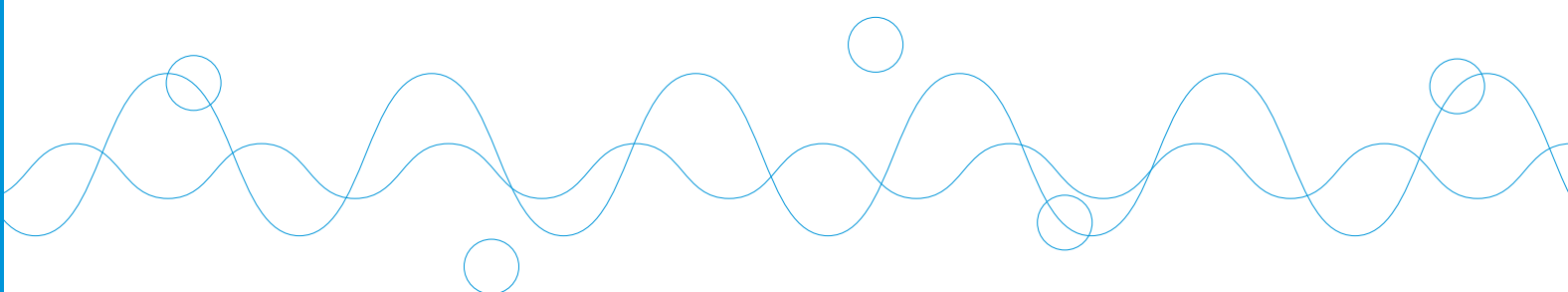


ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTCGCC AATTAATA
 TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
 TGA C CTA ACT CTCAGACC

環境技術

科学技術・研究開発の国際比較 2009年版

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



平成 21 年 5 月



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

Executive Summary

わが国の環境技術の国際的な位置づけを把握し、新しい技術の芽を捉えることを目的に、地球温暖化分野、環境汚染・破壊分野、資源循環分野、自然生態管理分野の4つに大別し、検討を進めた。しかし、環境技術の各分野は、お互いに密接に関連していることを十分に留意すべきである。

この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、理由はそれぞれ異なるものの、日本は世界のトップレベルの技術力を有する。それに対して、自然生態管理分野は、日本の環境研究の弱点である。今後、地球温暖化が進行した際の影響を正確に予測するには、この分野の進展が不可欠であるにも関わらず、未だ重要視されていない。

地球温暖化分野は、本来、地球レベルでの観測技術を包含すべきであるが、今回の検討では、その分野を積極的には取り上げず、排出抑制技術を中心に検討を行った。また、原子力分野の検討は行っていない。

各種製造業における省エネ技術は、日本のほぼ独壇場である。しかも、その優位性は当然継続するものと考えられるが、その理由として、日本のエネルギー価格が高いということ、特に、産業用電力料金の高さが技術の発展を促した点があるということを見逃す訳にはいかない。今後のエネルギー価格の動向が、世界全体としての技術への投資動向を左右することを常に注視する必要がある。

自動車技術の優位性も、しばらく保つことができるが、世界的に燃費を重視する傾向が強まったこともあり、楽観はできない。特に、中国では、世界最初のプラグインハイブリッド車が販売された。また、米国のビッグ3の生存も電気自動車など、環境を重視した自動車に懸かっている。

再生可能エネルギーなどの新エネルギー技術は、世界で最もホットな領域になりつつあり、今後の動向から目を離せない。特に、太陽光発電、風力などの領域は、米国オバマ政権の公約とも深く関連する。需要を喚起する社会システムをどう構築するか、といった技術以外の影響が大きい分野でもある。

環境汚染・破壊分野においては、法規制の有無、および、その遵守をどの程度行っているかが全体の状況を決定している。そのため、環境規制の厳しい日本、米国、欧州の状況が突出しており、技術力も有している。一方、中国では環境の状況が悪化しているものと思われるが、技術的な進展も同時に遅れている。

排水対策技術では、米国の規制がやや緩く、そのため産業技術力も、遅れ気味である。土壌地下水汚染や海洋汚染対策技術になると、逆に、米国は問題意識が高く技術も進んでいる。都市・生活環境対策技術は、一般的に見れば欧米に優位性を認めることができる。

資源循環分野は、それぞれの国のリサイクル政策によって産業技術力が異なる。すなわち、どのような法律の枠組みをもっているかによって、技術の方向性が決まっている。その最たる例がコンクリートのリサイクル技術であり、建築リサイクル法の存在が、日本をこの分野でのトップにしている。プラスチック

クリサイクルになると、ヨーロッパは、自動選別による不純物除去に技術が集中しており、一方、日本では、手選別が未だに主力である。全般的にみて素材のリサイクルについては、日本が進んだ技術をもっているが、難点としては、技術コストが高いことであろう。

製品の環境配慮設計については、欧州では毒性物質の回避に政策の重点が置かれている。一方、日本では、省エネ・省資源に重点が置かれており、全体的な優位性を保っている。中国などの姿勢は、どちらかと言えば、欧州のシステムを採用する方向であり、日本の技術は、精緻ではあるが、異端な技術になる危険性があるとも言える。

自然生態系管理分野は、米国が圧倒的な優位を誇る分野である。同時に、環境関連技術において、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を通じて国家予算の配分もかなり行われていることなどが挙げられる。

この領域が今後重要になる可能性があるのは、温暖化が現実のものとなる2050年以降、それぞれの地域にどのような影響を与えるかを解析する生態系予測モデルなどの構築が不可欠なためである。中国では、米国から帰国した研究者が教授となって、研究を推進しているため、近年の研究水準の向上はめざましい。外来種管理、野生生物感染症研究では、欧州が優位にある。それは、欧州では、これらの被害が大きかったためである。日本では、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレータ関連する分野では国際的な競争力を維持しているが、それ以外では、この分野に重点的な研究投資が行われることはほとんどなかった。そのため、全体的なレベルは、中国と大差のない状況に置かれてしまっている。

この1～2年における注目トピックスとして、エネルギー価格高騰が挙げられる。特に原油の高価格が継続する中、非在来型石油や石油代替エネルギーの開発が進められており、今後さらに加速すると考えられる。また、2008年に京都議定書の第一約束期間が開始し、各国とも排出ガス削減対策を強化する中、地球温暖化問題とエネルギー問題の一体的解決が大きな課題となっている。2009年1月に発足したオバマ政権は、金融危機、気候変動、石油価格高騰の3つの問題を解決するグリーン・ニューディール政策を掲げている。日本は国際的に強い競争力を持つといわれる独自の環境技術をどのように活かして経済社会の発展に貢献するのか、真価が問われている。

目次

Executive Summary

1 目的および構成	1
1 目的および構成	3
2 国際技術力比較	5
2.1 地球温暖化分野	7
2.1.1 概観	7
2.1.2 中綱目ごとの比較	10
(1) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術—産業—	10
(2) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術—交通—	12
(3) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術—建物・家庭—	14
(4) エネルギー供給側からの温暖化抑止技術—従来型エネルギー—	18
(5) エネルギー供給側からの温暖化抑止技術—新エネルギー・再生エネルギー・バイオマスエネルギー—	22
(6) 二酸化炭素回収・貯蔵技術	26
(7) 森林・土壌における吸収技術	30
(8) 農業における温暖化抑止技術	32
(9) 予測・評価技術	34
2.2 環境汚染・破壊分野	38
2.2.1 概観	38
2.2.2 中綱目ごとの比較	40
(1) 大気汚染物質対策技術—移動発生源（自動車等）—	40
(2) 大気汚染物質対策技術—固定発生源（発電所等）—	42
(3) 大気汚染物質対策技術—フロン類対策技術—	44
(4) 産業排水対策技術	46
(5) 生活排水対策技術	50
(6) 陸水汚染対策技術（水資源、水道技術）	52
(7) 海洋汚染対策技術	56
(8) 土壌・地下水汚染対策技術	58
(9) 都市・生活環境対策技術	60
(10) リスク評価技術（化学物質）	62
(11) 環境アセスメント技術	66
2.3 資源循環分野	70
2.3.1 概観	70
2.3.2 中綱目ごとの比較	72
(1) 容器包装プラスチックリサイクル技術	72
(2) 電気電子プラスチックリサイクル技術	74
(3) ガラスリサイクル技術	76

(4) コンクリートリサイクル技術	78
(5) 金属リサイクル技術	80
(6) レアメタル製造技術	84
(7) レアメタルリサイクル技術	86
(8) 分離・選別リサイクル技術	90
(9) 廃棄物中間処理技術	94
(10) 廃棄物最終処理技術	96
(11) 環境配慮・省資源型生産技術—ゼロエミッション技術—	98
(12) 環境配慮・省資源型生産技術—DfE（環境配慮設計）—	100
(13) 環境配慮・省資源型生産技術—サプライチェーンマネジメント技術—	102
(14) 環境配慮・省資源型生産技術—グリーンケミストリー—	104
(15) 環境配慮・省資源型生産技術—事務機器のリユース技術—	106
2.4 自然生態管理分野	108
2.4.1 概観	108
2.4.2 中綱目ごとの比較	112
(1) 生物多様性の観測・評価・予測技術	112
(2) 生態系の観測・評価・予測技術	116
(3) 陸域管理・再生技術	122
(4) 陸水管理・再生技術	126
(5) 海洋管理・再生技術	130
(6) 外来種管理・駆除技術	136
(7) 野生動物管理・復帰技術	140
(8) 野生動物感染症評価・管理技術	144
3 注目すべき研究開発の動向	149
3.1 地球温暖化分野	151
3.2 環境汚染・破壊分野	156
3.3 資源循環分野	161
3.4 自然生態管理分野	167
付録：海外の政策動向	175
海外の政策動向	177
略語集	181
執筆者・協力者一覧	185

1 目的および構成

1 目的および構成

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センターでは、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向けの戦略提言を行っている。的確な戦略提言のためには、わが国の技術力の国際的な位置づけを把握するとともに、新しい技術の芽にも注目する必要がある。

本調査は、上記2つの目的のため、環境技術を対象として実施したものである。環境技術を、「地球温暖化」「環境汚染・破壊」「資源循環」「自然生態管理」の4つに大別し、検討を進めた。しかし、これらの各分野は、お互いに密接に関連していることを十分に留意すべきである。

本報告書は、以下2つの章で構成されている。

第2章「国際技術力比較」は、各国の技術力に関して、専門家の評価を技術カテゴリごとに集めたもので、各国の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。技術力の比較にあたっては、上記4分野を更に細かく10程度の中綱目に分けて調査した。また、技術力の比較は、「研究水準」「技術開発水準」「産業技術力」の3つの観点で行った。研究水準とは大学・国立研究機関における研究レベル、技術開発水準とは企業における研究レベル、産業技術力とは企業における開発力・生産力をいう。これら評価は「現状」と「トレンド」の2つの視点で行っており、現状は4段階（◎：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）で判断した。トレンドについては3段階（↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向）によって判断した。

第3章「注目すべき研究開発の動向」は、国際技術力の現状比較とは別に、今後重要性が増してきそうな技術の芽をとらえることを目的に、注目すべき内外の研究開発や重要性が増してきている技術について調査したものである。国際学会等での最新の動向を踏まえて、とりまとめた。

最後に、環境技術の位置づけについて付言する。環境技術は、健全な地球と人類の持続を実現するために用いる技術として位置づけられる。環境問題は一般に、技術が開発され、それが社会に実装されることによって解決される。すなわち、環境技術は対象となる問題の解決を目的とした技術である。しかし、環境技術を社会に実装するかどうかを決定するのは、社会的状況である。例えば、環境技術のほとんどは先進国で開発された高価なものであり、今後二酸化排出量の増加が見込まれる途上国に実装するためには、その国の経済発展が不可欠である。そのほか、汚染の状況や社会全体としてのマインド等も、環境技術の実装の可否を左右する。気候変動問題の深刻化や世界的な経済危機を克服するため、日本が誇る環境技術を活用しようという機運が高まっているが、上述した環境技術の位置づけを踏まえて、いかに社会に実装するか真剣に議論することが重要である。

2 國際技術力比較

2.1 地球温暖化分野

2.1.1 概観

地球温暖化分野での国際技術比較を実施するにあたり、当該分野の対策技術から8つの中綱目を取り上げた。すなわち、エネルギー消費側からの温暖化抑止技術（産業、交通、建物・家庭）、エネルギー供給側からの温暖化抑止技術（従来型エネルギー、新エネルギー・再生エネルギー、バイオマスエネルギー）、二酸化炭素回収・貯蔵技術、森林・土壌における吸収技術、農業における温暖化抑止技術である。ここでは抑止策を対象とし適応策は取り上げない。また、予測・評価技術も中綱目とした。

低炭素社会への移行が世界の潮流となり、産業革命以降のエネルギー利用を前提にした技術体系・技術社会全体を見直す方向で、すでに短期には20年、長期には50年のスパンでの国際技術競争が始まっている。温暖化は個別技術での万能薬的ブレークスルーでは解決できない。その普及を含めた技術社会システム全体での総合的評価が本来は必要であろう。その中で注目技術の各国比較は以下ようになる。

・鉄鋼・セメント・紙パルプ・化学：エネルギー多消費産業における生産技術に関しては、現在のところ日本の優位性が当分は続く。しかし、欧州は抜本的な削減技術開発を進めており、また韓国の研究開発促進、中国の上昇志向に注意すべきである。

- ・住宅分野省エネ技術では、各国で事情が異なる点があり比較がしにくいだが、欧州が地中熱利用や断熱材、自然エネルギー利用、パッシブハウスなど総合的に優れている。米国は研究開発ポテンシャルが高い。日本はパッシブハウスのようなシステムに関して後れを取っているが、ヒートポンプ、ビル空調用蓄熱技術等の個別機器・技術の性能は高い水準にある。
- ・自動車分野は、当面ハイブリッド車路線が続き日本の優位性が保たれるが、今後のポイントである電池技術については、米国あるいは欧州の研究がそろそろ力を発揮する見込みである。電気自動車・バイオ燃料などの利用システムでの競争が、今後注目を集める。それに対して、水素を燃料とする燃料電池車は、実現がやや遠のきつつある。
- ・発電技術を中心にしたエネルギー供給側技術では、今後は原子力と二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）と組み合わせた石炭の効率的利用が中核となる。日本は、個別火力発電技術およびCCSの個別技術では世界の最高効率水準にあるが、これからは、むしろ欧米が先端を行くCCS技術との組み合わせで、どこまで海外で拡大できるかが鍵である。今後は米国での酸素炊きIGCC（Integrated Coal Gasification Combined Cycle：石炭ガス化複合発電）などでの組合せとの競争となろう。原子力では今後は米国の巻き返しがあるだろうが、世界のコンソーシアムのすべてに日本メーカーが中核として参加しており、フランスとともに世界をひっぱっている。長期には、高温ガス炉やガス冷却増殖炉などの新型炉の開発が、EU、米国、日本、韓国、中国の各国でいっせ

いに進められている。

- ・新エネルギー技術開発は、需要で引っ張る形での技術革新を各国が競っており、需要喚起政策が遅れている日本はこれまでの優位を失いつつある。日本の太陽光発電技術は国内市場の低迷で他国の追い上げを受けている。風力発電でも同じ状況にある。地熱発電の個別技術は強いが、これも国内需要が少ないため伸び悩みにある。欧州は、ドイツ、イタリア、スペインなどでの新エネ利用拡大とともに、技術標準化にまで進んでいる。バイオマスに関しては、バイオエタノール中心の米国、木質バイオマス中心の欧州がリードしており、日本では個別技術研究は進むもののこれも市場喚起が不足して後れを取っている。今後は非穀物系バイオマスの開発がキーとなるであろう。
- ・従来注目されなかった技術として、CCSがある。現在のところ、化石燃料から非化石燃料利用へのつなぎの技術と評価される。日本は分離・回収技術はトップレベルにあるが、貯蔵に関しては国内の適地が不明なため実証段階へは進めないでいる。その間米国では国家技術戦略で2012年にCCSを組み合わせた発電技術を運転開始するし、欧州では2015年に12基の実証プラントを計画するなど、実用化が進んでいる。中国へは米欧がアプローチしており、総合的に見て日本は有利とはいえない。
- ・森林土壌吸収：森林土壌の吸収能力を念頭に置いた対策技術が最近注目されてきた。米国は、衛星リモートセンシングによる森林モニタリングの研究・技術開発水準が極めて高く、人工衛星や航空写真での蓄積量計測技術は今後途上国へも適用され、国際的に吸収のアカウンティングに力を発揮する。日本は造林技術に優れているが、国土が狭く統計データの整備が十分にあり、その分計測技術開発への要求が少ない。
- ・農業分野：基本的に狭隘な農地の稠密管理によるメタン発生抑制などの日本技術は進んでいるが、途上国や米国での粗放農業への適用には困難がある。米国では農地による吸収をひとつの対策と位置づける大規模炭素蓄積プログラムなどがあり、植林・耕作法の転換などを進めている。
- ・気候変化予測モデル開発は、国際協力が第一であるが、世界気候政策決定における個々の国の科学力貢献の意義が大きい。米国・欧州とも人的資源が豊富であり、欧米でのコンピュータ能力が日本を抜いて進んできたこれから底力を発揮されると、研究者層が薄い日本は高速コンピュータのおかげで築いたIPCC (International Panel on Climate Change) 第4次報告での優位性を失うであろう。
- ・核融合や宇宙空間発電等の大規模エネルギー技術は、想定期間内では実効性が少なく、研究開発を進める段階としての評価である。

2.1.2 中綱目ごとの比較

(1) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－産業－

日本における産業部門（工業プロセスを含む）の二酸化炭素排出量は全体の40%程度を占める。そのうちの70%を鉄鋼業、化学工業、セメント業、紙パルプ業が占めている。ここでの技術力比較をこのようなエネルギー多消費産業での省エネ技術や省エネ設備開発技術をベースにして行った。

省エネ技術や省エネ設備開発技術は産業界が中心になって進めてきたこれまでの経緯の中で、大学や国立研究所などの技術水準が進んでいるのは、日本、米国、欧州、韓国で、各国の水準は拮抗している。しかし、中国がまだ遅れたレベルに位置している。各国、各地域の研究水準は昨今の世界的な省エネ要求を背景にその国の省エネ政策と密接な関係にあり、トレンドでは日本と中国の上昇傾向が強い。

次に、企業での技術開発水準が高いのは日本、欧州、韓国で、温室効果ガスの大幅削減を可能にするような抜本的な生産技術の革新の設計に取り組んでいる。中国ではエネルギー多消費産業の規模が急拡大しており、技術開発水準はトップレベルではないが、侮れないものがある。他方、米国の省エネ水準は遅れている。省エネ技術開発よりも、二酸化炭素の地中貯蔵や代替エネルギーの技術開発に産官学が力を入れている結果と見ることができる。

最後に、産業技術力では日本と韓国が非常に進んでおり、その後を追っているのは欧州と中国で、米国は遅れている。中国のエネルギー多消費産業の平均エネルギー利用効率は高くないが、最新のプラントには省エネ技術が導入されており、技術レベルのトレンドは急激に向上している。

以上、技術力を概念的に比較したが、以下のような具体的な数字からも、各国の水準を伺い知ることが可能である。

産業界の主要な省エネ設備普及率の国際比較では、コークス乾式消火設備（CDQ：Coke Dry Quenching）では日本、韓国、ドイツの順で、高炉炉頂圧発電方式（TRT：Top-pressure Recovery Turbine）では日本と韓国が3位のドイツを大きく引き離し、転炉ガス回収設備で日本が韓国、ドイツを引き離している。また、鉄1トンを生産するのに必要なエネルギー指数比較では、日本（100）、韓国（105）、EU（110）、米国（120）、中国（150）となっている。因みに、セメントの中間製品（クリンカ）1トンを作るのに必要なエネルギー指数比較では、日本（100）、西ヨーロッパ（130）、韓国（131）、中国（152）、米国（177）となっている。火力発電の発電効率（%）比較でも、日本（44.7）、ドイツ（37.0）、フランス（36.9）、米国（36.7）、中国（33.2）の順になっている。

エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－産業－

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↗	大学の工学系研究科や産総研を中心に効率向上などの研究が行われている。
	技術開発水準	◎	→	GHG の大幅削減を可能にするような抜本的な生産技術の革新の設計が始まっている。
	産業技術力	◎	→	産業部門のエネルギー利用技術はきわめて高い。
米国	研究水準	○	→	大学や研究機関には多様なアイデアに基づく研究が行われている。
	技術開発水準	△	→	CO ₂ の地中貯留や水素エネルギーに関しては研究のネットワークを作っている。
	産業技術力	×	→	産業部門のエネルギー利用技術の効率は高いとはいえない。
欧州	研究水準	○	→	大学や研究機関には多様なアイデアに基づく研究が行われている。
	技術開発水準	◎	→	GHG の大幅削減を可能にするような抜本的な生産技術の革新の設計が始まっている。
	産業技術力	○	→	産業部門のエネルギー利用技術の効率は比較的高い。
中国	研究水準	△	↗	大学や研究機関の研究レベルは向上しつつある。
	技術開発水準	○	↗	エネルギー多消費産業の企業の規模が急速に拡大しており、研究水準も侮れない。
	産業技術力	○	↗	エネルギー多消費産業の平均のエネルギー利用効率は高くないが、最新のプラントでは現状で利用可能な技術が導入されており、その技術レベルは向上している。
韓国	研究水準	○	→	大学や研究機関の研究レベルは比較的高い。
	技術開発水準	◎	→	産業部門の研究所の研究レベルは高い。
	産業技術力	◎	→	産業部門のエネルギー利用技術は高く、エネルギー多消費産業では、日本とほぼ同レベルである。
全体コメント：鉄鋼業やセメントなどエネルギー多消費産業の技術効率や研究レベルを中心に評価した。				

(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]

(2) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－交通－

交通分野での温暖化抑止技術は多々あるが、ここでは主に自動車に絞って議論をする。

自動車の対策もすでにある技術（短中期的対策、しかし2050年まで引き続き影響を及ぼす）と今はまだ研究段階かまだない技術（長期的対策）に分けられる。後者としては、先進電池、電気自動車、次世代バイオ燃料電池などが主なものとして挙げられる。

技術の優位性としては概して、中国や韓国は日米欧より研究開発で遅れているが、今後の伸びは著しいものがあるだろうから、今後競争性が益々高くなると予想される。特に中国は質の高い研究者の数も多く、革新技術の開発では脅威になる可能性もある。

〔短中期的対策〕

現状のエンジンを含めた自動車車両技術は、今後も引き続き改良が続くが、小型車では日欧が、大型では米が技術的には優位で、ガソリンエンジンでは日米が、ディーゼルでは欧州が優位にある。

ハイブリッド技術は日本が先行し、現在も近い将来も優位を保つだろう。ハイブリッド用電池は先行したということから日本メーカーが優位にあるが、基本技術は欧米メーカーも開発をしており、特に軍用に開発された技術はコスト高ではあるが、高いものがあり、そのようなものの民需への転用により日本の優位をおびやかす可能性は高い。またグリーン・ニューディール政策の動向は注意を払う必要がある。

〔長期的対策〕

ハイブリッド車の広い普及、さらにはプラグインHV車、電気自動車の普及を考えると現状より数段優れた先進電池が必要となる。日米で国家プロジェクトも立ち上がっているが、目標値を達成するための具体的な技術の姿は未だ見えていない。現状では日本が優位であるが、今後の伸び率ではやはり米国、あるいは欧州が有利と予想される。

供給量の制約を緩和するために主としてセルロース系の原料を利用して製造する次世代バイオ燃料は、コスト削減のためにさらなる個別技術の効率向上、各種技術の統合化（数ステップのプロセスを1段で処理する）などが必要である。それには高度なバイオ技術が必要で、関連分野で幅広く技術開発が進んでいる米国、あるいは欧州が優位性を保つ可能性が高い。

実用化はやや遠のいた燃料電池では、日米欧共にトップメーカーの現状技術は高いものがある。しかし、本格的な実用化には、FCスタック（Fuel Cell Stack）、水素貯蔵などの技術がまだ技術革新のステップをいくつも経る必要がある。今後の革新技術の開発しだいで、トップ争いが決まる。その時に必要なのは、まず新しいコンセプトによる新たな技術の芽であり、それが出てくる土壌としては米欧が日本より優位にある。米国の場合、DOD（Department of Defense）、あるいはDOE（Department of Energy）などの政府資金によるベンチャー的な技術への研究開発支援はこれに大きく貢献している。

エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－交通－

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	
	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。
	産業技術力	◎	↗	
米国	研究水準	◎	↗	新しい芽を生む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。
	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。
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。
	産業技術力	○	→	
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、材料分野では資源も豊富（偏在）で、技術も独占されると脅威。
	技術開発水準	△	↗	今後の大きな伸びが想定される。
	産業技術力	△	↗	今後の大きな伸びが想定される。
韓国	研究水準	△	→	
	技術開発水準	○	↗	今後の大きな伸びが想定される。
	産業技術力	○	↗	今後の大きな伸びが想定される。
全体コメント：最近の経済危機の影響もあり、単に技術力だけでなく、商品競争力が重要となり、大型車と特異とする米国の企業競争力は低下傾向にある。				

(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]

(3) エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－建物・家庭－

建物は個々の技術の統合によって成り立っており、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り、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、タスクアンビアントライティング、ライトシエルフ、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。

以上のように建物・家庭を対象とした温暖化抑止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下記に示す。

日本では、研究水準、技術開発水準、産業技術力は、質、量ともに、いずれの面でも優れている。例えば、高性能ヒートポンプ、太陽光発電技術、換気用熱交換素子、ビル空調用蓄熱技術、ダブルスキンシステム、エアフローウィンドーなどは日本が誇れる技術である。特に大手建設会社の研究所は他国にはみられない優れた研究施設を有しており、様々な温暖化抑制技術の研究開発が行われてきている。但し、英語のバリアーがあるために、研究成果が十分に海外に伝わっていない。一方で、更に力を入れるべき分野もあり、例えばエネルギーゼロ住宅やエネルギー生産住宅、建物一体型の太陽熱利用給湯器、地中熱利用ヒートポンプなどの開発は、まだ不十分である。

米国では、ローレンスバークレー国立研究所が温暖化防止技術の研究水準において特に優れており、高効率照明器具、BEMS、高反射塗料、高性能窓、建物気密化手法・測定法などが開発されている。建設会社やハウスメーカーにおける研究所は日本のような規模の大きなものはないが、設備機器メーカーには、水準の高い研究所で開発が行われている。自然エネルギー利用は活発で、石油危機以後、毎年、パッシブソーラーエネルギー利用の会議が行われており、パッシブシステムが取り入れられた商業建築、住宅が数多く建設されている。米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) では、最近、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。

欧州では、寒冷気候にあるスウェーデン、デンマークにおいて、断熱・気密化の各種技術の水準や産業技術力が優れている。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技術の研究水準、産業技術力が優れている。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。

中国では、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おり、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。建設会社には研究所はなく技術開発は大学に委託している。建設現場における産業技術水準も低い。但し、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。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。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薦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。

エネルギー消費側からの温暖化抑止技術－建物・家庭－

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
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。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、ダブルスキン、エアフローウインドー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。
	産業技術力	◎	↗	生産現場における技術力は世界最高であり、世界各地の建築プロジェクトにも参加している。
米国	研究水準	◎	↗	ローレンスバークレー国立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。
	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少ない。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。空調関連の技術者が会員の多くを占めるASHRAE学会では、多くの研究発表が発表されている。
	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。
	技術開発水準	◎	↗	ドイツのフラウンホーファー研究所は半官半民であるが、大学とも連携をとり、水準の高い研究を進めている。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が進められている。
	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。
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。
	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くる。
	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。
韓国	研究水準	△	↗	温暖化問題に対する意識は未だ高くはないが、今後、研究も進むと予想される。
	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。
	産業技術力	○	↗	省エネルギーの家電製品の生産力は高い。

全体コメント：建築・家庭分野における温暖化抑制技術は、極めて多岐にわたり、一言で評価することが困難である。建築は様々な技術の総合であることと、欧州では気候条件の違いもあって国によって得意分野が異なることなどがその理由である。

(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]

(4) エネルギー供給側からの温暖化抑止技術－従来型エネルギー－

温室効果ガスの排出に大きく寄与している電力供給を中心に議論する。各国の事情により、その供給構造は大きく異なるが、化石資源であるガス・石油・石炭火力発電所の対応をどのように考えるかが大きなファクターとなる。炭素強度の高い石炭から低炭素化するというのが一つの方向性となる。長期的には非化石由来の原子力発電等への転換が理想であるが、需要と資源制約からも石炭への依存が強まることは必至であり、後述する二酸化炭素の回収・貯留 (CCS) を組み合わせたシステムの適用で非化石エネルギーシステムへの橋渡し (ブリッジ) することの必要性が指摘される。ここでは、CCS 以外の観点について概観する。

日本では、電力供給の3割を原子力が支え、約60%については化石資源火力発電所からの電力に依存している。世界的に見ても日本の火力発電所の効率は高く、石炭の微粉炭焚き火力発電所においても超々臨界圧ボイラの採用の標準化などの効果大きい。現在開発の進められている空気吹き IGCC では、最新鋭の1500℃級のガスタービンコンバインドサイクルの採用による熱効率は、現行の微粉炭焚き火力発電所から6～8%の効率向上が見込まれている。空気焚きの IGCC は日本独自の技術として注目される。原子力発電に関しては、基盤電力としての位置付けは変わらないが、核燃料サイクルの確立や高速増殖炉の開発など長期的課題も多い。世界の原子炉メーカーが、(1) 東芝、米ゼネラル・エレクトリック社、(2) 日立、三菱重工業、(3) 仏アレバ社の三極構造となっており、いずれのグループにも日本企業が入っていることから、世界の原子炉メーカーにおける日本企業の位置がわかる。

米国では、電力供給の約半分を石炭火力発電に依存している。その多くは日本ほど高い効率で運転されている設備は多くない。一方で、将来的な CCS 適用をにらんだ形で、酸素焚き IGCC の開発、普及に関する研究開発が進んでいる。また、30年以上に渡り低迷を続けてきた原子力発電についても「原子カルネサンス」と称して再活性化が図られている。電力自由化をにらんだ利用率向上や既存設備の増強などが推進されている。

欧州においては、電力供給構造はその国により大きく状況異なる、電力供給の80%以上を原子力で賄うフランスに対し、イギリスでは70%、ドイツでも60%強が火力発電により賄われている。二酸化炭素排出削減に関しては、CCS を組み合わせた ZEP (Zero Emission Fossil Fuel Power Plants : ゼロエミッション発電) を2015年までに12基のデモンストレーションプラントを推進するなどの動きもある。一方、近年のエネルギー供給の増加に対しては、天然ガス発電で賄う傾向にあったが、近年原子力発電の再評価の動きも見え始めている。EUの技術開発プログラムにおいても高温ガス炉、ガス冷却増殖炉など次世代型炉の研究開発も進められる見込みである。

中国においては、電力需要の80%以上を石炭火力発電によりまかなっている。必ずしも効率の良いシステムが導入されているとはいえ、今後の需要増に対して少なくとも新規設備には高効率システムの適用や CCS 導入といったことが対策として必要になると考えられる。一方、原子力発電の動きとしては、2020年までに30基を新設、設備容量を4000万kW前後に引き上げる計画と

なっている。国産技術の導入は発展途上段階であるものの、将来的には高速炉を重視しており、実験炉の建設などの推進が図られている。

韓国においては、電力供給の4割が原子力であり、それ以外のほとんどが火力発電により賄われている。原子力に関しても、世界の6位に位置する。原子力発電の国産化も進行しており、将来技術として海水淡水化とのシステム統合炉の開発などが行われている。

エネルギー供給側からの温暖化抑止技術－従来型エネルギー－

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準			
	技術開発水準	◎	↗	現在開発の進められている空気吹き IGCC では、最新鋭の 1500℃級のガスタービンコンバインドサイクルの採用による熱効率率は、現行の微粉炭焼き火力発電所から 6～8%の効率向上が見込まれている。空気焼きの IGCC は我が国独自の技術として注目される
	産業技術力	◎	↗	火力発電所の効率は高く、石炭の微粉炭焼き火力発電所においても超々臨界圧ボイラの採用の標準化などの効果大きい。世界の原子炉メーカーが、東芝、米ゼネラル・エレクトリック社 - 日立、三菱重工業 - 仏アレバ社の三極構造全てに日本企業が入っている。
米国	研究水準			
	技術開発水準	◎	→	将来的な CCS 適用をにらんだ形で、酸素焼き IGCC の開発、普及に関する研究開発が進んでいる
	産業技術力	○	↗	30 年以上に渡り低迷を続けてきた原子力発電についても「原子カルネサンス」と称して再活性化が図られている。電力自由化をにらんでの利用率向上や既存設備の増強などが推進されている。
欧州	研究水準			
	技術開発水準	○	↗	EU の技術開発プログラムにおいても高温ガス炉、ガス冷却増殖炉など次世代型炉の研究開発も進められる見込みである。火力発電の高効率化にあたり、超々臨界圧プラントの技術開発にも積極的な動きが見られる。
	産業技術力	○	→	CO ₂ 排出削減に関しては、CCS を組み合わせた ZEP（ゼロエミッション発電）を 2015 年までに 12 基のデモンストレーションプラントを推進するなどの動きもある。一方、近年のエネルギー供給の増加に対しては、天然ガス発電で賄う傾向にあったが、近年原子力発電の再評価の動きも見え始めている。
中国	研究水準			
	技術開発水準	△	↗	国産技術の導入は発展途上段階であるものの、将来的には高速炉を重視しており、実験炉の建設などの推進が図られている。
	産業技術力	△	→	石炭の効率的利用の取り組みとして石炭ガス化炉の導入が進んでいるが、石油代替や化学原料への利用が主流で IGCC 等への展開はまだ見られず、かつ欧米の技術に依存している。
韓国	研究水準			
	技術開発水準	○	↗	原子力発電の国産化も進行しており、将来技術として海水淡水化とのシステム統合炉の開発などが行われている。
	産業技術力	○	↗	原子力発電分野については、対外的に技術供与のできるレベルにある。
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。				

(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]

(5) エネルギー供給側からの温暖化抑止技術－新エネルギー・再生エネルギー・バイオマスエネルギー－

再生可能エネルギーに関しては注目度も高く、IPCC 第4次評価報告書の中でも将来の温室効果ガス排出抑制の大きな役割を担うものとして期待されている。さらに、米国でのグリーン・ニューディール政策が実施されると、この分野での国際競争の激化とともに協調が求められる状況を考える必要がある。

日本においては、二度の石油ショックを経験する中で、各種の非化石資源エネルギーに関する研究開発が長年続けられてきた。その中で、最も実績を上げているのは太陽光発電である。2005年時点で約1400MWの導入実績を持ち、さらに2010年までには4820MWの導入目標に向けた取り組みがなされている。2009年3月になって、日本でもフィードインタリフ制度（Feed-in Tariff：固定価格買取制度）の導入が発表された。しかしながら、シリコン原料の需要逼迫や他国の台頭も相まって日本の生産量の伸びは鈍っている。対応策としては、結晶シリコンに代わる薄膜系太陽電池の商品化など効率向上と低コスト化に関する研究開発が進められている。国内生産の大半が海外に供給されているため、国内での普及・展開は鈍っている。風力発電に関しても導入普及が促進されているが、他国の増加率にくらべるとやや鈍い。さらに、設備の増加に伴って、日本固有の状況として台風や強風による被害や落雷の影響を受ける事例が多発している。現在、IEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）規格も策定されている風力発電であるが、日本の状況はその範疇に納まらないことが指摘され、今後の普及に向けて新たな技術開発の必要がある。地熱発電に関しては、もとより火山国である特性からそのポテンシャルは大きい。しかしながら、実際の実用化の程度は停滞している。一方で、海外における地熱発電で用いられているタービン・発電機のシェアは75%が日本製であるなど、技術協力についてのアクティビティは極めて高い。これらのアクティビティを、国内での展開の拡大と、さらなる技術レベルの維持・向上を図ることが望まれる。

バイオマスに関しては、1990年から2000年までの特許出願の約半数を日本からの出願が占めるなど、技術的に諸外国に引けを取らない。今後の競争力強化に期待したい。食料と競合を避けた、セルロース系バイオマスからのエネルギー転換技術の開発が進められており、その将来性に期待したい。

米国においては、2006年1月に「Solar America Initiative」が発表され、2015年までに太陽光発電の市場競争力確保を目指した、基礎研究から実用化技術開発まで幅広い研究開発が進められている。風力発電に関しては、ドイツに次いで世界第2位の発電容量を持つに至っている。陸上においても風況の良いサイトを有する米国であるが、さらに浅海洋上風力技術の研究開発が進められている。米国は、バイオマスの代替燃料としての利用が最も多く、全エネルギー生産の4%を供給している。バイオエタノール推進の意向が強く、明らかに農業振興策であり、その傾向は今後とも継続することが予測されるが、食料との競合が顕在化しており、非穀物系バイオマスからのエタノール生産の研究開発が進められている。

欧州では、太陽光発電の導入普及が積極的に推進されている。特にドイツで

実施されている Feed-in Tariff 制度による導入インセンティブにより、2005年には日本を抜いてドイツが累積導入量で世界一になったのは記憶に新しい。これらの動きは、さらにイタリアやスペインなどにも拡大しつつある。風力発電に関しては、全世界の設備容量の2/3を占め世界の先端を走っているが、近年、従来から大規模な導入の進んでいたドイツ、スペインに追随する形でフランス、ポルトガル、イギリスなどの増加率が顕著である。これらの普及・展開には技術の標準化が推進されたことにより、成熟した産業のレベルにある。地熱発電に関しては、従来から積極的に推進されているアイスランドを筆頭に、現在ではフランス、ドイツなどでも地熱資源の積極的な開発推進がなされている。バイオマスエネルギーに関しては、その利用は盛んであり、木質系バイオマスの生産量の増加、特にバイオ燃料の増加は前年比66%増と著しい。今後とも、欧州指令などの支援の下で増加傾向に拍車がかかると思われる。

中国においては、風力発電の導入普及拡大はめざましく、2007年には前年比倍増となっている。中国では研究水準、技術水準は高くないが、留学生の帰国によりノウハウが集積しつつある。追跡研究が行われているレベルにある。バイオエタノール生産量は着実に増えており、それなりの競争力を予想させる。

韓国においては、サムスンやLG社の資金力による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。バイオマス利用は、我が国とは異なり混焼利用を中心に検討されている。また、バイオエタノールやBDF (Bio-Diesel Fuel) 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。地熱資源は必ずしも恵まれた環境におかれていないが、近年地熱開発を積極的に推進する方向で推進が図られている。

エネルギー供給側からの温暖化抑止技術－新エネルギー・再生エネルギー・バイオマスエネルギー－

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	結晶シリコン、薄膜シリコン系の太陽電池ではこれまで世界をリードしてきた。次世代、次々世代系での研究水準は欧米にやや遅れている。風力発電、地熱発電の技術水準は高い。バイオマスではユニークな研究開発がなされ、研究水準は高い。
	技術開発水準	◎	→	結晶シリコン、薄膜シリコン系など現在製品化されている分野では世界をリードしている。風力発電、地熱発電の技術は欧米に劣らない。バイオエタノール技術水準は高いが、まだ、実用段階にいたっていない。
	産業技術力	○	→	太陽電池以外の技術の実用化が遅れている。バイオ燃料では市場が明確でないため、欧米に較べて劣勢である。
米国	研究水準	◎	↗	CIGS系、有機半導体系で巻き返しをめざし、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は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、実用化研究にやや遅れが見られる。SOFC開発については、国研・大学などの成果を反映する体制で成果を上げつつある。
	技術開発水準	○	↗	太陽電池の産業が大きく育っていないので、研究に比べて技術開発が日欧より劣る。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。MCFC燃料電池開発には長年の実績があり将来の分散電源としての展開も近い将来に位置付けられている。
	産業技術力	○	→	太陽電池の産業が大きく育っていないので、技術開発も日欧より劣る。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、産業技術力は極めて高い水準にある。
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、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が、先導的な研究が行われている。
	技術開発水準	◎	→	太陽電池は市場の展開により技術開発水準は急激に伸びている。大学の研究成果が移転されるケースが増えている。BDFについては、変換技術や周辺技術が高い。風力発電、地熱発電の研究開発水準は高い。MCFC燃料電池開発は米国とも共同で進められ実績を上げつつある。SOFCの開発についてもMWクラスを目指し開発が着実に進んでいる。
	産業技術力	◎	→	太陽電池は市場の展開により技術開発水準は急激に伸びており、日本を抜く日が近い。BDFについては、需要の増加に対応する形で、技術も高くなってきた。風力発電、地熱発電の研究開発水準は高い。
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、我が国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む可能性が高い。
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。燃料電池開発の基礎研究は着実に進められつつある。小型SOFCの開発なども進められている。
	技術開発水準	△	↗	サムスンやLG社の資金力による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、日本に大きく遅れているが、意欲的な取組みが一部で始まっている。

(注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。

(注2) 近年のトレンド 【↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向】

(6) 二酸化炭素回収・貯蔵技術

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。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ラ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。

二酸化炭素回収・貯蔵技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	↗	多くの研究が進められており、質的には水準は高い。
	技術開発水準	◎	↗	企業の研究施設・設備も優れている。純酸素燃焼はラボスケールでの国際共同研究が進行。膜分離技術も将来技術として研究が進められている。
	産業技術力	◎	↗	分離・回収技術は世界最高水準であり、世界各地のプロジェクトからの引き合いも多い。
米国	研究水準	◎	↗	回収法などは、多くの国立研究所、大学で水準の高い研究が進んでいる。
	技術開発水準	◎	→	分離回収技術の適用には IGCC を中心に推進。FutureGen など国内での実証プロジェクトの選定もなされ着実な推進が図られつつある。
	産業技術力	◎	→	多くは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。
欧州	研究水準	◎	↗	北海油ガス田を有することから、貯留に関する実証研究が進んでおり、水準も高い。
	技術開発水準	○	→	分離回収に関するプロジェクトなども進行している。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。2015年までに12基のゼロエミッションプラントのデモを計画するなどアクティビティも高い。
	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	△	→	研究レベルは対象となる機関によって大幅に異なる。
	技術開発水準	△	→	欧州との共同実施の検討などが進みつつあるが、エネルギー確保に重点が置かれており、環境適応への展開には未だ至っていない。
	産業技術力	×	→	海域ガス田開発なども実施されつつあるのでポテンシャルは有するが、温暖化対策としての展開には至らない。
韓国	研究水準	○	↗	温暖化問題に対する意識は未だ高くはないが、官民連携のプロジェクトも進行しつつあり今後、研究も進むと予想される。
	技術開発水準	△	→	
	産業技術力	×	→	自国での適地に乏しく、海外展開への基盤も今後の検討課題である。

(注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。

(注2) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→現状維持、↘下降傾向]

(7) 森林・土壌における吸収技術

森林・土壌における技術は、造林技術や伐採技術といった吸収や排出削減に直接係わる技術と、森林のモニタリングや炭素収支モデルなど、吸収・排出削減の実現を支援する技術に大きく分けられる。このことを前提に、各国の状況を示す。

日本においては、戦後の国内の拡大造林政策により、植林、育種に係わる造林技術は一気に進んだ。しかし、拡大造林が一息ついた後は、林業技術の重心は伐採の機械化に移っていった。伐採に係わる技術開発は、規模の大きな欧米が中心となっており、日本はそれらの適用という位置づけである。造林技術は、その後、途上国へ技術移転され、主に独立行政法人国際協力機構（JICA）を通じて各国の植林・緑化事業に貢献している。

吸収・排出の管理につながる森林計画技術においては、行政を中心として森林情報のデータベース化やGIS化が進んでいる。衛星リモートセンシングによる森林の観測技術は、大学や研究機関において、国内外の森林を対象とし先進的な研究が進むのと同時に、JICAなどを通して途上国での森林分布図の作成や、森林火災探査システムの開発が行われるなど、研究水準、技術開発水準は国際的に高い水準を保っている。さらに、現在、温暖化対策の一つである途上国の森林減少の削減のため、森林のモニタリングが求められており、その中で技術開発の期待が大きい。また、森林の炭素収支推定のための炭素収支モデルや、森林のフラックスの観測といった分野でも、研究水準、技術開発水準は高い。

米国においては、造林技術、伐採技術ともに、高い技術開発レベルにあるが、対象森林が従来の天然林から人工林に移っており、技術開発の重心も同様な移動が見られる。また、森林火災の増加傾向を背景に、森林火災抑止施策が進んでいるが、これは吸収源維持・排出削減といった温暖化施策につながるものである。米国は衛星リモートセンシングによる森林モニタリングに関して先進的であり、研究および技術開発の水準は非常に高い。また、森林の炭素収支モデルや、森林のフラックス観測といった分野でも先進的である。

欧州においては、造林技術、伐採技術ともに高いが、特に伐採技術においては最先端技術を持っている。これは、木質バイオマスエネルギー利用の普及を背景にしたものであり、木材利用による排出削減技術においては最先端を行っている。森林モニタリングについては、衛星リモートセンシングによるものと同時に、システムティックサンプリングによる森林資源調査が高いレベルで実施されている。また、森林の炭素収支モデルや、森林のフラックス観測といった分野でも先進的である。

中国においては、近年、毎年100万haという大きな規模での植林事業が進んでおり、育種技術も高まっている。しかしながら、総じて人手による造林作業であり、技術的には進んでいるというわけではない。森林モニタリング技術については、衛星リモートセンシングの利用や森林のフラックス観測に係わる研究が進められている。

韓国においては、吸収および排出削減に係わる林業技術、あるいは森林モニタリングに関して、余り先進性は認められない。森林の吸排出量の算定のため、森林資源調査に基づいたシステム開発の検討が始められている。

