

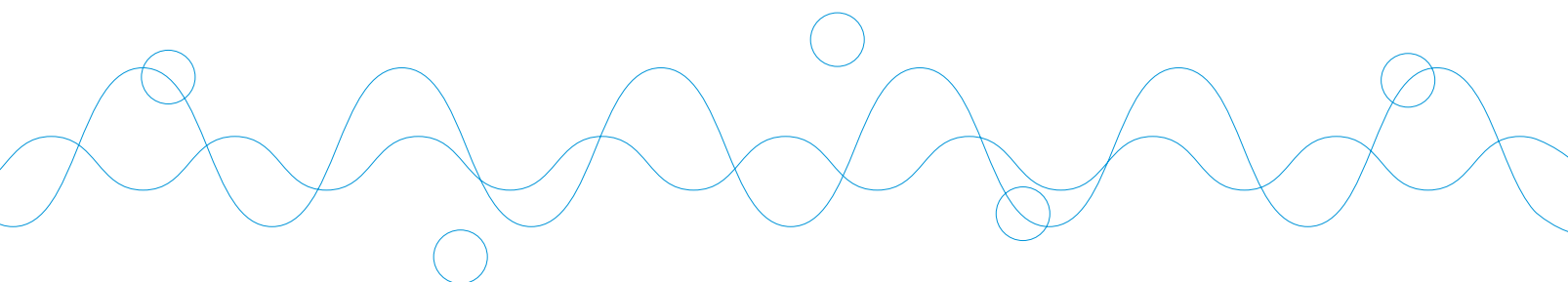
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA CCTAACT CTCAGACC

戦略提言

地球規模の問題解決に向けた グローバル・イノベーション・エコシステムの構築

—環境・エネルギー・食料・水問題—

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



地球規模の問題解決に向けたグローバル・イノベーション・エコシステムの構築
—環境・エネルギー・食料・水問題—

目 次

エグゼクティブ・サマリー

はじめに	1
1. 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築	4
1.1. ナショナル・イノベーション・エコシステム（NIES）からグローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）へ	4
1.2. グローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）とは	7
2. 地球規模の問題を解決する方策	10
2.1. 自然エネルギーの有効利用	13
2.1.1. 目指す社会の姿とその到達方法	13
2.1.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由	18
2.1.3. 目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ	20
2.1.3.1 太陽電池	20
2.1.3.2 太陽光による水素エネルギー生産	24
2.1.3.3 非食料系バイオマス	27
2.1.3.4 水生・海洋（微）生物の資源化	30
2.1.4. 目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み	32
2.1.5. 目指す社会の姿への到達によって得られる効果	34
2.1.6. 提言	35
俯瞰表：「自然エネルギーの有効利用」の鍵となる技術	39
2.2. 環境低負荷な交通システムの実現	41
2.2.1. 目指す社会の姿とその到達方法	41
2.2.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由	43
2.2.3. 目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ	44
2.2.3.1 電気自動車	44
2.2.3.2 燃料電池自動車	50
2.2.3.3 交通インフラ関連技術	52
2.2.3.4 新しい交通システムのあり方	55

2.2.4.	目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み	59
2.2.5.	目指す社会の姿への到達によって得られる効果	61
2.2.6.	提言	64
	参考資料	66
	俯瞰表：「環境低負荷な交通システムの実現」の鍵となる技術	69
2.3.	安全な水の提供—「新しい水資源の創造」による課題の解決	71
2.3.1.	目指す社会の姿とその到達方法	71
2.3.2.	解決すべき地球規模の問題とその理由	75
2.3.3.	新たな水資源を創造するための技術パッケージ	78
2.3.4.	目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み	86
2.3.5.	目指す社会の姿への到達によって得られる効果	88
2.3.6.	提言	89
	俯瞰表：「安全な水の提供」の鍵となる技術	91
2.4.	安心できる食料の安定的供給	93
2.4.1.	目指す社会の姿とその到達方法	93
2.4.2.	解決すべき地球規模の問題とその理由	95
2.4.3.	目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ	98
2.4.3.1	作物生産技術	98
2.4.3.2	品質保証技術	103
2.4.3.3	デザイン・イン型食料生産技術	106
2.4.4.	目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み	108
2.4.5.	目指す社会の姿への到達によって得られる効果	111
2.4.6.	提言	112
	俯瞰表：「安心できる食料の安定的提供」の鍵となる技術	115

エグゼクティブ・サマリー

近年、人類の経済的・社会的活動が多様化すると共に、その範囲や規模も拡大している。それに伴い、数多くの地球規模の問題が顕在化している。地球温暖化をはじめとする地球環境問題は、人類に対する脅威となりつつある。また、水や食料の不足、天然資源の枯渇、新興感染症等、各地の問題が世界全体に大きく影響するようになっている。その一方、経済のグローバル化も急速な進展を遂げ、企業の国際競争の激化や国際金融システムの不安定化等、新たな問題に直面している。これらの経済的・社会的な地球規模の問題は一国では解決が困難であり、各国が一致協力して取り組まねばならない。

地球規模の問題解決には、科学技術に基づくイノベーション・システムを地球規模で構築することが不可欠である。科学技術の知識を基盤に、必要な手段・方法の開発、それらの成果を活用した具体的行動とそれに必要な環境整備等を進め、直面する問題を解決すると共に、新しい経済的・社会的価値を創造しなければならない。

本提言では、我々が直面する地球規模の問題の中で、特に気候変動・エネルギーおよび水・食料に関する以下の4つの問題について、2050年に向けて、「グローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）」の構築によって解決する方策を提言する。実現すべき「目指す社会の姿」と共に、複数の鍵となる技術を総体として問題解決に資するため、取り組むべき研究開発課題と必要な政策課題を「到達方法」として提示する。

1. 自然エネルギーの有効利用
2. 環境低負荷な交通システムの実現
3. 安全な水の提供
4. 安心できる食料の安定的供給

1. 自然エネルギーの有効利用

日本の技術力によって自然エネルギー利用の問題を克服し、日本をエネルギー技術の輸出国とする。太陽光やバイオマスによる自然エネルギーを利用したエネルギー（再生可能エネルギー）供給システムを将来の低炭素社会の主要エネルギー源に育成するため、以下のような「場」を形成することを提言する。

- ・ 途上国を含む国際的な自然エネルギー技術やそれを利用したエネルギー供給システムの普及のため、技術的制度的な検討や共同プロジェ

クトを議論する「場」としての国際タスクフォース。

- ・ 国内施策としては、太陽光利用（太陽電池、水素エネルギー生産）、非食料系バイオマスの利用、水生・海洋（微）生物エネルギーの資源化に向けた画期的技術開発への集中投資を図り、連携・融合の仕組みを整備する「場」としての自然エネルギー研究所。
- ・ 独自の文化と生活慣習に基づいて温室効果ガス削減に挑戦する「場」として各国のエコモデル都市の指定とそのネットワーク。およびそれを通じた、情報交換、人材交流、低炭素社会の啓蒙を図る国際プロジェクトを発進させ、日本は主導的に参加する。

以上のような「場」を設定することにより、自然エネルギー利用技術に社会に根付かせ、産業として市場を形成しやすくするための社会的制度を導入し、社会インフラを充実させる。

目指す社会の姿を実現する鍵となる技術は以下のとおりである。

- ・ 太陽電池：シリコン系（単結晶、多結晶、薄膜）、化合物系（CIGS・CIS等薄膜、Ⅲ－Ⅴ族結晶）、有機系（色素増感型、有機薄膜型）、新型高効率系
- ・ 太陽光による水素エネルギー生産：無機系光触媒、有機系光合成模倣
- ・ 非食料系バイオマス：草本系、木質系、化学利用・新技術開発
- ・ 水生・海洋（微）生物資源化

2. 環境低負荷な交通システムの実現

世界のCO₂排出量において最大の割合を占める運輸部門について、将来の環境低負荷型交通システムを実現する。特にCO₂削減に向けた研究開発、環境低負荷技術の利用を促進するために、次の様な「場」を形成することを提言する。

- ・ 全地球的な交通システムのグランド・デザインを検討する「場」としての国際コンソーシアム
- ・ 環境データ、交通データ等の取得を目的とする国際的モニタリングおよびデータの自由な流通と利用を可能とする枠組みの構築を促進する「場」
- ・ 鍵となる技術の研究開発と実用化における産学官の役割を検討する「場」

まずは、国際コンソーシアムを2010年までに組織し、以下のとおり検討を進める。

- ・ 2015年を目標に国づくり、都市づくりを考慮に入れた新たな交通システムのグランド・デザインを描き、モデルシステムを提唱する。

- ・ 2025 年まで、モデルシステムにおける実証実験の結果をもとに、グラウンド・デザインを完成させる。
- ・ 2030 年頃にはグラウンド・デザインを完成させた上で、それに基づいた新しい交通システムを世界各国の実験エリアへ展開する。
- ・ 2050 年頃には新しい交通システムを普及させる。

目指す社会の姿を実現する鍵となる技術は以下のとおりである。

- ・ 電気自動車：二次電池、電力供給、モーター、軽量素材
- ・ 燃料電池自動車：燃料電池、水素輸送・貯蔵
- ・ 交通インフラ関連

交通システムは、社会システムとの協調をもっとも必要とする分野であり、これらの「場」においては、社会技術の議論も不可欠である。

3. 安全な水の提供

水の需給見通しを明確化し、湖沼・河川の水量を減らすことなく用途に応じた水を安定的に供給し、下水・排水の適切な処理により環境汚染を防止する。世界の人々が安全な水を利用でき、美しい水と緑に囲まれ、健康で豊かに生活できるようにするため、以下のような提言の実現を主導する「場」を国際水フォーラムなどと協調しつつ設立する。

- ・ 各国が世界ビジョン、国際協力シナリオなどを共有し、具体的な国際協力、分担の枠組み構築する「場」
- ・ それぞれの地域、国との共同研究、モデル実験を通じて、そこに適合した技術体系、システムを構築する「場」
- ・ 日本に存在する要素技術を有する様々な組織、研究者、技術者が連携して海外展開・国際貢献を検討する「場」
- ・ 既存の降水・水賦存量分布の観測・予測技術、水質検査技術を高度化すると共に、各国が協力し、各地域のデータベースと高精度の評価・予測技術を構築、標準化し、それらを水利用・システム構築計画の立案、提案する「場」
- ・ 内陸部に渇水で悩む国、地域での問題解決のための長期的技術課題に対し、官が中心になり、学・産と協力し、国際協力を得て取り組みを検討する「場」

目指す社会の姿を実現する鍵となる技術は以下のとおりである。

- ・ 水を予測・自然水を増加する技術：水賦存量予測、降雨量・保水量変化予測、人工降雨
- ・ 自然水利用技術：無害化、海水淡水化、自然エネルギー利用

- ・ 排水浄化技術：下水・廃水処理、循環利用、検査
- ・ 水処理の全てにおける、省エネ、低コスト化が技術
- ・ 水質の計測・分析技術の開発と標準化

4. 安心できる食料の安定的供給

食料をめぐる様々な地球規模の問題の解決に日本の農業が貢献することを目的とし、日本発の科学技術イノベーションによって、各国における農業が経済的に自立し、消費者が国際的に求めている付加価値のある食料を地球規模で生産し、かつ、安定的な供給が実現する、などといったビジョンを達成するための様々な方策を検討する新たな「場」を複数設立する。当面、食料の中で人々の主食および準主食となるコメ、さらには、有機野菜などを優先して取り組む。

- ・ それぞれの国および地域の実情にあった生産基盤を、技術提供側と食料生産側との国際的分担によって確立し、より高い付加価値を持つ食料の量的確保する方策を検討する「場」
- ・ 高い付加価値をもった食料の生産に必要な研究開発、人材育成、資本投入を推進すると同時に、日本国内で培った日本独自の技術を、アジアや南米、アフリカの主要な食料生産地に向けて移転・輸出するといった、国際的な食料の付加価値向上に向けた方策を検討する「場」
- ・ 2050年に日本の農業を自立した輸出産業に転換することを目標として、高付加農業の実現方策を検討する「場」

これらの「場」において、以下の国際的枠組みの必要性を検討する。

- ・ 農学と工学の融合分野における国際共同研究の推進と人材の国際交流の促進
- ・ 産地・消費地コーディネーターの国際ネットワーク形成による、各国および地域における嗜好性も含めた消費者ニーズと、利用可能な水の量などを含めた生産ポテンシャルの検討
- ・ 国際営農コンソーシアムによる各国および地域での最適な生産システムの構築および営農ビジョンとその指標の作成
- ・ 知財化および国際標準化された技術の適切かつ有効な流通の促進
- ・ 農業生産関連資源再利用促進のための国際資源循環システムの構築

目指す社会の姿を実現する鍵となる技術は以下のとおりである。

- ・ 作物生産技術：栽培・管理、ゲノム育種、遺伝子組換え
- ・ 品質保証技術：機能性評価、安全性評価
- ・ デザイン・イン型食料生産技術

はじめに

現在、人口の爆発や人間の活動の拡大に由来する様々な地球規模の問題に対する危機意識が高まりつつある。特に、大気中の温室効果ガス（二酸化炭素、メタン等）の増大に基づく地球温暖化に対して、大きな関心が集まっている。1992年の地球環境サミットにおいて、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目的として、気候変動枠組条約が採択された。本条約の目的を達成するため、1997年の第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）において、京都議定書が議決された。本議定書は先進国等に対し、温室効果ガス排出量を1990年比で、2008年～2012年に一定数値を削減することを義務付けている。しかし、世界全体での排出量は依然増加傾向にある。その状況を受け、2007年のG8ハイリゲンダム・サミットにおいて、日本は「Cool Earth 50」を提案し、京都議定書を超えて、世界全体が参加する排出削減のための新たな枠組み作りが必要であることを主張した。本提案は高く支持され、2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減することを真剣に検討することに合意した。人為的な気候変動が地球にとって大きな脅威であることは、科学的にも認められている。2007年ノーベル平和賞をゴア前米副大統領とともに受賞した気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が世界中の3,000人の科学者の協力を得て作成した第4次評価報告書は、20世紀半ば以降に観測された全球平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの可能性が高いと指摘し、21世紀末には世界の気温が1.8～4度上昇すると予測した。2006年には英国政府が発表した「気候変動の経済影響」（スターン報告）は、22世紀に5～6度の上昇があった場合、損失は世界の国内総生産の5～10%に及ぶと警告している。NASAゴダード宇宙研究所のJ. ハンセン博士は実際に気温が上昇すると、地球はまったく異なる惑星になり、今後10年間の努力が決定的な影響力を持つと述べている。このように厳しい現状への認識が進む中、2008年に開催される北海道洞爺湖サミットにおいても、2013年以降の次期枠組み構築に関する議論が行われる見込みである。

増大する地球規模の問題は、地球温暖化に止まらず、アフリカ、アジアで進行する砂漠化と水・食料の欠乏、新興感染症の勃興と流行、石油や稀少金属などの天然資源の偏在と枯渇、格差の拡大と顕在化など多岐に及ぶ。また経済活動のグローバル化に伴い企業は研究開発、生産、販売などをグローバルに展開し、激化する国際競争に勝ち残らねばならない。

このような背景の下、世界各国はそれぞれの立場と強みを生かし、一致協力して、これらの地球規模の問題解決に取り組まねばならない。我々はこのような地球規模の問題解決には、科学技術に基づくイノベーション・システムを地球規模で構築すべき事を提案し、すでに2回の国際シンポジウムを開催して、その概念の普及と内容の検討を重ねて来た¹。本戦略提言では、科学技術イノベーションの立場から、以下の4つの地球規模の問題を例として取り上げ、2050年に向けて、「グローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）」の構築によって解決する方策を提案する。つまり、実現すべき「目指す社会の姿」と共に、問題解決に資する技術をパッケージ化し、取り組むべき研究開発課題と必要な政策課題を「到達方法」として提示する。

- (1) 自然エネルギーの有効利用
- (2) 環境低負荷な交通システム
- (3) 安全な水の提供
- (4) 安心できる食料の安定的供給

GIESとは、地球規模の問題や困難を解決することを目的とした国際的システムであり、その中心はイノベーションを誘発する国際的な「場」の形成である。そこでは様々な要素が相互作用して新たな価値が創造され、そのプロセスの中で「場」自体もダイナミックに変動する。

このような概念を念頭に、各提案では、「イノベーション」、「環境と経済の両立」、「グローバル」、「長期」の4点に着目し、世界全体で共有できる目標としての2050年の社会の姿と、その達成のため科学技術を駆動力とした長期的なイノベーション戦略を提示する。特に、日本は科学技術創造立国を掲げ、優れた科学的知識の創造と新しい技術の開発に注力してきた。その成果を活用して、持続可能な社会と経済発展との両立に貢献しなければならない。これは、科学技術を駆動力としたイノベーションによって社会的価値・経済的価値を創造しようとする、イノベーション・エコシステム概念をグローバルに拡大したものである。

環境問題を中心に世界全体が新たな枠組みを模索している今こそ、

¹ 第1回「持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議 2006 グローバル・イノベーション・エコシステム」は2006年9月に京都で、第2回「グローバル・イノベーション・エコシステム 2007 躍動する世界を目指して」は2007年6月に東京で、それぞれ2日間開催した。

<http://crds.jst.go.jp/GIES/archive/GIES2006/en/index.htm>

<http://www.gies2007.com/en/index.html>

GIES の概念を実現する具体的行動が必要である。政府だけでなく民間、そして国民が強い意思を持ち、地球規模の問題解決に取り組むべきである。

参考文献

[1] 外務省ホームページ

<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/kiko/index.html>

[2] 朝日新聞、2007年2月2日

[3] The Washington Post、2006年1月29日

1. 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

世界経済の拡大と社会のグローバル化が急速に進む中、イノベーションは民間部門にとっても公的部門にとっても主要な問題となっている。各国は様々な制約を克服して経済と社会に新たな活力を取り入れ、大規模な国際競争により優位に立つため、独自のイノベーション・システムの強化に積極的に取り組んでいる。一方、先進諸国を中心に、イノベーションを駆動力に未来社会を地球規模でよりよいものしようとする流れが増大しつつある。

1.1. ナショナル・イノベーション・エコシステム（NIES）からグローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）へ

（科学技術イノベーション）

科学技術イノベーションとは、科学技術の知識を基盤として新しい経済的価値・社会的価値を創造すること¹（図1、以下「イノベーション」）である。各国の国際競争力の強化はもとより地球規模の問題解決にも、科学技術イノベーションの実現が重要である。科学技術に基づく新たな知の創造、必要な手段・方法の開発、それらの成果を活用した具体的行動とそれに必要な環境整備等を、新しい経済的価値・社会的価値を創造するために様々な主体が有機的に連携して進めなければならない。

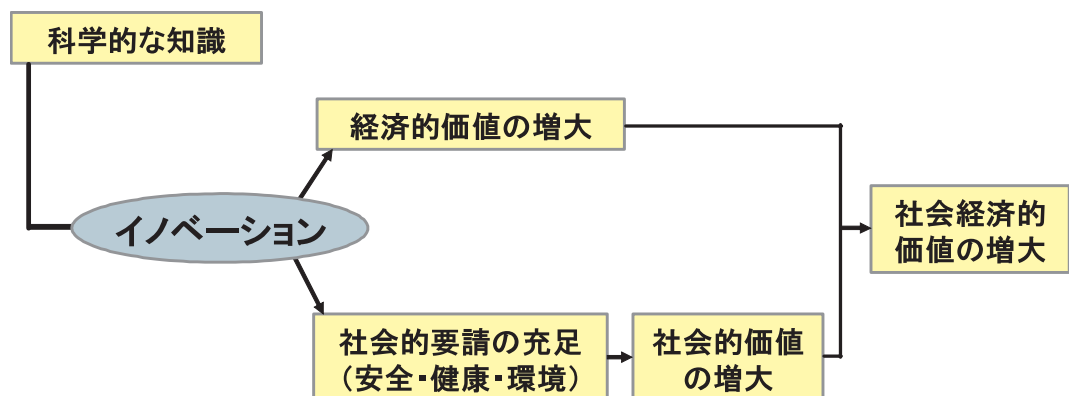


図1 科学技術イノベーション。

¹ 第3期科学技術基本計画において、イノベーションは「科学的発見や技術的発明を洞察力と融合し発展させ、新たな社会的価値や経済的価値を生み出す革新」と定義されており、科学技術イノベーションとほぼ同義である。

(イノベーション・エコシステムとは)

イノベーションの創出は非常に難しい。そのプロセスは経済的・社会的な多くの要素が複雑に絡み合う不確定なものであり、その結果を予測することは不可能である。

イノベーションが創出されるプロセスは、科学技術の知識を基盤として発展する。コンセプト・技術の実証が行われ、プロトタイプおよび試作品の作製が進み、やがてその成果が新たな製品およびサービスとして市場や社会に受け入れられる。そして、新しい価値の創造によって利益・成長、福祉・生活の質の向上を実現する。このようなプロセスをうまく調整し、イノベーションを効率よく創出するには、経済的・社会的な要素の間での競争と協調を通じて、単なる要素の足し合わせ以上の創造的活動が行われるシステムが必要である。つまり、それは自律的なダイナミクスをもつエコシステムというべきものである(図2)。

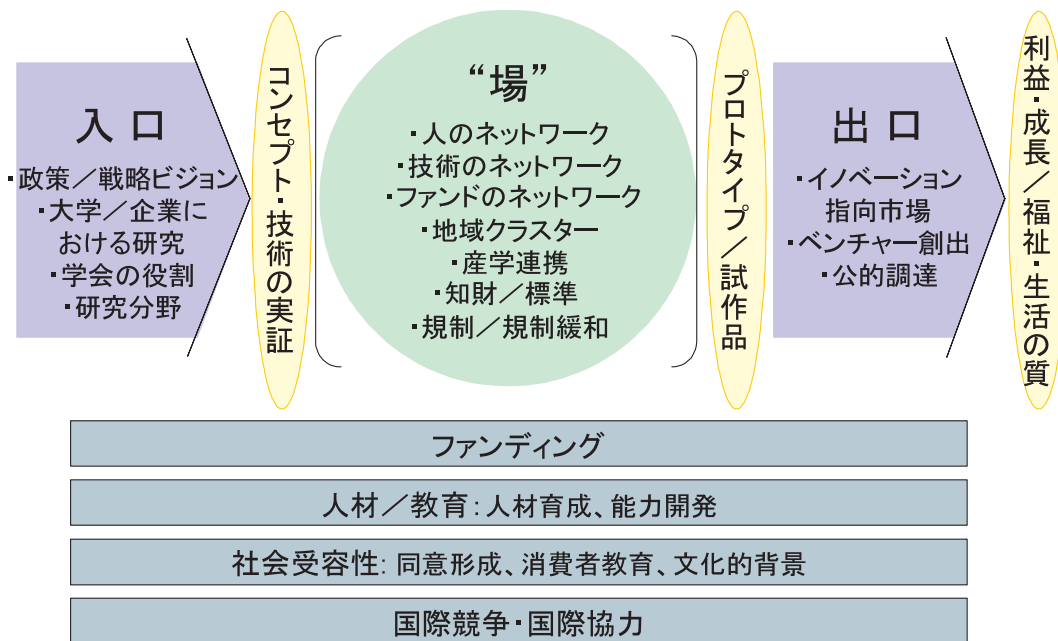


図2 イノベーション・エコシステム。

このイノベーション・エコシステムの中心は、様々な経済的・社会的な要素がネットワーク化した「場」である。そこでは、要素間およびネットワーク間において多様な相互作用が行われ、新しい経済的価値・社会的価値が生み出される。そのプロセスにおいて各要素は共に進化し、それに伴い「場」自体も変化する。また、「場」を最適化する対象となるイノベーションも、時間、場所、目的によって変化する。つまり、「場」はダイナミックに変動するものであり、そこからイノベーションが創出されることこそ、イノベーション・エコシステムなのである。

(なぜ「G」IESなのか)

急速なグローバル化と共にますます激化する国際競争の下、各国は持続的な成長を維持するため、ナショナル・イノベーション・エコシステム(National Innovation Ecosystem (NIES))の構築を急速に進めている。公的部門は、人材育成、研究開発投資、法制度および規制の整備等を通じて、イノベーション創出のための環境整備に重点的に取り組んでいる。また、民間部門は、激しい国際競争に打ち勝つため、必要な技術的、人的、経済的な資源を集積し、新たな製品およびサービスの創出と利益の獲得を目指して活動している。これらの活動は各国の経済的・社会的発展にとって重要である。

しかし、1990年代以降、情報通信技術(IT)の急速な発展に伴い、世界経済の拡大とグローバル化が進展した。特に、90年代半ばにはインターネットや携帯電話が普及し、経済と社会のあり方が大きく変化した。ITの活用が生産性の向上の重要な鍵となり、産業構造の再編が進んだ。また様々な情報が低コストで迅速に伝達されるようになり、世界中で共有できるようになった。さらに2000年代には、Web 2.0の概念の出現に代表されるように、ITのさらなる進化が新たな変革を経済と社会にもたらしつつある。

時代の変遷につれて経済と社会が大きく変動する中、世界各地の問題が世界全体に大きく影響するようになってきている。また、人的活動のグローバル化によって世界全体が共有する問題も増加している。このような地球規模の問題を解決するには、各国の個別の努力だけでは難しい。各国のイノベーション・エコシステムを、アジアをはじめとする地域、さらには世界へと拡大しなければならない。つまり、GIESの構築こそが、地球規模の問題を解決し、世界の持続可能な発展を実現するために必要である。

地球規模のイノベーション・エコシステムを構築するため、公的部門および民間部門はそれぞれのメカニズムを活かして、国・地域・地球規模の各レベルで積極的に行動すべきである。公的部門は、「場」における多様な相互作用に対して、きっかけとなる働きかけや最適化のための調整を政策的に行うことが求められる。また、民間部門は、イノベーションを主導する主体であり、市場メカニズムを活かした地球規模の問題解決への大きな貢献が期待される。新たな価値を地球規模で創造するため、所在国だけにとどまらず、国さらには地域の境界を越えて、生産と製品およびサービスの提供を展開する企業はすでに存在する。このような活動をさらに拡大すると共に、それぞれの時代や文化に応じてダイナミックに「場」を最適化していくことが望まれる。

イノベーションを構成する要素間での結びつきを強めることが、イノベーションをより効率よく創出するための重要な鍵である。人材・制度・

資金等のネットワークを国内から地域、さらには世界へと競争と協調を通じて広げることによって、「場」における相互作用はグローバル化し活発化する。それを駆動力としてイノベーションを創出することによって、地域から世界へと貢献することができる。

1.2. グローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）とは

（GIES の定義）

グローバル・イノベーション・エコシステム（Global Innovation Ecosystem (GIES)）は地球規模のシステムであり、持続可能な発展、気候変動、水や食料の不足、天然資源の枯渇、新興感染症等、近年表面化している多くの地球規模の問題を解決することを目的としている。また、企業が新しい価値の創造に向けてその活動を戦略的に国際展開する上でも、GIES は必要なシステムである。

GIES においては、イノベーション創出による地球規模の問題解決のために、すべての国が役割を果たすことが重要である。各国が NIES における活動を世界規模で展開し、持続可能な社会の実現に向けて一致協力し、イノベーションを推進しなければならない。

GIES の概念を図 3 に示す。イノベーション・エコシステムは各国だけでなく、地域、地球規模でも存在する。そこでは、科学技術、市場および社会、人材・制度・資金がダイナミックに展開される。これらの活動は国際的枠組みによって推進され、社会と地球の持続可能な発展を実現する。

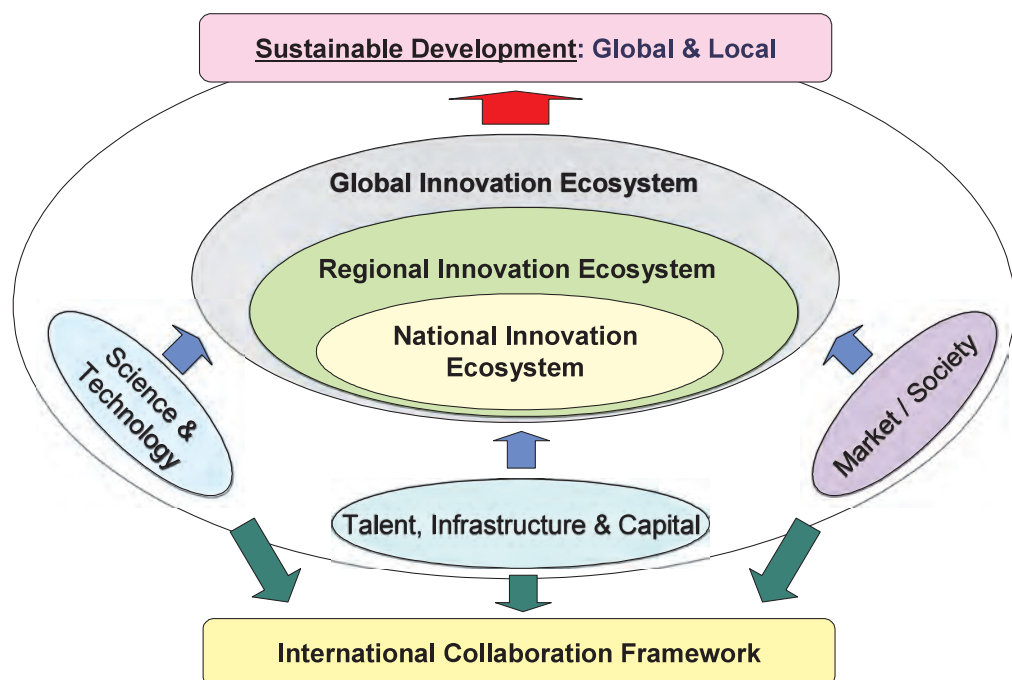


図 3 グローバル・イノベーション・エコシステム（GIES）の概念。

この概念を「場」に着目してさらに深め、GIES の要素とその機能、GIES におけるイノベーション創出プロセス、GIES を活用するために必要な行動を図 4 に示す。

(GIES の要素とその機能)

GIES は次の要素から構成される。

- ・「場」に働きかける、科学技術と市場および社会
- ・「場」の構成要素である、人材・制度・資金
- ・「場」の構成要素を調整する、公的部門および民間部門

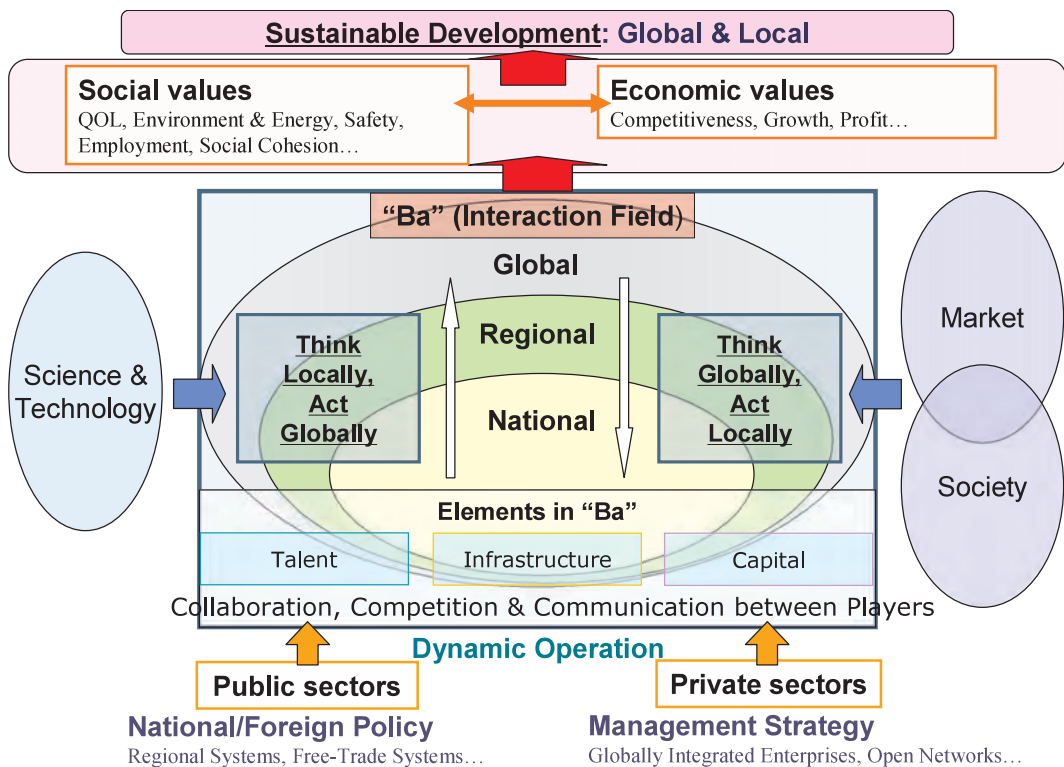


図 4 グローバル・イノベーション・エコシステム (GIES) の詳細。

(GIES におけるイノベーション創出プロセス)

GIES ではまず、科学技術による新たな知識創造や技術開発が、「場」を活性化する。イノベーション創出に向けて科学技術からより豊かな成果を得るため、公的部門は内政や外交を含む政策を通じて、また民間部門は経営戦略を通じて、必要な人材・制度・資金を整備・拡充する。その範囲は国内にとどまらず、地域あるいは世界から適切な人材や資金を集結し、適当な制度を活用することが重要となる。

さらに、市場および社会からの要請に応じて、科学技術が生み出した成果が「場」において育成される。市場や社会の動向を踏まえ、民間部門は

利益創出と社会貢献のため、また公的部門は経済成長と公共福祉のため、人材・制度・資金について様々な手段を検討する。その際、国内、地域および世界での潮流を的確に把握し、目標達成に最適な方策を判断することが求められる。

科学技術の成果を創出し育成するこれらの活動は、ダイナミックに変動する「場」の中で多様な相互作用を生み出す。国内、地域および世界における競争と協調を通じて、人材・制度・資金が様々な形態でネットワークを形成する。そして、そのネットワークはさらなる相互作用を通じて活性化し、イノベーション創出のプロセスを新しい価値の創造へと発展させる。

こうして、GIES において新しい価値が創造される。経済的には、革新的製品やサービスの登場、成長の実現、利潤の創出、雇用の確保等の価値が生み出される。また、社会的には、生活の質の向上、環境・エネルギー問題の解決、安全・安心の実現、社会的結束等の価値が生み出される。これらは、地球規模での持続可能な発展の原動力となる。

(GIES を活用するために必要な行動)

GIES を活用して地球規模の問題を解決するには、各国が互惠関係を築くことが重要である。そのため、問題解決のための手段を各国および地域が提供すると共に、議論を通じて互いに共有できる解決方策を構築しなければならない。そして、その方策の推進に対して各国および地域が責任を負って、それぞれの役割を果たすことが必要である。

このような互惠関係の構築こそが、GIES を活用した地球規模の問題解決を促すと同時に、企業活動による新しい価値の創造をより効率的なものとする。各国および地域において具体的行動を起こすだけでなく、それらの個々の取り組みを国際的な合意の下で地球規模に拡大していくことがグローバルな時代に生きる我々の使命である。

参考文献

- [1] GIES2007 組織委員会事務局, グローバル・イノベーション・エコシステムの構築に向けて, エストレーラ 2007 年 12 月号.
- [2] R. R. Nelson, The Co-evolution of Technology, Industrial Structure, and Supporting Institutions, Industrial and Corporate Change, 2001.
- [2] S. J. Palmisano, The Globally Integrated Enterprise, Foreign Affairs, May/June 2006.
- [3] GIES ポータルサイト, <http://crds.jst.go.jp/GIES/>.

