/doc/uchuriyou.pdf>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

- [6] SPR 工法 : <http://www.spr.gr.jp/>
- [7] 各国の水ビジネスに関する支援状況 (NEDO 調査中間報告) <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100115c05j.pdf>
- [8] 戦略的創造推進事業 : <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/ryoiki/bunyah21-4.html>
- [9] 地球規模課題対応国際科学技術協力事業 [http://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2001\\_h21.pdf](http://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2001_h21.pdf) [http://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2005\\_h21.pdf](http://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2005_h21.pdf)
- [10] 最先端研究開発支援プログラム Mega-ton Water System <http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/senteikekka.pdf> [http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/satei/jsps\\_report6.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/satei/jsps_report6.pdf)
- [11] 省水型・環境調和型水循環プロジェクト <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p09011.html>
- [12] 我が国水ビジネス・水関連技術の国際展開に向けてー「水資源政策研究会」取りまとめー [http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu\\_kakushin/innovation\\_policy/pdf/mizuhoukokusyo.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/innovation_policy/pdf/mizuhoukokusyo.pdf)
- [13] 水分野におけるこれからの科学技術研究 開発推進の方向について中間とりまとめ <http://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/kikoutf/9kai/siryo2.pdf>
- [14] 都市・流域圏管理モデルの開発 [http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/pub/h17eco\\_report/3-2\\_1.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/pub/h17eco_report/3-2_1.pdf) [http://www.errp.jp/documents/20090311ERRP\\_4th.pdf](http://www.errp.jp/documents/20090311ERRP_4th.pdf) <http://www.nilim.go.jp/lab/dbg/pdf/0124model-2.pdf>
- [15] 中国と韓国における MBR : 水環境学会誌 32 (10) , 529-532, 2009-10-10



2-2-7. 土壌環境保全技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	欧米に互する研究レベルを維持。個々の技術の効率化や地域社会経済に即した技術の馴化・深化には特筆すべき能力を持つが、リスクベースの土壌汚染評価や土地利用管理といったソフト開発が今後に必要な。
	技術開発水準	◎	↑	2009年に土壌汚染対策法（2010年4月施行）が改正されたことで、調査手法や低コスト低負荷な修復技術開発がより強化されよう。特に物理・化学・生物学的な原位置修復技術の実用化が待たれる。また近年は建設工事現場で遭遇する自然由来の土壌汚染に注目が集まっており、この汚染に対する対策技術や浄化技術の開発および実用化への取り組みが積極的になりつつある。
	産業技術力	◎	→	世界的な動向にあるリスク評価手法など、ソフト面での技術開発が進み、一部に日本固有の状況に対応可能な手法が提案されている。また一部の汚染地では、汚染対策後の健康リスクを検討するため、生涯暴露などにリスク評価手法が試行的に用いられ始めている。
米国	研究水準	◎	↑	高いレベルを維持し、新しい技術開発にも積極的に取り組む。環境ビジネスとして成熟している。
	技術開発水準	◎	↑	法制度やファンド創成など、産官学のバランスのとれた技術開発が行われている。また最近の傾向として、土壌汚染負荷低減とその他の環境負荷抑制とのバランスを取るグリーンレメディエーションという考え方に基づいた技術開発が積極的になりつつある。
	産業技術力	◎	→	スーパーファンドから出発した土壌地下水汚染修復は、ブラウンフィールドの再開、エネルギー開発に伴う環境修復や東西冷戦終結による劣化した軍事基地修復にまで発展している。ソフト、ハードの両面で、世界のフロントランナーであり続けている。
欧州	研究水準	◎	↑	欧州連合を活用して一国では難しい革新的技術や評価システムの開発を目指しており、高い研究レベルを維持している。
	技術開発水準	◎	↑	新たな技術開発も行っているが、汚染修復として土壌の掘削除去が増加している。自然の持つ浄化能を活用した地下水モニタリングなど、健康影響を低減させる管理システムの開発が進む。
	産業技術力	◎	→	欧州連合の総合力は米国に比肩すると考えられる。汚染メカニズムの解明など科学的視点に立った技術開発力はもちろん、ISOに見るように世界標準の設定など国際戦略に長けている。欧州内の一国の市場規模は米国や日本より小さいが、欧州連合全体では米国をしのぐほどになるので、その潜在力は非常に大きい。
中国	研究水準	△	↑	土壌・地下水汚染が顕在化し、適切な対策の必要性は十分に認識しているが、現在の対象は大気や水環境が中心である。ただ欧米諸国や日本などから、革新的技術の多くは情報として獲得している。
	技術開発水準	△	↑	土壌地下水汚染の人の健康に及ぼす影響について、リスク評価の観点から日本企業と共同研究を行った実績はある。さらに調査手法や数値解析手法に加えて、酸化還元、透過性反応バリア、自然減衰など、独自に開発できるかどうかは別にして、対策技術全般の情報は有している。
	産業技術力	△	↑	多くの先端的技術が移転されているが、玉石混淆の状態であろう。効率的な対策を実施するには的確なアドバイスが必要であろうが、研究開発能力は有している。
韓国	研究水準	△	↑	土壌環境を所掌するISO/TC 190のメンバーであり、韓国でISO総会を開催するなど、十分な情報を保有している。かなりの研究レベルを維持していると予想される。
	技術開発水準	△	↑	水資源として地下水の価値は認識され、地下水質の保全に力を注いでいる。全国の地下水質モニタリングシステムが完成し、2009年度には2499地点から採取した4847試料の内296試料（6.1%）で有害物質による汚染を検出している。
	産業技術力	△	↑	発見された土壌地下水汚染に対してどのような対策を実施しているのか、不明である。ただ他の産業技術や開発力からみて、土壌地下水汚染の修復技術開発力は十分に有すると考えられる。

## 全体コメント：

産官学すべての側面において、米国がフロントランナーで欧州と日本が続いている。これらの諸国では確かに研究や技術開発力において一日の長はあるが、こうした知的資産はスクリーニングを経て中国・韓国に技術移転される。2010年11月に東京で開催された「第10回日中韓三カ国合同環境研修」資料には、如実に韓国・中国の現状を見ることができる。なかでも中国は、数値解析から反応性バリアなど革新的技術が紹介されている。これら革新的技術をどのように咀嚼し、自国の土壌地下水汚染に用いられているかは不明であるが、調査から対策までのほぼすべての情報を有していると考えられる。ただ情報として獲得していても、やはりどのような社会的背景があって技術開発が進められたのか、技術開発の深化する経時的順序は重要であろう。単に結果だけ移入しても対策は困難であり、効率的な調査や対策を実施するためのソフト面でのアドバイスやそれぞれの国固有の社会経済状態を反映した技術は独自に開発する必要があるであろう。

## (参考情報)

- [1] National Environmental Research and Training Institute Japan (2010) : 10th Japan/China/Korea tripartite Joint Environmental Training – Orientation - .November 2010.

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

2-2-8. 化学物質の環境リスク評価・管理技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	情報基盤の整備、QSAR、曝露評価モデルの研究が進みつつあるが、欧米のレベルに至っていない。リスク評価技術を専門する学会レベルの活動は希薄である。大型プロジェクトが終了し研究の規模の縮小が懸念される。地方環境研等の縮小も懸念材料である。
	技術開発水準	○	→	環境測定技術の優位性が市場規模の縮小、国際標準化の中で困難に直面している。QSAR、モデル分野での開発は徐々に進みつつある。データ基盤を含めた総合的なシステム化は欧米と比較して劣る。
	産業技術力	○	↑	行政、業界団体、企業による個別の対応に負うところが多くリスク評価産業として特筆すべき点が見当たらないが、欧州 REACH 等への対応のために活性化がみられる。
米国	研究水準	◎	→	発ガンリスクをはじめとしたリスク評価の枠組みの構築、環境動態モデル、毒性予測、物性予測などの分野で多くの実績とともに高い研究水準を維持している。データの組織的な収集とシステム化技術で優れている。
	技術開発水準	◎	↑	高い研究力をベースに高い水準を維持している。
	産業技術力	○	→	個別案件のリスク管理に特徴がある。高度な環境測定機器のメーカーの開発力が健在である。リスク評価のソフトウェア、データベースなどの技術力がある。
欧州	研究水準	◎	↑	欧州のリスク評価技術は米国の技術との双璧をなしている。
	技術開発水準	◎	↑	国際標準化戦略を組み込み、世界をリードしようとしている。REACH 施行のためのデータ基盤の整備、QSAR 構築など着実である。
	産業技術力	○	↑	REACH の導入などによりリスク評価の市場が形成されようとしている。
中国	研究水準	×	→	すべての分野で遅れている。経済力合わせて測定機器など施設面での充実が著しい。
	技術開発水準	×	→	特筆すべきものは見当たらない。
	産業技術力	×	↑	安全性に係わる国際規格等の対応に向けた取り組みが加速している。
韓国	研究水準	○	→	全体的に日本の状況と類似しているが、日本と比較し研究者層は薄い。環境測定技術分野での中堅の人材が比較的豊富である。影響の予測分野では劣る。
	技術開発水準	△	→	全体的に日本の状況と類似している。日本と比較し研究者層は薄い。
	産業技術力	△	→	特筆すべきものは見当たらない。

全体コメント：

リスク評価技術では、着実な予算投入を続けた米国と欧州が世界を牽引している。日本は研究水準において、各要素の領域で成果を挙げ高いレベルにあるが、リスク評価技術に結びつける意識が希薄であり学問領域の成果にとどまる傾向にある。欧州、米国と比べ、日本のデータ基盤は未だに脆弱であり、米国、欧州にくらべデータベースの維持や統合環境の整備・システム化に劣る。日本における安全性データシステムの改善は引き続き課題である。韓国は、環境測定分野に限れば日本と同等のレベルである。近年、日本に先立ち、生物学的手法による排水管理システムを導入した点は、興味深い。中国においては安全性に関する法的な体制を整えているが、研究、技術開発は始まったばかりであり急速な進展はないと思われる。

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

(参考情報)

- [1] 国際的動向と我が国の取組 <http://www.env.go.jp/chemi/kokusai.html>
- [2] 諸外国の新規化学物質審査規制度の概要 <http://www.env.go.jp/chemi/foreign/index.html>
- [3] Computational Toxicology Research Program <http://www.epa.gov/ncct/>
- [4] OECD Quantitative Structure-Activity Relationships Project [ (Q) SARs]  
[http://www.oecd.org/document/23/0,3746,en\\_2649\\_34379\\_33957015\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/23/0,3746,en_2649_34379_33957015_1_1_1_1,00.html)

2-2-9. 環境アセスメント技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	大気、騒音・振動、水質、底質、流れ、動物・植物、などは研究が進んでいるが、生態系、低周波音、地下水、土壌汚染、廃棄物、住民合意形成については未だ課題も多い。戦略的環境アセスメント (SEA) や生態系評価、温室効果ガスに関する研究開発はかなり注力されてきたが、微量有害物質のリスクアセスメントやライフサイクルアセスメント (LCA)、簡易アセスメントなどの手法や保全対策がこれからの課題である。
	技術開発水準	◎	↑	微量有害物質の測定分析技術、GIS 技術、シミュレーションモデル開発は先行している。SEA に関する技術は未だ導入が遅れており、CO <sub>2</sub> 貯留固定技術や海洋資源開発、放射性廃棄物処理などへの技術開発が急がれる。鉄鋼スラグを用いた藻場・干潟造成技術や自然再生技術は開発が進んでおり、実績も出てきている。人的育成では、「技術士」と共に「環境アセスメント士」の資格制度で環境アセスメント技術者水準の確保を推進している。
	産業技術力	◎	→	環境影響評価法が 1997 年制定され、対象事業は 13 部門である。国の事業規模の案件数は最近の 10 年間で 135 件である。近年の案件は減少傾向だが、法改正の見直しにより、風力発電事業の追加が検討され、低周波音やバードストライク等が問題となっている。また、SEA 導入ガイドラインが 2007 年 4 月に環境省より出され、計画段階のアセスへ展開している。調査、予測、評価、技術は優れているが、未だ、環境に配慮した計画、設計、保全対策、合意形成などが課題である。日本環境アセスメント協会には、環境アセスメントをコンサルタントする企業 184 社が参画している。
米国	研究水準	◎	↑	環境アセスメント (Environmental Impact Assessment : EIA) 制度の世界のトップランナーである。SEA を含めて、累積的・複合的環境影響を評価し、代替案やノーアクションも実施している。EPA (環境保護庁) はすべての EIS へ意見を提出する。ミティゲーション技術や生物生態系の定量化手法 (HEP、HSI モデル) など先行している。代償ミティゲーション (生物多様性オフセット) の手法も開発が進み、自主的な活動も目立ってきている。
	技術開発水準	◎	→	EIA の作成機関は連邦政府機関とされ、民間が実施しても主導連邦政府機関が責任をもつ制度を導入している。累積的・複合的スクリーニング、スコアリング、審査、については、公衆関与や環境部局関与も各手続き段階で行われる。評価される影響には、空気・水などの天然資源、および生態系の機能、組成、構造などに対する影響がある。
	産業技術力	◎	↑	国家環境政策法 (NEPA) を 1969 年に制定。EIS はインターネット上で公開され、積極的な公衆関与もある。対象事業が「除外リスト」以外の対象事業は特定せず、基本的にはすべての事業種類に EIA が適用される。簡易アセスメント制度があり、手続きはスクリーニング手続きの簡易な EA から始まる。環境に著しい影響がある場合には、環境影響評価書案 (DEIS) を作成する。EA は年間約 5 万件 (1993 年)。ただし、EIS は減少傾向で、2003 年は約 600 件である。
欧州	研究水準	◎	↑	SEA 指令 (2001 年) に基づき、加盟国では SEA は必須であるが、加盟国の裁量で必要に応じて実施している。対象事業は、リストを作成し、そのリストに該当する場合に EIA を実施する。累積的、複合的環境評価を含むと共に、代替案の検討は行われる。ドイツでは社会経済影響評価を行うと共に環境テストと並行して、ビジネス影響評価や実施可能性・執行可能性影響評価が行われる。REACH、RoHS 指令などにより微量有害物質の人体への影響評価や生態系影響評価手法は先行している。
	技術開発水準	◎	↑	EU 加盟国は、EIA 指令に基づき各国独自の EIA 制度を導入している。ただし、モニタリング、事後調査の規定はない。イギリス、ドイツはかなり SEA 制度が先行している。ドイツでは、生物多様性オフセットも活発に実施している。オランダは環境テストと並行して、ビジネス影響評価、実施可能性・執行可能性の影響評価が行われる。
	産業技術力	◎	↑	EU 加盟国に公的部門か民間部門を問わず環境に重大な影響をもたらすおそれのある事業について環境影響評価を義務付けている。オランダはアメリカと同じく、法的根拠に基づいて制度化している。年間 (2000 年以降平均) での案件では、フランスは簡易アセスメント制度があるため、6000 ~ 7000 件と多いが、イギリス 500 件、イタリア 20 ~ 40 件、オランダ約 160 件、ドイツ約 1000 件、スペイン 290 件、ベルギー 20 件、ルクセンブルグ 20 件、ポルトガル約 90 件、デンマーク 100 件である。

中国	研究水準	○	↑	EIAは審査・認可権限を有する環境保護行政主管部門に上申し、審査・承認を受ける必要がある。SEA制度を導入し、審査・許認可では、国务院に専門家DBより選定される。提案した環境保全措置については、経済合理性、社会の許容等に関する論証を行う。なお、代替案は規定されていない。
	技術開発水準	○	↑	経済成長の急速な伸びもあり、環境問題も多くなりつつあるが、国自らが課題解決に向け取り組む姿勢が見られる。評価実施者（コンサルタント）は国务院環境保護行政主管部門が認定した「資質証書」（ライセンス）を保有しなければならない。事業者が評価実施者を選択する。環境要素は、大気、地表水、地下水、騒音、土壌と生態、住民の健康状態、文化財と貴重景観、日照、熱、放射線、電磁波、振動などがある。
	産業技術力	○	↑	環境影響評価法を2003年に制定。SEAの考え方も導入。対象計画は百数種。総合計画と特別項目計画を原則対象としている。適用範囲が狭く、審査認可手続きの健全さ、管理監督の立ち遅れ、環境アセスメント技術の不完全さが見られるが、最近、国が環境対策技術への力を入れて来ている。環境モニタリング・事後評価も実施。環境アセスメント実施案件は約28万件である。
韓国	研究水準	△	→	スクリーニング手続きがなく、スコーピングから指定されている。環境に交通や災害のアセスメントを統合している。罰則や環境アセスメント代行制度あり。KEI（韓国環境政策・評価研究院）を1997年設立。専門家の見地から意見を出す国立の研究機関。SEA制度を盛り込んだPERS（事前評価システム）を2000年に格上げした。社会経済面の影響評価、代替案の検討を含んでいる。
	技術開発水準	△	↑	SEAを採用しているが、スコーピング段階、DEISの段階で公衆関与が行われる。環境要素としては、自然環境、住環境、社会経済環境など23項目に渡っている。環境アセスメント代行する規定があるが、日本のような環境アセスメント専門のコンサルタントはまだ少ない。
	産業技術力	○	↑	環境影響評価法は1993年制定。環境・交通・災害等に関する環境アセスメント法を1999年制定。環境政策基本法（事前環境評価システム）を2005年に改正され、EIA対象事業は17分野、76事業ある。環境アセスメント実施案件は2002年で168件あり、年々増加傾向にある。
<p>全体コメント：</p> <p>日本では環境影響評価法が制定されて11年が経過し、法改正の見直しに入っている。特に、戦略的環境アセスメント（SEA）は環境省の導入ガイドラインを始め、国土交通省でも「公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン」を策定した。諸外国では政策、構想や計画、プログラム段階からのアセスメントであるSEAの導入はほとんどが法整備されてきた。複数案やノーアクションもあり、評価の内容では、環境面のみでなく社会・経済面での考慮や累積的・複合的環境影響評価を配慮する国も多い。審査は公衆関与や環境面の第三者機関（環境部局等）の関与が行われる場合が多い。また、モニタリング、事後評価やティアリング（先行評価の活用）制度を取り入れている国も多い。今後は、温室効果ガスや人間への健康影響に注力すると共に生物多様性オフセットに配慮する傾向が見られる。</p>				

（参考情報）

- [1] 諸外国の環境影響評価制度調査報告書（環境省、2004～2005年）
- [2] 環境影響評価制度のあらまし（環境省、2006年）
- [3] 環境影響評価制度総合研究会報告書（環境影響評価総合研究会、2009年7月）
- [4] 環境影響評価制度に関する海外調査業務報告書（日本環境アセスメント協会、2009年3月）
- [5] 今後の環境影響評価制度の在り方について（中央環境審議会、2010年2月）

（註1） フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

（註2） 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*  
\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註3） 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

## 2-3. 注目すべき動向

### ケミカル・ルーピング（燃焼）

ケミカルループ燃焼は、固体酸素担体粒子を燃料の燃焼に用いるものであり、一般的に、二重循環流動層によりプロセスが構成される。酸素担体粒子は第1反応容器内で酸素を発生させ、第2反応容器で燃料を燃やすために使用される。二酸化炭素は還元反応器より排出されるため、排出ガスを特別な装置を用いて二酸化炭素と分離する必要がなく、還元反応器排出ガス中の水分を凝縮させるだけで99%以上の高濃度二酸化炭素が回収できる。課題としては、固体の取り扱いや酸素担体の容量、反応性、および摩滅といったものがあげられる。石炭に適用したクリーンコールテクノロジーとして注目を集めているが、その他の化石資源だけではなくバイオマス燃焼への適用などの研究も進みつつある。

### オキシフェュエル（酸素燃焼）

基本的には、石炭、天然ガスなどの化石資源の燃焼時に空気に代えて純酸素と排ガスの混合ガスを用いる燃焼法であり、オキシフェュエル（Oxyfuel）と呼ばれる。燃焼ガスからの二酸化炭素の分離の観点から、大規模なガス処理を行わなくて済む方法として注目され、新設のボイラー用としてのみならず、既設ボイラーの改良も検討されている。これにより、高濃度のCO<sub>2</sub>が得られることから、設備のコンパクト化、CO<sub>2</sub>分離回収設備コストの削減が期待される。しかしながら、大量の酸素を製造・供給するため、大規模な酸素製造プラントが必要となることから、全体システムの効率向上のためには効果的な酸素分離システムが不可欠である。

2005年のIPCCによる二酸化炭素の回収貯留に関する特別報告書が発行されて以降、具体的な適用に向けた動きが活発化している。化石資源由来の二酸化炭素を直接回収して地中などに貯留することで大気から隔離するというこの技術は、他の分野における温暖化対策技術とはその性質を異にするものである。技術的には、大量排出源から効率的に「分離・回収」する技術と、安全かつ長期的に「貯留」する技術を総合的に用いる必要がある。技術の観点からこの2点に注目したい。当面は、経済的な便益を持つEOR（Enhanced Oil Recovery：石油増進回収法）や天然ガス随伴の二酸化炭素を対象としたものが中心に取り扱われるものと考えられるが、その適用はサイト固有の事情によるところが大きい。2008年のG8洞爺湖サミットこれらを背景に、各国の事情について外観を述べる。

日本では、90年代以前から基礎研究が実施され、1997年から海洋隔離技術、2000年から地中隔離技術に関するプロジェクトが開始されるなど、比較的早期からの検討がなされてきている。しかしながら、その開発レベルは研究段階から実証段階へのステップを踏み始めた段階に留まっている。日本固有の地質状況を反映して適地の選定などに課題も多い。一方、分離・回収技術においては、現在商用段階とされるアミン系溶剤による化学吸収法について、世界でトップレベルの技術を有している。一方、化石資源を直接酸素燃焼させることで排ガスからの分離を不要としたシステム検討にも着目され、オーストラリアとの共同実証プロジェクトが開始された。また、未だ研究段階ではあるが膜分離法などの先進的な技術開発を推進しており将来的な展開も期待される。

欧州においては、1997年にノルウェーの北海ガス田（スライプナー）において、天然ガス随伴の二酸化炭素を分離・回収し、年間100万トン地下帯水層へ送り込むプロジェクトが実施されている。当該プロジェクトでは、地質構造内部での二酸化炭素のモニタリング等を通じて、二酸化炭素隔離技術の実効性の検証が進められてきた。これらの成果を受けた形で、欧州委員会は2008年3月にゼロエミッション発電所の推進を提言し、2015年までに最多で12基の実証プラントの建設と運用を促進するとしている。

米国においては、発電の約半分を石炭に頼るエネルギー需給構造であることから、将来的な二酸化炭素排出削減が本格化した暁には、CCSを相当な割合で導入する必要性が指摘されている。元来CCSの技術が石油資源開発に関連する技術の応用であることから、掘削技術あるいはEORによる二酸化炭素の送り込みといった技術と経験において、石油メジャーを中心に一歩先んじている。2001年にはカナダのWayburnにおけるEORにガス化プラントからの二酸化炭素を300kmに渡るパイプラインを通じて二酸化炭素を貯留する実験なども行われており、二酸化炭素の回収から輸送、貯留まで一貫した実証が行われるなど、CCSの実施に関する基礎的知見が提示されてきている。国家的には、Future Genと冠したゼロエミッション発電システムに関するプロジェクトが進行しており、2012年に運転開始を目指したデモンストレーションプロジェクトの選定が行われたところである。国家的な取り組みの変化によっては、急速な展開を見せつつあると考えられる。