森林・土壌における吸収技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	リモートセンシングや森林炭素収支モデル、フラックス観測など、先進的に取り組んでいる。
	技術開発水準	◎	→	植林・育種技術が高いが、伐採技術に係わる開発水準は欧米に劣る。
	産業技術力	○	→	林業分野の技術力が停滞している。
米国	研究水準	◎	→	森林炭素収支モデル、フラックス観測などについては最先端。
	技術開発水準	◎	→	リモートセンシング技術は最先端。
	産業技術力	◎	→	民間企業の技術力が高レベル。
欧州	研究水準	◎	→	森林資源調査や森林土壌調査など、国あるいは欧州レベルでの基礎調査システムが構築され、研究レベルは高度である。
	技術開発水準	◎	↗	リモートセンシングや森林炭素収支モデルの技術力高い。特に、次期枠組みでの制度構築のため、REDD（途上国における森林減少・劣化による排出の削減）に関わり、リモートセンシングを用いた排出量推定技術の開発が精力的に行われている。
	産業技術力	◎	↗	木質バイオマスエネルギーを背景にした、木材利用技術のレベルが高い。
中国	研究水準	○	↗	リモートセンシング、フラックス観測などの研究水準が高まってきている。
	技術開発水準	○	↗	急速に技術力を持ってきている。
	産業技術力	△	→	人手によるものが中心。
韓国	研究水準	○	↗	2008年より森林による吸収量算定システムの構築を目指した研究が始まり、日本、中国といった周辺国とのワークショップを開くなど積極的な研究活動を開始した。
	技術開発水準	△	→	特に目立った点は見あたらない。
	産業技術力	△	→	特に目立った点は見あたらない。
<p>全体コメント：近年、森林分野では二酸化炭素排出の20%を占めると言われる途上国の森林減少・劣化による排出に焦点が集まり、REDDと称し次期枠組み構築に向け制度構築が大きな国際議論となっている。REDDにおいては、リモートセンシングによる排出量推定技術に大きな期待が注がれ、特に欧州において技術開発が盛んとなっている。日本においても同様に研究開発が行われているが、その規模は欧州に及んでいないのが実状である。</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]

(8) 農業における温暖化抑止技術

2005年で、農業部門から排出される温室効果ガス起源の第1位から第4位は、26.2%が家畜排泄物、25.7%が家畜の消化管内発酵、21.2%が稲作（主にメタン）、9.5%が肥料由来（主に一酸化二窒素）となっている。ここでの技術力比較はこのような温室効果ガス起源を抑止する技術や農業の省エネ技術（プラスチックや農薬などの利用削減のための代替技術）をベースにして行った。

大学や国立研究所などの研究水準では日、米、欧に大きな差はなく非常に高い水準にあり、中国と韓国をリードしている。各国が抱える状況に応じた特徴ある研究をそれぞれが進めており、その結果同じ技術での比較は必ずしも容易でない。

日本では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積極的に行われている。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技術、省エネルギーハウスの研究では世界のトップクラスにある。

米国では堆肥の管理、耕起の削減、農地への植林などによる削減に関する研究に重点をおいて取り組んでいる。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を進めており、その水準は高い。

中国、韓国では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研究が進められている点で、温暖化抑止技術では日、米、欧に見劣りしている。

企業での技術開発水準が非常に高いのは米国で、日本や韓国を凌いでいる。

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、200万トンの二酸化炭素の削減効果があることを実証した。有機農業の世界的な流れを作る技術力は注目に値する。

中国や欧州は積極的に取り組む勢いに欠けており、その結果として、農業の温暖化抑止技術では後れを取っている。

企業における産業技術力では日本、米国、欧州、韓国、中国すべてが遅れているという水準にある。

日本では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。

米国ではバイオ燃料の生産に関して力を入れている。農家当たりの農地面積が日本などに比べて広いことから、バイオ燃料技術適用の効果が大きい。

韓国の産業技術力水準は日本とほぼ同じであるが、中国は遅れている。

農業における温暖化抑制技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
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。
	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。
	産業技術力	△	→	緩効性肥料などの製品販売は行われている。しかし、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。農林水産省では、生産者と消費者双方に削減対策のインセンティブとなる方法を考案中である。
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 ₂ 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（ストローパー）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	◎	↗	ほとんどの排出削減が非農業からのものである。
	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。
	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。
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。
	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。
	産業技術力	△	→	ほとんど実施されていない。2008 年に初めて農業工業水汚染排出基準が実施された。効果が強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、病虫害の発生抑制の研究が進んでいる。
	技術開発水準	○	↗	日本の水準に近い。
	産業技術力	△	→	日本の水準に近い。
<p>全体コメント：近年、森林分野では二酸化炭素排出の 20% を占めると言われる途上国の森林減少・劣化による排出に焦点が集まり、REDD と称し次期枠組み構築に向け制度構築が大きな国際議論となっている。REDD においては、リモートセンシングによる排出量推定技術に大きな期待が注がれ、特に欧州において技術開発が盛んとなっている。日本においても同様に研究開発が行われているが、その規模は欧州に及んでいないのが実状である。</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]

(9) 予測・評価技術

① 評価の観点

温暖化の予測・評価技術開発の目的には、「自国の安全保障問題」（食料・エネルギーの安定確保）と「地球温暖化対策」に貢献するという二つの側面がある。このため、国家安全保障の観点から、各国は独自の技術開発を手放すことはなく、良い技術が必ずしも世界全体に普及するというわけではないことに注意が必要である。

この側面をふまえつつ、全世界の地球温暖化対策に貢献することを目的として、広く使われる技術の価値が高いものと仮定して評価する。なお、研究水準、技術開発水準、産業技術力については、下記のように解釈して評価をした。

- (i) 研究水準：温暖化の予測・評価に関連する大学・研究機関・メーカーの能力（個別のスーパーコンピュータを作る能力、精度の高いモデルを作る能力等）
- (ii) 技術開発水準：インテグレーション能力（いくつかのモデルを統合して、高い性能のコンピュータにインプリメントして、使えるモデルを作る能力、社会の中で結果を利用するニーズの多寡など、社会全体の水準
- (iii) 国際貢献力（産業技術力）：よい結果を世界中の共有財産として使いやすくするインフラを含めた産業全体の技術力

また、地球温暖化分野の予測・評価技術の評価対象は下記ものとした。

- ・大気海洋結合モデル（AOGCM：Atmosphere-Ocean General Circulation Model）
- ・地球システムモデル（ESM：Earth System Model）
- ・古気候モデル
- ・統合簡易モデル
- ・スーパーコンピュータ
- ・オペレーティングシステム（OS）
- ・データグリッド技術

① 予測・評価技術の概観

数百年の時間スケールの地球温暖化現象を予測・評価するには、(i) 地球の気象・気候現象の観測、(ii) 理論によるパラメタリゼーション（モデル化）、(iii) スパコンによる予測モデルの高速実行（シミュレーション）、の三位一体的な取り組みが不可欠である。

気候変化を直接予測するモデルは、一般に、大循環モデル GCM（General Circulation Model）と簡易モデル（Simple Model）に分類できる（図 1 参照）。このうち、GCM はスーパーコンピュータ（以下スパコン）を使用する大規模な数値モデルで、これまでに、物理、地球生物・化学等の分野において様々な要素モデルが開発され、1990 年代の後半には大気モデル、陸面モデル、海洋・海氷モデルを結合した大気海洋モデル AOGCM が完成し、現在の温暖化予測モデルの主流となっている。一方、簡易モデルは、スパコンを使用しない簡単なモデルであり、純粋な理論モデルや GCM の結果をデータベース化して任意の時間・空間の値を補完法（あるいは応答関数法）で求めるものなど様々である。このなかでも、経済・エネルギー・環境の複合問題（トリレンマ問題 [2]、

あるいは3E問題)である地球温暖化問題を解決するツールは統合評価モデル(IAMs: Integrated Assessment Models)と呼ばれており、政策立案支援ツールとして用いられている。これらのモデル構築をリードしているのは米国である。一方、日本は国土が狭いという特徴を活かして高解像度のモデルの開発で優位性がある。なお、IPCC第4次評価報告書の中でレビューされたAOGCM(合計23モデル)の結果(かっこ内は提供したモデルの数)は、次の通り[3]である: 米国(7)、日本(3)、中国(2)、カナダ(2)、フランス(2)、イギリス(2)、ノルウェー(1)、オーストラリア(1)、ドイツ(1)、韓国(1)、ロシア(1)。

スパコンによるシミュレーションについては、日米が高速化を強かに推進している。半導体技術分野で有名なムーアの法則(1965)によれば、計算機のスピードは1.5年~2年で約2倍速くなる。したがって、5年で約10倍速くなる勘定であり、過去30年では約106倍(100万倍)速くなったことになる。日本でも世界最高速の地球シミュレータ(40Gflops)の運用(2002年~)や2010年頃には数十Petaflops級のコンピュータが計画されている。米国では、スパコンで予測された大量・高価な予測データを複数のユーザーが高速ネットワークを経由して使用するEarth Data Grid等も実用化されている。日本では、超高速スーパーコンピュータを駆使する計算科学(Science Computing)分野の研究者の充実が今後の大きな課題である。

なお、この分野では、競争だけでなく国際協力が特に重要であり、この分野の技術的な国際協力を進めることは、ひいては日本の安全保障上も有利であることを付記しておく。

<参考文献>

- [1] IPCC 第3次評価報告書 TAR (2001) J.H. Houghton et al., eds., Climate Change 2001; The Scientific Basis, Cambridge U. Press, 881p.
- [2] 依田直監修・地球問題研究会(1993) トリレンマへの挑戦、人類、今選択のとき, 毎日新聞社.
- [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.

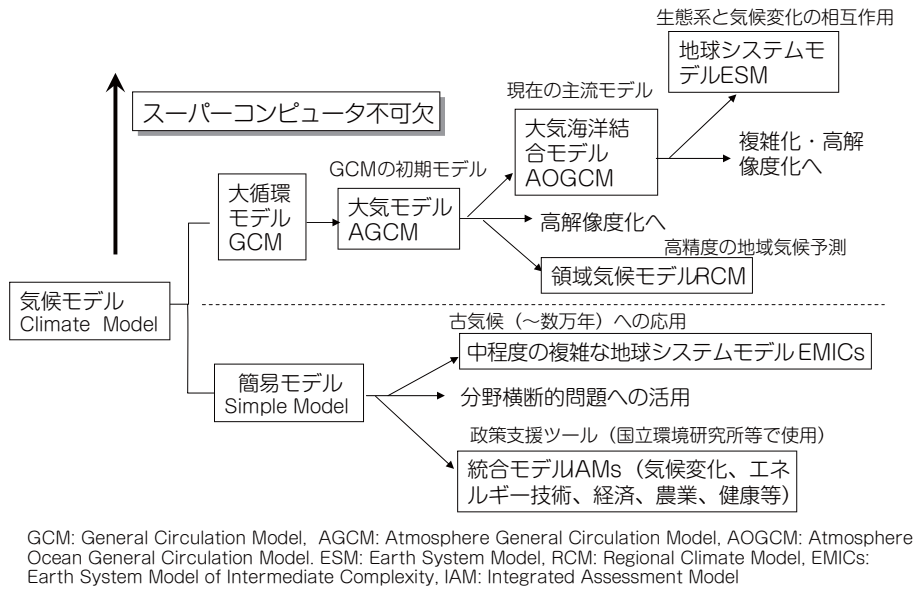


図1 温暖化予測モデルの分類

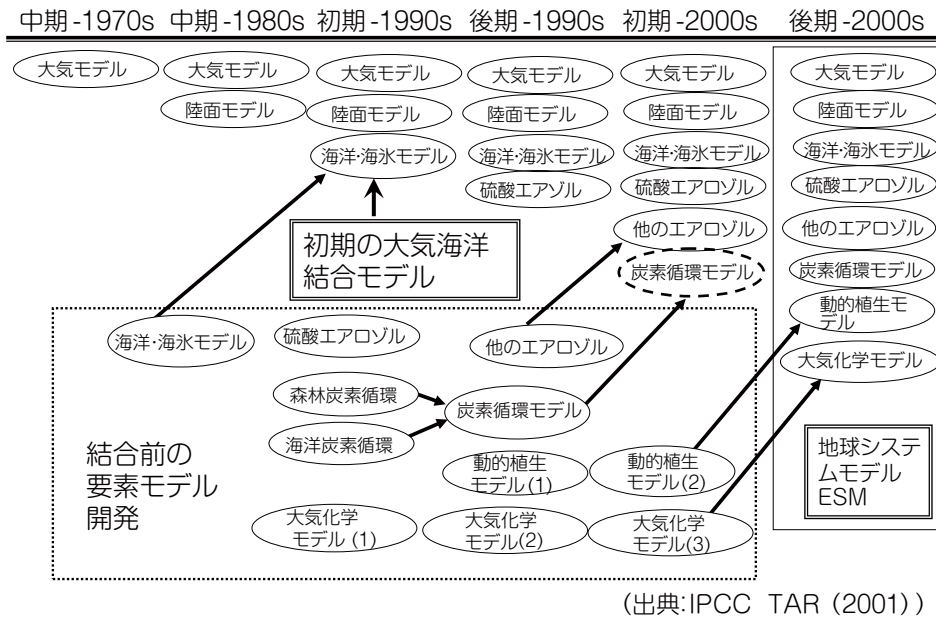


図2 大循環モデル GCM 開発の歴史

予測・評価技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	地球環境フロンティア研究センター、東京大学気候システム研究センター、気象庁・気象研究所等での気候モデル作りの能力も高い。計算科学面では電中研が強いものの、欧米に比べて研究者の層の薄さが弱点である。
	技術開発水準	◎	↗	ベクトル型スパコンの製造能力は高い。文科省プロジェクトにより、理化学研が中心となり、日立、富士通、NEC の協力によりベタフロップス級の高速コンピュータを開発中（2010 年頃）。国土が小さいことから気候モデルの分解能向上の必要性にせまられていること、地球シミュレータのような高速スパコンを利用できる環境にあることから、世界最高水準の高解像度の大気海洋結合モデル（AOGCM）が開発されている。結果として、地形に依存する降水（豪雨）の予測精度が向上する可能性がある。
	産業技術力	○	↘	ナショナルフラッグ（地球シミュレータ ES）は、2002 年当時の民生用よりも性能が 100 倍程度高く結果として、ローエンドとハイエンドの二極化が進んだ。地球シミュレータ以降の民生用スパコンは低調に推移し、ES も今や世界の 15 位程度に沈んでいる。各大学のスパコンセンターの利用率も上がっておらず、並列計算機技術の教育も活発とは言えない。
米国	研究水準	◎	↗	DOE (OakRidge National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory の PCMDI)、NASA などを中心として、計算科学技術の水準は極めて高い。また、National Security Agency に世界のスパコンの半分があるとされている。モデル作りでは、NCAR (National Center for Atmospheric Research) に NSF の多くの予算が集中的に投資され、規模や能力も世界一流で、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。
	技術開発水準	◎	↗	PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) が世界中の温暖化予測結果を整理して、提供できるようにしており、IPCC への貢献度も高い。NCAR、NASA、NOAA、DOE など、大気海洋結合モデル（AOGCM）、地球システムモデル（ESM）開発において研究者層が非常に厚い。
	産業技術力	◎	↗	スパコンメーカー（Cray, IBM 等）も低下価格のスカラ計算機開発に競争力を有しており、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（Earth System Grid）を整備しており、データの共有技術及びデータ量は豊富である。また、軍需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存在せず高速計算機資源不足が弱点であり、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 ES 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) を中心に中期モデル（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	○	→	EU 全体としては面積も広く、農業などの一次産業の比率が高いので、中期予報や温暖化予測へのニーズが高いことが強みである。
中国	研究水準	?	?	宇宙、原子力、軍事全てにおいて、予測・評価技術に関するニーズはあり、スパコンを作る能力もあると推定されるが、温暖化の予測・評価の水準について、判断できる情報が少ない。
	技術開発水準	?	?	
	産業技術力	?	?	
韓国	研究水準	○	→	韓国気象庁や大学等では、気候モデルを独自開発する試みもあるが、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できるモデル（コミュニティモデル）をユーザーとして利用することが多くなるであろう。
	技術開発水準	△	↗	KISTI (Korea Institute of Science and Technology Information) 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。計算科学面の研究者の厚みは意外にある。
	産業技術力	△	→	すでに、韓国の一人当たりの CO ₂ 排出量は日本並みである。しかし、エネルギー需要は増加しており、今後、温暖化の緩和努力をするのかどうか不明で、社会のニーズも高いとはいえない。
<p>全体コメント：日本では、スーパーコンピュータ製造技術の高さをベースとして、2030 年頃の近未来予測のための大気海洋結合モデルの高度化において比較優位性がある。一方、それ以外のモデル開発では、観測（軍事利用を含む）・理論・モデルの総合力、物理・地球生物・化学等の基礎科学分野の底辺の広さを必要とするため、欧米の方が有利であろう。中国は大国であり、人口も多く、将来は欧米並みの技術力を備える可能性があるが、現状では評価は難しい。韓国は、すべてが日本と同等以下と評価されるが、計算科学分野では今後発展する可能性がある。</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]

2.2 環境汚染・破壊分野

2.2.1 概観

環境汚染・破壊分野での国際技術比較を実施するにあたり、当該分野を11の中綱目に分類した。すなわち、大気圏汚染対策技術（移動発生源、固定発生源、オゾン層破壊対策技術）、排水対策技術（産業排水、生活排水）、陸水汚染対策技術、海洋汚染対策技術、土壌・地下水汚染対策技術、都市・生活環境対策技術、環境汚染・破壊の計測・評価・管理技術（リスク評価技術、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といつてよい。ただ、近年は、両国ともに国家的な支援のもとに科学技術・研究開発力を急速に伸ばしつつある。日米欧のうち、米国がすべてをリードしているわけではなく、分野ごとにリードしている国が異なる。これは、本科学技術分野が地域性や環境保全に対する意識、関連する法制度に大きく依存していることによる。一方、省エネルギー技術やバイオ燃料などの地球温暖化対策、また途上国の実情に適した適切な技術といった新しい面での科学技術・研究開発の国際的な競争が激化していることも見逃せない。

大気圏汚染対策技術分野では、日本の国土の狭隘さ、また、法的規制の厳しさから欧米と比較していずれの分野でも同等もしくは優れている。一方、韓国や中国などは、関心が低さや規制面の遅れが研究開発水準の遅れに反映されていたものの、近年は環境への関心の高まりとともに、急速に追いつつつある。なお、従来からのSO_x、NO_x等の汚染物質に加え、水銀のような新たな汚染物質への対応も必要になってきている。

排水対策技術も、比較的ゆるやかな排水規制を行っている米国の水準は必ずしも高くない。一方、日本の厳しい規制に対応するため、特に産業排水対策技術は技術開発、産業技術力の両面で欧米を凌いでいる。生活排水対策においては、医薬品類の除去技術分野で欧米が高い研究・開発水準を持っている。また、排水処理技術の基礎研究においては欧州が優れており、国際学会等でも中心的な役割を果たしている。さらに、水道・下水道などの国境を越えた民営化の時代、国際的な事業展開という総合的な産業技術力を有していることが注目される。陸水汚染対策技術（水資源、水道技術）において、例えば水道水質基準の高度な達成という点で日本は高い実力を保持している。しかし、途上国への適切な技術の展開という面では欧州に後れをとっている。中国や韓国は現時点では必ずしも高いポジションを占めていないものの、国家支援のもとで急速にレベルアップしてきている点も無視できない。一方、気候変動による水資源問題への関心の高まりもふまえ、従来の排水処理という視点から、排水の再利用や資源回収を目指した技術開発も行われるようになってきている。

土壌地下水汚染や海洋汚染対策技術は、米国でその問題が顕著であったため、ほぼすべての面でフロントランナーとして地位を保っている。欧州もそれに続くが、特に革新的な要素技術の開発とそのシステム化において進んでいる。中国や韓国はまだ汚染実態が不明なレベルにあるが、近年は環境問題への関心が

高まりから、急速に技術・研究開発能力が高まっている。

環境アセスメント技術やリスク評価技術についても日米欧が進んでいる。韓国、また特に中国は遅れが目立つものの、他の分野と同様に国の積極的な関与による進展がめざましい。

都市・生活環境対策技術は、騒音対策では日本がリードしているものの、一般的には要素技術のシステム化も含めて、欧州が日米と比較して進んでいる。一方、中国や韓国では未だにきわめて遅れていると見てよい。これらは、市民の環境への関心や要望の違い、ひいては法制度の整備が大きく影響していると思われる。

2.2.2 中綱目ごとの比較

(1) 大気汚染物質対策技術—移動発生源（自動車等）—

自動車の排出ガス対策技術の開発は、日米欧などの先進国では、主に企業主体で実施されており、大学や国の研究機関等では、HCCI (Homogeneous-Charge Compression-Ignition) 燃焼など、実用化前の基礎的な研究が実施されている。世界中の研究者が集まる米国の大学や国立研究機関における研究レベルは伝統的に高い。日本では、燃焼研究等の基礎研究レベルは高いが、応用研究分野は、ほとんど実施されていない。欧州は、伝統的に産学の連携が密であり、大学の研究室から派生したエンジン開発会社等も存在する。韓国、中国の大学、国立研究機関における研究水準は、日米欧に劣るが、政府の環境、エネルギー技術に対する認識は高く、官学、官民連携の研究プログラムが実行されていることから、今後、研究レベルの向上が見込まれる。研究開発の国際競争力という観点からは、欧州において、エンジンシステム、排出ガス対策技術等の開発を専門とする企業が複数 (AVL、FEV、リカルド) 存在し、世界中の企業を相手にコンサルティング事業を展開していることが特記すべき事項として上げられる。

燃費に対する要求が厳しい欧州ではディーゼル車の比率が高いが、それ以外の地域では未だガソリンエンジン車が主体である。ガソリン車の大気汚染対策は、エンジン自体の改良に加えて、低硫黄化などの燃料の改善と高性能な排気触媒システムにより行われているが、最新の車両では、暖機状態において排気管から排出される汚染物質濃度は、大気中濃度と同程度か低い状態にまで低減されており、ガソリン車の排出ガス対策は、限界に近づきつつある。日米欧の技術水準は大差ないと考えられるが、開発期間の短さや排出ガスと燃費の両立を目的とした HEV (Hybrid Electric Vehicle) 車の開発等では、日本が有意な立場にいる。しかしながら、研究開発に必須の構造、流体解析ソフトウェア、CAD などエンジニアリング・ソフトウェアの分野では、ほとんど、海外の製品に依存しているなどの課題もある。また最近、米国でもプラグインハイブリッド技術等の開発に力を注いでおり、急速に世界のレベルに近づきつつある。

欧州では、乗用車、貨物車とも、他の地域に比べてディーゼル車の割合が高く、研究開発の歴史も長いから、エンジンシステム、噴射装置等の主要部品の開発などは、日米に比べ優位であると考えられる。近年、温暖化対策としてディーゼル乗用車の開発が日米でも進められ、日米欧の技術格差は減少しつつある。

生産の面では、トヨタ方式に代表される生産管理や部品供給システムの効率化により、日本企業は優位な状況にある。その品質や耐久、信頼性の高さは、世界で認められている。米国企業は、世界各国の企業と提携を行い、各企業の得意分野を生かす戦略であるため、総合的な技術力は高い。欧州企業は、グローバル市場を対象にしている企業の技術力は高いが、全てが、高水準の企業ばかりではない。

韓国は、生産の面では、高品質の製品を世界各国に輸出しており、技術水準は向上してきたが、主要部品を海外に依存している面もあり、日米欧には劣る。中国は、最近、生産台数の面では、海外合併企業を凌ぐ企業も出てきたが、技術水準は低い。

大気汚染物質対策技術—移動発生源（自動車等）—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	排出ガス対策技術の研究開発は、主に企業で実施されており、大学等では、エンジンの燃焼研究などの基礎研究が実施されている。国立研究機関では、新燃料等の研究が行われているが、排出ガス対策技術の研究はあまり実施されていない。
	技術開発水準	◎	→	ガソリン乗用車の低公害車技術開発では、エンジン制御、排気後処理システム、ハイブリッド技術等の広範な分野で、世界の最先端にあり、欧米より短く優位である。欧州に比べて市場導入が遅れていたディーゼル乗用車についても、最近、日本市場に導入された。しかし、研究開発に不可欠なソフトウェア（構造、流体解析、CAD等）は、ほとんど海外の製品に依存しているなどの課題もある。
	産業技術力	◎	→	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、日本車は世界各国で、品質、信頼性の面で、特に、高い評価を得ている。
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。
	技術開発水準	○～◎	↗	米国の自動車会社は、世界各国の自動車会社に資本参加していることもあり、総合的な技術開発水準は高いが、環境技術等では、やや立ち遅れたところがある。しかし、最近、プラグインハイブリッド技術等の開発に力を注いでおり、急速に世界のレベルに近づきつつある。
	産業技術力	○～◎	→	世界各国に進出して、それぞれ得意分野を分担する戦略をとっているため、技術水準は高いレベルにある。米国内では、遅れた面もあるが、日本式の生産管理システムを導入するなどして、改善傾向にある。しかしながら、現在、経済危機により自動車産業自体が存続の瀬戸際に立たされていることから、今後の動向は不透明である。
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。
	技術開発水準	○～◎	→	ディーゼル車の技術開発では、世界をリード。厳しい排出ガス規制が施行されている米国、日本等に輸出しているメーカーの技術水準は高い。最近、最新のディーゼル乗用車を米国市場に投入した。また、欧州には、世界各国の企業からエンジンシステムの研究開発等を専門に請け負う民間会社が複数存在し、技術開発水準は、総じて高い。
	産業技術力	○～◎	→	米国や日本等を市場に持つ企業の技術レベルは高いが、欧州内全ての企業が高水準にあるわけではない。
中国	研究水準	△	?	海外からの帰国研究者等を中心に高いレベルの研究を実施している大学等も存在するが、全体としては、日米欧に劣る。しかしながら、政府の環境、エネルギー技術に対する認識は高く、官学、官民連携の研究プログラムが実行されていることから、今後、研究レベルの向上が見込まれる。
	技術開発水準	△	↗	一部民族系メーカーは、自主開発能力を高め、外資系メーカー車両の模倣の域を脱した車両を開発できるようになったとの報告もあるが、主要部品は、多くが、外資系の部品メーカーに依存しており、技術開発水準は劣る。
	産業技術力	△	↗	生産台数は、世界の上位を占めるまでになったが、民族系メーカーの産業技術力は日米欧に比べ遅れている。今後、生産性の向上や高品質の部品を共有できる部品メーカーの育成が課題である。
韓国	研究水準	△～○	↗	政府が支援した産官学の研究開発コンソーシアムなどを立ち上げて、次世代自動車の研究開発に力を入れており、急速に向上している。また、海外との交流が進んでいるため、大学、国立研究機関におけるレベルは年々向上している。最近では、我が国の学会への論文投稿なども見られる。
	技術開発水準	△～○	↗	部品産業を含めた総合的な開発力では、日米欧に劣ると考えられていたが、最近では、独自でエンジンを開発するなど、開発力は急速に向上している。しかしながら、排出ガス対策や省燃費技術等の環境技術では、やや遅れているが、世界的な競争力を有する電子産業との連携などにより、急速に技術が向上する可能性もある。
	産業技術力	○～◎	↗	生産される自動車の品質は、かなり高い。最近の調査では、韓国車の初期品質は、欧州や米国よりも高く、日本車の品質に近づきつつあるとの報告もあるが、耐久性や信頼性については、平均以下との評価である。

全体コメント：自動車は、企業のグローバル化により、現地での生産、開発が行われており、地域間の格差を評価することが難しい状況になりつつある。また、自動車の大気汚染対策技術のレベルは、排出ガス規制のレベルと密接な関係にあり、厳しい規制が施行されている地域を市場に持つ企業の技術レベルは、総じて高い。日米欧は、ほぼ同じレベルの排出ガス規制が適用されているため、それらの地域を市場に持つ企業の技術レベルは、ほぼ同じ水準にある。先進国では、排気ガス低減に関する研究開発は、企業主体で行われているため、大学、国立研究機関の寄与は小さい。世界的な経済危機により、米国市場に大きく依存していた自動車産業は急速な事業の縮小を迫られており、今後、技術開発動向や産業自体にもその影響が及んでくるものと考えられる。

(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】

(2) 大気汚染物質対策技術—固定発生源（発電所等）—

固定発生源の大気汚染対策として対象となる物質は、粒子状物質、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)である。我が国においては、昭和40年代の公害問題を契機に、これらの大気汚染物質除去技術の開発・改善が非常なる進展を遂げたが、今回、比較対象とした国々では、それぞれ事情は異なるものの、まだ日本に比べて研究水準、技術開発水準、産業技術力とも、遅れているのが実情である。

日本において、これらの大気汚染対策技術が大幅な進展を遂げ、さらなる改善が進められているのは、狭い国土のゆえに固定発生源が居住地に近く、厳しい環境保全性を要求されているからである。既にNO_x対策としては低NO_x燃焼と触媒式脱硝装置の組み合わせ、SO_x対策としては湿式の脱硫装置の設置、粒子状物質対策としては高性能な電気集じん機あるいはバグフィルターの利用により、それぞれの汚染質は極めて低い濃度に抑えられている。これらの技術は、基本的には確立されたものであるが、新たなプラント設置にあたっては、さらに排出濃度を低減させるために、着実な技術の改良が重ねられている。その一方で、廃水処理の不要な乾式脱硫技術の開発や、システムの簡素化が可能な脱硫・脱硝同時処理技術の開発に加え、NO_x、SO_x、粒子状物質以外の微量含まれる物質に対してもその効果的な低減法の検討が進められている。

ヨーロッパは、固定発生源の対策としては日本に次いで進められており、集じん技術については日本ほど高性能化に対する要求は厳しくないものの既に確立された技術となっており、脱硫装置についても、近年積極的な導入が進められている。低NO_x燃焼技術の開発も進められているが、脱硝装置の導入は脱硫装置に比べ遅れている。ヨーロッパの動向で注目すべきは、これらの環境対策技術についても、性能評価法などを中心に標準化が熱心に進められていることであり、今後の国際的な技術展開を考える上で、我が国もこのような活動に積極的に関わらねばと判断される。

アメリカは、ヨーロッパに比べ人口密度が低いこと、低硫黄炭を産出することなども合わせ、集じん技術、低NO_x燃焼技術以外は、ヨーロッパに比べ開発、導入が遅れている。アメリカにおいて注目される動きは、微量物質の内、特に水銀の排出抑制に関して、急速に注目が集まっていることであり、大気汚染対策技術も水銀排出抑制との組み合わせで検討されることが多くなっている。湿式の脱硫装置は、水銀の除去にも有効であるので、今後は、このような視点から開発が進められる可能性が高い。

韓国は、国土も狭く日本と比較的似た状態にあるため、近年、大気汚染対策が進められてきている。集じんについては、ほぼ日本や欧米に近いレベルになり、低NO_x燃焼技術の採用や脱硫装置の設置も増えつつある。今後は、脱硝装置の設置に重点が移っていくと思われる。

大気汚染対策が最も遅れているのは中国であり、固定発生源でも集じん性能の低い方式が利用されている場合もあり、まず集塵装置の改善が急速に進められている。脱硫装置については、最近になって、研究・開発が注目されるようになった状況であるが、NO_x対策としては、低NO_x燃焼は利用されているが、脱硝装置についてはほとんど検討されていない。このような中国の大気汚染対策の遅れは、越境汚染として我が国にも大きな影響があるため、技術移管などにより、早急に対策を進める必要があると思われる。

大気汚染物質対策技術—固定発生源（発電所等）—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	現在実用化されている方式に対して、さらなるシステム簡易化、所要動力の低減が図れる方式の考案、微量物質対策など、様々な検討がなされている。
	技術開発水準	◎	→	現在用いられている方式は、ほぼ完成された方式であるが、さらなる性能改善、コスト低減のための開発が進められている。また新たな方式の開発も進められている。
	産業技術力	◎	→	性能、信頼度とも優れ、高い技術力を有しているが、今後は、コスト低減などが特に重要になると思われる。
米国	研究水準	○	→	近年、脱硫、脱硝に関する研究はあまり盛んに行われていないが、微量物質関連技術はかなり多くの研究がなされている。
	技術開発水準	○	↗	微量物質以外のテーマについては、あまり積極的な技術開発はなされていない。
	産業技術力	△	→	大気汚染対策装置産業としては、現時点では高いポテンシャルを有していない。
欧州	研究水準	○	→	比較的堅実に研究がなされており、特に性能評価法の標準化などには積極的に取り組んでいる。
	技術開発水準	○	↗	大気汚染対策装置の性能向上、信頼性向上など、着実な開発がなされている。
	産業技術力	○	↗	日本のものに比べると完成度は低いものの、十分な性能を有している。
中国	研究水準	△	↗	大気汚染対策装置についての感心が高まったところであり、集じん技術以外はほとんど研究力を有していない。
	技術開発水準	×	↗	高性能な大気汚染対策装置の開発を行うレベルには達していない。
	産業技術力	×	→	大気汚染対策装置の導入は、海外の技術を用いて、ようやく一部導入が始まったところであり、産業技術力はまだない。
韓国	研究水準	△	↗	大気汚染対策に関する研究が近年増加しており、まだ技術的には遅れているものの、今後の発展が期待される。
	技術開発水準	△	↗	環境保全への要求が強くなっており、まだ技術開発水準は高くないが、今後、急速な成長が期待できる。
	産業技術力	△	↗	まだ装置の性能、信頼性などにおいては、技術的に遅れている部分がある。

全体コメント：固定発生源からの大気汚染物質対策技術に関しては、現在、用いられている技術のレベル、さらなる改善ならびに新技術への展開など、全体的に日本が最も進んでいる。ヨーロッパも着実な進歩を示しているが、アメリカは比較的この分野全体での意欲は強くない。韓国が、近年成長力を高めているが、中国はまさにこれからと言える。

(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]

(3) 大気汚染物質対策技術—フロン類対策技術—

フロン類の中には、オゾン層を破壊する CFC 類や HCFC 類、ハロン類と、オゾン層は破壊しないが、地球温暖化に影響する HFC 類、PFC 類とがあり、形態もガス状のものと液状のものがあり、用途も冷媒、溶剤、断熱材、エッチング剤、絶縁剤など様々であり、他の物の製造時に副生するものもある。しかし、対策技術は、回収技術と分解・無害化（破壊）技術とに大別されるので、これらについて比較を行うこととする。

日本では、冷媒用の CFC 類や HCFC 類の回収と破壊が法的に義務づけられており、HFC 類や PFC 類などは排出の自主削減が求められている。このため、冷媒用途の CFC 類や HCFC 類のフロン回収機が多数市販され、実用されている。これらの回収機は、国産のものが多いが、米国から輸入されているものもある。機能的には、液体状態でできるだけ多くのフロンを引き抜き、真空度も高くできる効率的なもの、ガス状で引き抜く割合が多いものや真空度の低いものなどがあり、回収率も差が出るので、最近では淘汰され、性能の高いものが残っている。

CFC 類、HCFC 類、HFC 類の分解・無害化（破壊）技術には、①既存の施設で廃棄物等と混合して焼却分解する混焼式と、②アークプラズマで分解する装置、③高温で分解しながら水蒸気と反応させる装置、④ドロマイトと比較的低温度で反応させる装置、⑤触媒で分解する装置、⑥高周波プラズマで分解する装置などが許可されているが、①が多く、ハロン類の分解にも使われ始めている。②は小規模用、③と④は中規模用、⑤と⑥は経済性に難があり操業が停止されている。PFC 類の分解・無害化については、半導体製造装置とセットで、①都市ガス混焼式、②触媒分解式、③薬剤反応式の装置が設置されてが、①が多い。

米国および欧州では、フロン回収機は、日本と同様であるが、小規模や非常に大規模なものは少ない。分解・無害化技術については、触媒などに関する幾つかの研究報告はあるが、①の混焼式以外の方式での処理が実用されているという情報は無い。PFC 類の処理については、関連業界が国際的に情報共有を始めている。

中国では、フロンの回収は、ごく一部が欧米や日本製の機器で、再利用のために回収されているのみで、分解・無害化はほとんど行われていないが、地球温暖化防止の CDM に関連して、先進国からの売り込みが行われ始めている。

韓国では、回収機は、韓国製のほか、日本製や欧米製のものも使われているが、あまり普及していない。また、分解・無害化は、一部では混焼式の処理が行われているが、公開情報はなく、他の方式の処理が実用されているという情報もない。

なお、日本や欧米では、冷媒、断熱材、消火剤の代替物質、代替技術（ノンフロン化技術等）の開発も進められている。

大気汚染物質対策技術—フロン類対策技術—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	CFC類、HCFC類、HFC類の対策技術は非常に多くの研究が行われてきた。PFC類やSF ₆ 対策の研究例も徐々に増え、ノンフロン化技術やハロン代替剤の開発も行われている。
	技術開発水準	◎	→	CFC類、HCFC類、HFC類の対策技術は非常に多く開発が行われてきたが、PFC類の対策技術はやや少なく、欧米の技術に頼っているところもある。
	産業技術力	◎	→	CFC類、HCFC類、HFC類の回収や破壊技術は非常に多くの技術が実用化され、淘汰されてきた。一方、京都議定書の約束期間に入って、地球温暖化対策が強く求められるようになったため、電器・電子業界などでPFC(CF ₄)分解装置の導入が急速に進んできている。
米国	研究水準	◎	→	研究論文の数は日本と同等で、特に多くはない。ノンフロン化技術やハロン代替剤の開発も行われている。
	技術開発水準	◎	→	CFC類、HCFC類、HFC類の回収技術やPFC類の分解技術の開発が行われてきた。
	産業技術力	○	→	開発された技術の普及率はかならずしも高くないが、フロン類の使用には課徴金が課せられているので、ノンフロン化が進んできている。
欧州	研究水準	○	→	対策技術に関する研究報告は多くはないが、研究が続けられている。
	技術開発水準	○	→	CFC類、HCFC類、HFC類の回収技術や分解技術、PFC類の分解技術の開発が行われてきた。
	産業技術力	△	→	開発された技術の普及率は国による差が大きく、全体的にはあまり高くないが、有害化学物質全体の規制が強化され、フロン類についても使用が削減されてきている。
中国	研究水準	×	↗	対策技術に関する研究報告はほとんどないが少しずつ注目され始めている。
	技術開発水準	×	→	CFC類、HCFC類、HFC類の回収技術や分解技術、PFC類の分解技術の開発に関する情報はほとんどない。
	産業技術力	×	→	一部で回収、再利用がされているが、回収技術も分解技術もほとんど普及していない。
韓国	研究水準	△	→	対策技術に関する研究報告は少ない。
	技術開発水準	△	→	一部韓国製の回収装置があるが、先行している日本や欧米の技術と類似である。
	産業技術力	△	→	技術の普及率はあまり高くない。
<p>全体コメント：日本の技術開発水準や産業水準は、かなり高い。特に、中小規模での分解・無害化技術などアジア地域への技術・装置の普及に指導的役割を果たすことが可能と考えられる。</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]

(4) 産業排水対策技術

産業排水処理技術は、対象とする産業がエレクトロニクス、化学、石油化学、紙パルプ、食品、醸造と異なれば排水の水質が大きく変るために適用する技術が異なる。また、処理水の放流先が下水であるのか河川などの公共用水域であるのか、さらには排水規制値の違いにより処理レベルが異なるため適用する技術も違ってくる。従って、産業構造が異なり、排水規制値が異なる国の技術比較は困難な面があるが、ここでは先端的な産業排水処理技術を中心として比較を行うこととする。

日本においては、排水規制値が厳しく、先端産業の新設事業所が河川などの公共用水域に直接放流するところに立地している例が多く、また、条例や地域協定などでより厳しい放流水質を求められるケースが多いことから、水処理企業での技術開発水準や産業技術力は高い。窒素・リン・フッ素などの規制対象物質の新規高度処理技術が実用化されるとともに、土地価格の高さにより装置のコンパクト化が求められていることから高負荷型の処理技術の実用化もなされている。さらには排水からの水回収、排水中の有価物（フッ素、リン、化学物質）の物質回収技術が実用化されている。半導体や液晶ディスプレイ製造などの事業所では、各工程からの排水を分別収集して別途高度処理することにより水回収を行い、排水回収率は70-90%程度となっている。また、フッ素やリンの晶析技術による回収や、膜処理技術とイオン交換技術の組み合わせによる現像液の回収などが実用化されている。

一方、大学・国立研究機関での研究は、生物学的排水処理における微生物叢解析などの特定分野の研究は活発であるが、下水や生活排水の処理を対象とした研究が多く、多岐にわたる産業排水に対する処理技術自体の研究は活発ではない。なお、産業技術力レベルは国内向けには高いが、開発途上国を対象とした場合には、産業構造や排水規制の違いなどから十分な展開はできていない。産業排水処理プラント自体を輸出する訳ではなく、国内で計画設計したプラントを途上国に設置するという観点では、国内人件費が高いことがネックとなっている。

米国においては、以前から凝集剤などの水処理薬品や活性炭などの機能材の技術開発力が高かったが、幅広く産業排水処理を実施する企業が少なかったため停滞気味であった。また、広大な国土により排水規制値が比較的緩やかな面もあり、研究水準・技術開発水準とも以前のように本分野を牽引している状態ではなくなっている。近年、企業統合などにより技術開発レベルが回復してきており、発展途上国への展開も活発になってきている。

欧州は、オランダでの嫌気性アンモニア酸化（アナモックス）細菌の発見に代表される研究開発水準の高さや、その実用化を行う技術開発水準・産業技術力の高さなどで、先導性の高い技術レベルに位置している。フランスやドイツの技術開発水準・産業技術力も高く、大企業グループが発展途上国への展開も積極的に行っている。

中国においては、現時点では全体的なレベルで遅れているが、欧米や日本から帰国した研究者が研究水準・技術開発水準を急速に高めつつある。また、大学の研究者自身が技術開発を行い事業化する例も増えており、その点では進展してきている。

韓国においては、基礎研究・実用化研究ともに目立った成果はないが、一方で国内での産業技術力は向上してきており、国全体として水処理技術の海外展開の取り組みを始めてきたため、開発途上国への展開力が強くなりつつある。

産業排水対策技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↘	生物学的排水処理における微生物叢解析などの特定分野の研究は活発であるが、多岐にわたる産業排水に対する処理技術自体の研究は活発ではない。
	技術開発水準	◎	→	事業所の自主規制などによる各種汚染物質（COD、窒素、フッ素、特定化学物質など）の高度処理技術、排水からの水回収技術、排水中からの物質回収技術（リン、フッ素、化学物質）など先端産業向けを中心として技術開発を行い、実用化している。
	産業技術力	◎	→	先端技術の国内での実用化や設備製作での産業技術力は優れているが、発展途上国等への技術輸出という観点では、途上国で必要とされている技術との不一致や、発展途上国への展開の施策面などに課題がある。
米国	研究水準	○	→	産業排水処理技術の基盤技術となる生物学的処理技術・物理化学的処理技術の基礎研究レベルは全般的に高いが、産業排水処理自体の研究は活発ではない。
	技術開発水準	○	→	薬品利用技術や、活性炭・膜などの機能材の技術開発水準に優れている。
	産業技術力	○	↗	以前は技術分野別に存在していた水処理企業が、企業統合などで大企業化することにより産業技術力が向上しており、開発途上国への展開にも力を入れ始めている。
欧州	研究水準	◎	→	オランダの大学等の研究機関で新規処理技術の研究や、新たなメカニズムの解明がなされており、基礎研究分野では世界をリードしている。
	技術開発水準	○	↗	オランダを中心として基礎研究を具現化する技術開発水準が高く、いくつかの先端技術が欧州で実用化されている。一方で、産業排水処理が下水道への除外処理である場合が多いため、日本に比べると技術開発力は劣る面がある。
	産業技術力	◎	↗	フランスの大企業グループなどが開発途上国への展開のための施策を積極的に進めている。現時点では水道技術や生活排水を主たる対象としているが、産業排水へも展開している。
中国	研究水準	△	↗	全般的な研究水準は高くないが、欧米や日本から帰国した研究者が先導する状況となっており、ここ数年で急速な進展を示している。
	技術開発水準	△	→	大学や公的研究機関の研究者が実用化までをリードしており、企業における技術開発水準は低い。一方、大学の研究者自身が技術開発を行い事業化する例も増えており、その点では進展してきている。
	産業技術力	△	↗	中国への進出企業の産業排水処理を実施する技術力は有していないが、国内企業の排水処理の必要性が急速に高まっており、それに対応して技術力の蓄積がなされ始めている。
韓国	研究水準	△	→	国外の技術の検証的研究が多く、研究水準は高くない。
	技術開発水準	△	↗	技術開発を先導する企業は少ないが、エレクトロニクス分野を中心とする国内産業の発展に伴い、レベルを向上してきている。
	産業技術力	△～○	↗	産業排水を適切に処理する技術力は有している。近年、国全体として水処理技術の海外展開の取り組みを始めてきており、開発途上国への展開力が強くなりつつある。
<p>全体コメント：産業排水処理技術は対象とする産業により異なり、また、処理水の放流先の条件（下水放流か公共用水域への直接放流か、あるいは、排水回収が必要か）によっても適用技術が異なる。従って、産業構造が異なり、排水規制が異なる国の技術比較は困難な面がある。日本は排水規制の厳しさ、公共用水域への直接放流が多いこと、エレクトロニクス産業などの先端産業で水回収が求められることなどから、技術開発水準は高いレベルにあるが、開発途上国への展開という動きは強くない。米国は広大な国土により排水規制が比較的緩やかな面もあり、以前のように本分野を牽引している状態ではなくなっている。欧州はオランダ、ドイツ、フランスなどで基礎技術開発から応用技術開発までが進んでおり、高いレベルにある。韓国はやや遅れ気味であり、中国は研究自体の歴史が浅く現時点でのレベルは低く全体的にキャッチアップの途上と言える。</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】