2. 地球規模の問題を解決する方策

地球温暖化、気候変動、安全な水や食料の確保といった地球規模の問題への対応が、今日ほど強く求められている時はない。今こそ、人類がこれまでに築き上げてきたあらゆる知見を活用し、地球規模の問題解決に取り組まなければならない。

本章では、前章で記述したグローバルなイノベーション・エコシステム（GIES）の中で、科学技術の成果を活用して地球規模の問題を解決する4つの方策を提案する。これらには、科学技術イノベーションによって実現される社会の姿と、その到達に必要な国を超えた競争と協調の“しくみ”ーグローバルなイノベーションの「場」ーを形成する方法を示す。すなわち、研究活動の成果である科学的知識や技術シーズと、市場や社会からのニーズの双方がイノベーションの「場」に働きかけ、これを通じて地球規模の課題を解決するために国や民間が果たすべき役割、整備すべき社会的制度を示している。

（地球規模の問題とその主要因）

人類全体に深刻な影響を及ぼしつつある地球規模の問題として、近年よく取り上げられる現象を表1に示す。

表1 様々な地球規模の問題

<主として気象・大気に関するもの>	<水・土・生物に関するもの>
<ul style="list-style-type: none"> ・地球温暖化（気温上昇） ・北極・南極の氷洋消滅 ・海面上昇・陸地消滅 ・都市部におけるヒートアイランド現象 ・オゾン層の破壊 ・気候変動 <ul style="list-style-type: none"> ・降水量減少 ・局地的豪雨 ・災害の多発 <ul style="list-style-type: none"> ・洪水・土砂災害 ・酸性雨 ・大気汚染 <ul style="list-style-type: none"> ・有害物質の越境移動 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質汚染（河川・海洋・地下水） <ul style="list-style-type: none"> ・水供給の逼迫 ・砂漠化の進行 ・森林の減少・劣化 ・土壌汚染・劣化 ・耕地面積の減少 <ul style="list-style-type: none"> ・食料供給の逼迫 ・生物多様性の減少 ・外来種による生態影響 ・新感染症の発生 ・有害物質の越境移動

注) 現象として表れているものを上げた。これらの原因である温室効果ガス、熱排出、フロンガス等は含めていない。

これらの地球規模の問題は、様々な要因が複雑に絡み合っていて引き起こされると考えられるが、大枠でとらえると、先進国を中心とする経済活動の

活発化とグローバル化、中国、インド、ブラジル等の新興国の台頭、途上国における人口急増と貧困の拡大を背景とした、次の2つの主要因によるものと整理することができる。

- ◇エネルギー需要の増大：エネルギー利用の結果として排出されるCO₂等が、地球上での自然のサイクルの限度を超えて増大したこと
- ◇水・食料の需要増大：水と食料の需要が生産量の増加以上に増大していること

すなわち、「エネルギー需要の増大」により、エネルギー供給の逼迫、温室効果ガスや他の有害ガスの発生などによる環境への負荷増大が引き起こされ、これが地球温暖化・気候変動、さらには気候変動によって引き起こされる災害の多発や新感染症の発生、生態系への影響へとつながる。また、「水と食料の需要増大」により、直接的な水・食料供給の逼迫、生態系への影響の結果としての水・食料供給の逼迫が引き起こされている。

これらの地球規模の問題とその関連を図 2-1 に示す。

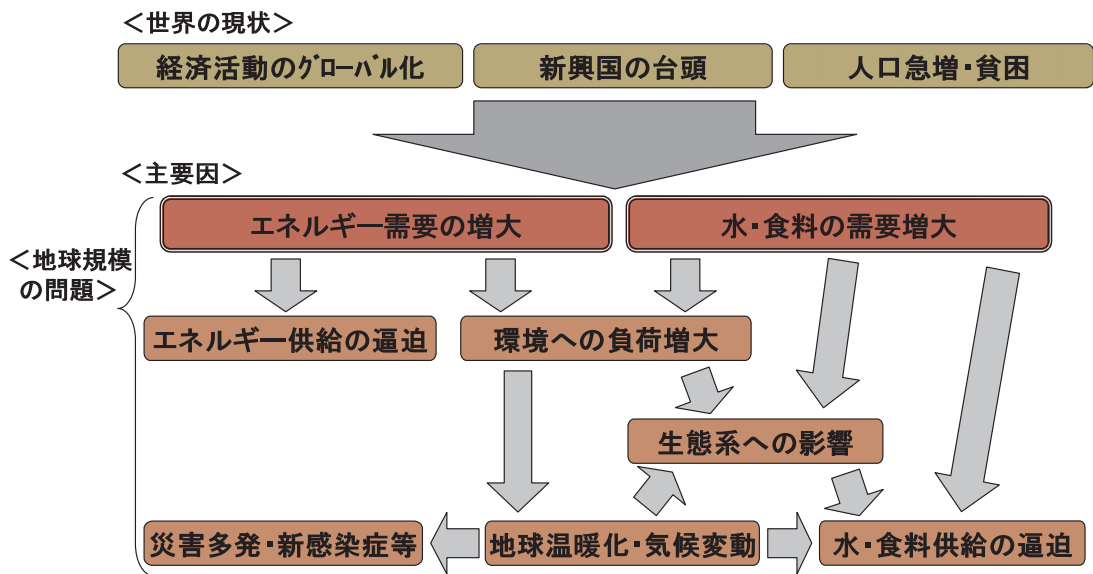


図 2-1. 地球規模の問題とその関連.

(問題解決に向けて)

では、地球規模の問題解決に向けて、どのようなアプローチが可能だろうか。

本章では、図 2-2 に示すように、「エネルギー需要の増大」、「水・食料の需要増大」という2つの主要因が解決された「環境低負荷なエネルギー供給・利用」、「安心できる水と食料の提供」という状況を、我が国の高度な技術力を活かした下記により実現することを提案する。

- ◇自然エネルギーの有効利用
- ◇環境低負荷な交通システムの実現
- ◇安全な水の提供
- ◇安心できる食料の安定的供給

4つの方策には、我が国の技術が、国際的な競争と協力関係の中で、育まれ、実用化され、国の施策や官民の活動によって普及・浸透していくために推進すべき点が示されている。これらの方策を推進することで、「環境低負荷なエネルギー供給・利用」、「安心できる水と食料の提供」が実現された状況となり、高度な経済活動の維持と環境低負荷の双方の両立が可能となり、さらには生活の質（Quality of Life: QOL）が世界的規模で実現される。また、環境低負荷型の社会の実現が、地球温暖化・気候変動という問題の解決、生態への影響の最小化につながり、他の地球規模の問題の解決へとつながる。

問題解決の方策と実現すべき状況、目指す姿との関連を図 2-2 に示す。4つの方策では、下記の項目を記述する。

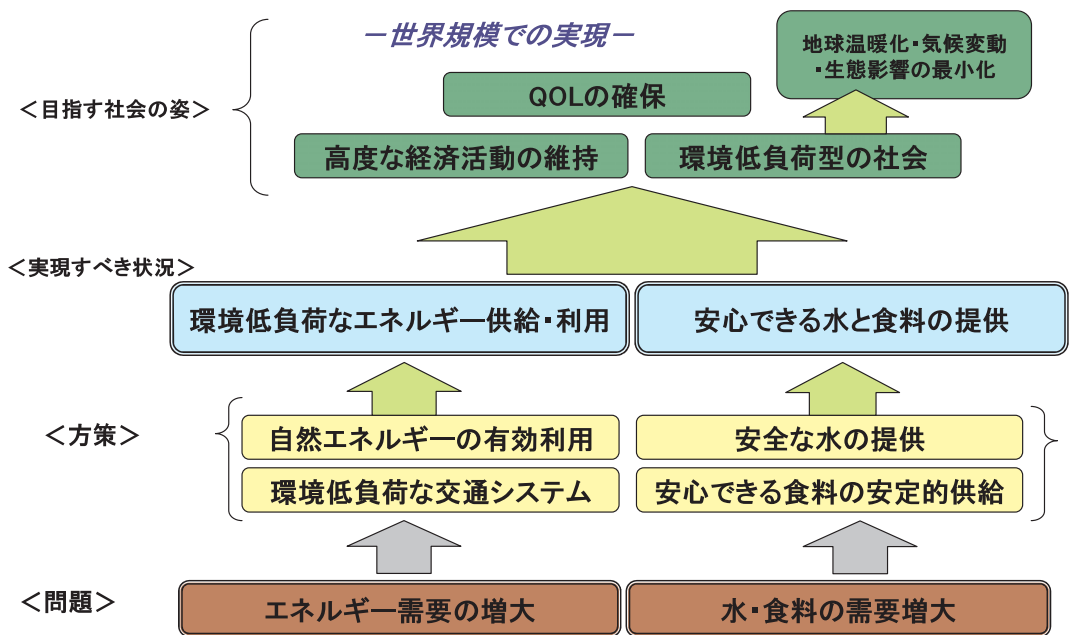


図 2-2. 目指す社会の姿と問題解決の方策.

1. 目指す姿とその到達方法
2. 解決すべき地球規模の問題とその理由
3. 目指す姿への到達のための技術パッケージ
4. 目指す姿への到達に必要な枠組み
5. 目指す姿への到達によって得られる効果
6. 提言

2.1. 自然エネルギーの有効利用

2.1.1. 目指す社会の姿とその到達方法

増大するエネルギー需要を満し、同時に CO₂ を削減する将来の一次エネルギー構成のシナリオとしては、(1) 化石燃料の利用と CO₂ の回収・隔離、(2) 原子力の最大利用、(3) 自然エネルギーを含む再生可能エネルギーの最大利用および省エネルギーの実施が挙げられる¹。今後、世界各国は、この3つのシナリオを併用して低炭素社会（経済活動を維持したまま CO₂ 排出量を大幅に削減した社会）を目指した現実対応を試みなければならない。これらの中で、(1)と(2)はいずれも資源偏在・制約の問題がある他、前者は CO₂ 回収・隔離のための追加的エネルギーとコストが必要で、後者は立地や処分に大きな課題を抱えている。一方、(3)のうち自然エネルギーはエネルギー供給技術としては最も完成度が低いものの、技術が完成した場合には普及の障害が最も低く、世界規模でも化石資源制約や環境制約の緩和に最も効果的であると考えられる。利用可能な自然エネルギーとしては、太陽光、風力、地熱、バイオマス等があるが、現状の技術ではエネルギー変換効率、製造コスト、製造プロセスでの環境負荷、立地上の制約等課題が累積しており、また、新しいエネルギー利用技術の創出の可能性もある。そこで、科学技術イノベーションの効果が最も大きいものが自然エネルギーの有効利用であると考え、この問題にフォーカスして提案する。

本章では、日本の技術力によって自然エネルギー利用の課題を克服し、日本をエネルギー技術の輸出国とする方策を提案する。ここで取り上げる技術は、自然エネルギーの中でも太陽光もしくはバイオマスを利用した、日本が現状で高い研究開発力・技術水準を持つ下記の4つである。

- ・ 太陽電池
- ・ 太陽光による水素エネルギー生産
- ・ 非食料系バイオマスの利用
- ・ 水生・海洋（微）生物のエネルギー資源化

これらの技術の研究開発と普及に向けた社会的インフラの整備を併行して推進することにより、エネルギー変換効率が高い自然エネルギー利用のしくみを世界規模で実現する。

（目指す社会の姿）

太陽光とバイオマスを利用した環境低負荷なエネルギー供給システム

¹ 財団法人エネルギー総合工学研究所、「超長期エネルギー技術ロードマップ報告書」、2006年3月。

が、住宅用、燃料用、産業用等の用途、立地場所の季節・気候・社会的条件によって最適なものが利用できるように浸透した低炭素社会を目指す。この効果により、2050年には、CO₂排出量70%削減（対2000年比）を達成する。

- ・ エネルギー変換効率が高く、かつ低コストの太陽電池が、住宅用を中心に主要電力源として全世界的に普及し、関連貯蔵技術や他電力源との系統連携システムが完成している。
- ・ 太陽光を利用した、水素エネルギーの生産が実用化し、水素エネルギーの利用をささえる社会的インフラが整備されている。
- ・ 草本系や木質系バイオマス等の非食料系バイオマスを利用する技術が確立し、アジア諸国との協力・連携のしくみが定着している。
- ・ バイオマス資源が豊富な水域・海洋域を利用し、水生・海洋（微）生物の資源化によるエネルギー供給が実現している。
- ・ 日本は、エネルギー輸入国から、エネルギー技術の輸出国となり、全世界のエネルギー供給システムの要となっている。

目指す姿への到達方法は下記の通りである。

（太陽電池のコスト低減と普及）

エネルギー変換効率が増え、火力発電並に低コストとなった各種太陽電池を普及させ、国内の総供給電力に占める割合を2050年までに現在の0.1%から20%以上に引き上げる。太陽電池のCO₂排出量は火力発電の1/10であり、削減効果は大きい。

そのためには、短期的に、現在の市場の中心にある多結晶シリコン太陽電池のより一層の高効率化と原材料の需給逼迫を緩和するための薄層化、既存電力源の発電コストに少しでも近づくための低コスト化が企業を中心として図られるべきである。

中長期的には、既存電力源並みの発電コスト、30%を超すモジュール変換効率、30年を超す寿命等、画期的な性能の向上を目指した太陽電池の研究開発を以下の2点を基本として戦略的に推進する。

- (1) 結晶（多結晶含む）シリコン太陽電池については技術的にはかなり成熟していること、市場がすでに存在することから、研究開発は民間の投資にゆだねるのが良い。しかし政府は市場の拡大に対して一定の役割を担うべきである。
- (2) 政府は薄膜型、有機系、新型太陽電池等の新技術の開発に積極的に投資することによって太陽電池に関わる総合的な技術開発の世界的拠点を形成する。鍵となる技術は薄膜型、有機系、新型太陽電池の

高効率化・低コスト化、長寿命化を目指した製造プロセス、多層化や接合による新構造の開発、新しいキャリア生成機構の解明と利用等である。

市場形成における政府の役割は、多様である。たとえば、個人住宅用システムへの補助金制度に代わる新たな制度作り、ドイツに見るような電力会社による自然エネルギー利用で作られた電力の買取制度等、社会的価値を担保できる経済的仕組みづくり等が考えられる。これらの政策に並行して電力貯蔵技術、不安定な分散型発電システムの安定化技術、ネットワーク化された大規模発電・配電システム、系統連携システム等については、大学と産業界の連携による基礎研究を進める。その結果、自然エネルギー利用発電システムと従来型発電システムを統合した低炭素型の電力供給システムを完備させる。

基本的には、これまで蓄積して来た世界トップの技術インフラをベースに、日本が国際的な優位を保つナノテクノロジー、材料科学、物理学、化学等の学術領域や部素材産業を生かして世界的な太陽光発電技術の輸出拠点を築くことを主要戦略とする。

また、国際共同プログラムによる、砂漠、洋上における発電・送電システムの開発、分散型オンサイト発電システムの発展途上国への普及を推進する。

(太陽光による水素エネルギー生産に関する基礎から応用までの研究開発とその社会的実現)

太陽光により水を分解して水素を発生させ、これを燃料とすることで再び水になるという、全くCO₂を出さない究極の環境低負荷なエネルギーを、2050年までに実用化する。それを利用することにより、クリーンな水素発生技術と結びついた燃料電池による水素社会の実現が可能となる。しかしながら、水分解に用いられている光触媒のエネルギー変換効率は0.1%程度と大変低いのが現状である。

このためにまず、短期的には、太陽電池を利用して水を直接電気分解して水素を発生させるシステムについて、課題となる要素技術やシステム全体の効率を上げる研究開発に国家投資を行うべきである。

しかし中長期的には、新規触媒の設計や探索法を含む基礎研究に集中的な投資を行い、それを通して少なくとも太陽光による水分解のエネルギー変換効率10%を超える画期的な触媒材料の開発を目指すべきである。また、技術的には初歩的な段階にあるが、もう一つの方法として、植物の光合成を模倣して水素発生までのプロセスを効率的に進めるための超分子の設計と自己組織化を利用した合成法の基礎研究が、並行して行われるべき

である。

太陽電池による水の電気分解については、効率的な水素燃料生成技術という一面のほか、太陽光発電システムの弱点となっているエネルギー貯蔵（つまり蓄電）について化学エネルギーによる貯蔵という一つの解決策を与え得る可能性を秘めており、系統連携の一つの形態としてその可能性が議論されるべきである。

以上の背景から光合成に関わる化学者、生物学者そして燃料電池や太陽電池に関わる化学者、物理学者、電子工学者が交流連携するための研究センターの設置が必要であり、グローバルスケールでの両分野の共同ワークショップの企画あるいは共同プロジェクトの実施によりこの分野をさらに加速推進することができる。

以上、本技術開発においては、エネルギー変換効率の画期的な向上を目指した光触媒材料の開発、光合成に関する新規超分子の設計・探索が鍵の技術であり、同時に、より短期的な実用化をねらった太陽電池による水分解の研究開発、そして中長期的には燃料電池車の普及に合わせて設置されるべき水素ステーション等、水素エネルギーを受け入れるための各国共通の貯蔵・運搬等の社会インフラが産官学の連携によって整備されるべきである。

（非食料系バイオマスによるエネルギー変換技術の基礎から応用までの研究開発とその社会への実装）

サトウキビやトウモロコシ由来のエタノール、菜種油、パーム油等の食料系バイオマス・エネルギーは、化石燃料からバイオマス資源への転換を目的として、すでに欧米やブラジルを中心に多くの国で政策誘導型の市場導入が図られ、特に自動車用燃料への導入が積極的に進められているが、一方で食料の価格高騰を招く要因になっている。従って今後は、草本や木質等の非食料系バイオマス資源への早期転換を実現し、社会に普及させる必要がある。

草本系バイオマスに関しては、バイオマス資源の高効率収集と運搬法の開発、乾燥した荒廃地での育種・栽培技術の開発、セルロース糖化能力の高い酵素の研究開発を推進し、エネルギー変換効率の向上を達成することが重要である。木質系バイオマスでは、草本系の成果を適用しつつ、燃料化の前処理技術や糖化法の高度化を促進すると共に、ガス化、液化、高効率燃料合成技術の開発によって変換効率の向上を図るべきである。並行して新たなバイオマス資源の確保を目指して遺伝子組換えによる少リグニン種を開発することが重要である。

バイオマスの化学利用に関しては、新燃料であるブタノールおよびポリ

乳酸等の生産が進展しており、今後エネルギー密度の高い新エネルギー燃料および工業用新化学物質の開発を推進するべきである。なお、遺伝子組換え技術の利用に関しては、安全性確認および管理技術の開発を同時に進めることが肝要である。

日本に賦存するバイオマス資源は必要とする一次エネルギーの5-10%程度と見積もられておりそれほど多くはない。それに対し、ASEAN 諸国にはバイオマス資源が豊富である。上記の日本の開発技術の蓄積は、ASEAN 諸国との連携・協力の場を設けることにより、グローバルスケールで化石資源からバイオマス資源への転換に貢献することが可能となる。

(水生・海洋(微)生物を利用したエネルギー生産技術の基礎から応用までの研究開発とその社会への実装)

バイオマス資源賦存量の多い、水域・海洋域利用の新たな研究開発として海草、藻類、プランクトン等の水生・海洋(微)生物のエネルギー資源化技術開発が始まっている。日本は広大な海域を利用できることを踏まえ、総合的視野から水域・海域のバイオマス資源の開発に取り組み、その実現を図る必要がある。

まず、水生・海洋(微)生物資源の基本的データの収集および調査を通して有効生物を抽出、光合成を利用して(微)生物から油糧や水素を生成する技術開発、温暖化等による海水温の変化等環境変化に対応できる遺伝子組換え技術を開発する。

また、沿海部における緑藻類・微生物の大量培養に関するシミュレーションを実施し、それをベースとして環境アセスメントを考慮した大型実用化技術の確立を図る。遺伝子組換え技術の適用に際しては、安全性確認および管理技術の開発の成功が前提である。個々の要素技術から全体のバイオ燃料合成システムとしての技術開発を加速的に推進するためには生物学者、化学者、工学関係者の分野を超えた技術間の融合・連携が必要であり、促進する場としての国内の研究センターの設置が望まれる。同時に、海洋等における大型実用化施設の建設に伴う政策的・技術的な課題を解決するための国際プログラムを、各国と協議して設置することが有効である。

2.1.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由

人類に深刻な影響を及ぼす地球規模の課題の中で、地球温暖化は、気候変動、災害の発生、国土の消失、生態系の破壊の要因と考えられている特別に大きな課題である。

地球温暖化が人類の危機を招くとの警告は、最初、米国 NASA のジェームス・ハンセン博士によりサイエンス誌上（1981年）で発せられ、1988年の IPCC（気候変動に関する多国間パネル）設立への流れが作られた。地球温暖化を科学的・技術的・経済学的見地から評価しようとする IPCC は、その後、3000人の科学者の参加を求めた活動を通じて、地球温暖化の原因は産業革命以降の人間活動に起因する温室効果ガス排出量の増大によるもの、とほぼ断定するに至っている（この活動に対して、2007年、アル・ゴアと共にノーベル平和賞が授与されている）。また、英国の経済学者ニコラス・スターン博士は近著（2006年）において早期かつ強力な温暖化対策が経済的にも便益を生むと結論を下している。

以上のように地球温暖化と温室効果ガスとの因果関係が科学的にほぼ証明され、かつ、それに対する早期の対応が経済的にも有利と示唆されるにいたり、世界各国のこの10年の対応は急速に変化しつつある。

1997年の京都議定書²では、2008年～2012年の温室効果ガス排出量の削減目標（1990年比）を日本6%、米国7%、EU8%に設定する等、グローバルスケールで数値的な枠組みづくりが進められ、2007年6月のG8ハイリゲンダム・サミットでは、日本からの提案「美しい星へのいざない / Innovation to Cool Earth 50」³に基づいて、2050年までに全世界の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減する等の検討に合意が得られた。日本では、この長期的な目標の達成に向けて、「Cool Earth — エネルギー革新技術計画」の策定に向けた検討を8月に開始した。EU加盟国では、2020年までに1999年水準から20%削減するという目標に向けて各国が取り組みをすすめている

温室効果ガス排出量の中でもCO₂は約6割と最大を占め、またその約95%が化石燃料由来によるものである⁴。従ってCO₂の排出量削減が、地球温暖化とこれに起因する様々な地球規模の課題の解決の重要な鍵となるが、その手段としては、化石燃料を主とするエネルギー供給システムの改革およびエネルギー消費部門（産業、運輸、民生）の省エネルギー化が

² 第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）にて議決。

³ 日本国内で2007年5月に発表。

⁴ IPCC 第4次評価報告書、「2004年の人為期限温室効果ガス総排出量に占めるガス別排出量の内訳」、2007年11月。

二本柱である。

本章で提案するのは、エネルギー供給システムのうち、自然エネルギーを利用する方法に着目し、基本プロセスとしてCO₂を全く排出しないかカーボンニュートラルなエネルギー供給システムを、最先端の科学技術を駆使したイノベーションを通して、全世界に普及させようと意図しているものである。

この新たなエネルギー供給システムは、CO₂排出量が削減できると同時に、その国や地域の活力と経済力、高度IT化社会を維持し、「生活の質」を確保するために必要なエネルギー需要を満たす必要があり、自然エネルギーは、この条件に適合しうるエネルギー源の1つである。太陽光もしくはバイオマスを利用する技術は、今後にかけて技術的課題や改善の余地が多く、国際的な連携による取組も不十分であるが、日本が潜在的に高い研究開発力、技術水準を持つ領域でもある。この領域をベースとした戦略的な研究開発投資により、エネルギー変換効率性やコストの問題を画期的な研究成果によって克服し、国際共同プロジェクトの推進等を通じた実用化と普及を通じ、日本がイノベーションを先導していける可能性が高い。

2.1.3. 目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ

自然エネルギー利用によるエネルギー技術には、一般に太陽光、風力、地熱、バイオマス、水力等が含まれる。

自然エネルギーを含む再生可能エネルギーによる化石燃料代替は、今世紀に入って EU を中心としてヨーロッパ諸国が長期的政策的に取り組み始め、太陽電池システム、風力発電システム、バイオマス、いずれについても制度的なインセンティブと抱き合わせて導入促進を図っている。その結果、欧州の再生エネルギー産業は、世界市場の 50% を占めて 30 万人の雇用を生み、風力については既に火力発電所 50 基分の容量を蓄積している。一方、米国はエネルギー計画全般を最優先課題に設定して国家投資を増やし始めているが、制度的枠組みが未整理であり、太陽電池市場では遅れをとっている。しかしながら世界市場を席巻しているバイオマスについては、三つのバイオエネルギー研究センターの設立計画を発表する等基礎研究に戦略的な投資を図りつつある。日本においては、一次エネルギー供給量に占める新エネルギー（従来型の大規模水力は除く）の割合は 1% 強であり、欧米に比較するとバイオマスや風力の割合が低く、太陽電池のみがドイツと発電容量の世界のトップ争いをしている。ちなみに水力の割合は約 4%、国内総発電容量の 10% に相当するが、風力と太陽光発電は、ともに 150 万 KW（火力発電所 1.5 基分）、地熱発電はその 3 分の 1 である。

このような背景の中で、資源小国の日本が長期的な視点から選択すべき方向は、高度な学術的ポテンシャルを要し、かつもっとも大きなイノベーションが期待される太陽光とバイオマス利用の技術であり、次の 4 つを技術パッケージとしてフォーカスして研究開発すべきことを提案する。

- (1) 太陽電池
- (2) 太陽光による水素エネルギー生産
- (3) 非食料系バイオマスの利用
- (4) 水生・海洋（微）生物のエネルギー資源

以下に、それぞれの分野の現状を記し、わが国が重点的に推進すべき研究課題を提案する。

2.1.3.1 太陽電池

図に示されているように、太陽電池は大別して、

- (1) シリコン系（単結晶、多結晶、薄膜）
- (2) 化合物系（CIGS・CIS 等薄膜、Ⅲ－Ⅴ族結晶）
- (3) 有機系（色素増感型、有機薄膜型）

⁵ NEDO 海外レポート NO.1007、2007 年 9 月 19 日。

(4) 新型高効率系

に分けられる。各太陽電池にはそれぞれ特徴があり、開発レベルも異なっている。市場に出ているものもあるが、現状では火力発電や原子力発電等既存電力源に比較して発電コストが数倍かかり、そのため、太陽光発電は全需要電力の0.1%を占めるに過ぎない。以下に、それぞれの現状技術の位置づけ、欧米や日本の現状、研究開発課題等について記す。

(1) シリコン系（単結晶、多結晶、薄膜）太陽電池

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 現在、市場に出ている主流は変換効率 20%前後で寿命 20 年程度のシリコン系結晶（多結晶が主流）太陽電池であるが、材料製造コストに改善の余地があるものの技術的にはほとんど成熟しており、「成長・利益」フェーズにある。
- ・ 市場ではまだマイナーであるが薄膜シリコン系の太陽電池は、「製品開発」フェーズから「成長・利益」フェーズに入りつつあり、世界的には 40 社を越える企業が生産を始めている。しかしながら今後技術的な進展の余地が残されていて更なる高効率化と低コスト化が目標となる。

② 日本の現状：

- ・ シャープ、京セラ、三菱を中心に結晶シリコン系では世界的に技術が最も進んでいる。しかし技術が成熟し、市場での争いで原材料（シリコン基板）の需給逼迫が問題化、削り代を減らす薄層スライス技術が必要になっている。
- ・ シリコン系薄膜太陽電池の分野では、カネカ、シャープ、三菱重工、三洋等日本の技術の層が厚く、産総研中心に基礎においてもリードしている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ シリコン系結晶太陽電池は技術的に成熟度が高いためターンキー方式の量産が可能で、ドイツ（Qセル社）を中心に他のヨーロッパ諸国ばかりでなく中国（サンテック社）、韓国、台湾等の多くの企業が参入している。
- ・ 薄膜（アモルファス等）シリコン系では、米国（NREL）、ドイツ（フラウンホーファー）が基礎・応用で強み。インド、中国、台湾、韓国等は基礎開発力で遅れているものの現状技術のまま生産に入り始めている。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ 結晶系シリコン太陽電池は、後述の市場刺激策の下に、基板薄層化、低コスト化、高効率化を目指して民間中心の技術競争にゆだねる。

- ・ 薄膜型シリコン太陽電池については、光劣化機構の解明と防止策、大気圧プロセス、液相プロセス等の新しい低コスト化プロセスの開発、多層化による高効率化研究に国費を投入し、2050年に変換効率25%、火力発電並みの電力コスト実現を目指す。

(2) 化合物系（CIGS・CIS等薄膜、Ⅲ－Ⅴ族結晶）太陽電池

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ CIGS・CIS等薄膜太陽電池は「製品開発」フェーズにあり、今後更なる高効率化と低コスト化が目標となる。CdTe太陽電池は、塗布・印刷プロセスによる低コスト化が可能で一部市場に出ている。
- ・ Ⅲ－Ⅴ族結晶太陽電池については、耐放射線、高効率を特徴として宇宙用に使われている。「成長・利益」フェーズと「製品開発」フェーズの中間にある。

② 日本の現状：

- ・ CIGSは昭和シェル石油はじめ国内数社が取り組む。基礎研究については産総研が中心である。宇宙用のⅢ－Ⅴ族結晶太陽電池についてはシャープが生産している。

③ 欧米アジアの現状：

- ・ CIGS系化合物薄膜太陽電池に参入し始める企業が増えている。CdTeを含みCIGS系薄膜太陽電池に参入した企業は30社を超える。米国のナノソーラー社（CIGS）、ファーストソーラー社（CdTe）は印刷技術を導入して低コスト化を図っている。NRELの基礎技術が高い。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ CIGS系薄膜太陽電池については材料開発や界面現象に絞った高効率化に絞って基礎的な課題解決のため国費を投入する。
- ・ 塗布法等低コスト化については民間にゆだねる。

(3) 有機系（色素増感型、有機薄膜型）太陽電池

① 技術の発展段階での位置づけ：

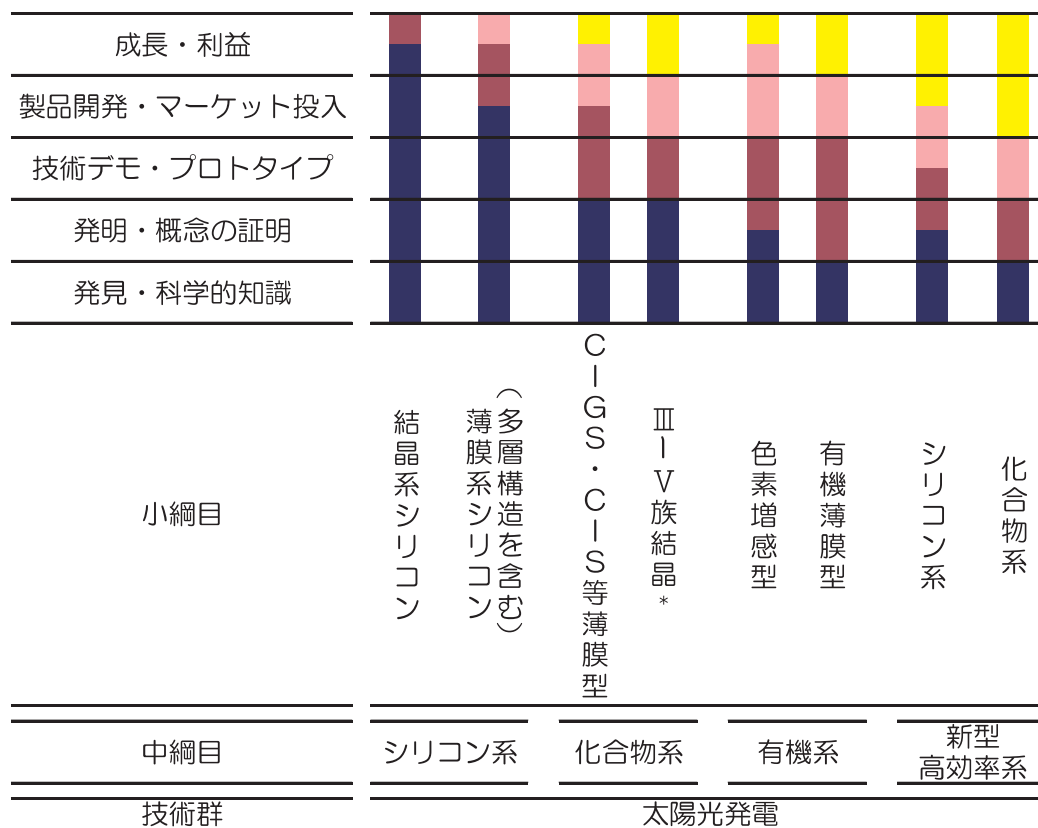
- ・ 有機系太陽電池は、現在、「発明・概念の証明」から「技術デモ」のフェーズにあり、真空装置不要でかつ塗布型による低コスト化が最も期待されている太陽電池である。色素増感型は「技術デモ」フェーズに近く、有機薄膜型は「発明・概念の証明」のフェーズとあって良い。効率の大幅向上と寿命長期化が最大課題。