中国においては、近年のエネルギー需要の増加を、主として石炭火力発電所の増設でまかなってきており、電力需要の80%以上を石炭火力発電が占める。このエネルギー需給構造の変革が無い限り、環境制約の克服のためには火力発電所の高効率化の推進と将来的なCCSとの組み合わせたシステム導入が不可欠である。現状では、欧州諸国が石炭層への貯留（ECBM：Enhanced Coalbed Methane）などを中心とした協力の可能性を模索している。一方、米国のFutureGenと同様のコンセプトによるGreen Genプロジェクトが計画されている。

韓国においても、2005年にCCSに関する官民連携の10年に渡るプロジェクトが開始されている。計画では、回収から地中貯留および海洋隔離を含めた総合的な検討を模索しており、当初5年については官主導での基礎研究をベースに、その後は民間資金も導入することを前提としたプロジェクトとされている。実際には、地中貯留の適地に乏しいという現状も抱えているが、エネルギー需要がこの10年あまりで倍増している現状から何らかの対策を求められていることも確かであろう。

### 農業における温暖化対策

文部科学省は、2010年に気候変動適応研究推進プログラムを開始した。水・都市・農林漁業が研究領域になっている。これまでのプロジェクトと比較して、より下流側（実際問題の解決のための研究）の研究として位置づけられている。研究手段の特徴として、国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」を推進するデータ統合・解析システム（DIAS）を活用する構想になっている。

東アジアの農業はモンスーンアジアに共通する自然環境のもとで、協力して温暖化対策技術の開発を行ってきている。農業セクターからの温室効果ガス排出削減に関する基礎的・応用的研究は、日本では独立行政法人農業環境技術研究所および独立行政法人農

業・食品産業技術総合研究機構、中国では中国科学院南京土壤研究所ほか、韓国では農村振興庁農業科学技術院ほかで進められている。

### 地球温暖化予測・評価技術の今後の方向性

地球温暖化予測・評価技術の今後の大きな方向性は、温暖化問題へ分野横断的（WG1～WG3）に取り組むことの重要性である。つまり、(1) エネルギー戦略や温室効果ガス排出削減パスに対して、日本の優れた環境技術を盛り込んだ提案を行う（経産省と協力）(2) その排出パスについて気候モデルと京コンピュータを用いて詳細に温暖化を予測する（文科省、気象庁）(3) それにより、他の国の提案する排出削減パスよりも環境影響を軽減できることを具体的に示す（環境省との協力）、できれば、削減のための追加コストと影響低減によるプラスコストを具体的に算定し、比較する。日本の強みは、優れた環境技術にあり、それを国際的に普及していくことで、温暖化を緩和し、かつ日本の国内経済も活性化することが期待される。

加えて、以下のような点が注目される。

#### ① 地球工学（Geo-engineering）の動向

国連の温暖化防止国際会議は、2009年コペンハーゲンにてCOP15、2010年メキシコにてCOP16が開催された。しかし、コペンハーゲン協定に向けた各国の温室効果ガス削減政策目標（宣言）では、それらを集計しても産業革命以降の気温上昇を2℃に抑制する気候目標の達成は困難との見方が強くなってきた。温暖化問題の解決は、国際交渉では手詰まりの状況にある。このため、欧米（特に、英国・米国）では、究極の対策（リスク対策）として、宇宙空間に反射板を多数打ち上げて太陽放射エネルギーを一部遮断する方法、硫酸エアロゾスを宇宙空間に散布して寒冷化を促進する等の地球工学（Geo-engineering）が注目されている。しかし、地球工学を導入した場合の気候副作用（悪影響）は科学的に未解明であり、反対意見も多い。IPCC AR5(2013～14)以降の国際的な研究動向に注目する必要がある。

#### ② ポスト革新プロジェクト（2013年～）と京スーパーコンピュータの活用

現在、文科省のプロジェクトとして21世紀気候変動予測革新プロジェクト（2007～2012年）が進行中である。かつ、世界トップクラスの京スーパーコンピュータが2012年から運用開始される予定である。京スーパーコンピュータを活用したポスト革新の新プロジェクトをどう構築するかが重要な課題である。

#### ③ 中国スーパーコンピュータ開発と温暖化予測・評価技術

2010年11月、中国の国防科学技術大学（NUDT）に設置された「天河一号A」（Tianhe-1A）がTop500において世界第1位を占めた。温暖化予測・評価において、予測モデルと計算機能力は車の両輪であり、この分野で中国が今後どのような役割を果たしていくか注目される。

### 電気自動車の普及

内燃機関の排出ガス低減技術は、日米欧とも限界に近いレベルに達している。最近では、世界的に、排出ガス対策に加えて、燃費低減技術の開発に主眼が置かれている。

このような状況の中で、近年、ハイブリッド車に加えて、本格的な電気自動車が市場に投入された。当面は内燃機関を搭載した自動車が主体であると考えられるが、今後、

車両の電動化は避けられない状況にある。従来のエンジン車は、数多くの構成要素の複雑なすり合わせが必要であるため、技術の蓄積を要したが、電気自動車は構成要素が少ないため、従来車に比べて、技術的なハードルも低いと考えられることから、これまでに比べて、日米欧メーカーの技術的優位性が低下する恐れがある。さらに、生産についても、従来の原動機、車両の一環生産から、電気自動車では、パソコンのように、主要パーツの水平分業化が起こるとも言われており、日本としては、産業技術力を如何に維持していけるかが課題となろう。純粋な電気自動車が普及するような状況下では、自動車の使い方やライフスタイル、都市構造なども同時に変化していくと推察されることから、社会変化に適応した新しいデザインの自動車を開発するなど、これまでと異なる方向性を探索することも必要と考えられる。

また、主要な市場が北米から中国やインドなどの新興国にシフトしつつあり、低価格な車両の開発が求められている。すでに、国内メーカーの一部では、海外生産の車両を逆輸入する動きも出ており、品質とコスト低減の両立をはかることが要求されている。

### 正浸透膜 (FO 膜) 技術

著者自身はこの種の技術を専門としていないが、米 Oasys Water 社と Yale 大学により開発された FO 膜技術は目新しい。海水淡水化技術として現在利用されている RO 技術

<http://www.envix.co.jp/water/market-tech/oasys-water-forward-osmosis-membrane.html>

### バラスト水処理システム

国産初のバラスト水処理システムが相次いで実用化されており、JFE エンジニアリングの「JFE バラストエース」、日立プラントテクノロジーの「クリアーバラスト」などがある。

<http://eco.nikkeibp.co.jp/article/news/20100627/104113/>

<http://www.env-news.net/cgi/wp/?p=2860>

### IWA の革新的な技術表彰 (Project Innovation Award)

下記の日本企業の技術が受賞した。

- 2010 Global Grand Prize Honour Awardees <http://www.iwa-pia.org/pia/2010Winners.aspx>

ナガオカの「革新的高速生物地下水処理技術」

Nagaoka International Corporation、The Development and Application of Innovative High Speed Biological Groundwater Treatment Technology

- 2010 EAST ASIAN REGIONAL AWARD WINNERS

東京水道サービスの漏水検知技術、

Tokyo Suido Services Co. Ltd.、Development of Time Integral Type Leakage Detector

## IWAにおける研究フォーラム形成

- ・ Cities of the Future プログラム  
water security for the world' s cities and how the design of cities – and the water management, treatment and delivery systems that serve them – could be harmonised and re-engineered to minimise the use of scarce natural resources and increase the coverage of water and sanitation in lower and middle income countries..  
[http://www.iwahq.org/Home/Themes/Cities\\_of\\_the\\_Future/](http://www.iwahq.org/Home/Themes/Cities_of_the_Future/)
- ・ Smart Water Portfolio クラスタ  
DRAFT Minutes of the IWA Smart Water Portfolio cluster Workshop  
<http://www.iwa2010montreal.org/Media/IWA-clusters-workshop.pdf>  
[http://www.iwahq.org/MainWebSite/Resources/Document/draft%20minutes\\_smart%20water%20portfolio\\_workshop\\_montreal\\_Sep22,2010.pdf](http://www.iwahq.org/MainWebSite/Resources/Document/draft%20minutes_smart%20water%20portfolio_workshop_montreal_Sep22,2010.pdf)

## SPR 工法

SPR 工法は、非開削で管路を更生する工法である。既設管路内で硬質塩化ビニル材をスパイラル状にかん合せながら製管を行った後、既設管路と更生管のすき間に特殊裏込め材（高強度モルタル）を充填して、既設管路と一体化した強固な複合管として更生する工法。

<http://www.spr.gr.jp/>

## 土壌汚染の修復

土壌汚染の修復には、調査から対策計画の立案、対策の実施と対策効果の評価など実務は多岐にわたり、多額の経費がかかる。ただ土地資産価値を対策経費が上回り、汚染された土地が放置されるブラウンフィールド問題が顕在化してきたため、世界的な傾向として効率的な浄化技術開発に加え、土地利用や地下水利用に応じたリスク管理に重点が移りつつある。

また近年は米国を中心にグリーンレメディエーションという考え方に注目が集まっている。これは、土壌浄化のためのエネルギー消費に伴う多量の二酸化炭素排出といった、汚染とは別の環境負荷を生み出すのではなく、土壌汚染負荷低減とその他の環境負荷抑制のバランスを考えた技術のことである。低炭素社会づくりに向けた取り組みが進む中、土壌汚染分野でも低負荷型の技術開発が盛んになる可能性が高い。その一端として、環境省実施の低コスト低負荷型土壌汚染修復技術開発では、技術評価に加えて、周辺環境への二酸化炭素排出量も評価対象とされている。

日本固有の事情として、土地売買や資産評価などを契機とした土地所有者の自主調査や経費はかかるが短期間で終了する掘削除去が対策の大多数を占めていることがある。これは、日本では土地は最も価値の高い私有財産の一つであり、土壌と言うよりむしろ土地汚染の側面が強調されていることによる。こうした現状にあって、健康リスク管理をベースとした土壌汚染対策法の趣旨をより明確にし、実効ある対策推進のため、2009年4月に土壌汚染対策法が改正され、2010年4月に施行された。土壌が有害物質で汚染されていることを認識し、汚染物質に暴露される経路遮断を行って、健康リス

クを低減させる施策である。今後は廉価で対策期間が短縮できる原位置修復技術の開発が加速することが期待される。

また近年は建設工事現場で遭遇する自然由来の土壤汚染（自然状態の土壤に含まれる汚染物質）が注目され始めている。建設工事現場では工場敷地内とは比較にならないほど膨大な量の汚染土壌が発生する可能性があり、その処理を速やかに進めるための調査・分析技術と対策技術の開発および実用化が急務である。

こうした状況の中で、韓国と中国の土壤地下水汚染対策には過去とは比較にならない発展が見られる。韓国では水資源として地下水の水質保全と地下水質モニタリングの全国ネットワークシステムに取り組んでいる。中国では、ほぼすべての調査手法や対策技術の情報が移入されていると見て間違いはない。産業廃棄物の埋立地や不法投棄に由来する土壤地下水汚染が顕在化して対策が始まり、リスクベースの考え方、革新的技術としての反応性バリアや自然減衰の考え方まで、多方面の施策が実施され始めようとしている。

### リスク評価のための基盤の構築

米国環境保護局（EPA）では、データベースの連携や統合が進んでいる。分散型のデータベースである Distributed Structure-Searchable Toxicity (DSSTox) Public Database Network を開設し、化学物質の毒性データ・ファイルについて DSSTox で標準化された化学構造および SDF 構造データフォーマット・ファイルの使用を推奨するなど、化学物質検索と毒性データの標準化を目指した活動が行われている。従来の化学物質の毒性試験によらない計算機毒性学計画が実施されている。500,000 以上の環境化学物質のデータベース ACToR や ToxRefDB など多くのデータベースや毒性予測ツールが作成されつつある。DSSTox もその一部である。この計画には、産業界、学会、団体、他の連邦機関、州政府および非政府組織などから 100 以上の組織が関係している。ToxCast™プロジェクト（Phase I、約 300 農薬）による毒性予測の評価結果が報告され始め、PHASE II が開始されている。ExpoCast™プロジェクトは生物的に意味のある人への曝露量に基づいた化学物質の曝露予測を目指すもので、ToCAST と連携し、曝露に基づいた優先順位付けのツールやデータベース、評価指標、計算モデルの高度化が検討されている。欧州連合の化学管理プログラム REACH の実施機関である European Chemicals Agency (ECHA) は、IUCLID (International Uniform Chemical Information Database) に化学物質のリスク評価の基盤を構築している。ECHA の出資により開発が進んでいる OECD QSAR ToolBOX は IUCLID との連携が強化され、ver2 に更新されている。日本では、化審法の改正が行われ、今後指定がされる優先取組物質のリスク評価の議論が開始されている。既存化学物質の点検結果などの OECD への提供など国際的な貢献が進んでいるが、リスク評価に向けたデータベースやリスク評価ツール等の基盤の構築は、目に見える形までには進んでいない。

### 環境アセスメント制度

日本では環境影響評価法が全面施行（1999年）されて11年が経過し、国、自治体とも環境アセスメント (Environmental Impact Assessment: EIA) の制度も定着してきた。2005年には「基本的事項の改正」が行われ、現在、法の制定後10年目の「法制度の改正」が進められており、2010年には閣議決定されたが、未だ国会での継続審議中で

成立していない。この中で、主な項目は①交付金事業を対象事業に追加②計画段階配慮書手続きの新設③方法書説明会の義務化④電子縦覧の義務化⑥事後調査報告の義務化等である。近年は諸外国では政策・構想段階や計画段階からのアセスメントである戦略的環境アセスメント（SEA）の導入がかなり整備されてきた。SEAにおいては、複数案やノーアクションもあり、評価の内容では、環境面のみでなく社会・経済面での考慮や累積的・複合的影響を配慮する国も多く、審査は公衆関与や環境面の第三者機関（環境省、環境部局等）の関与が行われる場合が多い。また、モニタリング、事後評価やティアリング（先行評価の活用）制度を取り入れている国もある。日本では2007年に環境省より「戦略的環境アセスメント（SEA）導入ガイドライン」が公表され、「環境影響評価法」に定められている13事業（ただし、発電所事業は除く）について各事業官庁や自治体へ検討、取り組みの方向が示された。これを受けて、2008年に国土交通省では「公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン」の策定を行い、PI（Public Involvement）と共に、合意形成手法の具体的取組を行っている。自治体でもすでに取り組んでいる東京都、埼玉県、千葉県、広島市、京都市、などと併せて、その他の自治体へも検討が推進するものと考えられる。また、今年は名古屋市で生物多様性第10回条約締結国会議（CBD/COP10）が行われたが、「生物多様性基本法」にもSEAが位置づけられ、生態系の確保に向け環境アセスメント技術が重要な課題となり、生物多様性オフセットも事業化が推進するものと思われる。今後は、温暖化防止対策、微量有害化学物質対策や生物多様性国家戦略などに対応して、持続可能性評価（Sustainability Appraisal : SA）など、環境アセスメントのマイナス評価から、プラス評価（Positive Assessment : PA）へと、環境、社会、経済を含めた総合的なアセスメントや調査・予測技術から対策技術を重視する方向へ展開していくものと思われる。日本には、環境アセスメントの学術的な評価を行う学会として「環境アセスメント学会」（会長：鹿島茂、正会員：約500人）があり、国際的な学会ではIAIA（国際影響評価学会）があり、現在約100カ国、会員2,500人で毎年国際大会を開いている。昨年は28回目であり、ジュネーブ市で行われ、東京工業大学原科教授が日本人で初めて会長になった。また、民間の団体としては、（社）日本環境アセスメント協会（会長：梶谷修、会員：184社）があり、環境アセスメント実務者の信頼性確保のため、認定資格制度「環境アセスメント士」が約400人登録しており、今年から5年目の継続教育（CPD制度）更新を進めている。

## 3. 資源循環分野

### 3-1. 概観

本分野では、資源循環・廃棄物処理分野の技術について比較を行った。資源循環については、前回まで、プラスチック、ガラス、コンクリートなどの素材別および容器包装、電気電子などの製品分野別に項目立てされていたが、今回は、資源の種類に着目し、バイオマス系、非金属鉱物系、金属系、化石系の4中綱目に再編した。これを用いた資源の4区分は、日本の循環型社会白書における物質フローの集計等にも用いられているものである。一方、廃棄物処理技術についても、焼却等の中間処理技術と最終処分（埋立）技術とを統合して1中綱目にまとめた。

この分野の技術や研究開発は、各国、各地域の法制度や地理的条件と密接なかわりを持っている。例えば、日本では、循環型社会元年と呼ばれる2000年前後に、容器包装、家電、建設、食品、自動車の5分野において、いわゆる「個別リサイクル法」が制定され、各々の分野における資源循環技術の開発、普及を後押ししている。また、人口密度の高さや国民の安全・安心に対する要求から、最終処分量の低減、処理処分段階での有害物質排出の低減などのエンド・オブ・パイプでの対応が以前からの課題であり、こうした制約が技術開発を後押ししてきた。大量に発生する非金属鉱物系循環資源のリサイクルはその代表的なものである。また、エネルギー、資源の大半を輸入に依存していることを背景として、バイオマスやレアメタルの最近の例に見られるように、特定の分野に研究開発資源が集中投下される傾向も窺われる。

素材のリサイクル技術をはじめ、総じて言えば、日本のこの分野の技術水準は高いが、その一方で概して高コストであることが指摘されてきた。今後、アジアの新興国や発展途上国での人口増、経済発展に伴って資源循環・廃棄物処理技術に対する需要が急速に高まることが想定される中で、低コストで現地の需要にあった技術を供給しうることが課題となるだろう。また、日本は個別技術においては高い水準にあるが、システム化が十分とはいえ、とくにアジアへの海外展開においてはパッケージ化が重要と考えられる。研究成果の英語での情報発信が不十分であるために、日本の技術が国際的に十分には認知されていないことも課題として指摘されている。

経済発展の発展段階に応じて、環境規制の水準や廃棄物処理にかかるコストが大きく異なることから、インフォーマルな労働集約的な資源回収から、制度化された高コスト、技術集約的なリサイクル手法までが混在しており、技術面でも制度面でも国ごと、地域ごとの特色が依然として強い。しかし、経済発展段階での旺盛な資源需要の中で、日本、韓国、中国等の近隣諸国間だけでなく、欧米とアジアといった地理的隔たりのある地域間も含め、国際的な二次資源流通が盛んになっており、より開かれた形での国際競争や国際標準化が進む可能性がある。製品中の有害物質の使用規制においては、欧州のリーダーシップが国際的に大きな影響を与えてきたが、日本が進めてきた3Rの国際的普及を、静脈産業の国際競争力強化につなげていくことが課題である。

### 3-2. 中綱目ごとの比較

#### 3-2-1. バイオマス系循環資源リサイクル技術

上段：下水汚泥、中段：都市ゴミ・食品産業等、下段：農林水産系廃棄物等

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	堆肥化における微生物叢変化の解析、作物の病害を抑制する堆肥の製造、悪臭処理微生物の探索等の研究で先行
		○	→	都市ゴミ堆肥化のモデル化とシミュレーション、都市ゴミ乳酸発酵による生分解性プラスチックの生成、高温高圧水反応による有価物生産等に関する研究が先行。
		○	→	家畜糞尿の堆肥化、嫌気性消化と脱離液の農地還元による作物や土壌環境、地下水等への影響評価に関する研究が先行。
	技術開発水準	◎	↗	下水汚泥からのリン回収、下水汚泥の可溶化・減容化、炭化や燃料化に関する技術開発で先行。
		○	→	都市ゴミ、食品廃棄物の堆肥化と農業と連携した地域システムの構築が行われている。小型廃食用油 BDF 製造と精製
		○	→	家畜糞尿の堆肥化、嫌気性消化技術等の開発と導入技術の改良、嫌気性消化廃液処理技術の高度化などが進行。
	産業技術力	◎	→	下水汚泥脱水ケーキのセメント化および自然焼却プロセスの実用化と普及。下水汚泥、都市ゴミ等の固相メタン発酵基本技術を欧州から導入し改良。
		◎	→	家庭用および小型業務用生ゴミ堆肥化装置を開発・普及。都市ゴミの熱分解・熔融プロセスが普及、ただし海外からの基本技術導入事例が多い。
		○	→	国内では補助金に依存。海外での競争力はコスト次第。
米国	研究水準	○	→	下水汚泥 (Biosolids) の農耕地施用による土壌影響、石灰添加による汚泥の安定化等の研究。
		○	↘	高温高圧水反応による廃棄物資源化技術、廃棄物の早期安定化埋立て技術の研究開発。
		◎	→	森林系残渣や短期輪作作物の乾燥・熱分解・ガス化システムの開発と環境的・経済的な影響の評価。
	技術開発水準	○	→	汚泥、畜産廃棄物の開放型堆肥化、汚泥の造粒・乾燥技術、埋立て、臭気対策などの技術を開発。
		○	→	流通産業系の食品残渣の乾燥・発酵システムの構築によるバイオガスの生産とエネルギー利用技術開発。
		○	→	バイオマスのガス化（水素と一酸化炭素）と Fischer-Tropsch 法を利用した炭化水素（液体燃料）製造技術の都市ゴミ、間伐材、農業残渣への適用。
産業技術力	◎	↗	バイオマスの熱分解、Fischer-Tropsch 法による炭化水素（燃料）製造の実証プラントの建設が多い。汚泥、家畜糞尿等の大規模・低コスト堆肥化、乾燥リサイクル技術等を有する。研究開発・実証試験等を支える補助金額が大きい。	
欧州	研究水準	○	→	農地施用における土壌影響、病原菌対策、重金属汚染、界面活性剤 (LAS) の影響など環境影響に関する研究で強み。
		◎	→	都市ゴミ等有機質の固相メタン発酵の研究開発で先行。
		◎	→	木質系バイオマス残渣の燃焼、ガス化等の研究開発。
	技術開発水準	◎	→	固相メタン発酵装置の開発。
		◎	→	都市ゴミ埋立地ガス (Landfill ガス) の発電等利用技術、都市ゴミ焼却による地域総合エネルギー利用、熱分解ガス化技術、RDF 製造技術の開発、植物油の水素化によるバイオ軽油精製プロセス開発など。
	産業技術力	◎	→	木質残渣の燃焼・エネルギー回収技術、ライ麦残渣のバイオ燃料（エタノール）化、木質残渣等の石炭火力での混焼利用技術。
		○	→	固相メタン発酵プロセス、高濃度排水のメタン発酵技術など。
○	→	農業、食品加工業、家庭ごみ等のコジェネレーションによる熱と電力の同時供給システム。		
◎	→	木質および木質系廃棄物の燃焼によるエネルギー回収・利用技術、燃焼炉開発、木質ペレット化技術に強み。流動層ガス化技術、Fischer-Tropsch 法による燃料化技術を有する。家畜ふん尿、農業残渣からのバイオガス回収プラント技術、バイオガス燃料規格設定などで先行。		