(5) 生活排水対策技術

日本においては、生活排水対策として下水道がようやく70%を超え、下水道類似の集合型処理施設や浄化槽を含めると80%以上の生活排水は生物処理が行われている。現在、下水道については汚水と雨水の収集を分けた分流下水道で整備されているが、大都市は過去から合流式下水道で整備され、近年、雨天時下水越流（CSO：Combined Sewer Overflow）対策技術が開発されている。下水処理は、小規模下水道を含め、都市では標準活性汚泥法が、小規模ではオキシデーションディッチ法が主に使われているが、膜分離活性汚泥法の実用化がようやく始まった。高度処理は、湖沼や内湾の富栄養化防止に、AO（Anaerobic Oxidation）やA2O（Anaerobic Anoxic Oxidation）法などの生物学的窒素りん除去プロセスの導入が始まったが、整備水準は14%と低い。また省エネルギーとエネルギー回収の視点から、ANAMOX（Anaerobic Ammonia Oxidation）法による窒素除去やUASB（Upflow Anaerobic Sludge Blanket）法などの嫌気処理が注目されている。さらに汚泥からのバイオガス回収、バイオカーボンの固定技術も研究開発されている。

米国では、下水道整備水準が70%程度で、都市部以外では分散型処理も行われている。すでに合流式下水道は、雨天時負荷量削減が90年代から行われて、CSO対策が進みつつあり、さらに2006年から分流式污水管の越流対策（SSO：Sanitary Sewer Overflow）が始められた。下水処理では、海洋放流している一部の都市を除いて、生物処理が行われており、湖沼、内湾に加え、河川での窒素りん濃度低減のため、生物学的窒素りん除去法を中心に高度処理が30%以上実施されている。また厳しい衛生学的基準を達成するため、紫外線消毒の利用も盛んである。水資源が不足している地域では、下水再生水の利用が積極的に行われており、現在、内分泌かく乱物質や医薬品類の除去技術へ関心へと産官学ともに移り始めている。

欧州では、英仏独など下水道整備が進んでいる国々では、EUの水枠組み指令に従って、有機物、栄養塩、病原性微生物対策が進められ、さらに微量化学物質対策も進められている。特に北欧、オランダ、ドイツでは、高い下水道整備水準と窒素、りん除去を中心とした高度処理が広く普及している。英国では下水道整備が90%を超えているが、2005年から女性ホルモン汚染に対応するため、物理化学的方法での除去がデモンストラーションプログラムにより進められており、2010年から女性ホルモンそのものの規制がはじまる可能性がある。

中国は、下水道整備が遅れているが、北京など一部の大都市では急速に下水道整備が進められ、水資源の不足している地域では、雑排水利用に加えて、景観・環境維持用水としての利用も急速に広がり始めた。この場合、有機物はもちろん、栄養塩、病原性微生物を除去する技術の開発が急速に進められており、MBR（Membrane Bioreactor：膜分離活性汚泥法）や膜などの高度処理も注目されている。

韓国においては、日本より遅れて下水道整備が始まったが、現在80%を超える下水道が普及している。合流式下水道区域では、し尿浄化槽が廃止されずに供用されている点が注目される。下水処理ではすでに内陸の河川保全のため、窒素りん除去が広く行われ、今後CSOやさらにSSOへの対策に重点が移っていくと見込まれる。

生活排水対策技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	水処理としては生物学的な窒素、リン除去技術が落ち着き、MBR の研究や膜分離のファウリング防止技術、汚泥系を含めた地球温暖化対策の視点から annamox、UASB-DHS、バイオマスエネルギー回収の研究開発が進む。ノロウイルス、環境ホルモンや医薬品など微量汚染物質除去の研究も着手されている。
	技術開発水準	○	↘	窒素、リンの実用化技術や汚泥処理技術は世界をリード。合流式下水道改善技術も最近伸びている。公的投資が落ち始め、研究開発が停滞気味。導入ははじめた生物学的窒素、リン除去技術の次の規制目標が明らかでないため、実用化新技術開発の研究が低下気味。
	産業技術力	○	↘	公的投資が落ち始め、現場の士気が停滞気味。建設、維持管理の部分受注だけでなく、コンセンションを含めた排水・水再生プロジェクトの海外展開を図る新たな動きもみられる。
米国	研究水準	◎	→	河川などでの窒素、リンの規制強化で再び栄養塩除去研究が復活。欧州に引きずられ、環境ホルモン、医薬品など微量化学物質研究が増え始めている。西部やフロリダなどでは水資源管理の視点から再利用の研究が盛んであり、これまでの病原性微生物対策に加え、化学物質対策にも関心。
	技術開発水準	○	→	水処理、モニタリング技術など総合的な技術開発力が優れている。消毒技術、再利用技術は世界をリード。CSO に加え、SSO 対策技術開発始まる。汚泥処理や省エネ技術はやや遅れ気味だが、新政権となって温暖化対策技術のリンクも図られる動きが見られる。
	産業技術力	◎	→	下水道は公的管理であり、国内外の民間企業（メーカー、コンサル）が、将来的行政ニーズに合わせて、水処理、制御技術などを積極的に開発。人口が依然上昇している地域が多く、投資が続くことが+材料。また不況対策から排水インフラへの新たな投資が期待されている。
欧州	研究水準	◎	↗	EU の WFD 制定で水政策の強化に伴い、膜技術、MBR、微量物質除去など新たな水処理技術開発がおこなわれ、さらに地球温暖化対策に伴うバイオマス技術、再利用技術開発など広範囲におこなわれている。
	技術開発水準	◎	↗	MBR、膜技術など世界をリード。また環境ホルモンや医薬品などの規制に近い将来期待できるため、除去技術開発が積極的。
	産業技術力	◎	↗	環境規制強化と下水道事業の民営化により、技術開発が積極的に行われ、国外、圏域外への進出が目覚ましい。
中国	研究水準	△	↗	環境悪化に伴い投資される排水対策技術を中国内で開発できるようになってきた。水処理では窒素、リン除去、さらに膜などによる再利用技術が積極的開発。汚泥処理はまだ遅れている。
	技術開発水準	△	↗	膜処理や再利用など一部は世界的水準に近づいているが、全般にまだ遅れている。しかし研究開発の投資と体制が今後強化されると思われる。水質汚染の深刻化から地域での国家プロジェクトが目白押しでそれを支える研究開発が盛ん。
	産業技術力	△	↗	国営から民間企業へ大きく変化。国外企業との連携が積極的。
韓国	研究水準	○	→	下水道整備が高水準となり、窒素、リン対応の技術開発も積極的に行われている。
	技術開発水準	○	→	日本の技術開発を追ってきた経過がある。汚泥の海洋投棄禁止による汚泥処理技術開発や再利用技術が今後進むと期待される。
	産業技術力	○	→	下水道投資が一段落したため、今後は日本と同じく産業界はやや停滞すると思われる。

全体コメント：1970 年代から 1980 年代をリードしてきた米国が 1990 年代から水環境行政と下水道投資の停滞が起り、1990 年代後半から欧州に中心が移り始めたが、新政権で環境回帰の動き。欧州は窒素、リン除去から微量汚染物質制御へと踏み出し、その影響が米国に届き始めている。日本は、1980 年代から 1990 年代にかけて、下水道投資のピークを迎え、積極的な民間での技術開発が行われたが、投資の減少と窒素、リンを超える新たな目標設定ができず、企業ベースでは沈滞気味。中国はようやく生活排水対策が大都市を中心に急展開しており、水資源の枯渇もあって再利用へといきなり進む技術開発が行われている。韓国は、水処理に関しては日本と同様な状況で、窒素、リン除去までは技術開発にたどりつき、今後再利用と汚泥処理技術へのシフトする見込み。

(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】

(6) 陸水汚染対策技術（水資源、水道技術）

日本では水資源として、ダム湖や河川水を利用する比率が高い。その意味では、比較的汚染しやすく、水質変動があり富栄養化の影響を受け易い水域を水源とする技術は進んでいるものと判断する。また、欧米に比較すると、湖沼や河川における直接浄化など水質保全のための現場技術の試みも多くなされている。地下水の管理のための法律は、我が国では不十分であり、水資源としての地下水管理技術は低い状況にあるが、地下水汚染に対する浄化技術は学術および現場とも国際的に遅れているとは言えない。地球温暖化対応により気象モデルが開発され、水資源の将来予測なども行っている。また、ダム管理技術も大きな技術開発課題である。湖沼ダム湖などが重要な水源であることから、富栄養化対策や水質管理（THM、カビ臭）などが先進的に進められている。

水道技術に関しては、国際的にも膜ろ過材料分野では国際的なシェアも高く、我が国は最先端のレベルにあると判断される。ただし、水道事業が事業体レベルで行われていることから、東京都水道局など一部の事業体を除くと最先端の技術導入には保守的であるため、技術開発や産業としての発展が欧米に比べると遅れている。しかし、運営管理の実務面において、漏水防止や節水技術では過去の水不足の経験から国際的にも高い技術力と現場力がある。地球環境、温暖化対策面では、大規模事業体で先端的な試み（覆蓋化＋太陽光発電、水位差を利用した発電、汚泥のリサイクル、環境会計など）がなされている。水道水質基準を高度に達成している我が国において培われている水道技術は、途上国向けの技術としては適用が困難であり、適用技術としては未成熟な状況にあるように判断する。地震国である日本ならではの、水道管の品質は高いものと思われる。将来、長寿命管路の導入がLCA的にも意味があると判断されると我が国の技術力は評価されることも想定される。なお、欧米の技術力の知見が限られるが、水質モニタリング、水質監視に関しても日本の技術力は相対的に高いと思われる。また、膜処理技術を中心に水処理技術の国際競争力を高める国策的な動き（水の安全保障戦略機構や「チーム水、日本」の設立など）産業力の強化が推進されてきている。さらに、東京都など大都市の水道や下水道の事業体では最先端の省エネや創エネ技術導入が進められており、当該分野の産業発展が期待される。下水再生水利用の事例（香川県の多度津町など）が増えつつあり、実務面での進展が多く見られている。

欧州の水資源分野に関しては2000年採択のWFD（Water Framework Directive）のもと、河川流域管理が進められている。特に、国際河川の水利用においてEUの枠組みで水資源管理や水質管理が進められている。今年は、温暖化の影響のためか、早い雪解けにより水資源問題が顕在化した[1]。一方で、水道技術分野では国際的な水企業が活躍している状況である。水道・下水道事業の民営化の流れのなかで、国際的に事業展開しているが、水道水質基準を高度に達成することを前提とするわが国の水道技術に比較して、途上国向けの適切な技術にうまく対応しているように思われる。なお、水道や下水道分野では、水資源不足が懸念されているオーストラリアの研究や技術開発に注視することが必要である。

中国の水資源分野については、北京や天津など北部で深刻な水資源問題を抱

えており、南部から導水が計画されていたり、下水の再生水利用が進められたりしている。水道技術分野については、水源水質が悪いケースも多くあり、技術力や水道事業経営能力は高いとは言えない。ただし、近年は経済発展につれて、急速にその実力を向上しつつあると思われる。

韓国の水資源分野では、ソウルを中心に洪水対策と連動して雨水利用の推進がなされてきている。基本的に水資源にも恵まれていない。水道技術分野については、国家戦略的に、海水淡水化プロジェクトを本格化させており、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。下水処理再生水も含め、膜処理技術にも国家戦略による競争力強化の努力がなされている。

〈参考文献〉

[1] http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

陸水汚染対策技術（水資源、水道技術）

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	気象モデルを活用した将来の水資源管理の検討が進められている。また、富栄養化対策、水道分野の浄水技術、下水道分野での環境負荷低減対策など多くの分野で高度なレベルにある。閉鎖性水域の総量規制制度を中国に情報提供する企画も進展している。ただし、ノンポイント対策を含めて、流域管理のための枠組みなどの研究進展が期待される。全般的に当該分野での様々な側面で、大きな進展が継続されてきている。
	技術開発水準	◎	↗	高い水準をキープしている。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。また、地震国である日本ならではの、水道管の品質は高く、長寿命管路の導入がLCA的にも意味があると判断されると我が国の技術力は評価されることも想定される。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	◎	↗	膜処理技術を中心に水処理技術の国際競争力を高める国家的な動き（水の安全保障戦略機構や「チーム水、日本」の設立など）産業力の強化が推進されてきている。また、東京都など大都市の水道や下水道の事業者では最先端の省エネや創エネ技術導入が進められており、当該分野の産業発展が期待される。下水再生水利用の事例（香川県の多度津町など）が増えつつあり、実務面での進展が多く見られている。
米国	研究水準	◎	→	詳細を把握できていないが、水道分野では特段昨年度と大きな変化があったとは思われない。なお、気候変動に対応した水資源管理の検討は積極的に検討がなされている。
	技術開発水準	◎	→	高い水準はあると判断するが、特段の変化があるとは思われない。
	産業技術力	◎	→	具体的な情報が限られるが、事業者として高い水準はあると判断する。日本の技術力の方が、全般的に高いと思われる。
欧州	研究水準	○	→	EUという枠組みで研究はなされているが、水道分野では特段の進展があるとは思われない。なお、下水涵養技術は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	◎	→	ベオリア、テムズウォーターなど水の分野の国際企業があり、国際競争力のある状況である。技術開発力も同時に備えていると判断する。膜処理の大規模浄水場もすでに多く稼働しており、実務レベルでの技術が確立されてきている。しかし、事業経営としてであり、技術力としては特段高いとは思われない。
	産業技術力	◎	→	水の産業で民営化の面では高い実力を保持している。また、水道水質基準を高度に達成している我が国における水道技術に比較して、途上国向けの適用技術にうまく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	△	↗	下水処理に比較して、研究活動は高くない。
	技術開発水準	△	↗	海外の技術に依存している状況であると思われるが、膜メーカーも出てきており、次第に実力をつけつつある状況と判断する。
	産業技術力	△	↗	まだ、高い技術力があるとは思われないが、経済発展につれて徐々に上昇してくるものと思われる。
韓国	研究水準	◎	→	国家レベルの大型プロジェクトが進展したり、RO技術のプロジェクトも本格化している。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。
	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いると判断する。
	産業技術力	○	→	産業としては、今後と想定されるが、上記のように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なされている。
<p>全体コメント：わが国では、気候変動を考慮した水資源管理の議論が進展した。特に、降水量変動や水質変動があり比較的汚染しやすい河川水や、富栄養化の影響を受けやすいダム湖水を利用する比率が高いことへの対応が求められている。その意味では、ダム管理技術、浄水技術の研究や技術開発は高度に進んでいる。また、欧米に比較すると、閉鎖性水域としての内湾や湖沼、さらには河川における直接浄化など水質保全のための現場技術の試みも多くなされている。我が国では地下水管理技術はまだ発展途上の状況にあるが、汚染に対する浄化技術（生物修復技術など）は研究および現場とも国際的にも高いレベルにあるものと思われる。水道技術に関しては、高度処理（オゾン、生物活性炭など）の実用化も進み、さらに国際的にも膜ろ過材料分野では我が国は最先端のレベルにある。漏水防止や節水技術では過去の水不足の経験から国際的にも高い技術力と現場力がある。地球環境、温暖化対策面でも、大規模事業者で先端的な試み（覆蓋化＋太陽光発電、水位差を利用した発電、汚泥のリサイクル、環境会計など）もなされており、高いレベルをキープしている。</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】

(7) 海洋汚染対策技術

海洋の汚染・汚濁現象に対する対策については、赤潮・貧酸素水塊などの有機汚濁に対する対策、油流出事故等による油汚染対策、化学物質による海洋汚染対策などに区分出来る。ここでは、陸域等の発生源対策を除き、海洋という場での対策技術に絞って記述する。また、それらの汚染に関するモニタリング・評価・管理技術についても一部を除き省略する。

有機汚濁や沿岸生態系の劣化現象においては、有機汚濁の増加に伴う貧酸素水塊の拡大、地形改変による閉鎖性の進行に伴う水循環の不健全化、底質の劣化、干潟・藻場などの沿岸生態系の喪失による物質循環の遮断、等が複合して関係しており、対策技術もそれらに関連して多岐にわたる。

日本における現状の有機汚濁現象に対する対策技術としては、物理的な海水交換や鉛直循環促進技術、物理・化学的手法による底質改善技術、生態系の浄化能力を活用する干潟・藻場・浅場の造成などの生態学的手法に大別出来る。これらの要素技術そのものは、世界的に見て先端レベルを維持していると考えられる。しかしながら、特にバイオアッセイを含む底質の化学物質評価技術に遅れが見られる。また、生態系評価技術についてもようやく米国のレベルに近づきつつあるといえる。さらに、要素技術の統合・パッケージ化する技術力については、欧州に劣る。また、油汚染対策としては、特に流出油の回収技術について基礎的な技術開発が進みつつある。

米国においては、要素技術力の蓄積はさることながら、No Net Lossの政策に誘導され、要素技術の相互比較、環境修復の評価（生態系評価）技術の進展がめざましく、依然として比較優位に立っている。

欧州においては、デルフト水理学研究所やデンマークの研究開発機関（DHI）など、要素技術を統合・パッケージ化し、商品化する技術力については、めざましいものがある。また、技術の標準化についても先進的である。

中国においては、全般的に海洋汚染に対する技術開発には遅れが見られるが、技術の導入には熱心であり、急速な進展が見られる。

韓国においては、近年急速に我が国の技術レベルに近づきつつある。生態系修復技術に対する関心も高い。

海洋汚染対策技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	要素技術そのものは、世界的に見て先端レベルを維持していると考えられる。
	技術開発水準	○	↗	特にバイオアッセイを含む底質の化学物質評価技術に遅れが見られる。また、生態系評価技術についてもようやく米国のレベルに近づきつつあるといえる。
	産業技術力	△	↗	要素技術の統合・パッケージ化する技術力や販売力については欧州に劣り、国際競争力に欠ける。
米国	研究水準	◎	→	研究者の幅が広く、極めて高い研究水準を維持している。
	技術開発水準	◎	→	要素技術の相互比較、環境修復の評価（生態系評価）技術の進展がめざましく、依然として比較優位に立っている。
	産業技術力	○	→	高い産業技術力を有している。
欧州	研究水準	◎	→	研究水準は十分先端的である。
	技術開発水準	○	→	技術開発水準は高い。
	産業技術力	◎	→	要素技術を統合・パッケージ化し、商品化する技術力については、デルタレス（旧デルフト水理学研究所）による技術など、めざましいものがある。また、技術の標準化についても先進的である。
中国	研究水準	×	↗	全般的に海洋汚染に対する技術開発には遅れが見られるが、技術の導入には熱心であり、急速な進展が見られる。
	技術開発水準	△	↗	同上。
	産業技術力	×	↗	要素となる技術の導入には熱心であり、徐々に産業技術力が向上していると考えられる。
韓国	研究水準	△	↗	近年急速に我が国の技術レベルに近づきつつある。生態系修復技術に対する関心も高い。
	技術開発水準	△	↗	同上。
	産業技術力	△	↗	産業技術力にはやや遅れが見られる。

(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]

(8) 土壌・地下水汚染対策技術

法制度、調査・対策技術の開発、技術開発に必要なファンド創成など、全ての分野において米国がフロントランナーとしての役割を担い、世界をリードしている。特筆すべきはラプカナル汚染（1978年発見）を契機に、石油税などで創設した信託基金（スーパーファンド、1980年[1]）を活用して、汚染原因者を特定するまでの間の調査や浄化費用を賄っていることである。ラプカナル汚染は、ニューヨーク州ナイアガラフォールズ市で1940年代に埋め立てられた化学系産業廃棄物が25年の時を経て発見された汚染事例であり、世界規模の土壌・地下水汚染対策に発展する象徴的汚染事例である。

このスーパーファンドではEPA（Environmental Protection Agency：米国環境保護庁）が汚染の調査や浄化を担当し、開発された様々な調査・対策技術が世界に普及してきた。革新的な修復技術開発はより効率的な対策を可能とし、土壌汚染修復が新たな環境ビジネスに発展した[2]。例えば、石油資源探査用に開発された土壌ガス調査法は、土壌中の揮発性有機化合物を探査する基本技術として普及している。さらに有害物質の微生物分解、土壌ガス吸引、植物浄化、ガラス固化、熱脱着など多くの技術は、スーパーファンドの中で開発され、実証試験を経て実用化されている。これらの調査・対策技術は、欧州やわが国にも移転され、調査・対策の基本技術として定着した技術もある。

欧州では、ドイツ・オランダを中心に調査・対策技術の開発が進められている。米国を除けば最大の国際会議（ConSoil：Contaminated Soil[3]）が隔年に開催され、法制度、調査技術や浄化技術の情報交換が活発に進められている。ただ土壌・地下水汚染の修復には長い時間と多額の経費がかかるため、最近では汚染土壌の掘削処理が行われることが多いようである。さらに汚染修復の最終段階として、自然の持つ微生物分解能や清浄な地下水との希釈混合を期待して管理するMNA（Monitored Natural Attenuation）手法が導入されている。

日本も欧米と同様、様々な土壌・地下水汚染問題を抱えている。その調査修復技術について、欧米から輸入した技術に加えて、日本の土壌・地下水汚染に合った独自技術も開発されている。土壌ガス調査法はその一つであり、また浄化技術についてもゼロ価の鉄の持つ還元的分解能はわが国で発見されたメカニズムである。ゼロ価の鉄を混合した砂礫による透過性地下水浄化壁はその代表例である。揮発性有機塩素化合物に加えて、ベンゼンなどの石油系炭化水素の微生物分解技術にも実績を持つ。

土壌・地下水汚染問題は、産業活動に付随して生じるため、中国・韓国においてもおそらく顕在化していると予想される。ただ情報が少なく、実態が明確でない。こうした中で韓国は、ISO/TC190（土壌環境）に参加しており、情報収集は活発に行っている。経済発展の著しい中国では、市街地の再開発が極めて活発に行われている。大気や表流水対策に追われているのが現状であるが、将来に土壌・地下水汚染問題に直面することは必定であり、事実これに関してEU・中国間で情報交換が行われているようである。

〈参考文献〉

[1] <http://www.epa.gov/superfund/index.htm>

[2] <http://www.nri.co.jp/opinion/chitekishisan/1999/pdf/cs19991008.pdf>

[3] <http://consoil.ufz.de/>

土壌・地下水汚染対策技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
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。
	技術開発水準	◎	↗	2009年には土壌汚染対策法（2003年2月施行）が改正され、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。
	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も着手され、一部の汚染現地では健康リスク評価に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。
	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。
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。
中国	研究水準	△	→	土壌・地下水汚染調査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である。
	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。
	産業技術力	△	→	多くの先端的技術が移転されているが、玉石混淆の感あり。的確なアドバイスが必要であると思われるが、潜在的な研究開発能力はある。
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、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	△	→	的確な情報がなく、韓国国内での土壌地下水汚染の位置づけが明確でない。
	産業技術力	△	→	

全体コメント：産官学全ての側面において、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有用な技術のみ中国・韓国に移転される。その意味で、中国・韓国の潜在的な研究能力や技術がマッチすれば、近い将来に極めて強力なコンペティターになることは必定である。わが国でも土壌汚染対策法の改正を視野に入れて、調査手法や原位置での低コスト低負荷修復技術の実用化が益々重要な課題となっている。

(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]

(9) 都市・生活環境対策技術

日本はこの10年ほどで、ヒートアイランド対策に関する基礎研究において世界のトップに躍り出た。また行政施策の後押しを受けて、対策技術の開発・普及が急ピッチで進んでいる。騒音・振動対策では、情報機器・事務機器で日本が主導的立場にあり、特許のほうは論文より顕著である。交通系では日欧が拮抗している。タービン・コンプレッサなど産業機械では特許で拮抗し、研究開発で遅れている。さらにハイブリッド化、電気自動車の普及も低騒音化に寄与。一方日本では、街の光環境設計という概念が希薄であり、建築・土木設計者や電気会社の担当者がついでに設計している。光害防止条例の制定も欧米(アメリカやイタリア)に遅れ、制度化されたのはこの10年である。都市近郊の畜産施設が少なくなってきたため、悪臭はあまり問題になっていないが、脱臭技術は進んでいる。

米国では、ブッシュ政権下で温暖化対策の優先順位が下がり、ヒートアイランド対策技術の研究も停滞。遮熱性塗料の研究では世界をリード。テロ対策との関連がある。欧米では作業環境(聴力保護)の視点から音源対策を重視し、機械の性能として発生騒音の値を規格化・表示。屋内を中心とした空気浄化技術は米国での低価格商品化(光触媒技術)が先行している。花粉対策・シックハウス対策やSARS対策としても有効である。

ドイツでは理学的基礎研究の早期段階から、ヒートアイランド対策・大気汚染対策の現場への応用が進められ、環境施策におけるさまざまな制度化が先行した。屋上緑化や土地利用・建築計画への応用などのほか、数値計算で騒音をマップ化するプロジェクトもある。また、ヨーロッパでは中小都市と農村が近接するケースが多く、悪臭対策が進んでいる。さらに、タービン・コンプレッサなど産業機械で優位(特に研究開発)。景観への認識、照明デザインへの高い意識から、光を水平以上に出さないなど、プライバシー保護、省エネルギー、温暖化防止とリンクして、多様な照明技術や光環境設計が普及している。

中国では、都市・生活環境対策技術はいまだ相対的にぜいたくな技術に類する。行政トップの意思が民意に優先することから、都市整備的な手法での大規模な環境改善施策が実効的なものになる可能性は大きい。欧米同様音源対策重視であるが、同一の交通サービス(速度)に対し低騒音化が遅れている。照明が必要以上に使われるところと、極端に暗いところが混在している。

韓国では、大気環境の研究者が少なく、大韓気象学会はわずか数百人のオーダーである。理学的基礎研究が中心であり、環境デザインへ応用しようという意識は高くない。中国同様トップダウンが有意な国であり、将来的な可能性は大きい。清溪川復元による大規模環境改善などは世界的に注目されている。

都市・生活環境対策技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	この10年ほどで、ヒートアイランド対策技術に関する基礎研究は世界のトップに躍り出た。
	技術開発水準	◎	↗	行政施策の後押しを受けて、ヒートアイランド対策技術の開発・製品化・普及が急ピッチで進んでおり、各国の注目を浴びている。
	産業技術力	○	↗	騒音振動対策への意識が高まり、情報機器・事務機器で主導。電気自動車の普及も低騒音化に寄与。光環境への配慮が遅れる。
米国	研究水準	◎	→	ブッシュ政権下で温暖化対策の優先順位が下がり、ヒートアイランド対策技術の研究も停滞。遮熱性塗料の研究では世界をリード。
	技術開発水準	○	→	
	産業技術力	○	↗	屋内を中心として、低価格の空気浄化機器の製品化でリードしている。テロ対策との関連あり。
欧州	研究水準	◎	→	理学的基礎研究の早期段階から、ヒートアイランド対策・大気汚染対策の現場への応用が進められ、環境施策におけるさまざまな制度化が先行した。屋上緑化や土地利用・建築計画への応用など。
	技術開発水準	◎	→	農村と小都市が近接しており、EM技術による畜産系悪臭対策技術が進んでいる。
	産業技術力	◎	↗	タービン・コンプレッサなど産業機械で優位（特に研究開発）。照明に関しては多様な技術を持つ。
中国	研究水準	○	↗	都市・生活環境対策技術は、いまだ相対的にぜいたくな技術に類する。
	技術開発水準	△	→	行政トップの意思が民意に優先することから、都市整備的な手法での大規模な環境改善施策が実効的なものになる可能性は大きい。
	産業技術力	×	→	欧米同様音源対策重視であるが、同一の交通サービス（速度）に対し、低騒音化が遅れている。照明が必要以上に使われるところと、極端に暗いところが混在している。
韓国	研究水準	○	→	人材が少ない。大気環境の研究者にしても、大韓気象学会はわずか数百人のオーダー。理学的基礎研究が中心であり、環境デザインへ応用しようという意識は高くない。
	技術開発水準	○	→	中国同様トップダウンが有意な国であり、将来的な可能性は大きい。清溪川復元による大規模環境改善などは世界的に注目されている。
	産業技術力	△	→	
<p>全体コメント：日本、米国、欧州は、国によって得意な分野がはっきりしている。ヒートアイランド対策の有効性（都市計画的な手法）に関しては、ドイツが先行的と考えられていたが、学術的実証が十分とはいえず、今日日本が改めてそれを技術開発と同時に行っているという印象がある。騒音・振動対策は日本と欧米が拮抗、光害対策では照明に対する独自の伝統的価値観に支えられた欧州において、省エネ対策、温暖化防止対策との関連で大きく先行している。都市計画的な手法による都市・生活環境対策では、中国などで将来的に大胆な導入・実効化の可能性はある。</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]

(10) リスク評価技術（化学物質）

化学物質等の環境リスク評価技術には、曝露評価技術、影響評価技術が基本的な要素となる。曝露評価技術には、環境測定技術と予測技術があり、影響評価技術には、毒性試験に係わる技術と毒性予測技術がある。これらの各技術分野について概観する。

日本における有害物質の環境測定技術は、分析機器メーカーや大学等における優秀な分析化学者グループの存在、行政機関による環境モニタリングの実施に伴う市場形成を背景に、産官学による高度な環境測定技術の開発と地方自治体を活用したモニタリングネットワークの構築による環境測定体制が確立されていた。この技術は、中国、インドネシア、タイに環境測定の拠点となる環境センターの設立の支援などを通じて、アジア諸国にわが国の環境測定技術の普及がはかれるなど、国際的にも技術的な優位性を有していた。一方、WTO/TBT加盟による国際標準化（ISO）の動向に十分な対応が取られてこなかった。TBT協定により義務付けられているISO規格と各国の規格・基準の整合が、日本独自の規格であるJIS規格の環境測定技術では困難なものが多い。アジア諸国の多くはWTOに加盟しており、これまでの以上に国際標準化を求めると思われ、わが国の技術は、当該技術の国際標準化を戦略に組み込む必要があるだろう。

曝露予測モデルに関しては、欧州では、簡便な環境媒体のボックスモデルであるUSES（Uniform System for Evaluation of Substances）、地理情報システムを活用したGREATER（Geo-referenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers）など環境曝露モデルの活用が盛んである。米国においてはさらに多種多様な曝露モデルが有償・無償で公開されている。これまでの日本からの本分野への貢献は限定的であったが、近年において、化学物質の大気環境濃度推定及び曝露評価を行なうシステムであるAIST-ADMER（AIST-Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk assessment）が官主導で開発・公開されるなど、環境計測とともに曝露評価技術として認知され始めている。韓国においてはソウル大学や釜山大学などにおいて相対的に高い研究レベルを維持していると思われる。

影響評価における試験技術に関しては、欧州、米国、日本で大きな差はなく、アジア諸国には見るべきものは少ない。化学物質の構造から影響を予測する手法（QSAR：Quantitative Structure Activity Relationships）に関しては、欧州と米国が先行しており、特に欧州は、巨費を投じてOECDの場でQSARの開発を先導しようとしている。日本においても、これまでに蓄積された独自のデータをもとに化審法関連のQSARに関する取り組みがされ始めており、生分解性予測などいくつかの成果が公開されている。アジア諸国には特筆すべきものは見当たらない。

以上の要素を総合して行うリスク評価の明確な市場は存在しない。欧州の化学物質管理規則（REACH：Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals）では、リスク評価の責任を事業者にゆだね、1物質1文書の原則に基づく物質情報交換フォーラムの結成や、QSARなどの生物試験代替法の活用が検討されている。これにより市場価値を得た安全性データが取引対象

となり、あらたなりリスク評価の市場が形成されていくものと思われる。安全性データの基盤整備は、米国、日本においてもいろいろな形で進められているが、国際標準化戦略の観点からは欧州の IUCLID (The International Uniform Chemical Information Database) が一歩リードしているといえる。中国、韓国での本分野の取り組みは進んでいない。

リスク評価技術（化学物質）

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
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が、個別分野でのポテンシャルは高い。
	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力が向上しつつある。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 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が、革新的な研究成果はでてはいない。
	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り、リスク評価産業として特筆すべき点が見当たらない。
欧州	研究水準	◎	↗	欧州流のリスク評価技術は米国流の技術との双壁をなしている。
	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 構築など着実な進展が認められる。
	産業技術力	○	↗	REACH の導入などによりリスク評価の市場を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。物性の予測などソフト面での進展が認められる。
	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	×	↗	中国製品の安全性に係わる様々な問題に対する対応に追われているのが現状である。国際規格、REACH 等の対応に向けた取り組みが加速するものと思われる。
韓国	研究水準	○	→	全体的に日本の状況と類似している。モデル開発など一部に高度な技術を有するが、日本と比較し研究者層は薄い。環境測定技術分野での人材が比較的豊富である。
	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。
<p>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。欧州 REACH におけるリスク評価手法の開発動向に注視する必要がある。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。日本のデータ基盤はある程度存在するものの、そのシステム化に関する連携や技術開発力が弱く、化審法の見直しなどを通じての改善が期待される。韓国は、キャッチアップの途上と言えるが、比較的高い研究能力を有する人材を育てつつあり、環境測定分野に限れば日本と同等のレベルになっている。中国においては国際競争力を維持するための政策的な取り組みを加速すると思われるが、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。</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]

(11) 環境アセスメント技術

日本では、環境影響評価法が1997年に制定されて、10年になり事業実施アセスメント（EIA：Environmental Impact Assessment）は定着した。政策段階や計画段階の戦略的環境アセスメント（SEA：Strategic Environmental Assessment）は2007年4月に環境省より「SEA導入ガイドライン」が公表され、今後は事業官庁への技術指針作りなどの整備が進むと思われ、米国やEUとの法的整備状況には並んだ。特に、日本の自然再生技術は干潟の保護・管理に日本の技術は特徴があり、汽水域の管理は沿岸漁業の必要性から重要になる。また、環境アセスメントの技術水準向上と信頼性確保のため「環境アセスメント士」の認定資格制度を推進している。

米国では、1969年に国家環境政策法（NEPA：National Environmental Policy Act）が制定された。これはEIA制度の世界の先駆的なものであり、SEAを含めて、代替案やノーアクションも実施している。また、上位段階のアセス強化のため、計画プロセスとの早い段階における統合が提案されている。EIS（Environmental Impact Statement：環境影響評価書）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。EPAは全てのEISへ意見を提出する。ミチゲーション技術や生物生態系の定量化手法も先行している。現在、25年経過した法制度の有効性の評価のなかで、①戦略的計画、②住民への情報公開と住民からの意見、③機関間の協調、④意思決定のための学際的な場所中心のアプローチ、⑤科学に基づいた柔軟な適応環境管理アプローチ、などがあげられている。

EUでは、環境アセスメント制度はSEA指令が2001年採択され、2004年導入で加盟国はSEAが必須条件であり、農業、林業、漁業、エネルギー、産業、交通、廃棄物、水管理、通信、観光、都市及び農村計画、又は土地利用のために作成され、EIA指令対象事業や同意、立地、EU生息地指令に従いSEAが必要となっている。また、加盟国の裁量で必要に応じてSEAを実施しており、影響評価では累積的・複合的環境影響評価の評価を含み、代替案の検討が行われる。SEAについては、特にオランダでは法制度化し、イギリス、ドイツも計画時点の検討も行われている。

中国では、中華人民共和国環境影響評価法が2003年に制定され、総合計画（土地利用関連計画及び地域・流域・海域の建設・開発利用計画）と特別項目計画（工業・農業・牧畜業、林業、エネルギー、水利・交通・都市建設・観光・自然資源の開発に関するセクター計画）を原則対象としており、計画は百数種に及ぶ。環境保全措置は経済合理性、社会の許容等に関する論証を行うが、代替案の検討は規定されていない。ただ、近年は技術開発水準、産業技術力も向上しつつある。

韓国では、環境政策基本法が2005年改正され、2006年6月から実施している。EIA対象事業決定に影響を及ぼす、都市計画、エネルギー、交通、産業、廃棄物管理、水管理等の各分野における政策、計画、プログラムがある。プログラムに対するアセスメントでは複合的環境影響評価を含み、代替案の検討が行われる。また、韓国においても、近年はアセスメント技術の進展が認められる。

環境アセスメント技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	大気、騒音・振動、水質、底質、流れ、動物・植物、地質などは研究が進んでいるが、土壌、地下水、生態系、廃棄物、CO ₂ 対策、合意形成については課題も多い。SEA や簡易アセスに関する研究開発はまだ遅れている。CCS (CO ₂ 回収貯留) 技術や放射性廃棄物、有害物質のリスクアセスメントや LCA などの手法開発が課題である。
	技術開発水準	◎	↗	測定分析技術、GIS 解析技術、シミュレーションモデルの技術開発は先行している。未だ SEA 関連技術は導入が遅れており、技術開発が急がれる。近年、藻場・干潟造成技術や自然再生・修復技術は開発が進んでいる。調査、分析、予測・評価技術は優れているが、環境に配慮した計画、設計、保全対策や住民合意形成が技術的課題である。
	産業技術力	◎	→	国の事業規模の案件数は 10 年間で 169 件 (2007 年 3 月末) であり、近年は小規模化とともに案件数は減少傾向である。SEA 導入ガイドラインが 2007 年 4 月に環境省より公表され、対象事業は 13 分野 (発電所は除く) あり、今後は、国・地方自治体中心に計画段階のアセスメントへの展開を図る。
米国	研究水準	◎	↗	1969 年に国家環境政策法 (NEPA) を制定し、EIA 制度の世界のトップランナーである。SEA、簡易アセスを含めて、代替案やノーアクションも実施している。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。環境保護庁 (EPA) は全ての EIS へ意見を提出する。ミチ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。
	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。公衆関与も各手続き段階で行われる。上位段階のアセス強化のため、計画プロセスとの早い段階における統合が提案されている。
	産業技術力	◎	→	対象事業は特定せず、基本的には全ての事業種類に EIA が適用される。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環境影響評価書案 (DEIS) を作成する。EA は年間約 5 万件。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 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。累積的、複合的環境影響評価を含み、代替案の検討が行われる。REACH、RoHs 指令など有害物質の人体への影響評価や生態系影響評価法は先行している。
	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。SEA 指令 (2001 年) は、EU すべての国で SEA の導入を義務づける。但し、モニタリング、事後調査の規定はない。イギリス、ドイツ、フランスはかなり SEA 経験を積んでおり、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 加盟国に公的部門が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。年間での案件では、簡易アセスのあるフランスでは 6 ~ 7000 件と多く、簡易アセスのないイギリスで約 500 件、イタリアで 20 ~ 40 件、オランダで約 160 件、ドイツで約 1,000 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・承認を受ける必要あり。SEA 制度を導入し、審査・許可可では国務院に専門家 DB より選定される。環境保全措置にたいしては、経済合理性、社会の許容等に関する論証を行う。代替案は規定されていない。
	技術開発水準	△	↗	固定資産投資に関する建設事業すべてが何らかの環境影響評価の対象となる。評価実施者 (コンサルタント) は国務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。
	産業技術力	△	↗	環境影響評価法を 2003 年制定。EIA と SEA を包括的に規定している。適用範囲が狭く、審査認可手続きの健全さ、管理監督の立ち後れ、環境アセスメント技術の不完全さがある。環境モニタリング・事後評価も実施。
韓国	研究水準	△	→	スクリーニング手続きがない。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。専門家的見地から意見を出す国立の研究機関である韓国環境政策・評価研究院 (KEI) を 1997 年に設立している。SEA 制度を盛り込んだ事前環境評価制度 (PERS) 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	△	↗	環境政策基本法を 2005 年に改正し、SEA を本格実施している。スコーピング、DEIS 段階で公衆関与が行われる。環境アセスメント代行する規定あり。環境コンサルタントがまだ育っていない。
	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。EIA 対象事業は 17 分野、74 事業あり。環境アセスメント実施案件は 2002 年で 168 件あり。

全体コメント：日本では環境影響評価法が制定されて10年が経過し、国は現在法の制定後10年の見直し作業に着手し、検討が続けられている。一方、諸外国では従来の事業実施環境アセスメント（EIA）と政策・構想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）の統合が推進、整備されて来ている。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影響や複合的影響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（専門家や環境省等）の関与が行われる場合が多く、環境モニタリング、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。

(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]

2.3 資源循環分野

2.3.1 概観

本分野では、各種素材別のリサイクル技術、廃棄物の最終処理技術、そして、環境配慮型技術に分けて、日本、欧州、米国などとの比較を行った。

個別素材のリサイクル技術も、法律的な枠組みが存在しているかどうかは技術のレベルおよび研究開発動向に大きな影響を与えていると結論できるだろう。その最たる例が、コンクリートのリサイクル技術ではないかと思われる。建築リサイクル法の存在が、日本をこの分野で世界のトップにしている。

同じ個別技術でも、プラスチックは、各国が異なった法律的な枠組みをもっており、容器包装系のプラスチックリサイクルでは、欧州との先端技術競争では、不純物除去技術の実用かなどの面で、やや後れを取っているが、これは、容器包装リサイクル法における、リサイクルの優先順位付けに問題があるのかもしれない。

全般的に見て、素材のリサイクル技術は、日本が世界をリードしていると言える。今後、日本の産業戦略として重要なレアメタル類での資源回収技術が確保されることは重要な課題であって、より明確な法的な枠組みが整備されることが望ましい。最終処分技術については、日本の技術はコスト高であるという表現がもっとも適切かもしれない。

環境配慮型技術では、日本対欧州の構図になっている。欧州の優位さは、その法律的な枠組みの先端性にある。日本は、その先端的な枠組みに対して、事務機などの得意製品分野での徹底的な対応策を作ることによって、自らの強みを作り出している。

以上のような検討によって、日本の技術水準は、海外に移転するに十分なレベルにあるとの結論を下すことは可能であろう。しかし、それをどのような国を対象に移転するのか、となると、明確な戦略は未だに存在しない。国それぞれによって、法律的な枠組みの状況が異なり、日本の技術をそのまま輸出できる状況には無いからである。

特に、中国や東南アジアの諸国に対してこれらの技術を移転しようとする、日本の技術は高価であることが大きな阻害要因になりうる。また、どのような法律的枠組みを採用しようとしているか、が大きな問題である。

中国は、欧州の RoHS (Restriction of Hazardous Substances : 電子・電気機器における特定有害物質の使用制限に関する指令) とほぼ同等の枠組みを導入するなど、欧州に学ぶ姿勢が強い。環境規制の世界標準は、自動車の排ガス規制などの場合も、やはり欧州のものがスタンダードになりつつある。電気製品などについては、日本の家電リサイクル法がもっとも精緻なリサイクルを可能にしているが、世界の動向が欧州の WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) 的なもので留まることになれば、日本のリサイクル技術は精緻すぎて、世界の異端になる可能性もある。

この分野の基礎技術は、現状でますますのレベルにあるが、今後の発展を目指すのであれば、日本という国が、世界に対してどのような製品を提供し続けるのか、この方針を明確に定めて政策レベルに反映することがまず必須である。

2.3.2 中綱目ごとの比較

(1) 容器包装プラスチックリサイクル技術

世界的に容器包装プラスチックのリサイクルは増大しており、日米欧では先進的に進められている。プラスチックのリサイクル技術には、分別や異物除去、洗浄のような基礎技術、そして使用済みプラスチックの利用技術、システム化技術、評価技術がある。欧州では、ドイツを代表としてマテリアルリサイクルが優先され、そのための分別、異物除去技術が産業技術として開発・実用化され、国際的な競争力を持っている。米国では州によって制度は異なるが、経済的に成立するマテリアルリサイクルが推進されており、混合して排出されるプラスチックの自動分別技術開発が進んでいる。日本においてもマテリアルリサイクルが優先され、多く実施されているが、分別や洗浄技術では欧米の技術を導入している例が多い。一方で、素材の分別をせずに、混合プラスチック素材として例えばパレット製造のような製品の製造技術開発が行われている。また、混合プラスチックのまま実施できるケミカルリサイクル（フィードストックリサイクル）と呼ばれるガス化、油化、高炉原料化、コークス炉原料化では、世界をリードする実用技術が多数開発されてきた。ただし、これらのケミカルリサイクルは日本ではエネルギー回収ではなく、リサイクルと認められているが、欧州では、今後エネルギー回収に分類され、リサイクルと認められない可能性があるため、欧州では採用されなくなることも予想される。また、ケミカルリサイクル技術の多くは、設備投資が高額であったり、運転が容易でなかったり、既存の鉄鋼関連プロセスが必要であるなど、途上国などに展開するためには障壁がある。このように、リサイクル技術の開発は、政策や経済性と大きく関連しており、日本においても油化やガス化などは技術的には実用レベルであっても導入は限られており、技術開発は停滞している。大学・研究機関での基礎研究も多いが、経済的に成立できない等の理由で産業技術に至らない例が多数ある。中国や韓国では、社会におけるリサイクルは進んできたが、独自のリサイクル技術開発は遅れている。

容器包装の中で、PET ボトルのリサイクルは特別な状況にあり、中国をリサイクルセンターとする国際的な循環が起きている。ポリエステル繊維の原料として市場が形成され、有価で取引されている。特に、社会制度として透明ボトルに統一され、かつ高品質の日本のPET ボトルは、中国へ大量に輸出されている。このため、日本で独自に開発された高度なケミカルリサイクル技術やマテリアルリサイクル産業は原料である使用済みボトルが入手できない、経済的に競争できないという理由で、技術開発も含めて停滞している。しかし、経済危機の影響で中国への輸出が激減したことが今後どのように影響するか注目される。

これらのリサイクル技術は経済性の評価に加え、環境影響からの評価技術としてライフサイクルアセスメント技術がある。これは欧州で開発され、日米でも盛んに研究されている。日本や欧州では、政策決定支援にも利用され始めているが、基盤技術として今後の発展が期待される。これ以外の中国や韓国、途上国では、ライフサイクルアセスメント技術による評価は緒に就いたばかりである。