② 日本の現状：

- ・ 色素増感型太陽電池の研究人口は日本が最大であり、NEDOプロジェクトでシャープ/藤倉はモジュール6%を達成している。シャープ、

- トヨタ中研、基礎研究では産総研、東京理科大、岐阜大、東大等が強い。
- ・ 逆に有機薄膜型太陽電池については、欧米に比較して日本は研究人口が少ない。基礎研究段階である（産総研、京大、阪大）。
- ③ 欧米アジアの現状：
- ・ 基礎研究として欧米は人口多し。色素増感発明者のグレッツェルを擁するスイス。有機薄膜ではドイツ（BASF）米国等。米国ではノーベル化学賞のアラン・ヒーガー教授も研究に従事。
- ④ 日本が取り組むべき研究開発課題：
- ・ 色素増感太陽電池については、新しいナノ触媒材料と色素分子の探索・設計による高効率化、電解質の固体化による長寿命化の研究に国費を集中的に投資して 2050 年に変換効率 20%、寿命 10 年、火力発電並み電力コストの実現を目指す。
 - ・ 有機薄膜太陽電池については、有機／無機界面、電荷輸送現象の解明、塗布型の低コスト化プロセス技術の開発、有機活性層における新しい有機分子と分散構造の探索、および長寿命化に国費を集中的に投資して 2050 年に変換効率 15%、寿命 10 年、火力発電並みの電力コストの実現を目指す。
- (4) 新型高効率系太陽電池
- ① 技術の発展段階での位置づけ：
- ・ 化合物系、シリコン系に拘わらず、あらゆる手立てを考へて画期的な高効率化を図ろうとする新概念の太陽電池で、集光波長変換、非線形励起、多層構造、量子ドット構造等、「発明・概念の証明」フェーズにある。
- ② 日本の現状：
- ・ 筑波大、東工大で研究されているが研究人口は極めて少ない。
- ③ 欧米アジアの現状：
- ・ 欧米では基礎研究として盛んになりつつある。特に米国では、DOE が大きな予算をつけて多くのグループが挑戦を始めている。ドイツ（フラウンホーファー研究所）、米国（NREL：国立再生可能エネルギー研究所）等が拠点。
- ④ 日本が取り組むべき研究開発課題：
- ・ シリコン系、化合物系によらず、新概念による太陽光広域スペクトルの吸収法、高効率キャリア励起法、高効率の電荷分離と輸送現象、それらを実現するための新材料開発、多層構造、量子ドット構造の提案開発に国費を投入して 2050 年に変換効率 50% 実現を目指す。

以上の研究開発投資の基本は、基礎開発力を必要とする有機系、薄膜系、新型高効率系太陽電池に集中して中長期的に国家投資が実施されること、連携・融合がグローバルスケールで効率的に行われる場が用意されること、また、段階的かつ継続的に、民間中心の蓄電技術および系統連携システムの技術開発が並行して行われることである。



*宇宙用の電池として既に実用化されているものがある。

■ 現在 ■ 5-10年後 ■ 10-20年後 ■ 20年後以降

図 2.1.1. 太陽電池およびシリコン系に関する技術の発展段階の予測。

2.1.3.2 太陽光による水素エネルギー生産

太陽光を使って作り出せるエネルギーは、電気・熱および化学物質である。電気については、2.1.3.1の太陽電池で記述されている通りである。熱は、いわゆる太陽熱利用温水システムと呼ばれているものであり、温水そのものを暖房や風呂等に利用しているだけであり、蒸気タービンと組み合わせさせて発電するレベルまでには至っていない。これに対し、太陽光を使って化学物質エネルギー（水素等）を作り出すことができれば、燃料電池と組み合わせさせて環境低負荷な発電システムが構築され、低炭素社会の実現に貢献することができる。ここでは、光触媒を使った水分解による水素エネルギー生産関連技術に絞って提案する。

水の光分解に用いられる触媒は、無機系と有機系光合成模倣の2種類に分類される。無機系光触媒には、オキシナイトライド系粉体、タンタル系・ニオブ系の複合酸化物粉体、シリコン-チタニア系の薄膜結晶等多種類の材料が用いられている。一方、有機系光合成模倣に関しては、ポルフィリン系およびバイオ系の材料が利用されている。以下に、それぞれの技術（触媒材料）の発展段階での位置づけ、欧米や日本の現状、研究開発課題等について記す。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 無機系光触媒による水素生成については、漸く光触媒としての原理確認ができた段階であり、「概念の証明」のフェーズにようやく到達しようとしているところである。しかしこれらの中で、オキシナイトライド系粉体とシリコン-チタニア系薄膜結晶は、一歩先んじている状況である。有機系光合成模倣に関しては「概念の証明」のフェーズ以下の研究段階である。

② 日本の現状：

- ・ 東大（オキシナイトライド系）・東京理科大（タンタル・ニオブ系複合酸化物）・産総研等の研究機関が強い。有機系超分子については京都大（ポルフィリン系）の成果がある。
- ・ 粉体系や薄膜系の光触媒の分野では世界をリードしている。文科省・JSTのCREST等のファンド注入により、近年更に研究水準が向上してきた。
- ・ 潜在的な開発技術力は高い。特に酸化チタン系光触媒では、殺菌・防汚・消臭や防曇等の効果に適用され、既に多分野で商品化されている。
- ・ 一方、有機系においては、まず光合成の最初のステップになる光収集、電子と正孔対の励起、分離を効率的に行う超分子（C60を含むポルフィリン系）の提案が京都大学からなされている。水素生成までの模倣には至っていない。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 欧米においても状況としては日本と大差ない。すなわち、基礎的な研究開発は地道に進行しているが、実用化検討までには至っていない段階である。
- ・ 研究開発力がある機関としては、米国のシャッツ・エネルギー研究センターおよび国立再生可能エネルギー研究所（NREL）、ドイツのフラウンホーファー・太陽エネルギーシステム研究所（ISE）等が著名である。
- ・ アジア（中国・韓国）の研究レベルは、総じて欧米・日本と比較して

かなり低い状況である。

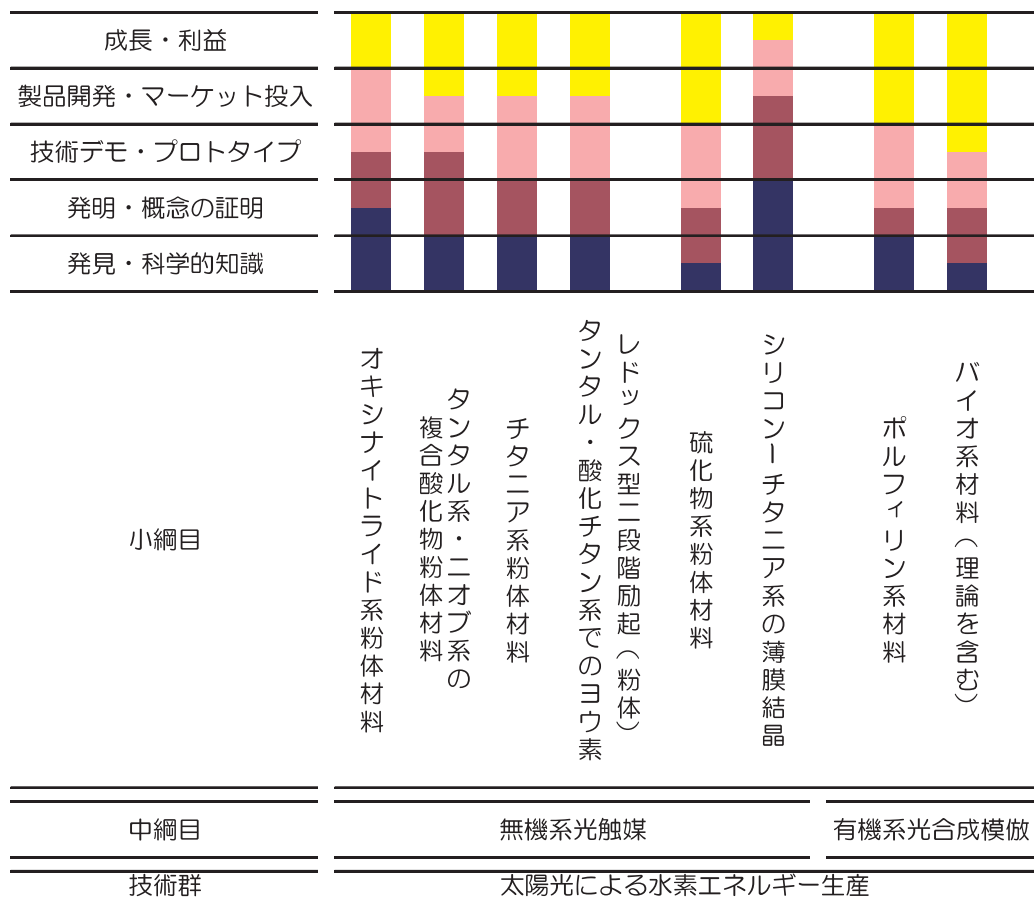
④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

<エネルギー変換効率向上を目指した新規触媒材料の基礎研究>

- ・ 現状のエネルギー変換効率（0.1%程度）の飛躍的改善（10%以上）を実現する新規触媒の開発。高効率電荷分離を可能とする有機超分子の設計と探索、およびそれを使用した水素生成系の確立（長期的継続的投資が必要）。
- ・ 太陽電池と組み合わせた水分解システムの研究(短期的実用化を目標)。

<コストを含めた実用化検討のための研究開発>

- ・ 低炭素社会の主要輸送手段としてのクリーンで高効率の燃料電池車の普及を目指して、水素の貯蔵技術、輸送技術とあわせて太陽光による水素生成技術を社会のインフラの一部として定着させるためのシステムの研究開発（産官学共同プロジェクトが必要）。



■ 現在 ■ 5-10年後 ■ 10-20年後 ■ 20年後以降

図 2.1.2. 太陽光による水素エネルギー生産関連技術の発展段階の予測.

2.1.3.3 非食料系バイオマス

生物資源由来のバイオマス・エネルギーは、世界的に石油や石炭に代わるエネルギー源となるポテンシャルを有しており、カーボンニュートラルなエネルギー資源として、今後日本が温暖化ガス排出の削減に向けて重点的に取り組む必要がある。

ここでは、日本国内にある程度の賦存量が見込まれ、同時に ASEAN 諸国に多くの賦存量が期待される非食料系の草本系・木質系バイオマスおよびバイオマスの化学利用・新技術開発に絞り、それぞれの技術の発展段階での位置付け、日本の現状、欧米アジア等の現状を記し、わが国が重点的に推進すべき研究課題を提案する。

(1) 草本系バイオマス

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 各国とも食料系に代わる草本系の技術開発に注力しており、エタノールの生産技術は、「製品開発・マーケット投入」のフェーズにある。
- ・ 荒廃地の育種・栽培技術の開発は、「発明・概念の証明」から「技術デモ・プロトタイプ」に進む段階にある。
- ・ 高活性の新酵素や耐性酵母の開発は、「発明・概念の証明」のフェーズにある。

② 日本の現状：

- ・ わが国では草本系で C5 糖（ヘミセルロース）や C6 糖（セルロース）の同時発酵酵母の開発や膜を利用した濃縮・脱水技術が進展している。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ バイオマス・エネルギーの主力とすべき草本系の技術開発は世界的にも鋭意研究開発が推進されている。
- ・ 草本系バイオマス利用に向けて、産官学連携の下で遺伝子組換え技術を利用したさまざまな技術開発が、欧州、北米、南米において進展している。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ 食料栽培と競合しない荒廃地や低水量による栽培技術の開発
- ・ 糖化能力の高い酵素、不純物への耐性、糖化反応温度で発酵できる高温耐性酵母、雑菌の繁殖抑制のための低 pH への耐性を持つ酵母等の開発
- ・ 荒廃地や低水量による栽培技術の開発は、「発明・概念の証明」から「技術デモ・プロトタイプ」に進む段階にあり、また高活性の新酵素や耐性酵母の開発は、「発明・概念の証明」のフェーズにある。いずれも産官学連携等による基礎研究に対し国の支援が必要である。

(2) 木質系バイオマス

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 各国とも草本系とともに木質系の技術開発に注力している。草本系と共通する木質系の高活性の新酵素や耐性酵母の開発、木質系のガス化・燃料合成技術の開発、および酸を使用しない前処理・糖化法の開発は、「発明・概念の証明」のフェーズにある。
- ・ 木質系の遺伝子組換え技術を使用する少リグニン種の開発は、「発見・科学的知識」のフェーズに相当する。

② 日本の現状：

- ・ リグノセルロースやリグニンに関する研究開発は、我が国のみならず世界的にも、まだ緒についたところである。
- ・ BTL (biomass to liquid、バイオガスの液体燃料化技術) 技術や遺伝子組換え技術で、欧米に遅れている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 草本と並行して、木質系バイオマス利用に向けて、産官学連携の下で遺伝子組換え技術を利用したさまざまな技術開発が、欧州および北米で進展している。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

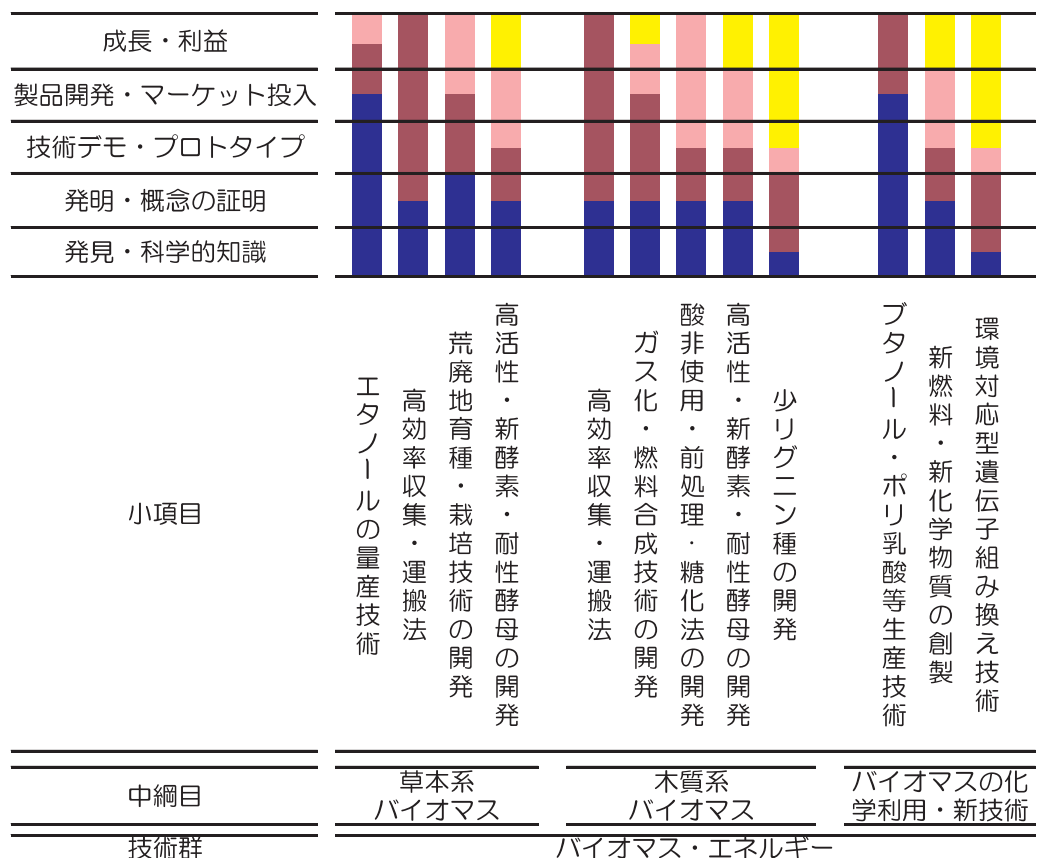
- ・ 炭酸ガスを出さずに一酸化炭素や水素等有効なガスのみを得るガス化技術や BTL 技術、高効率燃料合成技術等の開発
- ・ リグニンやリグノセルロースへの前処理技術や糖化法の高度化技術の開発
- ・ 高活性の新酵素や環境に耐性を有する酵母の開発 (草本系・木質系をあわせて研究開発に取り組む必要がある)
- ・ 遺伝子組換えによる少リグニン種の技術開発
- ・ 木質系の高活性の新酵素や耐性酵母の開発、および木質系のガス化・燃料合成技術の開発や酸を使用しない前処理・糖化法の開発は、「発明・概念の証明」のフェーズにあり、遺伝子組換え技術を使用する少リグニン種の開発は、「発見・科学的知識」のフェーズに相当する。いずれも産官学連携等による基礎研究に対し国の支援が必要である。

(3) バイオマスの化学利用・新技術

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ バイオマスの化学利用では、新燃料であるブタノールおよびポリ乳酸等の生産が「製品開発・マーケット投入」のフェーズにある。
- ・ それ以外のエネルギー密度の高い新エネルギー燃料および工業用等新化学物質の開発利用は、「発明・概念の証明」のフェーズにある。

- ・ 温度等の環境に耐性をもつ環境対応型遺伝子組換え技術は、「発見・科学的知識」のフェーズにある。
- ② 日本の現状：
 - ・ ブタノールでは技術開発が進展している。
 - ・ ポリ乳酸は国産化が進展しており、製品応用の開発が行われている。
- ③ 欧米アジア等の現状：
 - ・ ブタノールの開発に関しては実証設備の建設が進展している。
 - ・ ポリ乳酸に関しては大量生産が進み、応用製品の開発が実施されている。
- ④ 日本が取り組むべき研究開発課題：
 - ・ エネルギー密度の高い新燃料や新化学物質の開発
 - ・ 高温・低温・乾燥等環境ストレス抵抗性作物の開発をはじめとする環境対応型遺伝子組換え技術の開発
 - ・ エネルギー密度の高い新エネルギー燃料および工業用等新化学物質の開発利用は、「発明・概念の証明」のフェーズにあり、温度等の環境に耐性をもつ環境対応型遺伝子組換え技術は、「発見・科学的知識」のフェーズにある。いずれも産官学連携等による基礎研究に対し国の支援が必要である。



■ 現在 ■ 5-10年後 ■ 10-20年後 ■ 20年後以降

図 2.1.3. 非食料系バイオマス関連技術の発展段階の予測.

2.1.3.4 水生・海洋（微）生物の資源化

バイオマス資源賦存量の多い、水域・海域のバイオマス資源の開発に取り組み、その実現を図る必要がある。特に、緑藻類は、藻体乾燥重量当たりの油糧が20～70%、生産能力は年間47～140トン/haと算定され、食料系バイオマスに比較して25～120倍にも達するとの報告もある⁶。

資源化が見込める水生・海洋（微）生物としては、油糧を内に蓄える藻類や水素ガスを発生する細菌、さらに藻類やプランクトンの発酵やガス化によりエネルギーを得ることが出来る。いずれの場合も、水生・海洋（微）生物の特性を生かしつつ、光合成機能向上による増殖能力や燃料となる物質生産力の増大を図り、かつ効率の良い培養を可能とする、海藻類、プランクトン等の（微）生物の探索とエネルギー資源化技術開発が重要となる。

この場合、単に微生物の資源化という視点ばかりではなく、総合的な視点で、水域・海洋全体の環境や魚介類等の生息条件等も視野に入れた形で取り組むことが実現の可能性をさらに広げる。

下記に、それぞれの技術の発展段階での位置付け、日本の現状、欧米アジア等の現状を記し、日本が取り組むべき研究開発課題を提案する。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 廃棄物系海藻類のガス化利用は「製品開発・マーケット投入」のフェーズにある。
- ・ 水生・海洋（微）生物から燃料物質や新化学物質を創生する研究開発は、「発見・科学的知識」のフェーズにある。
- ・ 環境性ストレスに強い種や、また油糧等バイオマス資源化成分を多く内包する種の探索・開発等新たなバイオマス資源の獲得については、「発見・科学的知識」のフェーズに相当する。

② 日本の現状：

- ・ 水生・海洋（微）生物を利用してバイオマス燃料である油糧や水素、メタノールを製造する研究、炭酸ガスを微細藻類に固定化する研究等が行われてきているが、いずれも基礎研究の段階にある。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 米国では発電所から排出される炭酸ガスを利用して光合成を行い、緑藻類からバイオディーゼルを生成する基礎的な研究開発が行われている。また、光合成の際に発生する水素ガス量を増大させるための研究も行われている。

⁶ 渡辺信（筑波大学大学院生命環境科学研究科）、「藻類バイオマス・エネルギー技術の展望」。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題：

＜基本データの収集および環境ストレス耐性の水生・海洋（微）生物種の獲得＞

- ・ 有効（微）生物の調査と抽出
- ・ 高光合成能力や増殖力をもつ緑藻類・微生物の大量培養および水や海水を処理し油糧・水素等バイオマス燃料や新化学物質を製造する技術開発
- ・ 遺伝子組換え技術等を駆使して、温度等環境性ストレスに耐性のある、同時に高光合成機能化等による油糧・水素等バイオマス燃料の生産性の高い種の開発

＜沿海部における大型実用化技術の開発＞

- ・ 沿海部における緑藻類・微生物の大量培養に関するシミュレーション実施
- ・ 環境アセスメントを実施した大型実用化技術の研究開発

水生・海洋（微）生物から燃料物質や新化学物質を創生する研究開発は、「発見・科学的知識」のフェーズにあり、環境性ストレスに強い種や、また油糧等バイオマス資源化成分を多く内包する種の探索・開発等新たなバイオマス資源の獲得については、「発見・科学的知識」のフェーズに相当する。いずれも、水生・海洋（微）生物に関する研究者とエネルギー技術に関する研究者が共同で開発できる資金制度を創設し、両分野の融合を図り研究開発を促進するための国の支援が必要である。

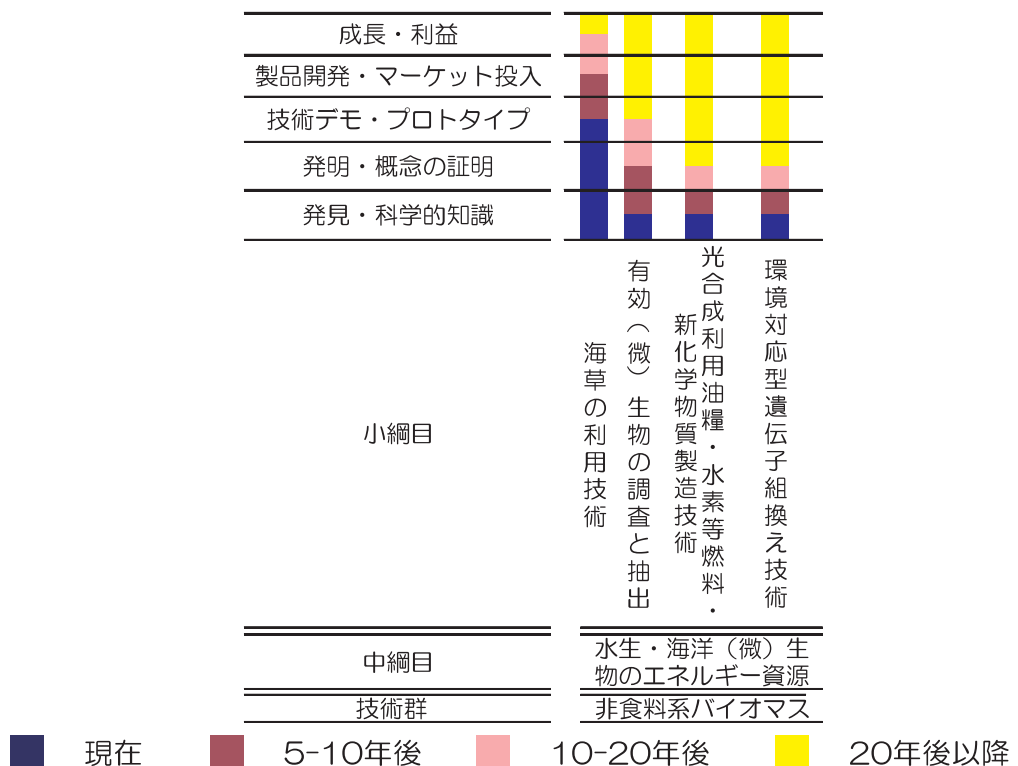


図 2.1.4. 水域・海洋（微）生物資源化関連技術の発展段階の予測。

2.1.4. 目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み

太陽光とバイオマスを利用した、エネルギー変換効率の高い自然エネルギー利用が浸透した低炭素社会を実現するには、下記の枠組みが必要である。

(1) 国際的な取り組み

自然エネルギー利用をグローバルスケールで普及させるためには、各国の関連技術レベルの格差、GDP、社会制度、産業構造やニーズの違い等について相互理解を深め、かつ調整するための予備的な議論の場が必要である。安価でクリーンなエネルギーを提供する国際的な諮問機関としてはIEA（国際エネルギー機関）が活動しているが、これはOECD加盟国に限られている。従って途上国を含む技術的・制度的な検討や共同プロジェクトを議論する場が必要であり、そのための**国際タスクフォースの設置**が不可欠である。

- ・ グローバルな普及を加速するための下記のような国際共同プログラムの議論および実施計画の予備的な議論
 - 太陽電池による分散型オンサイト発電システムの発展途上国への普及とその方法／ODA新方式の議論
 - 砂漠、洋上、宇宙における太陽電池を使用した発電基地の建設および送電システムの開発。各国の分担、技術目標と協力事項・方式等
 - ASEAN諸国と連携したバイオマス資源利用のための総合プロジェクトの企画、既存プロジェクト間の調整・共同
- ・ 自然エネルギー利用のためのグローバルな産業活動にインセンティブを与える各国共通の支援制度の制定、および制度上の阻害要因の除去等についての議論
- ・ 各国が独自の文化と生活慣習に基づいて温室効果ガス削減に挑戦するエコモデル都市を指定し、その国際ネットワークの形成と運営を通してグローバルスケールでの市民教育と低炭素社会（経済活動を維持したままCO₂排出量を大幅に削減した社会）の啓蒙を図る**国際エコモデル都市ネットワークプロジェクト**を発進させる。

(2) 国内施策

太陽光利用（太陽電池、水素エネルギー生産）、非食料系バイオマスの利用、水生・海洋（微）生物エネルギーの資源化に向けた画期的技術開発に向けて**集中投資を実施し**、その投資の効果をあげるための**連携・融合の仕組み**を整備することが必要である。

- ・ エネルギー技術のイノベーションには学術的融合を加速することが本

質的に重要である。米国 DOE はこの数年間に融合を目的とした研究所を数箇所に建設し、尚計画中のものがある。また各種自然エネルギー利用技術間の融合・連携の促進も重要であり、府省連携による**自然エネルギー利用研究所**の創設が強く望まれる。

- ・ 統一的な長期エネルギー計画と CO₂ 排出削減計画を策定し、それを遂行するためのロードマップに沿った真の産学官連携による自然エネルギー利用プロジェクトを発進させる。市場を刺激する社会制度と抱き合わせた産官の投資によるエネルギー貯蔵を含む**各種電力源の効率的系統連携システム**を実現する。

(3) 社会制度と社会インフラの整備

自然エネルギー利用技術を社会に根付かせ、産業として市場を形成しやすくするための社会的制度の導入および社会インフラの充実が必要である。

- ・ 再生可能エネルギーを利用して創出した電力と在来電力系統への系統連携システムの整備および**フィードインタリフ（融合固定価格買い上げ）制度**を導入する。また、太陽電池システムによる個人住宅用発電システム補助金制度に代わる新しい制度作りが必要である。さらに、今後、自然エネルギー装置（太陽電池等）生産者にたいする優遇税制の導入も考慮されるべきである。フィードインタリフはドイツだけではなく、アジアでは韓国が導入している。
- ・ 水素の貯蔵・運搬システム、燃料電池や電気自動車を想定した水素ステーション等を含む水素社会のシミュレーションとモデル地区を設置する必要がある。
- ・ 非食料系バイオマス・エネルギー導入を想定した規格の制定が必要である。
- ・ 自然エネルギー利用システムと技術者派遣をセットにした**新しいODA方式**を検討し、真に途上国に貢献し応分の尊敬を得るメカニズムを確立するべきである。
- ・ 国や自治体による**エコモデル都市**を創設し、各都市の特徴を生かした CO₂ 排出量削減の目標設定と実施を促進する。また、情報交換、人材交流、教育、低炭素社会の啓蒙を兼ねた**国際エコモデル都市ネットワークプロジェクト**をスタートさせる。日本は主導的に参加する。

2.1.5. 目指す社会の姿への到達によって得られる効果

(1) 社会的価値

自然エネルギーに太陽光とバイオマスを利用した環境低負荷なエネルギー供給システムの実現により、2050年にCO₂排出量70%削減（対2000年比）が達成され、地球温暖化の改善に大きく貢献できる。その結果、地球温暖化によって生じる気候変動や災害が低減する。また、太陽電池、水素エネルギー、バイオマス・エネルギー等が、用途や使用場所によって最適なものがストレスなく利用できる社会的インフラが全世界的に普及し、地球規模で生活の利便性が向上する。

一方、エネルギー変換効率・製造コスト面の課題を解決した日本発の技術が世界規模で利用され、また、国際エコモデル都市とそのネットワーク形成への主導的参加により、日本の国際的なプレゼンスが向上する。また、国際的な連携、特に発展途上国への継続的技術指導による人材育成と技術の定着を通じて、関係国との協力関係が強化される。

(2) 経済的価値

エネルギー変換効率・製造コスト面の課題を解決した環境低負荷なエネルギー供給システムの実現により、日本がエネルギーの輸入国からエネルギー技術の輸出国となる。これにより、日本の国際競争力が強化され、関連企業に利益と成長をもたらす。また、長期的な研究開発投資により、科学的知識が蓄積し、関連技術の研究開発力、製品開発力が向上する。

環境低負荷なエネルギーが低コストで供給できるようになるため、両立が困難とされた経済的利益と環境負荷の低減の双方が世界実現できる。

2.1.6. 提言

太陽光やバイオマスによる自然エネルギーを利用したエネルギー（再生可能エネルギー）供給システムを将来の低炭素社会の主要エネルギー源に育成するために、以下を提言する。

- (1) 途上国を含む国際的な自然エネルギー技術やそれを利用したエネルギー供給システムの普及のため技術的制度的な検討や共同プロジェクトを議論する場としての国際タスクフォースの設置
 - ・ グローバルな普及を加速するための国際共同プログラムの議論と実施（分散型オンサイト発電システムの発展途上国への普及、砂漠・洋上・宇宙における発電・送電システムの開発、ASEAN 諸国と連携したバイオマス資源利用のための総合プロジェクト等）
 - ・ 再生可能エネルギー産業のグローバル活動の制度的振興、および制度上の阻害要因の除去
 - ・ 各国によるエコモデル都市の指定とその国際ネットワークの形成および運営、それを通してのグローバルスケールでの市民教育と低炭素社会の啓蒙（International Eco-city Network Initiative）
- (2) 国内施策として太陽光利用（太陽電池、水素エネルギー生産）、非食料系バイオマスの利用、水生・海洋（微）生物エネルギーの資源化に向けた画期的技術開発への集中投資、および連携・融合の仕組みの整備
 - ・ 学術的融合や各種自然エネルギー技術間の融合・連携を促進する府省連携による自然エネルギー研究所の創設
 - ・ 真の産学官連携による再生可能エネルギー利用プロジェクトの発進、およびエネルギー貯蔵を含む各種電力源の効率的系統連携システムの実現
- (3) 自然エネルギー利用を促進する社会的制度と社会インフラの実現
 - ・ 再生可能エネルギーのフィードインタリフ（融合固定価格買い上げ）制度の導入、個人住宅用発電システム補助金制度に代わる制度作り、生産者優遇税制の導入
 - ・ 水素社会を想定した貯蔵・運搬システムの整備
 - ・ 非食料系バイオマス・エネルギー導入を想定した規格の制定
 - ・ 自然エネルギーシステムと技術者派遣をセットにした新しい ODA 方式の検討と実施

- ・ 国や自治体によるエコモデル都市プロジェクトの創設および国際ネットワークへの主導的参加

目指す社会の姿を実現するため、鍵となる技術と取り組むべき研究課題は、以下のとおりである。

(1) 太陽電池

(1-1) シリコン系（単結晶、多結晶、薄膜）太陽電池

- ・ 結晶系シリコン太陽電池の市場刺激策の推進
- ・ 薄膜型シリコン太陽電池における、光劣化の解明と防止および高効率化

(1-2) 化合物系（CIGS・CIS等薄膜、Ⅲ－Ⅴ族結晶）太陽電池

- ・ CIGS系薄膜太陽電池における、材料開発や界面現象に絞った高効率化
- ・ 民間主導による、塗布法等低コスト化

(1-3) 有機系（色素増感型、有機薄膜型）太陽電池

- ・ 色素増感太陽電池における、高効率化、固体化および長寿命化
- ・ 有機薄膜太陽電池における、新有機分子材料の設計探索、有機活性層の構造設計・プロセス開発・起電メカニズム解明、長寿命化および低コスト化

(1-4) 新型高効率系太陽電池

- ・ 新概念による太陽光高効率利用のための基礎研究およびそれらを実現するための新材料・新プロセスの開発

(2) 太陽光による水素エネルギー生産

(2-1) 機能性評価技術エネルギー変換効率向上を目指した新規触媒材料の基礎研究

- ・ 無機系光触媒新材料の開発、高効率電荷分離を可能とする有機超分子の設計と探索、およびそれを利用した水素生成系の確立
- ・ 太陽電池と組み合わせた水分解システムの研究

(2-2) コストを含めた実用化検討のための研究開発

- ・ 水素の貯蔵技術、輸送技術とあわせて太陽光による水素生成技術を社会のインフラの一部として定着させるための体系的な研究開発

(3) 非食料系バイオマス

(3-1) 草本系バイオマス

- ・ 食料栽培と競合しない荒廃地や低水量による栽培技術の開発
- ・ 高温耐性酵母、雑菌の繁殖抑制のための低 pH への耐性を持つ酵母等の開発

(3-2) 木質系バイオマス

- ・ 炭酸ガスを排出しないガス化技術や BTL 技術、高効率燃料合成技術の開発
- ・ 前処理技術や糖化法の高度化技術の開発
- ・ 高活性の新酵素や環境に耐性を有する酵母の開発
- ・ 遺伝子組換えによる少リグニン種の技術開発

(3-3) バイオマスの化学利用・新技術

- ・ エネルギー密度の高い新燃料や新化学物質の開発
- ・ 環境ストレス抵抗性作物の開発等環境対応型遺伝子組換え技術の開発
- ・ 新エネルギー燃料および工業用等新化学物質の開発利用

(4) 水生・海洋（微）生物の資源化

(4-1) 基本データの収集および環境ストレス耐性の水生・海洋（微）生物種の獲得

- ・ 高光合成能力や増殖力をもつ緑藻類・微生物の大量培養およびバイオマス燃料や新化学物質の製造技術開発
- ・ 環境性ストレス耐性が高くかつバイオマス燃料の生産性の高い種の開発