中国	研究水準	△	↑	下水汚泥の燃料化・炭化・建築資材化、厨芥のメタン発酵・熱分解などの研究。一部でレベルの高い基礎研究あり。
	技術開発水準	△	↑	食品廃棄物、包装ごみ、廃タイヤのリサイクル技術開発。下水汚泥嫌気性消化、下水汚泥脱水ケーキの農地還元。
	産業技術力	○	↑	高濃度有機性排水・有機質廃棄物のメタン発酵装置およびバイオガスを地域で利用するシステム、古紙リサイクル。
韓国	研究水準	○	→	高濃度有機性排水の膜分離嫌気性処理、微生物燃料電池による処理・エネルギー回収の研究など一部に先進的研究開発あり。
	技術開発水準	○	↑	生ゴミ飼料化・堆肥化プラントの実用化、バイオディーゼル燃料の製造技術開発。
	産業技術力	◎	→	事業系および家庭系の生ゴミ飼料化・堆肥化プラント建設技術と国内での高い普及率。大都市での生ゴミリサイクルシステムとして確立済み。
<p>全体コメント：</p> <p>エネルギー生産を目的としたバイオマス生産・利活用については他章を参照されたい。日本では現場の実態やニーズと研究開発の方向性にやや乖離が見られる。地域に適合したシステムによってバイオマス系廃棄物を合理的かつ効率的に処理、利活用する必要がある。欧米では、バイオマス系廃棄物からのエネルギー回収に熱化学反応の利用が進んでいる。木質等有機質の燃焼・エネルギー回収技術において欧州が先行しており、固相メタン発酵技術も活用して、都市ゴミ、畜産廃棄物、食品廃棄物等の処理、エネルギー回収・利活用システムの構築が進んでいる。韓国は生ゴミの飼料化・堆肥化システムの地域への導入で先行している。物質収支、エネルギー収支、経済性、環境インパクトに加えて地域適合性を指標としたシステムの構築・導入と、適切な技術の研究開発および評価が必要である。</p>				

(注1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(注2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

### 3-2-2. 非金属鉱物系循環資源リサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	有害物質を含む適正処理困難なアスベストやばいじん、燃え殻、石膏ボードなどのリサイクルに関する研究、有効利用における環境安全性や総合的な環境負荷の評価に関する研究などが多くなっている。リサイクルを広義に捉えれば、コンクリートの軽量化や長寿命化による省資源の観点からの研究がみられる。全体的には、これまでリサイクルが行われていなかった特殊な廃棄物に対する新たなリサイクル方法の研究はみられるものの、産業における需要減に伴い、研究の活動度が増大しているとはいえない。
	技術開発水準	◎	→	国土が狭い、資源に乏しい、環境安全性への要求が高い条件の下で、埋立処分回避のためのリサイクル技術の高度化、より高い安全性の追求、資源効率の向上により高い技術開発水準にある。有害物質を含む熔融固化技術、製鋼スラグ中のフッ素低減のための製造プロセス改善、セメント製造に多量の廃棄物・副産物を投入しても塩素や重金属などをコントロールする技術（太平洋セメント）、コンクリートの軽量化・長寿命化、アスファルト舗装の省資源型の維持管理方法など、特筆すべき技術である。
	産業技術力	◎	→	国内の厳しい資源、環境制約下で、非金属鉱物系循環資源のリサイクル分野においては日本独自に高い技術力を発展させてきた。コンクリートガラ、アスファルトコンクリートガラ、建設汚泥などの建設系廃棄物・副産物、鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、石炭灰などの産業系副産物、ばいじん、燃え殻、ガラス・陶磁器くず、廃石膏ボードなどの廃棄物等、それぞれに対して、高度なリサイクル技術を有する。また、それらのリサイクルに対するある程度の高いコストも受容されている。その他、電子マネーによるITを用いたトレーサビリティ管理技術システムが運用されている。
米国	研究水準	△	→	国土が広く、廃棄物の埋立処分場確保や、非金属鉱物系資源供給に対する制約があまりないことから、関連の研究は多くない。
	技術開発水準	○	→	技術開発ニーズが低い。
	産業技術力	○	→	リサイクルよりも埋立処分を選択するケースも多い（統計的にリサイクル率が低い循環資源も多い）。
欧州	研究水準	○	→	ドイツ、オランダやデンマーク、スウェーデン等北欧諸国における研究水準は高い。環境配慮の観点からの材料に対する評価方法や標準化に向けた取り組みで世界を先導している。近年では、リサイクルの遅れていた東欧や南欧諸国における研究の活動度が高まっているが、個別の問題への対応についての研究であり、新たな研究要素を含むものではない。有害物質を含む河川や水路の浚渫土・汚泥のリサイクルに関する研究などが特徴的。欧州の主要な研究開発資金援助の枠組みで研究開発プログラム（LIFE、EUREKA、COSTなど）におけるリサイクル関係の研究開発では、多くのバイオマス関係のプロジェクトが採択されている中で、非金属鉱物系循環資源に関連するものはほとんどみられない。
	技術開発水準	○	↗	非金属鉱物系循環資源のリサイクルは建設材料としての利用であるが、革新的な技術開発のブレークスルーを要する課題が少なく、技術開発水準が大きく高まっているとは考えにくい。有害物質を含む循環資源のリサイクル技術においては、環境リスクや経済性とのバランスで合理性を判断し技術開発が行われており（日本のゼロリスク・高コスト体質とは一部異なる）、独自の画期的な技術開発が行われているということはない。その他、セメント製造における廃棄物や産業系副産物の受入量はかなり少ない。東欧・南欧の一部の国の技術開発水準はまだ低い、徐々に向上している点で、近年のトレンドは上昇傾向。
	産業技術力	◎	→	環境・資源側面からの社会におけるパラダイムづくりが先行し、それに基づく政策・法制度と、必要な技術・システムが開発され、世界の先導となる。WEEEによる廃電気・電子製品中の廃ガラスリサイクルなど、拡大生産者責任や有害物質管理における予防原則などに基づく技術体系づくりで先行。新たなパラダイムに基づく政策先行型で技術ニーズを作り出していくという面まで範疇に入れば産業技術力が高いと言える。
中国	研究水準	△	↗	国内におけるニーズが高まりはあるが、研究事例も少なく、研究水準は高いとはいえない。
	技術開発水準	△	↗	いまだ技術開発水準は途上にある。
	産業技術力	△	↗	いまだ途上にある。

韓国	研究水準	△	↑	関連する研究事例は少ない。
	技術開発水準	○	↑	日本と置かれている状況が類似しており、急速に日本の技術開発力を吸収しつつある。
	産業技術力	○	↑	日本と置かれている状況が類似しており、急速に産業技術力を高めつつある。電子マニフェストのシステムを有している。
<p>全体コメント：</p> <p>非金属鉱物系循環資源の主要なリサイクル用途は、直接的な建設資材としての利用と、セメント原料としての利用である。各国でのリサイクルニーズは、天然資源供給と廃棄物埋立処分場の制約で決まり、要求されるリサイクル技術には、循環資源がしばしば有害物質を含むことから、同時に環境リスクへの配慮が求められ、各国が要求する環境リスク低減への水準も異なる。以上から、各国の研究水準、技術開発水準、産業技術力の様相は大きく異なり、国内問題、国内市場に対してアプローチする傾向が強いことから、国際競争もほとんどない分野である。</p> <p>そのような中で、日本と欧州のドイツ・オランダ以北の諸国は、各種の制約下で高度な技術力を有しており、統計的にも非金属鉱物系循環資源のリサイクル率は極めて高い。研究開発、産業技術について、日本はセメント原料化技術に秀でており、塩素や重金属などを低減する技術を含む品質管理技術は特筆できる。本分野の技術力の高さは、日本の土木分野におけるものづくりの技術力の高さに源泉があると考えられる。その他、有害物質を含む燃え殻・ばいじんなどの熔融固化技術（一部の技術のライセンスは欧州が有している）に優位性があるが、日本のゼロリスクを要求する社会が世界でも類をみない独自の技術体系をつくった。</p> <p>欧州は、新たなパラダイムによる環境政策を先行して導入し、研究開発、産業技術と連動して先駆的に進展させていけるところに優位性がある。その他、環境配慮に関する評価方法の研究が先行し、国際標準化において主導権をとっており、この分野では国際競争がほとんどない現在の状況では問題ないが、今後注視する必要がある。</p>				

(参考情報)

- [1] <http://www.eurekanetwork.org/>
- [2] <http://ec.europa.eu/environment/life/index.htm>
- [3] <http://www.cost.esf.org/>
- [4] WASCON 2009 Conference、June 3-5、2009、Lyon、France; Sustainable Management of Waste and recycled materials in Construction

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

### 3-2-3. 金属系循環資源リサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	スクラップからのベースメタルの素材化技術では、トランプエレメントと呼ばれる銅などのリサイクル不純物の材料劣化メカニズムの解析や無害化技術の分野で世界トップクラスである。レアメタルに関してはネオジムやジスプロシウムなどのレアアースや白金族金属などを製品からリサイクルする研究が活発に行われている。物理的手法を用いたスクラップの分離・選別による有価金属の濃縮化技術などのプロセス技術に関する研究開発も盛んであり、研究水準は依然として高く、世界をリードしている。その一方で、非鉄金属製錬の分野の技術者や研究者の人材が依然として少なく、早急に中長期的な人材育成のシステムの導入が必要とされている。
	技術開発水準	◎	→	鉄、アルミニウム、銅、鉛などのベースメタルの高機能の基礎工業素材を省資源、省エネルギーで生産する技術は世界トップクラスであり、それらのリサイクル技術の開発水準も高い。非鉄製錬関連企業を中心に廃電気・電子機器の基板など、より多用なスクラップに対応できる技術開発が進んでいる。企業における技術開発水準は世界トップクラスである。中国の一時的なレアアースの禁輸措置を発端として、レアアースに代表されるレアメタルのリサイクル技術開発を目的とした産官学連携が活発となりつつある。非鉄製錬業を中心に有害物質の適正処理に対する規制が非常に厳しいため、リサイクルにおける環境技術の水準は極めて高く、徹底されている。
	産業技術力	◎	→	ベースメタルに関してはリサイクルが生産システムに組み込まれており、産業技術力は世界トップクラスである。非鉄金属分野での技術力も依然として高く、従来の製錬プロセスを利用した銅スクラップや廃電気・電子機器からの貴金属の回収技術は高い。特に価値の高い白金族金属など貴金属類は徹底的にリサイクルが行われている。スクラップに適合したプロセスを開発する高い技術力を有する。その一方で、大学における非鉄製錬領域の縮小による人材の減少が懸念されている。
米国	研究水準	△	↘	ベースメタル、レアメタルともに既存技術の適用可能なものが産業化されているが、大学などの機関での研究開発の規模は縮小傾向にあり、現在では研究者の数自体が減少している。
	技術開発水準	○	↘	鉄スクラップから薄スラブ製造によって鉄鋼材を生産するミニミル方式の電炉メーカーによって、鉄スクラップのリサイクルは盛んに行われているが、突出した技術開発力は見られない。非鉄金属関連企業の技術開発水準は比較的高いが、近年、研究者の数が減少している。
	産業技術力	○	→	鉄鋼リサイクルの分野では技術力よりもマネージメント力によって産業規模を拡大してきた経緯があり、突出した技術力は見られない。アルミ缶消費大国であるがリサイクル率は低い。非鉄金属関連企業が非鉄金属製錬プロセスや関連技術を利用して工程内で発生するスクラップなどのレアメタルのリサイクルを行っている。レアメタルに関する産業技術力は依然として高く、レアメタルを軍用材料と位置づけているため、国家防衛備蓄の制度が整っている。使用済みの自動車排ガス浄化用触媒からの白金族金属のリサイクルは盛んである。
欧州	研究水準	△	↘	リサイクルシステム設計等のソフト面での研究が進む中、技術的な基礎研究の進展はあまりない。近年、レアメタルなどの非鉄製錬分野の研究者が減少している。
	技術開発水準	○	→	スクラップ中に含まれる有機物からのダイオキシンの発生や、亜鉛、鉛などの揮発性不純物元素が及ぼす化学物質リスクを重要視する傾向があるため、リサイクル技術の開発よりも毒性物質を含まない環境配慮設計への技術開発に重点がおかれている。リサイクル制度の導入に基づくマーケティング等による製品のリサイクル設計など、多様なリサイクルシステムを目指す傾向にある。数は少ないものの一部の非鉄金属関連企業の技術開発は高い水準にある。
	産業技術力	○	→	制度や社会システム面が先行しているために産業技術の適用もしやすい土壌ができています。鉄スクラップではEU域内での各国間での輸出入が大規模に行われており、トルコが輸入国の中心である。WEEE指令などの法整備に基づいて、廃電気・電子機器からの有価金属の回収システムが整備されているが、中国などのアジアの国々への流出が問題となっている。非鉄金属のリサイクルにおける産業技術力は比較的高い水準にある。

中国	研究水準	×	↑	金属リサイクルに関する大学および研究所での研究水準は現段階では低い。しかしながら、関連分野に取り組む技術者の数も多く、研究水準は急速な高まりを見せている。
	技術開発水準	△	↑	非鉄金属リサイクルでは労働集約型の中小企業が多く、技術や設備は遅れている。欧州や日本から大量に輸入される廃電気・電子機器は安価な労働力によって、多くの部分は手作業で解体、選別、修理が行われており、徹底的なリユース・リサイクルが中心となっている。有害物質の適正処理の意識が低く、法整備が遅れているため、リサイクルにおける環境技術の水準は極めて低い。近年は先進国の環境技術を積極的に取り入れようという政府の動きも見られる。国家的戦略によって、レアアース、チタン、シリコン、タングステンなどレアメタルの分野において、プロセス技術やリサイクル技術の技術開発水準が飛躍的に伸びる可能性がある。
	産業技術力	△	↑	人件費が安いと、先進国ではできない人海戦術的なリサイクル事業が成り立つため、世界中のスクラップが集まる。不況によって日本や米国などで鉄スクラップの需要が低下している一方、国内でのインフラ基盤用鉄鋼の需要が急激に伸びている中国では鉄スクラップの輸入が加速している。ベースメタルに関しては国家的な政策と経済成長による市場の活性化に基づいてリサイクルが活発に行われ、主に国内需要に充てられている。産業技術力はまだ低い水準にある。レアメタルのリサイクルの技術力はまだ途上段階である。
韓国	研究水準	○	→	ベースメタルのリサイクルに関しては日本に遜色ない。レアメタルのリサイクルに対して関心は高いようであるが研究水準は低い。
	技術開発水準	○	→	国内のハイテク産業を支える素材産業の技術開発水準は極めて高いが、レアメタルのリサイクル技術の開発に取り組む技術者・研究者が少ない。
	産業技術力	○	→	有数の鉄鋼製品の輸出国である韓国は、スクラップを原料とする電炉メーカーの割合が高く、高い技術力を有する。非鉄金属の関連企業が廃電子・電気機器や自動車用排ガス触媒からの有価金属のリサイクルを行っているが、技術力においては突出したものは見当たらない。

全体コメント：

ベースメタルのリサイクル技術については、日本では性能限界を正確に把握して、高度な品質管理と制御技術により成分管理を行っている。このようなリサイクル不純物を受け入れて処理・再利用する技術については日本が世界をリードしている。鉄スクラップから高品位鋼を製造する技術は、韓国は日本と遜色のない高い水準を維持している。レアメタルのリサイクル技術では、研究水準、技術開発水準、産業技術力の全項目に置いて、依然として日本が圧倒的に世界をリードしている。中国によるレアアースの一時的な禁輸措置を発端として、資源小国である日本における資源戦略が注目される中、レアメタルのリサイクル技術の研究開発がより一層重要な課題となっている。また、本分野に関する技術者・研究者の数が減少している傾向にあるため、将来の人材を育成するための中長期的な対策が求められる。現時点ではまだ中国のリサイクル技術に関する水準は全般的に低いが、関連分野に取り組む人材の数が多く、政治主導によって研究水準も急速に高まってきている。中国は旺盛に先進国の技術を吸収することによって、世界の産業構造を変えるほどのポテンシャルを有している。現在の世界最高水準の技術力を維持し、いかに世界をリードし続けるかが本分野での日本の盛衰を決めるといえる。

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向 ]

### 3-2-4. 化石系循環資源リサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	大学等の研究機関では、熱分解による油化やガス化、超臨界水・亜臨海水による分解、化学的あるいは物理的な塩素除去等の基礎研究が行われている [1]。化石資源代替としてのバイオマス由来プラスチックの研究は活発である。 社会システムとしての課題が大きくなっており、社会科学的な研究やライフサイクルアセスメントなどのシステム評価技術研究は多く、世界的にもリードしている。例えば、参考資料 [2] では、リサイクル制度の議論が中心であり、技術的な議論は少ない。
	技術開発水準	◎	→	企業では、特に電子・電気産業においてマテリアルリサイクルのための余寿命評価や分別技術、物性改善技術の研究が行われている。容器包装、家電、自動車の各リサイクル法によって、関係業界でリサイクル技術の開発が行われており、特に混合プラスチックを対象とした近赤外分光や X 線を用いた分別技術は実用レベルの開発が行われている [3]。PET ボトルやポリスチレントレイ、CD などのように単一樹脂で劣化が少ない廃製品のリサイクル技術の開発も多く行われている。また、コークス炉原料化、ガス化、PET のモノマー化などのフィードストックリサイクル技術、リサイクルしやすい製品の設計 (DfE) 技術も日本が大いにリードしている。
	産業技術力	◎	↑	各産業で欧米の技術導入も含めて再生プラスチック利用システムの実用化が進んでいる。リサイクルを推進する各種の社会制度の定着によって、排出時の分別と回収、再生素材利用製品の社会的受容が進んでおり、バージン素材の高騰と相まって産業が推進するインセンティブとなっている。 日本のリサイクル技術の海外輸出については、社会制度整備と一体で行われる必要があり、あまり進んではないが、将来性はある。
米国	研究水準	○	→	過去には、分光分析技術の応用による分別技術開発などが活発であったが、近年では大学や研究機関での研究取り組みは目立つものはみられない。
	技術開発水準	◎	→	近赤外分光のような各種のセンサ技術を応用した混合プラスチック自動分別技術などリサイクルシステムに不可欠な基盤技術では世界をリードしている。 大手清涼飲料水メーカーと URRC 社などによる PET ボトルのスーパークリーンリサイクル技術 [4] は、世界をリードする。
	産業技術力	◎	↑	自動分別機や PET スーパークリーンリサイクルプロセスの世界的な競争力は高い。途上国への導入も進むと予想される。一方で、自国内でのリサイクル産業は、電気電子機器、自動車でも大きな発展は見られない。 ネイチャーワークス社のバイオマス由来プラスチックとしてのポリ乳酸の商業生産は世界一であり、今後も世界中への供給を行うと予想される。
欧州	研究水準	○	→	ドイツを中心に基礎研究例は多い。ライフサイクルアセスメントによる評価技術研究はオランダ、ドイツ、スイスで先駆的に行われ、現在も活発に研究されている。社会制度研究については、EC が設立した Joint Research Center の環境サステナビリティ研究所などが強力に推進している。
	技術開発水準	◎	→	欧州では、混合で回収することにより回収コストを下げる議論もあり、マテリアルリサイクルのための異種プラスチック分別技術、異物除去技術では、特にドイツでの技術開発が進んでいる。
	産業技術力	◎	→	マテリアルリサイクルのための分別など基本装置は強い競争力を持っており、世界への輸出を含め、今後もリードすると予想される。域内のプラスチックについては、難燃剤などの添加化学物質に対する関心が高く、循環を進めにくい面もある。
中国	研究水準	△	→	多くの大学において基礎研究は行われてはいるが、世界をリードするような研究は見られない。
	技術開発水準	△	↑	企業における研究内容は不明であるが、国内技術は欧米の類似技術によるものが多く、比較的低レベルで新規なものではないが、低品質プラスチックの再生利用技術は規模が大きいため、成長ポテンシャルは大きく、技術開発の活発化も予想される。
	産業技術力	◎	↑	日本、米国、欧州の様々な使用済みプラスチックを受け入れるリサイクル産業が成長しており、欧米技術の取り入れは急速に進み、リサイクル量は多い。マテリアルリサイクル技術への指向が強い。

韓国	研究水準	△	↘	大学や研究機関での基礎研究で、世界をリードする研究はほとんど見られない。韓国化学研究院などで、熱分解触媒の基礎研究が行われている。
	技術開発水準	△	↘	世界をリードするような技術開発は見当たらない。特許の出願状況 [5] を見ても、自らリサイクル技術開発に取り組む企業は現在も今後も少ないと判断される。
	産業技術力	△	→	世界的な競争力のある独自の産業技術は育っていないと見られる。ただし、電気・電子メーカー、自動車メーカーの国際的な台頭を考えると、日本と同様な技術導入による産業技術の成長の可能性がある。

全体コメント：

プラスチックリサイクル技術では、企業において基礎技術開発から実用化される例が多く、また、基本技術開発はすでに成熟しつつある。マテリアルリサイクルに関わる選別技術では欧米が先行し、日本ではフィードストックリサイクル技術（あるいはケミカルリサイクル技術と呼ぶ）の開発でリードしている。フィードストックリサイクルプロセスは、持続的な回収を可能とする社会制度や新規設備、高度な運転管理技術が必要であるため海外への展開は限定的と考えられる。また、世界中の様々な分別装置や洗浄装置、破断装置、搬送装置などをシステム化する産業技術は各国で進んでいる。PET ボトルについては、国内でのリサイクルシステムが中国の需給関係に大きく影響を受けるため、事業としてリスクが大きい。日本で実用化された PET モノマーリサイクル技術は経済的に継続が困難になっている。技術開発に加え、社会科学、政策科学などの視点からリスクや持続性に関わる研究が期待される。ライフサイクルアセスメントでは、日本の研究が世界をリードしている。国際資源循環評価のための途上国を含むインベントリデータベース構築については産業技術総合研究所などが、廃家電などの国際循環フロー調査については国立環境研究所などが推進している。

(参考情報)

- [1] 第 59 回高分子討論会セッション「資源循環システムを支える最新の科学技術」プログラム <http://www.spsj.or.jp/tohron/59tohron/jp/O0819.pdf> 2010 年 9 月
- [2] 廃棄物資源循環学会誌特集 「容器包装プラスチックのリサイクルと今後」 21(5) (2010)
- [3] 日経エコロジー 特注「拡大する再生プラスチック」 2010 年 12 月号
- [4] URRC 社 UnPET プロセス <http://www.urrc.net/new/pages/process.html>
- [5] JETRO ソウルセンター知財チーム 技術動向 (2010.6.21) [http://www.jetro-ipr.or.kr/tech\\_view.asp?tech\\_idx=154&syar=1999&smnth=1&sday=1&eyar=2010&emnth=9&eday=2&keyword=&page=1](http://www.jetro-ipr.or.kr/tech_view.asp?tech_idx=154&syar=1999&smnth=1&sday=1&eyar=2010&emnth=9&eday=2&keyword=&page=1)