容器包装プラスチックリサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	FCC 触媒による油化、塩ビからの脱塩素、超臨界水による分解、熱分解挙動分析などの基礎研究例は多い。ライフサイクルアセスメントによる評価技術研究は世界をリードしている。
	技術開発水準	◎	→	油化、ガス化、高炉原料化、コークス炉原料化などフィードストックリサイクル技術は、世界をリードしている。マテリアルリサイクル技術についても、PET ボトルの化学分解によるケミカルリサイクル技術、高純度化技術はリードしている。
	産業技術力	◎	↗	実用化された変換技術が多く、海外への展開が期待できるが、途上国への展開には運転技術や設備の支援が必要と考えられる。
米国	研究水準	△	↘	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。
	産業技術力	◎	↗	自動分別機の世界競争力は高い。途上国への導入も進むと予想される。
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。
	技術開発水準	◎	→	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、今後もリードすると予想される。
中国	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見られない。
	技術開発水準	△	→	成長する国内リサイクル産業向けのリサイクル技術開発が行われているが、欧米の製品の類似技術によるものが多く、新規なものではないが、今後の発展が予想される。マテリアルリサイクルが中心。
	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、リサイクル量は多いが、国内技術は比較的低レベルの技術が多い。今後の成長ポテンシャルは大きい。
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。
	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。

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ルートが多く、基本技術開発は成熟しつつある。マテリアルリサイクルに関わる選別技術で先行する欧米に対し、日本で実用化が進むフィードストックリサイクル技術は特筆されるが、新規設備や高度な運転管理技術が必要であるため途上国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が進んでいる。PET ボトルについては、国内でのリサイクルシステムが資源不足で縮小する一方、経済情勢の変化によって中国の受入が大幅に減少し、循環が止まるという事態が生じている。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が、国際資源循環評価のための途上国を含むイベントリデータベース構築が急務である。

(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]

(2) 電気電子プラスチックリサイクル技術

プラスチックのリサイクルは、Pre Consumer（上市前）からか Post Consumer（上市後）からか（あるいは、工程内リサイクルか工程外リサイクルか）に分類される。従来から生産工程で排出される「端材」や「成型不良品」は廃棄することなく原価低減の一環として再び生産工程に戻したり、再生プラスチック専門業者に販売されて再使用されたりしていた。一方、消費者の手に渡った製品から回収されるプラスチックは材質や劣化具合が不明であることが多いため品質が悪く、多くは雑貨品、棒杭、植木鉢などの「ダウングレード」製品にしか使用されていなかった。

家電リサイクル法が施行されてから日本の状況は一変した。プラスチックを大量に使用する大型使用済み家電製品が安定かつ大量にリサイクルプラントに回収されるようになった。素材の判明している部材は、丁寧に分離分解してペレット化し酸化防止剤の再添加やバージン材料との混合によって機械性能を改善した後、再び家電製品に使用する事例が増えてきた。これらは、従来のダウングレード使用ではないので「水平型自己循環」と呼んでいる。PP（ポリプロピレン）やPS（ポリスチレン）の適用事例が多いが、最近ではエアコンのファンに使用されている GFRP（ガラス繊維強化樹脂）を再び同一箇所に使用する高度の自己循環も実用化されている。これらの「マテリアルリサイクル」以外に、使用済みエアコンの冷媒（R-22）をフッ素樹脂に戻して使用する「ケミカルリサイクル」も実用化されている。いずれも、家電リサイクル法によって日本でだけ実運用されている技術である。

米国の廃プラ処理事業は、自国内での需要は少なくリビルド産業の一環として中国、台湾などへの輸出に熱心である。米国内での製品への適用は進展していない。但し ISO などでの国際活動ではプラスチックの規格作りの主要なメンバーとして活動している。

欧州では Post Consumer から得られた再生プラスチックを製品に使用する電気電子メーカーはほとんど無い。手分別を要するような低レベルの混合廃プラスチックについては途上国への輸出に熱心である。資源枯渇に対する危機感よりも化学物質に対する規制を重視している。

しかし、バージン材の価格高騰から欧州での需要が逼迫している状況もあり、混合プラスチックの自動分別技術が進み、特に最近では自動車産業向けの再生プラスチックの動きが活発化している。

中国および東南アジアには、プラスチックを大量に使用する雑貨品や低価格の電気電子産業が存在する。したがって高度のリサイクル技術よりも、簡単な汚物除去や手選別をした程度の「混合プラスチック」が製品に使用されている。先進国から大量に廃プラスチック（実際はプラスチックを含む事実上の廃棄物）を買い付ける巨大な輸入勢力になっている。

韓国は、OECD 加盟国であり電気電子も自動車も日本と同じ水準に達しているが廃プリント基板や廃プラスチックの輸入意欲も強く中国と同様の側面もある。ただし、水平型自己循環は実現していない。

日本の水平型自己循環は、国内では実現しているが海外生産拠点では信頼できる素材が安定的に回収できないので難しいことから、日本のきめ細かな「水平型素材自己循環」システムの将来に暗雲を投げかけている。

電気電子プラスチックリサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	実務的分野であるためか、研究論文は増えていない。
	技術開発水準	◎	→	急激な素材の価格低下が、メーカーの水平型自己循環のインセンティブにどのように影響するか注視したい。
	産業技術力	◎	→	水平型自己循環は素材価格の急落が大きく影響するであろう。海外拠点では障害が多く欧州の動きによっては進展がとまる懸念がある。
米国	研究水準	○	→	プラスチックの寿命管理の研究報告が注目されるが、ほかに特に新しい情報は無い。
	技術開発水準	○	→	特に新しい情報は無い。
	産業技術力	△	→	電気電子産業界での再生プラスチック使用は進展していない。
欧州	研究水準	○	→	特に新しい情報は無いが、今後リユース関連の研究テーマが増える可能性がある。
	技術開発水準	◎	→	自動車産業の急激な低迷は自動車用プラスチックの動向にも大きく変化が起きる可能性がある。
	産業技術力	◎	→	電気電子分野ではプラスチックの再生利用よりも化学物質規制への対応に熱心であることにかわりはない。
中国	研究水準	×	→	詳細は不明。
	技術開発水準	△	→	研究内容は不明であるが、低品質プラスチックの再生利用技術は規模が大きいのので、決して侮れない。
	産業技術力	○	→	低価格品では混合プラスチックでも製品に使用する事例が見られる。事実上の廃棄物でも素材として輸入するケースが多い。極めて懐の深い国なので、部分を見て全体を評価することは危険。
韓国	研究水準	△	→	詳細は不明。
	技術開発水準	△	→	研究内容は不明。
	産業技術力	○	→	製品への適用事例は多くないが、大手企業の技術水準は高い。
<p>全体コメント：2008年末の急激な経済変動で世界的にプラスチックの需要動向も変化している。日本の高度な水平型プラスチック自己循環は、技術的には現時点でも圧倒的に世界をリードしているが価格的なインセンティブがなくなれば動向は不明である。特に海外拠点ではリサイクルシステムが存在しないので展開が難しい。米国も欧州も資源価格の低下はさらにプラスチックの再生利用には関心が薄くなるであろう。反面、欧州 WEEE の見直しでリユースが取り入れられたことにより、プラスチックのリユースに関する技術的な関心は高まるかもしれない。日本ではプラスチックの寿命予測や余寿命管理手法の研究もされているので、この方面の研究がさらに高まるかもしれない。</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]

(3) ガラスリサイクル技術

現在世界のガラス生産に関する状況は AGC（旭硝子）とベルギー子会社 AGC フラットガラスヨーロッパ（旧グラバーベル）の AGC グループ、日本板硝子と英国子会社ピルキントンの日本板硝子グループの 2 大メーカー、そしてサンゴバン（フランス）グループとガーディアン（米国）グループの 4 社による寡占化が進み、世界シェアの 80%以上を占めている。液晶ガラス分野においては、米国コーニング社が 60%以上を占め、AGC と NEG（日本電気硝子）が追従している。またこれらの板硝子、瓶分野とは異なった電子機器産業との複層的な産業構造が、資源循環型リサイクルを困難にしており、DfE（Design for Environment：環境配慮型設計）の共通化が必要となっている。

EPR（Extended Producer Responsibility：拡大生産者責任）をはじめとする環境リサイクルに関する各国の環境政策のグローバル化が進み、資源循環に関するプラットフォームが分野別に形成されつつある。

ガラス再資源化の意識は全ガラス産業分野で欧州が高く、経済的な観点では通信機器リサイクルの分野でアジア地区に拠点が形成されている。米国では国土の広さが資源循環を遅らせる要因にもなっていると思われる。

現在のリサイクル技術はカレット利用率の向上が生産メーカーにとっては重要であるが、同時にバーゼル条約による資源流通の国際的な調整作業が必要となったことから、出発原料の MSDS（Material Safety Data Sheet）をリサイクルにおいても入手できるシステムや、建築、自動車、ボトラー、通信機器分野における調達環境の向上も重要な課題となっている。

欧州では瓶ガラス、建築ガラス、蛍光灯、自動車等のソーダ系ガラスの原料化のための施設が生産工場と併設されて稼働し始めているが、情報・電子機器分野はまだない。

アジアでは希少金属回収を目的に PC、携帯電話の抽出が行われているが液晶ガラスは廃棄されて二次汚染の原因になり始めている。また他用途開発として世界的には土木用路盤材の原料として採用されているが、持続的な技術になっておらず最終処分に近い。

ソーダ系ガラス、および今まで困難であったホウ珪酸系の液晶ガラスもセラミック原料として活用する技術が日本で開発され、カレット利用率 70%、低温焼成により製造時の二酸化炭素排出量削減 45%と高効率なガラス再資源化技術が実用化し、すでに 10 万トン近い再資源化が行われている。またファインセラミックスを原料化する基礎技術が開発されており、今後地域特性に合わせた実用化に向けた研究が必要となっている。マテリアルバランス（全体の環境負荷）を考えた各国のセラミック産業とガラスメーカーとの産業構造共生を図ることができれば、ガラス分野の世界的な資源循環型リサイクルの経済社会モデルとなりうる可能性を秘めている。

ガラスリサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	環境配慮型のキルン開発が進んでいる。研究者が企業中心で戦略的な国際技術開発を立案しにくい状況下においてニューグラスフォーラム、NEDO に先端研究を期待。
	技術開発水準	◎	→	旭硝子、日本板硝子、セントラル硝子の各研究所における研究開発力の高さは世界水準にあり、分野によっては世界のトップである技術も多く存在している。
	産業技術力	◎	↗	旭硝子と資本系列のグラバーベル社、日本板硝子と資本系列のピルキントン社の 2 大グループと、サンゴバン社と技術提携したセントラル硝子といった世界 3 大ガラスメーカーに日本企業が属しており、技術革新に伴う設備の巨大化が、この 3 社の技術支配力を更に高めつつある。
米国	研究水準	○	→	光学ガラス分野での研究では多くの研究開発から製品が製造されている。基礎研究における大学、研究機関の研究層の厚さも注目できる。
	技術開発水準	○	→	板硝子分野では難しいと思われるが、液晶ディスプレイガラスではコーニング社の技術力が世界のトップにあり加工技術も含めて、高い水準と予想される。化学品、樹脂、ガラス繊維などを手がける大手化学会社である PPG 社は、その総合力を活かした研究開発によりセラミック触媒が注目されている。
	産業技術力	○	↘	日本、欧州の 3 大グループに比較して国際産業技術力に欠ける。PPG 社、ガーディアン社の存在が特殊分野で問われてくるとされる。光学系では米国優位。
欧州	研究水準	○	↗	欧州からガラス研究が発足した歴史もあり、フランス、ドイツ、ベルギー、イギリス、イタリア、チェコ、ポーランドなど各国の大学、公立研究機関では、ガラス分野での基礎研究から応用研究まで幅広く実施する研究施設が存在している。最近ではリサイクルに関する研究も進み、応用から実用化に向けた動きもある。
	技術開発水準	◎	↗	欧州各国の研究開発機関とフランスのサンゴバン、ピルキントン、グラバーベルの三社に旭硝子、日本板硝子、セントラル硝子が加わり、総合開発力では高い水準が今後期待される。
	産業技術力	◎	↗	自動車、建築では 3 大メーカーの技術開発が進んでおり、特に環境配慮型商品の開発に重点が置かれている。また製造拠点を中心にリサイクル施設の実用化レベルでの運用が物流システムを含めて各国間で開始されてきており、マテリアルバランスを EU 内で実践しようとしている。
中国	研究水準	○	→	陶磁器製造技術の延長で、ガラスの新領域を研究開発する基盤は十分にある。
	技術開発水準	○	→	自動車ガラスでは信義玻璃・XINYI GLASS の加工技術が注目される。
	産業技術力	○	→	伝統的なガラス製造法で生産されるガラス工場が多く点在しており、今後の近代化が必要。ただし世界の 3 大メーカーが現地生産を開始し、自動車、建築の市場競争が始まっている。太陽光発電パネルの生産に力を入れ始めており、力点が省エネルギーの分野に移行している。
韓国	研究水準	△	↘	ガラス研究分野では報告が少ない。
	技術開発水準	△	↘	液晶ガラスモニター技術開発では、サムソンの技術開発力に支えられた加工技術の研究開発が進んでいる。
	産業技術力	△	→	建築、自動車ガラスはサンゴバン社の関連会社が生産している。旭硝子は PDP 向けガラス基板の製造拠点を新設した。液晶産業の世界での優位性のなか、液晶ガラスの供給やリサイクルをめぐる環境・産業構造が変化してきている。

全体コメント：米国発の金融危機が全世界に蔓延してガラス産業の基幹産業である住宅、自動車産業の落ち込みは著しい。経済危機も 100 年に一度の危機といわれ、研究開発継続が難しい大手企業も現れ始めた。2009 年 1 月、世界的なガラス・陶磁器メーカー、ウォーターフォード・ウェッジウッドの経営破たんは日本の OEM 生産会社にも影響を及ぼしている。大手三社も製造工場の休止に追い込まれており、この経済環境の中、暫くは厳しい状況が続くと思われる。環境技術を各社とも力を入れ始めていた矢先であり自動車、住宅の市場回復が先決課題。シャープは堺市にコーニング社の工場を内包したメガ工場を新築中であるが液晶ガラスの需要と太陽光発電需要はその先駆けになるか注目される所。

(注 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。
 (注 2) 近年のトレンド 【↗：上昇傾向、→現状維持、↘下降傾向】

(4) コンクリートリサイクル技術

建設廃棄物の発生量についてみると、日本はEU全体の2分の1程度、アメリカの3分の2程度の排出量がある。日本における建設廃棄物の40%程度はコンクリートであり、一年間の発生量は約4000万トンと膨大である。このように建設廃棄物に占めるコンクリート廃棄物の量が多いことは各国とも類似の傾向である（欧州では類似の廃棄物として煉瓦の発生量も多い）。また、コンクリートは無機系材料であり、その廃棄物は有害性をほとんど持たないため安全に埋め立てることができる。しかし、埋め立て処分場の新設は困難なため、コンクリート廃棄物のリサイクルが求められてきた。コンクリートリサイクルのもっとも簡易な方法としては、構造物を解体して発生したコンクリート塊を破碎し、粒度を調整することで路盤材として用いたり、管工事などの埋め立て材として用いたりすることである。

日本では、路盤材等へのコンクリート塊の利用はかなり進んでおり、2005年次点でのコンクリート塊のリサイクル率は98%である。これは、建設リサイクル法の施行が行われ、コンクリート塊の再資源化が義務づけられたことが大きい理由と考えられるが、コンクリート塊の破碎技術や路盤材への利用技術を十分に保有していたことも一因である。

日本の状況が他国と異なる点として、高度成長期に建築された構造物が建て替え時期を迎え、今後コンクリート廃棄物発生量が増大することが予想されていることがあげられる。そこで、我が国では1990年以降、コンクリート塊を破碎して得られる再生骨材を構造用コンクリートに利用するための技術開発が進んできた。技術開発の内容としては、コンクリート塊を破碎・分級しただけの低品質な再生骨材を用いた場合に構造用コンクリートとしての品質を確保するための技術開発と、コンクリート塊から骨材のみを取り出す高度処理技術開発があり、いずれも他国よりも優れた技術力となっている。

欧州では、国によって差はあるものの、日本と同様にコンクリート廃棄物は路盤材等にリサイクルしている。路盤材への利用技術として欧州がリードしているのは、この手法によるリサイクルの経済性を確保するために自走式破碎機を開発している点である。この自走式破碎機を適用すると、廃棄物の発生地点でのリサイクルが可能で、廃棄物運搬の輸送コストを下げることができる。また、一部の国（オランダ、デンマーク、ドイツなど）は、構造用コンクリートあるいはコンクリートブロックなどに再生骨材を利用した実績を有する。ただし、いずれもコンクリート塊を破碎・分級して製造した再生骨材の適用であり、骨材のみを取り出す技術は日本独自のものである。

米国や中国では、埋め立て処分場が十分にあるのか、コンクリートのリサイクルに関する研究や技術開発は盛んでなく、路盤材への利用も緒についたばかりである。特に中国ではコンクリート構造物が解体されて廃棄物として発生する段階はかなり先の話となることが予想される。

韓国については、廃棄物発生量が増加しつつあり、その処理問題が顕在化しつつある。当然、コンクリート廃棄物の発生量も多く、そのリサイクルに向けて技術開発が実施されようとしている。現在のところ、コンクリートのリサイクルに関する先端国である日本や欧州からの技術導入を計画し、交流を深めようとしている。

コンクリートリサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	コンクリートから骨材のみを取り出す高度処理技術ならびに再生骨材の構造用コンクリートへの利用方法に関する技術開発ともに優れている。コンクリートリサイクルの環境影響についても定量的な評価が進みつつある。
	技術開発水準	◎	↗	現実的な（経済的な合理性をもった）リサイクル方法である路盤材への利用技術は既に確立されている。また、再生骨材の構造用コンクリートへの利用方法に関する技術にも優れる。
	産業技術力	○	↗	コンクリート塊として発生した廃棄物は、95%以上が路盤材等へリサイクルされている。また、構造用コンクリートへの利用事例も大手ゼネコンから少しずつ出てきている。
米国	研究水準	△	↘	路盤材への利用については、若干の研究開発が行われていると推測されるが、再生骨材をコンクリートに利用する研究についてはほとんど実績がない。
	技術開発水準	△	→	処分場容量、天然砕石とも余裕があるため、コンクリートのリサイクルについて積極的ではない。よって、再生骨材をコンクリートに利用する技術開発についてはほとんど実績がない。
	産業技術力	△	↘	再生骨材をコンクリートに利用された実績はなく、また路盤材への利用も試験的に導入されている段階でコンクリートリサイクルに関する技術開発といった面では遅れている。
欧州	研究水準	○	→	日本ほど進んではないが再生骨材を構造用コンクリートに利用する技術について若干の研究実績がある。
	技術開発水準	○	↗	路盤材への利用を前提としたコンクリート破碎技術（例えば、自走式破碎機）などの開発は進んでいるが、構造用コンクリートへの適用のための高度処理技術については特に行われていない。
	産業技術力	○	→	国によって差があるが、路盤材への利用は多くの実績を有する。再生骨材を構造用コンクリートに適用した事例を有する国もあるが、技術力としては高くない。
中国	研究水準	△	→	処分場容量、天然砕石とも余裕があるため、コンクリートのリサイクルに積極的ではない。よって、路盤材への利用、構造用コンクリートへの利用とも研究実績はほとんど無い。
	技術開発水準	△	?	再生骨材のリサイクル技術開発についてはほとんど実績がない。
	産業技術力	△	?	コンクリート廃棄物の発生が問題化しておらず、この種のリサイクルに関する技術力は高くない。
韓国	研究水準	△	→	廃棄物の処理に関する問題が顕在化することが予想され、今後コンクリートのリサイクル研究を推進しようとしている。
	技術開発水準	△	↗	再生骨材をコンクリートに利用する技術開発についてはほとんど実績がなく、日本や欧州から技術導入等が検討されている。また、廃コンクリートの路盤材利用やコンクリート利用への技術基準が作成され、運用を模索中である。
	産業技術力	△	→	破碎技術やリサイクル方法の技術について日本や欧州から技術導入等が検討されている段階で、技術力としては高くない。
<p>全体コメント：日本では将来、路盤材需要量に対してコンクリート廃棄物発生量の増加が予想されているため、路盤材以外の用途開発が求められ、高度な利用方法である構造用コンクリート骨材としてのリサイクルに対する研究・開発が進んでいる。他国は将来的な見通しが日本と異なるのか、欧州のように路盤材としての活用は進んでいるところもあるが、日本ほど高度な技術開発は盛んでない。</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]

(5) 金属リサイクル技術

金属のリサイクルは、金などのようにスクラップの中から少量の有価成分をとりだす Extract タイプ（抽出技術）、鉄、アルミのように再溶解のプロセスの投入原料として主成分を利用する Dilute タイプ（素材化技術）、そして解体・分離・濃縮技術がある。

ステンレスとしてのニッケル、伸銅工程に戻される Cu 以外のほとんどのレアメタルが Extract タイプに該当し、基本的にリサイクルの過程で「製錬工程」が含まれる。このため、基本的な産業技術は製錬技術のレベルに依存しており、先進工業国であり、かつ鉱山経営を長年進めていた日本の技術が飛びぬけて優れている。米国は、鉱山技術はあるもののリサイクルシステムとしての原材料スクラップ供給体制が整備されておらずその優位さが生かされていない。欧州は基本的に製錬部門が弱いため海外への依存度が極めて高く、廃棄物の海外移動の問題にもなっている。また、少量の有価物質の抽出というプロセスの特性上、小規模のコテージスメルターとも呼ばれる家内工業的製錬業や、非公式の製錬業が発展途上国で急速に増えており、これらの技術レベルは、抽出効率としても環境効率としても著しく低い。リサイクル法の整備と合わせて中国がコテージスメルターからの脱却を図っており、大規模のリサイクル団地計画などを進め、日本企業などの技術協力とあいまって急速に技術レベルを上げようとしている。この傾向は、中国だけでなく、発展途上国の中で部品加工を選択した国家に多く見られており、コテージスメルターの機敏性を生かしながら大規模スメルターの生産性と管理能力をもつ技術開発が求められている。

技術開発の面でも、鉱山型リサイクルが可能な日本の技術が飛びぬけてすすんでいるが、国内事情に偏りすぎた技術開発や、当面のコストに注目するものが多く、国際的なニーズに応えるものは少ない。むしろ欧州のほうが、小型の水銀処理設備の開発など開発途上国市場を意識した抽出リサイクル技術の新規開拓には興味を注いでいる。

鉄やアルミニウムのリサイクルは Dilute タイプのリサイクルであり、基本的に製錬の工程は含まれず成分調整によって素材化できる。特にアルミニウムは多様な合金系があり、それぞれの合金系の添加元素は他の系では不純物となるため、アルミニウム供給国のアメリカ、カナダにおいては、汎用性のある合金組成の検討や、異種合金の分離溶解技術などが研究されていた。しかし、近年の中国をはじめとする需要の急騰で量を生産することに中心がうつり、さらに、非鉄金属メジャーの金属の種類を超えた再編成がすすみ、スクラップベースの素材化技術への注目度は低くなっている。また欧州では以前から、素材の適材適所使用とマーキングなどの製品のリサイクル設計やリサイクル管理のなかで多様なスクラップからのリサイクルシステムを目指す傾向が強く、混合されたスクラップからの高機能素材化への関心はあまり無かった。

鉄においても同様であり、日本の電気炉鋼は、性能限界ぎりぎりの成分管理でリサイクル不純物を受け入れる技術を有している。日本と同様に有数の鉄鋼製品の輸出国である韓国もスクラップ依存性が高く、かつ、高品位鋼の生産を目指す意味で、日本の技術を大きく吸収し並ぼうとしている。注意すべきは中国であり、一般に「低級スクラップが日本から中国に流出している」と誤解さ

れているが、むしろ付加価値の高い鋼材に使用できるスクラップが流れており、しかも、中国は中近東などを対象として二次鋼材の世界大手の輸出国になっている。日本からの技術移転に関しても積極的であり、近日中にリサイクル素材化技術においてもひけをとらないものになると予想される。また、アメリカでは、スクラップをベースにしたミニミルがその生産のフレキシビリティを生かして広がってきており、中国などがそれを積極的に取り入れてスクラップベースでサービス指向の管理システムと結びついたカスタマイズ化された多品種生産へと新たな鉄の生産様式を切り開いていく可能性もある。なお、2006年の鉄スクラップの最大輸入国はトルコであり、イラク、モロッコなどに鋼材を出荷している。

上記のような背景のためリサイクル素材化の研究開発はもっぱら日本で行われており、トランプエレメントと呼ばれるCuなどのリサイクル不純物の材料劣化メカニズムやその無害化技術、さらには、それらの不純物を積極的に材料性能の改善に生かす技術などが検討、開発されてきている。アルミニウムでも、日本では展延性に富むバージンのアルミニウムを輸入に頼っていることもあり、現在主として鋳造に回されているリサイクルアルミニウムに組織調整で展延性を持たせようとする試みも進められている。

解体・分離は、資源の回収というより、廃棄物の減量化の観点で進められているものが多く、その意味では欧州と日本には大差は無い。むしろ、廃棄物リサイクルビジネスに関して、焼却以外のオプションも積極的に追及している欧州の企業でより高いインセンティブが働いており、分離プラントや破碎技術の設備や部材で高い信頼性を得ている。中国は、相対的に安い人件費と低設備投資で解体・分離業がひろがり、現時点で世界の廃家電の大部分が中国に集まるに至っているが、技術的レベルは一部の海外工場層と密接な連携を持ちうる企業以外ではかなり低いレベルにある。米国においても、スクラップの発生は市場価格に強く依存していることに見られるよう、技術を投入してまで新たなスクラップを生み出すというインセンティブは弱く、技術的進歩には消極的である。

日本において、従来の廃棄物処理志向の分離・解体から資源確保の観点での分離・解体が動き出してきつつある。これはRtoS (Reserve to Stock) と呼ばれるもので、従来のリサイクルが、解体→選別→再製錬と現在の再製錬システムに合致しない経済効率性の低いものから、解体→分離→濃縮→再製錬と効率的なプロセスに変更するものである。現在、産学連携でのモデルプラントが検討されおり、またこの動きに合わせて、解体、分離、濃縮技術も発展していくと期待される。そして、このようなアプローチがe-waste流出に悩む欧州で取り上げられるとさらに発展するものと思われる。

金属リサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	↗	リサイクル材料設計、固相リサイクル、不純物利用リサイクルなどリサイクルを前提とした材料技術の研究開発を発信し続けている。
	技術開発水準	◎	↗	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、リサイクル法の整備に合わせて多様なスクラップを受け入れる能力も向上している。
	産業技術力	◎	→	コモンメタルに関してはリサイクルが生産システムの中に確実に組み込まれている。
米国	研究水準	×	↘	既存技術の適用可能なものが一部で産業化されている状況に依拠しきっている要素が強い。
	技術開発水準	△	→	鉄スクラップをベースにしたミニミル技術はカスタマイズ化可能な鉄の生産技術として世界的な転換を生み出す可能性がある。
	産業技術力	○	↗	技術的に未熟でもビジネスとして成立するところは進めるというやり方で参加者が増加して言っている。
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んでいるが、ハード的要素研究そのものに特筆すべき成果は見当たらず、廃棄物輸送などの政策面に焦点が行っている。
	技術開発水準	△	→	化学物質リスクの観点が強く、コモンメタルの資源回収の技術開発はあまり関心がはらわれていない。
	産業技術力	○	↗	東欧、南欧などの産業立地とあわせて欧州全体でリサイクル産業技術力開発のベクトルが揃いつつある。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きている。
中国	研究水準	×	→	循環がまだ定着しておらず、研究開発の問題意識になりえていない側面が強い。
	技術開発水準	○	↗	各国の先進例を積極的に取り入れようとしており、そのための政府の支援も大きい。
	産業技術力	△	↗	高い経済成長、旺盛な消費マインドによって、回収できる資源、材料は良く回収されている。結果的にリサイクルは経済原理に則って活発に行われていると言えるが、注目すべき技術は特に見当たらない。
韓国	研究水準	○	→	日本に遜色ない。
	技術開発水準	○	→	日本に遜色ない。
	産業技術力	◎	↗	資源需給や国内外マーケットの状況は日本以上にスクラップに依存しており、世界的な経済クラッシュが今後大きく影響する懸念が大きい。

全体コメント：現在の生産様式では、日本、韓国が遥かに高い水準を保っており、スクラップが生産の必要要素になっている。欧州でも東南欧の動きは類似しているが不純物の増大などの技術開発に対する問題意識はまだ低い。他方でこれからのスクラップ需要の中心となる中国、インドなどに適合した生産・循環方式の検討が必須となっている。米国のミニミルに見られるカスタマイズ化したリーン生産方式などは要注意であるがまだ中国などで普及するには至っていない。

(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]

(6) レアメタル製造技術

レアメタルの製造技術については、基礎研究、技術開発水準、産業技術力の何れをとっても、日本が世界をリードしている。日本は、企業、大学、その他の研究所において、レアメタルの製造技術に関する研究が堅実に行われており、世界的にみても圧倒的な競争力を有する。基礎研究は下火になる傾向があったものの、最近のレアメタルブームや、政府の施策の一貫である「元素戦略」や「希少資源代替技術開発」などのプロジェクトにより、関連分野の研究が活発になりつつある。既に半世紀以上続いている傾向であるが、日本の非鉄金属関連企業の技術開発水準は他国と比べて圧倒的な高い水準にある。日本にはレアメタルを多量に必要とするハイテク産業が多数存在するため、レアメタルの産業技術力は高い。特に、チタン、インジウム、タンタル、レアアースなど、製造に高い技術力を要し、高い付加価値のレアメタルの製造技術は優れている。

欧米諸国は、本分野に関与する技術者・研究者の数が減少しているため、長期的な成長が望めない。米国は、かつては、多くのレアメタルを製造し、研究も活発であったが、レアメタルの研究や技術開発に取り組む研究者・技術者の数が大幅に減少している。しかし、レアメタル多量に必要とするハイテク産業を擁しているため、産業技術力は依然、高い水準にある。欧州の先進国も米国と同様の傾向があり、最近では、レアメタルの技術開発に取り組む技術者・研究者の数が減少している。欧州には、銅や鉛製錬などを中核とする高い技術力を有する非鉄金属関連企業が存在し、この産業に関連するレアメタルの製造技術は高い水準にある。

中国では、経済成長および国家的な政策に後押しされて、レアメタルの製造技術の水準が、近年、急速に上昇している。しかし、現時点では、レアメタルの製造技術に関する研究および技術開発の水準は低い。レアメタル関連の分野に取り組む技術者・研究者の数も多く、基礎・応用ともに研究の水準も上昇している。レアアースやタンタル、タングステンなどの中国内に資源があるレアメタルの技術開発レベルの向上は特に著しい。チタンやインジウムなどの高付加価値のレアメタルの製造技術の開発に対しても関心は高いようであるが、現時点では技術水準は高くない。

韓国は、鉄鋼などのベースメタルの技術開発水準は高いが、レアメタルの技術開発に取り組む技術者・研究者は少ない。また、日本と中国というレアメタルの技術大国に挟まれているためか、レアメタル関連の産業は活発ではない。

レアメタル製造技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	企業、大学、そのた研究所において、レアメタルの製造技術の研究は行われており、世界的にみても圧倒的な競争力を有する。最近のレアメタルブームや、政府の施策の一貫である「元素戦略」や「希少資源代替技術開発」などのプロジェクトにより、関連分野の研究が活発になりつつある。
	技術開発水準	◎	→	非鉄金属関連企業の技術開発水準は他国と比べて圧倒的な高い水準にある。
	産業技術力	◎	→	レアメタル多量に必要とするハイテク産業を擁しているため、産業技術力は高い。特に、チタン、インジウム、タンタル、レアアースなどの製造に高い技術力を要し、高付加価値なレアメタルの製造技術が優れている。最近、ジスプロシウムやテルビウムなど、将来、需給バランスが大きく崩れる可能性があるレアメタルの製造やリサイクル技術の開発が盛んである。
米国	研究水準	△	↘	かつては、多くのレアメタルを製造していたが、レアメタルの研究に取り組む研究者の数が大幅に減少している。
	技術開発水準	○	↘	かつては、多くのレアメタルを製造していたが、最近、レアメタルの技術開発に取り組む技術者・研究者の数が大幅に減少している。
	産業技術力	○	→	レアメタル多量に必要とするハイテク産業を擁しているため、産業技術力は高い。
欧州	研究水準	○	↘	かつては多くのレアメタルを製造していたが、レアメタルの研究に取り組む研究者の数が減少している。
	技術開発水準	○	↘	かつてはレアメタルを製造していたが、最近、レアメタルの技術開発に取り組む技術者・研究者の数が減少している。
	産業技術力	○	→	非鉄金属関連企業に関連するレアメタルの製造技術は高い水準にある。
中国	研究水準	×	↗	現時点では、レアメタルの製造技術に関する研究水準は低いが、関連分野に取り組む技術者・研究者の数も多く、急速に研究水準も高まっている。
	技術開発水準	△	↗	現時点では、レアメタルの技術開発水準は低いが、国家的な政策にも後押しされて、急速に成長している。得に、レアアースやタンタル、タングステンなどの中国内に資源があるレアメタルの技術開発水準の向上は著しい。
	産業技術力	△	↗	国家的な政策や経済成長に後押しされて、急速に成長している。得に、レアアースなどの国内に資源を有するレアメタルの産業技術力の向上は著しい。
韓国	研究水準	×	→	チタンやインジウムなどの高付加価値のレアメタルの製造技術の開発に対して関心は高いようであるが、現時点では研究水準は低い。
	技術開発水準	×	→	鉄鋼などのベースメタルの技術開発水準は高いが、レアメタルの技術開発に取り組む技術者・研究者は少ない。
	産業技術力	×	→	日本と中国に挟まれており、レアメタルの調達が可能なためか、レアメタル関連の産業は活発ではない。
<p>全体コメント：レアメタルの製造技術については、基礎研究、技術開発水準、産業技術力のいずれをとっても、世界的にみても日本が圧倒的にリードしている。欧米諸国は、本分野に関与する技術者・研究者の数が減少しているため、長期的な成長が望めない。一方、中国は、経済成長および国家的な政策に後押しされて、レアメタルの製造技術の水準は近年、急速に上昇している。</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]

(7) レアメタルリサイクル技術

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、今も日本は世界に冠たるレアメタルの生産大国であり、国際技術力の比較表に示すように、製造技術およびリサイクル技術では、基礎研究、技術開発水準、産業技術力の何れをとっても、世界的にみて日本が圧倒的にリードしている。

最近、日本では、レアメタルの高騰や供給障害の不安から、レアメタルのリサイクルに関する研究が盛んに行われている。また、政府の施策の一貫である「元素戦略」や「希少資源代替技術開発」などのプロジェクトにより、関連分野の研究が活発になりつつある。非鉄金属関連企業の技術開発水準は、他国と比べても圧倒的に高い水準にある。レアメタル多量に必要とするハイテク産業を擁しているため、リサイクルに関する産業技術力も高い。特に、貴金属や素材の単価が高いレアメタルのリサイクル技術については、極めて高い技術力を要し、工業的にも盛んにリサイクルが行われている。

欧米諸国では、一部の非鉄製造業がリサイクルに力を入れているため、高い技術力を維持している。しかし、本分野に関与する技術者・研究者の不足しているため、長期的な発展は障害が多い。

中国は、現時点では、レアメタルのリサイクル技術に関する研究水準は低いが、関連分野に取り組む技術者・研究者の数も多く、急速に研究水準も高まっている。経済成長に伴いレアメタルの製造量および消費量が増大したため、リサイクル技術についても、国家的な政策にも後押しされて、熱心に研究が行われている。特に、貴金属やレアアースなどのレアメタル技術の開発に力を入れている。しかし現状では、中国におけるレアメタルの製造やリサイクルに伴う環境対策が大幅に遅れているため、環境破壊や健康障害が深刻な問題となる可能性がある。

韓国では、インジウムなどのハイテク産業用のレアメタルのリサイクル技術の開発を行っているが、現時点では日本や欧米諸国と比べレアメタルの研究水準は低い。国内にハイテク産業を擁し、今後も発展が期待されるため、レアメタルのリサイクル技術の開発に対する関心は高いようであるが、技術開発に取り組む技術者・研究者は少ない。一部の非鉄金属の関連企業が、非鉄金属製錬プロセスや関連技術を利用してレアメタルのリサイクルを行っている。

最後に、レアメタルのリサイクル技術に関する今後の課題と展望を述べる。

日本はこれまで、高品質のレアメタルを、より低いコストで製造する技術開発力で、世界をリードしてきた。今後はこれらの先端技術に加え、採掘や製錬による地球の環境負荷をより低減させる環境技術、使用量の低減や代替材料の開発、さらにはリサイクル技術開発などが必要である。スクラップから有価なレアメタルを効率良く回収する技術の開発は特に重要である。これらは環境保全のみならず、資源セキュリティからも重要な技術となる。

日本はレアメタルの大量消費国であるため、国内には製品やスクラップという形で、膨大な量のレアメタルが蓄積されている。レアメタルを含む廃棄物は、見方を変えると貴重な資源である。ハイテク機器が開発されるたびに、レアメタル素材の新規用途が生まれ、同時に、新たなリサイクル技術の開発が必要となる。廃棄物に含まれるレアメタルを効率良く回収する技術は、“現代の錬金術”

ともいわれ、レアメタル資源を全量輸入している日本にとっては、特に重要な技術の一つである。また資源を持たない日本だけに、質の高い“人的資源”の育成は重要な課題である。産業界、行政、大学などが連携して優秀な人材の育成を行い、レアメタルに関する高度な技術開発を続ける必要がある。今後もしばらくは、日本は世界に冠たるレアメタルの生産大国・技術“超”大国として世界をリードし続けるであろうが、関連分野の研究に対する継続的な投資の重要性は議論の余地はない。

レアメタルリサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	世界的にみても圧倒的な競争力を有する。レアメタルの高騰や供給障害の不安から、レアメタルのリサイクルに関する研究は盛んに行われている。また、政府の施策の一貫である「元素戦略」や「希少資源代替技術開発」などのプロジェクトにより、関連分野の研究が活発になりつつある。
	技術開発水準	◎	→	非鉄金属関連企業の技術開発水準は他国と比べて圧倒的な高い水準にある。
	産業技術力	◎	↗	レアメタル多量に必要とするハイテク産業を擁しているため、産業技術力は高い。特に、貴金属や素材の単価が高いレアメタルのリサイクル技術については、極めて高い技術力を要し、工業的にもリサイクルが盛んに行われている。
米国	研究水準	○	↘	かつては、多くのレアメタルを製造していたが、レアメタルの研究に取り組む研究者の数が減少している。
	技術開発水準	○	→	非鉄金属関連企業の技術開発水準は比較的高い水準にある。
	産業技術力	○	→	非鉄金属の関連企業が、非鉄金属製錬プロセスや関連技術を利用してレアメタルのリサイクルを行っている。
欧州	研究水準	○	↘	かつては、多くのレアメタルを製造していたが、レアメタルの研究に取り組む研究者の数が減少している。
	技術開発水準	○	→	非鉄金属関連企業の技術開発水準は比較的高い水準にある。
	産業技術力	◎	→	非鉄金属関連企業のリサイクル技術は高い水準にある。
中国	研究水準	○	↗	現時点では、レアメタルのリサイクル技術に関する研究水準は低いが、関連分野に取り組む技術者・研究者の数も多く、急速に研究水準も高まっている。
	技術開発水準	○	→	現時点では、レアメタルのリサイクル技術の水準は低いが、国家的な政策にも後押しされて、急速に成長してきた。特に、貴金属やレアアースなどのレアメタル技術の開発に力を入れている。最近では、中国の経済状況の変化により、技術開発のトレンドが変化しつつある。
	産業技術力	△	↗	経済成長に伴い、レアメタルの製造量および消費量が増大したため、リサイクル技術についても、最近では熱心に技術開発を行っているが、現時点ではその水準は低い。レアメタルの製造やリサイクルに関する環境対策は、大幅に遅れているため、環境破壊や健康障害が深刻な問題となる可能性がある。
韓国	研究水準	×	→	インジウムのリサイクル技術の開発に対して関心は高いようであるが、現時点では研究水準は低い。
	技術開発水準	×	→	国内にハイテク産業を擁するため、レアメタルのリサイクル技術の開発に対して関心は高いようであるが、現時点では技術開発に取り組む技術者・研究者は少ない。
	産業技術力	○	→	非鉄金属の関連企業が、非鉄金属製錬プロセスや関連技術を利用してレアメタルのリサイクルを行っている。

全体コメント：レアメタルのリサイクル技術についても、基礎研究、技術開発水準、産業技術力の何れをとっても、世界的にみても日本が圧倒的にリードしている。欧米諸国は、一部の非鉄製造業がリサイクルに力を入れているため、高い技術力を維持しているが、本分野に関与する技術者・研究者の不足しているため、長期的な発展は困難かもしれない。一方、中国は、レアメタルのリサイクル技術についても熱心に研究を行っているが、現時点ではその技術水準は低い。中国では、レアメタルの製造やリサイクルに関する環境対策が遅れているため、環境破壊や健康障害が深刻な問題となる可能性がある。

(注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。

(注2) 近年のトレンド 【↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向】

(8) 分離・選別リサイクル技術

分離・選別リサイクル技術は、基本的な要素技術は主として化学工学的な単位操作をもとにした技術であり、それをいかにリサイクルの分離・選別技術として応用できるプロセス・システムにするかが当該分野の技術開発の内容となる。従って、リサイクルを行い、どのようなものを再生するかによって、必要な技術、すなわち、開発すべき技術の深度も違ってくる。

固固分離・選別については、機械力（破碎・粉砕）、大きさ（篩い分け）、重力（比重選別）、磁力（磁力選別）、電磁気力（静電選別、渦電流選別）など、古典的力の差異を利用する技術が基本で、基本的原理・技術は、化学工学的単位操作といわれるものが多く、装置そのものという点では、鉱業その他の製造業で開発・発展された技術の応用という面が強い。従って、歴史的な発展の過程を反映し、基本的なところは欧州および米国が進んでいる。その結果として、リサイクルの分野で利用されている基本的な装置類は、ほとんどが欧米発である。この傾向は、同様に化学工学的単位操作である浸出、溶媒抽出、析出などを利用する液中での分離・精製技術でもいえる。ただ、比重分離装置の一つであるジグ、溶媒抽出法で利用する溶媒抽出剤などには、日本オリジナルなものがあり、これらは海外でも利用されている。

ただ、リサイクル対象物は極めて多様であり、上記の基本的技術をリサイクル分野にどのように利用し、プロセス・システム化するかというインターフェース的な改良・応用技術開発が現在キーポイントであり、その点では、リサイクルに極めて熱心な日本が欧米より優れているといえる。原理はもともと輸入したものであるが、それを対象製品のリサイクルに適するように改良、応用しプロセス・システム化するという点での日本の技術開発は世界的に見てもトップクラスであり、特許も多く取得されている。その点、欧州は、RoHS (Restriction of Hazardous Substances：電子・電気機器における特定有害物質の使用制限に関する指令)、REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals：化学物質の総合的な登録・評価・認可・制限の制度) など、有害物質対策としての取り組みは盛んであるものの、埋め立て処理が多いことなどから、分離・選別し、再生利用するという視点は実際強くない。また、リサイクルへの期待度は、天然資源の非保有性とも関連しており、天然資源の豊富な米国のモチベーションは日本に比べ低い。韓国のリサイクルの取り組みはかなり進みつつあるが、独自技術の開発という点では弱く、また、中国においては地域的な差はあるものの、全体的にみれば、リサイクルの取り組みは遅れており、人材が豊富であることから、技術開発のドライビングフォースに欠けている。

しかしながら、技術の精度・深度はどの程度のリサイクルをするかによって異なり、必要とされるスペックを満足する安価な分離・選別装置・プロセスで十分な場合もあり、そのような点からは、東南アジア市場では、欧米の装置、さらには、韓国、中国の安価な装置が日本の強力な競争相手となりつつある。ただ、東南アジアにおいても、今後さらに産業が発展するにつれ、よりきめ細かな視点からのリサイクルが必要となる。その点、日本は、これまでの産業展開の経験を踏まえた環境配慮型、省エネルギー型、低ランニングコスト、安全な分離・精製装置開発を行っており、その導入は、東南アジア域の中長期的な

視点から見て環境制約・資源制約に極めて有効であると思われる。経済のグローバル化により、東南アジア域においても早晩、大量のかつ最新の複雑な使用済み製品が使用・排出されることは容易に予測でき、日本は中長期的な視点に立つて、日本の装置の質的な優位性を強調し、リーダーシップをとって、市場を広げていくことが重要である。そのためには、有価物の回収、有害物の除去にとって必要な分離・選別性などについて、装置・機能スペックの国際標準化を提案することも重要であると考えられる。