(4-2) 沿海部における大型実用化技術の開発

- ・ 沿海部における緑藻類・微生物の大量培養に関するシミュレーション実施
- ・ 環境アセスメントを実施した大型実用化技術の研究開発

本提案の技術パッケージが全て併行して実施されることにより我が国のエネルギー輸出国として地位が確立し、低炭素社会への国際的貢献を果たすことができる。

俯瞰表：「自然エネルギーの有効利用」の鍵となる技術

技術群	中綱目 (鍵となる技術)	小綱目	現状 (問題点)	技術競争力 (技術水準)										研究課題		
				科学的知識 (基礎研究)					技術の産業化							
				日	米	欧	中	韓	日	米	欧	中	韓			
太陽電池	シリコン系		<ul style="list-style-type: none"> 既に商品化されている。我が国の結晶シリコン原料に関連する技術開発力は、欧米より若干劣る。 基礎研究の産官学連携体制の構築・普及奨励策の継続的推進 	◎	◎	◎	△	△	△	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト化 高効率化 シリコン代替材料の探索 有機系太陽電池の接合理論 テラハイイス設計理論 	
		化合物系	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙分野で既に商品化されているものもある。 薄膜系では我が国の研究レベルは大変高い 基礎研究の産官学連携体制の構築 長寿命化・安全性の向上 普及奨励策の継続的推進 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	
	有機系	<ul style="list-style-type: none"> 現状、基礎研究レベル。 耐久性・信頼性の向上 	○	◎	◎	×	×	◎	◎	◎	◎	◎	×	×		
	新型高効率系	<ul style="list-style-type: none"> 基礎研究レベル 圧倒的なエネルギー変換効率の向上 	◎	◎	◎	×	×	◎	◎	◎	◎	◎	×	×		
太陽光による 水素エネルギー生産	無機系光触媒		<ul style="list-style-type: none"> 日本の光触媒技術の研究水準は伝統的に高い。 欧米とも得意とする材料が異なる。 太陽電池と組合わせた水素生成も検討されている。 エネルギー変換効率が非常に低い。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> 飛躍的な効率向上 長寿命化 代替金属の検討 触媒設計 	
		有機系光合成模倣	<ul style="list-style-type: none"> まだまだ原理確認の段階 低寿命、不安定 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	△	△		
	糖・澱粉への取り組み		<ul style="list-style-type: none"> エタノールの量産技術 高効率酵素の開発 高成長・高エネルギー種の開発 高活性・耐性酵母の開発 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> 現状技術による量産化はトウモロコシベースの米国やサトウキビベースのブラジルで進んでいる。 国内でもバイオエタノールの生産が始まり、商社を中心にブラジルでの事業参加や、日本自動車企業によるFFVのブラジル市場投入の段階にある。 高成長・高エネルギー種の開発、高効率酵素の開発、高活性・耐性酵母の開発等、基礎的な共通技術分野で産官学の連携が必要、特に石油会社や自動車企業との連携が求められる。 	
		油糧作物及び油性質作物残渣への取り組み	<ul style="list-style-type: none"> バイオエタノール-セルの量産技術 荒廃地管理・栽培技術の開発 高成長・高エネルギー種の開発 	○	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> 世界的に競争状態にある。 荒廃地で育てできる植物の開発や栽培技術の開発、セルラーゼ機能などを組み込んだ高活性・耐性酵母の開発、高活性新酵素の開発等、基礎的な共通技術分野で産官学の連携が必要。
バイオマス エネルギー	草本系バイオマス		<ul style="list-style-type: none"> ポリ乳酸等生分解プラスチック製造の個別技術の開発が推進されている。 セルロースの分解技術は強いが、セルラーゼの生産コストの削減技術等は米国に遅れている。 遺伝子組み換え技術による新作物の開発も欧米に遅れている。 	○	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> 世界的に競争状態にある。 ガス化・燃料合成技術の開発、酸非使用・前処理・糖化法の開発、高活性・耐性酵母の開発、少リグニン種の開発等、共通基礎技術分野での産官学等の連携が必要。 産総研・森林研究所・大学・企業で独自にあるいは一部の連携により研究・技術開発が進展。 国際協力に出遅れており、特にアジア諸国との戦略的連携が必要。 バイオエタノール市場が未成熟であり、木質系バイオ燃料が投入される時を考慮し、政策誘導型の市場育成や品質規格の早期策定が必要。 	
		木質系バイオマス	<ul style="list-style-type: none"> 高効率収集・運搬技術の開発 ガス化・燃料合成技術の開発 酸非使用・前処理・糖化法の開発 高活性・耐性酵母の開発 少リグニン種の開発 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	<ul style="list-style-type: none"> 世界的に競争状態にある。 ガス化・燃料合成技術の開発、酸非使用・前処理・糖化法の開発、高活性・耐性酵母の開発、少リグニン種の開発等、共通基礎技術分野での産官学等の連携が必要。 産総研・森林研究所・大学・企業で独自にあるいは一部の連携により研究・技術開発が進展。 国際協力に出遅れており、特にアジア諸国との戦略的連携が必要。 バイオエタノール市場が未成熟であり、木質系バイオ燃料が投入される時を考慮し、政策誘導型の市場育成や品質規格の早期策定が必要。
	下水汚泥及び農林畜産残渣の有効利用		<ul style="list-style-type: none"> 発酵による下水汚泥の減量化。 バイオマスメタン発酵生物起源のバイオマスを超臨界水流動層を用いたガス化のプラント実証評価などが実施されている。 リンや排水の再資源化とあわせ総合的なシステム再開発が必要。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	<ul style="list-style-type: none"> 高活性メタン菌の開発、資源有効利用システムの開発、総合的な資源化などの共通技術分野での産官学の連携が必要。
		バイオマス	<ul style="list-style-type: none"> 経済産業省、農林水産省の支援で、基礎研究が本格化 産業化が始まったばかりの状況、輸入に頼っていたポリ乳酸は国内産化の動き 化学材料としてポリ乳酸等、生分解プラスチック製造の個別技術の開発が推進されている。 総合的な視点に基づいた研究開発がなされていない。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
バイオマス エネルギー	水生・海洋生物の資源化		<ul style="list-style-type: none"> 海草の利用技術 有効(微)生物調査と抽出 光合成利用油糧・水素等燃料・新化学物質の製造技術 環境対応型遺伝子組み換え技術 	○	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	<ul style="list-style-type: none"> 水生藻類の利用技術および海洋プランクトン類の利用技術は、調査研究段階ではあるが、地球温暖化や食料問題ともあわせ、基礎技術として長期的視野のもと、学官中心に取り組みむべき課題である。
			<ul style="list-style-type: none"> 海草の資源化 藻類の増殖・収穫技術 藻類由来のバイオ燃料・バイオプラスチックの開発 	○	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

2.4	対応可能な技術	2.3	安全な水の提供	2.2	環境に負荷のない交通システム	2.1	自然エネルギーの有効利用	2	地球規模の問題を解決する方策	1	地球規模のイノベーションの構築	「もじほ
-----	---------	-----	---------	-----	----------------	-----	--------------	---	----------------	---	-----------------	------

2.2. 環境低負荷な交通システムの実現

2.2.1. 目指す社会の姿とその到達方法

化石燃料に基づくエネルギー消費は、地球温暖化の要因となるCO₂の発生やNO_x、SO_x等の発生による公害の原因となるばかりでなく、資源埋蔵量が有限であるため、現在各方面で研究開発が進められている環境低負荷なエネルギーの利用促進が求められる。本章では特に、最終的なエネルギー消費部門としては世界のCO₂排出量において最大の割合（約20%）を占める運輸部門を取り上げ、将来の環境低負荷型交通システムの実現に向けた、「鍵となる技術」の研究開発および普及促進に対する政策を提言する。

（目指す姿）

交通のボーダレス化が一層深化する中、全地球的な環境低負荷型社会を実現するため、公共交通システムを中心とするグローバルなシステムと、地域の特性に応じたローカルなシステムとの組み合わせの最適化が図られた全地球的な交通システムを目指す。

- ・ 将来の環境低負荷型交通システムに関する国際的グランド・デザインを2015年までに描き、各国、各地域でモデルシステムを通じた検証や技術開発結果のフィードバックを受けて、グランド・デザインを常時検証、改善できる仕組みができています。
- ・ 現在自動車メーカー各社が競って開発を進めている電気自動車や燃料電池自動車は、2030年頃以降、実用化が進む。
- ・ 更には、既存の自動車の概念とは異なる、新たな仕組みが出現すると同時に、バーチャル・リアリティの進展により移動しなくてもコミュニケーションをリアルに取る手段が確立され、広く普及している。

（電気自動車の実用化）

2050年頃までに電気自動車は完全に実用化され、広く普及している。実用化に向けて取り組むべき鍵となる技術は次の通りである。

- ・ 二次電池技術：現在広く利用されているリチウム・イオン二次電池とは異なる、新しい系の電池を2020年頃までに開発し、2050年には実用化する。
- ・ 電力供給技術：電磁誘導方式の無線送電技術を2020年頃までに開発し、2050年には実用化する。
- ・ モーター技術：現在広く利用されているネオジム系磁石とは異なる、新しい系の磁石を2020年頃までに開発し、2050年には実用化する。

- ・ 軽量素材技術：鋼板に代わる材料として炭素繊維が車体に占める割合が増加し、2050年には車体が飛躍的に軽量化している。

（燃料電池車の実用化）

2050年頃までに燃料電池自動車を実用化する。実用化に向けて取り組むべき鍵となる技術のうち、燃料電池自動車特有のものは次の通りである。

- ・ 燃料電池技術：燃料電池の低コスト化に寄与する触媒、高分子膜等の技術を2020年頃までに開発し、2050年には実用化する。
- ・ 水素輸送・貯蔵技術：2020年頃までに燃料電池自動車向けの方式を確立し、2050年には多くの水素スタンドを展開している。

（交通インフラの高度化）

事故防止・衝突安全・渋滞回避・経路最適化技術の技術デモ・プロトタイプを2020年頃までに完成、2050年までに実運用されると同時に、更に高度化する。実運用に向けて取り組むべき鍵となる技術は次の通りである。

- ・ 交通流制御システム技術：高精度、高信頼の交通流制御方式を2020年頃までには実用化し、2050年には広く普及させる。
- ・ 無線通信システムおよびデバイス技術：超高速な公共交通においても適用可能な無線通信システムを2020年頃までには開発し、2050年には広く普及させる。

（新しい交通システムの実現）

2050年頃には、人口増加や急速な経済成長等により、新興国を中心に現在の交通システムそのものが限界に達する。これに対処するため、次のような新たな交通システムが広く普及している。

- ・ 公共交通システムが高度に発達する：公共交通システムとしては、移動距離と要求速度に応じて、リニアモーターカー、新幹線、地下交通等を階層的に組み合わせたシステムが実現している。
- ・ 新しい「交通システム」の概念が生まれる：ローカルな交通手段として、自動車の環境低負荷化が進む。また、高度交通制御システムの展開が進んでいる。さらに、パーソナル・モビリティと公共交通システムとの最適な組み合わせにより、究極の環境低負荷型移動を実現させる仕組みが整備される。
- ・ 一方、そもそも移動しなくて良い仕組みとして、バーチャル・リアリティによる遠隔通信システムが会議・ショッピング・教育等、幅広い分野で普及している。

2.2.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由

現在、世界の CO₂ 排出量のうち、大きな割合を占めるのは、他産業に電力を供給するエネルギー転換部門を除くと、運輸部門（全排出量の 18.4%）、製造・建築部門（16.8%）、家庭部門（7.8%）である¹。さらに自動車は運輸部門の CO₂ 排出量の 90%を占める。それゆえ本節では自動車を中心とする交通分野を対象に検討を行う。

世界の CO₂ 排出量の内訳を見ると発展途上国（CO₂ 排出量の運輸部門割合 16.4%）の方が先進国（同 23.6%）よりも低い。これは現在、巨大な人口を抱える中国、インドにおいて国全体の CO₂ 排出量に占める運輸部門の割合が低いからである²。今後、中国やインドを始めとする新興国の経済が発展、モータライゼーションが進み、これらの国の自動車保有台数が増加するにつれ³、発展途上国の、そして世界全体の CO₂ 排出量に占める運輸部門の割合が増加することが予測される。

新興国における自動車保有台数の今後の増加を考慮すると、もっぱら燃費の改善に依存した自動車の CO₂ 排出量削減は限界がある。なぜなら、仮に自動車の燃費が 50%改善されたとしても、世界の自動車保有台数が倍増する 2030 年には、結果として自動車からの CO₂ 排出量は現在と同レベルのままであるからである。すなわち自動車からの CO₂ 排出量削減の実現には、抜本的な燃費の改善—究極的には CO₂ 排出量ゼロ化—が必要である。

世界の自動車市場における日本の自動車メーカーの存在感は大きく、それゆえ彼らには責任を持った行動が求められている。またハイブリッド自動車を始めとする環境低負荷を実現する自動車技術において日本の自動車メーカーの技術水準は高い⁴。この高い技術水準は日本の材料メーカーや部品メーカーを始めとする、日本企業の総合力が結実したものである。すなわち CO₂ 排出量削減という地球規模の問題の解決、具体的には CO₂ 排出量削減を始めとする自動車の環境低負荷化実現に日本が貢献できる余地は大きい。

¹ 参考資料 1「部門別 CO₂ 排出量に関するデータ」、表 1。

² 中国、インドにおいて、CO₂ 排出量に占める運輸部門の割合はそれぞれ 7.4%、12.0%である。

³ China Daily は、中国の現在の自動車保有台数は 2,000 万台だが、2020 年までにその数は 1 億 4000 万台に達すると予想されていると報告している。さらに世界の自動車保有台数は現在 7 億台であるが、2030 年には 14 億台に増加するという予測がある（World Business Council for Sustainable Development, Mobility 2030）。

⁴ ハイブリッド車の世界市場における日本の自動車メーカーのシェアはほぼ 100%である。

2.2.3. 目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ

近年、石油燃料を燃料源とする従来の自動車の代替を目的とした環境低負荷型自動車に関する技術開発が多様化している。例えばハイブリッド車、クリーン・ディーゼル車やバイオ・エタノール車に代表される代替燃料自動車は既に市場に投入されている。また、電気自動車、燃料電池自動車等は各社が競って研究開発を進めている。

本節ではまず 2.2.3.1 項および 2.2.3.2 項で、これら環境低負荷型自動車に関する技術のうち、究極的に CO₂ 排出量ゼロ化の可能性を作り出す主な電気自動車と燃料電池自動車の実現に向けた鍵となる技術の研究開発に絞って検討する⁵。2.2.3.3 項では、交通システム全体としてのエネルギー利用効率を向上するために必要となる交通インフラ関連技術について検討する。

急速な経済発展を遂げつつある中国やインドは現在、交通基盤の整備が自動車の保有台数増加に追いつかないという問題に直面している。巨大な人口を抱えるこれら両国では、今後さらに経済が発展するに従い、とりわけ都市部では物理的な限界を超える程度まで交通量が増加することが予測される。そこで 2.2.3.4 項では CO₂ 排出量削減を始めとする環境問題に加え、急増する交通量への対処を実現するような、公共交通システムと個人用のモビリティとを組み合わせた新しい交通のあり方についての検討を行った。もちろん、これら技術は中国、インド等の発展途上国のみならず、先進国においても有効に活用できる。

2.2.3.1 電気自動車

電気自動車は従来の自動車とは燃料源が異なる。それゆえ電気自動車の実現し、従来の自動車を代替するようになるためには「二次電池技術（エンジンの置換）」、「電力供給技術（燃料の置換）」、「モーター技術（駆動力伝達機構の置換）」の完成度が鍵となる。またさらに「軽量化技術」が向上し、車重が軽減されれば、自動車のエネルギー効率が向上して、自動車の環境負荷が一層低減される。

⁵ 電気自動車と燃料電池自動車それぞれの燃料源である電気と水素は二次エネルギーである。それゆえこれら技術に基づく CO₂ 排出量ゼロ化は、2.1 で取り上げている自然エネルギーの利用が前提としている。

(1) 二次電池技術

従来の自動車から電気自動車への過渡的技術であるハイブリッド車向けの二次電池は現在、ニッケル水素電池からリチウム・イオン二次電池に移行しつつある。公的研究機関等での研究もリチウム・イオン二次電池関連の技術が中心となっている。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 現在、航続距離が限られる等の制限はあるものの、リチウム・イオン二次電池を搭載した電気自動車の販売が始まりつつある。しかしその一方で従来の自動車を代替するために必要となる、二次電池の大容量化を可能とする電池材料の探索も行われている。それゆえ自動車向け二次電池技術は「プロトタイプ・概念の証明」～「製品開発・マーケット投入」の段階に位置付けされる。

② 日本の現状：

- ・ 日本企業が世界市場のほぼ 100%の市場占有率を保持している自動車向けニッケル水素電池を基盤とし、日本が自動車向けを中心とした二次電池技術の基礎研究と技術の産業化の両面において技術的に優位な立場にある。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ リチウム・イオン二次電池に関する新しい材料の探索およびその実用化の両面で米国が日本と比肩、もしくは一部の分野では先行している。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：

- ・ リチウム・イオン二次電池の課題は「大容量化を中心とする性能向上」と「コスト低減」の2点である。前者については、二次電池の構成要素である正極や負極、セパレータ、電解液の新しい材料探索が研究開発課題である。一方後者については、既存の材料の安価な材料への代替を目的とする材料探索および製造技術の改善が研究開発課題である。これらの研究開発課題は、民間による研究開発が中心となるべきである。その一方で政府には量産によるコスト低減を可能とする政策上の措置—例えば電気自動車の初期需要を喚起するような普及奨励策—が求められる。
- ・ 中長期的には現在のリチウム・イオン二次電池とは材料や構造等が全く異なる「新しい原理に基づく二次電池」の開発も必要である。このような二次電池が具体的にどのような原理に基づくのかは現時点では明らかではなく、その研究開発は基礎研究の段階であるため、公的研究機関、大学等を中心とした、幅広い分野も巻き込んだ基礎研究を可能とする研究開発の支援が政府には求められる。

(2) 電力供給技術

電気自動車が石油燃料を燃料源とする従来の自動車を代替するためには、電気自動車にとっての燃料である電力供給が、従来の自動車と同等もしくはそれ以上に簡易かつ短時間である必要がある。その鍵となる技術が無線送電技術である。自動車への無線による送電は、ドライバが特別の操作をすることなく自動車に搭載された電池への充電を可能にするものである。走行中、あるいは駐車場や交差点等で停車している間に、ドライバが意識しないうちに充電できる利便性がある。

なお無線送電技術に先立つ技術として有線送電技術が挙げられる。既に有線送電技術はプラグイン・ハイブリッド車等により使用されている。二次電池技術と比較すると研究開発課題の難易度は低い。それゆえ有線送電技術に関する研究開発は民間が中心になるべきである。有線送電技術に関しては技術上の課題よりもむしろ、インターフェースを始めとする規格の統一、さらに電気スタンドー電気自動車が充電する一の普及に向けた税制上の優遇措置や助成を始めとする政策上の措置の重要性が大きい。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 無線送電技術には、電磁誘導、マイクロ波、レーザー等の方式がある。それぞれに長所短所があるが、これまで自動車用には電磁誘導方式、マイクロ波方式を用いた試作例が報告されている。いずれも「技術デモ・プロトタイプ」の段階である。

② 日本の現状：

- ・ 電磁誘導式の無線送電技術を使った試作例としては、日野自動車による電気自動車（バス）の実験、京都大とトヨタ、京都大と日産自動車との共同実験等があり、研究としては国際的にも高い技術レベルにある。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 米国では軍用に技術開発が進められているほか、Powercast 社等特徴的な技術を持った企業が限定的用途向けに商用化している。アジアでは目立った研究開発は見あたらない。

④ 問題点：

- ・ 無線送電により大電力を短時間に安全にかつ安価に送電するための技術はまだ確立していない。さらに代替技術との比較検討もまだ不十分である。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発の推進体制：

- ・ 研究開発課題としては、効率の良い大電力送電／受電技術のほかに、熱管理技術、人体・車体の安全を確保するための技術、周囲の電子機器等への干渉防止技術、等が挙げられる。また現在すでに実用化が始

まっているプラグイン方式（ガソリンスタンドや自宅等での有線充電方式）とのコスト面も含めた優劣についての検討も必要である。大学で基礎技術を、企業で応用面を分担し協力しつつ技術開発を推進する体制が必要である。

(3) モーター技術

電気自動車向けとして期待されると同時に既に使用されているブラシレス DC モーターの性能は、モーターに使用される永久磁石の保磁力により決定される。それゆえ保磁力の大きい永久磁石に関する研究開発がモーター技術の研究開発の中核となる。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ ブラシレス DC モーターは既に幅広く民生電子機器に使用されていることから、モーター技術のイノベーション段階は「製品開発・マーケット投入」に位置付けされる。

② 日本の現状：

- ・ 自動車向けモーター技術は、基礎研究と技術の産業化の両面において他国に対して技術的に優位な立場にある⁶。例えば最も保磁力が強力な永久磁石であるネオジウム磁石は日本人によって発明された。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 産業化の面においては、欧米自動車メーカーによっては自動車向けモーターを日本企業から入手しているのが現状である。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：

- ・ ネオジウム磁石を使用したモーターは既に実用化されていることから、モーター技術の研究開発体制は民間による研究開発を中心とするべきである。
- ・ なお技術的な課題ではないが、ネオジウム磁石の原料であるネオジウムの供給源が一部の国に限定されているという地政学上の不安要因がある。すなわちこれらの国からの供給が止まるとネオジウム磁石の製造に支障を来す可能性がある。それゆえ中長期的にはネオジウム磁石とは材料が全く異なる「新しい材料系の磁石」の開発が必要である。「新しい材料系の磁石」が具体的にどのようなものになるかは現時点では不明であり、その研究開発は基礎研究の段階にあるため公的研究機関、大学等を中心とする研究開発体制が必要である。

⁶ ハイブリッド車の世界市場のほぼ 100%を占める日本の自動車メーカーはモーターを内製化している。

(4) 軽量素材技術

車体の軽量化技術が向上し、車重が軽減されれば、自動車のエネルギー効率が向上、自動車の環境負荷が一層低減される。そのためには現在自動車に使用されている鋼材よりも軽量でありながら、鋼材と同等もしくはそれ以上の性能を有する材料が鍵となる。

(4-1) 高張力鋼板

高張力鋼板は普通鋼板と比較して引っ張り強さが高い。それゆえ薄くても普通鋼板と同じ強度を得ることが可能であり、自動車の軽量化に効果がある。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 高張力鋼板は自動車向け鋼板として普及しつつある。具体的には自動車向け鋼板の70%を占めるようになっている。それゆえ高張力鋼板のイノベーション段階は「成長・利益」に位置付けられる。

② 日本の現状：

- ・ 自動車向けの性能を有する高張力鋼板の製造は日本鉄鋼メーカーが強い。技術の産業化とその基盤となる基礎研究の両面において日本は他国と比較して技術的に優位な立場にある。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 海外自動車メーカーは自動車の燃費向上、軽量化のために、日本鉄鋼メーカーから高張力鋼板を購入する必要がある。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：

- ・ 高張力鋼板は難加工性という課題を有している。それゆえ高張力鋼板そのものを対象とした研究—例えば傾斜機能性の付与—に加え、加工技術等の、高張力鋼板利用のための周辺技術も研究開発課題である。
- ・ 高張力鋼板およびその加工技術の研究開発は民間が中心になるべきである。その上で、鋼板等の物性計測を始めとする基礎的技術については産学官連携による研究開発の支援が求められる。

(4-2) 炭素繊維（炭素繊維強化プラスチック）

炭素繊維は重さが鉄の1/4でありながら、鉄の10倍の強度を有する上に、耐錆性、耐摩耗性、耐熱性、耐伸縮性等、優れた性質を有する。それゆえ自動車の構造部材として現在主流である鋼板が炭素繊維に置き換えられれば自動車が飛躍的に軽量化されることが期待される⁷。

⁷ 車重を現在の30~50%のレベルまで軽減することも可能であるという試算がある。

- ① 技術の発展段階での位置づけ：
- 炭素繊維は既にスポーツ用品に始まりロケットや航空機の主翼等に使用されている。また高級車種や一部の部品に限定されているものの自動車にも使用されつつある。これらのことから炭素繊維のイノベーション段階は「技術デモ・プロトタイプ」～「製品開発・マーケット投入」に位置付けられる。
- ② 日本の現状：
- 炭素繊維の世界市場における日本企業のシェアは70%である⁸。すなわち技術の産業化とその基盤となる基礎研究の両面において日本は他国と比較して技術的に優位な立場にある。
- ③ 欧米アジアの現状：
- 産業化の面では欧米企業は1990年代に相次いで炭素繊維から撤退した。しかしながら基礎研究の一部、成型技術を始めとする一部の技術においては、航空機メーカーを有するという背景に支えられ、日本と比肩する水準にある。
- ④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：
- 炭素繊維の課題は「格段の低コスト化」、「利用拡大のための周辺技術の確立」の2点である。前者については鋼板比100倍という価格の高さが、炭素繊維の普及の障害となっている。それゆえ鋼板並みのコストを実現する製造技術の開発—例えば炭素繊維成型方法の抜本的な改善—やそのために必要な材料の探索等が研究開発課題である。一方後者については、炭素繊維は鋼板とは性質が全く異なる材料であることから、既存材料との接合技術、使用後のリサイクル技術の開発や、試験、点検の方法等の周辺技術の確立が研究開発課題である。
 - これらの研究開発課題、とりわけ前者については、民間による研究開発が中心となるべきである。その上で産学官連携による研究開発の支援体制を整えるべきである。

⁸ よく知られている事例であるが、総重量比50%に炭素繊維が使用されるボーイング B787 型機向けの炭素繊維は日本企業が独占受注している。

2.2.3.2 燃料電池自動車

燃料電池自動車も電気自動車同様、従来の自動車と燃料源が異なる。燃料電池自動車の鍵となる技術のうち、「モーター技術」、「軽量化技術」については電気自動車と共通する技術課題である。それゆえ本節では燃料電池固有の技術である「燃料電池技術（エンジンの置換）」と「水素輸送・貯蔵技術（燃料の置換）」を取り上げる。

(1) 燃料電池技術

燃料電池技術には複数の方式が存在しているが、そのうち自動車向けに研究開発が行われているのは固体高分子型燃料電池である。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 燃料電池自動車は実証実験的なリース販売が行われている段階である。しかし製品として市場に投入可能な技術水準には到達していない。具体的には耐久性やコスト等の課題を解決する必要がある。それゆえ自動車向けの固体高分子型燃料電池技術のイノベーション段階は「発明・概念の証明」～「技術デモ・プロトタイプ」に位置付けられる。

② 日本の現状：

- ・ 固体高分子型燃料電池の基礎研究の面で米国と比肩している。具体的には燃料電池の要素技術である電極触媒と電解質・電解質膜に注力している。技術の産業化の面においては、他国と比肩、もしくは優位に立っている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 燃料電池技術を含む水素エネルギー技術は各国が官民挙げて注力している技術領域である⁹。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：

- ・ 固体高分子型燃料電池の課題は「高効率化を中心とする性能向上」と「作動可能範囲の拡張」の2点である。これら課題の解決には燃料電池の技術要素である、電解質膜、空気極や燃料極、触媒、セパレータの新しい材料探索、構造設計という研究開発課題に取り組む必要がある。なお研究開発にあたっては「コストの飛躍的な低減」も考慮に入れる必要がある。
- ・ そのためには民間による研究開発を中心とする産学官連携の枠組みに加え、公的研究機関、大学等を中心とする材料探索を目的とする基礎研究を支援する研究開発体制が必要である。

⁹ 米国はエネルギー省が燃料自動車を対象とする Freedom Car を含む Hydrogen Program を実施している。一方欧州は European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform の下、研究開発を推進している。

(2) 水素輸送・貯蔵技術

燃料電池自動車の実現には、燃料電池本体に加え、燃料電池の燃料源である水素の輸送技術並びに車上の貯蔵技術も確立する必要がある。水素輸送・貯蔵技術は燃料電池自動車の構造に影響を及ぼす技術である。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 水素輸送・貯蔵技術については複数の方式の研究開発が行われており、それらの間の技術優位は明確になっていないことから、水素輸送・貯蔵技術のイノベーション段階は「発明・概念の証明」～「技術デモ・プロトタイプ」に位置付けられる。

② 日本の現状：

- ・ 燃料電池自動車向けの水素輸送・貯蔵技術の方式は大別して圧力容器と燃料改質、水素吸蔵の三方式に分類でき、それぞれについて研究開発が進められている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 「(1) 燃料電池技術」で述べたように水素エネルギー技術は各国が官民挙げて注力している技術領域である。

④ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：

- ・ 水素輸送・貯蔵技術の課題は、方式により異なるものの、おおよそ「水素物性の解明」と「貯蔵の高効率化」の2点に集約される。前者については、水素脆化の基本原理の解明等、材料物性の基礎研究が研究開発課題である。一方後者については、方式により課題が異なってくる。例えば水素吸蔵の場合には、低エネルギー損失で大量の水素を吸蔵、放出する材料の探索が研究開発課題である。あるいは燃料改質の場合には改質装置の高効率化、高耐久化、コンパクト化を可能とする触媒技術の研究開発が課題である。
- ・ これら研究開発課題に対しては、民間による研究開発を中心とする産学官連携の枠組みに加え、共通するような課題については公的研究機関、大学等を中心とする研究開発を支援する体制が必要である。
- ・ その一方で政府には燃料電池自動車に水素を補充するインターフェース部を始めとする規格の統一に対する支援が求められる。さらに水素スタンドー燃料電池自動車に水素を供給する一の普及に向け、税制上の優遇措置や助成等の政策上の措置も求められる。

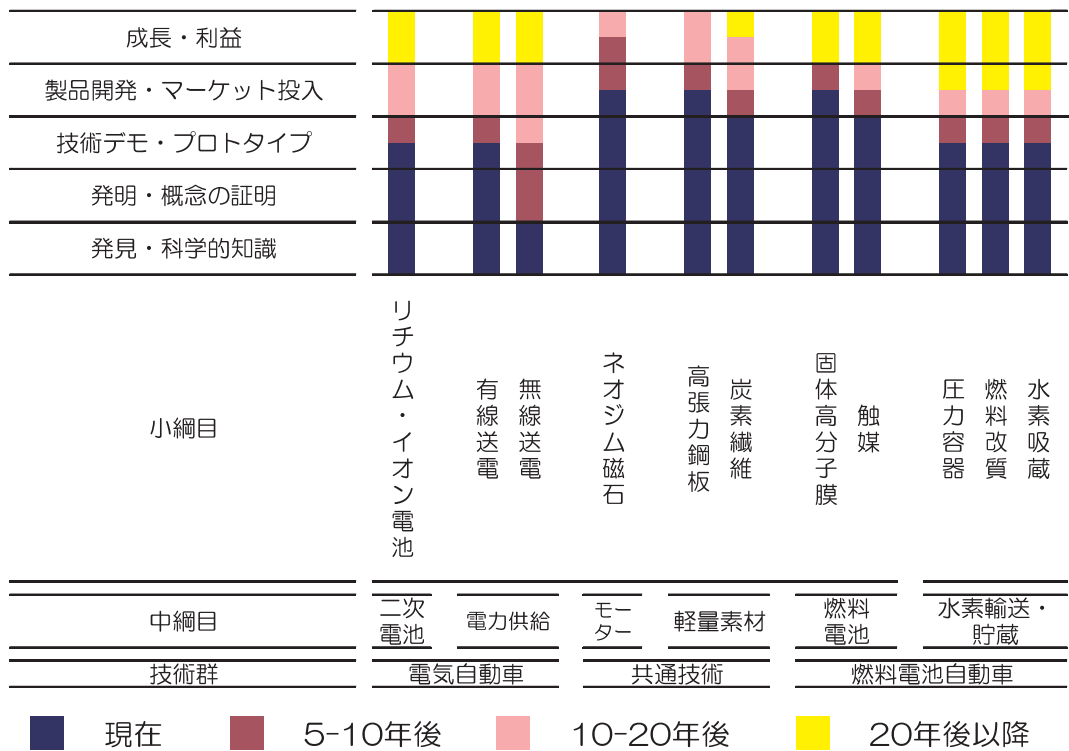


図 2.2.1. 電気自動車と燃料電池自動車実現の鍵となる技術の発展段階の予測.