(註 1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

### 3-2-5. 廃棄物処理技術

上段：中間処理／下段：最終処理

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	日本が長く中心的な処理方法としてきた焼却は、1990年代後半からのダイオキシン対策、ガス化溶融の開発に関して研究が増加した。しかしそれらが一段落したいま、焼却に関する研究は著しく減少し、排ガス処理、熱回収などの基礎的な研究に戻った。家電、自動車などの使用済み製品のリサイクル、バイオマスのリサイクル、プラスチックのリサイクルなどが行われているが、特に活動が目立つ分野はない。[1]
		○	→	埋立に関する研究者は欧米と比べて大変少ないが、埋立地国際会議の開催、国際的な廃棄物研究者集団である IWWG 中心メンバーとしての参加など、主要な役割は果たしており、世界的に取り残されているわけではない。埋立地内の安定化、搬入物管理を含めた総合的対策に、研究としての進展が見られる。[2][3]
	技術開発水準	◎	→	次世代型焼却、高効率発電、ガス化溶融などの技術開発が一段落した。これらは世界的に、トップレベルにある。焼却に代わる炭化技術、バイオマスのメタン発酵にも大きな進展はない。水素発酵、バイオディーゼル化などは、少しずつ研究が進んでいる段階である。
		○	→	屋根付処分場、漏水検知システム、高度しゃ水、高度水処理など、個別に見れば技術レベルは高い。しかし屋根付き処分場を周辺住民対応のために採用しても、しゃ水の高度化、漏水検知以前に重要な浸出水量削減に無頓着な場合があるなど、総合的システムとしての埋立地の概念が希薄であり、過剰な施設となる懸念がある。[4]
	産業技術力	◎	→	欧州では長く生ごみ埋立を行っていたが、埋立指令によって有機物埋立を削減することが必要になった。生ごみの安定化を最も確実にできる焼却、ガス化溶融に注目が集まっており、日本の技術にとっては大きなビジネスチャンスである。しかし英語での発信が限られているためか、日本の技術の知名度はそれほど高くない。[5]
		◎	→	日本独自の準好気性埋立構造はアジア諸国で利用され始め、成果をあげている。各国の事情に合わせた安価な構造が可能であるため、さらに移転が広まることを期待できる。[4]
米国	研究水準	△	→	中間処理に関する研究者の数は、欧州ほど多くない。資源化可能物の発生源別は進みつつあるが、処理方法としては依然として埋立が中心である。資源化は企業が技術開発を行っており、中間処理に関する研究は少ない。
		○	→	埋立地の安定化のため、生ごみ埋立をそのままとしながら、埋立地内部での生物分解を促進するバイオリクター型埋立を目指している。実埋立地での大規模、かつ高度な制御の例はあるが、その後は浸出水循環による洗い出し、有害物質発生抑制など、日本が過去に経験した研究を行っている。国際的には、埋立研究における米国の存在感は高くない。[6]
	技術開発水準	△	→	米国は埋立が中心であるが、有機性廃棄物の資源化も進めようとの動きがあり、堆肥化やメタン発酵が可能な技術としてあげられている。また焼却は広く採用される動きがなく、従来からの大規模施設でのマスバーン、熱回収付の焼却が中心である。いずれも、既存技術の利用に過ぎず、技術的進展はない。[7]
		○	→	埋立においてバイオリクター以外の技術については大きな進展はない。
	産業技術力	△	→	廃棄物行政は州ごとに行われ、日本のように国全体としての方針づけはない。そのため各企業が市場を見ながら開発を行っている。しかし依然として埋立を中心とし、しかも発生源で分別せずに混合ごみ埋め立てであるため、焼却、有機物資源化などに関する米国独自の技術展開は行われていない。[7]
		○	→	埋立地全体を巨大な装置として安定化を促進するバイオリクターは、空気、水分等をコントロールするもので、実規模の埋立地においても実証が進められている。しかしシステムとして高度であり、他国で利用される可能性は低い。温暖化対策のための大規模なメタンガス回収プロジェクトが進行中である。

欧州	研究水準	◎	↑	EU 埋立指令によって有機性廃棄物を埋立地から排除しなければならなくなっている。そのため、焼却とバイオガス化の研究が数多く行われるようになった。従来より欧米では可燃物と不燃物の分別を行わず、混合ごみを収集後に機械選別して可燃分を選別したものを RDF(ごみ燃料)と呼んでいる(日本では、可燃ごみとして収集し、固形化したものを RDF と呼ぶ)。RDF の利用・熱回収の研究、バイオマス系廃棄物のメタン発酵あるいは熱的なガス化の研究が、大変活発に行われている。特に、バイオマス系廃棄物の研究の多さが目立つ。焼却についても、国際的な研究者集団である IWWG に焼却のワーキンググループがつけられて研究を進めようとしている。[5][8][9]
		◎	→	研究者の数はきわめて多く、国をまたがる研究交流が活発に行われている。埋立地内の現象の解明、浸出水処理、古い埋立地の安定化など範囲は広い。国際的な研究集団である IWWG (国際廃棄物ワーキンググループ) には安定化を促進するための好気化、埋立地安定化の定義と評価、埋立地表面におけるメタンガス酸化の、3つの WG が設けられている。いずれも埋立地の中心的課題であり、欧州の研究者が中心となっている。[2][3]
	技術開発水準	○	→	RDF 化、熱分解ガス化、メタン発酵などの技術が、現実のシステムとして使用されるようになっている。しかし日本では分別された可燃ごみを焼却しており、欧州の RDF 焼却はそれと同等であって、欧州の技術として特に優れた点はない。日本で開発されたガス化溶解にも、注目が集まっている。ガス化も、従来から行われているもので、新規性はない。[5][9]
		○	↑	1999 年の埋立指令によって、有機物の埋立量を削減することが必要となっている。当初は MBT (機械的生物的前処理) が注目されたが、焼却、有機物のバイオガス化、可燃物の熱分解ガス化などが現実的なオプションとなりつつある。これらは個々には新しい技術ではないが、埋立を中心として現実的システムを作り上げるとの総合的コンセプトは、日本も見習わなければならない。
	産業技術力	◎	↑	埋立指令によって有機物の資源化・処理が急務となり、現実のシステム化に進んでいる。独自性はそれほどないものの、実施施設建設が多いとの点で、またいくつかの方法を並行して利用している点で競争力は高い。
		○	→	埋立地の好気化技術、埋立地表面でのバイオフィルタによるメタン酸化の適用、あるいは産業化とは異なるが安定化判定の法制化など、現実社会への研究の寄与が見られる。温暖化対策のため、埋立指令にメタンガス回収を含める作業を研究者レベルで進めている。
中国	研究水準	×	→	焼却は高コスト技術であるため実験的研究は限られている。おそらくは大学における研究資金不足のため、炭化、ガス化などの熱分解特性に関する研究や、堆肥化の研究は多いが、内容に新規性はない。
		×	→	廃棄物は水、大気、有害化学物質につづく環境問題であり、廃棄物のみを専門とする研究者は少ない。埋立地調査、浸出水処理などは、日本で一昔前に行ったような研究が多い。海外における研究の情報入手が難しいことも原因となっていると思われる。研究のレベルは高くない。[10]
	技術開発水準	△	→	中国本土には約 80 の焼却施設があるとされるが、東部の都市域に限られており、中国全土としては大部分が埋立である。焼却の国産技術が開発されているかどうかについては、確かな情報がない。資源化には発生源での分別が必要となるが、ごみも未回収のまま放置されている場合も多く、高度な技術を利用できる段階にない。[11][12]
		×	→	近代的な衛生埋立地も建設されているが、東部の都市域に限られている。国産技術開発の有無は不明であり、海外技術の利用と思われる。中国全体としては大部分がオープンダンプであり、その実態も明らかではない。
	産業技術力	×	→	中国にはまだ水の汚染、大気汚染、有害物汚染の問題がある。それらと較べれば廃棄物の優先順位は低い。また政府主導で行われることが多いため、産業としての中間処理は未整備である。
		×	→	廃棄物処理は政府が中心として行っており、産業としては発達していない。

(註1) フェーズ [ 研究水準 : 大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準 : 企業における研究開発のレベル、産業技術力 : 企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎ : 非常に進んでいる、○ : 進んでいる、△ : 遅れている、× : 非常に遅れている ] \*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↑ : 上昇傾向、→ : 現状維持、↓ : 下降傾向 ]

韓国	研究水準	△	→	韓国の廃棄物資源循環学会は年2回の研究発表会を開催し、日本の研究発表会にも50人規模で参加している。しかしその発表内容は、汚泥、畜産廃棄物、鉱さいなどの特定廃棄物、メタン発酵、セメント利用、熱分解などさまざまであり、新規性、先進性などの点で目を引くようなテーマは見当たらない。熱処理についてはエネルギー技術としてのラボ、ベンチスケールの研究は行われているが、廃棄物処理としての実証的研究は少ない。国際会議での発表も少ない。[1][9]
		△	→	埋立に関する研究者層は日本と同様に薄い。しかも埋立を専門とする研究者が大変少なく、国際的に問題となっている安定化の促進、安定化の判定などの研究を行い、議論に参加する研究者はほとんどいない。[2][3][4]
	技術開発水準	△	→	埋立を中心としてきたため、熱処理、生物処理に関する技術開発は遅れている。
		△	→	生ごみ資源化による有機物低減、公園等への積極的跡地利用などは、日本より優れており、資源化、跡地利用など、目的が明確となった際の国としての統率の強さを表している。しかし埋立に関しては、埋立地構造、維持管理、埋立終了後管理など、工学的な埋立技術面では見るべきものがない。
	産業技術力	○	↑	韓国の強みは、国全体が方針づけを行って社会を誘導する点にある。最近では、有機性廃棄物の資源化が国をあげて進められており、産業技術としての進展がみられる。
		△		バイオマスの有効利用として、生ごみの資源化を国として進めているが、欧州における生ごみの資源化の目的である埋立地安定化促進のためではない。埋立技術としての、産業技術力はない。
<p>全体コメント：</p> <p>(中間処理) 欧州では、1999年の埋立指令によって埋立地から有機物を排除することが必要となり、バイオマス系廃棄物のRDF化、バイオガス化、熱処理によるガス化の研究が数多く行われている。それぞれの技術は新規性があるとは言えないが、具体的なシステムとして作り上げようとする大きな動きがある。韓国も技術開発の点では劣るが、有機性廃棄物の資源化を積極的に進めている。日本は従来型の焼却、ガス化熔融などの開発において先進的であるが、その採用は自治体に任されており、ダイオキシン問題が一段落したあとは研究も開発も減速してしまった。日本は焼却、熱処理に高い技術力を持ち、現在の欧州には大きなビジネスチャンスがある。これまでの技術と経験の蓄積を生かす好機であり、国内市場志向から脱却して積極的なPRが必要と思われる。新技術開発には時間がかかる。低炭素化、資源循環は今すぐに対応しなければならない課題であり、既存技術を如何に使うかが重要である。いま求められているのは、発生から利用までを含む、また経済性や社会性を考慮した、既存技術を最大限に利用した「社会システム」を作り上げることではないかと思われる。</p> <p>(最終処分) 欧州は、埋立を長く処理の中心としており、その管理が長期化することを避けるために2000年以降、有機物の資源化、埋立前処理を積極的に目指している。すなわち、収集から中間処理、埋立を含めてひとつの「廃棄物処理システム」としてとらえ、総合的対策を取ろうとしている。メタンガス回収を埋立指令に加える作業も進めており、温暖化対策においても大変進んでいる。一方、日本は水処理、埋立工法など個別技術については進んでいるものの、例えば焼却灰埋立地に生物処理を設け、農村部に景観を考えた屋根付き処分場を建設するなど、ちぐはぐさが目立つ。優れた技術を生かすには、廃棄物処理の中に埋立処分を位置付け、その役割を理解することが必要である。</p>				

(註1) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]  
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註2) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(参考情報)

- [1] 廃棄物資源循環学会講演論文集 (第20回、第21回)、2009、2010.
- [2] IWWG (International Waste Working Group) ホームページ.
- [3] The 6th Intercontinental Landfill Research Symposium, Kiroro, Hokkaido, June8-12, 2010.
- [4] 廃棄物資源循環学会講演論文集 (第20回、第21回)、2009、2010.
- [5] IWWG (International Waste Working Group) ホームページ.

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

- [6] E.S.Btarseh et al., Sustainable disposal of municipal solid waste: Post bio-reactor landfill polishing, *Waste Management* 30, pp.2170-2176, 2010.
- [7] J.W.Levis et al., Assessment of the state of food waste treatment in the United States and Canada, *Waste Management* 30, pp.1486-1494 (2010).
- [8] *Waste Management*, March 2009 ~ February 2010.
- [9] 3rd International Symposium on Energy From Biomass and Waste, VEN-ICE2010.
- [10] *Waste Management*, March 2009 ~ February 2010.
- [11] N.Themelis & Z.Zhang, WTE in China, *Waste Management World*, 11(4), August 2010.
- [12] National Bureau of Statistics of China ([www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/yearlydata](http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/yearlydata)).

### 3-3. 注目すべき動向

#### 循環資源の利用

バイオマス、非金属鉱物などの分野で、大量に発生する循環資源の利用においては、需要に応じた技術の開発、適用が特に重要である。バイオマスについては、日本では現場の実態やニーズと研究開発の方向性にやや乖離が見られることが指摘されており、農業との連携なども含め、地域適合性を重視したシステムづくりが課題である。非金属鉱物分野では、品質管理技術なども含め、日本の技術力は高い水準にあるが、社会の成熟に伴う公共事業の減少などにより、需給バランスが崩壊することが懸念されており、環境修復・創造型のリサイクル技術など、新たな需要拡大技術の開発が課題である。

従来、日本では、リサイクルは廃棄物の処理処分の低減手段という側面が強かったが、金属系の循環資源、とりわけレアメタルやレアアースなどの稀少資源を得るためのリサイクル技術は、目下、最も注目を集めている分野である。温暖化対策の面からも大量普及が期待されているハイブリッド自動車や電気自動車のモータに使われるレアアースをはじめ、資源セキュリティの観点からも、高度な回収システム、リサイクル技術の開発に期待が寄せられている。EUが効率的な資源利用に関する戦略を発表し、国連環境計画が、「持続可能な資源管理に関する国際パネル」において、資源利用のライフサイクルにおける環境影響に関する科学的知見の蓄積を進めるなど、資源の効率的・循環的な利用に対する国際的な関心も高まっている。なお、いわゆる E-waste の国際流通に伴う環境汚染への懸念に見られるように、物質のもつ資源性と有害性の二面性には注意が必要である。

アジアの新興国では、廃棄物の適正処理技術の普及が今後の重要課題に浮上すると考えられるが、この分野で技術の海外展開を図れるかどうか、日本のこの分野の技術力の維持、向上にとっての重要な鍵である。

#### 非金属鉱物系循環資源リサイクル分野におけるアジア諸国への技術展開

これまでの非金属鉱物系循環資源リサイクル分野は、それぞれが国内問題、国内市場に対してアプローチする傾向が強いことから、国際間競争もほとんどない分野であった。そのような中で日本は、各種の制約下で高度な技術力を有している。特に、セメント原料化技術に秀でており、1トンのセメント製造当たり 450kg もの廃棄物・産業系副産物（燃料となるものを含む）を利用しており、塩素や重金属などを低減する技術を含む品質管理技術は特筆できる。その他にも、省資源化や様々な循環資源のリサイクルには高い技術力を有している。本分野の技術力の高さは、日本の土木分野におけるものづくりの技術力の高さに源泉があると考えられ、土木技術分野や社会資本整備の分野における特許出願状況からも相対的に日本の技術力が高いことが明らかである。

今後は、これらの産業技術力をアジア新興国に展開していくことが日本の役割であり、国益にも繋がるが、現時点ではそれぞれの国で日本の高い技術力が要求されていない。経済発展は著しいものの、日本の省資源、省エネルギー、環境保全型の技術を必要とするほどの社会的成熟がいまだない中では、社会システムづくりとパッケージ化した技術システムの導入が必要であるとともに、アジア域での標準化戦略が重要である。

## 非金属鉱物系循環資源の環境修復・創造型リサイクル技術

非金属鉱物系循環資源の主要なモノとして、コンクリートガラ、アスファルトコンクリートガラ、建設汚泥などの建設系廃棄物・副産物、鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、石炭灰などの産業系副産物、ばいじん、燃え殻、ガラス・陶磁器くず、廃石膏ボードなどがあげられる。主なリサイクル用途は、直接的な建設資材としての利用と、セメント原料としての利用であるが、日本においては人口減少社会における公共事業の減少、それに伴うセメントや骨材等の資材需要の低下によって、リサイクル材料への需要も少なくなってきた。将来的には、社会インフラの更新に伴い廃棄されたがれきが増加し、さらに産業系スラグなどの副産物は今後も発生することから、非金属鉱物系循環資源の需給バランスは崩壊することは必至である。この傾向は地域的にはすでに顕在化している。

このような社会状況の見通しの中で、非金属鉱物系循環資源の新たな需要拡大技術の開発が急務である。現在注目されているのは、過去の国土開発において生み出された負の遺産、すなわち港湾・沿岸域の浚渫窪地や、亜炭鉱跡など鉱物資源採掘跡、防空壕跡の地下空洞の充填材料としての利用である。浚渫窪地は貧酸素塊による青潮の漁業被害の原因であり、亜炭鉱跡等の地下空洞は陥没事故などに繋がっている。充填材として利用することにより環境修復型リサイクル技術となり、全国にこれらの窪地や空洞は膨大な容量があることから、画期的な需要拡大技術となる。研究開発要素としては、環境安全性が確保され材料としての物理的品質も確保された充填材の開発と、適切な充填施工方法の開発である。地下充填については、日本充填協会が業界団体として、技術開発や事業実績を有している。

他に、例えば鉄鋼スラグについては、大きな需要拡大技術として沿岸域での藻場再生に利用するための研究開発が進んでいる。スラグ中の鉄と他の材料中の腐植物質との相互作用により海藻の栄養分となる物質を生成、供給する技術として注目されている。まさに、生態系の環境創造型のリサイクル技術である。沿岸域の窪地充填や藻場再生については、新日鐵やJFEが共同で技術開発を行い、事業化を目指している。

以上のような環境修復・創造型のリサイクル技術の研究開発は、非金属鉱物系循環資源の将来の需要拡大に大きな展望をもたらす可能性があり、海外諸国にも展開できる新たな技術コンセプトになる可能性がある。

## レアメタルの製造およびリサイクル

日本は資源をほぼ全量輸入し、人件費やエネルギーコストなども高く、厳しい環境規制があるなど、レアメタルの製造やリサイクルについては、他国に比して数々のハンディを負っている。しかし、今なお世界的に見ても高い研究水準、技術開発水準、産業技術力を有している。

2010年9月に領土問題を発端とし、中国によるレアアース（希土類）の一時的な禁輸措置という事態が生じた。ほとんどの鉱物資源を輸入に頼る日本の資源戦略の脆弱性が露呈された。日本のように、ハイテク製品を生産する先進国にとっては、資源セキュリティという観点からも、レアアースをはじめとするレアメタルを長期的に安定確保することが重要である。環境に調和した高効率なリサイクル技術の開発も日本の技術力を活かした対応策の一つである。

ハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）などの次世代の高性能自動車には、

モータに大量の希土類磁石が使用される。そのため、レアアースの分野では希土類磁石などの製品からネオジムやジスプロシウムを回収するリサイクルプロセスの研究開発は注目すべき動向の一つである。白金、パラジウム、ロジウム、イリジウムなど、急激な生産量の増大が困難であり、価格の急騰が起こりうる白金族金属や、中国がレアアース以外にも世界生産量の大部分を占めているタングステンやアンチモンなど、供給が停止することによって、日本の産業が停滞してしまう産業上極めて重要なレアメタルに関しては、環境調和型の新規なリサイクル技術の研究開発動向は今後さらに注目すべきである。

また、廃電気・電子機器などの製品からのレアメタルの回収には化学的な分離・選別・濃縮技術だけでなく、物理的手法による製品の解体・破碎・選別技術も環境負荷の小さな資源リサイクルにおいて重要であるため、選別技術の基礎的な研究開発動向も重要である。

### プラスチックのリサイクル技術

プラスチックのリサイクル技術については、要素技術は成熟しており、世界的に大学や研究機関での基礎研究が大きく推進される状況ではない。新規技術は経済性や再生材品質の大幅な向上、あるいは社会的なインセンティブがない限り実用化が難しい。このため、要素技術の組み合わせに社会制度設計も含めたシステム化技術が求められている。電気電子機器では、含有化学物質への懸念から自産業界の水平リサイクル技術への指向が強く、三菱電機、キャノン、リコーなど各社で独自の技術開発が進む。

解析評価技術としてのライフサイクルアセスメント（LCA）は、日本の産業技術総合研究所安全科学研究部門や国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター、東京大学などの研究が世界をリードしており、リサイクルの有効性評価、技術やシステムの選択に利用され始めているが、対象システムの選択、地球温暖化以外の環境影響の定量評価など手法として未確立な面があり、一層の研究開発が期待される。社会からの信頼性を向上するためには、リサイクルルートの特レーサビリティを高める制度設計やリサイクル素材利用製品の安全性の観点からの含有化学物質管理技術、品質管理技術も求められる。また、中国を中心とする国際的な循環が進んでおり、相手国の制度変更や経済状況変動からも大きな影響を受ける。国際資源循環までを対象とした回収や分別、変換などのプロセス情報の不足が評価実施の障害となっており、情報収集や推定、蓄積技術についての国際共同研究も必要となる。

バイオマス由来プラスチックへの代替研究も基礎研究から実用化まで広く発展している。ポリ乳酸のようなバイオマス独自のプラスチックの研究に加え、バイオエタノールからのPETやポリエチレンなど汎用プラスチック製造技術の開発が急激に進み、特に新興国において実用化も進んでいることにも注目しなければならない。コカコーラでは2010年から植物由来原料を含むPETボトルを世界中に投入し始め、ブラジルでは、ブラスケン社によるバイオエタノールからエチレンを製造する20万t/年の商業プラント運転が2010年9月に始まっている。

### 廃棄物の埋立

埋立は、廃棄物の投棄から始まる最も単純な処理方法である。しかし安定化までの時

間が他の処理と較べて圧倒的に長く、安定化が遅れると長期の環境リスクの恐れがあり、管理費用が増大する。すなわち、埋立のよさは環境リスクとコストによって測ることができる。

現在、欧米の最大の関心は安定化の促進、安定化の定義と評価、そしてメタンガス排出量削減である。安定化促進に関して米国では、埋め立て地全体を巨大な装置とみなし、空気、水分を制御することで安定化を促進する「バイオリクター」が研究開発の中心となっている。これに対して、欧州では生ごみをはじめとする有機物を埋立物の分別あるいは前処理によって低減する方向をとっている。そのため、バイオマスの資源化、エネルギー回収を並行して進めている。米国が旧来の生ごみ埋立を変えないのに対し、欧州はごみの処理システム全体の見直しにつながり、これが今後の埋立の主流になると考えられる。

日本は長い分別の歴史をもち、可燃物の焼却、不燃物の埋立を行ってきた。欧米では従来の嫌気性埋立から有機物分解速度の大きい好気性化に向かっているが、日本には1970年代から自然対流による準好気性埋立を採用してきた。欧米に提供できる経験、知識があるにも関わらず、海外ではよく知られていない。それどころか設計者や管理者の知識不足のために、準好気性埋立が十分な機能を発揮していないことも明らかとなっている。また屋根付き処分場が考案されているが、埋立物の選択、維持管理方法の決定に、理屈が伴っていない。準好気性埋立を中心とした廃棄物処理システムの選択・構築を緊急に行わなければ、好気性化においても欧米に先を越されることになる。

## 4. 自然生態管理分野

### 4-1. 概観

6つの中綱目（生物多様性の観測・評価・予測、生態系観測・評価・予測、陸域管理・再生、陸水管理・再生、海洋管理・再生、野生動物管理・復帰）において、米国が圧倒的優位を誇っている。この状況は、ここ数年変化していない。この優位性の背景には、以下の要因がある。

- ① 多くの州立大学が博物館・野外観測ステーションなどをもち、研究者数と研究インフラの点で他国を凌駕している。
- ② 国際的拠点研究機関としての博物館・植物園・海洋研究所などを国内に持ち、これらの研究機関が海外に研究拠点を展開して全球的な観測ネットワークを維持している。
- ③ NSF（National Science Foundation）を中心に、大規模で組織的な研究開発投資を行い、大学や研究機関による全球的な研究を戦略的に支援している。
- ④ 巨額の研究資金を持つ民間財団が、生物多様性・生態系研究に継続的な支援を行っている。
- ⑤ 米国同様に高い研究水準を持つカナダと隣接し、協力関係にある。