分離・選別リサイクル技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	↗	大学・公的研究機関とともに原理的基礎的研究を活発に進めている。レアメタル等希少金属リサイクルに焦点を当てた研究が促進されつつある。
	技術開発水準	◎	↗	リサイクルの場合、基礎的分離・選別機構をいかに応用するかというインターフェース的な視点での研究が重要であり、その点で、日本は技術開発に積極的であり、優れている。アプリケーションの分野では世界的にも高水準である。レアメタル等希少金属を含む先端的材料・製品からこれら有価物を効率よく回収するための技術開発に力が注がれるようになっている。
	産業技術力	◎	↗	民間における開発・装置化・システム化は非常に活発に行われている。世界的に見ても高水準である。レアメタル等希少金属に係わる資源制約を意識した取り組みが強まり、技術力アップのドライビングフォースとなっている。
米国	研究水準	○	→	基本的に研究水準の蓄積はあるが、リサイクルについての分離・選別技術に特化した研究は少ない。日本や欧州の方が優れていると思われる。
	技術開発水準	○	→	鉱業が盛んであり、同種の技術である分離・選別技術には従来高いポテンシャルを有してはいる。技術開発水準は、日本、欧州と同レベルと考えられる。しかし、リサイクル技術開発という視点は高くない。
	産業技術力	○	→	技術的ポテンシャルは有しつつも、リサイクルに特化した産業には積極的でない。
欧州	研究水準	◎	→	原理的基礎的研究は歴史的伝統を踏まえ、ドイツ・英国等が優れており、多くのオリジナルなアイデアが出されている。この分野では、若干日本より優れていると考えられる。
	技術開発水準	◎	→	リサイクルの分野でどのように応用するかという観点での技術開発レベルは日本と同程度と考えられる。
	産業技術力	◎	→	欧州の中でも、国によって状況はかなり違うが、ドイツなどリサイクル産業の進んだところでは、アジア市場への進出は盛んであり、日本のライバル的存在である。
中国	研究水準	△	↗	同国内でも、先進地域とそうでないところの差は大きいように思われる。現時点での全体としての研究水準は高くないと判断するが、今後、活発になる機運は認められる。
	技術開発水準	△	→	人力作業に頼れる部分が大きくあり、技術開発のためのモチベーションが低いこともあり、現時点ではあまり高くない。しかし近い将来、東南アジア進出に向け技術開発は活発化すると考えられる。
	産業技術力	△	→	大きな利潤が追求できる分野優先という感が強く、現時点では、リサイクル産業に注がれる力は相対的に大きくないと考えられる。しかしながら、東南アジアへの装置の輸出等の萌芽はみられ、今後活発になってくると考えられる。
韓国	研究水準	○	↗	オリジナルな研究は決して多くないが、他国の先進的な研究の導入には極めてどん欲であり、それらを応用化するための研究水準は十分備えている。リサイクル研究は熱心である。
	技術開発水準	○	↗	先進的な技術を導入し、それを自国に適応すべく技術開発が行われている。それらをもとに、自国の分離・選別技術を開発しようとする意識は高く、東南アジアへの進出も進めつつある。
	産業技術力	○	↗	リサイクルを産業化する意識は高く、国家的プロジェクトを有し、また、アジア域への進出にも積極的である。電子産業等の製造業優先の姿勢は否めず、リサイクル産業はまだ後追的な感が強いが、ポテンシャルは有している。東南アジア市場における、日本の強力な競争相手となると考えられる。

(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]

(9) 廃棄物中間処理技術

日本では衛生的理由によって、廃棄物中間処理は19世紀初めから焼却処理を中心とし、現在は一般廃棄物の約80%を焼却し、国庫補助金交付によって国内いたるところに焼却施設が建設されている。近代的な焼却施設の開発は約50年前から始まり、その後環境保全対策が充実し、安全安心な処理として定着している。しかし1990年代後半のダイオキシン問題によって、灰溶融、ガス化溶融など、より高度な技術開発が進められた。この10年間は、まさにダイオキシン対策を中心とした技術開発が進められてきた時代といえる。結果として、次世代型焼却、高効率発電、灰溶融、ガス化溶融、炭化など、技術開発の範囲は広く、世界をリードしている。しかし、欧州がエネルギーとして廃棄物をとらえているのと比べ、「処理」の範囲を抜け出していない。ガス化溶融のように、高度処理を行うことによって発生する問題を解決するのにも、努力が払われている。エネルギー回収率は、利用先確保の難しさ、経済的メリットの低さのために依然として低い。有機性廃棄物のバイオガス化が始められているが、テスト段階にとどまっている。産業技術力の点から見ると、日本のごみ焼却は長い歴史にもとづく優れた技術をもつが、施設が高度でコスト高との問題がある。ガス化溶融は、さらに高価で競争力が低い。炭化、バイオガス化など、その他の技術は、日本独自の技術ではなく、他国との競争力に優位さは見られない。研究面では、学術的研究よりも技術開発研究が多かったが、ガス化溶融の開発も実用化に入り、ダイオキシン問題が一段落して焼却関係の研究数は著しく減少した。

主に欧州で焼却技術が開発された歴史があり、現在も廃棄物の焼却以外に、バイオマスのガス化、発電など、広い範囲で研究が行われている。また、欧州ではごみ焼却はエネルギー源のひとつと考えられてきた。焼却熱の地域暖房利用、より効率的なエネルギー回収方法としての熱分解、ガス化の技術開発が進められ、さまざまな廃棄物に対する柔軟な技術選択が可能となっている。従って、技術の国際的競争力は高いと思われる。

米国は、分別されていない混合ごみのマスバーン（大量焼却）、あるいはボイラ付の焼却が行われてきた。しかし、広いスペースを有するために一部の地域に限られ、米国独自の焼却技術育成は遅れている。焼却などの中間処理に関する研究は少ない。

韓国は埋め立てをごみ処理の中心としてきたため、熱処理に関する技術開発は遅れている。海外からの技術移転が多く、韓国独自の産業技術としてはまだ進んでいない。熱分解など、エネルギー技術としての研究は行われているが、ラボ、ベンチスケールでの研究にとどまっており、廃棄物処理としての実証的研究は少ない。

中国にとって焼却は高コスト技術であり、大都市での利用に限られている。多くの地域に普及することは、当面不可能である。国産技術の開発はまだ行われておらず、産業としての中間処理は未整備である。研究面でも、実験設備が高コストのため、実験的研究は限られている。炭化、ガス化などの研究が、理論ベースで行われているにすぎない。

廃棄物中間処理技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	ダイオキシン問題が一段落し、ガス化溶融の開発も実用化に入り、焼却関係の研究数は著しく減少した。代わって、原理としては古くからあるものの広範囲な廃棄物に対する技術としてバイオガス化、炭化などに関する研究に進展が見られる。
	技術開発水準	○	→	次世代型焼却、高効率発電、灰溶融、ガス化溶融、炭化など、技術開発の範囲は広く、世界をリードしている。ただし、欧州がエネルギーとして廃棄物をとらえているのと較べ、「処理」の範囲を抜け出していない。有機性廃棄物のバイオガス化が始められているが、テスト段階にとどまっている。
	産業技術力	○	→	ごみの焼却という点では長い歴史にもとづく優れた技術をもつが、施設が高度でコスト高との問題がある。ガス化溶融は、さらに高価で競争力が低い。炭化、バイオガス化など、その他の技術は、日本独自の技術ではなく、他国との競争力に欠ける。
米国	研究水準	△	→	依然として埋立を中心としているため、焼却などの中間処理に関する研究は少ない。
	技術開発水準	△	→	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。
	産業技術力	△	→	埋立を中心としているため、米国独自の焼却技術育成は遅れている。
欧州	研究水準	◎	↗	廃棄物の焼却以外に、バイオマスのガス化、発電など、研究対象が広範囲である。日本の対象が、一部の技術、廃棄物に集中しているのと較べて、総合的に進んでいる。
	技術開発水準	◎	→	焼却エネルギー源としてとらえ、焼却熱の地域暖房利用、より効率的なエネルギー回収方法としての熱分解、ガス化の技術は進んでいる。
	産業技術力	◎	↗	廃棄物の処理と同時に、エネルギー回収を目的としているため、またさまざまな廃棄物に対する柔軟な技術選択が可能で、競争力は高い。
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。炭化、ガス化などの研究が、理論ベースで行われている。
	技術開発水準	×	→	国産技術開発は、まだ行われていない。
	産業技術力	×	→	産業としての中間処理は、未整備である。
韓国	研究水準	△	→	熱分解など、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。しかし、廃棄物処理としての実証的研究は少ない。
	技術開発水準	△	→	埋立を中心としてきたため、熱処理に関する技術開発は遅れている。
	産業技術力	△	→	海外からの技術移転が多く、韓国独自の産業技術としてはまだ進んでいない。
<p>全体コメント：日本は、次世代型焼却、ガス化溶融など、新しい技術開発を進めている。しかし100近く建設されたガス化溶融は、コスト高、運転トラブル、スラグ利用先確保の困難さなど、多くの問題を抱えており、従来の焼却に回帰する傾向にある。新技術開発を急ぎすぎたこととの反省が必要と思われる。また、欧州ではバイオマスエネルギーのひとつとして廃棄物をとらえており、広範囲なバイオマスを対象として研究、技術開発が行われているという点で、日本より総合的に進んでいる。米国、韓国は、独自の技術開発は劣る。</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]

(10) 廃棄物最終処理技術

廃棄物の最終処理となる埋立地は、埋立物に有機物を含むと内部が嫌氣的になる。そのため欧米では最大の環境影響となりうる浸出水発生を防ぐために底部しゃ水と同等の性能をもつトップカバーで覆う密閉型の嫌気性埋立構造を標準とし、大規模埋立地ではメタンガス回収も行われてきた。これに対し、日本は集配水管とガス抜き間を接続して端部を開放し、内部発熱から生じる浮力を利用して空気を装入する準好気性埋立を採用した。さらに降雨浸入による洗い出を許し、高い焼却率のために焼却残渣と不燃物を中心に埋め立てていた。このように、日本と欧米は対象的な最終処分方法であったが、埋め立て地内の有機物の存在が浸出水、ガスの発生を長期化させることが明らかとなり、この10数年、欧米では安定化促進のための戦略がとられるようになり、空気、水分を供給し、あるいは有機物量を減らす、日本型の埋め立てに近づいている。

こうした状況の中で、米国と欧州は対照的な戦略をとっている。米国は生ごみを含めたごみを埋め立て、埋め立て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」が研究開発の中心となっている。これは、空気、水分の供給量をコントロールするもので、大規模な埋め立て地において実証的研究が進められ、データが取得されている。しかしシステムとして高度であり、後述のように有機物削減が先進国の流れであるため、他国で利用される可能性は低い。技術開発の点から見ると、バイオリクターそのものは従来技術の大規模化であり、それ以外の技術については大きな進展は見られない。欧州は、有機物の埋め立て量を制限するとの埋立指令によって、機械的、生物的、熱的な前処理技術を取り入れている。個々の技術に新しさはないものの、埋め立て地安定化に向けた対応が廃棄物の管理を含めて総合的に進められている。埋め立て地自体も、好気化、水分供給など日本独自の技術も取り入れ、総合的な対応が可能となっている。欧州、米国ともに、埋め立て地に関する研究者の数はきわめて多く、埋め立て地内の現象などの基礎的対象、水処理、古い埋め立て地の安定化など、範囲は広い。これは、メーカー、自治体中心でごみ処理を進めてきた日本との大きな違いである。また廃棄物処理の中で埋め立て地を中心と位置づけてきたため、前処理、上流側対策に対する理解も進んでいる。

一方、日本では屋根付処分場、漏水検知システム、高度しゃ水、高度水処理など、個々の技術は進んでいる。しかし、埋め立て地を総合的に管理するとの視点が希薄であり、目的が不明確な、過剰な技術開発になっている。これはメーカー、企業の事業開拓として構造物、設備開発が行われてきたため、欧米レベルの研究者層はきわめて少数である。ただし、わが国独自の準好気性埋立構造はアジア諸国で利用され始めており、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が期待できる。

韓国は、長く生ごみの埋め立てを続けてきた。2005年に有機物削減の方向性が出され、日本型に近づこうとしている。研究レベル、技術開発レベルともに、日本と大きく変わることはない。中国は数多くの環境問題を抱えており、廃棄物はその一つに過ぎない。廃棄物処理に関する教育、人材育成は遅れている。海外からの技術移転段階であり、国内での技術開発は進んでおらず、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。

廃棄物最終処分技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↗	埋立に関する研究者の層は、薄い。企業の技術開発に較べてると研究は進んでいるとはいえないが、埋立地内の安定化、搬入物管理を含めた総合的対策に進展が見られる。
	技術開発水準	△	→	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、個々の技術は進んでいる。しかし、埋立地を総合的に管理するとの視点が希薄であり、目的が不明確な、過剰な技術開発になっている。
	産業技術力	○	↗	わが国独自の準好気性埋立構造は、アジア諸国で利用され始めている。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が期待できる。
米国	研究水準	○	→	焼却よりも埋立を中心的な処理としてきたため、研究者数は多い。埋立地内の挙動に関する研究も多く進められている。
	技術開発水準	○	↗	バイオリアクター以外の技術については、大きな進展はない。バイオリアクターそのものは、新しい技術とはいえない。前処理を行わないという点では、進歩がない。
	産業技術力	○	→	米国は、生ごみを含めた混合ごみを埋め立て、埋立地全体を巨大な装置として安定化を促進する「バイオリアクター」が行われている。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。
欧州	研究水準	◎	→	研究者の数は、きわめて多い。埋立地内の現象などの基礎的対象、水処理、古い埋立地の安定化など、範囲は広い。従来の密閉型の嫌気性埋立から、水分コントロール、内部の好気化も取り入れ、総合的な埋立概念の下で研究範囲が広がっている。
	技術開発水準	◎	↗	有機物の埋立量を制限する埋立指令によって、埋立の前処理が進んでいる。日本は可燃分、不燃分などの分別が進んでいるが、埋立地の安定化促進のために積極的に前処理を行うとの考え方のもとに、統一的な対応が進められている。
	産業技術力	○	↗	廃棄物の前処理、埋立地の好気化など、日本独自の技術を取り入れ、総合的な対応が可能となっている。
中国	研究水準	×	→	数多くの環境問題を抱えており、廃棄物はその一つに過ぎない。廃棄物処理に関する教育、人材育成は遅れている。
	技術開発水準	×	→	海外からの技術移転段階であり、国内での技術開発は進んでいない。
	産業技術力	×	→	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。
韓国	研究水準	△	→	埋立に関する研究者層は、日本と同様に薄い。
	技術開発水準	△	→	埋立技術としては、日本と大きく変わるところはない。しかし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、日本より勝っているところがある。
	産業技術力	△	→	焼却は最近始まったばかりであり、長く生ごみ埋め立てを行ってきた。
全体コメント：日本は、水処理、埋立法など、個別技術については進んでいる。しかし、埋立地というシステムをいかに管理し、環境に影響のないように安定化を進めるかという視点に欠ける。そのため、社会システム、前処理技術を含めた総合的な技術としては、欧米、特に欧州に後れを取っている。欧州は、乾燥型嫌気性埋立を行ってきたが、安定化までの時間がかかることから前処理による有機物の排除を進めている。また好気性埋立技術を取り入れ始め、総合的戦略を進めている。				

(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]

(11) 環境配慮・省資源型生産技術ーゼロエミッション技術ー

ここでのゼロエミッションは、主に OA 機器に関する、企業の生産事業所、使用済み製品の回収後の処理および自治体における廃棄物（有価・無価を問わない）の最小化に対して記載する。

国内では生産事業所や自治体での廃棄物に関しては、汚染や不法投棄を起こさない処理・処分に対しての規制が進められてきた。近年、埋め立て処分場および焼却施設の新設が難しくなってきたこと、資源の有効利用の必要性から、生産企業や自治体は自主的かつ積極的に再資源化への取り組みを活発化させている。また、消費者から発生する廃棄物を対象とした資源有効利用促進法などにより、使用済みの自動車や電気電子製品の回収・再資源化が始まった。米欧韓においても、生産事業所の廃棄物に関しては、汚染予防の観点から規制が行われてきた。そして近年は、欧中韓においても製品の回収・再資源化に関する規制が強化されている。

ゼロエミッションに関しては、本調査の資源循環分野の各項目で取り上げられている技術を如何に組み合わせ活用していくかがキーである。これら技術を如何に適正に活用していくかの観点では、むしろ資源フローに視点をおいた LCA（ライフサイクルアセスメント）やコスト視点での MFCA（マテリアルフローコスト会計）などの評価技術が必要である。さらには、使用済み製品の回収管理、廃棄物処理管理および情報開示のための情報システム技術も必要である。

国際比較においては、前述の資源循環技術、評価技術、情報システムのいずれにおいても日本が最も進んでいると思われる。生産事業所では資源循環技術の活用により高い資源循環率をあげている企業も多くなっており、自治体においても PET ボトルに代表されるように 100%に近い再資源化が実現されている。使用済み製品についても、個々の企業でリユースが進められ、資源有効利用促進法で規制される品目においては、WEEE 指令（Waste Electrical and Electronic Equipment（電気電子機器廃棄物）指令：電気・電子機器や家電製品の廃棄物の分別収集・再利用に関する EU 指令）に基づいて進められている欧州よりも高い実績をあげている。また近年では、電子マネーととの活用による廃棄物管理が進められており、さらにはマテリアルフローコスト会計の活用、サプライチェーンの協力によるクローズドのマテリアルリサイクルなどによる投入資源の削減や、上流の不要な副産物の低減なども進められるようになってきている。

これらは高い技術力を最適に選択・組み合わせ活用できている結果であり、米欧中韓よりも高いレベルで実現している。

しかしながら、これらの技術を有機的に結びつけて活用されているかという点では課題が残されている。それは技術的に進んでいるにもかかわらず、実際に産業競争力につなげる点では、人件費に代表されるコスト面において中国への資源流出が起きていることなどである。また生産事業所や使用済み製品の再資源化率は大きく向上しているが、国としてのゼロエミッションの視点で競争力が発揮できていない部分もある。

環境配慮・省資源型生産技術—ゼロエミッション技術—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	↗	高度なマテリアルリサイクルの研究が進められている。
	技術開発水準	◎	↗	非鉄金属、セメント、鉄鋼などの素材産業が廃棄物の再資源化を進め、電気電子や自動車産業がそれを活用できる分別・破碎・素材分析の研究が進んでいる。プラスチックについても素材産業での取り組みが進んでいる。投入資源の最小化を目指すためのマテリアルフローに着目した開発へと展開している。超臨界流体による洗浄で日本企業からの特許が多く出ており、洗浄廃水の削減が期待できる。
	産業技術力	◎	↗	非鉄金属、セメント、鉄鋼の各産業の廃棄物、および PET を始めとしたプラスチックの再資源化が進められており、ほとんどの素材の再資源化が可能となっている。廃 PET、廃アルミ、古紙などは再資源化コストで中国が優位であるため、大量に中国へ流出していたが、中国の需要減により、日本での処理量が増えつつあるようである。
米国	研究水準	△	→	埋め立て処分に対する無害化の研究は進められているようだが、他の研究はあまり見られないようである。
	技術開発水準	△	→	研究同様にあまり活発ではないようである。超臨界水による洗浄で特許は出されているが、日本企業に比べれば少ない。
	産業技術力	○	↗	国際的な再資源化業者は中国などでも積極的展開を進めている。ただし、セレン等の化学物質に関しては、再資源化ではなく、埋め立て処分が中心となっている。
欧州	研究水準	△	→	カーボンニュートラルの観点からバイオマスの研究はされているが、省資源・資源循環への取り組みは少ないように思われる。
	技術開発水準	△	→	資源循環の視点よりも化学物質対策や温暖化対策が重視され、省資源・資源循環への取り組みは少ないように思われる。一部地域においては長期使用による省資源への研究が進められている。
	産業技術力	△	↗	欧州内でも国による差は非常に大きい。しかしながら、WEEE などの規制により回収・再資源化は進められ、特定の大手リサイクル業者の取り組みが主体ではあるが、リカバリー率は向上している。規制の強化も検討されている。ただし、メーカーによる取り組みは多くは見られない。依然として、オランダでの焼却や、南欧・東欧での埋め立ての削減のためのゼロエミッションの技術は進んでいないところもある。
中国	研究水準	△	↗	資源確保の必要性から再資源化への取り組みは進められている。
	技術開発水準	○	↗	資源確保の必要性から再資源化への技術開発の取り組みは進められつつある。
	産業技術力	○	↗	手作業による分別がコスト的にも成り立つことから、プラスチックなどのマテリアルリサイクルが積極的に行われているが、最近の資源の需要減と価格低下によりリサイクル量は減少している。一方、水銀などの有害物質は再資源化が困難なため、不適切な処分により環境汚染につながっている例も多々見受けられる。
韓国	研究水準	△	?	
	技術開発水準	○	↗	Samsung、LG 電子、大宇などが環境配慮設計技術の中で省資源・資源循環の技術に取り組んでいる。
	産業技術力	○	↗	電気電子製品および自動車の資源循環の規制強化もあり、中国との連携などにより進められている。資源循環を促進する規制も進められつつある。

全体コメント：素材産業と電気電子や自動車の最終製品産業との協力により、技術的には日本が最も進んでいると思われる。しかしながら中国の安い人件費が、手分別を多く活用した高いレベルの再資源化を可能にし、日本の廃棄物が中国に大量に州出しリサイクルされている。ただし、最近の中国での資源需要の減少から、日本での再資源化が復活しつつある。欧米では化学物質の適正処理の観点が強く、ゼロエミッションに関する取り組みは遅い。日本では排出量の削減から、さらに上流側でのロス資源の投入量の削減へと取り組みが広がりつつある。

(注 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。
 (注 2) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(12) 環境配慮・省資源型生産技術－ DfE (環境配慮設計) －

DfE (環境配慮設計) は、ISO の用語であり JIS では「環境適合設計」と定めているが、最近では「環境配慮設計」などの用語も良く使われる。DfE の範囲は広く、多くの DFX (設計要素) の集積である。DfD (易分解性設計、分離分解性設計) の他に、省エネ設計、化学物質管理、LCA (ライフサイクルアセスメント) の実施、減量化・減容化設計、包装設計なども含まれる。ここでは主に電気電子に係わる DfE 技術について述べる。

DfE が進んでいるのは、資源有効利用促進法 (3R 法) で製品アセスメントが義務付けられている電気電子製品、自動車をはじめとする組立て産業である。

特に電気電子産業で DfE が進んでいる理由は、家電リサイクル法によって、家電製品を生産者の手でリサイクルすることが義務付けられたことが大きな要因である。このような事例は海外では見られない。

米国の DfE は、10 年前に DfD ソフトの開発で先行し現在でも活動しているが、産業界での新しい動きは無い。代替エネルギー開発の分野は急速に進むと思われるが、これが個別の省エネ製品の開発につながるかどうかは不明である。

欧州では、2005 年 8 月から WEEE 指令が施行されたが 2007 年の 8 月に早くも見直しの報告書が出された。当初目指していた DfE の推進は WEEE 指令の枠組みでは成功しなかったと言える。

今後は DfE を EuP 指令 (A framework for Eco-design of Energy Using Products (エネルギー使用製品) 指令：エネルギー使用製品に対するエコデザイン要求事項の設定に関する欧州議会および理事会指令提案) の中で推進しようとしている。EuP 指令で重視されているのがエコロジカルプロフィールであり、これは製品への LCT (ライフサイクル思考) の実施、すなわち事実上の LCA の義務付けである。

省エネ規制強化の動きも注目される。2007 年に EU 委員会から出された実施措置案では、待機時消費電力規制が実施措置施行 1 年後に 1W 以下、3 年後に 0.5W 以下となっている。2050 年に二酸化炭素排出を 50%以下にする政策目標の一環として、2030 年までに電気製品の総消費電力を現状の 50%以下にするという目標は不思議ではない。しかし、省エネ規制を実際に欧州で上市する製品に適用できるのは、日本の省エネトップランナー方式による厳しい競争からだけではないかと思われる。

一方、電気電子製品の分離分解性や、プラスチックの水平型自己循環などへの関心は高いとはいえない。欧州にとって国際商品である自動車に関しては、環境や原価低減を目的とした再生プラスチックの使用意欲は強いが、資源小国の日本が考える DfE の視点とはアプローチが大きく異なる。

韓国は EPR 法 (1993 年施行の資源及び再活用促進に関する法律の改定) によって電気電子製品のリサイクルが開始されているが、実際は生産者に対してリサイクル費用の拠出を義務付けたもので、DfE へのインセンティブは少ない。

中国は公式には中国版 WEEE によるリサイクル法が施行されることになっているが、実際は国内の格差が大きく、DfE の普及と運用は多難であろう。

ただし、両国とも欧州は最も重要な市場であるため、規制対象製品の輸出促進のために、欧州規制を満足させることが国家戦略になっている。欧州での情報収集活動も熱心で、DfE の実施も EuP を強く意識して準備している。

環境配慮・省資源型生産技術—DfE（環境配慮設計）—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	DfE そのものは研究テーマになりにくい、主要大学での教育やプロジェクトの進展は著しい。
	技術開発水準	◎	→	組み立て産業界の重要開発項目になっている。省エネは DfE の分野であるが、事実上別アイテムとして取り組まれている。
	産業技術力	◎	→	製品への適用は進んでいるが、省エネなど一部の項目を除いて市場での評価がされにくい。このままでは本来の DfE が後退する懸念がある。
米国	研究水準	○	→	詳細は不明であるが、分解性評価プログラムなど米国の開発成果も多いが実際は使われていない。
	技術開発水準	○	→	環境を前面に出していないが、底辺の生産技術力は高い水準である。
	産業技術力	○	→	世界的な環境規制に対して、遅れることなく対応している。リビルド製品の途上国への影響は大きい。
欧州	研究水準	◎	↗	DfE に関する学会活動は盛んである。IMS、EIRECA など EU 内協力プロジェクトも継続している。新たに欧州 STEP のプロジェクトも開始した。
	技術開発水準	◎	→	環境規制のロビー活動を通じて DfE 分野での先取り研究が進んでいると思われる。省エネ、化学物質規制に重点が置かれていることに変わりはないが、新たにリユースへの注目度が高まっている。
	産業技術力	◎	↗	特に省エネ分野、LCA（LCT）分野は先進的である。化学物質規制は適用除外も多い
中国	研究水準	△	→	詳細は不明であるが、有名大学では欧州、日本の情報を入手して研究を進めている。
	技術開発水準	△	→	詳細は不明であるが、巨大企業では生産技術向上の一環として進めている。技術導入にも極めて熱心である。
	産業技術力	○	→	製品輸出が最優先であり、欧州向け大企業は規制にすばやく対応している。
韓国	研究水準	△	→	詳細は不明であるが、有名大学では欧州、日本の情報を入手して研究を進めている。
	技術開発水準	○	→	詳細は不明であるが、巨大企業では生産技術向上の一環として進めている。
	産業技術力	○	→	製品輸出が最優先であり、世界的に高いシェアを有する部品・製品が多く、大企業は欧州規制にすばやく対応している。
<p>全体コメント：日本の DfE は早くから製品アセスメントとして実施されている。最近では省エネ分野が特に進んでいる。易分解性（DfD）はリサイクル価格が安くなるとの考えで注目されているが現実的ではない。しかし内容は世界水準である。欧州は DfE も有害物質対策が主眼である。しかし欧州の WEEE 見直しでリユースが取り上げられたこともあり、今後は DfE の中でリユースに関する研究は増加するであろう。米国の DfE は地味ではあるが遅れてはいない。ISO や IEC では DfE の分野でも世界の規格作りをリードしている。中国、韓国は輸出対策として DfE を取り入れている。製品では国策として、欧州規制への対応を進めている。</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]

(13) 環境配慮・省資源型生産技術ーサプライチェーンマネジメント技術ー

SCM（サプライチェーンマネジメント）とは、主に製造業等において、原材料や部品の調達から製造、流通、販売という、生産から最終需要（消費）にいたる商品供給の流れを「供給の鎖」ととらえ、参加する部門・企業の間で情報を相互に共有・管理し、ビジネスプロセスの全体最適を目指す経営手法、およびそのための情報システムをいう。近年においては、国際的な環境規制の高まりから、特に化学物質のリスクに応じた管理や製品に含まれる化学物質の情報の管理や共有が極めて重要である。そこで、多義多様に渡る項目のうち、特に、リスク評価やその手法開発、製品の特徴に応じた管理（用途、使用形態、リサイクル、含有物質等）、IT を活用した効率化（情報共有化）、DfE（環境配慮設計）への反映、グリーン調達・購入といった視点で情勢について概観する。

日本においては、大学レベルでの研究は少ないが、技術開発としてのリスク評価・手法開発や暴露モデル等のツール開発が顕著である。産業界においては、先の欧州指令の RoHS（電気・電子機器への有害物質の使用制限指令）等を境に、業界毎の情報収集の仕組みが乱立している。現在では、これらを克服すべく JAMP（アーティクルマネジメント推進協議会）による業種・業界横断的な製品含有化学物質管理とその情報の円滑な開示・伝達の仕組み作りが BtoB で始まっている。なお、これらの活動には米国企業や韓国企業等も参加しており、グローバル調達における期待は高い。このようにトータルとしてのアクティビティは高い。

米国においては、大学におけるリスク評価に係る研究、SCOR（サプライチェーン協議会作成の標準プロトコル）によるマネジメントの普及その他、EPA（環境保護庁）におけるデモンストレーションプロジェクトが行われている。産業界では、自動車分野での IMDS（国際材料データシステム）、ツールの開発等が行われているが、総じて我が国よりは先進的なものは多くない。ただし、実践的な分野では評価できる。

欧州においては、大学におけるマネジメントの研究、リスク評価に係る国立研究機関における研究のほか、情報収集や伝達のための IMDS、SDS（安全性データシート）の利用が一般的であり、多くの課題への対応については地味ながら着実に進展している。但し、欧州委員会の環境への対応は、IPP（包括的製品政策）やグリーンペーパーを契機に極めて強い動きを打ち出している。

中国においては、大学におけるマネジメントの研究、リスク評価に係る研究が活発であるほか、SEPA（国家環境保護総局）においては新規化学物質の届出等に関する評価、分析等の支援が行われ始めた。産業界においては、自動車分野での IMDS 参加や大手製鉄会社によるマネジメントシステム導入があるが、民間レベルでは始まったばかりである。

韓国においては、大学におけるリスクをベースとした研究や、国家プロジェクトとしての情報システム構築プロジェクト、危害性評価管理等の研究、エコデザインプログラム等が活発に行われている。他方、産業界においてはマネジメントシステムの導入が始まったところであり、国等が相対的に活況なのに対し、産業レベルでの取り組みは相対的に弱い状況にある。

環境配慮・省資源型生産技術—サプライチェーンマネジメント技術—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	サプライチェーンマネジメントの研究（神戸大学、広島大学、明治大学、東京工業大学他）、環境配慮型の製品設計技術の研究（北海道大学他）、化審法改正（経済産業省、環境省、厚生労働省）審議開始。
	技術開発水準	○	↗	LCA 評価を DfE へ拡充（産総研）、サプライチェーンマネジメントの普及・啓蒙（JMAM、JEMAI、SCOR 日本支部、SCC 日本支部他）、化学物質のリスク評価・リスク評価手法に係わる研究開発（NITE、産総研他）。
	産業技術力	◎	↗	JAMP 会員による含有化学物質の管理と情報伝達シート（MSDSplus、AIS）の普及本格化、自動車（IMDS）、電気電子（JIG）、化学（MSDS）、サプライチェーンマネジメントシステムの導入（NEC 他）、SCM システムの開発（ソニーサプライチェーンソリューションズ他）、グリーン購入活動と環境配慮製品やサービスの開発と普及促進（グリーン購入ネットワーク）、REACH 対応グリーン調達ソフトウェアの開発（日本ユニシス・エクセリュションズ、富士電機 IT ソリューションズ他）、サプライチェーンマネジメント関連サービスの提供（アクセンチュア等）、サプライチェーン全体における全製品の環境負荷化学物質情報の把握（パナソニック）JAMP の情報伝達基盤（GP: グローバルポータル）整備と運用予定（JEMAI）。
米国	研究水準	○	→	化学物質のリスク評価に係わる研究（ハーバード大学他）、グリーン購入活動と環境配慮製品やサービスの開発と普及促進（北米グリーン購入イニシアティブ）。
	技術開発水準	◎	↗	サプライチェーンマネジメントの普及・啓蒙（Supply Chain Council 他）、化学物質のリスク評価に係わる研究（EPA 他）、廃電子機器のリサイクル促進のためデモンストレーションプロジェクト（EPA）、EPEAT プログラム（Green Electronics Council、米国環境保護局）、直接最終規則（DFR）による重要新規利用規則（SNUR）の発表（EPA）。
	産業技術力	○	↗	自動車（IMDS）、SCM ツールの開発（米 i2 テクノロジーズ、Manugistics）、リスク評価ツール作成等（電子業界 CSR アライアンス（EICC））、アジア太平洋地域のサプライチェーン・マネジメント・ハブの開設（米アバヤ・インク）。
欧州	研究水準	○	→	サプライチェーンマネジメントの研究（英国・スタンフォード大学）。
	技術開発水準	○	↗	化学物質のリスク評価に係わる研究（ドイツリスク評価研究所）、BOMcheck.net 立ち上げ（欧州放射線医療電子ヘルスケア IT 調整委員会（COCIR））。
	産業技術力	○	→	自動車（IMDS）、化学（SDS）。
中国	研究水準	△	→	サプライチェーンマネジメントの研究（中国清華大学）、化学物質のリスク評価に係わる研究（北京大学他）。
	技術開発水準	○	↗	新規化学物質の届出等の支援センターを設置（RC-SEPA）、中国グリーン調達ネットワーク（CGPN）（国家環境保護総局環境発展センター）。
	産業技術力	△	→	自動車（IMDS）参加見込み、サプライチェーンマネジメントシステムの導入（宝山鋼鉄他）。
韓国	研究水準	△	→	リスクをベースにした化学物質管理の研究（韓国ソウル大学）。
	技術開発水準	○	→	国家化学物質情報システム（NCIS）構築プロジェクト、危害性評価管理・要素技術の研究（韓国環境政策・評価研究院）、エコデザインプログラムの現場適用の為の研究（エコフロンティア）、化学物質のリスク評価に係わる研究（韓国ソウル首都公衆衛生・環境国立研究所）。
	産業技術力	○	→	サプライチェーンマネジメントシステムの導入（ポスコ、サムソン電機他）、グリーン購入活動と環境配慮製品やサービスの開発と普及促進（韓国グリーン購入ネットワーク）。

全体コメント：各国ともリスク評価に係る研究を展開しているが、濃淡のある状況。IGPN（国際グリーン購入ネットワーク）の流れが各国に波及しつつある。法規制を含めた環境配慮製品の普及に向けた技術力、サプライチェーンマネジメントが急務。近年では欧州新化学品規則（REACH）等への対応のため、を主要最終製品メーカーはグループ企業を含め JAMP の仕組みに基づく含有化学物質管理基盤の構築（一部外販も）が顕著、最終製品のサプライチェーンマネジメントでは、わが国が特に積極的である。

（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】

(14) 環境配慮・省資源型生産技術－グリーンケミストリー－

日本においては、副生成物や排出物の低減、環境浄化などに貢献する技術、製品の開発のレベルが高く、近年においても新たなプロセスや製品の实用化が進んでいる。ただし、これらはいわゆる「グリーンケミストリー」の概念が1990年代に米国で初めて提唱され、その後、10年近く前から産学官一体となった「グリーンサステナブルケミストリー」を目指した運動が推進された結果というよりも、欧米でそのような意識が高まる以前の1980年代からの技術開発の到達点といえるものが多い。その意味では日本の化学関連産業の多くが「グリーンケミストリー」の概念を先取りしていたと評価できる。特に日本の化学産業のバルクケミカルの製造技術のグリーン化におけるレベルは非常に高い。大学等の研究機関は企業に比べると、「グリーンケミストリー」をターゲットにおいた研究の開始には後れを取ったが、現在の研究水準は高い。ただし、分野的には有機合成化学・技術への傾斜が見られ、また、実験室レベルから生産現場への展開の方向性が見て取れるケースはそれほど多くはない。

米国においては、バルクケミカルの製造技術の革新においては日本にやや後れを取っているが、医農薬をはじめとする精密化学品の製造技術の開発の成果が目覚ましい。また、原料の脱石油化への取り組みが盛んであり、バイオ原料からの化成品生産技術の開発が進んでいる。VOC（Volatile Organic Compounds：揮発性有機化合物）削減のための製品設計や技術の開発も積極的に行われている。大学での研究は有機成分分野にやや偏りが見られるが、基礎研究をベースにしたベンチャー企業による技術開発と実用化が盛んに行われている傾向もうかがえる。また、「グリーンケミストリー」においては単なる個々の生産技術のグリーン化やそれを目指した研究開発ではなく、化学技術の枠組みの変革と社会からの信頼関係の確立も重要な課題であり、後者を産学官一体で推進する活動が活発に行われている。

欧州においては、米国と同様に、医薬品や化粧品等の精密化学品の製造技術の開発が意欲的に進められている。バルクケミカルの製造技術の革新についても日本に次いでいる。資源・エネルギーの消費低減、特に二酸化炭素排出抑制を前面に打ち出した研究開発を推進する動きは欧州において著しい。研究水準は国によって相当な開きがあり、ドイツ、英国、オランダでは旺盛に行われ、質、量ともに充実している。フランス、イタリアでは一部の研究機関にとどまっているらしいがある。

中国においては、中国科学院や一部の大学で研究が活発に行われ、近年は日欧米への追従からの脱却の兆しが見える。バイオ原料の有効利用の研究開発は盛んである。企業における開発はSINOPECなどでようやく行われ始めたものの、発展途上である。生産現場においては廃棄物の低減に対する問題意識がようやく出てきた段階と見られ、今後、日本等の先進的な技術の移転への環境が整ってくることも予測できる。

韓国においては、国立の韓国化学研究所や一部の大学で研究が活発に行われ始めているが、浸透は中国に比較しても遅れている。企業の技術開発、生産活動においても注目すべき成果はまだ見られない。

環境配慮・省資源型生産技術—グリーンケミストリー—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	高いレベルであるが、有機合成化学・技術への傾斜が見られ、また、実験室レベルの研究を産業化する動きが見られる。
	技術開発水準	◎	→	副生成物や排出物の低減、環境浄化に技術、製品の開発で世界をリードしている。省資源、省エネを目指した新規技術開発も注力され始めた。
	産業技術力	◎	→	バルクケミカルの製造技術のグリーン化で世界をリードしている。
米国	研究水準	◎	→	有機合成分野にやや偏っている傾向が見られるが、基礎研究をベースした技術開発への展開もうかがえる。
	技術開発水準	◎	→	精密化学品のグリーン製造、グリーン製品化、バルクケミカル原料の脱石油化への取り組みで世界をリード。
	産業技術力	◎	→	医農薬をはじめとする精密化学品の製造技術、バイオ原料からの製造技術の開発の成果で先行している。
欧州	研究水準	◎	→	精密化学品のグリーン合成、が中心。国による落差がかなり見られる。
	技術開発水準	◎	→	精密化学品の製造技術の革新を目指した研究は活発、二酸化炭素排出抑制をターゲットとした研究開発も盛ん。
	産業技術力	◎	→	医薬品の製造技術の開発が意欲的に進められている。バルクケミカルの製造技術についても日本に次いでいる。
中国	研究水準	△	↗	CAS や一部の大学で研究が活発に行われ、日欧米への追従からの脱却の実力をつけてきた。
	技術開発水準	△	↗	SINOPEC などの研究は活発で、石油資源、バイオ原料の有効利用の研究開発は盛んである。
	産業技術力	△	↗	省資源や石油代替資源の開発を目指した技術力をつけてきた。廃棄物の低減に対する問題意識は全般にまだ高くはない。
韓国	研究水準	△	→	KRICT や一部の大学で研究が活発に行われ始めているが、浸透は中国に比較してやや遅れている。
	技術開発水準	△	→	企業の技術開発において注目すべき成果はまだ見られない。
	産業技術力	△	↗	技術導入により化学企業の生産活動に省エネルギー、省資源を目指した動きが見られる。
<p>全体コメント：日本はバルクケミカルの製造技術のグリーン化で世界をリードしている。中国で廃棄物の低減がようやく課題とされ、日本等からの先進的技術移転の環境が整いつつある。米国、欧州は精密化学品の製造技術、バイオ原料からの製造技術の開発の成果で先行している。</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]

(15) 環境配慮・省資源型生産技術—事務機器のリユース技術—

最もリユースが進んでいる産業の一つである事務機器、とりわけ複写機産業について記述する。

日本では、部品や消耗品のリユースは産業界に定着し、部品の60～80%を再利用した「再生機」やプラスチック部品のリユース/材料再生に軸足が移ってきている。この間、企業レベルで回収に関する情報システムが構築され、部品の余寿命予測や洗浄技術が開発されてきた。設計段階での研究開発としては、「アップグレード設計」「モジュール設計」が、環境負荷の低減の視点だけでなく、コスト削減や顧客要求との関連において大学を中心に研究されている。ミレニアム・プロジェクトにおいて「電子・電機製品の部品等の再利用技術開発」として形状記憶材料などによる易分解技術、RFID（無線ICタグ）を用いたリユース可否判断技術などが研究されており、これからの実用化が期待される。事務機器のリユースは、日本企業が世界をリードしており、研究フェーズにおいても日本がトップレベルにあると言える。近年、消耗品についてリフィラーによる特許侵害が問題となっている。環境技術立国を掲げる日本の政策として、企業が莫大な投資をして開発した技術へのリフィラーのただ乗りを防ぐ対策が望まれる。

欧州では、WEEE指令の実施により、企業のリサイクルが促進されてきている。しかしリユースは日本のレベルと同程度か多少劣る。特に現地工場を余り持たない企業の活動は限定的にならざるを得ない。事務機器そのものではないが、モジュールの最適化手法やリサイクルシナリオの評価手法など設計段階でのリユース対応の研究は盛んである。回収後では「ユーレカ計画」で、日本と同様プラスチックの再利用を意識した研究が行われている。第5次フレームワーク計画の中で形状記憶材料を応用した分解技術が実施されたが、事務機器の応用例は未だない。リフィラーを想定したと思われるトナーカートリッジの洗浄工程の研究事例がある。

米国では、リユースした製品はその旨を消費者に伝えなければならないため、メーカーにとってリユースは限定される傾向にあるが、複写機において日本と同等のリユースが行われ、プリンタの再生機を販売している企業もある。また分解・再生の自動化やプラスチックの再生において日本よりも進んでいる事例もある。EPA（環境保護庁）がリサイクルを推進しているが、リユース技術に関する国家主導のプロジェクトは特に見られない。企業レベルではマイクロプロセッサを内蔵したインテリジェントファスナーのような斬新な技術開発事例が見られる。

中国のメーカーにはリユースできるインフラが整っていない。また海外からの中古品・再生品の輸入も制限されており、リユースを行える状況にない。しかし、リサイクル法規制が整備され、輸入制限の部分的解除の動きもあり、メーカーによるリユースが開始されるのも時間の問題である。現在の研究開発は、企業による回収後の分解・処理が中心である。

韓国の企業は事務機器の回収を行っているが、未だリユースまでには至っていない。2008年1月からEUと類似のWEEE規制が運用されるので、今後リユースの動きも出てくるものと思われる。

環境配慮・省資源型生産技術—事務機器のリユース技術—

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	→	「アップグレード設計」[モジュール設計]において他国より進んでいる。環境負荷の視点だけでなく、コスト削減や顧客満足との関連も含めた分析に進化している。洗浄技術の研究が行われている。
	技術開発水準	◎	↗	RFIDの実証試験を実施中。リマニュファクチャリングの研究が行われ、また建築分野においてもリユースの研究が行われている。ドライ洗浄などが部品リユースに活用されつつある。
	産業技術力	◎	↗	部品リユースは既に定着。再生機やプラスチックのクローズドリサイクルに関心が移行している。バッテリーリユースや建築廃材も新しい建築物に利用されるなどリユースの視点は高まってきている。水道メーターなどにおいても表面コーティングなどにより、再生が行われつつある。
米国	研究水準	△	↘	リユースに関する国家レベルでの研究開発プログラムがない。国際学会での発表も少ない。
	技術開発水準	○	↘	事務機器メーカーの技術開発の発表事例がない。一方ベンチャー企業がユニークな易分解部品を提唱している事例がある。
	産業技術力	◎	→	プリンタ・複写機の再生機を市場投入している企業がある。消耗品の部品リユースが行われている。また分解・再生の自動化、プラスチックの再利用について進んだ技術を導入している事例がある。
欧州	研究水準	◎	↗	設計段階でのリユース対応の研究が盛んである。欧州全体での研究開発計画「フレームワーク計画」「ユーレカ計画」にリサイクルが含まれているが、リユースに関する成果は見られない。
	技術開発水準	○	→	プラスチックの再利用についての研究がかなり実施されている。
	産業技術力	○	↗	容器のリユースはデポジット制度の導入により行われている。WEEE指令により、メーカーのリユースが促進されてきている。消耗品の部品リユースは以前から行われている。解体や洗浄において、進んだ技術を導入している事例がある。
中国	研究水準	×	→	未だリユースの研究は進んでいない。
	技術開発水準	△	→	事務機器に関係することとして、回収後の電子基盤からの電子部品の分離についての研究事例がある。
	産業技術力	△	→	日系企業の現地生産会社において、独自のリユースをしている事例がある。
韓国	研究水準	×	→	研究の報告事例が見られない。
	技術開発水準	△	↗	企業はリユースの技術開発に乗り出しているものと推測されるが発表事例は見当たらない。
	産業技術力	△	↗	事務機器の回収リサイクルは行われているが、リユースは未だ実施されていない。
<p>全体コメント：リユースのできる製品は限られており、どうしてもその製品を生産する企業を中心とした研究開発にならざるを得ない。日本の事務機器メーカーのリユース技術は世界をリードしているが、一息ついた感がある。建築業界でのリユース事例が増えている。上記には記載しなかったが、自動車業界では世界的にも中古車とともに、廃車からの部品が修理用部品として活用されている。接合技術、分解・洗浄技術に革新的で汎用的な技術が、それらのメーカー以外の専門企業から生まれてくることを期待したい。</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]

2.4 自然生態管理分野

2.4.1 概観

6つの中綱目（生物多様性観測・評価、生態系観測・評価、陸域管理・再生、野生動物復帰、外来種管理、野生生物感染症）において、米国が圧倒的優位を誇っている。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。
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。

さらに合衆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/>)

LTER の後継プログラムであり、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、これから本格的な研究開発投資が開始される。金融危機の下で投資規模については不透明な

部分があるが、グリーン・ニューディール政策になじみやすい研究開発である。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。

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。たとえば、杭州市に整備された国家湿地公園は東京都千代田区の面積に匹敵する。このような自然再生事業を、大規模な観測拠点整備と統合してトップダウンで強力に推進している。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 (National Institute of Biological Resources, Korea) 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。ソウル市の清溪川の河川再生は国際的に注目される都市河川再生事業であり、国民的な関心も高く技術レベルは向上している。