2.2.3.3 交通インフラ関連技術

2.2.3.1 項および 2.2.3.2 項で取り上げた技術は自動車本体の技術革新による環境低負荷化の実現を目的としている。これら技術の研究開発と並行して交通インフラ関連技術の高度化を進めることも重要である。これは高度な交通流制御を行うことにより、渋滞を緩和し、さらには交差点においてもストップする必要をなくして無駄な燃料の消費を抑制し、環境低負荷化を実現するためのものであり、もちろん運転者の疲労軽減、交通事故の削減にも有効なものである。これによって交通システムが消費するエネルギーが低減でき、さらに発電所等の整備に必要なコストも低減することが可能になる。

交通インフラ関連技術は大きく分ければ、ローカルな交通流制御システムと、より広域の交通流制御システムとに分類できる。前者は、近くにいる車同士が通信しながら自律分散制御をおこなうことにより上記の目的を達成する。後者は、より広域での制御によって適切なルート選択を行うもので、分散制御方式だけではなく、中央の制御用コンピュータで広域交通流の集中制御を行う方式を併用する必要がある。

- ① 技術の発展段階での位置づけ：
- ・ 基盤技術としては「技術デモ・プロトタイプ」の段階であるが、実環境へのインプリメンテーション、ユーザによる評価、システムの改善、コスト削減等、実際にシステムとしての運用を可能にするまでにはかなりの時間がかかることが予想される。
- ② 日本の現状：
- ・ この制御システムへの入力となる車の位置、速度、加速度、目的地等のデータを車車間、路車間で伝え、さらに制御信号を車にフィードバックするための通信方式としては、当然無線通信が必要になる。現在携帯電話システムは我が国ではほとんどの都市部を隈無くカバーしているため、これを活用して通信を行うことが考えられる。また ETC、VICS 等高度のシステムが普及しており、国際的に見ても優位性がある。ただし国際標準化等の面では課題も多い。
- ③ 欧米アジア等の現状：
- ・ 特に技術的に進んでいるのは米国で、軍用に研究開発された技術を活用した自動運転の技術で先行している。一例として 2007 年 DARPA のアーバンチャレンジプロジェクトにおいて、カリフォルニア州の軍事基地内に作った実際の道路を模擬した道路を使って無人走行車の実験がおこなわれ、60 マイルのコースを 6 台の車が完走した。
 - ・ 今後車の台数が急激に増えると予想される新興国においては高度のインフラに新たな投資をおこなう余力は少ないと考えられる。それゆえ極力既存のインフラを活用することが望ましい。この意味からも、すでに普及が進んでいる携帯電話インフラ（中国をはじめ各国で利用されている PHS を含む）や、今後急速に普及すると見られるモバイル WiMax 等の Adhoc 通信システムの利用が有望である。
- ④ 問題点：
- ・ 後述する研究開発課題に加え、国際標準化、インフラ整備に必要な巨額の投資の可能性等、政策面の課題が山積している。無線通信に関しては、利用料金、カバレッジ、同時に通信できるチャンネル容量、セルサイズ、ハンドオーバー処理時間、移動体の最高速度、等について詳細な検討が今後必要である。
- ⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題と取るべき研究開発体制：
- ・ 取り組むべき重要な研究開発課題としては、交通流制御システムおよび無線通信システムが挙げられる。また高精度 GPS、センサ、画像処理等広範囲の技術が必要である。いずれについてもインフラ側機器と車載機器との両方が必要である。
 - ・ このような交通インフラ関連技術の適用を可能にし効果あるものにす

るために政府には、各種センサ情報がネットワークを介して自由に流通、それらの活用を可能にする政策面での取り組みが求められる。さらに地球規模で環境低負荷型社会を実現するには、広域（多くの場合は国際的）での環境モニタリングが欠かせない。環境モニタリング結果の共有や利用を容易にすることを目的とする測定項目、測定手法等の標準化も必要である。各国政府にはこの分野での国際的な協力体制の実現に向けた努力が求められる。

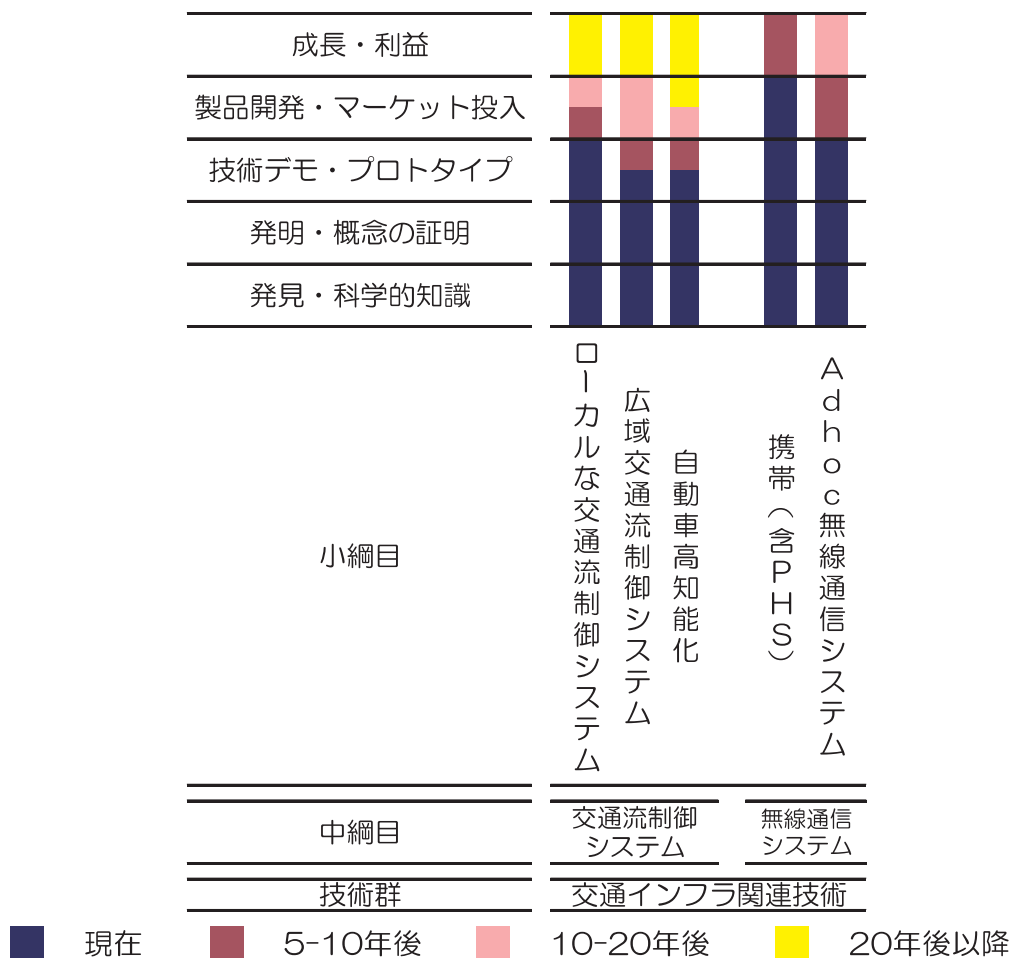


図 2.2.2. 交通インフラに関して鍵となる技術の発展段階の予測.

2.2.3.4 新しい交通システムのあり方

(1) 自動車に依存した交通システムの限界

石油燃料を燃料源とする従来の自動車の CO₂ 排出等の課題への対応は、2.2.3.1 項および 2.2.3.3 項に述べた技術で対応することができる。しかし、今後の新興国における人口増加や自動車の普及¹⁰を考慮すると、自動車に大きく依存した現在の交通システムは、環境面と物理面の両面で限界に達することが予測される。

この限界を突破する方法として、次の 2 点が考えられる。

- ① 公共交通システムを高度に発達させる
- ② 新しい「交通システム」を創出する

本節では両者の組み合わせにより、自動車という概念をパラダイムシフトさせ、効率的な移動を実現する一方で、そもそも移動しなくて良い仕組みをつくり出すことも視野に入れながら交通システムの将来像と技術課題等について検討を進める。

(2) 2050 年における社会像

遠い将来（2050 年以降）の交通システムを展望するには、次世代の社会像を予見することが必要である。本節では、次世代のライフスタイルや社会が抱える課題のうち、以下を交通システムに関係する事項として考慮することとした。

- ・ 個人志向の進展・多様な生活形態に対応可能な交通システムの必要性が向上
- ・ コミュニティーの変化
 - ローカル化：会社を核とした生活から家族を核とした生活へ変化し、地域を主体とした活動が増す
 - バーチャル化：通信による（時間・空間を考慮しない形態での）共同体が形成される
- ・ コンピュータ技術の飛躍的発展（2045 年の特異点¹¹）
- ・ バーチャル・リアリティー（VR）の進展
- ・ その他、人間の欲求する分野で技術が大きく進展

なお、上記項目の抽出にあたっては、既に現在、先進国で出始めている様々な問題が今後新興国に波及していくとの前提に立ち、既存の未来学研究¹²を参考とした。

¹⁰ 参考資料 2. 「BRICs における人口増加と自動車の普及」。

¹¹ 2045 年の特異点：「2045 年には人間の知能の 10 億倍の能力を持った人工知能が登場し、人間とテクノロジーの関係が覆り変容する。」レイ・カーツワイル。

¹² 未来学者アルビン・トフラー、レイ・カーツワイル等の予測や提言をもとに検討。

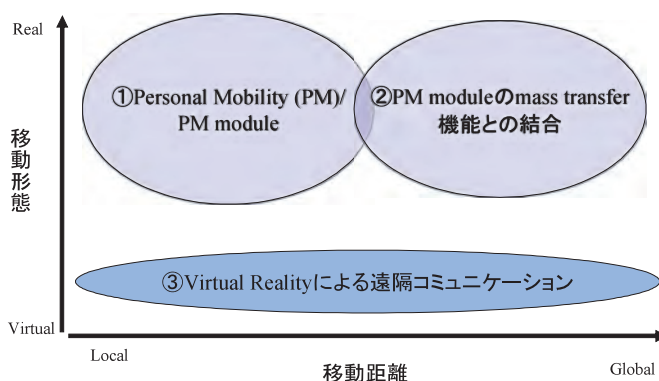
(3) 現在の技術・システムの参考事例

効率的輸送を考える上で、現在のシステム等で参考となる事例を以下に挙げる。

- ・ 宅配便システム
 - 宅配便システムの効率的輸送をヒトの移動にも適用することが考えられる。パーソナル・モビリティ（PM）を宅配便の小包に見立て、輸送目的や輸送の効率性向上の観点から、小包同様 PM をトラック・電車・船・飛行機等に載せる仕組みをつくり、「公共交通」と「PM」の組み合わせで、最も環境負荷の低い移動の仕組みづくりを行うことが考えられる。
- ・ インターネット等による通信
 - 現在、インターネット上での遠隔会議やショッピング・モール等、様々なコミュニケーションが行われている。今後これが3次元化し、よりリアルなコミュニケーションをはかることができるようになると、ヒトは「そもそも移動しなくて良い」仕組みを手に入れることになる。

(4) 新しい交通システムのグランド・デザイン

(2) , (3) での検討結果を踏まえ、交通システムにおける「ローカル化」と「バーチャル化」について、右図に「移動形態」と「移動距離」の軸で分類、整理する。



- ① パーソナル・モビリティ（PM）：現在実用化されている一人乗り用自動車はPMの初期の一例である。このPMが各地域の環境、個人の生活形態により適合し環境負荷を最小化する「ローカルな」移動手段として重要な位置付けとなる。

PMはこれまでの自動車の発展系であるとは限らず、このPMは現在のクルマの形態に捉われることなく、生活に溶け込んだロボットがクルマの機能も果たす等といった柔軟な発想が求められる。

- ② パーソナル・モビリティ・モジュール（PMM）と公共交通の結合：PMを輸送の1モジュールと捉え、大量に交通が発生する箇所では、PMがカプセル化したPMMを公共交通インフラにドッキングさせ移動することが考えられる。

- ③ バーチャル・リアリティー：ヒトの移動の多くは、現場を見る、コミュニケーションを取る事等を目的としている。そこで、「そもそも移動しなくて良い」仕組みづくりを行うことで、移動に係る環境負荷をなくすための検討も進める。この仕組みは会議・ショッピング・教育・医療等、現在リアルな世界で行われている活動に広く波及する。

なお、上記①～③を踏まえ、公共交通システムを中心としたグローバルな交通システムと、地域の特性に応じたローカルなシステムとの組み合わせの最適化等のグランド・デザインを具体的に詰める際には、国際的に検討を進めることが求められる。

(5) 2050年の交通システムを支える技術

(4)の分類に基づき、2050年における交通システム像とそれを支える技術について以下に述べる。

① パーソナル・モビリティ (PM)

- 地域特性への対応：将来、個別嗜好にあわせて生活形態がローカル化した場合、各ローカルエリアの環境に最適な移動形態を進化させることが考えられる。この時、車は必ずしも4輪車である必要はなく、インフラ依存性が低く、エネルギー的にも効率良い動きとされるムカデ自動車等 biomimetics の観点でモビリティを発想することが新たなイノベーションの源となり得る。
- 生活との融合：PMは各個人の生活形態にあわせ、生活の一部に溶け込むことも考えられる。具体的には、椅子や生活関連ロボットが移動時にはカプセル化されたPMに変化する等が考えられる。
- 安全性：各PMは勝手気ままに動くのではなく、十分な安全性を担保する形で制御される仕組みが必要となる。これは、2.2.3.3項で議論した交通インフラ関連技術の発展型を活用できると考えられる。
- 主な技術研究課題：上記を実現する上での研究開発課題としては、画像認識技術、認知および自己学習技術、適応的制御技術、センサおよびアクチュエータ技術等がある。2.2.3.3項で述べたDARPAのアーバンチャレンジプロジェクトで利用されている多くの技術はその初期の段階と捉えることができる。

② パーソナル・モビリティ・モジュール (PMM) と公共交通の結合

- PMMと公共交通の結合：大量に交通が発生する箇所では、PMMを公共交通インフラにドッキングさせた上で移動することが考えられる。この際、環境負荷低減の観点から、公共交通システムとパーソナル・モビリティの組み合わせが最適となるデザインの検討が必要

となる。

- 公共インフラの整備：移動距離と要求速度に応じて、リニアモーターカー、新幹線、地下交通等を階層的に組み合わせたシステムの整備が必要となる。また、現在実用化されている公共交通手段に加え、「走れば走るほど空気がきれいになるモビリティ」や、「リニアモーターカー幹線ネットワーク敷設」等のアイデアを取り入れることが考えられる。
- 主な技術研究課題：技術的には、PMの極小化・PMと公共交通との結合等が考えられる。また、各PMおよび公共インフラの安全性を確保するためのモニタリングシステムも必要となる。

③ バーチャル・リアリティー（VR）

- 画像情報の3次元表示技術、視覚・嗅覚・触覚等五感の情報処理・呈示技術等、バーチャル空間でよりリアルなコミュニケーションを行うことが出来る技術が必要となる。
- このような技術の進展は、人間の根本的な活動と深く関わるため、安全・倫理面等で想定されるリスクへの対応も並行して進めるべきである。

2.2.4. 目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み

(1) 国際協力による新しい交通システムのグランド・デザイン

国や地域の発展と全地球的な環境低負荷型社会の実現の両立を可能とする、将来の交通システムに関する国際的なグランド・デザインを検討する。そのために新しい交通システムに関する国際コンソーシアムを2010年までに組織し、次項目の検討を進める。

- ・ 2015年を目標に国づくり、都市づくりを考慮に入れた新たな交通システムのグランド・デザインを描き、モデルシステムを提唱する。
- ・ 2025年まで、モデルシステムにおける実証実験の結果をもとに、グランド・デザインを完成させる。
- ・ 2030年頃にはグランド・デザインを完成させた上で、それに基づいた新しい交通システムを世界各国の実験エリアへ展開する。
- ・ 2050年頃には新しい交通システムを普及させる。

(2) グランド・デザインの実現に向けたアプローチ

① 民間における技術開発

2.2.3.1項および2.2.3.2項で取り上げた電気自動車、燃料電池自動車については、基本的に民間企業の自助努力で取り組むべき課題である。

② 国の技術開発支援

民間の活動を間接的に支援する上で、次の課題については、研究助成等による国の政策支援や誘導が必要である。

- ・ レアメタル代替材料等、国家安全保障に関連した材料開発：
 - 新規材料の探索（モーターの基幹部品である永久磁石材料のネオジウム、燃料電池の触媒として必要な白金等）のための助成を行う。
 - 現在既に部品材料として使用されている材料の効率的利用（リサイクル、省資源化等）推進を目的とする、研究開発への助成および諸制度の整備。
- ・ 政策誘導型の市場形成：
 - 普及奨励策の推進：電気自動車、燃料電池自動車の初期需要を喚起すべく、普及奨励策を採る。

③ 国による社会インフラの整備

2.2.3.3項で述べた交通インフラについては、技術面は民間が中心となりつつ、標準化や実際のインフラ整備は国が中心となり取り組むべき課題である。

④ 官民協力で進めるべき方策

次の方策は、官民共同で進めるべき課題である。

- ・ 他の国々を巻き込んだ交通インフラに関する国際標準の確立（例、ITS、通信プロトコル等）。
- ・ 国際協力の下で進める環境データ、交通データ等の取得を目的とする国際的モニタリングに向けた測定指標、測定手法の国際標準化に先立ち、望ましい指標等について、官民で密なコミュニケーションをとることが望まれる。

⑤ 国際協力で取り組むべき課題

地球規模で環境低負荷型社会の実現を目的とする国際的な議論、検討に先立ち、ネットワークを介して世界各地で取得された環境データ、交通データを自由に流通、利用することを可能とする枠組みの構築が重要となる。この枠組みは各国政府を中心に、民間企業等も巻き込んだ上で国際協力の下で構築することが必要である。

2.2.5. 目指す社会の姿への到達によって得られる効果

(1) 社会的価値

自動車の脱石油化が実現、自動車に由来する CO₂ 排出量ゼロ化の実現に向けた道筋が確立される。その結果、世界の CO₂ 排出量が約 20%削減され、気候変動に対処するために新たに必要となる費用—例えば、増加する河川の氾濫に備え堤防を高くするといった対策—が抑制される。さらに NO_x、SO_x 等の発生による公害への対策に必要な費用も抑制される。

また PM と公共交通の組み合わせといった階層的交通システムの実現は、移動に伴う消費エネルギーの低減に貢献する。新興国においては、環境や社会に負荷を与えない交通システムが実現、人々が環境や社会に不要に負荷を与えずに自由に移動することが可能になり、環境低負荷の実現と新興国の経済発展の両立が実現する。

(2) 経済的価値

① CO₂ の排出量削減（全世界）

世界の CO₂ 排出量は 27,898.6 万トンであり、内 18.4%が国内運輸部門に起因する¹³。

仮に自動車に由来する CO₂ 排出が 100%削減され、かつ CO₂ 排出権取引価格が 660 円 / トン¹⁴ であるとした場合、約 3.4 兆円に相当する CO₂ が削減されることになる。

$$27,898.6 \text{ 百万トン} \times 18.4\% \times 660 \text{ 円 / トン} \doteq 3.4 \text{ 兆円}$$

② 輸入原油への依存の低減（日本）

日本国内で消費されるガソリンと軽油のほとんどが日本に輸入された原油から精製されたものであり¹⁵、このほぼ 100%が自動車燃料として消費されている¹⁶。また自動車燃料のほぼ 100%がガソリンと軽油により占められている¹⁷。

原油の精製により得られるガソリンと軽油の割合は、原油を 100%とす

¹³ 参考資料 1. 「部門別 CO₂ 排出量に関するデータ」、表 2。

¹⁴ 現在はまだ温室効果ガス取引市場を整備している段階であり、CO₂ 排出権取引価格を正確に予測することは難しい。予想されている 2010 年時点での CO₂ 排出権取引価格は 5.5 ドル / トン（約 660 円 / トン）～54 ドル / トン（約 6,480 円 / トン）と幅広い（政策投資銀行「動き始めた温室効果ガス排出権取引市場～現状と今後の課題～」）。

¹⁵ 日本エネルギー経済研究所 石油情報センター、「OIL NOW 2007 —石油はいま—」、2007。

¹⁶ 石油連盟、「今日の石油産業 2007」、2007 年。

¹⁷ 資源エネルギー庁、「エネルギー白書 2007 年版」。

ると、それぞれ 26%と 15%¹⁸、合計で 41%である。

2005 年度の原油価格、原油輸入額はそれぞれ 1 バレル当たり 56.64 ドル¹⁹、882 億ドル²⁰である。ここで 2007 年の原油輸入量が 2005 年と同等であるとみなした上で、原油価格 (WTI)、為替レートを、それぞれの 2007 年平均、1 バレル当たり 72.34²¹ ドル、1 ドル = 117.8 円とすると、2007 年換算で日本の原油輸入額のうち、自動車燃料に相当する輸入額は 5 兆 4,407 億円になる。

$$882 \text{ 億ドル} \times 41\% \times (72.34/56.64) \times 117.8 \text{ 円/ドル} = 5 \text{ 兆 } 4,407 \text{ 億円}$$

すなわち自動車の脱石油化が実現すると年間 5 兆 4,407 億円に相当する原油の輸入が削減される (2007 年換算) ことになる²²。

③ 環境低負荷型自動車市場の創出 (全世界)

今後の世界全体の自動車保有台数は、2030 年に 14 億台²³に、2050 年には BRICs だけでも 13.3 億台になる²⁴等の予測がある。

仮に石油燃料を燃料源とする従来の自動車 14 億台が全て電気自動車や燃料電池自動車に置き換わり、かつ自動車 1 台の価格が 100 万円であるとみなした場合、新たに 1,400 兆円の環境低負荷型自動車市場が創出され、環境負荷の大きな石油燃料を燃料源とする従来の自動車の市場を置き換えることになる。

$$14 \text{ 億台} \times 100 \text{ 万円/台} = 1,400 \text{ 兆円}$$

¹⁸ 森岡和則、「新日本石油精製株式会社根岸精油所見学会報告」、日本自動車ジャーナリスト協会安全部会レポート、2002 年。

¹⁹ 米国エネルギー省、エネルギー情報庁公表のデータ。

²⁰ 脚注 14。

²¹ 脚注 18。

²² ただし“特定の原油から精製される過程で得られる製品の得率 (生産割合) はほぼ一定”あり、“特定の製品だけ極端に多く生産したりすることは困難で”ある (日本エネルギー経済研究所 石油情報センター、「OIL NOW 2007 - 石油はいま -」、2007)。すなわち自動車の脱石油化が実現すると今度は新たに不要になったガソリンや軽油の扱いについての問題が生じる。それゆえ自動車の脱石油化と併せ、ガソリンや軽油の新たな用途の開発、他の石油製品への効率的な改質を可能とする研究開発が必要になる。もっとも自動車の脱石油化が実現する 2050 年には、そもそも石油の需要そのものが減少、不要になったガソリンや軽油の扱いは大きな問題にならないかもしれない。

²³ 世界の自動車保有台数は現在 7 億台であるが、2030 年には 14 億台に増加するという予測がある (World Business Council for Sustainable Development, Mobility 2030)。

²⁴ 参考資料表 4。

この新たな市場の創出の経済効果は関連産業に広く波及する上に、電気自動車や燃料自動車により培われた技術が他の産業分野にも普及、さらに環境低負荷型社会の実現に貢献することが期待される。

④ 渋滞緩和による交通の効率化（日本）

渋滞緩和により移動に要する時間が低減することによる経済的効果も生まれる。渋滞による時間損失は、日本国内だけでも 38 億時間／年である。この渋滞による時間損失の解消は 12 兆円の費用節約に相当する²⁵。

²⁵ 産業競争力懇談会「交通物流ルネサンス実現に向けた提言」、2007 年。

2.2.6. 提言

交通分野における環境低負荷型社会の実現、特に CO₂ 削減に向けた研究開発、環境低負荷技術の利用を促進するために、次の様な「場」を形成することを提言する。

■ 国際コンソーシアムによる全地球的な交通システムのグランド・デザインを検討する「場」

2015 年までに、国や地域の発展と全地球的な環境低負荷型社会の実現の両立を可能とする、将来の交通システムに関する国際的なグランド・デザインを描く。このグランド・デザインを各国、地域の政策と連動させつつ、モデルシステムによる検証とその結果の研究開発への反映、さらにグランド・デザインそのものも常時検証、改善できる枠組みを構築する。この枠組みの中で公共交通システムとパーソナル・モビリティの組み合わせが最適となるデザインの検討を行う。

■ 環境データ、交通データ等の取得を目的とする国際的モニタリングおよびデータの自由な流通と利用を可能とする枠組みの構築を促進する「場」

環境低負荷型社会の実現には、環境や交通量の現状を正確に把握することが必要である。世界各地で、大気汚染や水汚染、騒音等の環境データ、交通量や交通パターン等の交通データを取得、共有した上で、国際的な対応を検討する「場」を構築する。この「場」でモニタリングの測定項目、測定手法等の国際標準化を進める。

■ 鍵となる技術の研究開発と実用化における産学官の役割を検討する「場」

交通に関する技術の研究開発は市場における民間企業間の競争の下で行われているため、この分野において産学官が協力する枠組みを構築することは難しい。しかし 2.2.3 節で提言した、基礎研究の推進、国家安全保障上重要な分野における研究開発の効率的な推進を目的とする、産学の有機的連携、それを支援する官の役割を議論する「場」を醸成する。

目指す社会の姿を実現するため、鍵となる技術と取り組むべき研究課題は、以下のとおりである。

(1) 電気自動車

(1-1) 二次電池技術

- ・ リチウム・イオン二次電池の大容量化を中心とする性能向上およびコスト低減
- ・ 現在のリチウム・イオン二次電池とは材料や構造等が全く異なる、新しい原理に基づく二次電池の開発

(1-2) 電力供給技術

- ・ 効率の良い大電力送電／受電技術
- ・ 熱管理技術、人体・車体の安全を確保するための技術
- ・ 周囲の電子機器等への干渉防止技術

(1-3) モーター技術

- ・ 現在のネオジム磁石とは全く異なる、新しい材料系の磁石の開発

(1-4) 軽量素材技術（高張力鋼板・炭素繊維（炭素繊維強化プラスチック））

- ・ 高張力鋼板の機能性向上およびその利用を促進する周辺技術
- ・ 鋼板等の物性計測を始めとする基礎的技術
- ・ 炭素繊維の格段の低コスト化および利用拡大のための周辺技術

(2) 燃料電池自動車

(2-1) 燃料電池技術

- ・ 固体高分子型燃料電池の高効率化を中心とする性能向上、作動可能範囲の拡張、およびコストの飛躍的な低減

(2-2) 水素輸送・貯蔵技術

- ・ 水素物性の解明および貯蔵の高効率化

(3) 交通インフラ関連技術

- ・ 交通流制御システムおよび無線通信システム
- ・ 高精度 GPS、センサ、画像処理等広範囲の技術

はじめに

1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2 地球規模の問題を解決する方策

2.1 自然エネルギーの有効利用

2.2 環境低負荷な交通システムの実現

2.3 安全な水の提供

2.4 安心できる食料の安定的提供

参考資料

参考資料 1. 部門別 CO₂ 排出量に関するデータ

表 1：世界の部門別 CO₂ 排出量（2001 年データ）

	Total CO ₂ Emissions (Mt)	Percent of CO ₂ Emissions by Sector					Other Commercial, Public, and Agricultural Sectors
		Public Electricity & Heat Production	Other Energy Industries	Manufacturing Industries & Construction	Internal Transportation	Residential	
World	27,898.6	37.2	4.7	16.8	18.4	7.8	5.6
Developed	14,718.5	41.0	4.5	15.0	23.6	8.6	6.1
Developing	8,623.7	37.6	6.6	24.5	16.4	7.4	5.8

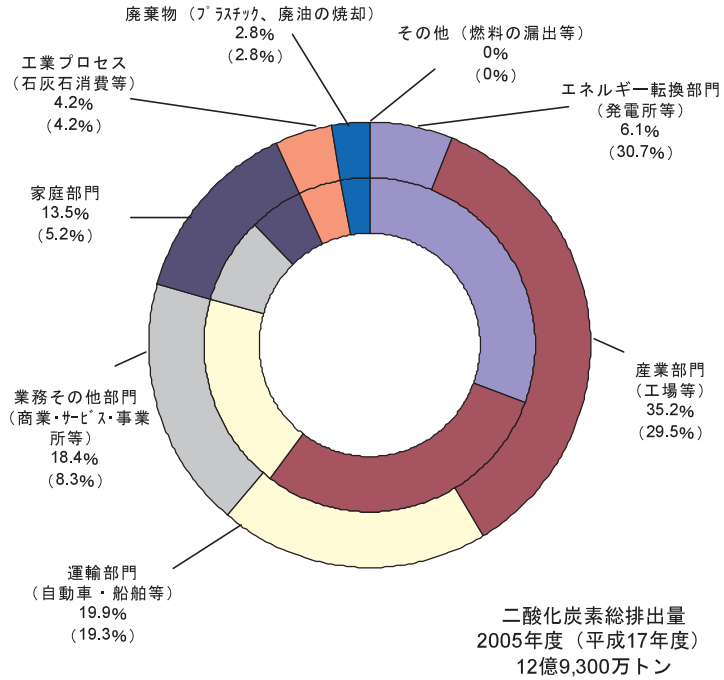
(出典) World Resources Institute, Carbon Dioxide Emissions by Economic Sector 2005

表 2：日本における部門別 CO₂ 排出量 [Mt CO₂]（2005 年度）

	直接排出量	間接排出量 *	直接排出量シェア	間接排出量シェア
エネルギー転換	396,922.6	78,479.3	30.7%	6.1%
産業	381,079.4	455,642.5	29.5%	35.2%
運輸	249,643.0	256,809.5	19.3%	19.9%
業務その他	107,401.7	237,624.9	8.3%	18.4%
家庭	67,780.9	174,271.2	5.2%	13.5%
工業プロセス	53,926.0	53,926.0	4.2%	4.2%
廃棄物	36,677.8	36,677.8	2.8%	2.8%
その他	37.6	37.6	0.0%	0.0%
合計	1,293,469	1,293,469		

*間接排出量：電気事業者の発電に伴う排出量を電力消費量に応じて最終需要部門に配分した後の値。

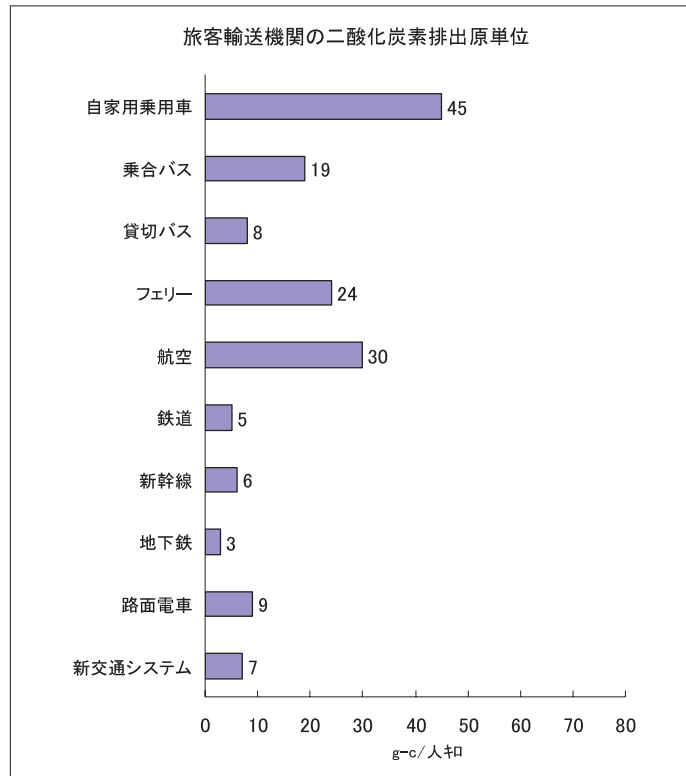
(出典) 国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ（1990-2005）」、2007



円グラフ内側：直接排出量に基づく部門別割合
円グラフ外側：間接排出量に基づく部門別割合

(出典) 国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ (1990-2005)」、2007

図 1：日本における部門別 CO₂ 排出割合 (2005 年度、%)



(出典) 地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議資料

図 2：日本における旅客輸送機関の CO₂ 排出原単位

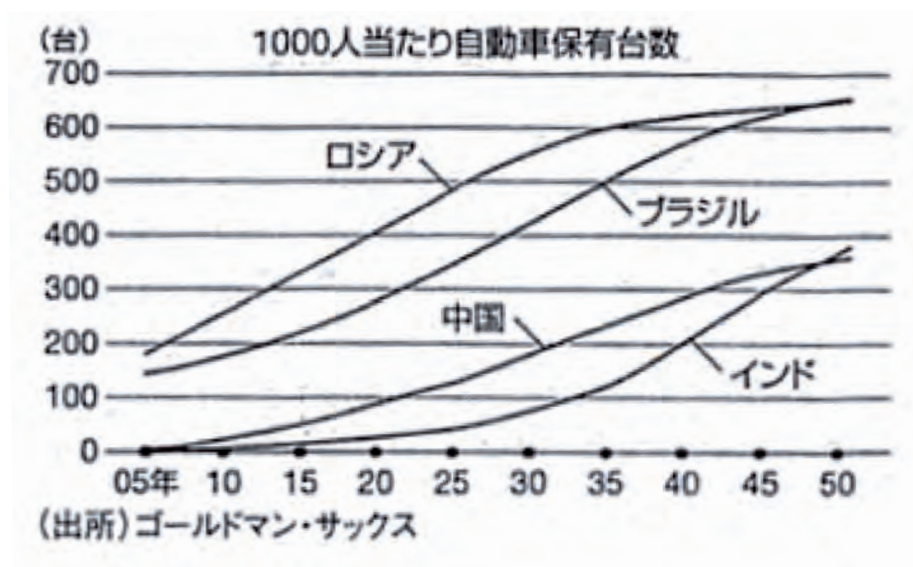
参考資料 2. BRICs における人口増加と自動車の普及

表 3：BRICs の人口予測および国土面積

	人口 (2003 年調査)	人口 (2030 年*)	人口 (2050 年*)	国土面積 (万 km ²)
ブラジル	178,985 千人	235,505 千人	253,105 千人	851
ロシア	144,566 千人	125,325 千人	111,752 千人	1710
インド	1,068,214 千人	1,449,078 千人	1,592,704 千人	329
中国	1,288,400 千人	1,446,453 千人	1,392,307 千人	960

* 2003 年の調査結果。

(出典) 総務省



(出典) ゴールドマン・サックス

図 2：BRICs の 1000 人当たり自動車保有台数推移予測

表 4：BRICs の自動車保有台数予測

	人口 (億人)	自動車保有台数 (台/1,000 人)	自動車台数 (億台)
ブラジル	2.5	650	1.6
ロシア	1.1	650	0.7
インド	16	380	6.1
中国	14	350	4.9
計	33.6		13.3

※ 表 3、図 3 のデータをもとに作成

俯瞰表：「環境低負荷な交通システムの実現」の鍵となる技術

技術群	中細目 (鍵となる技術)	小細目	現状 (問題点)	技術競争力 (技術水準)						研究課題						
				科学的知識 (基礎研究)			技術の産業化									
				日	米	欧	日	米	欧							
電気自動車	電力供給	二次電池	リチウム・イオン電池	日本企業が世界市場のほぼ100%の市場占有率を保持している自動車向けニッケル水素電池を基盤とし、日本が自動車向けを中心とした二次電池技術の基礎研究と技術の産業化の両面において技術的に優位な立場にある。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	・「大容量化を中心とする性能向上」を目指した正極や負極、セパレータ、電解液の新しい材料探索。 ・「コスト低減」のための既存の材料の安価な材料への代替を目的とする材料探索及び製造技術の改善。 ・中長期的には現在のリチウム・イオン二次電池とは材料や構造等が全く異なる「新しい原理に基づく二次電池」の開発。			
				・家庭用電源から充電可能なプラグイン・ハイブリッド車が市場投入されつつある。 ・インターフェースを始めとする規格の統一、さらに電気スタントー電気自動車に充電する際の蓋のための政策上の措置の必要性が高い。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	大きな研究課題はない。ガソリン自動車と同等以上の利便性に向けた、急速充電技術等が研究課題である。	
				無線送電	無線送電技術には、電磁誘導、マイクロ波、レーザーなどの方式がある。それぞれ長所短所があるが、現在在のところ電磁誘導、マイクロ波を用いた試作が報告されている。無線送電方式とプラグイン方式とのコスト面も含めた優劣については、今後の検討課題である。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	効率の良い大電力送電・受電技術、熱管理技術、人体・車体の安全を確保するための技術、周囲の電子機器等への干渉防止技術等。	
				固体高分子膜	・日本は基礎研究、産業化の両面で他国と比肩、もしくは優位に立っている。 ・燃料電池技術を含む水素エネルギー技術は各国が官民挙げて注力している技術領域である。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	「高効率化を中心とする性能向上」と「作動可能範囲の拡張」、「コストの飛躍的な低減」を目指した電解質膜、空気極や燃料極、触媒、セパレータの新しい材料探索、及び構造設計。 ・「水素物性の解明」については、水素脆化の基本原理の解明。 ・「貯蔵の高効率化」については、方式により課題が異なる。例えば水素吸蔵の場合、低エネルギー損失で大量の水素を吸蔵、放出する材料の探索。	
燃料電池自動車	水素輸送・貯蔵	モーター	ネオジム磁石	・日本は基礎研究と産業化の両面で他国に対して技術的優位に立っている。 ・飛躍的な技術の進歩は望めないという意見も根強い。 ・ネオジム磁石の原料であるネオジウムは供給源が一部の国に限定されているという地政学上の不安要因がある。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	中長期的にはネオジム磁石とは材料が全く異なる「新しい材料系の磁石」の開発を目指した材料探索、材料設計。			
				圧力容器	個別の方式の優位性は不明である。方式の選択は燃料電池自動車の構造に影響を与える。・水素エネルギー技術は各国が官民挙げて注力している技術領域である。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
				燃料改質	高張力鋼板は自動車向け鋼板として普及しつつある。具体的には自動車向け鋼板の70%を占めるようになってきている。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	・高張力鋼板の高機能化を目指した材料開発。 ・加工技術等、高張力鋼板利用のための周辺技術。
				水素吸蔵	炭素繊維の世界市場における日本企業のシェアは70%である。既に炭素繊維は一部、自動車に利用されつつあるものの、鋼比100倍という価格の高さが、普及の障害となっている。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	・「格段の低コスト化」を目指した製造技術の開発と必要な材料の探索。 ・既存材料との接合技術、使用後のリサイクル技術の開発や、試験、点検の方法等。
電気自動車と燃料電池自動車に共通する技術	軽量素材	ローカルな交通制御システム	広域交通制御システム	車々間でデータをやりとりし分散制御方式で車一台一台を制御することにより、交差点でもストップすることなく通過できる。それにより排気ガス、燃料消費量の削減を可能とするシステム。分散制御方式と集中制御方式を組み合わせた制御が必要になる。現状ではVICS等のシステムが実用化されているが、より高精度、広域性、リアルタイム性を向上させたシステムが必要。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	高精度、高信頼、広域の交通流制御方式自己組織化技術			
				自動車高知能化	2007年 DARPA のグラウンドチャレンジでカリフォルニア州の実際の道路を使って無人走行実験。60マイルのコースを6台の車が完走。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	高精度 GPS、加速度センサ、画像処理 (3次元)、画像認識技術、適応制御技術、高速 LSI 技術、など。		
				携帯 (含 PHS)	携帯電話システム (データ通信を含む) は日本ではほとんどの都市部で利用可能となっており、これを使って車々間、路車間の通信を行うことは可能である (高速走行中やセルの小さい場合などを除く)。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	既存の携帯電話インフラを最大限に活用して交通流制御に役立てることが望ましく、とくにインフラ投資余力の少ない新興国においてはその必要性が高い。料金体系も含めた検討が必要である。第3世代携帯電話では速度250km/hで移動しながらの通信を可能とする規格になっている。	
				無線通信システム	現在 IEEE、WIMAX フォーラムで技術仕様を策定中。モバイル WIMAX は半径3kmをカバーできる基地局で、最高15Mb/sの速度での通信が可能。移動速度は120km/hに対応できる。	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	専用の LSI、アンテナ技術などの開発。モバイル WIMAX は第3世代携帯電話システムよりは低コストが期待されている。	