NSFが行った組織的・戦略的な研究開発投資の例を以下にあげる。

- ① 長期生態観測ステーション（LTER：Long-Term Ecological Research）の整備に組織的な投資を行い、全米に26のLTERを確立した。これらのステーションは、世界的なLTER観測ネットワークの核となっている。
- ② DNA配列による全生命体の系統関係決定をめざすプロジェクト（ATOL：A Tree of Life）に継続的な投資を行い、生物多様性観測の基盤整備において世界的リーダーシップを確立した。
- ③ 野生動物感染症の生態学的研究を生物学領域におけるフロンティア領域（Emerging Frontiers）として位置づけ、戦略的な投資を行った。Ecology of Infectious Diseaseには2000年以後、60件の研究プロジェクトに対して、4552万4359ドル（52億3530万円）の研究助成が実施された。

さらに米国では以下の組織的研究開発投資が進行中である。

- ① NEON：National Ecological Observatory Network（<http://www.neoninc.org/>）  
気候変動・土地利用・侵略的外来種などによる生態系の変化を大陸スケールで観測する包括的な研究開発プログラムである。衛星観測やIT技術を駆使した自動観測に巨額の投資が計画されているため、しばしば“the Hubble telescope of ecology”と呼ばれる。従来のプログラムよりもはるかに大きな研究規模・投資規模に対して、2006年のNature誌に批判的記事が掲載された。しかしその後の研究計画のレビューを経て、より現実的な計画へと修正され、2011年から本格的な研究開発投資が開始された。62の観測サイトにおいて、2016年までにインフラ整備に集中的な予算（総額4億3372万ドル＝約390億円）を投入する。その後30年間にわたって長期観測

が実施され、IT技術によりデータが毎日回収される予定である。NEON計画の推進によって、米国の優位性はさらに強化されるものと予想される。

## ② The iplant collaborative

気候変動・土地利用・人口増加などが植物の成長や植生に与える影響を評価するための研究プログラムであり、植物科学と計算機科学・情報科学の統合を目標としている。NSFは2008年に、アリゾナ大学を中心とする研究チームに5000万ドルを(約45億円)投資すると発表した。NEONが大陸規模から地球規模の生態系変化の観測を目標としているのに対して、The iplant collaborativeは植物の個体や群落レベルの成長のモデリングを通じて生態系の変化を予測するボトムアップアプローチを採用している。いずれもサイバーインフラストラクチャーの整備に重点的な投資を計画している。

## ③ Dimension of biodiversity

地球上の生物多様性の記述を革新しようとする研究プログラムである。ゲノム科学などの最新技術を用いて、微生物を含む未知の生物の発見・記述、生物の系統関係の解明を進めることを目標としている。NSAは2010年に、2000万ドル(約18億円)を投資すると発表した。

欧州では、EU統合後に多国間協力体制の整備が進み、米国に次ぐ優位性を確保している。特に外来種管理や生物資材(特に天敵)の研究技術レベルは米国を凌駕し、世界をリードしている。米国が中南米に主要な観測ネットワークを持つことに対し、欧州はアフリカに主要な観測ネットワークを持つ。さらに、アジアにおける調査研究にも、米国・オーストラリアとともに参画している。

中国では、米国などから帰国した30～40代の研究者が教授となり、米・欧に職を持つ中国人研究者と緊密に連携し、研究水準の向上に努めており、近年の研究水準の向上はめざましい。分類学研究の基盤が強く、すべての州で植物誌が整備されている。このような基盤のうえに、米国NSFと中国NSFC(National Natural Science Foundation of China)が連携して、Tree of Lifeプロジェクトを推進する動きがある。また、自然再生事業や野生動物復帰事業なども政府主導で積極的に展開されている。フラックス観測など、生態系観測のネットワークも国家事業として推進されている。現時点ではさまざまな分野で日本がリードしている状況だが、次の10年間には飛躍的な発展が予想され、日本の優位性がゆらぐ可能性がある。

韓国では、韓国環境研究所が外来種のデータベースを構築し、韓国情報センターが地球規模生物多様性情報機構(GBIF:Global Biodiversity Information Facility)に参加しデータの収集を行っている。これらに加え、生物多様性に関する国立研究機関NBIR(National Institute of Biological Resources)が2007年10月に設立された。さらに2012年に向けて国立生態学研究所の開設準備が進められている。今後の研究開発の核になると考えられる。また、合衆国のNEONに対応するKEONプロジェクトが計画されている。

日本は、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレーターを活用した予測評価など、戦略的な研究開発投資を行った分野では、国際的競争力を持っている。しかし、生物多様性変動の観測・評価技術に関しては、米国や欧州の投資が先行し、日本は大きく立ち後れている。上に例示した3分野は、生物多様性変動の観測・評価において戦略的重要性を持つが、

日本の現状は、中国と大差ない水準と言わざるを得ない。対策技術開発の点では、砂漠緑化、森林再生などにおいて、中国を含むアジア諸国に技術支援を行なってきた。しかし、世界的にリードしていると言える状況にはない。アジア諸国における海外学術調査は大きな成果を残してきたが、継続的な研究を可能にする海外研究拠点の整備や、ネットワーク化の点では、米・欧の水準には及んでいない。たとえば世界の熱帯林観測拠点ネットワークは、スミソニアン研究所とハーバード大学によって整備・維持されおり、日本が関わるアジアのいくつかの森林観測拠点はこのネットワークへの個別的貢献にとどまっているのが現状である。

ただし、環境省環境研究総合推進費において戦略研究開発領域として「アジア規模での生物多様性観測・予測・評価に関する総合的研究」が設定され、平成23年度から5年間、毎年3億円規模の研究開発投資が行われる。これは生物多様性分野で日本初の大型プロジェクトである。森林減少を含む生物多様性損失が急速に進行している東南アジアを対象に、生物多様性変動の観測・評価技術開発が大きく進むことが期待されている。

野生動物管理・復帰の分野では、外来種管理と野生生物感染症研究において、特に遅れが目立つ。日本では、欧米ほど外来種による産業被害が発生していないため、生態系における侵略的外来生物の拡大に対して有効な管理・対策技術の開発が遅れている。遺伝子組換えナタネや外来病原体（サカゲツボカビ症など）に対する管理・対策技術すら、初歩的段階にある。また、日本はクズやイタドリ、クリの胴枯れ病菌など、侵略的外来生物を欧米に送り出している「供給大国」でもある。これらの外来生物の中には、海外で新たな進化を遂げて日本に再侵入したと考えられる系統も見つかっている。これらの侵略的外来生物に関して国際的な研究ネットワークを整備することは日本の国際的責務と言えるだろう。上記のTree of Lifeプロジェクトや、欧米を中心に推進されているDNA barcode計画は、外来生物の同定・モニタリングに対して強力な基礎を提供している。しかし、この分野での日本の貢献度はきわめて小さい。

日本の強みとしては、市民による観測ネットワークがあげられる。特に野生植物に関する観察ネットワーク、外来種に関する監視ネットワーク、鳥の野外観察ネットワークは、世界に誇れる水準である。米国では大型研究費に依拠したアウトリーチ活動に力を入れ、「市民科学者」の養成に努めているが、日本の「市民科学者」の層の厚さと専門的水準は、米国を凌駕している。一方で、森づくり活動など、市民レベルの自然再生への努力も盛んだが、しばしば科学的裏づけが弱いという問題がある。自然再生を含む自然生態系管理においては、的確なモニタリングを行いながら順応的管理を行っていく技術が必須である。「市民科学者」が広く利用可能なモニタリング技術（フィールドサーバによる観測技術、利用しやすいGISソフトなど）の開発を推進すれば、日本の強みを生かした自然生態系管理が発展するだろう。

日本ではまた、大学の演習林・臨海実験所・水産実験所など、公的なフィールドステーションが多数あり、その密度は欧米を凌駕している。また、一級河川に関しては、国土交通省による光ファイバーケーブルが整備されつつあり、河川環境の継続的観測をネットワーク化するためのインフラ整備が進んでいる。これらのインフラを管理主体の垣根をこえてネットワーク化し、市民にも利用できる形で地域の自然生態系管理に活用することは、特に重要である。



## 4-2. 中綱目ごとの比較

### 4-2-1. 生物多様性の観測・評価・予測技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	世界的に発展しつつあるマクロ生態学的なアプローチは日本国内でも広がりつつあるという段階。世界をリードしているとはいえない。多様性観測ネットワークは、研究者主導の JaLTER、J-BON、環境省事業のモニタリングサイト 1000 などの仕組みが動いているが、その成果を生かした研究は今後期待する部分が多い。DNA バーコーディング等、遺伝情報にもとづく多様性把握に関しては、国際的なネットワークの一員として役割を果たしている。
	技術開発水準	△	→	地域ごとの観測データのネットワーク統合など、技術的なインフラの基盤はあるが、具体的な実装はまだ充分ではない。衛星観測等のリモートセンシング技術は、地球観測技術衛星「だいち」などの取り組みなどがあるが、全体として世界の中で先進的とは言えない。各種遺伝マーカー開発は一定レベルにある。
	産業技術力	△	→	特に生物多様性観測に特化した産業技術は想定しにくい。リモートセンシング一般、GPS/GIS 関連技術、バイオテクノロジー、医学・薬学、農林水産業等との関連での DNA バーコーディングなど、他分野で活用される技術が生物多様性観測に生かされるという構造が中心だろう。
米国	研究水準	◎	↑	生物多様性観測データのマクロ生態学的な解析手法の研究は進んでいる。長期の生態観測 (Long Term Ecological Research) を、安定した予算措置を土台として展開している。個々の観測サイトでの観測項目は必ずしも統一されていないが、それぞれのサイト内でのデータ共有等は進んでいる。
	技術開発水準	◎	→	リモートセンシング技術に関しては、軍事技術と密接な関係にあり、最先端レベルである。NASA が開発した MODIS 放射計のデータは生態系観測目的でも世界で広く利用されている。GIS システムは、米国 ESRI 社の ArcGIS が世界トップシェアを占めている。遺伝子関係では、カナダがセンターとなって DNA バーコーディングの情報集積が進んでいる。DNA から種の同定が可能となるよう、種ごとの遺伝子情報を集積するもの。
	産業技術力	○	→	生物多様性観測に特化した産業技術の需要は限定的だが、生物資源の利用と結びつく分野 (遺伝子資源など) では高い産業技術力がある。
欧州	研究水準	◎	↑	保全生態学の研究が活発。博物学的な関心に基づく長期の自然誌観測データの蓄積があり、これを生かしたトレンド解析が行われている。一部では 100 年を超えるデータ蓄積もある。生物多様性の将来予測・シナリオ分析に関する研究が盛んに行われている。 ※米国、欧州のほか、オーストラリアも多様性データの解析手法の開発の点で秀でている。
	技術開発水準	◎	→	衛星によるリモートセンシングでは、ドイツなどが高いレベルの技術をもっている。また、野生動物の空間移動の追跡・解析技術で高いレベルにある。人工衛星を介して地上からのデータを収集・配信する ARGOS システムは、米国の NOAA、NASA のほかフランス国立宇宙研究センターが中核となって構築された。ARGOS は海洋動物、渡り鳥を含め野生生物観測にも活用されている。
	産業技術力	○	→	生物多様性観測と結びついた産業技術としては、GPS テレメトリーの発信器、小型ロガーなどがある。
中国	研究水準	○	↑	まだ全域的な評価・予測を系統立てて行うような研究は展開されつつある。分類学的なアプローチが主だが、詳細な分布マップを作成する動きもある。データに基づく絶滅危惧種の剪定作業は今後待つのところが大きい。生物多様性の指標開発等の研究はまだそれほど盛んではないが、これから海外の研究者との協力等によりこれまでに蓄積されたデータを活用した研究が大きく進むことが考えられる。
	技術開発水準	△	↑	リモートセンシングに関しては、とくに生物多様性観測の観点からは、独自技術の発達は不十分。植生区画のために、NASA の MODIS のデータを使っているといった状況。しかし、軍事技術としての衛星観測は今後の成長が予想され、その波及効果も考えられる。
	産業技術力	—	↑	詳細は不明だが、今後、欧米からの技術輸入をベースに大きく展開する可能性は大きいと考えられる。

韓国	研究水準	△	↑	生物多様性観測にむけた体制作りは進んでいるが、生物多様性の総合評価・指標開発などの研究はまだそれほど盛んではない。
	技術開発水準	△	→	生物多様性観測技術で、とくに注目すべきものは発信されていない。
	産業技術力	—	→	詳細は不明だが、今後、欧米からの技術輸入をベースに大きく展開する可能性はある。
<p>全体コメント：                  生物多様性条約が求める戦略目標の達成度評価の観点からも、生物多様性評価のニーズは世界的に大きい。生物多様性の観測は、なんらかの技術が分野全体のブレークスルーとなるといった性格のものではない。そのなかで、高度な測定技術の活用が期待される項目のひとつはリモートセンシング、GISによる生態系の構造の把握・マッピングであるが、そこで得られる情報から生物多様性の状況を推定する統計モデル等と合わせることで、はじめて生物多様性観測に生かされる。また、DNAバーコーディングは移入種の検出、微生物の群集構造の把握などの場面での活用が期待されるほか、種の同定能力が研究推進の必須な要素となる基礎調査を補完することも期待される。これらの技術やデータは、国際的に共有する方向でさまざまな努力が進められている。将来的には、地域間の観測精度の違いは人間による直接的なデータ収集活動の密度の違いを反映したものとなる可能性もある。その場合、技術開発的な観点からはローテクとみられる部分の充実度が、生物多様性観測の厚みに繋がることになる。こうした活動の予算的基盤の重要性は当然だが、生物の同定能力などを持った人材のすそ野の拡充も必須の条件である。この点で日本はアマチュアを含めて高レベルであったと言えるが、次の世代への継承が充分におこなわれていない懸念がある。この部分でハイテクが人間にとってかわることは考えにくい。</p>				

(参考情報)

- [1] International barcode of Life Project <http://ibol.org/>
- [2] 日本バーコードオブライフ・イニシアティブ <http://www.jboli.org/>
- [3] Long Term Ecological Research <http://www.lternet.edu/>
- [4] JaLTER <http://www.jalter.org/>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

4-2-2. 生態系の観測・評価・予測技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	陸域・沿岸生態系観測では、日本を中心に東アジア域も含めて研究組織間の観測項目の統一や、データベース化を目的としたネットワーク化が調査区レベル (JaLTER モニ 1000、JapanFlux)、研究者レベル (J-BON、AP-BON) で動きだした。今後これらの枠組みに基づいた広域の生態系変動についての研究とモニタリングが発展することが期待される。気候変動モデルとの結合可能な植生変動モデル (VISIT、SEIB-DGVM など) が独自に開発され、その普及も進んでおり、IPCC-AR5 への貢献が期待されている。 IPCC AR5 への貢献に向けた気候変動研究と並行して、その生態系への影響研究が進んでいる。北太平洋亜寒帯域を対象に開発された NEMURO モデルは広く認知され、さらに改良、開発が進んでいる。
	技術開発水準	◎	↑	2006 年より運用の衛星 ALOS は光学、合成開口レーダーを持ち、地上部バイオマスの推定などが行われている。CO <sub>2</sub> 観測衛星 GOSAT はアメリカが類似衛星 OCO の打ち上げに失敗する中、唯一の 二酸化炭素収支のモニタリング衛星として技術的優位な状況にある。地球シミュレーターや次世代スパコンなど大型計算機の導入により、気候モデルとカップリングしたより、高い時空間解像度のシミュレーションが可能になってきた。 海洋生態系モデルは、全球 1/10 度に加え、北太平洋 1/30 度のモデル開発が進み、メソスケールからサブメソスケールの生態系変動のシミュレーションが可能になってきた。
	産業技術力	◎	→	測量会社を中心に衛星データの活用が試みられているものの市場規模は小さい。また画像解析や GIS など関連する既製ソフトウェアも有償・無償のものともに、国産のものは少なく、主にアメリカで開発されたものを利用している。今後、精密な地域モデルを複数開発を見据え、高速で大型計算機開発とともに、低コストシステム開発への産業界の積極的な参加を呼び込めるような環境になる必要がある。
米国	研究水準	◎	↑	生態系観測を生態学だけでなく気候・水文などと合わせて米国内の観測ネットワーク形成とデータベース化を目指す NEON が進んでいる。 衛星による新しい生態系観測手法の開発・応用研究などで世界をリードしている。2010 年には NASA が衛星 ICESat に搭載のレーザーレーダー (Lidar システム) などを用いて全球の森林高の地図を発表した。炭素循環モデルに関しては、NCAR、メリーランド大、NASA GISS、University of California, Berkeley など中核となるグループが多数あり競い合い高い水準を保っている。 WHOI、NCAR、NOAA/PMEL、プリンストン大など海洋観測、モデル研究が活発に進められている。International Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP) など国際共同プロジェクトで主導的役割を果たすなど世界をリードしている。2010 年より 1500 万米ドル規模で NSF による海洋酸性化研究が開始されることもあり、今後さらなる発展が予想される。
	技術開発水準	◎	↑	NASA の衛星 MODIS を始め広域の生態系観測が可能な衛星開発が継続的に行われている。特筆すべき衛星として森林の樹高を衛星から直接観測できる ICESat が運行中 (上述) でありまた、LiDAR と L-SAR を兼ね備え、地表面の変化を高分解能でモニターできる衛星 DESDynl も打ち上げ検討中である。
	産業技術力	◎	↑	生態系観測ではないが、Google やマイクロソフトの Bing など生態系観測に活かせる産業技術がある。画像解析 (ENVI、ERDAS)、GIS (Arc、GRASS) などのソフトウェア開発も進み、世界標準となっている。USGS、U-Marylandなどを拠点に、多くの衛星画像とそのプロダクトの一部無料配布がなされていることも、関連した研究、産業の促進に役立っている。

欧州	研究水準	◎	↑	欧州連合内の観測ネットワーク EBONE が 2008 年から動き出し、ESA や JRC を中心に欧州各国の共同研究を通じて生態系関係の衛星プロダクトを作成している。オランダのチームにより、日本の ALOS-PALSAR データを用いた熱帯林広域の高解像度土地被覆分類研究 (SarVision) が進んでいるが、地上検証点が少なく改善の余地は大きい。ハドレーセンター、MPI、LSCE などの中心機関が互いに競争している上に人材交流も盛んである。IPCC など関連する国際会議も欧州が中心になることが多く研究水準は高い。 UEA, CNRS など海洋生態系モデル研究は活発であり、国際共同プロジェクト MAREMIP (MARine Ecosystem Model Intercomparison Project) を先導している。欧州共同の海洋酸性化研究計画 (EPOCA: European Project on Ocean Acidification) が進行しており、高 CO <sub>2</sub> 環境の生態系実験など研究が活発に進んでいる。
	技術開発水準	◎	↑	フランスの SPOT やドイツの TerraSAR など生態系観測に応用可能な国際的に評価の高い衛星が存在する。2010 年には TerraSAR の二号機が打ち上げられステレオ視が可能なタンデム運用となっている。 国立研究所が研究グループに大学院生を受け入れ、指導と研究推進を行うことで、さまざまな空間スケールのシミュレーションを同時平行で進めることができ、技術的な蓄積も大きい。
	産業技術力	◎	↑	SPOT Image 社など、衛星データの応用解析を専門とするコンサルタント会社が存在する。
中国	研究水準	○	↑	生態系観測に関する研究論文の発表件数は極めて多い。また質の高い研究も有力大学や研究所で行われている。 中国科学院、北京大学を中心に研究者の数が大きく増加している。現時点ではまだ予測研究に関しては、研究蓄積も多くなく、その水準も高いとはいえないが、研究予算も増加傾向にあり、今後の向上が予想される。 東シナ海など中国周辺海域や太平洋での観測研究 (SEATS、NPOCE) が盛んであるが、グローバル規模のモデル研究は少ない。
	技術開発水準	○	↑	国家をあげての大型計算機の開発の急進にともない、数値実験を用いた予測研究分野でも今後確実に研究水準の上昇が見込まれる。
	産業技術力	○	↑	上に同じ
韓国	研究水準	△	→	衛星による生態系観測分野の学界規模は小さい。生態系モデル研究についても、予算、人材とも豊富とは言えず、研究対象の幅もまだ小さい。しかしながら、国際会議の開催や、観測ネットワークへの参加など、積極的な姿勢はうかがえる。
	技術開発水準	△	→	自前の衛星を持つものの、そのハード開発は他国の技術に依存する部分が多い。また計算機システムなどについても、独自開発はなされていない。
	産業技術力	△	→	
<p>全体コメント：</p> <p>人工衛星による生態系観測技術および研究レベルでは米国がリードし欧米が続くといった状況である。日本は、ハード開発の優位性に比較して衛星データの解析技術や応用研究に関しては遅れが見られる。また、日本は発表論文数が欧米や中国に比較して少ない。</p> <p>生態学、生態系科学という共通した対象を持つ観測ネットワークは先進国を中心に、国内・国際ネットワークが発展してきた (LTER 系、Fluxnet 系など)。一方近年は衛星観測を基盤技術とし、共通の時空間スケールを共有する気候、災害も含め多研究分野にまたがる観測ネットワークの発展が著しい (GEOSS 系)。生態系、生物多様性の劣化への意識の高まりにあわせ、生態系この両者の相互を補完し結びつけるネットワーク構築が GEO-BON とその地域組織 (JBON、AP-BON、EBONE など) が 2008 年ごろから始まった。しかし、これらの動きに伴い増加する作業は現状では研究者がすべて担っているが、今後はこの流れを持続的にサポートするような事務職、技術職を含めた人員の増加が不可欠となる。</p>				

(注 1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(注 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

4-2-3. 陸域管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	個々の対象生態系の保全、種の保全生態、森林の施業や管理、リモートセンシングなどに関する個別の技術の研究レベルは高い。景観レベルの管理やデザインなど総合的な研究、あるいは戦略アセスメント、生物多様性オフセットなどの研究も進んできたが、まだ本格化していない。病害虫のメカニズム解明技術は高いが、総合防除などの体系化はまだできていない。森林を利用した温暖化緩和策の研究は進んだが、適応策に関しては実質的には進んでいない[1]。
	技術開発水準	○	↑	緑化工、ビオトープ造成や造林などの技術開発力はあるが、総合的な生態系デザインや生態系アプローチ、戦略アセスメントなどの技術開発は後追的。自然再生法により、順応的管理手法や実践的技術開発が進んできた[2]。生物多様性オフセットの導入も議論されているが、そのための技術的開発はまだ限定的。大型野生生物の農業被害が広がり、対策の研究は進んだ。病害虫制御についても、研究は進んだものの、総合防御には必ずしも成功していない。
	産業技術力	◎	→	造園・造林・緑化技術、人工土壌、乾燥地の給水システムなどの個々の技術では競争力があり、途上国などでも適用例が多い[3]。土着植物の供給技術、自然力を生かした緑化技術、菌根などを利用した再生などは最近発展中。造林樹種や緑化樹木の造林技術は高い。
米国	研究水準	◎	↑	リモートセンシングやGISを使った広域の生態情報の把握と統合、生態系アプローチ、生態系サービスの評価、など多くの分野で先端的なアイデアと研究を生み出し、発展させてきた。生態系モデル、侵入生物管理、動物や菌根菌などの共生関係を利用した技術が発達している。気候変動などの影響予測なども世界的にリードしているが、温暖化適応に関しては基礎的研究にとどまる[4]。また、アマゾンをはじめ中南米の熱帯研究が強い。
	技術開発水準	◎	↑	基礎的研究の成果を統合して、流域単位での生態系管理、ミチゲーションなどのシステム構成や具体的な技術として開発する能力が高い。とくに、生態系サービスを評価してデザインを行うInVESTの開発により、政策決定などに実用性のあるシステムができつつある[5]。生物多様性オフセットのための技術開発がほぼ完了しており、実際に運用されている。
	産業技術力	◎	→	大規模な開発や生態系管理、ミチゲーションなどのコンサルタントや計画・運営、ソフトウェア開発などで技術力が高い。ミチゲーションバンキングなども実際にマーケットとして機能している。
欧州	研究水準	○	↑	伝統的に森林や草地など管理技術が高いが、それを生かした生態系管理の基礎研究が多い。持続的森林管理、伝統的景観を含む生態系管理などの研究が進んでいる。特に、菌根菌など土壌微生物を利用した技術研究が進んでいる。温暖化適応に関する研究が急速に増えつつあるが、現段階では、基礎的研究が多い。
	技術開発水準	○	→	ビオトープや屋上緑化など都市域における生態系復元や生態系機能の利用技術で開発力がある。ヘルシンキプロセスなど持続的林業、環境に配慮した農業などの技術開発力は大きい。TEEBにより、生態系サービスの経済評価を大きく進めた[6]。生物多様性オフセットは何カ国かですでに実用レベルにある[7]。
	産業技術力	◎	→	ビオトープ形成技術、屋上および壁面緑化は産業として確立されていて、技術力が高い[8]。認証制度を背景にした持続的森林利用、木質エネルギー利用がさかんに行われている。
中国	研究水準	○	↑	リモートセンシングやGISを駆使した地域の環境の広域把握やそれを使った流域単位の生態系管理、地域計画手法などは、最近急速に発展している。生態系の保全、種の保全などに関する研究も進みつつある。温暖化の影響予測や砂漠化の研究も各国との共同研究で進みつつある。最近、都市の森林や緑地に関する研究が増加している。
	技術開発水準	○	↑	国土の緑化政策により急速な森林造成が行われており、それにとまなう技術開発が進んでいる。都市林、草原などの管理に関する技術開発が進んできた。米国で開発されたInVESTを導入し、生態系サービスを考慮した地域管理手法の開発を開始した。
	産業技術力	△	↑	まだ海外で開発された技術を転用している例が多く、国際的な競争力は大きくない。
韓国	研究水準	○	↑	リモートセンシングやGISなどの導入による広域の環境把握や計画などが急速に発展中。生態系保全などの研究もこれまで遅れていたが、急速に発展中。
	技術開発水準	△	↑	造林・緑化技術などの開発力は高くないが、湿原などの再生技術に関する開発も進んできた。
	産業技術力	○	→	伝統的な農林業技術からの環境造林、緑化は独自の産業技術をもっているが、国際的な競争力は強くないが、最近途上国援助なども行っている。