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・維持されており、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。

外来種管理と野生生物感染症研究は、特に遅れが目立つ分野である。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 : Global Information System 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。

2.4.2 中綱目ごとの比較

(1) 生物多様性の観測・評価・予測技術

日本では、生物多様性の研究は、大学・公的研究機関を中心に進められている。大学や研究機関において独自に各研究サイトで行われてきた生物多様性の観測や生態学的研究は、日本長期生態研究ネットワーク（JaLTER：Japan Long Term Ecological Research Network）を中心としてデータの共有化・集約の作業が開始されたところである [1]。地球規模生物多様性情報機構（GBIF：Global Biodiversity Information Facility）において日本は米国と並ぶ経済負担を引き受けているが、生物多様性の情報提供は遅れている。また、環境省による自然環境保全基礎調査 [2]、国土交通省による河川水辺の国勢調査 [3] によるインベントリー調査により生物多様性の観測が行われている。これらは、時間軸の解像度が粗いが、植生、昆虫、貝類、脊椎動物等、複数の分類群のデータが揃っている点でユニークである。これらのデータを用いた生物多様性の評価・予測の解析は始まったばかりであり [4]、今後の発展が期待される。野生動物の自動記録方法として日本では民生用のデジタルカメラによる技術が実用化されている [5]。野生動物に装着するロガー機器の開発は、小型化、高密度化、高性能化の観点からみて世界的に進んでいて、特に、加速度センサーや静止画像の記録、および、その解析技術は日本独自のものである [6]。分子マーカーを利用した遺伝的多様性の変異に関する研究はインテンシブに行われていて研究水準は高いが、米国で開発された遺伝子解析技術を応用したものが多い。また、都市部では PHS 電話網を用いた行動圏観測が行われているものの、電波法の制限により電波テレメトリー法による野外観測・評価技術は遅れている。さらに、日本では解析ソフトウェアの開発に対する評価が低いため、生物多様性の空間的分析手法や、観測されたパターン情報の解析理論・解析手法の開発が行われていない。環境アセスメント調査は決められた仕様にしたがって観測を行っているので、環境コンサルタントに技術開発能力はない。国内市場は小さく経済的に産業として成り立ちにくいのが、世界市場を相手にすれば日本が得意とする電子機器・製造技術を生物多様性観測に転用した産業が立ち上がるかもしれない。

米国では、大学機関、環境 NGO、州政府機関を中心に生物多様性の観測・評価が行われていて、生物多様性に関する論文の 3 分の 1 は米国から発信されている。軍事用に開発された全地球測位システム（GPS）と地理情報システム（GIS）を組み合わせた生物多様性の観測技術は最先端を走っている。生態学分野の地理情報システム（GIS）のデファクトスタンダードとして ESRI 社製 ArcGIS [7] が用いられている。米国地理調査所（USGS：U.S. Geological Survey）が全米 4100 箇所で行っている繁殖鳥類調査は、カナダ、メキシコまで拡大している [8]。また、観測された生物多様性の分布情報から、野生生物の実際の分布状況と保護地域の隔たりを GIS により解析し生物多様性の高い地域を評価する全米 GAP 分析計画が進行している [9]。米国では、Applied Biosystem 社 [10] が 1980 年代後半から市販した DNA シークエンサーを用いた野生生物の遺伝子解析が進められてきた。最近では、遺伝的多様性に地理的分布を組み込んだ階層的クレード分析などの系統地理学が発展している。録

音データを用いた動物の自動観測プログラムとして、NPO 組織である Old Bird が行っている渡り鳥のモニタリングプロジェクト [11] や、アメリカ海洋大気圏局 (NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration) が海産哺乳類のモニタリングのために行っている Bioacoustic プログラムがある [12]。また、NOAA は太平洋を回遊する哺乳類、鳥類、ウミガメに発信器やロガーを装着して海洋生物の行動をモニタリングする TOPP プログラムが実施されている [13]。生態学・生物多様性の多くの教育用・研究用の解析ソフトウェアが開発されシェアウェアとして公表されている [14]。Applied Biomathematics 社に代表されるように生物多様性の評価・予測をするソフトウェアが研究者自身によって起業され、市販されている [15]。TrailMaster 社のセンサーを用いた野生動物の自動撮影装置が販売され、日本以外ではデファクトスタンダードとなっている [16]。

欧州では EU のハビタット指令に基づいて各国で生物多様性モニタリングが行われている。欧州全体では生物多様性に関する論文が米国より多く発信され研究水準は高く、イギリス、フランス、ドイツ、スペイン、スウェーデンは日本より進んでいる。英国は理論研究、ドイツは技術研究、フランスはインベントリー研究の分野が強い。英国では、大学、研究者、およびワイルドライフトラストや王立鳥類保護協会 (RSPB : Royal Society for the Protection of Birds) などの環境 NGO を動員して生物多様性の観測が行われている。フランスでは、フランス宇宙庁 (CNES : Centre National d'Etudes Spatiales) と米国の NOAA および NASA (National Aeronautics and Space Administration) と協同して、人工衛星を用いて野生動物を追跡するアルゴシステムが稼働している [17]。欧州では、小型の GPS ロガーや生理情報を得るための埋め込み型ロガーの開発技術が進んでいて、安価な超小型機器が販売されている [18]。ドイツの鳥類調査研究所やマックスプランク研究所では、録音データや漁船用レーダーを使った渡り鳥のモニタリング研究が進められている [19]。オランダにある Delft Hydraulics により生物多様性への影響評価を解析する Habitat というソフトウェアが開発され、EU 諸国で使われている [20]。スウェーデンの Televilt 社 [21] や英国の Biotrack 社 [22] により地上波テレメトリーのための新しい機材や小型の発信器が開発されている。欧州では、野生動物の空間移動軌跡の解析技術が開発され、最先端にある。

中国では、中国系アメリカ人と中国科学院や各地の大学において複数の研究プロジェクトが行われている。現在の研究水準は日本よりやや低いが発表論文数は多く、たくさんの若い研究者が育っている。このため、数年後には日本が追い抜かれる可能性が高い。欧米の技術を使った研究がメインであるが、ArcGIS 互換の安価な GIS ソフトが開発されている [23]。今までの好景気に支えられて中核研究機関には遺伝子解析装置が配備されて遺伝的多様性の研究も行われている。中国独自の技術はないが、今後、技術開発が進み発展する可能性は高い。

韓国では、大学を中心に生態学研究が行われているが、生物多様性の観測・評価・予測に関する研究は少ない。遺伝的多様性の研究も行われているが、土壌生態学、植物社会学、個生態学、個体群生態学的な研究が多く日本より 20 年ほど遅れている。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 [24]。韓国独自の生物多様性の観測技術は発展していないが、日本と同じく民生電子機器の開発能力は高く、今後、発展する可能性はある。

<参考文献>

- [1] <http://jern.info/jalter/index.html>
- [2] http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_f.html
- [3] http://www.rfc.or.jp/mizube/mizube_f.html
- [4] http://www.env.go.jp/earth/suishinhi/jpn/projects_underway/pdf/h17/F1.pdf
- [5] <http://wwwsoc.nii.ac.jp/osj/japanese/katsudo/Letter/no13/OL13.html#04>
- [6] <http://ci.nii.ac.jp/naid/110001881036/>
- [7] <http://www.esri.com/>
- [8] <http://www.pwrc.usgs.gov/bbs/>
- [9] <http://gapanalysis.nbii.gov/portal/server.pt?open=512&objID=200&PageID=0&parentname=MyPage&parentid=0&cached=true&mode=2&userID=2>
- [10] <http://www.appliedbiosystems.com/?abhomepage=na>
- [11] <http://www.oldbird.org/>
- [12] <http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics/whales/bioacoustics.html>
- [13] http://topp.org/about_topp
- [14] <http://fwie.fw.vt.edu/wsb/>
- [15] <http://www.ramas.com/indexEnv.htm>
- [16] <http://www.trailmaster.com/>
- [17] http://www.cls.fr/html/argos/welcome_en.html
- [18] <http://www.environmental-studies.de/products/07/accessories.html>
- [19] Hill & Hüppop (2006) Techniken zur Erfassung des „unsichtbaren Vogelzugs“ über See. Jber. Institut Vogelforschung 7 : 21-22.
- [20] <http://www.wldelft.nl/issues/wfd/habitat/index.html>
- [21] <http://www.televilt.se/page.asp?id=480>
- [22] <http://www.biotrack.co.uk/>
- [23] <http://www.supermap.com/>
- [24] http://www.event.nig.ac.jp/gbif/bd2006/document/KRIBB_Kim.pdf

生物多様性の観測・予測・評価技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	欧米で開発された技術を利用した遺伝的多様性、種の多様性観測に関する研究実績は大きい、評価・予測技術に関しては遅れている。中立説に基づく遺伝的多様性の解析では一時的にはリードしていたが、現在では遅れている。観測データから生物多様性の分布パターンを推測する理論・手法は欧米に依存している。
	技術開発水準	△	→	民生技術を利用した静止画自動撮影装置、フィールドサーバ装置、高性能小型ロガー技術では部分的にリードしている。遺伝子マーカーの解析技術、GISを用いた生物多様性の分布状況の解析ソフト、リモートセンシングに用いる衛星写真等の多くは米国に依存している。日本独自のGISもあるが、生態分野の標準ではないため、全く利用できない。
	産業技術力	△	→	デジカメや電子機器等の民生技術を生物多様性観測に転用すれば、潜在的な産業技術力は低くはないが、国際競争力がなく産業としては未成熟である。行政・企業から発注される環境アセスメントで生物多様性モニタリングを行っている環境コンサルタントには新たな観測技術の開発能力がほとんどない。
米国	研究水準	◎	→	生物多様性の観測・評価・予測に関する論文の3分の1は米国からのものであり、GISシステムを用いた生物多様性の予測手法であるGAP解析等、新しい解析技術は米国から導入されることが多い。遺伝情報とGISを統合した解析手法・ソフトウェアは米国で開発されている。
	技術開発水準	◎	→	軍事技術から転用されたGPSと民生技術であるGIS技術をもちいた手法の開発では最先端を走っている。遺伝子解析に関する特許の多くをアメリカの企業は握っていて遺伝的多様性の解析技術でも世界の最先端である。音声を用いた多様性モニタリング技術も発展している。
	産業技術力	◎	→	大学研究機関の他、NPO/NGO等、世界を相手に市場規模が大きいため、複数の企業が安価なロガー装置、自動撮影装置、生物多様性解析・予測ソフトウェアを開発し、安価に提供している。TOPPプロジェクト等の大型予算によって研究費も潤沢である。
欧州	研究水準	◎	→	欧州全体で見ると米国より多くの論文が発表されていて研究水準は高い。生物多様性の理論・解析手法に関する論文の多くはイギリスから発表されている。これに、ドイツ、フランス、スペイン、スウェーデンが続いている。
	技術開発水準	◎	→	生理情報を得るための埋め込み型記録器、空間移動軌跡の解析技術、電波テレメトリー装置の開発が優れている。ドイツを中心にレーダーや音声を用いた多様性モニタリング技術も発展している。衛星テレメトリー追跡技術であるARGOSシステムは米国とフランスで共同開発された。
	産業技術力	○	↗	小型GPSロガー装置、埋め込み型ロガー装置、テレメトリー発信器が開発され世界中へと販売されている。衛星追跡による広域の動物の位置データ取得・解析市場はARGOSシステムの独壇場である。イギリス・北欧はテレメトリー技術が進んでいる。
中国	研究水準	○	↗	中国系アメリカ人主導で複数のプロジェクトが走り、多くの大学院生が育ってきている。欧米から導入した技術を元に研究が進められている。近年の生物多様性に関する論文数は日本より多い。
	技術開発水準	△	↗	好景気に支えられて中核研究機関には遺伝子解析装置が配備されて遺伝的多様性の研究も進んでいる。安価な業界標準と互換のあるGISが開発されている。中国独自の技術は開発されていないが、今後、技術開発が進むと予想される。
	産業技術力	△	→	先進国からの技術移転により観測装置開発の潜在的な技術力はあるが、生物多様性観測に関する産業が立ち上がるかどうかは不明である。
韓国	研究水準	×	→	現状では、生物多様性に関する論文は少なく、日本より遅れている。
	技術開発水準	×	→	日本製の自動撮影装置が使われていて、現状では小型ロガー等は開発されていない。
	産業技術力	△	→	現状では日本よりも遅れているが、日本と同じく民生技術を転用すれば潜在的な技術力はあると考えられる。

全体コメント：この分野の研究において、日本は米国・欧州・オセアニアに大きく後れを取っている。日本は、欧米から導入された技術を用いて生物多様性の観測に関する研究は盛んに行われていて研究水準は低くはない。しかし、ソフトウェア開発に対する評価が低いと観測された情報から時空間的な分布パターンを解析し現状を評価する手法に関する研究、それを使ったソフトウェア開発は欧米に比べて遅れている。民生電子技術を転用した観測技術、機器の小型化、高性能化などの一部の開発技術は進んでいるが、国内市場規模が小さく産業としては発展しにくい状況にある。

(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]

(2) 生態系の観測・評価・予測技術

日本はエビアンサミット（2003年6月）において「地球観測サミット」を提唱し、地球観測の国際的推進に貢献してきた。特に、「地球観測の推進戦略」（2004年12月：総合科学技術会議）を策定し、全球地球観測システム（GEOSS：Global Earth Observation System of Systems）10年実施計画の策定（2005年2月）に指導的な役割を果たしてきた。地球温暖化の影響予測の分野では、地球シミュレータを開発し、国際的にインパクトのある研究を進めてきた。その一方で、ローカルスケールの観測拠点の整備やネットワーク化が遅れている。「地球観測の推進戦略」では、生態系に関して今後10年を目処に取り組むべき課題として、以下の4点をあげている。

- ① アジアオセアニア地域における複合型観測拠点の整備
- ② 観測拠点のネットワーク化
- ③ 観測標準手法の確立
- ④ アジアオセアニア地域の観測技術者の養成

この戦略策定後3年が経過したが、上記4分野において目立った進展はない。

アジア各国はフィールド研究施設を持ち観測しているが、日本はアジア全体で観測のネットワーク化をはかり、データベースを作れる状況にない。このため、アジア地域においても、米国や欧州が指導的な役割を果たしているのが現状である。たとえば、アジアにおける熱帯林観測データのネットワークは、米国（Center for Tropical Forest Science[1]）および欧州（European Tropical Forest Research Network[2]）によって維持されている。フラックスネット[3]、LTER（長期生態系観測研究）の国際ネットワーク[4]の貢献においても、米国と欧州に後れを取っている。

日本は、全球陸域炭素循環モデルなどのモデル研究では国際的競争力がある。ただし、大気-陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクト（2006年）では、11の研究グループが参加したが、その地域別内訳は欧州6、アメリカ3、カナダ1、日本1である。この研究グループの比率は、研究活力の比とほぼ一致する。日本においては、このテーマを扱う研究グループの数は少なくないが、研究室単位で閉じ組織化されていない。個体ベースの動的全球植生モデルは我が国の独創である。地球シミュレータを活用した高解像度モデル（1/10度や1kmグリッド）での予測は世界の最先端である。衛星ALOSの打ち上げにより地上生物量の見積もりが可能となった。地球シミュレータに続く10ペタフロップスの次世代スーパーコンピュータにより10年以内に高解像度生態系予測モデルの構築が可能となる。

ローカルスケールの観測では、大学演習林を中心として、LTERネットワーク整備の努力が続けられているが、ようやく国際ネットワークへの参加が認められた段階である。文部科学省の支援は弱く、米国のLTER（Long-Term Ecological Research：長期生態観測ステーション）ネットワークには遠く及ばない。国土交通省河川局による河川環境モニタリングでは、全国の一級河川に光ファイバーケーブルの整備が進められており、生態系観測のサイバーインフラとして期待できる。環境省ではモニタリングサイト1000（全国1000地点を目標とした）を推進しているが、初動段階である。これらの観測インフラの整備は独立に進められており、米国のNEON（National Ecological

Observatory Network[6]) のような戦略性を欠いている。NEON が戦略目標にしている distributed sensor networks に関しては、フィールドサーバという日本独自の技術が開発されているが、研究室単位の小規模な展開にとどまっている。

海洋観測の分野では、日本は各国と協力し、アルゴ計画（高度海洋監視システム）、統合国際深海掘削計画等を積極的に推進している。アルゴ計画では、日本は米国について 2 番目に多い約 370 本のフロートを展開中である。GLODAP (Global Ocean Data Analysis Project) はデータ統合プロジェクトであり、日本も WOCE (World Ocean Circulation Experiment : 世界海洋循環実験) において研究船「みらい」が取得したデータや、西部北太平洋亜寒帯循環域の時系列観測点 (KNOT など) のデータを提供し、精力的に貢献した。しかしながら、GLODAP プロジェクトの中心メンバーは欧米の研究者でしめられている。海洋炭素循環相互比較プロジェクト Phase 3 (OCMIP3、2001 ~ 2005 年) には、欧州から 5 カ国 9 グループ、米国から 4 グループが参加しているが、日本からの参加は 1 グループのみである。また、北太平洋海洋科学機構 (North Pacific Marine Science Organization (PICES) : アメリカ、カナダ、ロシア、韓国、中国、日本の 6 カ国で構成、事務局はカナダ) の一翼をにない、北太平洋を対象とした海洋生態系モデルを開発に貢献した。

民間では、ブイ・ピカソ (プランクトン無人探査機)・深海 6500・海底掘削船「地球」など海洋観測を支える技術で世界と伍しており、特に特殊環境微生物の採取技術は世界の第一線を走っている。

米国は、グローバルスケールでは、衛星による生態系観測手法の開発・応用研究で世界をリードしている。大気-陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクト (2006 年) には、3 つの研究グループが参加し、欧州につぐ貢献をした。ローカルスケールでは、2000 年以来、総額 670 万 4827 ドル (7 億 7105 万円) を投じて、全米に 26 の LTER を整備した。これらの LTER を利用した NSF 助成課題は、378 件、2 億 875 万 6601 ドル (240 億 700 万円) にのぼる。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。その成果は、オックスフォード大学出版会の The LTER Network シリーズとして、すでに 9 冊のテキスト [5] にまとめられている。

2005 年から、LTER に続く組織的プロジェクトとして、NEON がスタートした。この助成枠は NSF の Division of Biological Infrastructure (DBI) に設けられている。NEON の特徴は、高度なサイバーインフラに支えられた distributed sensor networks (野外に設置した多数の多機能センサーを無線ランでむすび、データを自動回収するシステム) を次世代の生態系観測の基幹技術と位置づけ、その開発と全米への展開を強力に推進しようとする点である。コンピュータ科学者、統計学者、生態学者、環境物理学者などによる統合的・戦略的な研究開発体制が組まれている。

海洋炭素循環研究では、JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study)、SOLAS (Surface Ocean Lower Atmosphere Study)、IMBER (Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research) などの国際共同観測プロジェクトを主導するとともに、OCCC (Ocean Carbon and Climate

Change)、NACP (North American Carbon Program) という地域的
共同観測プロジェクトを展開してきた。2005年からOCCC、NACP、US-
SOLAS、US-IMBERを統合し、Ocean Carbon & Biogeochemistryという
プロジェクトが組織された。データの統合・解析においても、NOAA、DOE、
NSFの連携によってGLODAPプロジェクトを組織・推進するとともに、
CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) の活動で世界を
リードしている。

欧州は大気-陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクト(2006年)
には、6つの研究グループが参加した。生態系の新しいグローバルデータセッ
トを開発するなど、組織的な研究により目覚ましい進歩がある。陸域・海洋生
態系モデルの開発も活発である。CARBOOCEANプロジェクトなど欧州共同
プロジェクトにより大西洋を中心に観測網が充実している。仏のPISCES、英
のPlankTOMなど海洋生態系の詳細なプロセスを直接的に表現するモデル開
発で世界をリードしている。

中国では近年、国際誌での出版数が顕著に増加している。欧米で職を得て活
躍している研究者も多く、研究のポテンシャルは高い。東シナ海など中国近海
の観測は充実しており研究論文も増加しているが、データ統合や配信は進んで
いない。South East Asia Time-Series Station (SEATS) などの時系列観
測プロジェクトは台湾が主導している。海洋生態系モデルに関する顕著な情報
はない。リモートセンシング研究の展開が著しく、過去5年間(2003年以降)
のリモートセンシング研究主要3雑誌(RSE、IEEETGRS、IJRS)の論文出
版数で比較すると、米国と欧州が高く、次に中国が続く。日本のリモートセン
シング研究はハード開発の優位性に比較してソフト研究(解析技術・応用研究)
の未熟さが目立つ。

韓国は衛星による生態系観測分野の学界規模は小さい。生態系モデル研究は
これからである。海洋に関しては、日本海の観測などに実績があるが、全体と
して顕著な活動はない。

<参考文献>

- [1] <http://www.ctfs.si.edu/doc/index.php>
- [2] <http://www.etfrn.org/etfrn/index.html>
- [3] <http://daac.ornl.gov/FLUXNET/>
- [4] <http://www.ilternet.edu/networks/>
- [5] <http://intranet.ilternet.edu/committees/publications/oxford/>
- [6] <http://www.neoninc.org/>

生態系の観測・予測・評価技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	地球シミュレータの開発とともに、全球陸域炭素循環モデルは高緯度唐松林について高度化が進んだ。1/10度や1kmグリッドの高解像度モデルによる予測では世界の最先端。陸域に関してはフラックスネット、LTERなどの観測網が整備されつつあるが、欧米よりも遅れている。アジア熱帯林観測でも欧米にネットワークの中心がある。海洋生態系に関してはJAMSTECが共同利用の中心となり、アルゴ計画などを推進している。アルゴ計画では、米国について多いフロートを展開中。Global Ocean Data Analysis Projectにも積極的に貢献しており海洋・大気結合モデルにはアルゴのデータセットが使われるようになってきている。
	技術開発水準	○	→	公的研究機関と企業の共同で技術開発が進んでいる。フラックスネットシステムは欧州が先んじている。ASTERやALOSなど国際的に評価の高い衛星を持つ。衛星ALOSの打ち上げにより地上生物量の見積もりが可能となりシベリアやアラスカで衛星センターを地上観測と比較校正する調査研究が始まっている。海洋観測を支える、パイ・ピカソ（プランクトン無人探査機）などでは世界に伍する技術力を持っている。また深海6500（主に微生物から大型生物まで）や海底掘削船「地球」が稼働し始めており、特殊環境微生物の採取技術は世界の第一線を走っている。地球シミュレータに続く次世代のペタコンにより7から8年以内に高解像度生態系予測モデルの構築が可能となる。
	産業技術力	△	→	測量会社を中心に観測データの活用があるが生態系観測の市場は極めて小さい。ただし保険などの分野でリスクアセスメントへの関心が高まっている。
米国	研究水準	◎	→	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。長期にわたるデータ取得や衛星による生態系データセットの作成で優位に立つ。海洋では、JGOFS、SOLASなど国際共同観測プロジェクトを主導。データ統合においてもGLODAPデータセットの作成、CDIAC（Carbon Dioxide Information Analysis Center）によるデータ配信など世界をリードしている。また全米に26のLTERステーションを整備し、ローカルスケールの生態系観測で世界をリードしている。さらに、フィールドに高度なサイバーインフラを整備し、distributed sensor networkの構築をめざすNEONプロジェクトが始動している。
	技術開発水準	◎	→	新しい環境観測衛星開発などで世界をリードしている。世界的に共同利用のArgo計画のイニシアチブを握っている。またWebb社など海洋観測機器開発では世界をリードしている。
	産業技術力	◎	→	生態系観測ではないが、Google Earthなど生態系観測に活かせる産業技術がある。レーザーを利用した温室効果ガスのモニタリングが実用化し始める状況にある。
欧州	研究水準	◎	↗	大気・陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクトでは、米国をしのぐ6研究グループが参加。近年、生態系の新しいグローバルデータセットを開発するなど、組織的な研究により目覚ましい進歩がある。陸域・海洋生態系モデルの開発も活発である。CARBOOCEANプロジェクトなど欧州共同プロジェクトにより大西洋を中心に観測網が充実している。仏のPISCES、英のPlankTOMなど海洋生態系詳細なプロセスを直接的に表現するモデル開発（これに対して日本はeNEMUROモデルを開発中）で世界をリードしている。
	技術開発水準	○	→	SPOT、TerraSARなど、国際的に評価の高い衛星を持つ。SAHFOS（英）のContinuous Plankton Recorder (CPR) Surveyによるプランクトンマッピングなど、長期的観測技術・体制を有している。わが国の衛星ALOSも利用している。
	産業技術力	○	→	SPOT Image社（6）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	○	↗	大気・陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクトには、参加なし。近年、国際誌での出版数が増加傾向。欧米国内で活躍する研究者も多く、研究のポテンシャルは高い。東シナ海など中国近海の観測は充実しており研究論文も増加しているが、データ統合や配信は進んでいない。海洋生態系モデルに関する顕著な情報は無い。有人衛星が注目を浴びている。
	技術開発水準	△	↗	生態系観測に有用な自前衛星はないが開発能力はある。生態系モデル研究はこれから。
	産業技術力	×	→	産業技術に関する主だった情報は無い。
韓国	研究水準	△	→	大気・陸面相互作用を扱うモデル間相互比較プロジェクトには、参加なし。衛星による生態系観測分野の学界規模は小さい。生態系モデル研究はこれから。
	技術開発水準	×	→	自前の衛星を持つものの、ハード開発は他国の技術に依存する部分が多い。
	産業技術力	×	→	産業技術に関する主だった情報は無い。

全体コメント：すべての国で自前の観測衛星を持つが、衛星画像を利用した生態系観測では米国がリードしている。リモートセンシングの主要3雑誌（RSE, IEEE TGRS, IJRS）の論文出版数では、米国と欧州が高く中国が続く。日本はハード開発の優位性に比較してソフト研究の未熟さが目立つ。日本は地球シミュレータの利用により、特に気候・海洋大循環変動に関する高解像度モデル開発が強い。海洋生態系に関しては、米国は JGOFS, SOLAS など国際共同観測プロジェクトを主導し、データ統合・解析においても GLODAP などにより世界をリードしている。欧州は CARBOOCEAN プロジェクトなど欧州共同プロジェクトにより大西洋を中心に観測網を展開し、米国と肩を並べている。LTER など、ローカルな観測拠点の整備とネットワーク化でも、米国がリードしている。年々国際レベルでの相互比較・交流がさかんとなりつつある。我が国では次世代スパコンの開発（10ペタフロップス）が複雑系である生態系モデルの高度化に寄与すると期待され、このスパコンの開発を視野に入れた生態系モデルの高度化が進みだしている。

(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】

(3) 陸域管理・再生技術

陸域生態系の管理・再生技術は、伝統的な農林業や園芸技術が応用されている部分と、地球温暖化・生物多様性の減少・侵略的外来種の拡大・酸性雨など大規模で広域的な生態系変動に対応した管理ニーズが生じたことにより、新しい技術開発が必要になった部分とがある。全体の傾向としては、日本や欧州では前者の、米国では後者の技術が優れている。欧州では伝統的な技術を都市における緑化やビオトープに生かしている点が特徴である。中国・韓国では、伝統的な技術はあるものの、最近まで外国の多くの技術を転用してきたのが現状といえる。ただし、近年は、広域の生態系管理問題は、欧米、アジアを問わず大きな問題となっており、米国で発達した技術をそれぞれの国が急速に取り入れて発展させている。

日本の研究開発は、個々の植物の生態にもとづく栽培技術の高度化や、伝統的な造園技術の改良などに特色があり、緑化や環境造林などでも高いレベルにある。国土開発などともなう緑化や公園造成などのために、法面緑化、植栽、移植、緩和(mitigation)や生態系再生技術、あるいはそのために必要な人工土壌、有機肥料などの技術は高く、産業としても競争力がある[1][2]。また、専用重機を用いた森林移植の技術が民間で開発されている。途上国での砂漠化防止や環境造林、炭素吸収造林などの技術協力も多く行われている。しかしながら、国有林・民有林を問わず、林業自体の国際的競争力が弱体化する中で、持続的森林管理(SFM: Sustainable Forest Management)に関する技術開発は、欧米に比べ遅れている。市民レベルの森づくり活動や里山林の管理活動がさかんになっているが、これらを支える技術開発はきわめて不十分である。アジアの熱帯林研究は独自の伝統を持ち、基礎研究において世界的な成果をあげてきたが、持続的な熱帯林管理の技術開発は発展途上である。衛星画像を利用したリモートセンシングの研究は発展しているが、地上観測との連携が弱く、森林管理・再生技術の開発に必ずしも寄与していない。

欧州では、日本と同様に伝統的な農林水産業の研究・技術開発能力は高いが、それらを屋上や壁面緑化の技術や、都市域におけるビオトープ造成技術として発展させた点が特徴的である。屋上緑化やビオトープは国際的にも注目されている[3]。

中国では近年大規模な造林が奨励されているほか、砂漠化防止のための緑化もさかんに行われているが、このような活動の多くが日本などからの技術協力などに頼っているのが現状である[4]。

韓国では、第二次世界大戦後に大規模な造林を行った実績があり、外国からの技術協力を必要としている状況ではないが、日本に比べると技術開発力、産業技術力ともに劣っている[5]。

米国は陸域の多方面の生態系管理技術をリードしている。特に高精度衛星画像を利用したリモートセンシングやGISを利用した広域の生態系管理の研究に強く、これらの研究成果を生かしたアセスメント技術の発展が顕著である。また熱帯林研究がさかんであり、中南米各地に有力な研究拠点を持ち、各種地上観測・リモートセンシング・モデリングを統合した「アマゾンにおける大規模生命圏・大気圏実験」(LBA: Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia)などの組織的研究で世界をリードしている。国内

では26の長期生態研究(LTER)サイトを整備し、物質循環・水文過程・森林生産・生物多様性などをカバーした総合的な研究開発を発展させた。森林における大規模なFACE(Free Air CO₂ Enrichment)実験でも世界をリードしており、その研究成果が活用できるので、二酸化炭素放出を抑制するための森林・耕地管理の技術に関する研究でも強い。流域レベルでの管理や生態系アプローチなど新しい管理概念や、モデルによる予測技術も群を抜いている[6]。広域での生態系修復でも他の国をリードしているが、この面ではオーストラリアも研究・技術面で目立っている。欧州や日本でも、近年これらの分野の研究や技術開発が急速に進んできたが、米国の優位は動いていない。中国でも米国の協力により急速に進みつつあるが、韓国ではやや遅れている。

国家森林戦略を策定し、温帯林等の持続的利用に関するモントリオールプロセス(米国・日本が参加)をリードしたカナダも、強力な研究開発力を維持している。一方欧州はヘルシンキプロセスという枠組みを発展させた。これらのプロセスでは、持続的管理のための基準と指標の開発が各国で進められているが、この面では米国、カナダが一步リードしている[7]。

<参考文献>

- [1] 森本幸裕・亀山章 2001.「ミティゲーション」ソフトサイエンス社. 354pp.
- [2] 鷺谷いづみ・草刈秀紀 2003.「自然再生事業」築地書館, 369pp.
- [3] <http://www.greenroof.se/>
- [4] 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.
- [5] 金貴坤 2002. 生態復元の小考. 日本緑化工学会誌, 28: 324-329.
- [6] Meffe G.K. et al 2002. "Ecosystem Management" Island Press. 313pp.
- [7] (財)地球・人間環境フォーラム 2004.「平成15年度森林生態系の保全管理に係る調査業務報告書」187pp. <http://www.gef.or.jp/forest/indi.html#3>

陸域管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↗	個々の対象生態系の保全、種の保全生態、森林の施行や管理、リモートセンシングなどに関する個別の技術は高い。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などは発展途上。病害虫のメカニズム解明技術は高いが、防御には必ずしも成功していない。温暖化適応の研究が重要視される傾向があるが、まだ実質的には進んでいない。
	技術開発水準	○	↗	緑化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いの。ビオトープなどの技術の開発力が伸びつつある。
	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る。途上国などでも適用例が多い。土着植物の供給技術、自然力を生かした緑化技術などは最近発展中。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ている。生態系モデル、侵入生物管理、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。温暖化適応に関しては基礎的研究にとどまる。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。
	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。
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、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。
	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。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。砂漠化の研究も各国との共同研究で進みつつある。
	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。
	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低くない。最近では発展途上国への協力も行っている。
	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。

全体コメント：全般的に見ると、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、日本は造林や緑化、保全など個々の技術に強い。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。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。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。

(注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。

(注2) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→現状維持、↘下降傾向]

(4) 陸水管理・再生技術

日本では、河川工学や応用生態工学分野を中心に研究レベルは低くないが、論文は日本語が多く国際的に知られていない。また、生態学・地形学の分野では研究者の絶対数が少なく、論文数などでは欧米より少ない[1]。自然再生に関連する工学ソフトウェアは、高いレベルを有しているものの、個別開発が多く汎用性のあるソフトでは欧米に劣る。言葉の壁もあり、国際競争力は低い。現場の技術は、河川の自然再生（多自然川づくり）の実施数が3万3千件を越えるなど、この分野の技術的進歩は著しいものがある[2]。しかし、熟練技術者の退職や公共事業費の削減によって、現場技術の低下が懸念される。

米国では、自然再生に関連する野外調査研究の裾野が広く、市場も大きい。ため調査・計画系の技術開発が盛んで、例えば調査ではGPSのGarminやTrimble、GISのESRIなどがこの分野をリードしている。また、河川管理ソフトウェアとしては陸軍工兵隊がHEC（Hydrologic Engineering Center：水文工学センター）シリーズを開発し、全米で広く利用されている。1990年以降自然再生が特に盛んになっており、これまでに40,000件以上の実績があるとされている[3]。特にエバークレーズ湿地など大規模な自然資源管理に強みがある。

欧米は、EUが研究・産業ともに牽引している[4]。特に、「水枠組み指令(WFD: Water Framework Directive)」のようにビジョンと締切りを明示した指令により、国立研究機関を中心に自然再生に関する研究が積極的に実施されている。河川管理に関するソフトウェアに強く、デンマークDHIのMIKE11、イギリスHR WallingfordのInfoworks、オランダDELFTのDELFTシリーズなどの水理・水文モデルは世界的に知られている。最近、EUが主導し、OpenMIと呼ばれるこれらソフトウェアの統合インターフェースも開発された[5]。また、EUの指令に関連し、自然再生の評価に活用できる指標や手法も盛んに開発されている[6]。現場では、もともと近自然河川工法など自然素材を活用した自然再生工法の伝統があり、技術力も高い。

中国では水環境が水量と水質の観点から経済成長の足かせとなりつつあり、水質や自然環境への関心は極めて高くなってきている。現状では、水質の問題が中心で、自然再生への関心は萌芽的である。ただし、2005年に杭州市西溪に開設された第一号国家湿地公園は、東京都千代田区に匹敵する面積(11km²)を持ち、2007年完成までの総工費は40億元(560億円)である。また、北京、上海といった一部の都市においては、主に景観改善を目的とした河川再生も実施されはじめている[7]。江蘇省の太湖などでは水質改善を目的とした湖沼の水辺再生も多い。自然再生に関連した素材や製品生産で、今後重要な地位を占める可能性がある。

韓国は、日本でいう多自然川づくりにあたる事例が1990年頃から相当数実施されている[8]。企業の技術開発力も独自のものは少ないが十分なレベルを有している。ソウル市の清溪川の河川再生[9]は世界的な都市河川再生事業であり、国民的な関心も高く技術レベルは向上している。

陸水域における自然再生は1990年ころから急速に成長している分野であり、日米欧ではすでに実績が多い。中国では、萌芽的な事例が都市部を中心に増えており、今後かなりの拡大が見込まれる。韓国は、ソウルの清溪川の再生以降、

国民的な関心は高まっている。日本のレベルは高いが、産業構造が国内向けであるので、今後官民一体となった国際競争力の強化が必要である。EUの拡大にともなって、欧州はこの分野での国際競争力をさらに強化している。

<参考文献>

- [1] Nakamura K. et al.: River and Wetland Restoration: Lessons from Japan, *Bioscience*56: 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

陸水管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
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。加えて、言葉の壁もあり国際競争力は低い。近年、OHyMosなど汎用モデルを構築する動きが高まってきている。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33000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。特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40000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DELFT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	×	↗	萌芽的な研究事例が見られるが、全体としては少ない。水質の問題が顕在化しやすい湖沼分野の研究が相対的に多い。
	技術開発水準	×	→	企業における研究開発は、まだほとんどなされていない。
	産業技術力	×	↗	北京や上海などで萌芽的事例が増えてきており、今後都市部を中心に産業技術力を強めていくと考えられる。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。
<p>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、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以降、国民的な関心は高まっている。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。</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]

(5) 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る。

生態系管理に関しては、近年、底生生物調査研究などの国際プロジェクトは世界を主導するなど大規模な国際調査研究の一翼を担いつつある。サンゴの再生技術研究は世界最先端をゆく [1]。環境省が調査公開しているサンゴ礁・藻場・干潟の詳細な継続調査とデータベースは他国より詳細で緻密である [2]。また、一次産業（漁業）回復のための保全、自然再生研究も進みつつあり、自然再生推進法を契機として行政、NPO、大学などの共同研究が進められ、生態学会などが積極的に政策提言を行い始めている [3]。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 [4]。

沿岸環境管理に関しては、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 [5] 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。逆に、風力発電では海陸ともに適地が少ないが、海では独自の洋上風力発電が進められ [6]、今後も潮流発電、海産バイオマス発電等が進められるだろう。

水産資源管理に関しては、かつて遠洋漁業、増養殖業での増産重視の時代には、漁具漁法の開発と研究は世界の最先端であった。しかし、漁業の低迷と「環境に優しい漁業」の必要性が増すとともに、特に大規模企業漁業の衰退によって、大学において研究分野の必要性が疑問視されるようになり、改組などで急激に先細り、まぐろ延縄における混獲防止方法の開発 [7] では世界的な水準を保っているものの、海底生息場への影響緩和については、国連などで日本の漁業への批判に応えられる優しい漁業の技術革新ができていない [8]。種苗放流技術はなお最先端だが、天然魚に与える遺伝学的研究は米国に大きく遅れてようやく着手され始めた。世界屈指の種苗生産技術は現在も最先端だが、その担い手だった（社）日本栽培漁業協会が独立法人への統合で弱体化しつつある。技術開発ではなお一定の水準を維持しており、資源管理が盛んな沿岸漁業では、静岡のサクラエビ漁業、京都のズワイガニ漁業、愛知のイカナゴ漁業など、大学、独法や県研究機関と漁業者が協力して実用化された技術がある [9]。民間では漁具メーカーの研究組織の解体やメーカー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状況にある。一部のメーカーで、研究の必要性を再認識する動きもあるが、漁業の低迷により新規の研究開発への投資がほとんどないために、技術力の低下が懸念される。ただし、エチゼンクラゲ対策 [10] のように活発な投資がなされる分野では、特異的に技術開発が行われている。

米国（カナダを含む）では、生態系管理については、国際機関を主導した調査研究が進められ、日本のマグロ漁船データを駆使して世界のマグロ資源が激減した過程を解明するなど海洋生態系の保全の必要性を示す研究が盛んである [11]。サンゴ礁でも再生より保全技術研究で世界をリードしているが、サンゴ種苗を岩に移植するなど、従前より世界全体のサンゴ・藻場に適用可能な先端的研究も進められている [12]。

沿岸環境修復技術においても、以下のように自然環境、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

については日本に劣る。大規模な湿地修復や運河の改修など、土木工事に関する技術力は非常に高いが [13]、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に劣る。米国は造船業など関連する重工業が未発達だが、カナダでは比較的小規模の波浪発電装置 [14] などが実用化している。この 10 年程度は再生可能エネルギー関連研究の停滞が続いていたが、今年から米国が二酸化炭素排出抑制政策推進へ大きく転換したことから、今後急速に研究が進むと予想される。

水産資源管理に関しては、海洋生物や工学系の研究者が参画し、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、迅速に対応する保全技術を開発する能力がある。太平洋サケの種苗放流が長年実施されており、種苗放流の保全遺伝研究では種の保存法 (ESA: Endangered Species Act) の実施と相まって世界の先端を行く [15]。近年、海面養殖と標識技術の進展を背景に海産魚の放流にも関心が高まっており、実用化には至らないが生態系への影響評価の研究が進められる。応用研究でも放流魚の繁殖成功率を交配実験で評価し、放流魚の親魚への繰り返し使用に警鐘を鳴らしている。今後は米国政府も養殖の振興を計画し、海面養殖が進展する可能性がある。しかし、環境団体が養殖や放流を批判しているため、技術革新の阻害要因となる恐れがある。

欧州では、水産資源管理に関しては、従来から充実した基礎研究が存在する中で、現在もノルウェーを中心に漁業が盛んな国々があり、研究の水準は高い。漁具漁法の研究からより環境保全型漁業の研究に力点が移りつつある。ノルウェーのタラの放流研究 [16]、デンマークのターボットの放流研究実績など世界最先端の実績がある。大西洋サケを中心とする養殖魚の生態系への逃避の遺伝的影響が研究されている。イギリスで種苗放流を資源の保全管理のためのツールとして前向きに考える動きが出ている [17] ことが注目される。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り、豊富な資源を利用して小型魚や希少種を守るための持続可能な漁業の技術革新が盛んに行われ、漁業自体の増産に成功している。放流個体の権益確保を保障する新しい法体系を整備したこともあり、ホタテガイ、ヨーロッパアンロブスターの放流事業を推進している。

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。

沿岸環境管理については、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、北海、バルト海に面した他の国も波浪発電、潮汐発電、洋上風力発電等の研究を進めている。これらの発電は民間においても研究開発も盛んで、商業規模での生産が行われている。

中国では、生態系管理、沿岸環境管理については、ほとんど見るべき研究技術がない。水産資源管理に関しては、従来、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する傾向にあり、研究水準の維持は困難となる可能性がある。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、欧米や日本の後追いによって、漁獲効率の良い漁具漁法の技術開発が重視されている。種苗放流研究事例はコウライエビに限られる

が、今後、種苗放流を積極的に推進すると予測される。漁具資材メーカーのターゲットも、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低下の懸念がある。種苗生産については、日本から技術指導が行われており、高い種苗生産技術力を有し、コウライエビ、ヒラメ、ガザミ、チュウゴクモクズガニなどを生産している。生産指向で、生態系への考慮は殆ど見られない。

韓国では、生態系管理に関しては、国際水準の研究技術開発は知られていない。

沿岸環境管理に関しては、数年前より海洋開発分野の研究開発国家予算が大幅に増額され、大学、国立研究機関、民間での研究が伸びつつある。日本と同様、造船業など重工業は世界最先端の技術力を今後とも維持すると予想できる。水産資源管理に関しては、種苗放流研究事例は殆どないが、ヒラメ、クロソイなどの種苗生産技術を有している。今後も種苗放流を本格的に実施する予定はないと思われる。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少ない。民間技術では、漁具における生分解性素材の利用など日本よりも進んでいるものもある。

<参考文献>

- [1] Omori M (2006) Success of mass culture of Acropora corals from egg to colony in open water. Coral Reefs 24 : 563
- [2] 自然環境保全基礎調査 http://www.biodic.go.jp/kiso/34/34_higat.html
- [3] 自然再生事業指針 <http://www.esj.ne.jp/hozen/EMCreport05j.html>
- [4] 日本水産学会シンポジウム <http://risk.kan.ynu.ac.jp/matsuda/2007/070928JSFS.html>
- [5] セイリング型洋上風力発電 <http://web.nies.go.jp/event/kaigi/20071010/download.html>
- [6] 佐賀大学工学部附属施設 <http://www.se.saga-u.ac.jp/rigaku/kaiyou/kaiyou2.html>
- [7] WWF ジャパン <http://www.wwf.or.jp/activity/marine/sus-use/tuna/problem/bycatch.htm>
- [8] IUCN 報告書 http://www.iucn.org/themes/marine/pdf/Gianni_HS-BottomTrawling_ExecSumm.pdf
- [9] 日本水産学会シンポジウム <http://risk.kan.ynu.ac.jp/matsuda/2007/070928JSFS.html>
- [10] 鳥取県水産試験場 <http://www.sakaiminato.com/site/page/new/news/200405/kurage/>
- [11] Ransom Myers 教授 (カナダ) <http://fish.dal.ca/~myers/welcome.html>
- [12] <http://www.reefball.org/>
- [13] <http://www.tsukio.com/denki3.html>
- [14] 波力発電の現状 <http://www.glocom.ac.jp/eco/esena/resource/hirose/>
- [15] http://salmon.fra.affrc.go.jp/kankobutu/salmon/salmon12_p09-10.pdf
- [16] <http://www.wwf.or.jp/activity/marine/sus-use/fish/salmon.htm>
- [17] <http://tnfri.fra.affrc.go.jp/tnf/news24/uki.htm>

海洋管理・再生技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	◎	↘	海洋温度差発電（佐賀大学）は世界最高水準で今後も成長株。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。藻場サンゴ礁生態研究は漸く国際プロジェクトと連携し始め、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。
	技術開発水準	○	→	自然再生推進法・海洋基本法を契機として生態学会、沿岸域学会、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 ₂ 排出抑制政策が加速。環境省のサンゴ礁・藻場・干潟の詳細な継続調査と公開データベースは貴重だが利用した研究が不足。マグロ完全養殖、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く、知床世界遺産海域の取組みが注目される。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ている。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。ただし、エチゼンクラゲ対策のように活発な投資がなされる分野では今後期待できる。
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。太平洋サケの種苗放流の蓄積からサケ類の保全遺伝研究では世界の先端。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。自然環境、生態系の保護ならびに環境評価に関す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。環境に対する漁業の影響を明示した研究が進められている。
	技術開発水準	○	↗	米国でも放流事業の保全遺伝学の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。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	○	→	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。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、ヨーロッパアンブロ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くるなど、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。2010年に栽培漁業第4回国際シンポジウムを上海で開催。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、チュウゴクモクスガニ、ナマコなどを生産。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殆ど見られない。潮汐発電の実績はあるものの技術力は高くない。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。
<p>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。外来種問題としてバ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>				