2.4	安心できる暮らしの安定
2.3	安全な水の提供
2.2	環境低負荷な交通システムの実現
2.1	自然エネルギーの有効利用
2	地球規模の問題を解決する方策
1	地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2.3. 安全な水の提供—「新しい水資源の創造」による課題の解決

2.3.1. 目指す姿とその到達方法

(解決すべき問題)

現在、世界の人口の約 20%、12 億人余りが安全な水にアクセスできない状況にあり、2030 年頃には、その数が 20 億人以上に倍増すると推定されている。洪水や高波による被害も今後さらに増加すると予測されている。世界的に脅威となっている感染症も水の汚染を通じて拡大することが多い。また、現在、約 8 億人が食料不足にさらされているが、農業用水が不足しているために農耕を営めないことがその最大の要因である。食料の需給逼迫や汚染は、食料の 60% 余りを輸入している日本にとっても重要な問題である。

日本においては、水の不足や汚染、治水についての理解と対策が進展し、一時より問題が沈静化しているが、ときおり濁水に見舞われる地域があり、河川・湖沼・地下水の汚染、地下水の汲み上げによる地盤沈下等の問題は依然として残っている。より安全で良質の飲料水への欲求、工業用水の確保、都市の緑化等のための新たな用水の需要も高まってきている。気候変動による影響として、集中豪雨の増加による都市洪水の被害の増加が危惧されている。

一方、技術、産業サイドから見ると、以上のような状況で、日本国内のニーズ・市場はさらに存在しており、これに應えることは重要であるが、それだけでは発展に限界があり、海外への展開が課題となっている。

(目指すべき社会の姿)

以上を踏まえ、2050 年頃までに、「地球上の全ての人々が生活に必要な水、農業に必要な水、および都市や工場等の活動に必要な水が、量的及び質的に満たされており、水の汚染や水災害等が極小化されている社会」の実現を目指す。とくに衛生面に関するものは、2025 年までの実現を目指す。

日本は、海外のニーズにも応えられるように、国際協力等により、技術・産業を強化し、このビジョンの実現に大きく貢献するようにしたい。

(方策)

(1) 水量の偏在是正

量的には、地球全体として降水量や水賦存量が不足しているのではなく、地域、時期毎の供給可能量と需要量に大きなミスマッチがあることが問題を引き起こしていると言える。ダム等の貯水施設や送水施設の普及はこの解決に有効ではあるが、それだけでは十分ではない。中長期の需給のバラ

ンスを見て、合理的な利用計画を立てることが重要である。そのためには、日本の得意技術でもある衛星観測、地上観測および気候変動シミュレーション等の精度向上、適用範囲の拡大により、各地域の降水量・水賦存量・需要量を正確に評価・予測できるようにし、それに基づく国及び地域の総合的な水利用計画の立案、インフラ整備を行うことが必要である。

内陸部に渇水で悩む国、地域が多いがその解決は容易ではない。再循環利用技術のほか、造林・緑地化による保水能力の強化、地下水の探索（水量、水質、涵養状況等）、水源地からの長距離送水や人工降雨の研究等の長期的技術課題にも取り組む必要がある。インフラ整備等の支援も必要である。日本は、低漏水、耐震等の配管技術が強い。

また、都市洪水の防止と用水の確保のために、道路等の雨水を集めるコンパクトな貯水設備を開発、普及させることが有効と考えられる。

利用面では、節水型の農業の技術開発と普及が重要である。農業は大量の水を消費し、そのほとんどが消失する。乾燥に強い作物の育種、滴水型等の節水型栽培技術の開発が必要である。

(2) 水質の転換と処理

自然水（淡水）があっても、病原微生物、砒素、化学物質等の有害物質を含んでいるためそのままでは使えないことが多い。この浄化には、透過膜による除去、触媒による殺菌や無害化、化学物質や光線による殺菌等の浄水プラントが使われる。日本はこれらの技術でもトップレベルにある。今後、それぞれの地域の水質を調査し、その成分や、気候・風土、水の利用方法（送水や貯水方法も含む）等に適したものにすることが必要である。病原微生物と化学物質等を同時に処理できる多機能膜や安価な触媒法の開発等によるコスト低減、省エネ、運営管理の簡素化等の技術開発が必要である。

海岸に近い地域では、海水淡水化が水不足の重要な解決策である。海水淡水化には逆浸透膜を使った膜処理法が有力であるが、大量のエネルギーを要することが最大の問題である。エネルギー消費を現状の十分の1以下に、できれば自然エネルギーでまかなうことを目標に、低圧損膜の開発、プロセスの革新と太陽熱、太陽光発電、海水温度差発電等の自然エネルギー利用技術の開発を図るべきである。日本は、これらの要素技術のポテンシャルが高い。

下水、排水の浄化処理は、環境汚染の防止、感染症の拡大防止、食料汚染の防止と共に、水の再循環利用のために必須である。とくに、大量の水を消費している都市や工場、水量が不足している内陸の乾燥地域等においては、排水を浄化し再循環利用することにより、自然水の必要量を減らすことがきわめて重要である。このキー技術は、生物処理と膜分離であり、

両者を組み合わせた膜分離活性汚泥法も注目されている。それぞれの地域の水質、気候・風土に合った、処理用微生物やその保持技術、省エネ型のプロセス等を国際協力により開発すべきである。再循環利用を普及することにより、湖沼、河川、地下水からの過剰な取水が不要になる。自然浄化が可能なレベルにした水を河川等に戻すことにより、環境汚染が防げると共に農業用水としての再利用が可能になる。これらについても日本が寄与できる。過去、発展途上国に対する経済援助の一環として下水処理設備が多数建設されてきたが、電力不足や技術者不足で止まったままのものも少なくない。省エネ、簡素化、コンパクト化、低コスト化のための技術、プロセスの抜本的改良を行うべきである。

(3) 治水

用水の確保と、洪水、土砂崩れ対策等の治水は同時に進めるべきことが多い。洪水対策は、貯水ダム、堤防、排水設備等のインフラの整備が中心であるが、先に述べた、降水量や流水量、保水量の正確な評価と予測は、その整備計画の立案や放水・排水量の制御等に必要である。

緑化による保水や土壌の強化は最近再評価され、研究が進められている。今後、研究と普及の一層の加速が必要である。また、先に述べたコンパクトな貯水設備のほかに、透水性の道路舗装は、都市洪水の防止に有効と思われる、研究・適用を加速すべきである。これらについても日本が貢献できる。

以上により、人々の生活、経済活動に必要な量と質の水を安定的に確保し、水汚染や水災害を防ぐと共に、砂漠化の防止、緑地への復元を進め、緑の大地ときれいな水を湛えた河川・湖沼、海辺を実現することができる。

これらの達成には、後で述べる技術開発と共に、発展途上国に対する経済、技術の支援、経済原理に基づく産業活動等を要する。また、その前提として、以下のような項目についての国際合意、協力を要する。

- ・ 世界各地の水の賦存量の評価と予測、利用計画の立案—特に国際河川の利用については合意が重要
- ・ 水質が人体に与える影響、環境に与える影響の評価と安全基準の確立
- ・ 下水、工場の排水基準、河川の環境基準等の確立
- ・ 先進国の発展途上国に対する経済支援、技術支援の内容と分担

水フォーラム等で、水に関するビジョンをつめ合意を得ると共に、国際ワークショップ、国際タスクフォース等により具体的作業を進めることが必要である。

(日本の取り組み)

日本は、率先して、地球規模の問題、ニーズに応え、上記のビジョンの実現に貢献すると共に、日本の産業・技術を一層強化発展させるため、日本で開発されてきた技術、産業力をベースに国際協力・海外展開を進めるべきである。そのために、政府は基礎研究の支援、日本と同じ技術ベースを持つ国際人材の育成、国際協力・国際展開の枠組み作り、技術・制度の標準化等を主導し、発展途上国が経済援助や技術移転を受けるだけでなく、国際的に協調しながら自立的に課題解決に取り組めるようにすることと、民間企業が経済ベースで活動できるようにすることが重要である。国の政策の一環として、20年度より、外務省のODAと文部科学省の科学技術予算を連携した発展途上国との共同研究を開始するが、規模が小さい。さらに拡充すべきである。

日本の具体的取り組みとして以下を提案する。

- (1) 日本が高い技術を持つ降水・水賦存量分布の観測・予測技術、水質検査技術をベースに、各国と協力し、各地域のデータベースと高精度の評価・予測技術を構築、標準化し、それらを水利用・システム構築計画の立案、提案に活用する。
- (2) 日本は、水処理膜、消毒・殺菌技術、物理・化学的無害化技術、ポンプ、低漏水配管、耐震技術、計測・分析技術、都市内の水循環・再利用システム技術等で優れたものが多いが、システムとしての海外展開の実績が乏しい。個々の技術をさらに高めると共に、それぞれの地域、国との共同研究、モデル実験を通じて、そこに適合した技術体系、システムを構築、普及を進める。それぞれの地域の水質（汚染原因である微生物や化学物質が異なる）、風土、使用目的に適した浄化や下水・廃水処理（地域に適した下水処理場の微生物の選択、汚泥の処理等）、価格の低減、省エネ、汚泥の処理・有効利用等は必須である。
- (3) 日本は、要素技術の多くを民間企業・大学が有し、システム建設や運営に関する技術の多くを地方自治体・公営企業体が有している。海外展開は、これらの組織、研究者、技術者が連携して行う。
- (4) 技術やシステムの普及の基盤となる水質の計測・分析技術の開発と標準化を日本がリーダーシップをとり各国と協力し推進する。そのために、各国と協力し、科学データに基づく水利用者のリスク評価、排水の環境への影響評価等を行う。

2.3.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由

(地球規模の問題)

現在、水の不足や汚染により世界の人口の約 20%、12 億人余りが安全な水にアクセスできない状況にある。今後地球の温暖化・気候変動により、地域、年・季節ごとの降雨量の変化が拡大し、地域によっては大規模な集中豪雨や極度の渇水が発生する恐れがあると予測されている。この降雨量の変化と、発展途上国を中心とした人口の増加、都市への人口集中、水源となる緑地・山林の喪失、汚染拡大、工業用水の需要増大、地下水の汚染や枯渇等により、2030 年頃には、その数は 20 億人以上に倍増すると推定されている。この水問題に関しては、「第 1 回アジア・太平洋水サミット」が 2007 年 12 月、約 40 力国・地域の参加を得て別府市で開催され、この地域で安全な飲料水を利用できない 7 億人を 2025 年にはゼロにするという目標が提言に盛り込まれた。

水の不足、汚染は、直接人間の生活、生命を脅かすだけでなく、農業、漁業に大きな影響を与え、工業の発展の制約となる。現在、世界では約 8 億人が食料不足にさらされているが、農業用水が不足しているために農業を営めないことが最大の要因である。

とくに、アジアは人口が多く、経済発展の速度も速い。工業化が急激に進むと共に、人口が集中しメガシティと呼ばれる大都市が数多く生まれつつあり、工業用水や都市での水の需要が急増し、需給が逼迫している。中国では、ときおり黄河の水が文字通り底をついた状況を呈するようになる等、各所で水不足が深刻化し、内陸部では緑地、耕地が急激に失われ、荒廃・砂漠化が進んでいる。汚染の拡大も深刻である。インドやバングラデシュでは、地下水にヒ素が含まれているため広い地域で豊富にある地下水がそのままでは使えない状態にある。

アジア、アフリカは上下水道の普及が遅れていること、水道が普及していても漏水率が高いこと、耐震性が弱いこと等の問題がある。水の汚染により感染症の拡大も起こる。アジアの一部では地下水のくみ上げによる地盤沈下が顕在化し始めている。それぞれの国、地域に適し、かつ安価な技術、機器、システムを開発する必要がある。

米国の大穀倉地帯であるテキサス、カンザス、ネブラスカの各州は灌漑用水の 7 割から 9 割を水の涵養がほとんど無いオガララ帯水層と呼ばれる地下水に依存しており、その枯渇が危惧されている。

このような状況下で今後のますますの食料の需給の逼迫・価格の高騰が危惧されている。食料の需給逼迫・価格の高騰や汚染は、貧困国・貧困地域だけの問題ではなく、食料の 60% 余りを輸入に依存している日本にとっても大きな問題である。

はじめに

1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2 地球規模の問題を解決する方策

2.1 自然エネルギーの有効利用

2.2 環境低負荷な交通システムの実現

2.3 安全な水の提供

2.4 安心できる食料の安定的提供

さらに、水の不足や汚染は、生態系・生物多様性の損傷・破壊を引き起こし、中長期的に人間社会が生態系から受けている恩恵を失うことになる。例えば海洋の汚染や生態系の損傷は、日本が国内外で広く行っている養殖事業や遠洋漁業にも影響する。海水の富栄養化に起因した赤潮や越前クラゲの日本の周辺海域における大量発生等は記憶に新しいところである。下水処理では、発生する汚泥の処理も課題である。有害物質の除去のほか、燃料としての利用、肥料としてのリサイクル、有用物質の回収等も課題である。

工場廃水による汚染は、その地域、国だけの問題ではなく、日本から海外に進出している企業や、技術提携している企業の工場が加害者にもなりうる問題でもある。現在の排水基準が将来変更されたり、現在の基準を守っていても将来さかのぼって責任を追及されたりする恐れが皆無とはいえない。従って、測定・分析方法や数値等の安全基準、環境基準等を、科学的根拠に基づいて確立し、広い合意を得て標準化しておくことは、周辺住民、流域の居住者、その国、および日本を含む関連企業にとっても重要である。

国際河川の水利権や汚染、海洋の汚染は国際紛争の種になる恐れがある。

海洋汚染については、陸地からの汚染のほかに、タンカーや鉱石船に積まれるバラスト水による汚染が問題となっている。バラスト水に混入している生物が本来の生息地とは異なる地域で排出されることにより生態系に影響を与えるというものである。そのため、排出の規制が強められつつある。将来的には、バラスト水を廃棄するのではなく、浄化して利用出来るようにすることも期待される。

集中豪雨は、当然のことながら洪水の原因となる。治水は、渇水対策と洪水等の水災害の防止の両者を考えて進めなければならないことも多い。

(日本の課題)

日本においては、水の不足や汚染についての理解と対策が進展し、一時より問題が沈静化しているが、河川・湖沼・地下水の汚染、地下水のくみ上げによる地盤沈下等の問題は依然として残っている。都市洪水の発生が増えるとの予測もある。

日本は、降水量が比較的多く、貯水・送配水設備も調っており、水不足に陥る地域、季節は限定されているが、皆無とは云えない。沖縄県や福岡県等では海水淡水化プラントも建設されているが、コストが高いこと、多量のエネルギーを要すること等の課題がある。また多くの地域で上水は、飲料、炊飯等に耐える水質を保つことが要求されているが、トイレ、散水等にも幅広く使われている。前者の用途では、より安全で良質の水への欲求が強く、わずかな異臭や有害物質の混入が不安、不満の原因となる。後

者の用途では、コスト高という問題がある。工業用水の確保、都市の緑化等のための新たな水のニーズも高まってきている。そこで、飲料、炊飯用等以外の水をそれなりの水質で供給する中水という方式が普及し始めている地域があるが、まだ一部にとどまっている。工業用水としては、超純水等の高品質な水のニーズもある。集中豪雨に対する対策、特に都市洪水に対する対策も検討しておく必要がある。

一方、技術、産業サイドから見ると、以上のような状況で、日本のニーズ・市場は依然と存在しており、これに応えることは重要であるが、それだけでは発展に限界があり、海外展開が必須といえる。それを実現するためには、それぞれの地域にあった技術であること、仏、米等の強力な国・企業に対し優位性を持つことが必要条件である。今後、省エネ、低コスト化のための研究開発は国内外を問わずきわめて重要になる。

2.3.3. 新たな水資源を創造するための技術パッケージ

水問題は、政策的に解決すべきものも多いが、技術で解決すべきものも少なくない。

表 2.3.1 に、シナリオを実現するための重要技術を整理して示す。

表 2.3.1 技術パッケージ

(1) 水の偏在を是正する技術	降水量、水賦存量の評価・予測
	貯水、送水、海上運搬
	人工気象コントロール
(2) 水質の転換・処理技術	浄化用透過膜技術（高機能膜、低圧損膜）
	物理化学的無害化技術（生物処理、センサー）
	海水淡水化（膜法、蒸発法）
(3) 自然水をコントロールする技術（治水）	自然エネルギー利用（海水温度差、太陽光）
	台風、高潮の予測
	灌漑、ダム、堤防
	地下水の計測・利用

主要な技術の現状と将来展望は以下の通りである。

(1) 水量の偏在を是正する技術

水量の偏在を是正するには、まず自然からの水の供給量と人の活動に伴う需要量を把握することが必要である。この水の需要と供給の対応策は地域ごとに決定していく必要があり、降水量、水賦存量（河川・湖沼、地下水等）の水量の評価と短期・長期予測等は、利用計画や対策の立案に極めて重要である。日本は衛星を利用した観測技術や地球シミュレーター等のスーパーコンピュータを利用した予測技術を有している。今後は世界各地、各国に対し活用・貢献すべきである。

次に需要と供給の時期的あるいは地域的なミスマッチの具体的な是正技術が必要である。同一地域での時期的なミスマッチについては、貯水技術が重要であり、規模や状況により大型ダム、貯水池、都市の地下貯水槽、ビル・家屋レベルでの貯水タンク等が考えられる。地域的なミスマッチについては、日本の低漏水、耐震等の配管技術による大型の送水設備や高強度複合繊維製の水輸送用バッグに淡水を入れて海上をタグボートで曳航する技術等がある。後者は機動的で大量輸送が可能な水供給手法であり、渇水時や災害時等の緊急時にも威力を発揮する。また、現在はその排水そのものが環境への影響を懸念されている石油タンカー等のバラスト水も、原油と完全に分離できる技術を開発することにより、渇水地域への水の供給を果たし、場合によっては日本が水の輸出国にもなり得る。

さらに積極的な解決方法として気象の人工的コントロール技術がある。

人工降雨は既に実用化の域にあり、中国等では積極的に活用されているが、ある程度発達した雨雲が存在する場合にのみ有効で、完全なコントロールには至っていない。気象状況を把握し、効率的に降雨させるための予測技術や、環境負荷の少ないシーディング剤の開発が必要である。

① 技術の発展段階での位置づけ：

基礎研究が進んでおり、一部に実証実験が行われている。「概念の証明」から「技術デモ」のフェーズにある。

② 日本の現状：

- ・ 衛星を利用した観測技術やスーパーコンピュータを利用した予測技術に実績がある。
- ・ 低漏水、耐震等高度な送水設備建設の技術がある。
- ・ 人工降雨実験が計画されている。淡水の海上輸送実験は成功している。

③ 欧米アジアの現状：

- ・ 欧米でも日本と同様の研究が進んでいる。
- ・ 内陸部での水不足が深刻な中国では人工降雨の実証試験を進めている。
- ・ 森林の保水力が再認識され、ニューヨーク等米国の一部では緑化による水源の確保が積極的に推進されている。

④ 問題点：

- ・ 地下水量の推定等、データが不足しているものもあり、水賦存量の予測は精度が低い。
- ・ 人工降雨等は本格的な実証実験が少ない。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ 国際的な協力の下、衛星及び地上での観測と各地の精緻なシミュレーション・モデルの開発により、短期・長期予測精度の飛躍的向上を図る。
- ・ 利用計画を国際協力により研究する。
- ・ 現状の人工降雨だけではなく、リアルタイムな適合地域の予測等、より実効性の高い人工降雨技術を開発する。

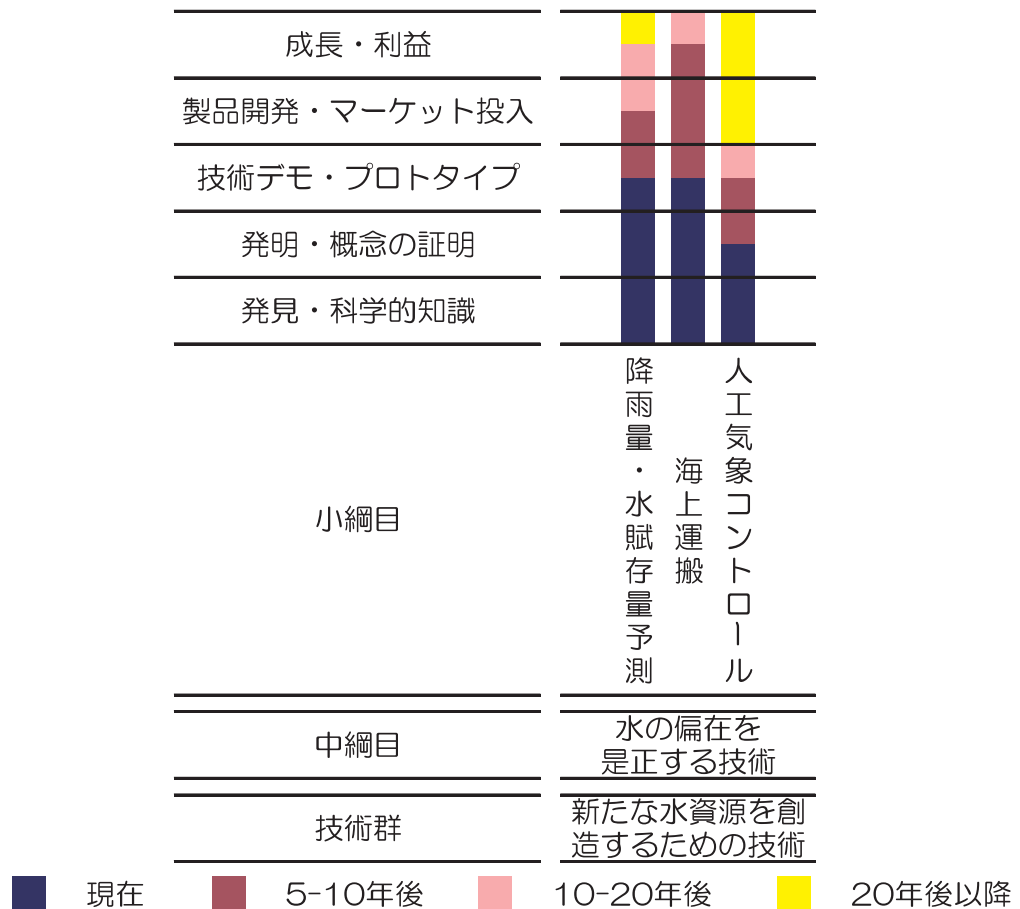


図 2.3.1 水の偏在を是正する技術の発展段階の予測.

(2) 水質の転換・処理技術

地球は水の惑星と言われるが、そのまま利用できる水は極めて限られており、自然水の質や利用目的に応じて最適な処理を行い、利用できる水を創る必要がある。海水や汚染された水を利用可能にする中心技術が「膜処理」であり、国際競争が激しい。日本は膜の製造技術に優れており、特に高い製造技術を要する逆浸透膜（RO 膜）では世界で大きなシェアを有する。自然水を膜処理することにより生活用水、工業用水レベルにまで浄化することができるが、飲用水についてはさらに無害化処理が必要なこともあり、効率的かつ強力な無害化処理技術を開発して行く必要がある。

海に近い地域で大量の水を得るには海水淡水化が最も現実的で、これにも膜処理が有効である。現時点では大量のエネルギーを要し、コストが高く、効率を高める超高耐圧膜、低圧損膜や省エネルギー型プラント等を開発すれば、広く普及できる。一方、海水を蒸留することによって淡水を得る蒸発法も中心技術のひとつであり、日本のメーカーは高いプラント建設技術を持つが、この方式の欠点はさらに大きなエネルギーを要することであり、省エネ技術の開発が必須である。

さらに、電力等が得にくい地域での利用や、化石資源使用量と温室効果ガス排出量の抑制の観点から、自然エネルギーによる海水淡水化を実用化することが期待される。日本はインドと共同で海水温度差による海水淡水化装置の洋上実証実験に世界で初めて成功しており、太陽光淡水化装置等自然エネルギーを利用した淡水化技術が必要である。

一方、利用した水は排水となるが、排水の質とその後の扱いに応じて最適な処理を行い、環境負荷低減と有効利用を可能にする技術開発が待たれる。

排水中の有機物は主に微生物に処理させているが、有機物は一様ではなく、個別に対応することが必要である。生物処理と膜分離を組み合わせた膜分離活性汚泥法は今後の重要な技術である。処理に使用する機能の優れた細菌の探索・育種や遺伝子組み換え技術による高機能細菌の開発を進めるべきである。下水を処理の初期段階で大幅に浄化し、その後は河川水と同程度の処理で浄水化することが望ましい。こうすることによって農業用水として利用することも可能になる。

これらの技術を応用した高度な水循環システムを構築し、都市排水や工業排水による汚染防止と排出した水の生活用水や工業用水としての再利用が可能となれば、消失する少量の水を補給するだけでよくなり、内陸部の都市であっても水不足を防げる。

排水の水質を検査したり、継続的にモニターしたりすることは極めて重要である。しかし、大量の水を扱う処理・浄水現場で効率的に計測・分析することは容易ではなく、細菌類や遺伝子組み換え酵母菌等によるバイオセンサーの開発、さらには微量物質や微量の微生物（ウイルスや細菌）を迅速かつ簡便に検出するキット等の開発が必要である。

① 技術の発展段階での位置づけ：

自然水の浄化や廃水処理に用いられる膜は市販されており、成長・利益のフェーズに入っているが、低コストで高機能な革新的な膜を開発する必要があり、それらの膜に関しては発明・概念の証明のフェーズにある。海水淡水化プラントは、世界各地で建造されており、「成長・利益」のフェーズに入っているが、低コスト化、省エネルギーのニーズは大きく、また自然エネルギーを利用した淡水化技術については「発明・概念の証明」から「技術デモ・プロトタイプ」のフェーズにある。廃水の生物処理は、様々な分野で利用されており、成長・利益のフェーズに入っているが、それぞれの地域で高度な処理を実現する有用微生物、高機能細菌の開発、センサーや微量の生物を簡便に検出する技術は「発見・科学的知識」の段階にある。

② 日本の現状：

- ・ NF 膜、RO 膜を開発・製造する技術をもつ世界トップクラスの企業が存在し、特に RO 膜では世界の約 60%のシェアがあり、また淡水化における膜単体の世界シェアは約 50%程度ある等、産業技術は世界的にトップレベルである。システム技術に課題がある。
- ・ 蒸発法による淡水化プラントでは 2004 年時点で世界第 1 位のシェアがあり、十分な技術力と実績がある。
- ・ 特に飲用水の物理化学的無害化の技術は一部の水道事業に活用されており、大手メーカーに技術力は十分にあるが、今後は低コスト化の技術が重要になる。
- ・ 太陽光海水淡水化プラントによる大規模な緑化に関する研究も行われているが、ペーパー・ワークの段階である。
- ・ 大学等における膜や基本プロセスについての基礎研究を充実する必要がある。

③ 欧米、アジア等の現状：

- ・ 膜技術については、米国には日本と同等の開発・製造能力を持つ企業があり、日本と共に世界のトップを走っている。中国や韓国は MF 膜・UF 膜を中心に低コスト製品の開発等、最近技術力を上げている。
- ・ 海水淡水化について、蒸発法や膜法等を含めたトータルシェアでは、米国が世界第 1 位であり、日本が第 2 位、次いでイタリア、フランス等が強く、グローバルに淡水化事業を展開している。
- ・ シンガポールは水処理に関する国際的な研究開発拠点を目指した活動をしており、注目される。
- ・ 生物処理用の高機能細菌類の研究開発が大学等で行われている。
- ・ 微生物によるバイオセンサーの開発が企業や大学等において進められている。

④ 問題点：

- ・ 革新的な素材による、高機能で低コストの膜の開発が必要である。
- ・ 水処理に対して省エネルギーのための技術開発が必要である。
- ・ とくに、淡水化システムは省エネと自然エネルギーの利用技術の開発、総合化技術が必要である。
- ・ 海外での排水環境や処理目的に対応する細菌類及びその保持技術の開発がほとんどされていない。
- ・ 微量物質や微量の微生物（ウイルスや細菌）を迅速かつ簡便に検出するシステムがない。
- ・ 上水道の効率的かつ強力な無害化処理を開発して行く必要がある。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

大学等で行う基礎的な研究開発が低迷している。企業では手が出せない革新的な水処理プロセス、新素材の開発、革新的な膜の開発を産学協同で進めるべきである。

- ・ 省エネルギー、低コスト化に資する膜開発およびシステム技術の開発
- ・ 自然エネルギーを利用した海水淡水化システムの開発
- ・ ニーズに対応した有用な細菌の探索およびそれをベースにした高機能細菌類の開発、細菌を効率的に繁殖させる生物担体繊維の開発
- ・ 細菌類の探索や電子機器開発との融合等による微量の有機物や生物を鋭敏に検出する機器、キットの開発、検出データの国際標準化

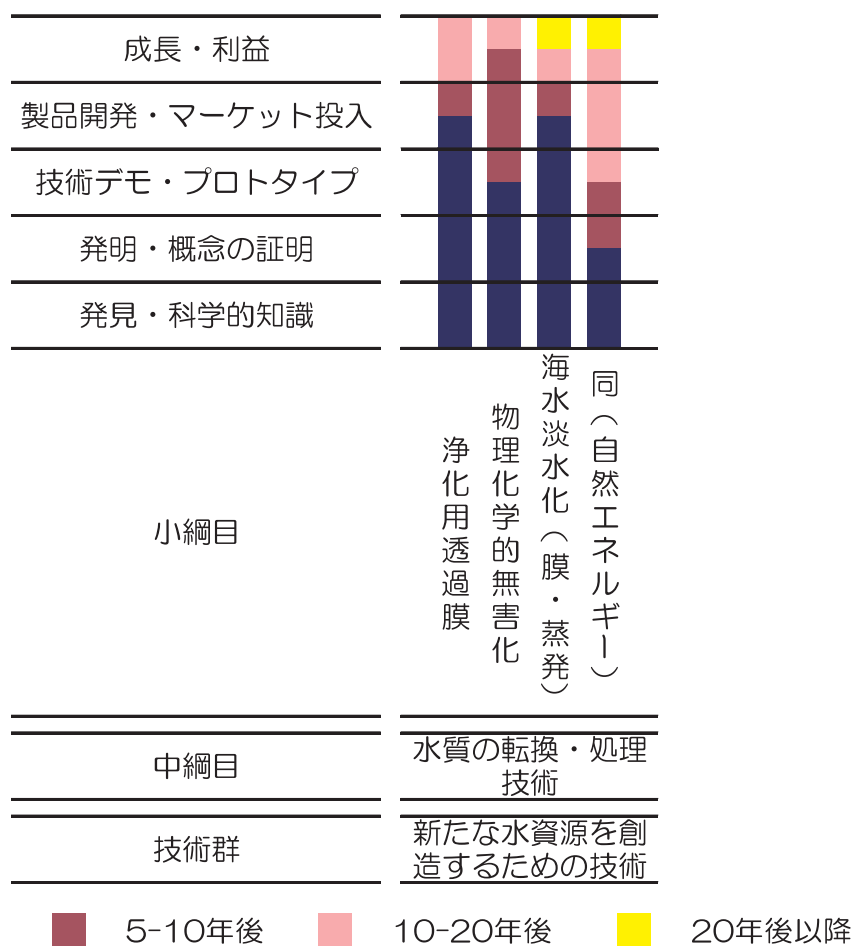


図 2.3.2 水質の転換・処理技術の発展段階の予測。

(3) 自然水をコントロールする技術（治水）

水は人類にとって必要不可欠なものであるが、一方で洪水や高潮といった災害をもたらす。この水による災害をコントロールする技術を治水と言うが、それは同時に水を利用する事、すなわち利水と同義である場合があり、この治水と利水は密接不可分である。有史以来、治水は人類の大きな

課題でありつつけているが、特に我が国は治水に不利な条件が多く、度々大きな災害に見舞われてきた。しかしながら必然的にこれらを克服する技術も発達しており、今後はこれらの技術をベースに世界に貢献していくべきである。