## 全体コメント：

米国は新しい技術を用いた大規模なアセスメントやその実行技術に強く、InVESTなどの生態系サービス評価ツールや生物多様性オフセット、自然再生技術などで他の国をリードしている。ヨーロッパは、伝統的な技術と都市環境のなかでの生態系復元が特徴的である。生態系サービスの経済評価に関しては、ドイツでのCBD/COP9前後で急速に進んだ。日本は造林や緑化、保全など個々の技術に強いが、広域での計画などが弱い。中国は米国の影響を急速に受けつつあるが、現在のところは独自の技術は弱い。とくに、GISを用いた計画や造林、都市林などは、政策的な理由から発展が速い。韓国は日本に似るが、この分野に関する技術開発に対する投資も人的資源も少ない。

## (参考情報)

- [1] 環境省地球温暖化影響・適応研究委員会．2008．気候変動への賢い適応ー地球温暖化影響・適応研究委員会報告書ー．環境省地球環境局研究調査室，パシフィックコンサルタンツ株式会社・地球環境部．340pp.
- [2] 日本生態学会（編）2010．「自然再生ハンドブック」地人書館．
- [3] 高見邦雄ほか 2005．特集「中国乾燥地における緑化技術とその将来」日本緑化工学会誌，30：617-631．
- [4] Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, A.A. Velichko, 2007. Ecosystems, their properties, goods, and services. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 211-272.
- [5] Daily et al. 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 21-28.
- [6] European Communities (2008) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Wesseling.
- [7] ten Kate, K. et al. (2004) *Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and Insight Investment, London, UK.
- [8] <http://www.greenroof.se/>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

4-2-4. 陸水管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	土木工学と生態学の連携は国際的にみても進んでおり、陸水域における応用生態工学分野の研究レベルは高い。しかし、日本語の論文が多く国際的な発信力が弱い。生態学・地形学の分野では研究者の絶対数が少なく論文数など欧米より少ない。ただし、近年国際的成果が増えている。
	技術開発水準	○	↑	計画などのソフト技術から、現場向け技術までレベルは比較的高い。ただし、水理・水文・水質に関わるモデルソフトは研究機関、コンサルタントが個別に作成し、意思決定や住民への情報提供に利用されており、汎用性が低い。近年、Common MPが開発されるなど汎用モデルを構築する動きが盛ん。ただし全体として、公共事業の縮小にともなう、開発意欲の減退がある。
	産業技術力	◎	→	多自然川づくりが33,000件を越えるなど、自然再生の計画・設計・施工のレベルは高い。環境ブロックなどの関連製品は充実している。ただし熟練技術者の退職による現場技術の低下や行政の多様化による技術系職員の技術力の低下など、技術の運用レベルでの問題が懸念される。現状では海外での展開は少ないが、今後国内市場の縮小にともない、海外展開が図られると考えられる。
米国	研究水準	◎	↑	国立研究機関・大学ともに研究者が充実しており、レベルは高い。特に1990年以降、自然再生事業の増加にともない研究事例も急増している。
	技術開発水準	◎	↑	研究・調査の市場が大きいため関連する企業数も多く、技術開発は盛ん。調査のハイテク機器、計画用のソフトウェアなどが強み。とくに工兵隊が公開している河川計画ソフトHECは、全米でひろく利用されているほか、海外でも広く認知され、活用されている。
	産業技術力	○	→	1990年以降、急増している自然再生事業は40,000件を越え、産業技術力は向上している。エバングレーズ湿地など大規模な再生の経験が豊富。一部で、マニュアル追従型の自然再生に批判もでている。
欧州	研究水準	◎	↑	EUの指令や予算が研究を促進しており、国立研究機関・大学を中心に自然再生に関連した研究、技術開発が盛んである。特に自然再生の効果に関する評価指標・手法の研究が多く実施されている。
	技術開発水準	◎	↑	EUの支援を後ろ盾に国際展開を図る気運も高く、国際競争力は高い。デンマークDHIのMIKEシリーズなど陸水管理の汎用ソフトウェアに強みを持つ。最近ではEUが主導し、OpenMIと呼ばれる水工系解析ソフトウェアの総合インターフェースも開発された。
	産業技術力	◎	→	英国HR WallingfordのInfoworks、デンマークDHIのMIKE、オランダDeltaresのDelftシリーズなどの、国際的に知られている河川系ソフトウェアが充実している。また、現場では自然素材を活用した水辺整備の伝統があり、自然再生現場での技術力は高い。科学技術と現場技術の融合が課題。
中国	研究水準	△	↑	水質問題と中心として、自然再生に関連した研究事例は急激に増えている。特に、湖沼における生態工学(Ecological engineering)に関連した研究事例が多い。
	技術開発水準	×	↑	海外技術追従型が多く、独自の開発水準はそれほど高くない。
	産業技術力	×	↑	都市部を中心に自然再生の事例が増えてきており、今後さらに産業技術力を強めていくと考えられる。海外技術追従型ではあるが、低コストが魅力で自然再生関連製品の材料供給、製造に今後大きな役割を果たす可能性がある。
韓国	研究水準	△	↑	陸水域の自然再生に関する研究事例は増えているが、絶対数は少ない。
	技術開発水準	△	→	海外技術追従型が多く、独自の開発水準はそれほど高くない。
	産業技術力	△	↑	ソウル市の清溪川の再生事例が有名であるが、その他にも河川、ダム湖などの多自然川づくり的な工法に関して、実施例もかなりある。緑化技術やコンクリートブロックなどの製品は充実しており、産業技術力は向上している。

## 全体コメント：

陸水域の自然再生は、1990年ころから急速に成長している分野。日米欧ではすでに実績が多く、今後ますます増える分野である。中国では、萌芽的な事例が都市部を中心に増えており、その結果が国際誌等へも掲載されている。今後かなりの拡大が見込まれる。韓国は、その中間に位置するが、ソウルの清溪川の再生や四大河川事業に関連し、技術開発・研究が盛んである。日本のレベルは高いが、産業構造が国内向けで国際競争力が課題。EUはこの分野での国際競争力を有している。

## (参考情報)

- [1] Nakamura K. et al. : River and Wetland Restoration : Lessons from Japan, Bioscience56 : 419-429, 2006.
- [2] 大橋信之ら：多自然型川づくりから多自然川づくり，リバーフロント研究所報告 18 : 58-63, 2007.
- [3] Palmer M. et al. : River Restoration in the Twenty-First Century : Data and Experiential Knowledge to Inform Future Efforts, Restoration Ecology 15 : 472-481, 2007.
- [4] 中村圭吾ら：ヨーロッパを中心とした先進国における河川復元の現状と日本の課題、応用生態工学 8 : 201~214, 2006.
- [5] 藤田光一ら：水理・水文・水質シミュレーションモデル・ソフトウェアの開発戦略に関する調査報告書、国土技術政策総合研究所資料 410, 2007.
- [6] Woolsey S. et al. : A strategy to assess river restoration success. Freshwater biology 52 : 752-769, 2007.
- [7] Li X., Zhang L. and Zhang Z. : Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the airport town, Shanghai, China, Ecological engineering, Vol.26, pp.304~314, 2006.
- [8] 全炳成：韓国の河川政策の変更と河川法の改正、河川 Vol.714, pp.64~67, 2006.
- [9] 近藤将史：韓国における都市河川の復元とまちづくり—清溪川復元事業—, 河川, Vol.712, pp.64-67, 2005

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ / : 上昇傾向、→ : 現状維持、\ : 下降傾向 ]

4-2-5. 海洋管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	底層貧酸素化抑制、サンゴ再生などの環境修復技術研究は最高水準 [1]。洋上風力・潮流発電は産学協同で研究 [2]。京大で提案した底生動物相国際調査プログラム NaGISA は世界に普及し、日本近海の生物多様性が世界一豊かであるという結果を出した。最高水準だった増養殖、漁具漁法の開発研究は保全との両立を図ることなく大学改組のため先細る。漁業管理は、知床世界遺産を例にボトムアップ型管理の有効性が認められた。
	技術開発水準	○	↘	海洋基本法を契機として生態学会、水産学会などが積極的に政策提言を開始し、自然再生技術も急激に進展。世界屈指の種苗生産技術は追従を許さないが、日本栽培漁業協会の組織統合により推進環境は急速に弱体化。海洋エネルギー関連は今後 CO <sub>2</sub> 排出抑制政策が加速。サンゴ礁・藻場・干潟、プランクトン分布の詳細な継続調査予算と体制が予算削減で存続の危機にある。マグロ完全養殖、里海など沿岸漁業の自主管理、まぐろ延縄における混獲防止技術研究なども世界が注目。
	産業技術力	◎	→	三番瀬、諫早、藤前など沿岸域の保全・管理の取組みがあるが、大規模な海洋保護区などの実績が乏しい。種苗放流事業を背景に国によって開発されてきた種苗生産技術は、マグロ畜養や多くの種類の養殖の発展に貢献しつつ、新たな環境問題も引き起こしている。東北地方の養殖ナマコは中国に高値で輸出されている。捕鯨産業は調査捕鯨に依存し流通に経済原理が働かず崩壊の危機にある。造船業、土木建築業、重工業、機器プラント産業の諸技術は世界最先端漁業では漁具企業の研究組織解体や企業自体の倒産が相次ぎ、従来からの技術資産の継承が危うい。
米国	研究水準	◎	↑	国際共同調査研究の主導権を取り、データベースを完備することで、世界中の知見を利用する体制を作りつつある。マグロ激減説など扇動的な成果も出されたが、その後見直しが進んでいる [3]。近年、海面養殖と標識技術の進展を背景に海産魚放流技術では 12 の研究課題を進行中。再生可能エネルギー関連研究は 10 年ほど停滞していたが、米国の温暖化政策転換により今後急速に進むだろう。生態系の保護、環境評価ならびに土木工事に関わる研究水準は非常に高い。
	技術開発水準	○	↑	米国でも放流事業の保全遺伝学的問題が指摘されている。自然環境、生態系の保護ならびに環境評価に関わる研究水準は非常に高いが、工学的に環境を修復する研究についてはあまり行われていない。半閉鎖系水域を中心に、人工サンゴの移植などサンゴ・藻場の保全・再生技術に関するさまざまな技術開発が進んでいる [4]。次々と取り上げられる環境問題、例えば混獲、海底生息場破壊などの問題に対して、迅速に対応する技術開発する能力がある。基礎的な部分は欧州など他での研究成果を用いるところも多い。
	産業技術力	○	→	ロッキード社がハワイ沖で海洋温度差発電 (10MW 軍事用) を計画。米国政府は養殖振興を計画しているが、環境団体は養殖や放流を批判し、技術革新の阻害要因となる恐れ。米国の造船業等海洋産業は未発達だが、カナダは企業も育ち、小規模の波浪発電装置などの実用化が行われている。大規模な湿地や運河の改修技術は非常に高いが、底層貧酸素化抑制技術などきめ細かな環境修復に関する技術力は劣る。
欧州	研究水準	◎	→	増養殖ではノルウェーのタラ放流、デンマークのターボット放流は世界屈指の研究実績。英国では大西洋サケを中心とする養殖魚の生態系への遺伝的影響が問題化し、資源管理や保全の技術を見直す動き。英国とノルウェーにおける波浪発電研究は世界最高水準であり、波浪、潮汐、洋上風力発電等の研究が盛ん。藻場保全研究、サンゴの成長促進技術は世界最先端。現在もノルウェーなどは漁業が盛んで研究水準は高いが、他国は研究機関内で縮小の傾向。
	技術開発水準	◎	↑	種苗生産規模は大きくない。再生エネルギーは実用化が進み、民間の研究開発も盛んであり、タヒチおよびレーユニオンで海洋温度差発電の実用施設 (5MW 規模) を建設する。依然として、基礎研究から応用研究まで、従来からの技術の蓄積に加えて、新しい技術開発を行っている。
	産業技術力	◎	↑	放流個体の権益確保を図るよう法体系を改定し、ホタテガイ、ヨーロピアンロブスターの放流事業を推進。再生エネルギーについては、商業規模での生産が行われており、産業技術力も十分に有している。漁業ではノルウェー式グリッド分離網や角目網ウインドーなど混獲削減装置の開発を行って来るなど、十分な産業技術力とそれを普及させる土壌がある。

中国	研究水準	△	→	生態系モデルでは米国で学んだ人材が帰国して急速に発展。種苗放流研究は現在コウライエビに限られるが、今後広範に推進。サンゴ藻場の研究は中国南部のごく限られた海域で進行しているのみで国際水準でない。かつて漁具漁法の研究は盛んに行われたが、日本と同様に現在は大学でも研究者が急激に減少し研究水準の維持は困難。
	技術開発水準	△	→	増養殖はこれまで日本からの技術指導でコウライエビ、ヒラメ、ガザミ、チュウゴクモクズガニ、ナマコなどを生産。特にナマコは中国の経済発展に伴い需要が増し、世界最先端水準。混獲防止や環境への影響緩和などよりも、企業漁業の拡大に応じて、漁獲効率の良い漁具漁法の技術開発には一定の能力があると思われる。
	産業技術力	△	→	増養殖は生産指向で生態系保全の考慮はほとんど見られない。潮汐発電の実績はあるものの技術力はまだ高くない。漁具漁法では欧米や日本の後追いによって技術力を高めつつあるが、獲る漁業から養殖業にシフトしつつあるために漁具漁法としての技術力はさらに低下の懸念がある。
韓国	研究水準	△	↗	種苗放流研究事例はヒラメ、クロソイ程度で多くない。再生可能エネルギー研究や環境修復技術研究は数年前より海洋開発分野の研究開発国家予算が大幅にアップされたことを受けて、大学および国立研究機関での研究が伸びつつある。藻場を対象に、国際誌に掲載されるような研究が増加中である。日本と同様に、漁具漁法の研究者による研究は盛んではあるが、英語論文による公表が進まず、研究水準は明確でない。
	技術開発水準	△	↗	種苗放流を本格的に実施する予定はないと思われる。再生可能エネルギー研究、環境修復技術研究は今後民間企業での研究も伸びつつある。干潟の保全、再生に関する技術開発が進みつつある。漁具では欧米に続いて技術開発を行う傾向があり、生分解性素材の利用などでは日本よりも進んでいる。
	産業技術力	△	↗	生態系保全などの技術的取り組みはみられない。種苗生産技術を養殖に使用。日本と同様、重工業造船業、沿岸土木建築業、機器プラント産業は世界トップクラスであり、技術力も十分に高い水準で保有している。パラスト水条約の発効に備えてパラスト水による外来種拡散リスクを減らすための技術を積極的に推進している。
<p>全体コメント：全体コメント：海洋管理は、過去には利用するための技術だったが、漁業、生態系サービス、海底資源、再生可能エネルギー、深層水など持続可能性を意図した新たな利用技術の発展のチャンスである。外来種問題としてパラスト水条約が発効されると、その厳しい基準を満たす技術開発が必須となる。利用と保全の両立を図るという視点から、増養殖、獲る漁業（混獲防止など漁具漁法技術）、海洋生態系管理、干潟藻場サンゴ礁などの沿岸保全・修復、再生可能エネルギー（温度差発電、波浪潮汐発電など）など分野別に検討した。水産物加工技術などは含めていない。国際比較では、例えば増養殖技術で日本は世界最高水準だが、藻場保全技術などは遅れているなど、分野ごとに競争力はまちまちであり、総合的な国際比較は困難であるが、いくつかの分野で国際的最先端であれば高得点をつけている。</p>				

(参考情報)

- [1] Omori M (2006) Success of mass culture of Acropora corals from egg to colony in open water. Coral Reefs 24 : 563
- [2] 海洋エネルギー資源利用推進機構 <http://www.oeaj.org/summary/summary.htm>
- [3] Worm et al (2009). Rebuilding Global Fisheries. Science, 325, 578-585
- [4] <http://www.reefball.org/>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [ ◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている ]\*  
\*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向 ]

4-2-6. 野生動物管理・復帰技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	個体群管理の分野で、エゾシカ管理計画は広域を対象とした順応的管理として世界的にも高い水準にある [1]。野生動物の生態監視ではGPSからのリアルタイムでのデータ取得の基本技術はあるが、実用化にはいたっておらず、欧米に著しく遅れている [2]。野生復帰の実例はコウノトリとトキの2例に過ぎず、野生動物復帰技術では近年急成長を遂げている中国、韓国よりも立ち後れている。
	技術開発水準	△	→	民間の研究開発能力はIT技術に関して潜在的には高いが、国立研究機関・大学・地方自治体の連携がないことに加え、官と民の協働が少ないため野生動物関連ではニーズが掘り起こされていないために開発対象とされておらず、萌芽的な試みにとどまっており、欧米に比較して遅れている
	産業技術力	△	→	衛星テレメトリー (GPS, ARGOS) や地理情報システム (GIS) は海外技術に依存している。上述した理由によって、ITを利用した野生動物の管理は生産技術に結びついていない。
米国	研究水準	◎	→	リモートセンシング、GIS、GPSを用いた空間解析、生息地解析の理論と応用研究では世界をリードしている。希少種では米国絶滅危惧種法のもと、ハイロオオカミ、カリフォルニアコンドルなどに莫大な予算のもとで野生復帰が実施されており、豊富な技術的蓄積によって世界最高レベル。
	技術開発水準	◎	→	GIS、GPSの基礎技術開発については米国の独断場である。Globalstar、Iridium、ARGOS衛星などを經由してのリアルタイムでのデータ取得が一般的になっている (Followit社、Lotek社、Telonicus社)。米国における野生復帰は、絶滅危惧種法 (ESA: Endangered Species Act) における種の回復手法として位置づけられ、豊富な技術的な蓄積がある [3]。個体数管理において、「シャープシューティング」と呼ばれる誘引狙撃法 (餌付けにより誘引された個体の頭部を狙撃し人道的かつ効率的な捕殺方法) が確立され、各地で効果を上げている [4]。
	産業技術力	◎	↑	GISではESRI社、GPSではTelonics、ATSとカナダのLotekが世界の市場に対し、大きなシェアを占めている。現実的なニーズによる開発の層が厚く、世界をリードしている。安価で性能の良いデジタル式自動撮影カメラが開発され、野生動物のモニタリング技術の革新をもたらしている。
欧州	研究水準	○	→	欧州では、スカンジナビア半島のヒグマプロジェクトが1984年から継続され、VHF帯や近年はGPSテレメトリー機器装着個体の長期モニタリングに基づいた研究で米国のヒグマ研究を凌駕している [5]。
	技術開発水準	○	→	欧州における野生復帰はベルン条約常設委員会に生物種 (分類群) ごとの専門家グループが設置され、保全行動計画の策定や技術支援が行われ、技術的な蓄積がなされている [6]。
	産業技術力	○	→	総合力では米国に劣るが、小型テレメトリーでは世界をリードしている。
中国	研究水準	○	↑	国家的な政策によって、絶滅種の研究、保護、および野生復帰が事業として計画されている。研究組織、人材、施設などが保障されている。近年、自然と環境に対する保護意識が高まり、重点大学だけではなく、一般的な大学と研究機関にも野生生物保護研究グループ等が設置され、行動学、繁殖学など関連研究や遺伝子資源保存の推進にも力が注がれている。
	技術開発水準	△	↑	トキ、パンダ、シブゾウ、アムールトラなどの野生復帰について技術的な蓄積がなされている。とりわけトキ、パンダ、シブゾウについては基礎と応用の研究蓄積が豊富である。トキ、パンダ、シブゾウの復帰は確実に進んでいる。
	産業技術力	△	→	テレメトリー技術 (GPS, ARGOS) や地理情報システム (GIS) は海外技術に依存している。近年、研究費の投入は大幅に増加したが、IT技術の応用への投入は不足し、技術開発能力は乏しい
韓国	研究水準	△	↑	ソウル大学にはKorea Wildlife Conservation CenterならびにConservation Genome Resource Bank for Korean Wildlifeが設置され、繁殖・生態・遺伝、などの研究や野生動物の遺伝子資源の保全の推進に実施されている [9, 10]。また国立公園管理公團は種復元センターを智異山国立公園山麓に設置して、ツキノワグマの再導入を行っている [11]。しかし現状では、復帰や再導入に伴い発生する恐れのある遺伝的かく乱や感染症についての認識は必ずしも十分ではなく、日本と中国に大きく後れを取っている。
	技術開発水準	△	→	研究水準に同上
	産業技術力	×	→	研究水準の同上

## 全体コメント：

全体コメント：GPSでは精度の高い（0～100m）の位置情報を確実に取得・回収できる信頼性の高い汎用性のある製品の商品化は、首輪を遠隔操作によって物理的に脱落させる drop-off 装置によって行う方法が主流であったが、この数年は、衛星などを経由してのリアルタイムでのデータ取得が一般的になっている。今後、リモセン、GPS、GISの組み合わせによる野生動物のモニタリングシステムの整備が加速化することが想定される。