(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]

(6) 外来種管理・駆除技術

日本では、外来種マツノザイセンチュウが松枯れの病原体であることが確認されたのは1970年代だが、外来生物法が施行されたのは2004年である。この事実が象徴するように、わが国における外来生物への行政的対応は、きわめて遅れた。その結果、外来種管理・駆除技術も、欧米に比べれば大きく立ち後れているのが現状である。

外来種の管理は、侵入前の監視・検疫と、侵入後の個体数管理・駆除に大別される。監視・検疫に関しては、ヒトの病原体を運ぶ蚊など、ごく一部の生物をのぞき、組織的な研究体制は皆無である。アジア諸国からさまざまな生物資材（日本からみれば侵略的外来種になる可能性がある）の輸入が増えている。また、中国と韓国は将来的な輸出増を念頭に生物資材の開発と日本への売り込みに熱心で、これは我が国の環境政策上脅威である。しかしながら、監視・検疫の基礎となる分類学研究の遅れは深刻である（特に昆虫・微生物）。

外来種対策としてもっとも有効であることが知られている「侵入予防」を実施するためのリスク評価は、海外での研究成果に依存している。リスク評価研究とそれに基づく危険種の侵入防止技術の体系的な開発が緊急課題である。各地の港周辺などで除草剤抵抗性遺伝子を持つ遺伝子組換えナタネが発見され、モニタリングが行われているが、定着・拡大リスクを適確に評価するための研究はきわめて不十分である。

侵入した外来種に関しては、国立環境研究所、農業環境技術研究所に外来生物関連データベースが開設されている。情報収集・発信は盛んに行われているが、データ解析は遅れている。分子遺伝マーカーによる侵入ルートの研究、侵略的外来種に関する生態リスク評価研究は盛んである。

侵入後の個体数管理・駆除に関しては、外来植物に対する生物防除技術の開発はほとんど取り組まれていない。除草剤を使用する化学防除技術は、農耕地の強害雑草を防除するために開発されたものを転用しているにすぎない。外来種と在来種間で選択性の高い除草剤など外来植物に特化した技術開発は遅れている。農林害虫に関しては薬剤および天敵農薬による防除技術の開発が盛んに進められているが、自然生態系管理に適用できる化学防除技術の開発は遅れている。集中的な研究開発投資が行なわれたマツノザイセンチュウ対策においてすら、散布時期の最適化や標的生物以外への影響緩和に関して、大きな課題を残している。魚類に関しては、個体群モデルにもとづく外来種駆除が成功しつつあるが、小規模水系での試行に限られている。

日本の産業界は、これまで外来生物を有効利用してきた伝統があり、外来生物法に対しても否定的な関係者が多く、産業としての技術力は低い。しかし、現在、自治体やNPOが主体となって外来生物の防除が盛んに取り組みされており、今後の発展が十分に期待される。

米国生態学会では、2005年までは発表の半数が何らかの形で外来生物に関係するほど研究が盛んに行われていた。2006年大会からは発表数が減少しているが、研究水準は世界のトップクラスであり、特に生物防除技術の開発が進んでいる。また、ウェブ上でのデータベース構築と情報共有化に関しては、世界を圧倒的にリードしている。たとえばIPM（Integrated Pest Management：総合的病害虫管理）に関してはオレゴン州立大学のサイト[1]

に情報があつめられている。外来種のウェブ上での地理情報化はジョージア大 [2] が指導的役割を担っている。

米国では大学や国立研究機関が、技術開発から実用化までをカバーしており、相対的に企業の技術開発は目立たない。除草剤・殺虫剤など薬剤の技術開発水準は、世界トップクラスであるが、特に外来植物に特化した選択性を高度化するような技術が開発されているわけではない。昆虫資材（特に天敵）の研究技術レベルは世界をリードしている。また農業以外の環境負荷が懸念される外来種に対しても組織的取り組みがなされている。化学薬品関連のサービスレベルは高いが、天敵や有用資材昆虫（マルハナなど）の開発力は欧州に抜かれている。

欧州では EU 統合後、欧州内の研究者交流が活発化し米国に匹敵する力をつけた。リスク評価研究などの侵入予防技術や早期発見警戒システムの開発が積極的に取り組まれている。政府研究機関による農業害虫や昆虫資材（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。また農業以外の環境負荷が懸念される外来種に対しても全欧協力の組織的取り組みがなされている。

英国では、外来植物の蔓延が深刻であるため、個別の種ごとに化学防除から生物防除まで幅広い技術が開発されている。特に天敵昆虫や有用昆虫の研究が盛んであり、生息域外からの導入にも積極的である。

米国と同様に、大学や国立研究機関と比べて企業の技術開発は目立たない。英国では、外来植物の蔓延が深刻であり、特定の外来植物の現場での防除に特化した企業も出現している（イタドリ駆除会社など）。

中国では、2003 年頃から政府主導で研究開発が推進されている。外来生物の全国調査に基づき、防除対象の侵略的外来種が選定され、防除活動も実施された。この防除には、除草剤と機械除草が利用された。この他に、生物防除技術の開発も研究されており、ブタクサハムシによるブタクサ類の防除が実施され、有効性が認められている。論文数も確実に増加している。ただし、侵入昆虫に対する意識はまだ低く、農林害虫の防除技術研究が先行している。徐々に日本や欧州の研究を追従する傾向があり、天敵農薬・生物資材の導入に高い関心が集まり始めている。生態リスク評価研究はほとんど進んでいない。産業化は遅れているが、政府が防除活動を積極的に推進しているので、今後、産業として成立する可能性は高い。

韓国では、韓国環境研究所（NIER：National Institute of Environmental Research）で外来植物種リストがウェブ上に公開されているものの、具体的な研究は少ない。諸外国に比べて、外来種による被害の実態報告が少ないことが背景にある。防除研究も、除草剤抵抗性雑草を中心とする雑草防除の域を出ていない。外来種による被害の実態報告が少ないため、技術開発も遅れている。逆に、有機農業が普及し、アイガモ農法に外来種の *Azolla* が導入されるなど、潜在的な外来種のリスクはむしろ増大している。国民の外来種の脅威に対する関心も低く、産業としての発展も期待できない。

<参考文献>

[1] http://www.ipmnet.org/IPM_Handbooks.htm

[2] <http://pick4.pick.uga.edu/nh/tx/INVASIVES/>

外来種管理・駆除技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↗	国立環境研究所、農業環境技術研究所、岡山大学資源生物科学研究所にデータベースが開設され、情報収集・発信が行われているが、データ解析は遅れている。最近いくつかのプロジェクト研究が推進され、リスク評価研究や分子マーカーによる侵入ルートの研究などは活発化してきたが、侵入防止技術・侵入後の管理技術の開発は遅れている。特に生物防除技術はほとんど研究されていない。また検疫の基盤となる分類学研究も遅れている。近年のトピックとしては、総合的害虫防除で知られているように個体数を減らす事だけに注力されていたが、現在ではGISやリモートセンシング技術を利用して侵入個体の分布を把握し、駆除方法を検討する空間明示的な防除技術開発の検討が始まっている。かつての薬剤バラマキに頼らない効率的技術として今後の発展が期待される。
	技術開発水準	○	↗	農業害虫や農業雑草に対する薬剤の開発では高い水準にあり、それを外来生物の防除に利用することが進展している。例えば、日本植物調節剤研究協会では除草剤を用いた化学防除を中心とする「外来植物の防除マニュアル」を公表した。しかし、外来種と在来種間での選択性の高い薬剤開発など技術の高度化は遅れている。在来天敵や有用資材昆虫（クロマルハナバチ）などの開発力はあるが、欧州の水準には達していない。
	産業技術力	×	↗	日本の産業界は、これまで外来生物を有効利用してきた伝統があり、外来生物法に対しても否定的な関係者が多く、産業としての技術力は低い。しかし、最近になって、地域性系統の在来植物の緑化用種子を供給したり、外来植物駆除工法を開発するなどの企業努力が見られるようになった。また、自治体やNPOが主体となって外来生物の防除が盛んに取り組みされており、今後の発展が期待される。
米国	研究水準	◎	↘	米国生態学会では、2005年までは発表の半数が何らかの形で外来生物に関係するほど研究が盛んに行われていた。2006年以降は発表数が減少しているものの、基礎研究・侵入防止・侵入後の管理の研究開発で世界を大きくリードしている。特に生物防除技術の開発が進んでいる。また、国際的なデータベースが充実しているだけでなく、誰でも利用できる公開性は特筆される。
	技術開発水準	○	→	大学や国立研究機関が、技術開発から実用化までをカバーしており、相対的に企業の技術開発は目立たない。薬剤の技術開発水準は、世界トップクラスであるが、特に外来生物に特化した選択性を高度化するような技術が開発されているわけではない。
	産業技術力	×	→	外来植物の防除に関しては、企業の生産活動というより、ボランティア活動による取り組みが盛んである。
欧州	研究水準	◎	→	EU統合後に欧州内の研究者交流が活発化し米国に匹敵する力をつけた。多国間連携により、リスク評価研究などの侵入予防技術や早期発見警戒システムの開発が積極的に取り組まれている。英国では、外来植物の蔓延が深刻であるため、個別の種ごとに化学防除から生物防除まで幅広い技術が開発されている。
	技術開発水準	○	→	米国と同様に、大学や国立研究機関と比べて企業の技術開発は目立たない。
	産業技術力	○	↗	英国では、外来植物の蔓延が深刻であり、特定の外来植物の現場での防除に特化した企業も出現している（イタドリ駆除会社など）。
中国	研究水準	○	↗	2003年頃から政府主導で研究開発が推進されている。外来生物の全国調査に基づき、防除対象の侵略的外来種が選定され、防除活動も実施された。この防除には、除草剤と機械除草が利用された。この他に、生物防除技術の開発も研究されており、ブタクサハムシによるブタクサ類の防除が実施され、有効性が認められている。論文数も確実に増加している。
	技術開発水準	○	↗	現在のところ、防除技術は欧米の技術を移転しているにすぎない。しかし、外来植物を有効利用（キノコ栽培、バイオ燃料、コンポストなど）することで防除しようというユニークな取り組みも検討され、ポテンシャルは高い。
	産業技術力	×	→	まだ具体的な産業は立ち上がっていないが、政府が防除活動を積極的に推進しているので、今後、産業として成立する可能性は高い。
韓国	研究水準	△	→	韓国環境研究所（NIER）で外来植物種リストがウェブ上に公開されているものの、具体的な研究は少ない。諸外国に比べて、外来種による被害の実態報告が少ないことが背景にある。防除研究も、除草剤抵抗性雑草を中心とする雑草防除の域を出ていない。
	技術開発水準	×	→	外来種による被害の実態報告が少ないため、技術開発も遅れている。逆に、有機農業が普及し、アイガモ農法に外来種のAzollaが導入されるなど、潜在的な外来種のリスクはむしろ増大している。
	産業技術力	×	→	国民の外来種の脅威に対する関心も低く、産業としての発展も期待できない。

全体コメント：外来生物の管理・駆除技術は、いずれの国においても大学や国立研究機関が中心となって研究と技術開発が行われており、企業の技術開発や産業の発展は利益に直接結びつけにくい分野であるがゆえに遅れている。わが国では、外来生物法の施行を受けて、一部の企業が技術開発に着手しているものの未だ数は少ない。その背景として、欧米で見られるような外来生物による産業への直接被害が比較的になく、むしろ外来生物を盛んに利用してきた産業の体質が研究開発の障壁になっている。研究開発目標を明確にし、それを実現するための戦略的な取り組みを推進することが望まれる。特に、海外では水生植物の異常繁茂に対する有用昆虫の利用などが始まっており、在来の生態系システムを積極的に活用した防除技術を含めて、外来種対策としてもっとも有効な侵入防止技術の体系的な開発が緊急課題である。

(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]

(7) 野生動物管理・復帰技術

日本では、野生動物管理に関する研究は一部の大学、公設研究機関、森林総合研究所で実施されているが、短期的な研究に留まり欧米に大きな後れを取っている。そのなかで、北海道のエゾシカ管理では順応的管理が実施され、個体数推定法の改善や将来予測技術の開発が行われており [1]、理論と実践が統合した管理として世界的にも高い水準にある。国立極地研究所では、小型のデジタルデータロガーを開発し各種のセンサーを使って、海洋生物の潜水行動の解析を行って国際的な成果を上げている [2]。野生復帰の実例はコウノトリの1例に過ぎず、トキやツシマヤマネコが飼育下で人工繁殖が進められているのに留まり、研究蓄積に乏しく、中国や韓国にも後れを取っている。日本ではラジオテレメトリーは電波法の関係で小電力の電波発信器しか用いることができず、技術開発と研究の障害となっている。日本で潜在的に技術開発力が乏しい理由は、野生動物管理が資金的に余裕のない地方自治体にゆだねられていること、管理を支える基礎的研究に資金投下がなされずに、即効の被害防除技術を求めること、米国で見られるような国立研究機関や大学と地方自治体の連携がないことなどがあげられる。すなわち未発達な野生動物管理システムに由来していることが上げられる。

米国では、USGS (U.S. Geological Survey) が主導した GAP プロジェクトによって、全米規模の普通種の分布と保全状態のデータベース開発が行われ、これをもとに HIS モデル関連の数多くの論文が生産された。GIS では ESRI 社が世界に流通する主要製品を製造し、拡張ソフトの開発も行われている。テレメトリー (VHF、GPS) では米国 (カナダ) が世界の技術開発の中心であり、関連する生態学・個体群解析ソフトウェアの開発は大学と民間において進められている。狩猟獣の管理は州の Fish and Game が担当し、USGS が生物学的な研究を進めており、これらの機関は数多くの研究者を抱えるとともに、プロジェクトリーダーを州立大学に派遣して大学と連携しながら野生動物研究を実施しており、潜在的な技術力の蓄積が大学でなされている。多様なニーズに基づいて技術開発の層が厚く、世界をリードしている [3]。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、たとえばカルフォルニアコンドル、ハヤブサ、クロアシイタチの場合には、捕獲、飼育、モニタリング、野外復帰の各計画にそれぞれ数百万ドルの費用をかけており、豊富な技術的な蓄積がある [4]。

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、電波発信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]。データ蓄積型の GPS 首輪からの確実なデータ取得は、首輪を遠隔操作によって物理的に脱落させる drop-off 装置によって行うが、現時点ではスウェーデンの Telvilt 社 [6] の製品が最も信頼性が高い。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 [7]。

中国では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。重要な大学と研究機関には野生生物保護研究センター等が設置され、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 [8]。世界的に注目された動物種、例えばジャイアントパンダやトキやアムールトラなどでは進展がみられるが、その他の絶滅危惧種については、野生復帰の研究はかなり遅れている。野生動物管理研究では初期的な段階にあり、日本に後れを取っている。

韓国ではトラ、ヒョウ、クマ類、オオカミ、キツネなどの野生動物の多くがすでに絶滅しているか絶滅が危惧されており、ソウル大学には Korea Wildlife Conservation Center が設置され、繁殖・生態・遺伝などの研究が実施されている [9]。またソウル大学には Conservation Genome Resource Bank for Korean が設置され、野生動物の遺伝子資源の保全の推進に力が注がれている [10]。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い。野生動物管理研究は研究者層が薄く、萌芽的な段階にあり、日本と中国に大きく後れを取っている。

<参考文献>

- [1] 哺乳類科学第 47 巻 1 号 2007 年 6 月号
- [2] <http://polaris.nipr.ac.jp/~penguin/oogataHP/index.html>
- [3] <http://fwie.fw.vt.edu/tws-gis/wwwsrce.htm>
- [4] <http://www.fws.gov/endangered/>
- [5] <http://www.bearproject.info/english/bearproject.php>
- [6] <http://www.televilt.se/page.asp?id=484>
- [7] 磯崎博司・羽山伸一 (2005) 欧州における生態系の保全と再生 環境と公害. 34 (41): 15-20.
- [8] http://japanese.china.org.cn/environment/txt/2005-08/19/content_2190793.htm
- [9] http://vet.snu.ac.kr/eng/se10_re/se10_re_e/se10_re_e.jsp
- [10] http://www.cgrb.org/index_e.htm

野生動物管理・復帰技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	↗	個体群管理の分野で、エゾシカ管理計画は非正常性と不確実性を考慮した順応的管理として世界的にも高い水準にある。小型データロガーを利用した海洋動物の生態・行動研究は世界をリードしている。個体群や生息地解析では欧米に、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。2008年9月に佐渡で10羽のトキが試験放鳥され、今後の成果が待たれている。
	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、Argoss）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	◎	↗	普通種については全米を対象としたGAPプロジェクトによって野生動物のインベントリーと保護区の関連分析が行われ、世界のGAP分析をリードした。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。また野生動物の個体群解析、行動解析コンピュータソフトの開発が進行している。
	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。
欧州	研究水準	○	→	スカンジナビアはヒグマの生態研究と管理で米国よりも優位にある。野生復帰では現在までにオオカミ、クマ、リンクスなど10種の絶滅危惧種について再導入計画を含めた保全行動計画が策定されている。
	技術開発水準	○	→	Telvelt社はNokiaと技術提携することによって、小型軽量の首輪型GPS発信器の開発に成功し、とりわけGPS首輪のドロップオフ機能が優れている。
	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。重要な大学と研究機関には野生生物保護研究センター等が設置され、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、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。とりわけトキについては基礎と応用の研究蓄積が豊富である。
	産業技術力	△	→	テレメトリー技術（GPS、Argoss）や地理情報システム（GIS）は海外技術に依存している。技術開発能力は乏しい。
韓国	研究水準	△	↗	国家的な施策もあり、絶滅種の野生復帰が事業として計画されている。ソウル大学にはKorea Wildlife Conservation Centerが設置され、関連研究や遺伝子資源保存の推進に力が注がれている。また、環境省管轄の国立生物資源研究所（ http://www.nibr.go.kr/ ）が2007年10月に開設され、さらに智異山国立公園では国立公園管理公團による種復元センター（Species Restoration Center）がツキノワグマの再導入計画を2004年から実施して、膨大な予算の投資を本気で開始している。しかし韓国には哺乳類学会が存在しない。
	技術開発水準	△	↗	上記の方針に伴い技術向上にも力が注がれ将来性は期待できるが、現状では発展段階にある。
	産業技術力	X	→	野生復帰技術では、米欧中国に次いで力を注いでいるがまだ産業技術にはいたっていない。
<p>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製品の商品化は発展途上にある。野生動物復帰技術に関し、米国が最先端にあり、欧州、中国、韓国の順に次いでおり、日本が一番遅れている。米国が総合力でぬきんでおり、欧州が次いでいる。中国や韓国の総合力は野生動物研究の歴史が浅いため、日本よりは遅れているが、野生動物の復帰に関しては国家的な事業として大規模に取り組みされており、日本よりも先行している。</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】

(8) 野生動物感染症評価・管理技術

人間が熱帯林に代表される自然生態系を大規模に開発し、原始的な自然と人間の活動地域との接触をひろげる過程で、野生動物の病原体が人間に感染し、新興感染症が増加している。一方で、人間と商品の移動が国際化し、さまざまな微生物が人間や商品とともに移動し、世界的に拡散していると考えられる。したがって、野生動物の感染症の評価、および人間をとりまくさまざまな微生物の動態の評価は、生態系管理の点でも、また人間の健康維持の点でも、重要性・緊急性の高い課題となっている。

日本は、ウイルス学をふくむ微生物研究全般においては、米・欧に比肩する技術力を持っている。しかし、獣医学系の研究は、家畜やペットに偏っているため、野生動物の感染症に関する研究は、米・欧・オーストラリアなどに比べ、大きく立ち後れている。日本人の生活環境に隣接して棲息しているニホンザルの感染症についてすら、組織的な研究は行なわれていない。鳥インフルエンザ問題が浮上して以後、この問題に限定して、研究費の配分が実施されているが、生態系における感染症の流行というテーマを重要課題と位置づけて、体系的に取り組む体制にはない。

米国では、ライム病など、野生動物が媒介する深刻な病気があり、また国立公園などに学位を持つレインジャーが多数いて、野生動物の健康管理に対する調査研究のニーズがある。NSF (National Science Foundation) は、Ecology of Infectious Disease という助成枠を設けて組織的・戦略的な研究開発投資を行なっている。また NIH (National Institutes of Health) は、シカなどの野生哺乳類における新型プリオン病 (chronic wasting disease (CWD) : 慢性消耗病) の感染動態の研究に組織的な投資を行なっている。このため、野生動物感染症評価・管理技術に関して、米国は圧倒的な優位性を確立している。病原体の単離・同定技術、病原体の分子進化学的解析と進化予測、野生動物集団における病原体の動態研究技術、新興感染症流行のリスク評価、Google Earth 上のマークアップ技術、微生物のメタゲノム解析など、ほぼ全分野で世界をリードしている。また、民間基金によって設立された The Consortium for Conservation Medicine が、鳥インフルエンザ、SARS、サカゲツボカビ病、西ナイルウイルス、ニパウイルスなど主要な野生動物感染症の世界的サーベイランスを展開している。

欧州では、Med-Vet-Net (European Network of Excellence for Zoonoses research) が組織され、人畜共通感染症 (Zoonoses) に対する連携した研究を推進している。しかし、牧畜がさかんな一方で、野生動物が少ないため、研究技術開発は日本と同様に家畜に偏っている。鳥インフルエンザに関しては、渡り鳥によるアフリカや欧州への H5N1 の侵入が繰り返し生じていることを明らかにし、流行の防止にむけて組織的な研究が行われている。

中国は、SARS の病原体コロナウイルスの野生動物集団における検出や、鳥インフルエンザウイルス H5N1 のガン・カモ類の渡りによる長距離分散の実証において大きな貢献をした。SARS の病原体コロナウイルスの全ゲノム配列決定はカナダの研究グループが行ったが、コッホの 3 原則による病原体の特定は、欧州と中国の共同研究チームが行った。欧・米・シンガポールなどとの共同研究により研究水準は急速に向上している。また、パンダ・トキなど、多くの希

少野生動物が生息していることから、野生動物の研究に対して戦略的な投資が行なわれており、今後も引き続き、研究水準は急速に高まると予想される。

韓国では、鳥インフルエンザのサーベイランス以外には、特に目立った研究展開が見られない。

野生動物感染症評価・管理技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	△	→	病原体の分析技術は高く、鳥インフルエンザウイルス H5N1 の薬剤抵抗性系統をベトナムではじめて確認するなどの成果をあげた。しかし、野生動物集団における病原体の動態研究技術は大きく立ち後れている。また、微生物のメタゲノム解析に関しても、人に感染するものを除けば大きく立ち後れている。
	技術開発水準	×	-	企業における技術開発はほぼ皆無である。
	産業技術力			
米国	研究水準	◎	↗	病原体の分析技術、病原体の分子進化的解析と進化予測、野生動物集団における病原体の動態研究技術、新興感染症流行のリスク評価、Google Earth 上のマークアップ技術、微生物のメタゲノム解析など、ほぼ全分野で世界をリードしている。
	技術開発水準	◎	↗	民間基金によって設立された The Consortium for Conservation Medicine が、鳥インフルエンザ、SARS、サカゲツボカビ病など主要な野生動物感染症の世界的サーベイランスを展開している。
	産業技術力			
欧州	研究水準	○	→	鳥インフルエンザの研究はさかんだが、他の野生動物感染症の研究では米国がリードしている。病原体の分子進化的解析、野生動物集団における病原体の動態研究、微生物のメタゲノム解析など、基幹技術において米国の後塵を拝している。
	技術開発水準	×	-	企業における技術開発はほぼ皆無である。
	産業技術力			
中国	研究水準	△	↗	SARS の病原体コロナウイルスの野生動物集団における検出や、鳥インフルエンザウイルス H5N1 のガン・カモ類の渡りによる長距離分散の実証において大きな貢献をした。米国との共同研究により研究水準は急速に向上している。
	技術開発水準	×	-	企業における技術開発はほぼ皆無である。
	産業技術力			
韓国	研究水準	△	→	鳥インフルエンザのサーベイランス以外には、特に目立った研究展開が見られない。
	技術開発水準	×	-	企業における技術開発はほぼ皆無である。
	産業技術力			
<p>全体コメント：病原体の分子進化的解析、野生動物集団における病原体の動態研究、微生物のメタゲノム解析などの基幹技術において米国が圧倒的に優位であり、さらに病原体の進化予測、新興感染症流行のリスク評価、Google Earth 上のマークアップ技術などの革新的研究分野は米国の独壇場である。また、全世界のサーベイランスデータを集約する情報力の点でも、米国が圧倒的に強い。中国は、米国との共同研究を通じて急速に研究水準をあげている。</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]

3 注目すべき研究開発の動向

3.1 地球温暖化分野

(1) 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。また、長期的には藻類からのバイオ燃料製造も有望と考えられ、効率のよい株の探索、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、またブームとなりそうな気配があるが、今回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、消費者の受容性という社会インフラ整備を試すことになる。この危険を回避するために、現行のハイブリッド車の延長線上のプラグインHV車も開発されている。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。

(1) 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。わが国でも、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。

(2) 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。わが国でも既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。

(3) 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。

(4) 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、わが国において、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、わが国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。

(5) 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、わが国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わが国では進められている。

また、家庭用の潜熱回収型給湯器もわが国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]。

<参考文献>

[1] http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/04d1_j.html

(6) 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。わが国では、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、CO₂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CO₂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。

(7) BEMS、HEMS

BEMSはBuilding Energy and Environment Management System、HEMSはHousing Energy and Environment Management Systemのことである。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。

(8) REDD

REDDとは、途上国における森林減少および森林劣化による排出の削減（Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Developing countries）のことである。森林分野では、これまで、先進国の森林による二酸化炭素の吸収増加とそのため技術開発が注目されていた。しかしながら、第4次IPCC報告により途上国の森林減少・劣化による二酸化炭素排出が排出量全体の20%を占めること、その排出削減ポテンシャルが森林分野の過半数に達することが明らかとなったことから、近年、森林減少・劣化による排出の削減が緩和策として注目が集まっている。また、気候変動枠組条約第13回締約国会議（COP13）では、REDDが主要な議題となり、2013年以降の次期枠組みに向け、その制度構築が大きな国際議論となっている。

しかし、REDD制度に不可欠となる森林減少・劣化による排出量推定に関わる技術については、個別技術はすでに開発されてはいるものの、国や地域といった広域レベルで実行するにはまだ完成に至っていないという現状がある。そのため、リモートセンシングを用いた森林減少・劣化による排出量の推定技術に大きな期待が注がれ、特に欧州はREDD制度の推進に積極的であることもあり、技術開発も一歩進んでいる。日本においても欧州と連携を取りながら研究開発が行われているが、その規模や途上国の巻き込みという点からすると欧州に及んでいないのが実状である。

さらに、それらの技術は途上国で実行される必要があることから、途上国へ

の技術移転も国際的な関心事であるが、この技術移転という点についても欧州が率先しているのが現状である。

日本は、東南アジアを主体とする途上国の森林についての知見・経験が深く、同時に高いリモートセンシング技術を持つ。したがって、REDDに関わる技術開発と技術移転のポテンシャルは高いものがあるので、今後の取り組みの推進が期待される。

(9) IGCC、IGFC

IGCCとは、Integrated Gasification Combined Cycle、IGFCとは、Integrated Gasification Fuel Cellのことである。主に、石炭をガス化し、高効率の発電サイクルを組み合わせることで従来高効率のシステムを構築できる。ガス化工程で発生する排ガスは、比較的高濃度のCO₂を含有すること、また圧力を有することから、CO₂を分離することが用意であるとされ、将来的なCCSとの融和性を高める上でも期待されている技術であり、現在技術開発が推進されている。さらに、ガス化工程により、従来利用の困難であった比較的低質の炭種も利用できることから、資源制約にも対応できる利点を持つ。米国では、酸素を用いたシステムが中心であるが、酸素分離にかかるエネルギーとの兼ね合いが指摘される。我が国では、空気を用いたシステムの開発が推進されているが、実用化に関しては2030年以降になるものと思われる。

(10) CO₂ 海洋隔離技術

現在主流となっている貯留技術は、ガスや石油の増進回収の利用や廃ガス田や廃油田、塩水帯水層を利用する地中貯留技術が主流となっている。IPCCの報告によれば、その技術的ポテンシャルは2兆トンを超えるとされ、我が国の貯留ポテンシャルも最大で1000億トンを超えたとの試算もあるが、大量排出源と貯留サイトのマッチングも含めた経済的ポテンシャルは必ずしも大きくないとの指摘もある。海洋隔離技術には、3000m以深の深海底に液体状態で貯留するものと、海洋の大きなCO₂吸収能力を活用し人為的に溶解希釈するものに大別される。我が国は、周辺を海洋に取り囲まれた海洋国であり、大量排出源も沿岸地域に集中していることから期待される技術である。途上国においても、その地質構造の特性から地中貯留が必ずしも適用可能ではなく、海洋が利用できることで比較的汎用性を持つ温暖化対策となる可能性がある。海洋中でのCO₂の挙動や生物・環境等への影響の評価や海洋に関する国際的な枠組みとの整合性確保、社会的受容性の確保など検討課題は多いが、希釈・溶解させる技術についての見通しは立ちつつあり、将来を見据えた検討の継続が必要な課題といえる。

(11) CO₂ 膜分離

商業化レベルにあるアミン系吸収剤によるシステムは、CCS全体の半分以上のコスト要因となっている。膜分離技術は、加圧、あるいは減圧といった推進力は必要となるものの、加熱、冷却のサイクルを必要とする吸収式プロセスよりも効率的になる可能性がある。IGCCなどのプロセスが実用化された場合、

排ガスに圧力を有することから、組み合わせることで相互に優位性を示すことが期待される。我が国で開発されている、分子ゲート膜など世界的にもトップレベルにある技術もあるが、今後の実用化に向けた開発の加速がされることを望む。

3.2 環境汚染・破壊分野

(1) 自動車の省エネルギー技術・代替燃料

長期的にエネルギー価格の上昇が見込まれることに加え、地球温暖化対策の観点から、電気自動車やハイブリッド自動車等の省エネルギー技術やバイオ燃料などの石化代替燃料に対する関心が高い。

従来の延長線上の技術としては、車両の小型、軽量化、効率の高いエンジンや動力伝達システム開発、クリーンディーゼル車の開発などが、主なものである。これらの技術は、日米欧の先進国では、既に、最新技術を採用した車両が市場に投入されはじめている。

バイオ燃料については、食料との競合などの問題点が指摘されたため、食物にならない植物や廃棄物等から製造できる燃料の開発に研究の方向が変化している。

大幅なエネルギー削減を行うためには、電気駆動系を採用した車両が必須であると考えられており、我が国が先行して開発したエンジン・電気ハイブリッド車を始め、商用電力による充電機能を搭載したプラグインハイブリッド車やバッテリー電気自動車、燃料電池車などの開発が精力的に実施されている。長期的には、電気自動車や燃料電池車が有力であり、現時点でもリチウムイオン電池などの実用レベルの電池が開発されているが、コストや安全性等の問題が残されており、普及をはかるためには、高性能でコストの低い電池の開発が鍵となるであろう。燃料電池車については、コストに加えて、水素などの燃料供給インフラの整備など、多くの課題が残されている。

(2) フロン類回収、分解・無害化対策技術

フロン類の対策技術のうち、冷媒用のフロン類の回収技術と分解・無害化技術には、いずれの国でも原理的に新しい発展はあまりないと思われるが、日本の技術を途上国などに普及する努力が始まっている点、および断熱材用のフロン類やエッチング用・絶縁用等のPFC類、および消火用のハロンなどについての回収技術や分解・無害化技術については、日本や欧米で新しい技術の開発が進められつつある点は、オゾン層保護と同時に、地球温暖化防止への社会的要請が強まる中で注目される。特に、2008年度には日本で液体PFCの分解実験が行われ、近くPFC破壊ガイドラインが策定される予定である。また、冷媒フロンの漏洩削減を進めるために、冷凍空調設備業界を主とした自主的な評価・認定組織が結成されたことも注目される。さらに、冷媒や断熱材については、アンモニア、炭化水素、水などを用いるノンフロン化技術が進んでおり、消火剤も環境中で分解しやすい代替消火剤の開発が進められている点も注目される。

(3) 大気汚染物質：微量物質の抑制

大気汚染物質として、これまでは粒子状物質、SO_x、NO_xの対策が進められてきたが、近年、特にアメリカなどで注目されている水銀等の微量物質の抑制が検討され始めている。微量物質については、実際の環境影響が充分には解明されていない上に、そのプラント内での挙動も完全には把握されていないが、

排出を抑制するための技術開発が進められている。微量物質は、ガス状で存在するもの、粒子状物質に含有されるものなど、様々な形態を取り、その形態により様々な経路から排出される。わが国では、既設の大気汚染対策装置で微量物質の除去も期待できるため、まずプラント内挙動を解明すると共に、最も排出を抑制できるプラント操作条件の検討が行われている。その一方で、海外の大気汚染対策装置が完備していないプラント向けに新たな水銀除去装置の開発なども行われている。水銀の除去装置についてはアメリカなどでも開発が進められており、今後、動向を注目すべき技術と考えられる。また、他の微量物質についても徐々に注目が集まりつつあり、測定法の開発などが進められている。

(4) 下水再生水の都市用利用

最近目立つ動向として、地球温暖化による水資源賦存量の変化に対応するための都市用水の確保に下水再生水の利用がある。これまでの再利用の多くは、世界的には農業利用であったが、今注目されているのは都市用水利用である。

世界の中では、下水再生水を飲料水利用に直接使った例として、アフリカのナミビアが唯一の例であり、都市では雑用水利用に限定されていた。しかし、近年、間接的な飲料水利用に踏み切る例が複数で始めている。

①米国西部

水資源に乏しい、1970年代にカリフォルニア州オレンジ郡でRO(Reverse Osmosis)を用いた再生水の地下水の直接注入がWater Factory 21として行われた。その後、カリフォルニア、アリゾナ、テキサスでは、間接的に下水再生水を地下水の涵養のためにも使い始めている。

②シンガポール

マレーシアから水資源を購入していたが、21世紀に入り、国家安全保障などの視点から、RO処理した下水再生水を、直接水道の貯水池に利用を始めた。

③オーストラリア

気候変動のため、大干ばつが続いており、ブリスベン、パースでは、ROを用いた再生水の地下水への涵養後の飲料水利用が行われようとしている。

④ベルギー

21世紀になってから、都市の発展と地下水位の低下のため、フランドル地方ではROを用いた再生水を地表面から地下水へ涵養し、飲料水利用が行われている。

⑤英国

東部のエッセクス地方では、降水量の低下と都市人口の増加のため、これまで海にバイパス放流していた下水処理水を窒素リン除去し、処理場近くの小河川に還元し、すぐ下流で飲料水の原水として取水するプロジェクトが21世紀に入り、実運用されている。またロンドンでも、上下水道会社のThames Waterが処理水を飲料水の新たな水源としての活用のための研究開発中である。

(5) 資源回収型排水処理技術

排水を処理して規制値以下の水質として放流するだけではなく、水そのものを回収、あるいは、排水中の有用物質を回収しようとするものである。

水回収は、古くから検討されてきているが、有用物質回収の研究開発や実用化は、比較的新しいものであり、日本での研究や実用化が進んでいる分野と言える。資源回収型排水処理を行うためには、排水の分別収集等を行うことにより、他の物質の混在を少なくすることが一つのポイントであり、もう一つの要素は回収技術そのものの開発となる。

一つのポイントである排水の分別については、まずは発生源での分別を行い、その後必要に応じて、同じ処理特性を有する排水を混合して処理を行うこととなる。

個別の要素技術としては、有機性排水からの水回収においては、MBR (Membrane Bio-Reactor) 法の採用が急速に増加しており、雑用水などに再利用されている。また、MBRの後段にRO膜処理を設けることにより、水中の塩類濃度の低減し、純水原水への回収なども行われている。フッ素やリンの回収においては晶析技術が適用され、現像液の回収には「膜分離＋イオン交換樹脂」などのシステムが用いられている。

なお、資源回収型排水処理技術の適用においては、コストとともに環境負荷も考慮する必要がある。回収技術の適用における炭酸ガス発生量の増加なども考慮に入れて、回収システムや回収率を決定することが重要である。

(6) 水ビジネスの国策的な展開

自民党の特命委員会「水の安全保障研究会」で設立が検討され、「水の安全保障戦略機構」や「チーム水・日本」の設置がなされてきており、国会議員、産学の有識者や、官のOBなどから構成される分野横断型の政策提言が可能な状況になりつつある。

また、産業界でも世界の水問題解決に向け、技術・ノウハウを結集して、日本の優れた水環境関連技術を活かし、水ビジネスを輸出産業とするための基盤づくりを目的として、「有限責任事業組合海外水循環システム協議会」が2009年1月に設立された。

(7) 国内最大の膜ろ過施設

横浜市水道局がPFI事業 (Private Finance Initiative: 民間資金等活用事業) として実施する川井浄水場の再整備事業は、今後の浄水場の膜ろ過施設による更新における重要な試金石となるものと思われる。メタウォーターを代表企業とするグループからの提案内容が、「技術面、事業面のバランスの良さ、先進性、独自性の面で評価に値する」と講評されている。

(8) 「e-Pipe プロジェクト」

水道技術研究センターにおける研究プロジェクトとして、1) 管路の機能劣化予測及び管路施設のハザードマップ、2) 管路施設のライフサイクルアセスメント (LCA) 及び事業者・市民に対する事業・更新PR手法についての研究成果を目指している。

(9) 気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント

気候変動等の水資源に対する新たな不安定要因が加わる中で、水利用の安定性を確保するために、「需要側と供給側の両方からの、総合的な水資源管理」のあり方を検討することを目的として、「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方研究会」（国土交通省土地・水資源局水資源部長の私的研究会）が設置され、2008年5月に、「中間とりまとめ」が出された。

(10) 土地利用、地下水利用のリスク管理

土壌・地下水汚染の修復には多額の経費がかかるため、世界的な傾向として効率的な浄化技術開発に加えて、土地利用や地下水利用に応じたリスク管理に重点を移しつつある。土地所有者が一義的に責任を負う米国ではブラウンフィールドが次第に増加し、その解決にリスク評価手法が活用されるようになった。

翻ってわが国では、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。2003年2月に施行された土壌汚染対策法は、汚染物質の存在を認識し、人への暴露経路を遮断することを前提にリスク管理の重要性を打ち出している。ところが、わが国では土地は最も価値の高い私有財産の一つである。そのため土壌汚染調査にしても、自治体の条例なども含めて法律に基づいた調査は実際には6%程度で、残り94%は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的な調査である。汚染対策にしても、経費はかかっても汚染状態を一気に解消できる土壌掘削処理が対策現場の90%程度で用いられている。

こうした現状にあって、土壌汚染対策法の趣旨をより明確にし、過度な経費負担を伴わない実効ある対策実施のため、2009年には土壌汚染対策法が改正される。主な改正内容は

- ①自主的調査を含めた調査機会の拡充、
- ②対策実施の有無を明確化した汚染区域の分類、
- ③汚染土壌の搬出が新たな土壌汚染を招かないための適切な処理、

などが骨子となる予定である。こうした法整備は、廉価で対策期間が短縮できる低負荷・低コストの原位置修復技術開発を加速することになる。

(11) 騒音技術

日本の騒音対策技術で注目すべきはアクティブノイズコントロール（Active Noise Control：ANC）である。同振幅逆位相の二次音を干渉させるものであり、自動車など移動音源にも有効である一方、メンテナンス、動力が必要である。低周波の場合、透過・回折の存在や距離減衰が困難という問題があったが、アクティブノイズコントロールの3次元空間への適用が行われた[1]。

<参考文献>

- [1] 渡邊祐子他（2007）ANCシステムの主観的効果とその評価手法に関する検討，電子情報通信学会技術研究報告．EA, 応用音響，107（26）1-6.

(12) 熱環境改善技術

日本では、熱環境改善に有効な緑化、空調機器の省エネ化、保水性舗装、地域冷暖房、水と緑のネットワーク化、「風の道」などの研究が盛んであり、研

研究者層も世界で最も厚い。スーパーコンピューターなどシミュレーション技術を駆使した評価ツール [1] の開発も先行している。また、基礎データの観測や評価・計算に必要な地理情報の整備もリモートセンシング技術とリンクして進められている。技術開発は研究に一步遅れているが、大手からベンチャーまでさまざまな技術開発が行われている。環境技術実証事業をはじめ、技術導入に際しての助成金の制度も充実してきた。

<参考文献>

[1] <http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm>.