第1は水災害の予測技術である。過去のデータ解析等から降雨量を予測し、治水容量の計算等から該当する国・地域のハザードマップを作成する。また、これらに加え、近年の気候変動からの量的・地位的降雨量の変動予測や、精密な台風進路予測等を加味し、短期的な危険情報を提供する。これにより、灌漑施設の規模やその効果等を予測し、居住不適地域の指定等効率的な災害防止計画を提案する。

次に上記降雨量予測より決定された灌漑施設に貯留した淡水を有効に利用するための設備を建設し、農業用水や工業用水に活用していく。

アフリカ大陸はその約3分の1がサハラ砂漠であるが、近年降水量が減少しており、拡大している。またアフリカでは1960年代以降の人口爆発により、食料の確保を目的とした焼畑農業・過放牧・灌木の過度の伐採が行なわれ、これが更なる砂漠化を招く等、悪循環が繰り返されている。十分な降雨がある地域がある一方、雨期と乾期が明瞭な地域が多く、また時として大干ばつが起こり、多くの人命を奪っている。アフリカ大陸帯水層における水量や水位、季節変動等をきめ細かく調査し、最適な場所に井戸を建設するとともに、既に述べた送水施設の建設等により、地域の特性に応じた効果的な地下水の利用が行える。また地表における自然水も小型ダム建設や溜池の造成により、有効に活用することが出来る。これらを利用した農牧林業を展開することにより、砂漠化の防止も期待できる。

① 技術の発展段階での位置づけ：

年間降雨量の予測は既に利用されているものの、より高精度のシステムが必要であり、「技術デモ・プロトタイプ」に位置する。ハザードマップの作成は既に実用化されている。灌漑施設建設も既に実用化されているが、地下水の賦存量予測は「発明・概念の証明」フェーズである。

② 日本の現状：

気象の予測では実績があり、ハザードマップ作成、灌漑施設建設にも十分な技術がある。

③ 欧米アジアの現状：

- ・ 欧米の大手企業に日本と同等の技術力があり、海外進出も本格化しようとしている。大学等においても研究開発が行われている。
- ・ 中国においても気象の予測については盛んに研究されている。

- ④ 問題点：
- ・ 気候変動も加味した今後の気象の予測では、例えば台風の発生時間等は特定できない。
 - ・ 地下水の賦存量予測はボーリング調査等地道かつ長期的な調査が必要である。
- ⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：
- ・ 高精度気象予測システムの開発
 - ・ 簡便迅速な地下水賦存量予測・数値モデル化技術の開発

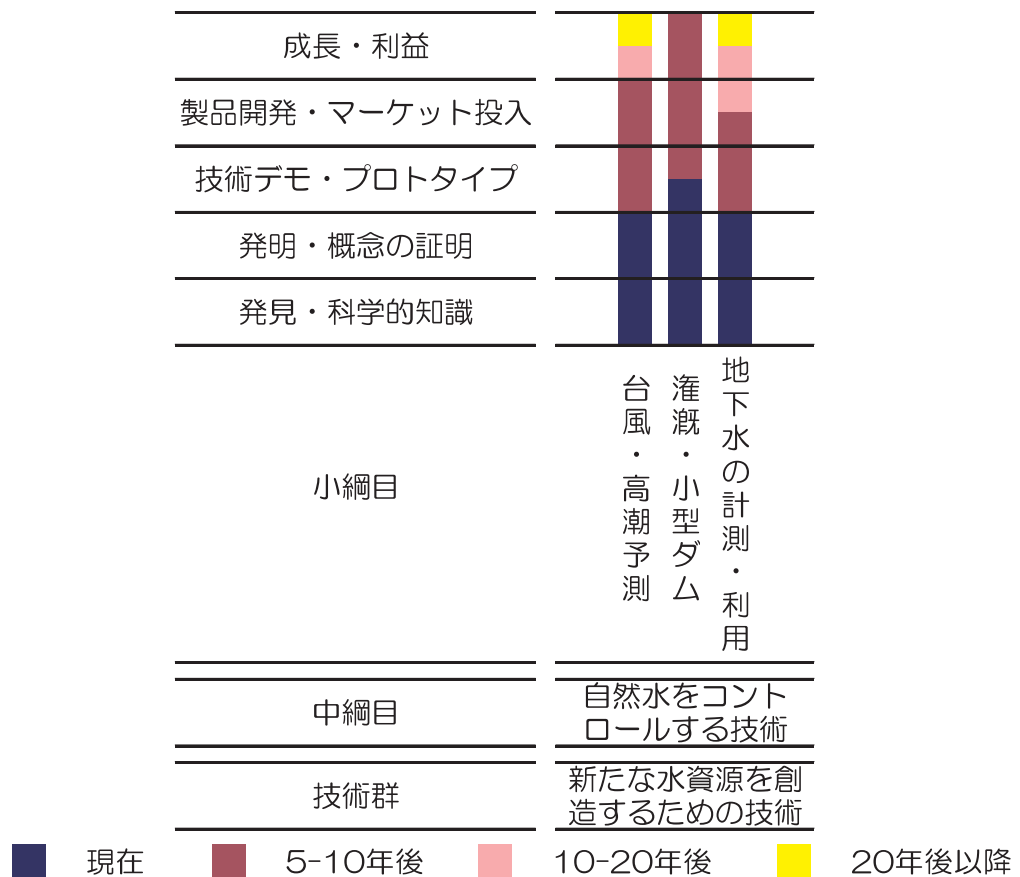


図 2.3.3 自然水をコントロールする技術（治水）の発展段階の予測。

はじめに

1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2 地球規模の問題を解決する方策

2.1 自然エネルギーの有効利用

2.2 環境低負荷な交通システムの実現

2.3 安全な水の提供

2.4 安心できる食料の安定的提供

2.3.4. 目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み

地球規模の問題として「水」については、すでに多くの国際会議、国際共同プログラムが実施されているが、現在でも約8億人が安全な水にアクセスできない状況にあり、水不足、水汚染の問題はむしろ深刻化する方向にある。洪水の増加も危惧されている。その理由は、①しっかりした国際協力の枠組みができていないこと、②経済ベースだけでは解決しない状況になっていること、③多くの国・地域が自立的に解決できる経済力あるいは技術力を持たないことによる。これらの課題を乗り越えるために以下のような推進方法を提案する。

まず、国際協力の場を設定し、下記について具体的に活動する。

- (1) 現在及び将来の世界各地の水の賦存量、利用計画について、観測と予測研究を行い、利用計画を立案し合意を得る。特に国際河川については合意が重要。
- (2) 水質が人体に与える影響、環境に与える影響等を明らかにし、評価指標、水質基準を作成する。
- (3) 当該地だけではなく広域（国際河川、海洋を含む）の汚染も防ぐため、下水や工場の排水基準、河川の環境基準等を確立する。
- (4) 先進国の発展途上国に対する経済支援、技術支援の内容と分担について合意する。

日本は、これらの活動でリーダーシップをとると共に、技術・産業を国際展開できるようにする必要がある。そのためには、ベースとなる技術は日本にあるとしても、ニーズを持つ発展途上国および乾燥地帯にある国々に適した技術、機器、システムにする必要があり、研究開発、標準化、技術・システムの普及の全ての段階を通じて当該国と協力することが必須である。主要な課題、市場がそれぞれの国・地域にあること、さらには課題を解決するための資源（例えば、その地域に適した下水処理用の細菌等）、人材、周辺技術および技術や装置の採用決定権等もそこにあることを忘れてはならない。要は、研究開発の段階からシステムの建設、普及までを視野に入れた総合的な連携。協力体制を築くことである。それぞれの地域に適合する技術、システムは多様ではあるが、それらを、地域の規模、人口密度、社会基盤整備レベル、降雨量、気温、季節変動の大小、海岸からの距離等で出来るだけ類型化し、多数の地域で共通して使えるものにするのが戦略上重要である。

本格的に国際貢献、国際展開するために重要なのは、民間企業が経済ベースで活動できるようにすることである。日本政府は特に、技術供与、国際共同研究の枠組み構築、初期の研究開発、標準化、システムの普及支援等の予算面および政策面で主導的役割を果たす必要がある。発展途上国に対

しては現地での研究開発に ODA 予算を使うことが有効である。20 年度この制度が発足したが規模が小さい。本格的に推進すべきである。また、大学、国立研究所、民間企業等が要素、機器等の多くの技術を有する一方、システムの構築、運営管理のノウハウは多く地方自治体・公営企業体が有している。海外展開を実現するためには、研究開発からシステム設計、建設、管理までこれらの機関が連携する必要がある。世界的に事業を展開しつつある海外諸国・企業¹との競争、協力を戦略的に進める必要もある。

また、国内外を問わず、病原性ウイルスを始めとした各種微生物、水中に排出される医薬品、有害化学物質、生態系を形成する藻類の挙動、生物の温度感受性等に関するさまざまな新しい科学的知見に対応して計測、監視、除去処理技術を開発して行ける体制が必要である。

日本が国際的にリーダーシップをとるために、日本が比較的優位にある処理膜、消毒・殺菌技術、漏水防止技術、耐震設計技術、さらには降雨量・水賦存量の観測・予測技術等をベース技術として総動員すると共に、最新の科学技術成果を取り入れながら、早急に海外展開を本格化すべきである。

以上、日本がとるべき推進策を要約すると以下ようになる。

- (1) 国は、国際会議等の場を利用し、ビジョン、国際協力シナリオ等を発信すると共に、具体的な国際協力、分担の枠組み構築等でリーダーシップをとる。
- (2) 課題の明確化、地域に適した技術の研究開発、標準化、技術・システムの普及等について発展途上国との国際協力を戦略的に推進する。
 - ・ ODA 予算と科学技術予算の連携の本格的推進
 - ・ 標準化についての国際協力の強化
- (3) 研究開発段階から普及まで、民間企業、地方自治体・公営企業体、大学・独法等の研究機関が協力する。
- (4) 測定技術、安全基準等の国際標準化を推進する。
 - ・ 研究開発段階からの発展途上国との連携による先行提案と合意形成
- (5) 降雨量・水賦存量の観測・予測技術、送水、配水、利用、廃水処理、システム管理等を含めた優位技術の活用と技術の総合化を図る（とくにシステム技術を持つ地方自治体や公営企業体の参画が重要）。

¹ 海外では、最大手のベオリア・エンバイロメント社（仏）を始め、GE 社（米）、シーメンス社（独）等が企業合併等によりコングロマリット化をすすめている。また、シンガポールは、水不足に悩む国の一つであるがそれを逆手にとり、プラントの試験場を提供する等して世界の有力企業を誘致し、水産業のハブになることを国家戦略としている。

2.3.5. 目指す社会の姿への到達によって得られる効果

本シナリオの達成によって、先に述べた課題を解決することが出来る。要約すれば以下ようになる。

(1) 社会的価値

- ・ 世界及び日本における安全・安心な水の安定的提供
- ・ 汚染の防止（国際河川、海洋を含む）—農業・漁業の保全、国際紛争の防止
- ・ 森林・緑地の環境保全（水源の確保、二酸化炭素の固定、遺伝子資源の保全、土壌の保全・景観の保全）
- ・ 農業用水の提供（農業・食料の確保、食の安全確保）
- ・ 工業用水の提供（産業の活性化）
- ・ 洪水の低減、地盤沈下の防止、都市の緑化
- ・ 海外展開している企業の従業員および観光客の安全確保

(2) 経済的価値

- ・ 水関連産業・技術の発展、国際優位性の確保、海外進出
- ・ 日本主導の安全基準、環境基準の標準化、知的所有権の獲得
- ・ 農業、工業の制約緩和
- ・ 省エネ、コスト低減
- ・ 海外進出企業のリスク低減（環境、安全に関する訴訟リスク等）
- ・ バラスト水の商品化、高付加価値の「水」の輸出

2.3.6. 提言

世界の人々が安全な水を利用でき、美しい水と緑に囲まれ、健康で豊かに生活できるようにするため、我々は以下を提言する。

- (1) 各国が世界ビジョン、国際協力シナリオ等を共有し、具体的な国際協力、分担の枠組み構築等をはかるべきである。そのための協議、共同研究を行う場を設定すべきである。
- (2) それぞれの地域、国との共同研究、モデル実験を通じて、そこに適合した技術体系、システムを構築する必要がある。水質、風土、使用目的に適した浄化（汚染原因である微生物や化学物質が異なる）や下水・廃水処理（下水処理場の微生物の選択、汚泥の処理等も含む）、価格の低減、省エネ（できるだけ自然エネルギーでまかなう）等は必須である。国際協力による研究開発の枠組みの構築、現地の人材育成、科学技術レベルの向上および基礎研究について官が学・産と連携し、支援・主導すべきである。
- (3) 水処理の全てにおいて、省エネ、低コスト化が重要である。中でも革新的処理プロセスや水処理膜の抜本的改善が望まれる。学は、今一度基礎研究に立ち返りブレークスルーを目指すべきである。
- (4) 日本は、要素技術の多くを私企業・大学が有し、システム建設や運営に関する技術の多くを地方自治体・公営企業体が有している。これらの組織、研究者、技術者が連携して海外展開・国際貢献すべきである。
- (5) 既存の降水・水賦存量分布の観測・予測技術、水質検査技術を高度化すると共に、各国が協力し、各地域のデータベースと高精度の評価・予測技術を構築、標準化し、それらを水利用・治水システム構築計画の立案、提案に活用すべきである。
- (6) 内陸部に渇水で悩む国、地域が多いがその克服は容易ではない。水循環、再利用技術等の開発と共に、山林緑地の確保、地下水の探索、長距離送水や人工降雨の研究、節水型農工業の開発等の長期的技術課題に対し、官が中心になり、学・産と協力し、国際協力を得て取り組むべきである。
- (7) 水質の計測・分析技術の開発と標準化は各国が協力し推進すべきである。これについても、産・学・官の連携が不可欠である。

目指す社会の姿を実現するため、鍵となる技術と取り組むべき研究課題は、以下のとおりである。

(1) 水の偏在を是正する技術

- ・ 降水量・水賦存量・保水量の短期・長期予測精度の飛躍的向上
- ・ 利用計画に関する国際共同研究
- ・ 現状より実効性の高い人工降雨、海上運搬、送水技術の開発

(2) 水質の転換・処理技術

- ・ 省エネルギー、低コスト化の水処理、再循環システムに資する膜開発およびシステム技術の開発
- ・ 海洋温度差など自然エネルギーを利用した海水淡水化システムの開発
- ・ 生物処理と膜分離を組み合わせた膜分離活性汚泥法の高度化と処理水に適した細菌の探索
- ・ 処理水に含まれる微量の有機物や生物を鋭敏に検出する機器、キットの開発、検出データの国際標準化

(2) 自然水をコントロールする技術（治水）

- ・ 高精度気象予測システムの開発
- ・ 簡便迅速な地下水賦存量予測、数値モデル化技術の開発

俯瞰表：「安全な水の提供」の鍵となる技術

中観目	小観目 (鍵となる技術)	キーとなる技術	現状 (問題点)	技術競争力 (技術水準)								研究課題		
				科学的知識 (基礎研究)				技術の産業化						
				日	米	欧	中	韓	日	米	欧		中	韓
(1) 水の偏在を 是正する技 術	降水量、水賦存 量の評価・予測	・コンピュータ コミュニケーション システム ・気象観測シ ステム	<ul style="list-style-type: none"> 独立行政法人海洋研究開発機構が運用する地球シミュレーションは地球大気・海洋の変動などを定量的に評価・予測している。 地球全体の気象観測は世界気象機関 (WMO) の地球大気観測計画 (GARP) の一環に基づいた5つの静止軌道衛星とその他の独自の打ち上げられた静止衛星によって行われている。 予測精度を向上させ、短時間で結果を出すために、気象シミュレーション、降水量、水賦存量予測等に特化したソフトウェアの開発が十分に行われていない。 予測精度を向上させるパラメータの研究開発が不十分。 	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△	<ul style="list-style-type: none"> 降水量、水賦存量の評価・予測： <ul style="list-style-type: none"> 高性能なスパコンの開発 (専用機として利用可能時間の確保も必要) 気象シミュレーション、降水量、水賦存量等に特化したソフトウェアの開発 予測精度を向上させるパラメータの開発 貯水、送水、海上運搬： <ul style="list-style-type: none"> 貯水、送水、海上運搬：更なる省エネルギー化を進める形状開発、耐久性に優れた水ハッグの開発が必要である 人工降雨、人工降雪： <ul style="list-style-type: none"> 気象観測などと連携した統計解析、多波長ドップラー偏波レーダなどの地上リモートセンシング技術の開発。 モーターセンシング技術の開発。 研究用航空機による雲・降水の直接観測、航空機および地上からのセンサー技術の開発。 高精度・高分解能の数値気象モデル、積雪融雪流出モデル、雲生成子エンジンなどの種々の手法の開発など。
	貯水、送水、 海上運搬	・送水技術 ・海上の水輸送	<ul style="list-style-type: none"> 我が国が得意とする技術である。2重構造パイプなどができ、一部が破損しても残りのパイプも出来てきた。今後、現在使用している配管の老朽化も今後大きな問題となる。 高強度複合繊維製の水輸送用ハッグに淡水を入れて海上をタフボートで曳航する実用化へ向けた取り組みがなされている。 送水技術については修復作業によって管の強度や水質を元に戻す技術開発が必要。 さらなる低コスト化 淡水の海上輸送については、運搬方法のシステム化、水ハッグの強度と耐久性 内陸部での淡水に苦しむ中国では、積極的に活用されており、一部では降雨量が10%以上向上したとの報告もされている。 現状ではある程度の雨雲がない限り降雨はできず、完全なコントロールとまではいっていない。 土気象状況を把握し、効率的に降雨させるための予測技術や、環境負荷の少ないシーディング剤の開発が必要 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	
(2) 水 質の 転 換・ 処理 技 術	人工気象 コントロール	・人工降雨、 人工降雪	<ul style="list-style-type: none"> 高機能膜： <ul style="list-style-type: none"> 現状では、UF、RO、NFの3種類を組み合わせたものなどがある。1種類で全ての機能を果たせることができれば低コスト化が可能。また耐久性もさらなる向上が必要 低圧構膜： <ul style="list-style-type: none"> 淡水浄化に比べ海水淡水化には約10倍ものエネルギーが必要 膜分離活性汚泥法： <ul style="list-style-type: none"> 排水中の有機物は主に微生物に処理されているが、有機物は一概ではなく、個別に対応することが必要。生物処理と膜分離を組み合わせた膜分離活性汚泥法は今後の重要な技術である。 水質モニター、バイオセンサー：処理された水は、その品質を検査すべきであるが、発展途上国では必ずしも行われていない。 海外での排水環境や処理目的に対応する細菌類及びその保持技術の開発がほとんどとされていない。 微量物質や微量の微生物 (ウイルスや細菌) を迅速かつ簡便に検出するシステムがない。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> 浄化用透過膜技術 (高機能膜、低圧構膜)： <ul style="list-style-type: none"> 浄化用透過膜技術 (高純度化ではなく、更なる高機能膜 (高純度化ではなく、更なる高機能膜、安価、高耐久性を持つ組み合わせ膜) の開発。 前処理用中空糸膜の開発。 高機能逆浸透膜 (耐酸化性、木酢酸・ヒ素除去性能) の開発。 ファウリング (原水に含まれる難溶性成分などが膜に沈着して、透過流量を低下させる現象) の克服。 海水淡水化逆浸透膜汚染防止のため、の物理化学的無害化技術 二重膜に対応した有用な細菌の探索およびそれをベークースにした高機能細菌の開発、細菌を効果的に繁殖させる生物担体繊維の開発。 細菌類の探索や電子機器開発との融合等による微量の有機物や生物を鋭敏に検出する機器、キットの開発、検出データの国際標準化。 海水淡水化： <ul style="list-style-type: none"> 革新的な膜の開発を産学協同で進めるべき。 省エネルギー、低コストに資する膜開発およびシステム技術の開発。 自然エネルギー利用 産学が連携した自然エネルギー利用システムの開発。
	浄化用透過膜技 術 (高機能膜、 低圧構膜)	・高機能膜 ・低圧構膜	<ul style="list-style-type: none"> 蒸発法： <ul style="list-style-type: none"> 海に近い地域で大量の水を得るには海水淡水化が最も現実的で、湯水問題を抱える産油国を中心に、多くが建設されている。海水淡水化の中心技術のひとつであり、日本のメーカーは高いプラント建設技術を持つ。 最近では、原子力の利用や、発電と淡水化を季節によって使い分ける工夫などもされている。 膜法： <ul style="list-style-type: none"> 蒸発法に変わる技術として近年は膜を利用した淡水化プラントが多く作られている。 蒸発法： <ul style="list-style-type: none"> この方式の欠点はさらに大きなエネルギーを要することであり、省エネ技術の開発が必須である。 膜法： <ul style="list-style-type: none"> 大学等で行う基礎的な研究開発が低迷しており、産学が連携した開発がなされていない。現時点では大量のエネルギーを要し、コストが高く、効率を高める超高性能膜、低圧構膜や省エネルギー型プラント等を開発すれば、広く普及できる。 海水温度差 海水淡水化は、当然海の近くで行われるのであり、非常に魅力的な方法である。 日本はインドと共同で海水温度差による海水淡水化装置の洋上実証実験に世界で初めて成功した。 太陽光 小島における海水の淡水化や電力事情の悪い内陸部での水処理には、太陽光を使った水処理が重要である。日本には、太陽光を利用した装置を開発しているメーカーも存在する。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	
(3) 自然水をコ ントロール する技 術 (治水)	自然エネルギー 利用	・海水温度差 ・太陽光	<ul style="list-style-type: none"> 気象予測からの情報を基に、台風の進路予測や高潮発生予測は気象庁や各自治体で行われている。 コンピュータシミュレーション等については上記「降水量、水賦存量の評価・予測」に記載。 世界規模のハザードマップはない。 予測精度がまだ不十分である。 発展途上国を中心とする島国では、予測システム、警報システムの設置が遅れている。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> ハザードマップの作成 気象予報、シミュレーション、地形情報等を組み合わせたハザードマップ作成のための技術を開発し、これを発展途上国に適用する。 自治体を持つ技術者を統合・応用する。 地下水モテリリング技術の精度を向上させ、環境への影響を最小限に抑え、地域の事情に適合した井戸の設置場所、深度等を導き出すシステムの開発。 異動電現象を利用した地下水流動調査技術等を開発し地下水脈の発見するほか、安定的な地下水利用に資する技術 (定期的な状態変化をモニターする技術開発) 等を開発する。
	台風・高潮予測	・衛生による観測技術、コンピュータシミュレーション ・ハザードマップの作成	<ul style="list-style-type: none"> 灌漑施設の建設 日本では長年にわたり整備を続けているが、水害における条件が悪く、時に破綻する。 発展途上国では海外の援助によって作られる場合がある。 小型ダム 表層水の有効利用のために建設されている。 地下水の利用 アフリカ諸国では ODA 等の援助により、井戸の掘削やロープポンプ等の普及が図られている。 建設コスト等の面から十分に灌漑施設が出来ていない。 包括的な調査は行われていないもの、無計画な井戸の設置は将来的な枯渇、地盤沈下等の問題を引き起こす可能性がある。 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	

2.4	防災	2.3	安全な水の提供	2.2	環境にやさしい交通システム	2.1	自然エネルギーの有効利用	2	地球規模の問題を解決する方策	1	地球規模のイノベーション・エコシステムの構築	「5G」
-----	----	-----	---------	-----	---------------	-----	--------------	---	----------------	---	------------------------	------

2.4. 安心できる食料の安定的供給

2.4.1. 目指す社会の姿とその到達方法

食料に関する地球規模の問題は数多く山積している。従来から、貧困問題や南北問題の中心課題として、途上国における食料不足による飢餓、農業生産に伴う環境破壊等が議論されてきた。最近では、世界人口の増加とBRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）をはじめとする国々の著しい経済成長、新しいエネルギーをめぐる作物価格の高騰、頻繁に起こる干ばつや豪雨等の極端な気候変動による食料生産量の減少等、これまでにない変化の兆しが認められている。また、先進国だけでなく新興国でも食料の安全性を脅かす社会問題や健康被害等が表面化している。このように食料をめぐる新たな問題が浮上しつつあり、深刻化が懸念されている。

日本の農業がこれらの重大な問題の解決に貢献するためには、どのような方針を採るべきか。その1つとして、日本発の科学技術イノベーションによって、世界各地の消費者が安心できる食料（農畜水産物・食品）を、地球規模で生産し安定的に供給することを提案する。消費者が安心できる食料とは、安全性、機能性、嗜好性について高い付加価値を持つ食料である。日本は質の高い食料の生産と工学的な製造技術において国際的に優位に立っている。この優位性を活かし、消費者ニーズに対応した農業生産を実現し、拡大する健康被害および飢餓の阻止、環境破壊の解決に貢献する。

（目指す姿）

- (1) それぞれの国および地域のニーズや実情にあった生産基盤を技術提供側と食料生産側との国際的分担によって確立し、現地のニーズに応じた科学的知識に基づく高い付加価値を持つ食料の量的確保を実現する。
- (2) 高い付加価値を持った食料の生産に必要な研究開発、人材育成、資本投入を推進すると同時に、日本国内で培った独自の技術と運用の仕組みを、アジアや南米、アフリカの主要な食料生産地に向けて創造的に移転・輸出し、国際的な食料の付加価値向上に貢献する。
- (3) 2050年に日本の農業を自立した輸出産業に転換することを目標として、高付加価値食料の効率的増産システムを実現する。食料は農畜産物およびその加工品を含め多岐にわたるが、特に人々の主食および準主食となるコメ、さらには有機野菜等を優先して取り組む。

「高付加価値食料」、「技術移転・輸出」、「量的確保」のそれぞれについて、具体的には以下のような取り組みを推進する。

（高付加価値食料）

- (1-1) 食料の安全性、機能性、嗜好性を科学的に実現する。そのため、農学と工学との融合研究を推進するとともに、農業法人と大学・企業との有機的連携を強化する。特に、作物生産技術、品質保証技術、デザイン・イン型食料生産技術に関する研究開発をパッケージとして、既存の研究領域を超えた取り組みを推進する。
- (1-2) 付加価値向上技術を農業生産・経営に活用する。農業従事者がより積極的に消費者に対するニーズを把握し、それに対応した食料を供給する体制を構築する。
- (1-3) 産地・消費地のコーディネーターを育成する。農業従事者、消費者および技術者等専門家とのコミュニケーションを調整し、供給する食料の付加価値の詳細を設計し、適品・適所・適時・適量・適価を実現する。

（技術移転・輸出）

- (2-1) 移転・輸出する国および地域における消費者と社会がどのような付加価値を求めているのか、嗜好性も含めて的確に把握した上で、必要な高付加価値作物の生産関連技術を移転・輸出する。
- (2-2) 生産した食料を供給するためのシステムについても、輸出する国および地域の現状に応じて適切な技術開発協力を行う。
- (2-3) 日本発の技術と運用の仕組みを国際展開するため、関連技術の知財化および国際標準化を開発初期段階より積極的に進める。
- (2-4) 完全循環型生産システムを確立し、生産現場に導入する。農業生産関連資源である水・太陽光・バイオマス等を生産空間およびその周辺地域において完全に再利用して、高付加価値食料の生産を実現する。同時に、農業生産関連資源の再利用を促進する各種制度を充実させる。

（量的確保）

- (3-1) 環境に適応した高収量の作物の生産を国際的分担によって実現する。付加価値向上技術の提供側と、その技術を活用した食料の生産側に立つ国および地域が相互に協力・連携できる枠組みを構築する。それによって、付加価値向上技術の開発から生産した食料の供給までを、技術提供側と食料生産側が協力して企画し実行する。
- (3-2) 自然環境に大きく依存する農業の特徴を踏まえ、より高い付加価値を持つ食料の生産を通じて、水資源の涵養や環境保全に貢献すると共に、自然環境システムと社会経済システムの両立を実現する。そのため、技術提供側と食料生産側が連携して、農業生産に必要な自然環境を効率よく再利用する最適なシステムを、生産財の重要な基盤要素として構築する。

2.4.2. 解決すべき地球規模の問題とその理由

地球上の消費者は、国および地域を問わず、安心できる食料を求めている。この国際的なニーズに応えるために解決すべき問題として、以下の3つが挙げられる。

- (1) 農業生産における消費者ニーズへの不十分な対応
- (2) 科学的知識に基づく食料とその生産不足による健康被害および飢餓拡大
- (3) 食料生産に伴う水資源不足、地力低下および環境破壊

(1) 農業生産における消費者ニーズへの不十分な対応

消費者が食料に求める付加価値は、安全性、機能性、嗜好性の3つである。これらに対する様々な消費者ニーズを、現在の農業生産が十分に満たしているとは言い難い。

実際、食料の付加価値に関する問題は社会的に顕在している。近年における牛海綿状脳症や人畜共通感染症の国際的な流行を背景に、欧州やアジア等において安全な食料を求める消費者が増加している。特に日本では、食品表示偽装事件が後を絶たず、信頼できる食料を切実に望む声が高まっている。また、健康志向の高まりを受けて、先進諸国を中心に機能性食料への注目が高まっている。さらに、よりおいしい食料を求める消費者が途上国を含む世界各地の富裕層を中心に増加している。

その一方で、食料のブランド価値が国際的に評価されている。特に日本については、東アジアにおいて高額な農産物の売り上げが数量・金額共に上昇している。中国では日本産のコメが贈答品として人気が高い。また、香港や台湾では日本の農産物への信頼が高く、富裕層を中心とした市場が形成されている。このような現状を背景に、日本では農政の転換が進められている。消費者の重視と新たなイノベーションによって、農業の構造改革が図られているところである。

以上のような世界的潮流を鑑みて、より高い付加価値を持つ食料に対するニーズに農業は応えるべきである。農業従事者のみならず、食料としての生産・流通・消費に関わるすべての人々が一体となって、この問題に取り組まねばならない。

(2) 科学的知識に基づく食料とその生産不足による健康被害および飢餓拡大

現在の農業においては、科学的知識に基づく生産が不十分である。勘と経験のみに頼った化学農薬・肥料の多用は健康被害を引き起こし、単位面積あたりの増収に結びつかず、ひいては飢餓拡大の一因となっている。

国際的には、世界の食料需要が、途上国を中心とした人口増加や所得向

上により、増大するとみられる。しかし、頻繁に起こる干ばつや豪雨等の極端な気候変動によって食料生産量が減少している。また、作物については、エネルギー利用が進み、食料としての確保が重要課題となっている。特に、昨今の石油価格の高騰に伴い、トウモロコシを燃料としたバイオ燃料の生産・利用が拡大し、食料としての供給量や価格に大きな影響を及ぼしている。

さらに、先進諸国においては、近年ダイエット食品等による死者が続出し、社会問題となりつつある。このような被害の拡大は、不十分な臨床試験による認可制度と機能成分の有効性や安全性の評価精度の甘さによるものである。

このような現状から、付加価値の高い食料を科学的知識に基づいて地球規模で増産する体制を早急に構築しなければならない。中国やインドのような大きな人口を抱える国において、今後所得向上に伴い生活水準が上昇することによって、より安全でおいしく健康によい食料を求める消費者は急激に増加する。そのニーズに質だけでなく量的にも対応することが、食料の安全保障の上でも重要である。

質と量に関わる問題を一度に解決することは難しい。しかし、一国だけでなく地域および地球規模での協力・連携によって、解決に近づくことができる。まずは、科学的に評価された付加価値を持つ食料を増産し、消費者からの真の信頼を獲得しなければならない。様々な付加価値向上技術を創出し、消費者のニーズに応えるよう育成することが必要である。このような食料生産のイノベーションを通じて、困難な経験を地球規模で蓄積することによって、必要かつ有効な技術が国際的に普及し、より高い付加価値を持つ食料の量的確保が実現できると考えられる。

(3) 食料生産に伴う水資源不足、地力低下および環境破壊

農業生産には多量の水を必要とすることから、世界の穀倉地帯では近い将来、深刻な水不足になることが懸念されている。特に米国においては、灌漑用水のほとんどを地下水に依存しているため、その枯渇による急激な生産量の低下が露見しつつある。また、様々な資材やエネルギーを投じる従来型農業による土壌流亡、地力の低下および環境破壊も深刻な問題となっている。現在の農業は、農薬や肥料等の農業資材、温室栽培や乾燥貯蔵等の施設やその維持管理、包装や食品加工に関わる廃材処理等、多量の化石燃料が使用されている。さらに、病害虫の駆除に用いる化学農薬の大量散布によって、土壌中のみならず河川や海洋の生態系が大きく変化している地域もある。

このような問題を解決するためには、従来の画一的で慣習的な栽培方法

から、事実に基づいて現実を直視し、その土地ごとに見合った低環境負荷型の生産システムに変換する必要がある。生育環境ごとに土壌や気候条件等の情報を正確にモニタリングし、この解析に基づいた精密な栽培方法を確立しなければならない。また、作物そのものに最低限の水や栄養素で最高の収量を上げるような作物を遺伝子組換えや育種技術によって作出することも重要である。遺伝子解析が出発点となるため、開発に至るまでである一定の期間を要するが、育種された後のインパクトは計り知れない。

食料は消費者の生活を支える必須のものであり、またその生産は自然環境に大きく依存している。国際的な水資源の確保や環境保全に貢献するためには、消費者およびその土地で生活する人々の意見を踏まえて、現地のニーズに応じた高い付加価値を持つ食料生産の実現に向けた研究開発を推進し、生産システムを構築していくことが必要である。

2.4.3. 目指す社会の姿への到達のための技術パッケージ

前節にあげた問題を解決し目指す姿へ到達するため、以下の3つに関連する技術をパッケージとした研究開発を推進すべきである。

- ・ 作物生産技術
- ・ 品質保証技術
- ・ デザイン・イン型食料生産技術

2.4.3.1 作物生産技術

(1) 栽培・管理

農業における次世代の栽培・管理技術には、単位面積あたりの作物の生産性向上と栽培に伴う環境負荷低減の両立が求められる。特に後者は、不良土壌の拡大や水資源の枯渇等が世界各地で進行しており、喫緊に取り組むべき課題である。

これらの技術を確立するため、従来の農法にセンサ技術、情報通信技術、ロボット技術等、工学分野の先端技術を導入し全く新しい栽培・管理システムを構築する。例えば、作物の収量を最大限高めるため、圃場内の狭小地域における土壌や気候等の生育要因について詳細なモニタリングを行い、これに基づいた最適な散水、施肥および防除による合理的な生産システム開発を行う。

工学で培われた先端技術を高度に活用した生産システムの開発は、世界各国で本格的に着手をはじめたところであり、このような研究開発の推進は農学と工学の融合により行われている。日本は、センサやロボット等の技術開発が強みであることから、早急に農工融合研究を推進し、世界を先導する栽培・管理技術を確立すべきである。