## (参考情報)

- [1] Kaji K, Saitoh T, Uno H, Matsuda H, Yamamura K. Adaptive management of a Sika deer population in Hokkaido, Japan: theory and practice. *Population Ecology*. 2010, 52,373-387
- [2] 山崎晃司・林友直・横山幸嗣・細川繁・小藤幸史・木下俊一・小坂井千夏・小池伸介. 低軌道衛星通信を利用したツキノワグマ位置情報のセミリアルタイム送受信システム. *哺乳類科学*. 2008, 48, 237-243
- [3] <http://www.fws.gov/angered/>
- [4] <http://farm.vassar.edu/committee/deer-management/index.html>
- [5] <http://www.bearproject.info/en/content/research>
- [6] 磯崎博司・羽山伸一. 欧州における生態系の保全と再生 環境と公害. 2005,34,15-20
- [7] [http://vet.snu.ac.kr/eng/se10\\_re/se10\\_re\\_e/se10\\_re\\_e.jsp](http://vet.snu.ac.kr/eng/se10_re/se10_re_e/se10_re_e.jsp)
- [8] [http://www.cgrb.org/index\\_e.htm](http://www.cgrb.org/index_e.htm)
- [9] <http://english.knps.or.kr/Archive/Endanger/Default.aspx?MenuNum=4&Submenu=Endangeredspecies>

(註1) フェーズ [ 研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力 ]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]\*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [ / : 上昇傾向、→ : 現状維持、\ : 下降傾向 ]

### 4-3. 注目すべき動向

#### 生物多様性評価のための指標開発

生物多様性観測では、斉一的なデータを取得して解析したり、少数地点データを広域の代表値として用いたりといったことは困難な場合が多い。様々な意味で不均一・多様なデータをどう処理し情報を抽出するかが鍵となる。特に注目が必要な研究動向として、多様性評価のための指標開発があげられる。超多次元とも言えるデータから単純で分かりやすい評価指標を開発する努力は以前から行われていたが、それぞれの指標の有効性、頑健性等の検証は十分にされていない。一般論として言われていたことが、検証してみると成り立たっていないという例も少なくない。検証のためには十分なデータセットが必要で、そのための基盤が現状では十分ではない。そのような状況のなかで、量・質が不揃いなデータから情報を抽出する統計処理技術の生物多様性分野への応用は、近年急速に広がりつつある。特に、ベイズ統計学を活用して、対象とするシステムの構造に沿った統計モデリングを行ない、コンピューター集約的な手法でパラメータ推定を行う技術の発展と生物多様性分野への応用は近年の展開が著しく、注目していく必要がある。

また、空間構造を考慮した統計モデリングと、高精度で簡便な GIS 情報取得技術との連携も注目すべき動向である。生物現象の空間的な分布パターンには、近所の点は類似しているという空間自己相関が見いだされることが一般的である。空間構造を明示的に取り込んだモデル化により、現実をよりよく反映した解析が可能となる。また、GIS 関連技術は、こうした解析手法と結びつくことでその価値が生かされる。空間構造のあるデータを扱う統計手法は欧米を中心に考案され試されつつあるが、どのような場合にどの手法が適切かといった検討はまだこれからの段階であり、今後の動向に注目する必要がある。

#### 生態系の衛星観測

米国の NASA では衛星ライダーセンサの開発を検討している (DESDynl)。この衛星はまだ企画段階ではあるが、森林の樹高の直接観測を可能とする衛星であり、生態系の地上部バイオマス推定精度の飛躍的な向上が期待されている。現在の計画通り空間分解能が 25m 程度になれば、ある程度の植生の三次元構造や景観不均一性に関する情報が得られる可能性がある。また、衛星ライダーデータの解釈や観測シミュレーションの実行を目的として三次元の放射伝達モデルの相互比較実験が欧州の Joint Research Center を中心に進んでいる。

DESDynl の関連情報は以下のサイトで見ることができる。

[http://desdyni.jpl.nasa.gov/files/DESDynIWG\\_lidarv5.pdf](http://desdyni.jpl.nasa.gov/files/DESDynIWG_lidarv5.pdf)

雲の影響を受けないマイクロ波レーダーによる衛星観測は、従来の可視光を用いた技術とともに、広域での炭素蓄積分布、土地被覆分類のモニタリングの標準技術のひとつになりつつある。日本が開発し、2006年から運用している ALOS/PALSAR(分解能 10 m) のデータは、熱帯林の分布や伐採などのモニタリング技術に応用され REDD plus などへの活用も期待されている。JAXA ではさらに高い分解能 (3 m) を持つ SAR 後継機の 2013 年からの運用の検討に入っている (ALOS2)。

[http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/index_j.html)

ALOS2と並行して、現行のALOS-AVNIR2の後継として、より高度化した可視光のセンサー(0.8 m / 3 m)を搭載したALOS3も計画が進んでいる。

そのためにも、今後は米、日、欧州が運用するLiDAR、SAR、可視光のデータをあわせて用いることにより、植生、生態系の観測の高度化は進むことが期待される。

地球観測衛星と搭載されるセンサーは、開発にも運用にも大きな予算が必要であることから、多用途に対応して開発され、生態系観測に特化した技術の最適化はできない(雪氷、災害などのモニタリングなどとの相乗り)。そのような制約の中でも、複数の衛星・センサーからのデータの利用と現地観測の密度・精度の上昇により、広域での時空間変動に関する情報は得られるはずであり、そのためにも地上観測網との連携強化は最重要な課題といえる。

### 生態系観測・予測・評価における数値計算・シミュレーション

陸域CO<sub>2</sub>フラックス観測とモデル研究については、北東アジア3国間で日本学術振興会A3フォーサイト事業による交流が継続しており、フラックスデータベースの共同構築や観測地の相互見学、モデルの国際比較研究などが進みつつある。

モデル研究では、米、欧州の優位性は変わらない。とくにMPIはイェーナに観測、モデル、データ同化までカバーする5つの研究グループをもち、国内外から積極的に優秀な人材を登用しさまざまな空間スケールの研究を精力的に進めている。日本では、施設、設備は一流で、モデルの性能も世界と伍しているが、研究者、技官も含めそれらを研究に十分に活用できる人材が少ないため、スケール間、テーマ間を結びつけるような、研究体制が成立していない。旧国立(現独法)研究所でも大学院生を受け入れ、指導し、次の世代への人材育成が急務である。

本分野に関してもこのままでは、研究施設やハードウェアの技術的面だけでなく、知の蓄積においても、海外経験者が多い中国に近い将来に追い抜かれることは避けられないと考えられる。

### 陸域管理・再生技術

最近の陸域管理・再生技術の動向には、温暖化枠組み条約や生物多様性条約などの国際条約の影響が強い。陸域の生態系においては、樹木だけでなく他の生物の生息環境への配慮を含めて管理する手法が国際的にも主流となってきたが、実際に運用できているのは米、欧州の一部であり、日本でも最近行われるようになったが、これにはまだ様々な技術開発が必要である。

生物多様性や生態系サービスの経済評価に関する報告書(TEEB)が発表され、それを使った革新的資金メカニズムの導入が議論されており、REDD、生物多様性オフセットなどが注目されている。温暖化緩和策としてのREDD(Reducing Emission from Deforestation and forest Degradation)が注目されているが、これにさらに持続的森林利用や生物多様性の考慮も加えようとするREDD plusが議論されている。この実施には、MRV(measuring, reporting and verification)の技術開発が必要となり、欧米や日本などで今後取り組みが盛んになると考えられる。また、こうした生態系サービスの評価を取り入れた管理や意思決定ツールとして、米国で開発されたInVESTが各国で試行され始めた。今後、各国の事情に合わせた適用方法あるいは、こうした手法の発

展が進むと考えられる。

生物多様性オフセットは、米国や欧州の一部ですでに導入されており、米国ではミチゲーションバンキングもすでに運用されている。日本では、戦略アセスメントの手法発展と合わせて進められていくと考えられるが、日本に適用できる技術開発が必要となる。CBD/COP10 で日本が提唱した Satoyama Initiative も、その適用にあたり、各国の事情に合わせた生態系管理技術へと発展させる必要がある。伝統的な手法をそのまま適用するのではなく、温暖化の緩和・適応策なども考慮した新しい手法としての技術として開発される必要があるだろう。

## CommonMP

河川管理に必要な計算モデルに関して、国内においては個別モデルが多く汎用性を有するものが存在していなかった。一方、海外では汎用性モデルが作成されており、国際的にも広く使用されるものが出てきている。国内におけるモデルの活用推進と国際的競争力を持たせるために国土交通省によって開発されたのが **CommonMP** である。**CommonMP** は水理・水文・生態などの複合現象を解析するために、異なった機能を持つ要素モデルを一体的に協調・稼働させるためのプラットフォームで、例えて言えば要素モデルを共有利用するための OS のような機能を持ったモデル構築・解析実行ツールである。すでに、**CommonMP** 上で動く主要な要素モデルが開発されており、今後研究者らによる要素モデルの開発がさらに進むと考えられる。

(参考情報)

CommonMP のサイト

<http://framework.nilim.go.jp/>

## 海洋管理・再生技術

日本では、排他的経済水域の設置、深海資源の利用が進められるとともに、沿岸環境の保全など海洋管理が大きな社会問題となりつつある。2007年に海洋基本法が成立し、国家として海洋の統合的管理の必要性が認識されつつあり、海運、人工構造物、漁業、行楽、生態系機能、資源・エネルギー採取などさまざまな海面利用についての便益と影響の総合評価が必要となる。さらに、日本には独自の漁業権制度があり、その調整を図ることは日本の文理を超えた専門家が協働で研究すべき喫緊の課題である。すでに、知床世界遺産管理、洋上風発など開発段階の実例で研究が進み、国際的に評価されつつある。

生物多様性データの集約の国際システムが急速に進み、日本は漁業データの集約が国内でも遅れており、データベース国際化に乗り遅れる恐れがある。

日本は海に囲まれ、遠浅の海岸が少ないために、深層水利用可能な場所が多く、海洋温度差発電だけでなく、世界に先駆けてミネラル水などさまざまな深層水資源の利用が研究され、実用化されている。

生態系管理に関しては、特に藻場に関して、従前より世界全体に適用可能な先端的研究が進められている。サンゴでは海中でワイヤーに電気を流してミネラル付着などの成長促進効果の研究を進めている。

### GPS を利用した野生動物管理・復帰技術

高い精度の GPS 位置情報を、衛星を経由してリアルタイムでデータを取得し、それを野生動物の管理・復帰に応用する技術開発に注目する必要がある。



# 付 録



## 海外の政策動向

### 米国

米国のオバマ政権は、環境・エネルギー分野における研究開発をイノベーション政策の中心に据えている。とりわけクリーン・エネルギー技術の開発については、政権発足以来一貫して重点投資分野としてきており、2009年9月の「米国イノベーション戦略」、2011年2月の「米国イノベーション戦略更新版」においても、「クリーン・エネルギー革命を誘発する」ことが最重要課題として掲げられている。2011年年頭の大統領の一般教書演説においても、クリーン・エネルギーの技術革新を「現代のアポロ計画」と呼び、①2015年までに次世代自動車を100万台普及させる、②2035年までに電力の8割をクリーンな資源から得る、という2大目標を掲げている。

これらのクリーン・エネルギー投資重視の姿勢は2012年度予算案にも反映されている。エネルギー省(DOE)科学局(OS: Office of Science)を通じた研究への投資拡大(49億ドル、9.1%増)、エネルギー高等研究計画局(ARPA-E: Advanced Research Projects Agency Energy)への資金提供の拡大(5.5億ドル、2010年度実績比83%増)、エネルギー・イノベーション・ハブの拠点数の倍増(約14億ドル)を柱として、エネルギー省には130億ドル(19.9%増)が配分予定となっている。エネルギー・イノベーション・ハブについては、バッテリーとエネルギー保存、スマートグリッド技術とシステム、およびクリティカル・マテリアルに関するハブを新たに3つ作る計画である。

DOEには9つのプログラム関連部局があるが、近年は「科学局」と「エネルギー効率・再生可能エネルギー局」への予算配分が増加している。科学局が所掌する活動項目の予算推移の中では、「基礎エネルギー科学」や「バイオ・環境研究」への配分が増加しており、エネルギー効率・再生可能エネルギー局の予算推移からは、再生可能エネルギー分野では、「バイオ燃料」「太陽エネルギー」「地熱技術」が、エネルギー効率分野では「自動車」「建物」「産業」関連技術への配分が増加していることが読み取れる。

なお、米国のエネルギー問題に関して大統領の助言機関である大統領科学技術諮問会議(PCAST)は2010年10月、「統合的連邦エネルギー政策を通じたエネルギー技術変化の加速化」と題する報告書を公表し、国防総省に倣って政府全体のエネルギー政策を定期的に策定することを大統領に提言した。報告書では、今後10年から20年の米国エネルギーシステムの変容における連邦政府の役割とロードマップが提示され、経済競争力、環境への責務、および国家安全保障といった観点から米国のエネルギーシステムの変容は避けられないと結論している。

気候変動分野については、連邦13省庁による横断的なイニシアティブ「米国地球変動研究プログラム(USGCRP: U.S. Global Change Research Program)」が、2012年度もこれまでに引き続き以下の活動を中心に実施される。(1)地球の過去と現在の気候変動に関する知識の構築、(2)気候変動を引き起こす自然界と人工的な要素に関する理解の追求、(3)将来的に気候に影響を与える原因と予測モデルの性能向上、(4)気候変動がもたらす影響に対する米国の脆弱性評価、(5)政策策定者や一般国民への気候に関する情報や意志決定支援ツールの提供を通じて、米国の気候変動対応能力を向上。

オバマ政権は、数年にわたって助成減額に苦しんだUSGCRPを復活させ、2010年

度以降、USGCRP の助成は継続して上昇軌道に乗っている。USGCRP の 2012 年度予算は 26.33 億ドルで、対 2010 年度実績比で 20.4 % 増加している。参加するすべての省庁において、2010 年度実績と比較して同等、あるいはそれ以上の予算が割り当てられている。予算配分の主体は NASA (航空宇宙局) で、他に DOC (商務省) の NOAA (海洋大気局) と NIST (国立標準技術研究所)、NSF (全米科学財団)、DOE (エネルギー省) が続く。増加率が顕著なのは NSF で、2010 年度実績比 33 % 増加となっている。2012 年度予算は、気候変動科学、インパクト、脆弱性、および対応戦略に関する全米気候評価と、地球温暖化ガス放出の監視、報告、立証のための省庁横断型の研究をサポートする内容となっている。

エネルギー、気候変動以外で連邦政府が関与している主要な環境分野の研究開発予算は、環境保護庁 (EPA) と国立海洋大気局 (NOAA) に割り当てられている。EPA の 2012 年度予算は、2010 年度実績比約 13 % 減の 89.7 億ドルで、うち研究開発予算は 2.1 % 減の 5.8 億ドルである。EPA が 2012 年度予算要求に掲げている目標は以下の通りである。①気候変動への取組みと大気の質向上: 11 億ドル (全体の 12.5 %)、②米国水域の保護: 43 億ドル (同 48.1 %)、③持続可能な開発: 20 億ドル (同 22.4 %)、④化学物質の安全性確保と汚染防止: 7 億ドル (同 7.8 %)、⑤環境関連法の執行: 8 億ドル (同 9.2 %)。2012 年度予算においては、内分泌かく乱物質、環境にやさしい化学、電子廃棄物と電子設計、環境にやさしいインフラ、コンピュータ毒物学、大気監視、飲料水、および STEM フェローシップなどの分野で優先度の高い研究活動が支援を受ける予定である。

NOAA の 2012 年度予算は 55 億ドルで、うち研究開発予算は 5.2 % 増の 7.3 億ドルである。2012 年度予算は、海洋、大気圏、気候に関する調査を継続させ、国家気候変動評価への取り組みを支援する内容となっている。また、気候関連サービスの供給を担当する「気候サービス」オフィスの創設を含む NOAA の組織改変も提示されている。

(参考情報)

PCAST エネルギー技術報告書 2010 年 11 月 29 日

<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-energy-tech-report.pdf>

## 欧州

2007 年から 2013 年の FP7 では、研究開発へ欧州委員会から投資される資金の総額は 505 億ユーロ (7 年間) となっている。そのうち「共同研究」への助成が 323.65 億ユーロあり、「環境 (気候変動含む)」への研究に 18 億ユーロが配分される予定で、間接的に環境技術と関係する「環境・エネルギー・運輸」分野の配分総額は 82.8 億ユーロである。

欧州連合の環境関連の戦略・フレームワークは多岐に亘り、エネルギー行動計画、気候変動・エネルギー政策パッケージ、第 6 次環境行動プログラム、環境技術行動計画、欧州環境健康行動計画、戦略的エネルギー技術行動計画、エネルギー効率行動計画、第 2 次戦略的 EU エネルギーレビューなどがある。また、長期的かつ多額の資金が必要なハイリスク研究で、産業界の支援が明確な領域を優先的に支援する「ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ (JTI)」を立ち上げており、その中に「水素・燃料電池」

が含まれている。

また欧州でバーチャルな研究機関を目指す欧州技術・イノベーション機構（EIT）として「KIC InnoEnergy」「Climate-KIC」が選定されている。

## 英国

英国の環境・エネルギー政策に大きな影響を与えたのが、2006年に発表されたインディペンデントレビューの「気候変動の経済に関するスターン・レビュー（Stern Review on the Economics of Climate Change）」<sup>1</sup>で、気候変動への対策目標・計画案を経済学的手法により導き出し、政府に提言した。その後、英国政府は第15回気候変動枠組条約締約国会議（COP15）を主導する立場をアピールしたり、低炭素社会への移行するための計画や施策を発表したりと、世界をリードする環境立国となるべく環境・エネルギー分野において様々な取り組みをおこなっている。

英国内では、2008年に環境・食料・農村地域省（Defra）の一部と当時のビジネス・企業・規制改革省（BERR）（ビジネス・イノベーション・技能省（BIS）の前身）の一部が統合してエネルギー・気候変動省（DECC）が設立され、気候変動やエネルギーに関する業務を専門的に所管している。しかし環境・エネルギー技術分野の研究開発については、DECCは英国における科学研究推進の中心的存在であるBISと連携して推進政策を策定している。

2009年度政府予算では4億500万ポンドが低炭素技術・製造支援（再生可能エネルギーセクターへの投資誘致・保護支援も含む）に配分されている。その後BISとDECCから発表された「英国の低炭素産業戦略」（2009年）<sup>2</sup>は、DECCが進める「低炭素社会への移行計画」を受けて、低炭素社会への移行に伴う経済機会を最大限に活用すると同時に、移行に伴う費用を最小限に抑えるための計画である。同戦略では、最大1億2,000万ポンドを洋上風力技術に、6,000万ポンドを波力・潮力技術に、9,000万ポンドを炭素回収・貯留（CCS）技術に配分することが明記されている。また同年DECCからは「再生可能エネルギー戦略（Renewable Energy Strategy）」<sup>3</sup>が発表され、2020年までに使用エネルギーの15%を再生可能エネルギーで供給するという目標達成のための具体的な施策が示され、その目標達成の過程では2020年までに再生可能エネルギー分野では1,000億ポンドの新たな投資と50万人分の新たな雇用が創出されると期待されている。再生可能エネルギーによる電力供給のため、英国政府は主に風力、水力、波力・潮力、バイオマスなどの利用を拡大しようとしている。

近年の環境・エネルギー関連分野における研究開発に関する戦略文書としては、さらなる低炭素社会に向けて複合材料開発を推進するための「英国複合材料戦略（The UK Composites Strategy）」（2009年）<sup>4</sup>と、CCSの開発と整備を推進するための「CCS産業戦略（Clean Coal: An Industrial Strategy for the development of CCS across the

1 Stern Review on the Economics of Climate Change: [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm)

2 The UK Low Carbon Industry Strategy: <http://www.berr.gov.uk/files/file52002.pdf>

3 The UK Renewable Energy Strategy 2009: [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what\\_we\\_do/uk\\_supply/energy\\_mix/renewable/res/res.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/energy_mix/renewable/res/res.aspx)

4 The UK Composites Strategy:

UK)」(2010年)<sup>5</sup>が発表されている。

科学技術会議(CST)が2007年に発表した、政府による大規模な取り組みが5年以内に利益を拡大させると予想される技術分野には、「炭素回収・貯留」と「電気供給のための低炭素配分ネットワーク」が含まれている。またCSTは2005年に「英国の電気供給戦略(An electricity supply strategy for the UK)」<sup>6</sup>というレポートを発表している。この中でCSTは、政府の二酸化炭素排出量削減目標を達成するために低炭素エネルギー生成施設への早急な投資や、炭素隔離や潮力利用の拡大などを提言している。

英国政府が出資する環境・エネルギー分野の研究費は、主に自然環境研究会議(NERC)、工学・物理科学研究会議(EPSC)、技術戦略審議会(TSB)、高等教育資金会議、気候変動・エネルギー省(DECC)等から拠出されている。

NERCにおける科学研究の主要テーマは、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)技術の7つである。

EPSCでは、バイオテクノロジー・生物科学研究会議(BBSRC)、経済・社会研究会議(ESRC)、NERC、科学技術施設会議(STFC)と協力して、優先研究分野として「エネルギー」プログラムを主導し、同プログラムでは、低炭素な未来の構築のための研究とトレーニングに5億3,000万ポンド以上を投資している。また、「環境変化との共生」プログラムとして、他の研究会議や政府関係機関と協力して環境の変化とそれがもたらす社会的課題に取り組むための研究を推進している。

またBBSRCでもその優先研究分野に、「環境変化との共生」の他、「バイオエネルギー」を含めている。

さらに、BISによる「科学・研究資金配分計画(The Allocation of Science and Research Funding)」(2010年12月)<sup>7</sup>で発表された研究会議横断型研究プログラム6分野の中にも「エネルギー」があげられており、2011~2014年の4年間に5億4,000万ポンドが配分される予定。また新たに「世界の食糧安全保障」も追加され、同じく4年間に4億4,000万ポンドが配分されることが明記されている。

TSBが特定した「重要領域」の中には、「環境構築」、「エネルギー生成・供給」、「環境の持続性」、「輸送」があり、重点的に助成されている。また研究から調達・規制も含めて戦略的なプログラムの推進を検討し実践するイノベーションプラットフォームの1つに「低炭素自動車」と「環境に配慮した建築」がある。「低炭素自動車」イノベーションプラットフォームでは、環境に優しい低炭素自動車技術の研究開発推進とその応用の加速化を目指し、「環境に配慮した建築」イノベーションプラットフォームでは、商業的に可能かつ環境に優しい材料による建築物の開発を目指している。

さらに運輸省(DfT)でも、2007年に「低炭素輸送イノベーション戦略(Low Car-

5 Clean Coal: An Industrial Strategy for the development of CCS across the UK: [http://www.decc.gov.uk/assets/decc/what % 20we % 20do/uk % 20energy % 20supply/energy % 20mix/carbon % 20capture % 20and % 20storage/1\\_20100317090007\\_e\\_@@\\_cleancoalindustrialstrategy.pdf](http://www.decc.gov.uk/assets/decc/what%20we%20do/uk%20energy%20supply/energy%20mix/carbon%20capture%20and%20storage/1_20100317090007_e_@@_cleancoalindustrialstrategy.pdf)

6 An electricity supply strategy for the UK: <http://www.bis.gov.uk/assets/bispartners/cst/docs/files/whats-new/05-2179-electricity-supply-strategy.pdf>

7 The Allocation of Science and Research Funding: <http://www.bis.gov.uk/assets/biscore/science/docs/a/10-1356-allocation-of-science-and-research-funding-2011-2015.pdf>

bon Transport Innovation Strategy)」<sup>8</sup>を策定し、自動車を始めとする低炭素輸送の技術開発のために年間500万ポンド、さらにバイオ燃料自動車などのインフラ整備のための実験・実証プログラムにも年間50万ポンドの資金提供をおこなっている。

## ドイツ

連邦研究教育省（BMBF）は2004年に「持続的発展のための研究フレームワークプログラム」を発表し、2005年から2010年までの5年間に1.6億ユーロの予算を投じて温暖化対策のための様々な研究を行った。