(13) 環境アセスメント技術

環境アセスメントはアメリカにおいて 1969 年に世界で初めて国家環境政策法により制度化され、その後、世界各国で法的制度化が進められてきた。日本では環境影響評価法が制定 (1997 年) されて 10 年が経過し、国はもとより、地方自治体でも事業実施アセスメント (EIA: Environmental Impact Assessment) の制度も定着してきた。2005 年には、環境影響評価法の「基本的事項」の改正が行われ、現在、環境省では法の制定後 10 年目の見直し作業に着手し検討を続けている。

しかし、近年は、先進諸国においては、政策・構想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: Strategic Environmental Assessment) の導入が整備されてきた。90 年代にはこの SEA 制度が広がり、その後、アジア、東欧などに SEA 制度化の動きが波及し、2000 年以降は SEA の経験を蓄積してきた先進国や国際機関において SEA をより確かなものにするための取り組みが行われている。諸外国では SEA に対して複数案やノーアクションもあり、評価において環境面のみでなく社会・経済面での考慮や累積的影響や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 (学識者、環境部局等) の関与が行われることが多い。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、情報の電子化、を取り入れている国も多くある。日本では 2007 年 4 月に環境省より「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 (但し、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 4 月には国土交通省が「公共事業の構想段階における計画策定ガイドライン」を策定し、「生物多様性基本法」においても SEA が位置づけられた。今後は自治体で既に取り組んでいる、東京都、埼玉県、広島市、京都市、千葉県などと合せて、その他の自治体も検討へ取り組むものと思われる。今後は世界的には環境アセスメントの「実効性」「効率化」について、より確かなものにするために取り組みが行われるものと考えられる。

3.3 資源循環分野

(1) 容器包装プラスチックリサイクル技術

容器包装プラスチックでは、遮光やガスバリア性能を持たせるために塗装、アルミ蒸着、多層化が多用され、リサイクルの障害となっている。このような複合素材を有効に利用するための、超（亜）臨界水による分離技術や触媒などを利用したモノマー化技術、マテリアルリサイクル技術としての相溶化剤開発は今後も技術開発が必要である。また、マテリアルリサイクルと残渣の RPF (Refuse Paper & Plastic Fuel) 化や油化、油化と原油精製プロセス、ガス化と化学品製造プロセスなどの組み合わせによるシステム化技術が求められる。高炉還元剤化やコークス炉原料化、油化などにおいても、脱塩素技術やプラスチックの微粉化、プロセス運転の改良など、さらに高効率を目指す取り組みも続けられている。

容器包装プラスチックリサイクルでは、社会制度設計や社会受容性が技術開発や実用化に大きく影響する。また、分別を実行する消費者や回収を実行する行政に対する情報提供も重要となってくる。国際資源循環では、相手国の制度や経済状況からも大きな影響を受ける。このための社会科学や政策科学分野からの寄与も期待される。例えば、EU の Joint Research Center の環境サステナビリティ研究所では科学技術研究者を含めて環境政策研究を推進し、EU の政策決定に影響を与えている。社会からの信頼性を向上するためには、リサイクルルートやのト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品質管理や製品テストも求められる。

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。また、国際資源循環までを対象とした収集や分別、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研究も必要となる。

(2) 工業製品の再生プラスチック

家電製品ではプラスチックを再び家電製品に再使用する「水平型自己循環 (水平リサイクル)」が多くのメーカーで実施されるようになった。家電リサイクル法の見直しが審議された 2008 年 6 月の中央環境審議と産業構造審議会の第 3 回合同会合資料 2 では、家電リサイクルプラントで発生するプラスチックを表 1 に示すように分類した資料が提出された。

表 1 リサイクルで発生するプラスチックの分類

分類	処理、用途
最低品質	埋立処分
低品質熱回収	発電、燃料、焼却等
低品質リサイクル	擬木、パレット等の低品質再生プラスチック
中品質リサイクル	雑貨品等への中品質再生プラスチック
高品質水平リサイクル	家電製品から家電製品へ、同種の製品へ、同種の部品へ

この分類によって高品質な水平リサイクルを目的とした新たな再生プラスチックの研究テーマが生まれる可能性がある。

電気学会特集号 (IEEJ Journal, Vol.128, No.11, 2008) では家電関係のプラスチック自己循環の最新動向が紹介されている。この中でプラスチックの劣化を評価するための余寿命評価と寿命改善の事例が報告されている。リユースには欠かせない技術テーマでもあり、品質要求が厳しい日本の量産製品への適用事例であり注目される。急激な素材価格の低落によって企業の再生プラスチックへの期待と研究開発は急停止する可能性が高いが、このような基礎的な研究は継続されると期待したい。

環境のため、携帯電話やパソコン、家電製品で宣伝訴求が目立ち始めた植物由来プラスチックについては世界的な食糧不足の声に対し、一部のメーカーでは使用推進に懸念を示し始めている。塩ビについては回収と再生が日本でも進んではいるが、一部の環境保護団体 [1] での評価を期待して塩ビ追放を訴求する家電メーカーや、いまだにダイオキシンによる有毒性があるなど古い知識を報道するマスコミ (日本経済新聞 2008 年 10 月 21 日夕刊) がある。断熱効果の高い塩ビ製の窓サッシは環境省本庁舎でも採用され省エネ効果を高める有効手段として推進されている。

欧州では、OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) がバイオ燃料について 2008 年 7 月 16 日「食料価格を押し上げる副作用が大きい反面地球温暖化の防止効果は小さい」と報告しているが、バイオプラスチックに関する研究は欧州、米国から徐々に報告されている。

再生プラスチック自体の研究報告は、欧州米国ともに低調である。10 月以降の経済危機で再生プラスチックの需要動向も不透明である。

中国の再生プラスチックは研究よりも市場先行である。いわゆる 100 円ショップで販売されている中国製の三口タップやプラグ類には JET-PSE マークもあり材質も表示されていて再生プラスチックではない。

他方で、懐中電灯や安価な電気製品 (ハロゲンヒータ、カーボンヒータなど) では、明らかに再生プラスチックと思われる素性不明のプラスチックが使用されている。外観はメタリック塗装がされていて材質表示や PSE マークなどはない。食品が直接触れる電気冷蔵庫の内箱などに再生プラスチックは使用されていないようであるが実情は不明である。当然ながらバージンプラスチックと再生プラスチックとの価格比較によって製品への採用は決定される。

韓国、台湾でも素材価格が低下し、安価な再生プラスチックを生産販売するメリットが無くなってきた。タイの大手リサイクル工場では、日系企業から回収したプリント基板の端材を使用した軽量の再生プラスチックブロック建材が生産されている。安全基準などは不明であるが今後の動向が注目される。

<参考文献>

[1] http://images.businessweek.com/ss/07/11/1128_greenpeace/source/1.htm

(1) コンクリートリサイクル技術

コンクリートは無機物であるため有害な廃棄物との認識が無く、世界的にみても高度なリサイクル技術開発はほとんど行われていない。最終処分場の容量に余裕がある国では埋め立て処分される場合があり、リサイクルといっても、一般的には廃コンクリートを破碎して粒度を整えた後、盛土、埋立などの工事へ利用することや、路盤材や管工事などの充填材として用いられることがほとんどである。

また、世界的にみてもコンクリートが利用されだしてからやっと100年を超えた程度であるため、今後廃棄量の増大が見込まれ、路盤材等への利用だけでは処理が追いつかないことも予想される。よって、日本をはじめ欧州などにおいて、コンクリートから骨材だけを取り出す技術開発も行われてきている。これによって、天然のものと同等の品質の骨材が得られるため、コンクリート用骨材としてリサイクルしやすいものの、一方でセメント分を多く含んだ微粉が発生し、その処理に対する技術開発や用途開発について今後注目されていくと思われる。

このコンクリート微粉についての現状での技術開発の動向としては、我が国をはじめイギリスやオランダなどでセメント原料としてのリサイクルについて研究事例がある。しかし、利用の可能性があるとに言及したままで、実際にこの技術が確立されたとはいえない。我が国のセメント会社は、既に種類・量ともに多くの廃棄物を原料としており、新たな原料としてコンクリート微粉をリサイクルしていくためにはセメント会社の協力が不可欠である。

コンクリートのリサイクルとしては、将来的に廃棄量が増加してからの対応が問題であるが、既に技術開発は種々の方法が提案されており、用途開発を行うことがリサイクルを進める際の課題となっている。

(2) 固相リサイクル技術

不純物をそのまま取り込んだ固相状態で、主としてメカノケミカルな反応で組織の微細化や均一化をはかり、材質調整をおこなうことによって、リサイクル材特有の特性を持った素材を創生する技術。アルミニウム、マグネシウムなど比較的大量に用いる構造材料のリサイクル素材化として期待される。

(3) ロバスト組成設計技術

従来の材料設計では、材料特性は組成や微細構造に鋭敏に制御されていたのに対して、組成的、微細構造的に尤度をもって特性を発揮できるような材料設計の方法。リサイクルの観点からは不純物に対する過敏性をおさえ、プロセス的な負荷を低減できるものと期待される。

(4) レアメタルの需要増大

レアメタルは「産業のビタミン」とよばれ、今や豊かな社会には不可欠な金属元素となっている。レアメタルは、鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛などの汎用金属（汎用金属：ベースメタル）に対して用いられる生産量の少ない金属（希少金属）の総称であるが、その種類は多く、今日でもほとんど利用されていないものが多い。

新発見や新発明、技術革新による新たな需要の発現、さらには、社会構造の変化により、20年前にはほとんど需要が無かったレアメタル元素やその化合物の需要が急増し、短期間の間に巨大な市場を形成することが起こることがある。別の見方をすれば、20年後には、技術革新や代替材料の開発により、現在の用途が無くなるレアメタルも幾つかあると考えられる。

一例を挙げると、次世代の自動車は、電力で駆動するものが多くなるため、強力な高性能モーターの需要が増大する。このモーターには、ネオジム (Nd) やジスプロシウム (Dy) などのレアメタルを多量に使う強力磁石が不可欠である。希土類元素の一つであるネオジムは、約30年前に希土類合金を用いる磁石が発明されるまでは、ほとんど需要が無かった。また、ハイブリッド自動車や省エネタイプの高性能エアコンが量産されるまでは、この合金磁石の耐熱性を向上させるために添加されるジスプロシウムも需要も少なかった。いまでは、中国に偏在するジスプロシウムの供給源をめぐって、世界規模での資源争奪戦が繰り広げられており、また同時に、資源的に希少なジスプロシウムを使わない高性能磁石の研究開発も盛んに行われている。

将来、電気自動車が普及すると、その分、エンジンの排気ガスを無害化する触媒として不可欠な白金やロジウムなどの貴金属レアメタルの需要が減るであろう。しかし一方では、自動車排ガスの環境規制が世界的な規模で強化されると、逆にこれらの触媒用のレアメタルの需要は増大する。また、照明器具が白熱灯から別の省エネタイプの照明デバイスに変わると、テルビウム (Tb) などの蛍光体用のレアメタルの需要が増大する。このように、レアメタルの多くは、技術革新や産業構造・社会構造の変化に応じて、需要が大きく変動する特徴がある。

今後も技術革新が進み、自動車や航空機、ロボットの高性能化が一層進展することは間違いない。これらの高付加価値製品には、数多くのモーターやセンサー、制御装置が搭載され、多種多様のレアメタルが必要となる。現在は、世界的な経済不況によりレアメタルの需要は落ち込んでいるが、人々が豊かな生活を追い求める限り、長期的には、レアメタルの需要は飛躍的に増大するであろう。レアメタルの品位が高い良質な鉱山は、特定の国や地域に偏在するため、将来、高機能性品に不可欠なレアメタルを供給する“良質な資源”の争奪戦が展開されるであろう。

(5) 分離・選別リサイクル技術

先端的材料・製品には、レアメタル、レアアース、貴金属等の希少金属が多種多様に利用されている。これらの希少金属は、希少性、偏在性から将来、資源制約として大きな影響を及ぼすことが懸念されている。したがって、リサイクルが重要となるが、先端的材料・製品は複雑な形状・組成を有している一方、それに含有されているレアメタル等を循環利用するには、高品質なものとして再生する必要がある。そのためには分離選別をより精緻に行える技術の開発が喫緊の課題となっている。

例えば、比重選別は分離選別技術として非常に有用であるが、レアメタル等を対象にする場合には、非常に微細な粒子間での相互分離が必要となり、また、比重が近いものが多いことから、より精密に分離できる機構を開発する必要がある。現状では、まだ実用的な技術としての開発には至っていないが、レアメ

タル相互間の分離を目指す微粒子精密分離技術等の研究開発が開始されている。

同様に、白金族等の性質の近い元素を相互分離し再生するためには、いかにプロセスの効率を高めるかが重要である。物理的性質が良く似ていることから、白金族の元素毎の相互分離には溶媒抽出法等の化学的方法が有効であるが、その安定性及び抽出順序等のシステム等に関しては、今後改善の余地が大いにあり、新しい抽出剤の開発等、この分野でも新規なプロセスの開発を目指した研究が推進されつつある。

(6) 超臨界流体による洗浄技術

超臨界流体による洗浄技術開発により、洗浄廃水やその処理汚泥を削減に寄与することが期待できる。超臨界液体による洗浄は、液相と気相とが単一相になった流体（例えば二酸化炭素を相平衡にした状態）を用いることにより、界面のない流動性の高さにより高い洗浄性能を発揮すると共に、水を使用せず乾燥も不要となる。ゼロエミッションだけでなく、省エネルギーにもつながる技術として活用されることを期待できる。また、乾燥不要な高い洗浄性能が、使用済み部品の洗浄に有効である。

(7) DfE (Design for Environment、環境配慮設計)

2008年1月に中央環境審議会と産業構造審議会の合同会合で家電リサイクル法見直しの報告書[1]が公開された。審議の過程で消費者代表からDfEの成果を反映して直ちに処理コストを削減すべきとの意見が相次いだ。メーカー側はDfD(易分解性)によって新製品の分解時間が37秒短縮されたとか、11%減少できたと実測事例を出して説明した。あたかも将来は11%リサイクルコストが下がるような錯覚を持たせる対応である。DfEは多くの設計項目の集積であるが、家電リサイクル法見直しではDfEの評価がDfDだけに注目されてしまった。

さらに、2008年8月には同じく合同会合で「小売業者による特定家庭用機器のリユース・リサイクル仕分け基準作成のためのガイドラインに関する報告書(案)」が提案され、リユース促進が積極的に推奨された。今後リユース促進のビジネスモデルに関する研究と、リユースに必要な余寿命予測や寿命管理などの科学的な研究とが並行して進むと考えられる。

2008年12月に開催されたエコプロ展では、LCAの応用表示といえるカーボンフットプリントや統一省エネラベルへの対応が紹介された。省エネ関連のDfEは今後も増加するであろう。

日本が主催するエコデザインシンポジウムは1999年の開始以来、隔年で国内(含アジアパシフィック)シンポジウム4回、国際シンポジウム5回、が開催され2008年は国内シンポジウム「エコデザイン2008 ジャパンシンポジウム」が12月に東京で開催された。80件以上の報告がされ、省エネ、エコラベル、エコビジネスモデルに関するセッションもこの中に含まれるが純粋のDfEの範疇に属す報告は17件、リユースに関する報告が4件行われた。

2008年9月に欧州ベルリンで第1回EGG国際会議(Electronics Goes Green 2008)が開催された。DfEの範囲をどのように考えるかにもよるがこの会議では104件以上の幅広いテーマが取り上げられた。

リユースに関して15件（欧州9件、米国2件、日本4件）もの報告がされた点が注目される。2008年12月に欧州委員会から発表された欧州WEEEの改定案では、リユースの扱いが追記されることが記載されている。今後は欧州でリユースを考慮したDfEの研究が加速されると予想される。

欧州国連プロジェクトであるSTEP (SOLVING THE E-WASTE PROBLEM) では途上国でのE-waste対策が主目的ではあるがパソコンや薄型テレビを対象とした、Eco-efficiency（日本のリデュースに相当）やリユースに関する研究（Project reporting 2008-10 December 2008）が開始されている。プロジェクトの大半が欧州諸国の担当であるが、タイ（Electrical and Electronics Institute）や中国（Chinese Academy of Sciences）、アフリカ諸国も共同研究者として参加していることが注目される。

<参考文献>

[1] <http://www.env.go.jp/council/03haiki/yoshi03-11.html>

(8) 膜分離技術

化学産業分野における総エネルギー使用量の内約40%が分離工程に使われており、この分離工程のうち90%以上のエネルギーが蒸留に費やされている。省エネ型の分離技術の最有力な候補は膜分離であり、膜分離を蒸留と適切に組み合わせることで現在分離工程で消費されているエネルギーが抜本的に削減できる可能性がある。

例えば石油化学工業のバルク製品のうちエタノール、エチレングリコール、酢酸、酢酸エチルなどはいずれも水が製造過程で副生するため製品からの脱水が必要となる。石油化学工業からのこれらの製品群に関しては蒸留—膜分離のハイブリッドプロセスによる脱水の高効率化により50%の省エネルギーが可能という試算がある[1]。分子を選択するサイズと吸着性を制御できる新規な膜材料としてゼオライトがある。ゼオライトは耐熱性が高く、規則的に配列したナノ細孔をもつ、アルミノシリケート結晶であり、他の材料系と比べて細孔サイズの精密な制御が可能であるだけでなく、親疎水性などの分子とマイクロ細孔壁との相互作用を利用した特異な吸着性制御も可能である。既にゼオライト膜を用いたバイオエタノールの脱水は世界に先駆けて我が国で開発され、国内外で導入が始まっている[2]。今後、石油化学工業の分離工程のエネルギーのためのエネルギーの大幅な削減のために、ゼオライトの薄膜化のための基盤技術、膜内の結晶の配向・積層構造やピンホールなど微細構造の解析技術、大型モジュールの設計法などの課題が解決され、日本発の新しい技術が創出されることが期待される。

<参考文献>

[1] http://www.nedo.go.jp/nedopost/h21_2/data/21np2-env2-b.pdf

[2] <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/kouhou/mirai2007/9-3.pdf>

3.4 自然生態管理分野

(1) 1ペタフロップスコンピューター

1秒間に1千兆回の計算を行う1ペタフロップスコンピューターが使用可能となれば、以下が実現し、観測・モデル・シミュレーションの三位一体の研究が高度化され、応用も広がる。

- ①沿岸を扱う海洋生態系モデルのグリッドサイズが1kmから1/4km(250m)メッシュになる。
- ②海洋大循環モデルOFESを10kmメッシュにして黒潮を可視化し、また海洋生態系モデルNEMURO¹を現在の1/4～1/6の25～18kmグリッドにすることによって、外洋の低次生産モデルの高度化が可能になる。
- ③NEMUROをより高次の魚類の成長に結合させたNEMURO.FISH(NEMURO For Including Saury and Herring)が使えるようになり、回遊性の魚の回遊モデルが実用に使えるまでになる。
- ④全球陸域炭素循環モデル(Sim-CYCLE)のグリッドサイズが50kmから1kmメッシュになる。
- ⑤全球植生動態モデルのグリッドサイズが100～300kmから500m～2kmになる。

¹ North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography (e.g., Kishi et al., 2007) .

(2) 植物の生育状態と葉のリノレン酸含有量の関係

北大低温研の原登志彦教授のグループは「寒冷圏における光ストレスと北方林の再生・維持機構」(科学技術振興機構・戦略的創造研究CREST、2002年～2008年)に関する研究を行い、春先の低温と乾燥で増幅される光ストレス¹により翌年の開花が促進されることや生長は春先の光ストレスにより大きく抑制されることなどを発見した。このように低温と乾燥に関連した光ストレスは、植物の健康・生育状態に大きく関与している。そして、光ストレスにより植物組織に生じる活性酸素が植物の生育状態を決めており、このプロセスには植物組織に含まれているリノレン酸(二重結合を3つ含む不飽和脂肪酸の一種)が大きくかかわっていることが判明した。植物組織(葉)に含まれるリノレン酸の量を測定することにより、植物の生長や開花など健康・生育状態を測定、予測することができることを示し、「植物の生育状態を測定する方法、及びそのためのキット」²という名称でこの発明の特許を取得した。

¹ 光合成において二酸化炭素の固定に必要な量以上の光エネルギーは過剰エネルギーとなり活性酸素が生成され、植物組織が破壊される。このような環境からのストレスのこと。従って、低温と乾燥で二酸化炭素固定のカルビン回路がうまく働かない状況下では、光ストレスは増大する。光だけではなく、気温や降水量など様々な環境要因が複合した結果が光ストレスである。

² 特許第4094971号、特許第4095112号、2008年3月14日

(3) 海洋生態系モデル eNEMURO の高度化

独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系変動予測プログラム海洋生態系モデルグループが中心となって開発した、海洋生態系モデル NEMRO の拡張版である。プランクトンを 5 種から 8 種に増やし、活性の温度依存性を種毎に設定することによって、海域による種の棲み分けが再現できるようになり、南極海で過大評価だったクロロフィル量が改善された。

また、COCO¹-NEMURO-炭素循環モデルに関して、国際的な海洋生態系モデル相互比較プロジェクト²の計画に基づいて、生態系変動再現実験（1996-2007）を同グループが実施した。その結果、年平均のクロロフィル a 濃度の再現性にモデル間で大きな相違はないが、季節変動のタイミングやプランクトンの種構成などの生態系の構造に大きな違いがあることが明らかになった。

¹ COCO (CCSR Ocean Component model) , Hasumi et al., 2002; COCO is the same with the ocean part of a climate model, MIROC.

² MAREMIP; MARine Ecosystem Model Intercomparison Project.

(4) 陸域生態系モデル VISIT¹

国立環境研究所伊藤明彦研究員のグループが開発中である。グローバルスケールの長期シミュレーションを行い、陸域 CO₂ 収支の経年変動と気象テレコネクションイベントの相関を解析した。微量ガス収支を推定できるモデルを環境省推進費 S5 プロジェクトにおいて、温暖化影響評価および排出シナリオ作成に応答した。過去の土地利用変化データを用いて、過去 100 年間の森林破壊による炭素放出分布を推定した。国環研で進めている森林炭素監視システムに VISIT モデルを適用し、衛星観測による森林伐採・劣化データと炭素収支モデルの融合を進めた。アジア地域で顕著な撓乱現象である台風影響について、岐阜高山サイトで感度実験による影響評価を実施している。

¹ Vegetation Integrative Simulator for Trace Gases.

(5) 海洋基礎生産ブイの開発

外洋において有効層の光合成活性や温度・塩分量・栄養塩などを時間スケールで測定するブイシステムが、独立行政法人海洋研究開発機構によって開発された。図はその概念図で水中モーターは E メールによって上下動を制御され、台風通過時には水中に避難できる。ここ 2 年間深度 4,000m の外洋での観測に成功を収めている。時間スケールの観測によって海洋表層と大気間の二酸化炭素の交換のメカニズムの解析が初めて可能になる。生物ポンプの駆動様式の詳しく解析できるようになった。

(6) 動的全球植生モデル SEIB-DGVM¹ の開発

独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系変動予測プログラム佐藤永研究員のグループが開発を進めている、樹木の個体間の競争をベースにしたモデルである。これまで全球に対する第一段階のモデル

開発は終了し、高緯度域カラマツ林に対する高度化が終了した。このようなモデルの開発によって、地球温暖化が進行する300年のタイムスケールで低緯度の植生が北上する（北半球の場合）様子を予測することが可能になる。また森林が大気二酸化炭素の動態に及ぼす影響を予測することも可能となる。2008年にはシベリア唐松林のような面積指数を求めた例を、また、ヤクーツクにおける森林火災後の森林回復のモデルを実測値と比較しよい結果を得ている。

¹ Specially-Explicit-Individual-Base Dynamic-Global-Vegetation-Model.

(7) 陸域間底技術衛星 ALOS¹

2006年に打ち上げられ、昨年度から利用可能となった。標高など地表の地形データを読み取るバンクローマティック立体視センサー（PRISM）、土地の表面の状態や利用状況を知るための高性能可視近赤外放射計、昼夜・天候によらず陸地や氷床の観測が可能なセンサー（PALSER）の3つの地球観測センサーを搭載し、例えば25,000分の1の地形地図が全球について作成できる。生態系の研究分野ではこれまで不可能であった地上植物のバイオマスの推定が可能になった。

¹ Advanced Land Observation Satellite.

(8) アルゴ計画のデータベースの利用

2000年に開始された地球全体の海洋変動をリアルタイムで捉えることを目指した前例のない大規模な国際プロジェクトである。海洋と大気の間では海面を介して熱、運動量、水（蒸気）などの交換が行われるが、海中に入った熱は海流や渦、湧昇・沈降、混合などにより海洋内部に再配分される。一部は深海まで運ばれ、海洋深層の循環に乗った末に再び海面に戻り、10～100年単位の気候の変化に深く関係している過程もある。このような海洋内部の熱輸送過程を解明するには、観測によって実態を把握する必要がある。アルゴ計画の要点は、水深2,000mから海面までの間を自動的に浮き沈みして水温・塩分等を測定することができるアルゴフロートと呼ばれる観測機器である。このフロートを世界中の海洋で約3,000台稼働させることが実現され、海洋の構造が緯度・経度にして約3度毎で実況として捉えることが可能になった。アルゴ計画によって海洋中層までの観測網が整備され、海洋内部の詳細な変化が把握できる。将来的には季節～10年スケールの気候変動予測やこれに対する生態系の応答予測の精度向上につながると期待される。

(9) 地域／地球レベルの生物多様性と生態系に関するシミュレーション

地球シミュレータならぬ景観シミュレータというのが実はある。SORTIE（ソルティー）、FORMIX（フォルミックス）というのが世界的に有名で、ともに森林動態を扱うエージェントベースモデルである。しかし、これらは樹種やバイオマスの動態は扱っても物質循環までは扱えない。一方、日本で開発されているモデル（SEIB-DGVMなど）は植物の生理学的なプロセスを入れたエージェ

ントベースモデルのため、物質循環まで扱える点が画期的である。生物多様性や生態系の機能面分析と将来の予測にまで使える。これらは地球シミュレータへの批判（粗い／検証不能など）と同様の批判を受けるだろうが、繰り返し（地球は1つ）の効かない地球と違い、異なる地域で繰り返し経験的検証でモデルを精度アップできる。景観シミュレータが様々な意思検定に判断材料になるのはいうまでもない。粗くても予測があるのとないのでは大きな違いであることは、地球シミュレータがもたらした温暖化という世論動向でも明らかである。

(10) 生態系アプローチにもとづく管理手法等の技術・ツール

米国ではすでにかなり発展しているが、生態系アプローチにもとづく管理手法や地域計画、アセスメントなどの需要は、日本国内やアジア地域で急速に増加するものと考えられ、これに対応して、こうした技術やそのためのツールをアジア地域に適した形で開発する必要がある。また、日本の生物多様性国家戦略に盛り込まれた、生物多様性総合評価の手法は早急に確立すべきであり、この場合にもアジア地域で適用可能な形で開発することが望ましい。また、温暖化が避けられないという現状では、気候変動シナリオに従った生態系の変化モデルの開発とともに、生態系管理や将来計画においても、温暖化に対して抵抗性のある、あるいは適応力の強い形で行われる必要がある。こうした温暖化適応に関する研究は急速に増加しつつあるが、欧米でも基礎的研究の段階であり、日本は開始したばかり、途上国では実質的には始まっていない。

一方、温暖化や都市のヒートアイランド現象を緩和するために、屋上や壁面の緑化や、都市緑化に関する技術的発展を急ぐ必要がある。植栽に適した植物の選定や栽培技術に加えて、軽量かつ優良な土壌の開発、給水システムなど、アジア地域の気候に適した形で開発される必要がある。

(11) 局地的豪雨

いわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる局地的豪雨の頻発は、気候変動にともなう国際的な傾向であると考えられる。そのため、気象観測の高度化や河川管理の精度向上などの取り組みが進んでいる。河川管理の高度化は、河川生態系管理の向上にも応用できる可能性がある。例えば、今後人工衛星を活用した気象観測や河川管理などが考えられるが、これらの整備は河川環境管理にも利用できるものである。

(12) 河畔の樹木の管理と活用

河川の流木や倒木は、河川生物にとって重要なすみかとして盛んに研究されている一方、豪雨時に大量に発生する流木は増加しており、洪水被害を激甚化するため河川管理上大きな問題となっている。流木増加の原因のひとつとして、不十分な森林管理が考えられ、間伐の必要性が言われている。また、河川内では河原における樹木の増加が、砂利採取や河道掘削にともなう河床低下や河川流量の安定、治水管理上の伐採の減少、樹木の燃料利用の減少などによって発生しており、河川生態系や治水対策上問題となっている。樹木はCO₂を吸収する地球温暖化対策として、また再生可能なバイオマスとして期待されており、

さらに石油価格の高騰などにより、そのエネルギーとしての価値も見直されている。これらの森林を含めた河畔の樹木も問題と、資源として活用は、今後の課題と考えられる。

(13) バラスト水対策技術

船舶のバラスト水に含まれるプランクトンによる外来種侵入リスクを制限するため、2004年に採択されたバラスト水条約はきわめて厳しい対策が必要となる。30カ国35%という発効条件が満たされるにはしばらく時間がかかるだろうが、フィルタによるろ過や化学的処理の場合、膨大な設備費と処理費用がかかるため、新たな技術を競って準備しているといわれる。特に、サウジアラビアが提案している新たな船舶構造が注目されているが、これは代船時に導入できるものだから、発効に間に合わせるには限りがある。

(14) マグロの完全養殖技術

近畿大学 COE を中心に開発されている。野生のマグロ類は乱獲の影響で資源が減少し、国際的な需要が増加している。日本主導の国際管理団体の連合体も結成され、今後漁獲量は減っていくと見られる。野生の未成魚を生け捕りにして生簀で育てて大きくしてから売る畜養技術、よこわと呼ばれる野生稚魚を生け捕りにして養殖する技術も実用化が進んでいるが、野生魚に依存するため、その採捕量の国際管理が必要になる。そのため、親魚から採卵し、孵化から出荷まですべて人工環境で行う完全養殖技術の開発が注目されている。

(15) 日本型雑草リスク評価法の開発

まだ日本に侵入していない国外の植物種について、わが国に導入しても良いか否かを判断するためのリスク評価法が開発された。この評価結果にしたがって、法的な輸入規制をかければ、危険な外来種の侵入を未然に防ぐことになり、外来種管理に大きく貢献するだろう。

今後、環境省が行っている外来生物法に基づく特定外来生物の指定に利用されることを期待したい。また、植物だけでなく、動物種についても同様な手法が開発されれば、生物全般に対して有効な外来種の侵入防止を実現させることができる。

<参考文献>

<http://dx.doi.org/10.1007/s10530-008-9340-0>

(16) 双方向の動物調査用通信システムの開発

国産低軌道人工衛星を中継しての遠隔的な情報取得システムはすでに試験段階での成功を収め実用化のめどが立ったが、継続的な予算的支援がないため運用には至っていない。

人工衛星利用や無線交信による双方向の動物調査用通信システムは、現行の国産技術で十分に構築可能である。その実現には、官と民の協働に加え、より大きなランドスケープ(国土レベル)での統合的な運用計画の策定が必要となる。

またこうしたシステムの構築は、日本のみならず近隣のアジア諸国での同様の研究の推進にもつながる。日本の動物や環境に適合しない欧米製の製品を使い続けることは、研究自体よりもその保守に時間を取られる結果となり、日本での研究の遅延を招来している可能性があった。

<参考文献>

<http://www.lib.cc.it-chiba.ac.jp/kanta/>

(17) 新興感染症の世界的流行と生物移送との関連

世界経済のめまぐるしい変化とそれに伴うヒトとモノの移送の拡大が、確実に非意図的侵入種の分布拡大を促進している。地球環境変動および局所的気候変化（ヒートアイランド）、生息地破壊による生物学的侵入の加速の科学的検証も重要課題と考える。国内では、外来生物をモデルとして進化生態学的事象の研究に集中する傾向が見られるが、外来種問題の根本的解決には繋がらないであろう。モデルがあまりに単純であり、外来生物の本来のリスク、「予測不能性」を見落とすことにしかならない。もっとも深刻な外来種リスクとして、欧米では新興感染症の世界的流行（pandemic）と生物移送の関連が注目を集めつつある。HIV や SARS など突発出現ウイルス（Emerging virus）と呼ばれる新興感染症病原体はいずれも自然宿主に対しては無害であり、自然宿主と共生関係にある。しかし、近年の人間による生態系攪乱が、ウイルス—自然宿主間の共生関係を崩壊させ、人間自身がウイルスと接触する機会が増大したことで、様々な新興感染症が多発しているのではないかと考えられている。また、養鶏産業など農業の集約化が鳥インフルエンザ H5N1 型ウイルスなどを増幅する温床を生み、さらに経済のグローバル化による人と物の移送の加速化が pandemic の危機を招いている。「生物多様性科学国際協同プログラム（Diversitas）」が毎年発行する Diversitas Annual Report の 2006 年度版において、Consortium for Conservation Medicine (CCM) の Peter Daszak 博士を代表とする専門家委員会は、人間が熱帯林のような生物多様性の高い地域に入り込み、開発を進めることは、生物学的「貯蔵庫」の秩序を攪乱し、人間を新興感染症の危険にさらすと報告している。生物多様性は人間にとって食糧や医薬品となる遺伝子資源を提供するだけでなく、様々な寄生生物や病原体から人間を保護する役割も果たしているというのである。

問題なのは病原体自身ではなく、その共生関係をかく乱している人間活動にある。自然環境が破壊され、宿主生物が移送されることにより、寄生生物はその生息場所を失い、宿主転換を図り、人間を含む生態系に対して重大な被害を及ぼさざるを得なくなっている。自然共生という言葉が唱われて久しいが、寄生生物との共生をはかり、人間の安全で健康な生活を守るためにも、寄生生物の進化的重要単位 ESU を守るという視点も必要だと考えられる。その意味で、目に見えない外来生物に対しても人為移送を防ぐための早急な法的規制が望まれる。同時に生態学者も、寄生生物が織りなす目に見えない生態系にもっと目を向けて、その存在意義と管理を深く考える必要がある。

(18) GEO BON と JBON

GEOSS (Global Earth Observation System of Systems : 全球地球観測システム) を推進する GEO (Group on Earth Observations : 地球観測に関する政府間ワーキンググループ) の下で、GEO BON (GEO Biodiversity Observation Network) が 2008 年に創設された。NASA と DIVERSITAS (生物多様性国際研究プログラム) が中心となって GEO BON の実施計画立案と国際的推進体制整備を推進している。この観測ネットワークは、新たな観測を行うのではなく、生態系・種・遺伝子レベルの変化に関する現在進行中の観測プログラムから得られつつあるデータを共通のオープンリソースデータベースに統合することを目標にしている。さらに、標準化された指標と解析ツールを開発して、全球レベルでの生態系・生物多様性の変化に関する最新の情報を日々更新し、全世界に公表することを意図している。2010 年までに最初の成果を発表する計画である。2010 年に生物多様性条約第 10 回締約国会議 (COP10) が名古屋で開催されることから、日本の貢献に国際的関心が高まっている。わが国では、日本生態学会が中心となり、GEO BON 日本委員会 (JBON) を組織し、日本をふくむアジア地域での観測データの統合化に向けて活動を開始した。わが国は、生態系・生物多様性観測に関しては世界有数のデータ保有国であり、またサイバーインフラストラクチャやソフト面での技術水準も高い。日本長期生態研究ネットワーク (JaLTER : Japan Long Term Ecological Research Network) では生態系レベルのメタデータを扱うための標準フォーマット (EML : Ecological Metadata Language) を開発し、データ入出力のためのポータルサイトの運用を近々開始する。このシステムを種レベルのデータベース (GBIF : Global Biodiversity Information Facility のコンテンツ) や全球レベルのグリッドシステムと統合することにより、全球レベルでの生態系・生物多様性観測ネットワーク確立に大きく貢献できると期待される。

付録：海外の政策動向

海外の政策動向

米国

気候変動分野は大統領イニシアティブの下、CCT (Climate Change Technology) として取り組まれており、CCSP (Climate Change Science Program) と CCTP (Climate Change Technology Program) の2プログラムにより実施されている。CCSP は気候変動の解明を目的とした研究活動、CCTP は既に起きている気候変動に対処するための技術開発活動である。

CCSP には前年比 10%増の 20.2 億ドルが計上されている。13 省庁によって横断的に取り組まれているが、NASA (航空宇宙局) が予算配分の主体であり、他に DOC (商務省) の NOAA (海洋大気庁)、NSF (国立科学財団)、DOE (エネルギー省) を加えると全予算の 90%に達する。2003 年に CCSP が示した研究目標に従って活動を進めて行くが、2009 年度予算案では①統合型地球圏解析、② 1979 年以降の大気と海洋の観測記録の精密集計、③連続的な水循環予測技術とその応用技術の開発、④高緯度地域の炭素循環研究、⑤エアロゾルが気候に与える影響の数量化、⑥二酸化炭素以外の温室効果ガス、水蒸気、雲、⑦地球温暖化の過程で起こる突発的な気候急変動の調査、⑧突発的な気候急変動(干ばつなど)の早期警戒システムの実現可能性に関する検討、⑨生態系の変化予測、に重点が置かれている。CCTP も省庁横断的に取り組まれているが、DOE (エネルギー省) が主導している。主に温室効果ガス排出量の削減に資する技術を開発するために、①原子力エネルギー、②炭素隔離技術、③再生可能エネルギー、④エネルギーの効率化、⑤低炭素燃料などの研究開発を行っている。

エネルギー分野は大統領イニシアティブの下、AEI (Advanced Energy Initiative) および HFI (Hydrogen Fuel Initiative) として取り組まれている。AEI の 2009 年度予算案には前年度比 25%増の 31.7 億ドルが配分されている。AEI では米国のエネルギー供給源の観点から、原子力、クリーンコール、太陽光発電、風力発電などが注目されている他、石油依存度を低下させる観点からハイブリッド車、燃料電池、バイオエタノールなどが注目されており、またそれらを含む各種エネルギー関連技術の発展に資する基礎研究が重要視されている。AEI の予算配分は、エネルギー効率・再生可能エネルギー分野の研究開発ではバイオマス研究が予算の主体となっており、化石燃料分野では FutureGen などの石炭研究、原子力エネルギー分野では GNEP や原子力 2010、基礎研究では核融合が予算の主体となっている。また、HFI は 2003 年に 5 年間の実施期間で 12 億ドルの予算がつき、2006 年に 9 機関が連携研究を開始したが、2008 年度で予算が満了する。水素貯蔵、燃料電池、水素生産についての基礎および応用研究が行われており、特に DOE 科学局の基礎研究において水素利用技術に関するパラダイムシフトが起こるものと期待されている。

連邦政府の重点分野としてもエネルギーおよび気候変動技術は重視されており、エネルギー安全保障と温暖化ガスの排出削減が最優先されている。研究開発としてはゼロエミッション石炭、二酸化炭素隔離、原子力エネルギー、エネルギーの貯蔵、太陽エネルギー、水素燃料電池、セルロース系のバイオ燃料生産、

バイオリファイナリー、バイオ燃料に起因する環境影響の緩和技術が重視されている。

エネルギーおよび気候変動分野以外で連邦政府が言及している主要な環境分野のR&Dとしては、海洋研究、淡水供給研究、地球観測が挙げられるが、その内で海洋研究のみがOSI (Oceanic Science Initiative) として大統領イニシアティブになっており、2007年にNSTC (国家科学技術会議) から発表された報告書「Charting the Course for Ocean Science in the United States: An Ocean Research Priorities Plan and Implementation Strategy」に沿って、①ハリケーンなどの特殊現象に対する沿岸生態系の反応の予測、②海洋生態系の比較分析、③海洋生態系の研究に資するセンサーの開発、④北大西洋の深層循環変動の評価、を優先する方針である。また、淡水供給研究については2007年にNSTCから発表された報告書「A Strategy for Federal Science and Technology to Support U.S. Water Availability and Quality」を基本方針とし、地球観測については2005年、2006年、2007年にNSTCから発表された報告書「Strategic Plan for the U.S. Integrated Earth Observation System」、「The Future of Land Imaging」、「Development of the U.S. Integrated Earth Observation System: Progress and Recommendations for the Way Forward」を基本方針とする。

連邦政府の重点分野としても環境分野は重視されているが、近年増大傾向にあるハリケーン被害の影響により、環境分野の中でも特に気候変動分野や、気候変動の原因であり更に中東地域での戦争の結果として重要性が増したエネルギー安全保障の観点から、エネルギー分野が優先される傾向にある。

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：水素エネルギー及び燃料電池技術、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

なお、今年の政府方針を示す政府活動報告（2009年3月の全人代で温家宝総理が発表）によると、2009年は特に重大特定プロジェクトの推進と新エネルギー、省エネ・環境保全に係る技術の研究開発と産業化を重視するとの方針である。

韓国

韓国では基礎研究を所管する教育科学技術部の「先進一流国家に向けた李明博政権の科学技術基本計画(第二次科学技術基本計画-2008-2012年-)」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) : 農水畜林産物資源開発・管理技術、エネルギー利用高効率化技術
- ・グローバルイシュー関連研究開発推進 (Mega Trend Science) : 水素エネルギー生産・保存技術、次世代電池・エネルギー保存転換炉術、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、海洋領土管理・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・水資源保護技術、気候変動予測・適応技術、自然災害・災難予防及び対応技術
- ・基礎・基盤・融合技術開発活性化 (National Platform Technology Initiative) : 未来先端都市建設技術

■新成長動力ビジョン

- ・緑色技術: 再生可能エネルギー、炭素低減エネルギー、発光ダイオード応用、グリーン輸送システム、高度水処理、先端グリーン都市

なお、李明博大統領が昨年打ち出した方針により、現在「緑色成長基本法」を整備中である。「緑色成長」の意味するところは、①エネルギー、②持続可能な発展であり、具体的には、気候変動対応技術 (新再生エネルギー、低炭素効率化、二酸化炭素吸蔵・貯留、気候変動の観測技術・アセスメント等) や新エネルギー源の資源探査等が研究課題となる。当該分野に相当する政府 R&D 投資額の 2008 年度実績は 1 兆ウォンであったが、これを 2012 年までに 2 倍にする緑色成長のアクションプラン等を今後制定する予定である。

略語集

3

- **3R** : Reduce, Reuse, Recycle 100

A

- **A2O** : Anaerobic Anoxic Oxidation 50
- **AIST-ADMER** : AIST-Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk assessment 62
- **ANAMOX** : Anaerobic Ammonia Oxidation 50
- **AO** : Anaerobic Oxidation 50
- **AOGCM** : Atmosphere-Ocean General Circulation Model 34, 37
- **ATOL** : A Tree of Life 108

B

- **BEMS** : Building and Energy Management System 14, 153

C

- **CCS** : Carbon Capture and Storage 7, 8, 18, 20, 26, 27, 68, 154
- **CDQ** : Coke Dry Quenching 10
- **CFC** : Chloro-Fluoro Carbon 44, 45
- **CNES** : Centre National d'Etudes spatiales 113
- **COP** : Coefficient of Performance 152
- **COP10** : 生物多様性条約第10回締約国会議 173
- **CSO** : Combined Sewer Overflow

50, 51

D

- **DfD** : Design for Disassembly 100, 101, 165
- **DfE** : Design for Environment 76, 100, 101, 102, 103, 165, 166
- **DFX** : Design for X 100

E

- **ECBM** : Enhanced coalbed methane 27
- **EIA** : Environmental Impact Assessment 66, 68, 69, 160
- **EIS** : Environmental Impact Statement 66, 68
- **EOR** : Enhanced Oil Recovery 26, 28
- **EPA** : Environmental Protection Agency of USA 58, 66, 68, 102, 103, 106
- **EPR** : Extended Producer Responsibility 76, 100
- **ESA** : Endangered Species Act 131, 140
- **ESM** : Earth System Model 34, 37
- **EuP** : A framework for Eco-design of Energy Using Products 100

F

- **FACE** : Free Air CO₂ Enrichment 123
- **FC** : Fuel Cell 12

G

- **GBIF** : Global Biodiversity Information Facility 109, 112, 113, 173
- **GCM** : General Circulation Model 34
- **GEOSS** : Global Earth Observation System of Systems 116, 173
- **GIS** : Geographic Information System 30, 68, 110, 112, 113, 115, 122, 124, 126, 138, 140, 142
- **GLODAP** : Global Ocean Data Analysis Project 117, 118, 120, 121
- **GPS** : Global Positioning System 112, 113, 115, 126, 140, 142
- **GREATER** : Geo-referenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers 62

H

- **HCCI** : Homogeneous Charge Compression Ignition 40
- **HCFC** : Hydro-Chloro-Fluoro Carbon 44, 45
- **HEMS** : Housing Energy and Environment Management System 153
- **HFC** : Hydro-Fluoro Carbon 44, 45
- **HV** : Hybrid Vehicles 12, 151

I

- **IAMs** : Integrated Assessment Models 35
- **IEC** : International Electrotechnical Commission 22, 101
- **IGCC** : Integrated coal Gasification

- Combined Cycle 7, 18, 20, 28, 154
- **IGFC** : Integrated Gasification Fuel Cell 154
- **IMBER** : Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research 117
- **IMDS** : International Material Data System 102, 103
- **IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change 8, 22, 26, 35, 37, 153, 154
- **IPP** : Integrated Product Policy 102
- **IUCLID** : The International Uniform Chemical Information Database 63

J

- **JAMP** : Japan Article management Promotion - consortium 102, 103
- **JGOFS** : Joint Global Ocean Flux Study 117, 120, 121

L

- **LBA** : The Large-Scale Biosphere - Atmosphere Experiment in Amazonia 122
- **LCA** : Life Cycle Assessment 52, 54, 68, 98, 100, 101, 103, 158, 161, 165
- **LCT** : Life Cycle Thinking 100, 101
- **LTER** : Long Term Ecological Research 108, 116, 117, 120, 121, 123

M

- **MBR** : Membrane Bioreactor 50,

51, 158

- **MFCA** : Material Flow Cost Accounting 98
- **MNA** : Monitored Natural Attenuation 58
- **MSDS** : Material Safety Data Sheet 76, 103

N

- **NACP** : North American Carbon Program 118
- **NEON** : National Ecological Observatory Network 108, 109, 116, 117, 120
- **NEPA** : National Environmental Policy Act 66, 68
- **NIER** : (Korea) National Institute of Environmental Research 137, 138
- **NOAA** : National Oceanic and Atmospheric Administration 37, 113, 118, 177
- **NSF** : National Science Foundation ***2, 37, 108, 109, 117, 118, 144, 177

O

- **OCCC** : Ocean Carbon and Climate Change 117

Q

- **QSAR** : Quantitative Structure Activity Relationships 62, 64

R

- **REACH** : Registration, Evaluation,

Authorization of Chemicals 62, 64, 68, 90, 103

- **RoHS** : Restriction of Hazardous Substances 70, 90, 102
- **RPF** : Refuse Paper & Plastic Fuel 161
- **RSPB** : The Royal Society for the Protection of Birds 113

S

- **SCM** : Supply Chain Management 102, 103
- **SCOR** : Supply Chain Operations Reference Model 102, 103
- **SDS** : Safe Data Sheet 102, 103
- **SEA** : Strategic Environmental Assessment 66, 68, 69, 160
- **SEPA** : State Environment Protection Agency 102, 103
- **SFM** : Sustainable Forest Management 122
- **SINOPEC** : China Petroleum & Chemical Corporation (中国石油化工集团公司) 104, 105
- **SOLAS** : Surface Ocean Lower Atmosphere Study 117, 120, 121
- **SSO** : Sanitary Sewer Overflow 50, 51

T

- **TBT** : Technical Barriers to Trade 62
- **THM** : Trihalomethane 52
- **TOPP** : The Open Planning Project 113, 115
- **TRT** : Top-pressure Recovery Turbine 10

U

- **UASB** : Upflow Anaerobic Sludge Blanket 50, 51
- **USES** : Uniform System for Evaluation of Substances 62
- **USGS** : US Geological Survey 112, 140

V

- **VAV** : Variable Air Volume 14
- **VOC** : Volatile Organic Compounds 104

W

- **WEEE** : Waste Electrical and Electronic Equipment 70, 75, 98, 99, 100, 101, 106, 107, 166
- **WOCE** : The World Ocean Circulation Experiment 117

◆執筆者・協力者一覧（分野毎、順不同・敬称略）

（※所属・役職は本調査実施の時点）

■地球温暖化分野

安井 至	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
小林 茂樹	豊田中央研究所先端研究部門総括室主席
吉野 博	東北大学大学院工学研究科教授
松本 光朗	森林総合温暖化対応推進室長
林 陽生	筑波大学生命環境科学研究科教授
丸山 康樹	電力中央研究所地球温暖化統括プロジェクトリーダー

■環境汚染・破壊分野

岡田 光正	広島大学大学院工学研究科教授
古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科教授
中村 由行	港湾空港技術研究所研究主幹
田中 宏明	京都大学大学院工学研究科教授
明賀 春樹	オルガノ株式会社開発センター企画部長
栗本 洋二	日本環境アセスメント協会長
平田 健正	和歌山大学システム工学部教授
白石 寛明	国立環境研究所環境リスク研究センター長
牧野 尚夫	電力中央研究所・エネルギー技術研究所上席研究員
小林 伸治	国立環境研究所交通・都市環境研究室長
浦野 紘平	横浜国立大学環境情報研究院特任教授
一ノ瀬俊明	国立環境研究所環境計画研究室主任研究員

■資源循環分野

安井 至	科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
平尾 雅彦	東京大学大学院工学系研究科教授
加藤 聡	クリスタルクレイ株式会社取締役副会長
小山 明男	明治大学工学部准教授
原田 幸明	物質・材料研究機構材料ラボ長
岡部 徹	東京大学生産技術研究所教授
小林 幹男	産業技術総合研究所環境管理技術研究部門副研究部門長
松藤 敏彦	北海道大学大学院工学研究科教授

- 則武 祐二 株式会社リコー社会環境経営推進室エグゼクティブスペシャリスト
上野 潔 国連大学プログラム・アドバイザー
傘木 和俊 産業環境管理協会化学物質管理情報センター所長
辰巳 敬 東京工業大学資源化学研究所教授

■自然生態管理分野

- 矢原 徹一 九州大学大学院理学研究院教授
永田 尚志 国立環境研究所個体群生態研究室主任研究員
和田英太郎 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系予測変動
研究プログラムディレクター
中静 透 東北大学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学府教授
池田 浩明 農業環境技術研究所生物多様性研究領域主任研究員
辻 瑞樹 琉球大学農学部生産環境学科教授
五箇 公一 国立環境研究所環境リスク研究センター主任研究員
梶 光一 東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授

環境技術
科学技術・研究開発の国際比較
2009年版

CRDS-FY2009-IC-06

平成 21 年 5 月

発行者 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
環境技術ユニット

〒102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電話 03-5214-7483

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

Copyright 2009 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
無断での転載、複写を禁じます。引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

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