さらに連邦研究教育省（BMBF）は2008年に「エネルギー基礎研究2020+」を発表し、エネルギー研究への予算増額を決定。この計画ではプロジェクト助成の重点課題としてエネルギーの効率的生産、変換、貯蔵、利用、輸送を設定し、またBMBFのエネルギー研究助成計画では、エネルギー研究と他分野（材料科学、ナノ技術、レーザー、マイクロシステム、気候研究等）とのネットワーク化・融合研究に重点を置いている。

主な研究機関は、基礎研究を司るマックスプランク協会、応用研究を主に行うフラウンホーファー協会、大型研究施設をもつヘルムホルツ協会など多岐にわたる。このうちヘルムホルツ協会では環境研究に関連する8つの研究所のネットワーク「ヘルムホルツ・地域気候変動連合体」を結成した。同連合体の活動期間は2009年から2013年までで、予算総額は3220万ユーロ。

また大学における研究拠点を設立するエクセレンスイニシアティブを立ち上げ、環境技術関係の拠点も設立されている。

環境技術は、ハイテク戦略2020の中でも、5つの重点分野のひとつとして位置付けられ、「気候・エネルギー」がそれに該当する。

ハイテク戦略の中心的課題として、「CO<sub>2</sub>に毒されない、エネルギー効率的な、気候に対応した都市」「エネルギー供給のインテリジェントな改造」「石油を代替する再生可能な資源」「2020年までにドイツにおける電気自動車数100万台」などがある。

## フランス

フランスでは、2009年に研究・イノベーションに関する初めての国家戦略「研究・イノベーション国家戦略（Stratégie nationale de recherche et d'innovation : SNRI）」が策定されており、同戦略において、2009年から2013年までの4年間における3つの優先分野が定められている。

同戦略において、環境・エネルギー関連は、「人類にとって持続可能な発展を約束するためには変革が急務であり、また企業の発展チャンスも膨大である」との認識のもと、「フランスはエコテクノロジーを国家の優先課題とする」と謳われており、「第二優先分野：環境における緊急性およびエコテクノロジー」として位置づけられている。

同戦略において特に注力すべきとされているトピックの例は次のとおり。

- ・ 人工衛星等の測定手段および高性能シミュレーション（スーパーコンピュータ）を用いた、気候変動や生物多様性への理解とモデリングの向上

<sup>8</sup> Low Carbon Transport Innovation Strategy: <http://www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/lctis/lctisdocpdf.pdf>

- 人間活動に起因する外的要因に対する生命応答の理解（毒性学、生態系汚染学）
- ・ 環境低負荷な製品やサービスを提供するための環境技術およびデザインの開発
- ・ 環境保護のための原子力研究と再生エネルギー研究のバランスを考慮した脱炭素未来エネルギーの確保
  - 第四世代原子炉、核燃料サイクル、放射性廃棄物管理など原子力エネルギーの次世代テクノロジーの開発
  - 現存の太陽光発電の効率性の向上および未来に向けた新技術の開発（薄膜、有機材料）
  - 農業の土地利用に悪影響を及ぼす競争を避けるため、バイオ燃料の新しい開発手法を用いた植物全体の利用の促進
  - 海洋エネルギー分野の技術開発の推進（波・潮・海流エネルギー、海洋地熱や風力エネルギー）
- ・ 持続可能な都市および運輸に関する技術およびサービスの開発
  - 燃料電池車両の開発および電気自動車やハイブリット車など脱炭酸ガス排出車への転換に向けた環境整備
  - 航空機から排出される温室効果ガスおよび騒音の削減、よりエネルギー効率の高い航空機の開発
  - 建築や都市計画の再考、エネルギー貯蔵の技術開発を推進しつつ、持続可能な建物および都市のモデルを構築

2010年、サルコジ大統領が発表した国債の発行を原資とした重要課題に対する総額350億ユーロに上る大規模投資「将来への投資 (Investissements d'avenir)」において、「研究・イノベーション国家戦略」の実践として、環境・エネルギー分野における以下の研究開発投資を行うことを決定した。

- ・ 次世代陸上・海上車両開発（電気自動車、次世代バッテリー開発） 10億ユーロ
- ・ 環境低負荷航空機開発、アリアン6ロケット開発 20億ユーロ
- ・ 再生エネルギーおよび脱炭素技術開発（CO<sub>2</sub>貯留、太陽光発電等の技術実証試験） 25億ユーロ
- ・ 第四世代原子炉開発 10億ユーロ
- ・ 交通および持続的都市（総合都市計画の推進） 10億ユーロ

## ロシア

ロシアでは、国家の社会経済発展に寄与することが期待される科学技術分野に、限られた国家予算を重点的に配分することを目的に選定された8つの優先的科学技術分野（2006年5月承認）の一つにエネルギー・省エネが挙げられている。また、2009年にメドヴェージェフ大統領が発表したロシア近代化のための5つの優先分野の一つがエネルギー効率・省エネとされている。

2006年に政府決定された連邦目的プログラム（Federal Targeted Program）「2007-2012年のロシア科学技術コンプレックス発展の優先的方向性における研究・開発」（教育科学省が主管）の中で、科学技術優先分野への予算配分、学術論文や特許数、経済効

果等の目標指数が明記されている。同プログラムが対象とする優先的研究領域は、ライフサイエンス (Living System)、ナノシステムと材料産業、情報通信システム、天然資源・自然の合理的利用、エネルギー・省エネである。本プログラムで規定されている2007 - 2012年の総研究開発費は1696億8800万ルーブル、うち連邦予算からの支出は1283億9000万ルーブルである。エネルギー・省エネに関しては、本プログラムの枠内での2007年連邦予算からの研究開発費は19億ルーブルであった。

石油、天然ガス、石炭等のエネルギー資源に恵まれるロシアは、これまで省エネ意識に乏しく、1単位のGDP生産に必要なエネルギーは日本の約17倍とのデータもある。しかしながら西シベリアに集中する既存の天然資源鉱区が枯渇傾向にあり、輸送パイプライン等を含む様々なインフラが老朽化する中、増大する国内エネルギー需要に応えるためには新規鉱区(東シベリア等の遠隔地域)の開発やインフラ整備・更新に莫大な投資を行わなければならない。ロシア政府は、より低コストで進めるためには、新規開発と同時に省エネや再生可能エネルギーの活用を推進する必要があると捉えている。

2010年12月に「2020年までの省エネとエネルギー効率改善に関するロシア連邦国家計画」(エネルギー省が主管)が政府決定された。本計画の実施によって、2020年までに1単位のGDP生産に必要なエネルギーを対2007年比で13.5%減とし、その他の措置と合わせて40%減とするとの指標が示されている。

## 中国

中国の科学技術政策は国家中長期科学技術発展計画綱要(2006～2020年)に基づき展開されている。本計画は、比較的短期間で対応可能な産業技術である「重点領域」、大規模プロジェクトを通じて技術の空白領域を埋めることを目的とした「重大特定プロジェクト」、世界最先端レベルの応用研究課題である「先端技術」と「基礎研究」に分類されている。環境技術分野に係る重点分野として掲げられた主な内容は次の通りである。

### ■ 重点領域

- ・ エネルギー：工業における省エネ、石炭のクリーンかつ高効率な開発利用・液化および複合利用、複雑な地質における石油天然ガス資源の探査および開発利用、再生可能エネルギーの低コストかつ大規模な開発利用、超大規模の配電および電力網の安全確保
- ・ 水資源・鉱物資源：水資源の最適化配置および総合開発利用、総合的な節水、海水の淡水化、資源探査・確認埋蔵量の増加、鉱物資源の高効率の開発・利用、海洋資源の高効率の開発・利用、総合的な資源利用のための地域計画
- ・ 環境：総合的な汚染対策および廃棄物の循環利用、脆弱な生体地域における生態システムの機能回復、海洋生態と環境保護、地球規模の環境変化の観測および対策
- ・ 製造業：工業プロセスのグリーン化・自動化および設備、循環可能な鋼鉄プロセス技術および設備
- ・ 交通運輸業：低燃費・新エネルギーの自動車
- ・ 都市化および都市発展：都市計画および動的な観測、都市機能の向上および空

間の節約利用、建物の省エネと建築のグリーン化、都市の生体居住環境条件の確保

■ 重大特定プロジェクト：水系汚染の抑制と管理、高解像度地球観測システム

■ 先端技術

- ・ 先進エネルギー技術：水素エネルギーおよび燃料電池技術、分散型エネルギー供給技術、高速中性子炉技術、磁場閉じ込め核融合
- ・ 海洋技術：海洋環境の立体的な監視技術、大洋海底パラメーターの高速測定技術、天然ガスハイドレート開発技術、深海作業技術

■ 基礎研究

- ・ 科学の先端的課題：地球システムのプロセス・資源・環境および災害効果
- ・ 国家の戦略ニーズに基づく基礎研究課題：人間活動が地球システムに影響を与えるメカニズム、地球の変動および地域への影響、複雑系システム
- ・ 異変の形成および予測制御、エネルギーの持続可能な発展における重要科学課題

また、中国科学院は、生態・環境問題はさらに長期を見据えた検討が必要との認識にたち、2009年6月10日、「中国2050年生態・環境科学発展ロードマップ」（「中国至2050年生態と環境科学発展路線図」）を公表した。同ロードマップでは、「地球規模での気候変化および生態プロセス」、「悪化した生態系の修復および生物多様性」、「都市化と環境の質」、「土地・流域・海岸生物の地球科学プロセス」、「環境汚染抑制と修復」、「クリーン生産および循環経済」、「環境汚染と健康」、「先進的な監視・観測および予報技術」の8つの重点領域における主要な科学問題と核心技術をまとめている。

## 韓国

韓国では基礎研究を所管する教育科学技術部の「李明博政権の科学技術基本計画2010年度施行計画」と応用・開発研究を所管する知識経済部の「新成長動力ビジョン」が基本的な政策となる。環境技術分野に係る重点分野として掲げられた主な内容は次の通りである。

○ 第二次科学技術基本計画で指定された重点育成技術

- ・ 主力基幹産業技術高度化（Cash Cow）：環境親和的自動車技術
- ・ 国家主導技術基本能力確保（Big Science）：核融合エネルギー技術、次世代原子炉技術
- ・ 懸案関連特定分野（Risk Science）：親環境エネルギー節約技術、バイオ代替エネルギー開発技術
- ・ グローバルイシュー関連研究開発推進（Mega Trend Science）：気候変化対応技術、二酸化炭素低減および処理技術、水素エネルギー生産・保存技術、新・再生エネ技術（太陽・風力・バイオ）、エネルギー・資源開発技術、海洋エネルギーおよび資源利用技術、海洋環境調査・保全管理技術、地球大気環境改善技術、環境（生態系）保全・復元技術、水質・管理・水質源保護技術、地球環境調査研究、自然災害・災難予防および対応技術
- ・ 基礎・基盤・融合技術開発活性化（National Platform Technology Initiative）：環境融合新技術開発

## ○新成長動力ビジョン

- ・ 緑色技術：無公害石炭エネルギー、海洋バイオ燃料、太陽電池、二酸化炭素回収および資源化、燃料電池発電システム、原発プラント

なお、李明博政府は国家ビジョンとして「緑色成長戦略5カ年計画」を打ち出している。「緑色成長」の意味するところはエネルギーと資源を節約し効率的に使用し、気候変化と環境破壊を避け、なお清浄エネルギーと環境技術の研究開発を通じた新しい成長である。そのために韓国は27個の核心技術を選んで集中投資を行っている。韓国政府の研究開発予算の内、環境分野への投資は5,536億 Won(4%)である。

## 略語集

### A

- **A-IGCC** : Advanced Integrated coal Gasification Combined Cycle
- **A-IGFC** : Advanced Integrated Gasification Fuel Cell
- **A-USC** : Advanced Ultra Super Critical
- **AE** : Acoustic Emission
- **AHAT** : Advanced Humid Air Turbine
- **ALOS** : Advanced Land Observing Satellite
- **AOGCM** : Atmosphere-Ocean General Circulation Model
- **AP-BON** : Asia-Pacific Biodiversity Observation Network
- **APCC** : APEC Climate Center
- **ARRA** : American Recovery and Reinvestment Act
- **ATOL** : A Tree of Life
- **AVNIR** : Advanced Visible and Near Infrared Radiometer

### B

- **bbl** : barrel
- **Bcf** : Billion cubic feet
- **Bcm** : Billion cubic metres
- **BDF** : Bio Diesel Fuel
- **BEMS** : Building and Energy Management System
- **BMS** : Building Management System
- **BTL** : Biomass To Liquids

### C

- **CBD/COP9/10** : 生物多様性条約第9/10回締約国会議

- **CBM** : Coal Bed Methane
- **CCS** : Carbon Capture and Storage
- **CDM** : Clean Development Mechanism
- **CPD** : Continuing Professional Development
- **CIGS** : Copper Indium Gallium Diselenide
- **Common MP** : Common Modeling Platform for water-material circulation analysis
- **COP** : Coefficient of Performance
- **COP15/16** : 気候変動枠組条約第15/16回締約国会議
- **CTL** : Coal To Liquids

### D

- **DSSTox** : Distributed Structure-Searchable Toxicity
- **DEIS** : Draft Environmental Impact Statement
- **DFC** : Direct Fuel Cell
- **DfE** : Design for Environment
- **DHI** : Danish Hydraulic Institute
- **DIAS** : Data Integration & Analysis System (Japan)
- **DOE** : Department of Energy (US)
- **DR** : Demand Response
- **DSM** : Demand Side Management

### E

- **EA** : Environmental Assessment
- **EBONE** : European Biodiversity Observation Network
- **EC** : European Commission
- **ECBM** : Enhanced Coalbed Methane
- **ECHA** : European Chemicals Agen-

cy

- **ECMWF** : European Center for Medium-Range Weather Forecasts
- **EIA** : Environmental Impact Assessment
- **EIS** : Environmental Impact Statement
- **EOR** : Enhanced Oil Recovery
- **EPA** : Environmental Protection Agency (US)
- **EPOCA** : European Project on Ocean Acidification
- **EPR** : Energy Profit Ratio
- **ESA** : European Space Agency/Endangered Species Act
- **EU** : European Union
- **EV** : Electric Vehicle

---

## F

- **FaCT** : Fast Reactor Cycle System Technology Development Project
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **FCV** : Fuel Cell Vehicle
- **FERC** : Federal Energy Regulatory Commission
- **FO膜** : Forward Osmosis Membrane

---

## G

- **GBIF** : Global Biodiversity Information Facility
- **GCCSI** : Global Carbon Capture and Storage Institute
- **GEO-BON** : Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network
- **GEOSS** : Global Earth Observation System of Systems
- **GIS** : Geographic Information System

- **GPM** : Global Precipitation Measurement
- **GPS** : Global Positioning System
- **GTL** : Gas To Liquids
- **GWRA** : Global Water Recycle and Reuse System Association (Japan)

---

## H

- **HEMS** : Housing Energy and Environment Management System
- **HEP** : Habitat Evaluation Procedure
- **HEV** : Hybrid Electric Vehicle
- **HIDiC** : Heat Intergrated Distillation Column
- **HPCIPC** : High Performance Computing Infrastructure
- **HSI** : Habitat Suitability Index
- **HV** : Hybrid Vehicles

---

## I

- **IAEA** : International Atomic Energy Agency
- **IAIA** : International Association for Impact Assessment
- **ICT** : Information and Communication Technology
- **IGCC** : Integrated coal Gasification Combined Cycle
- **IGFC** : Integrated Gasification Fuel Cell
- **InVEST** : Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
- **IOC** : International Oil Company
- **IOCCP** : International Ocean Carbon Coordination Project
- **IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change
- **ISO** : International Organization for Standardization
- **IUCLID** : International Uniform

Chemical Information Database

- **IWA** : International Water Association
- **IWWG** : International Waste Working Group

---

## J

---

- **JaLTER** : Japan Long Term Ecological Research Network
- **JAXA** : Japan Aerospace Exploration Agency
- **J-BON** : Japanese Biodiversity Observation Network
- **JMTR** : Japan Materials Testing Reactor
- **J-PARC** : Japan Proton Accelerator Research Complex

---

## K

---

- **KEI** : Korea Environment Institute
- **KEON** : Korea Ecological Observatory Networks
- **KISTI** : Korea Institute of Science and Technology Information

---

## L

---

- **LCA** : Life Cycle Assessment
- **LCCM 住宅** : Life Cycle Carbon Minus House
- **LHV** : Lower Heating Value
- **LiDAR** : Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detection and Ranging
- **L-SAR** : L-Band Synthetic Aperture Radar
- **LSCE** : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (France)
- **ILTER** : Long Term Ecological Research

---

## M

---

- **MAREMIP** : MARine Ecosystem Model Intercomparison Project
- **MBR** : Membrane Bioreactor
- **MBT** : Mechanical-Biological Treatment
- **MCFC** : Molten Carbonate Fuel Cell
- **MEA** : monoethanolamin
- **MODIS** : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- **MPI** : Max Planck Institute (Germany)
- **MRV** : Measuring, Reporting and Verification

---

## N

---

- **NaGISA** : Natural Geography In Shore Areas
- **NASA** : National Aeronautics and Space Administration (US)
- **NASA GISS** : NASA Goddard Institute for Space Studies
- **NCAR** : National Center for Atmospheric Research (US)
- **NEDO** : New Energy and Industrial Technology Development Organization (Japan)
- **NEON** : National Ecological Observatory Network (US)
- **NEPA** : National Environmental Policy Act
- **NBIR** : National Institute of Biological Resources (Korea)
- **NOAA** : National Oceanic and Atmospheric Administration (US)
- **NOAA/PMEL** : NOAA's Pacific Marine Environmental Laboratory
- **NOC** : National Oil Company
- **NPOCE** : Northwestern Pacific Ocean Circulation and Climate Ex-

periment

- **NSF** : National Science Foundation (US)
- **NSFC** : National Natural Science Foundation of China
- **NUDT** : National University of Defense Technology (China)

---

## O

- **OECD** : Organisation for Economic Co-operation and Development
- **Open MI** : Open Modelling Interface

---

## P

- **PA** : Positive Assessment
- **PALSAR** : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
- **PCMDI** : Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (US)
- **PEFC** : Polymer Electrolyte Fuel Cell
- **PHEV** : Plug-in Hybrid Electric Vehicle
- **PHV** : Plug-in Hybrid Vehicle
- **PI** : Public Involvement
- **PM** : Particulate Matter
- **PMU** : Phase Measurement Unit

---

## Q

- **QSAR** : Quantitative Structure Activity Relationships
- **RDF** : Refuse Derived Fuel
- **REACH** : Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals

---

## R

- **REDD** : Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation
- **RITE** : Research Institute of Innova-

tive Technology for the Earth (Japan)

- **RO膜** : Reverse Osmosis Membrane
- **RoHS** : Restriction of Hazardous Substances

---

## S

- **SA** : Sustainability Appraisal
- **SAGD** : Steam-Assisted Gravity Drainage
- **SAR** : Synthetic Aperture Radar
- **SC** : Super Critical
- **SEA** : Strategic Environmental Assessment
- **SEAHERO** : Seawater Engineering & Architecture of High Efficiency Reverse Osmosis
- **SOA** : Secondary Organic Aerosol
- **SOFC** : Solid Oxide Fuel Cell
- **SPR工法** : Sewage Pipe Renewal Method

---

## T

- **Tcf** : Trillion cubic feet
- **TEEB** : The Economics of Ecosystems and Biodiversity

---

## U

- **UHV** : Ultra High Voltage
- **USC** : Ultra Super Critical
- **USGS** : US Geological Survey

---

## V

- **VAV** : Variable Air Volume
- **VHF帯** : Very High Frequency 周波数帯
- **VPP** : Virtual Power Plant

---

## W

- **WEEE** : Waste Electrical and Elec-

tronic Equipment

- WE-NET : World Energy Network
- WHOI : Woods Hole Oceanographic Institution :



## 2011年版執筆者・協力者一覧（五十音順／分野毎、敬称略）

※所属・役職は本調査実施の時点

### ■エネルギー分野

- 笠木 伸英（JST 研究開発戦略センター上席フェロー）【分野総括責任者】  
 小久見善八（京都大学産官学連携本部特任教授）  
 金子 祥三（東京大学生産技術研究所特任教授）  
 幸田 栄一（電力中央研究所エネルギー技術研究所上席研究員）  
 小林 茂樹（豊田中央研究所先端研究部門総括室 GeneralManager）  
 田中 知（東京大学大学院工学系研究科教授）  
 谷口 治人（東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター特任教授）  
 堤 敦司（東京大学生産技術研究所教授）  
 茂木 源人（東京大学大学院工学系研究科准教授）  
 山地 憲治（地球環境産業技術研究機構理事・研究所長）  
 吉野 博（東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻教授）

### ■環境保全分野

- 岡田 光正（広島大学大学院工学研究科教授）【分野総括責任者】  
 栗本 洋二（社団法人日本環境アセスメント協会会長／いであ株式会社取締役）  
 小林 伸治（国立環境研究所社会環境システム研究領域交通・都市環境研究室客員研究員）  
 古米 弘明（東京大学大学院工学系研究科教授）  
 白石 寛明（独立行政法人国立環境研究所環境リスク研究センター長）  
 西尾 匡弘（産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門  
 エネルギー社会システムグループ長）  
 西川 雅高（国立環境研究所環境研究基盤技術ラボラトリー環境分析化学研究室長）  
 林 陽生（筑波大学生命環境科学研究科教授）  
 平田 健正（和歌山大学システム工学部教授）  
 丸山 康樹（電力中央研究所首席研究員）

### ■資源循環分野

- 森口 祐一（国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長）【分野総括責任者】  
 大迫 政浩（国立環境研究所企画部次長）  
 岡部 徹（東京大学生産技術研究所教授）  
 平尾 雅彦（東京大学大学院工学研究科教授）  
 藤江 幸一（横浜国立大学大学院環境情報研究院教授）  
 松藤 敏彦（北海道大学大学院工学研究科教授）

**■自然生態管理分野**

- 矢原 徹一 (九州大学大学院理学研究院生物科学部門教授)【分野総括責任者】  
石井励一郎 (海洋研究開発機構地球環境変動領域物質循環プログラム研究員)  
梶 光一 (東京農工大学農学部地域生態システム学科教授)  
竹中 明夫 (国立環境研究所生物圏環境研究領域領域長)  
中静 透 (東北大学大学院生命科学研究科教授)  
中村 圭吾 (国土交通省河川局砂防部砂防計画課課長補佐)  
松田 裕之 (横浜国立大学大学院環境情報研究院教授)  
和田英太郎 (海洋研究開発機構地球環境変動領域物質循環プログラム特任上席研究員)

## ■国際比較企画メンバー■

笠木 伸英	上席フェロー
上野 潔	フェロー
鈴木 至	フェロー
福田佳也乃	フェロー
丸山 浩平	フェロー
宮下 永	フェロー

CRDS-FY2011-IC-02

環境・エネルギー分野

# 科学技術・研究開発の国際比較 2011年版

平成 23 年 6 月 June 2011

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット  
Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒 102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地  
電 話 03-5214-7485  
ファックス 03-5214-7385  
U R L <http://crds.jst.go.jp/>  
© 2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。  
No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.  
Application should be sent to [crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
CT CTCGCC AATTAATA  
TAA TAATC  
TTGCAATTGGA CCCC  
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC  
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC  
AA TAATC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT  
CTCGCC AATTAATA  
ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTCGCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
ATTAATC A AAGA CCT  
GA C CTA ACT CTCAGACC  
0011 1110 000  
00 11 001010 1  
0011 1110 000  
0100 11100 11100 101010000111  
001100 110010  
0001 0011 11110 000101