① 技術の発展段階での位置づけ：

栽培・管理に関する研究開発は、既知の生育要因をモニタリングする研究と、モニタリングした結果を解析する技術開発の2つがある。前者に関する研究開発については、既存のセンサ技術等の高度化に主眼がおかれるため、「技術デモ・プロトタイプ」の段階に該当する。一方、後者については、土壌における植物や微生物、その他生育関連因子との複雑な相互作用の解析が中心となるため、科学的な知識の蓄積のための基礎研究が中心となる。

② 日本の現状：

- ・ センサ、情報通信、制御技術等の基盤技術に強みを持つ。特に土壌のセンシング技術や、地形や標高等を考慮した詳細な気象データの取得技術、果実のロボットによる選別技術については多くの画期的な成果

を生み出している。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 土壌モニタリングについては米国が、農業関連ロボットについては、オランダがそれぞれ日本を追随している。

④ 問題点

- ・ 作物の生育に影響を及ぼす多数因子の効果とそれに基づいたモデル系の構築が行われていない。
- ・ 圃場内のあらゆる地点におけるきめ細かな農法が確立されていない。
- ・ センサ、情報通信、制御技術等の基盤技術の農業分野への調和的な導入が遅れている。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ 土壌・作物・大気間の媒介因子の複雑系解析
- ・ 作物生育関連因子の高度センシング技術の創出
- ・ 圃場情報に基づいた統合的栽培管理システムの構築

(2) ゲノム育種

ゲノム育種とは、多収や良味等の作物の創出を目的に、交雑により有用形質の選抜を行う技術である。近年、植物ゲノムの解読と交雑技術の向上により、偶然の発見に依存し長期間を要した作物育種が、その有用形質を必然として操作し短期間で品種改良ができるゲノム育種へと進化を遂げた。本技術は、同系統の品種間の交配による有用遺伝子の選抜を基本としている。そのため、作出された作物は、外来遺伝子を人為的に導入する組換え技術に比べ社会受容性が高く、懸念となっている生態系への影響も少なく、高付加価値作物の増産においては将来重要なツールとなりうる。

品種間のゲノム情報を比較することにより、多収や耐病、耐冷、耐乾等に関する遺伝子探索を行う。そして、これらのゲノム上の位置から最終的な形質に関わる遺伝子群（QTL）の挙動を解析しゲノム育種のための基盤を構築する。また、雑種強勢等の遠縁同士の交配により遺伝形質が強化される仕組みを解明し、これに基づいた新しい育種技術を確立を試みる。

日本の戦略としては品種の選定が重要となるが、我が国はイネゲノムに関する成果の蓄積が他国に比べ先進的であることから、イネ科を中心とした作物の研究展開が有効である。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ ゲノム育種は、有用遺伝子の探索や解析に基づき新しい品種改良技術を創成することから、科学的な知識の蓄積のための研究開発から「概念の証明」に至る段階が該当する。

② 日本の現状：

- ・ 我が国は多収性イネの開発に強みを持ち有用形質に関する多くの特許を取得している。
- ・ オオムギについては、その高密度遺伝子地図を世界に先駆けて作成し、ムギ類におけるゲノム解析の基盤を構築している。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ モンサント社など多国籍企業が主要作物の育種技術を開発する一方で、農務省所管の研究機関が次世代の基盤技術の構築を着実に進めている。
- ・ 欧州においては、シンジェンタ社等が多くの育種技術を開発し、欧州の基礎研究をも牽引している。

④ 問題点

- ・ 病害虫等に対する耐病性作物の開発は精力的に進められているが、耐冷性・耐塩性・耐乾性等、環境適応型の作物については開発途上である。
- ・ 多収性に関する多くの形質が見出され、研究室レベルでは多くの作物の栽培に成功しているが、実際の圃場での展開が遅れている。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ イネ科の雑穀等に潜在する環境ストレス耐性遺伝子の解析
- ・ イネを中心としたイネ科植物の QTL（量的形質座位）解析
- ・ 雑種強勢機構の解明と育種技術への応用

(3) 遺伝子組換え

遺伝子組換え技術は、本来その植物に備わっていない形質をウイルス等のベクターを用いて導入する技術で、高付加価値作物の作出において重要な技術である。

現在、米国においては、単一の遺伝子を導入する技術により、除草剤耐性や病害虫耐性が付与された作物が開発され、作物によっては作付面積の80%を占めるものも存在している。しかしながら現在上市に至った作物は主要作物の一部に過ぎず、またその作物は生産者側の利点に立脚した栽培が容易な作物でしかない。

将来、多様な作物の価値を高めその増産を実現するために、あらゆる作物に対し、多数の有用遺伝子をゲノム上の任意の位置に同時に導入する技術を確立する。これらの技術が確立されれば、消費者側の視点にたった有用作物、例えば医薬品代替作物などが作出され、従来の技術と組み合わせることにより高付加価値作物を世界中のあらゆる地域で栽培することが可能となる。

① 技術の発展段階での位置づけ：

遺伝子組換え技術は、これまでに蓄積されたライフサイエンスの知見を活用し、新規組換えコンセプトを確立するため、「概念の証明」の段階に該当する。

② 日本の現状：

- ・ イネに関する組換え技術について我が国は多くの特許を取得している。
- ・ シロイヌナズナ等のモデル植物の基礎研究が高いレベルにあり、これらの成果を主要作物へ展開する動きがある。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 米国が、大豆、ワタ、トウモロコシ等の主要作物の組換え技術については、独壇場にある。
- ・ 欧州では、作物メジャー企業が中心となり主要作物の組換え技術の開発を行っている。

④ 問題点

- ・ 薬剤耐性遺伝子を除去したマーカーフリー遺伝子導入技術や、複数の遺伝子を同じに導入出来る多重遺伝子導入技術の開発が遅れている。
- ・ ゲノム上の任意の部位に遺伝子を挿入する相同組換え技術について未だに有効な方法が確立されていない。
- ・ 植物種によっては組換え効率に大きな差があり、主要作物においても十分に組換えができない種が多い。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ イネのマーカーフリー遺伝子導入技術の開発
- ・ イネ科作物（ムギ類、トウモロコシ等）への多重遺伝子導入技術の開発

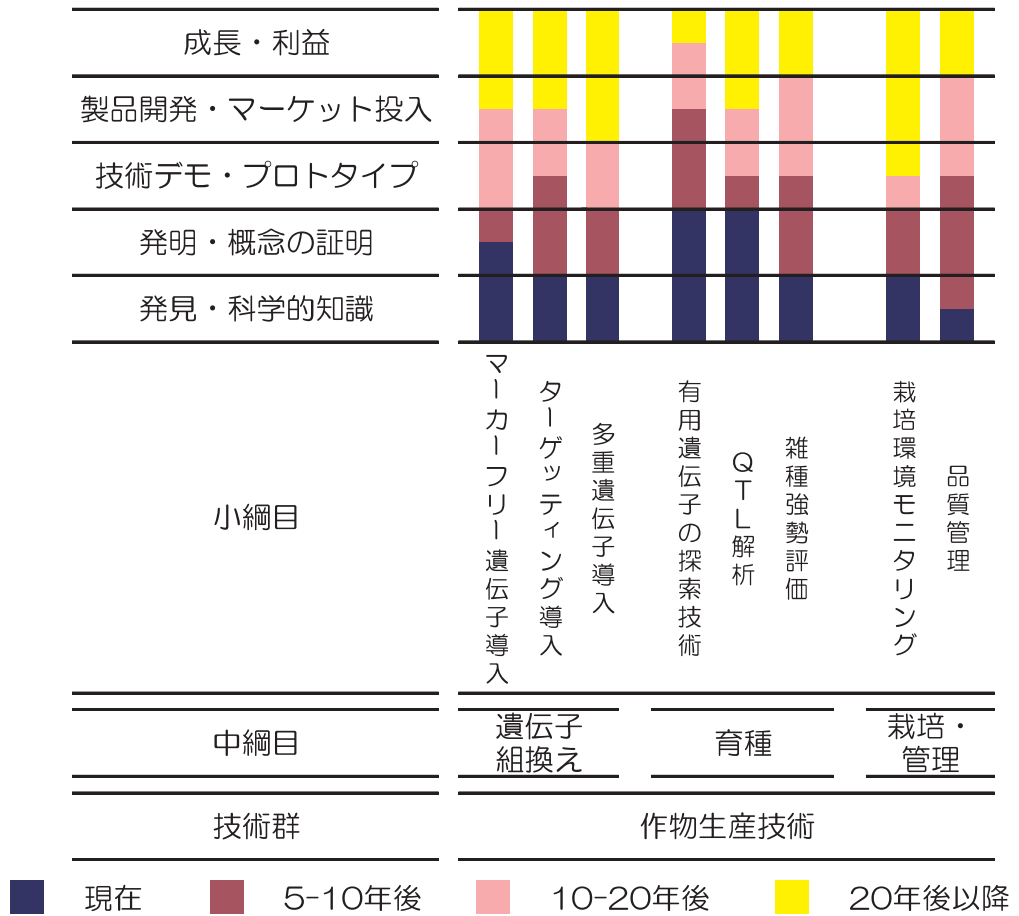


図 2.4.1 作物生産に関して鍵となる技術の発展段階の予測.

2.4.3.2 品質保証技術

(1) 機能性評価技術

体調および体質改善、生活習慣病予防等、作物は人類の健康増進や維持に様々な影響を及ぼしている。しかしながら、これら作物の多様な機能を科学的に証明した例は極めて少ない。そのため、将来の高付加価値作物の海外展開をにらみ、科学的根拠に基づいた作物成分の機能性評価技術を確立する。

現在、我が国における食品等の機能性評価は、限られた数のモデル動物を対象とした比較的短期間の摂取試験により行われている。ヒトに対する有効性については十分な検証が行われていないのが現状である。このため、機能性作物に最大限の価値を付与するべく、含有する機能成分のヒト体内での動態を詳細に解析し、作用機序を分子レベルで同定する技術開発を行う。また、摂取した作物の人体への影響をマイクロチップやインフォマティックスの手法を用いて遺伝子レベルで解析し、個体レベルでの有効性に科学的な根拠を付与する。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 機能成分の生体内での動態解析と作用因子の同定については、フードケミカルバイオロジーの概念が確立したばかりで、極めて基礎的な研究と位置づけられる。
- ・ マイクロチップ等を利用した個体レベルでの評価については、すでに医薬品等で同様の基盤が確立されつつあることから「概念の証明」の段階が該当する。

② 日本の現状：

- ・ 我が国ではニュートリゲノミクスの手法を用いた個体レベルの機能評価研究が小規模ながら行われている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 欧州では FP7 において食品の機能性評価に関する研究開発が重点化された。

④ 問題点

- ・ 多くの機能成分の体内動態や作用機序が解明されていない。
- ・ 単一成分がヒトの遺伝子発現に及ぼす影響を解析する研究が中心で、表現型との相関解析がなされていない。
- ・ 作物の機能は長期で弱いものがほとんどであるが、これらを定量的に評価する方法がない。

⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：

- ・ 作物成分と生体との相互作用情報の解析と統合的処理技術の開発

- ・ 作物の摂食・消化・吸収・代謝等のプロセスのモジュール化（ヒト消化管モデルの開発）

(2) 安全性評価技術

高付加価値作物は、その作出にあたり遺伝子組換え技術を用いる場合が多い。そのため、これらの作物については、科学的知見に基づいた厳格な安全性の評価技術を確立する必要がある。

このためにまず、有用形質導入時に用いるウイルス等の組換えベクターの作物個体内での動態や影響を詳細に解析する。次に摂取後の病原性やアレルギー誘発性等について長期にわたる疫学的調査を行い、これらの結果を総合し、組換え作物の安全性評価技術を確立する。

また、従来から指摘のある栽培時および収穫後に直面する有害因子（残留農薬、有害化学物質、細菌・ウイルス等）の存在も食の安全性の観点からは見逃すことができない。特に、作物がいったん流通されると、店頭で陳列されるまでの安全性に関する情報を消費者は知りうる術がない。よって、微量な有害因子をリアルタイムに検出しそのデータを管理する技術の開発を行う。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 組換え作物に用いる外来遺伝子等の動態解析に関する研究開発は、科学的な知見を得る基礎研究のレベルにある。
- ・ 微量成分の高度センシング技術は、既存の技術の改変が主な研究開発となるため、「概念の証明」から「プロトタイプ」の段階に位置づけられる。

② 日本の現状：

- ・ 食品のトレーサビリティシステムシステムの開発・実証・実施が農水省を中心に推進されている。
- ・ 科学的判別、食品のリスク評価に関する基礎研究・技術開発が大学・農水省を中心とした公的機関で行われている。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 欧州では FP7 において食品の安全性評価に関する研究開発が重点化された。

④ 問題点

- ・ 組換え作物の安全性が科学的に証明されていない。また、組換え作物に対して消費者の根強い不信感がある。
- ・ 食品中の微量有害物質を高感度でリアルタイムに検出できるシステムが確立されていない。

- ⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：
- ・ 組換え遺伝子等（ベクターも含む）の作物内およびヒト体内での動態解析
 - ・ ベクター等の残存遺伝子の個体内での動態と発現量の定量的な把握と人体に及ぼす影響との相関解析
 - ・ 有害分子等を高感度で簡便に検出するデバイスの開発

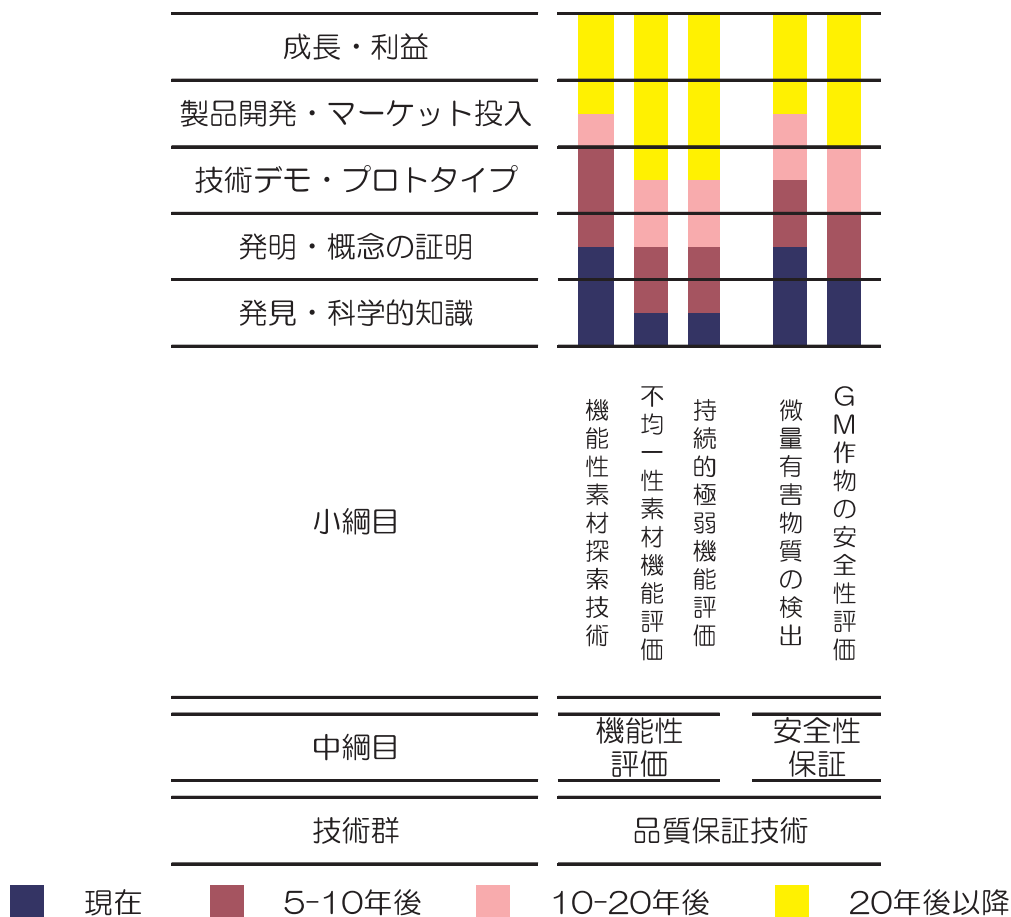


図 2.4.2. 品質保証に関して鍵となる技術の発展段階の予測.

はじめに

1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2 地球規模の問題を解決する方策

2.1 自然エネルギーの有効利用

2.2 環境低負荷な交通システムの実現

2.3 安全な水の提供

2.4 安心できる食料の安定的提供

2.4.3.3 デザイン・イン型食料生産技術

「デザイン・イン型食料生産技術」とは、消費者ニーズを生産の段階から取り入れることにより、新たな食のマーケットを開拓し農業のあり方を根本的に変える技術である。農業情報収集・管理技術と工程管理技術を高度に活用して、消費者ニーズを充足させた高付加価値作物を生産する。

農業情報収集・管理技術については、その土地の環境や文化、時代も考慮して計画生産を行うシステム開発を行う。農業従事者と技術者等専門家が協力して、消費者ニーズを収集・分析し生産現場にフィードバックするシステムを確立する。

工程管理技術については、従来にある生産履歴の記録技術だけでなく、出荷方法、流通経路等も含めたサプライチェーン総合管理技術を構築する。そのため、IT、センサ、シミュレーション等の技術開発、保存・鮮度維持・輸送技術も含めた様々な技術を包含して、生産から消費までの工程を適切に管理する。

① 技術の発展段階での位置づけ：

- ・ 農業情報システムは各国および地域に適したシステムの構築が進められている。特に、環境保全とイノベーションを重視する世界的潮流の中で、新たな農業情報システムのあり方が模索されている。そのため、「概念の証明」の段階に相当する。
- ・ 工程管理手法は現在、生産現場への導入が国際的に進められており、消費者の信頼を獲得できるよりよい手法の開発や妥当性の判断等が検討されている。そのため、「概念の証明」の段階に相当する。

② 日本の現状：

- ・ 工程管理手法については、GAP（適正農業規範）、食品製造段階でのGMP（適正製造規範）およびGDP（適正流通規範）の導入・推進を農水省やNPOが促進している。
- ・ 生産段階の情報システムの開発については、産学が連携して地図情報、生育環境要因、市況情報、業務管理等を含む統合的システムの構築が進められている。ただし、コスト負担についての議論は緒についた段階である。

③ 欧米アジア等の現状：

- ・ 食料の生産・加工・包装等に対してナノテクノロジーを用いようとするナノフードに関する研究開発は、米国がリードしている。
- ・ 工程管理手法の策定と遵守については、欧州がリードしている。特にGAPに関して国際的に先行している。
- ・ 農業への情報システムの導入は米国が先駆的であり、広大な土地にお

ける効率的な生産管理がIT技術を駆使して行われている。欧州では環境保全型農業を志向した研究開発が進んでいる。

- ④ 問題点
 - ・ 情報システムの生産現場への導入は農業が森林・水産に先行しているが、普及が限定的である。
 - ・ 農家個人の知識の共有が進んでいない。また生産と流通との協力・連携が必ずしも十分ではない。
- ⑤ 日本が取り組むべき研究開発課題：
 - ・ 生産者・消費者ニーズに対応した生産システムを構成するための技術システムを評価し水準維持を図るための手法の確立
 - ・ 水・太陽光・バイオマス等の完全に循環させる生産システムの構築
 - ・ 生産と需要の計画・調整に基づく取引の推進
 - ・ 産地と消費者の情報共有と生産から消費までの工程を管理するシステム開発

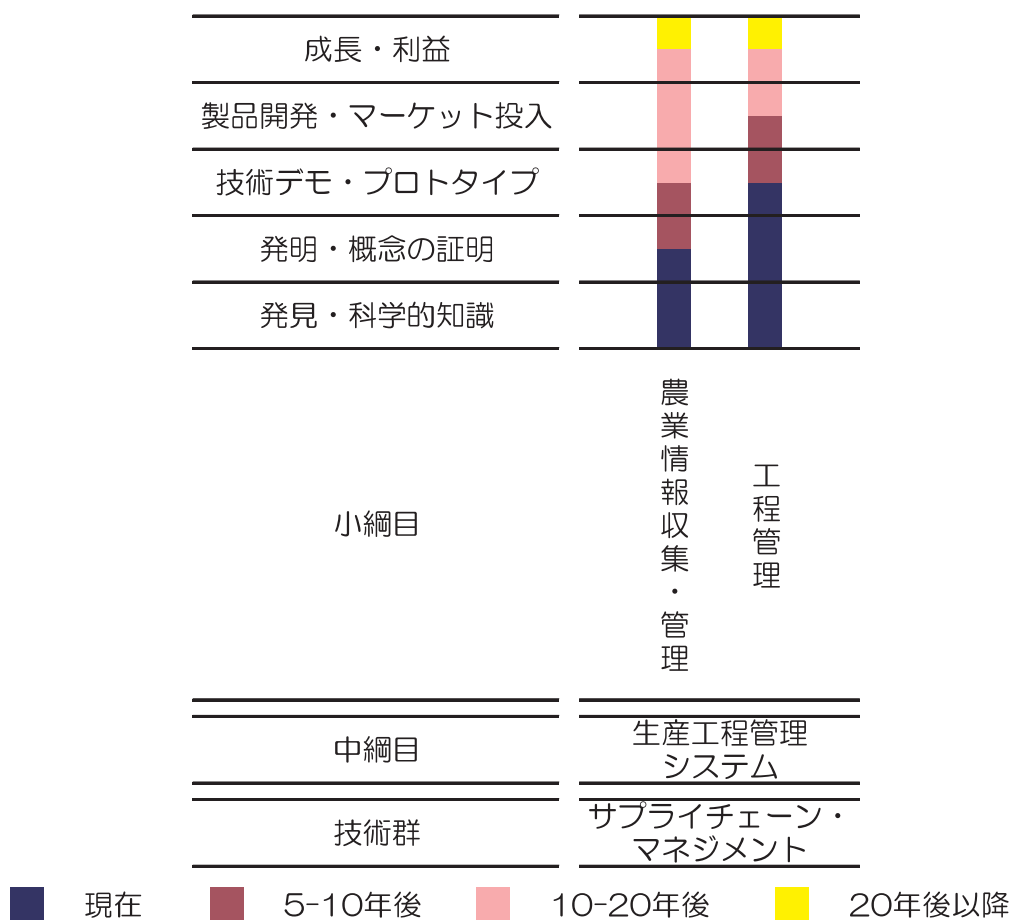


図 2.4.3. デザイン・イン型食料生産技術の鍵となる技術の発展段階の予測。

はじめに

1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築

2 地球規模の問題を解決する方策

2.1 自然エネルギーの有効利用

2.2 環境低負荷な交通システムの実現

2.3 安全な水の提供

2.4 安心できる食料の安定提供

2.4.4. 目指す社会の姿への到達に必要な国際的枠組み

消費者が安心できる食料の科学的知識に基づく生産とその量的確保を地球規模で実現するため、以下の5つに取り組む枠組みが必要である。そして、それぞれに対して、国および民間がそれぞれの役割を果たし、具体的な国際協力を推進すべきである。

- (1) 農学と工学との融合研究の推進
- (2) 産地・消費地のコーディネーターの育成
- (3) 農業生産者・法人と大学および企業との有機的連携の強化
- (4) 高付加価値作物の生産関連技術の知財化および国際標準化
- (5) 農業生産関連資源の再利用促進制度の拡充

(1) 農学と工学との融合研究の推進

消費者ニーズに応じた高付加価値食料の科学的知識に基づく生産を実現するには、必要に応じて従来型の農法や営農を抜本的に変えなければならない。これがイノベーションとそれを創出するための融合研究が求められる所以である。

特に、農学、工学、計算科学等の異分野を結集させた研究が必須となる。例えば、作物の人為的な改変においては、植物ゲノムの膨大な情報活用が出発点となることが多い。このため、農学・生物学と情報科学との協力が望まれる。このことは、栽培・管理における土壌や気候条件等の生育要因の分析においても同様である。また、これらの分析結果をモデル化した栽培管理および経済性評価用のソフトウェアや、それらを動かす装置や農業機械等の開発に関しては、ロボティクス等の工学分野に精通した研究者の要請も必要である。

- ・ 国の役割：農学、工学、計算科学等の異分野を結集させた研究体制の構築とそれに必要な人材・設備・資金面の支援
- ・ 民間の役割：融合研究への積極的な参加とその成果の活用
- ・ 国際協力：融合分野における国際共同研究の推進と人材の国際交流の促進

(2) 産地・消費地のコーディネーターの育成

付加価値の高い食料に対する消費者ニーズに的確に応じるには、産地と消費地それぞれにおいて付加価値に対する具体的仕様を作成し、それを実現するための方策を企画することが必要である。このような任務を担うコーディネーターの育成が求められる。

産地コーディネーターは生産者および法人の生産条件を把握し、生産計画と出荷計画を策定する能力が求められる。また、消費地コーディネーター

は販売者および消費者が求める付加価値を把握し、商品としての量や時期等を企画する能力が必要である。そして、両者が共同で販売計画を作成し、計画実行上発生する問題を解決することが、高付加価値食料の適正な流通および供給には不可欠である。

- ・ 国の役割：産地・消費地コーディネーターの育成プログラムの策定
- ・ 民間の役割：産地・消費地コーディネーターの活躍の場の提供
- ・ 国際協力：産地・消費地コーディネーターの国際ネットワーク形成による、世界各地における嗜好性も含めた消費者ニーズへの対応

(3) 農業生産者・法人と大学および企業との有機的連携の強化

食料生産のイノベーションを創出するためには、農業生産者・法人、大学および企業が相互に連携しなければならない。国内だけでなく地域的にまた国際的に、人材や資金等の多様なネットワークを構築することが重要である。

組織の枠を超えた有機的連携を強化し、高付加価値食料の生産および増産に関する科学的知識を構築し、関連技術を開発すべきである。また、世界各地の消費者ニーズを満たす付加価値の高い食料をデザインし、その生産・流通・供給を実現するトータルシステムを構築するため、様々な人材が国際的に連携しなければならない。さらに、各地域の実情に応じた営農のビジョンと指標の作成も必要である。

- ・ 国の役割：多様な有機的連携を促進する適切な人材・設備・資金環境の構築
- ・ 民間の役割：有機的連携への自主的な取り組みとその成果を活用した新たなビジネスモデルの構築
- ・ 国際協力：国際営農コンソーシアムによる世界各地に最適な生産システムの構築および営農ビジョンとその指標の作成

(4) 高付加価値作物の生産関連技術の知財化および国際標準化

高付加価値作物を地球規模で生産するためには、関連技術を国際的に普及し共有することが重要である。そのためには、知財化および国際標準化が必要である。

それによって、高付加価値作物の生産に対するインセンティブが向上する。知財化した技術は強力な農業経営資源として、農業生産者・法人の生産活動を活性化する。また、技術の国際標準化は地球規模で生産を展開する上で有利に働く。

- ・ 国の役割：知財化および国際標準化を促進する制度の整備と民間への支援

- ・ 民間の役割：知財化および国際標準化を含めた国際的な技術戦略の策定
- ・ 国際協力：知財化および国際標準化された技術の適切かつ有効な流通の促進

(5) 農業生産関連資源の再利用促進制度の拡充

農業生産は水・太陽光・バイオマス・土壌等の自然資源に大きく依存している。そのため、環境保全技術と栽培管理技術を組み合わせたトータルシステムの確立が期待される。その実現に向けて、既存の資源循環に対する取り組みをさらに促進するため、各種制度の充実が必要である。

- ・ 国の役割：各地方自治体に対する廃棄物焼却費用の適正化、再資源化製品の利用促進、各種許認可の規制緩和
- ・ 民間の役割：補助制度の積極的活用と再利用の自主的促進
- ・ 国際協力：再利用促進のための国際資源循環システムの構築

2.4.5. 目指す社会の姿への到達によって得られる効果

世界各地の消費者が安心できる食料の生産とその量的確保によって、以下の社会的価値および経済的価値が得られる。

(1) 社会的価値

安心できる食料の安定的供給によって、健康寿命が延伸される。科学的知識に基づいた高付加価値化技術の向上によって医薬品代替作物が創成され、日常の食事から体調改善や疾病等の予防を行うことができるようになる。

また、世界各地の環境に応じた食料生産システムが構築されることによって、国際的な水資源の確保および環境保全が実現される。完全循環型生産システムが確立され、農業の自然循環機能によって国土や環境が持続的に保全されるようになる。

さらに、消費者が求める付加価値が科学的知識に基づいて評価され、適時に適量が供給されるようになる。その結果、高付加価値食料に対する消費者の信頼が確保される。

(2) 経済的価値

科学技術イノベーションに支えられた食料生産が実現し、国際的な食料の付加価値が向上する。食料の付加価値が国際的に評価され、生産関連技術の特許や食料のブランド等、無形資産の価値が向上する。

このような食料の付加価値向上によって、新たな利潤が創出される。高付加価値食料の市場が拡大し、利潤獲得によって関連産業を中心に確実な成長が達成できる。さらに、高付加価値食料に関する新たなビジネスが確立される。それに伴い、その生産・流通・小売に関わる様々な雇用が確保される。また、消費者と生産者とのコミュニケーションが向上する。

以上の変革が進むことによって、日本の農業の産業構造の改革が実現する。科学的知識に基づく高付加価値食料とその生産関連技術を輸出する産業として、日本の農業が地球規模での高付加価値食料の生産と量的確保に貢献できるようになる。

2.4.6. 提言

以上のことから、食料をめぐる様々な地球規模の問題の解決に日本の農業が貢献するために、日本発の科学技術イノベーションによって、世界各地の消費者が安心できる食料を、地球規模で生産し安定的に供給することを提言する。

- (1) それぞれの国および地域のニーズや実情にあった生産基盤を技術提供側と食料生産側との国際的分担によって確立し、現地のニーズに応じた科学的知識に基づく高い付加価値を持つ食料の量的確保を実現する。
- (2) 高い付加価値を持った食料の生産に必要な研究開発、人材育成、資本投入を推進すると同時に、日本国内で培った独自の技術と運用の仕組みを、アジアや南米、アフリカの主要な食料生産地に向けて創造的に移転・輸出し、国際的な食料の付加価値向上に貢献する。
- (3) 2050年に日本の農業を自立した輸出産業に転換することを目標として、高付加価値食料の効率的増産システムを実現する。食料は農畜産物およびその加工品を含め多岐にわたるが、特に人々の主食および準主食となるコメ、さらには有機野菜等を優先して取り組む。

「高付加価値食料」、「技術移転・輸出」、「量的確保」のそれぞれについて、具体的には以下のような取り組みを推進する。

(高付加価値食料)

- (1-1) 食料の安全性、機能性、良味・嗜好性を科学的に実現する。そのため、農学と工学との融合研究を推進するとともに、農業法人と大学・企業との有機的連携を強化する。
- (1-2) 付加価値向上技術を農業生産・経営に活用する。
- (1-3) 産地・消費地のコーディネーターを育成する。

(技術移転・輸出)

- (2-1) 移転・輸出する国および地域における消費者と社会がどのような付加価値を求めているのか、嗜好性も含めて的確に把握した上で、必要な高付加価値作物の生産関連技術を移転・輸出する。
- (2-2) 生産した食料を供給するためのシステムについても、輸出する国および地域の現状に応じて適切な技術協力を行う。
- (2-3) 日本発の技術と運用の仕組みを国際展開するため、関連技術の知財化および国際標準化を開発初期段階より積極的に進める。

(2-4) 完全循環型生産システムを確立し、生産現場に導入する。同時に、農業生産関連資源の再利用を促進する各種制度を充実させる。

(量的確保)

(3-1) 環境に適応した高収量の作物の生産を国際的分担によって実現する。

(3-2) 自然環境に大きく依存する農業の特徴を踏まえて、より高い付加価値を持つ食料の生産を通じて、水資源の涵養や環境保全にも貢献するとともに、自然環境システムと社会経済システムの両立を実現する。

目指す社会の姿を実現するため、鍵となる技術と取り組むべき研究課題は、以下のとおりである。

(1) 作物生産技術

(1-1) 栽培・管理

- ・ センサ技術、情報通信技術、ロボット技術等の先端技術を導入した新しい栽培・管理システムの構築
- ・ 作物の生育に影響を及ぼす要因の場所ごとのモニタリング情報に基づいた合理的な生産方法の構築

(1-2) ゲノム育種

- ・ イネを中心とした作物の高付加価値化のための QTL（量的形質座位）解析
- ・ 高付加価値作物の増産のための潜在する環境ストレス耐性遺伝子および QTL（量的形質座位）解析
- ・ 雑種強勢機構の解明に基づく高付加価値作物育種技術の開発

(1-3) 遺伝子組換え

- ・ イネを中心とした作物の高付加価値化および増産のための、マーカーフリー遺伝子導入技術および多重遺伝子導入技術の開発

(2) 品質保証技術

(2-1) 機能性評価技術

- ・ 作物と生体との相互作用情報の解析と統合的処理技術の開発
- ・ 作物の摂食・消化・吸収・代謝等のプロセスのモジュール化（ヒト消化管モデルの開発）による機能成分の作用機序の解明

(2-2) 安全性評価技術

- ・ 組換え遺伝子等（ベクターも含む）の作物内およびヒト体内での動態解析

- ・ ベクター等の残存遺伝子の個体内での動態と発現量の定量的な把握と人体に及ぼす影響との相関解析
- ・ 有害分子等を高感度で簡便に検出するデバイスの開発

(3) デザイン・イン型食料生産技術

- ・ 生産者・消費者ニーズに対応した生産システムを構成するための技術システムを評価し水準維持を図るための手法確立
- ・ 水・太陽光・バイオマス等の完全に循環させる生産システムの構築
- ・ 生産と需要の計画・調整に基づく取引の推進
- ・ 産地と消費者の情報共有と生産から消費までの工程を管理するシステム開発

参考文献

- [1] 澁澤栄, 精密農業, 朝倉書店, 2006年.
- [2] 紅林利彦, IT技術・化学工学を用いた作物生産力の増強と循環型社会の構築, JST 研究開発戦略センター「農学と工学の融合」研究ワークショップ, 2005年9月.
- [3] 田上隆一. 食の安全を支える GAP とトレーサビリティにおける情報管理. 東京大学 AGRI-COCOON 農学における情報利用研究フォーラムグループ勉強会. 2006年11月.
- [4] 農林水産省. 食料をめぐる国際情勢とその将来に関する分析—国際食料問題研究会報告書—. 2007年11月.

俯瞰表：「安心できる食料の安定的供給」の鍵となる技術

技術群	中細目 (鍵となる技術)	小細目	現状 (問題点)	技術競争力 (技術水準)										研究課題	
				科学的知識 (基礎研究)					技術の産業化						
				日	米	欧	中	韓	日	米	欧	中	韓		
作物生産技術	遺伝子組換え	<ul style="list-style-type: none"> マーカーフリー遺伝子導入 タグゲティンク導入 多重遺伝子導入 	<ul style="list-style-type: none"> 米国を中心に組換え作物の作付け面積が拡大基調にあり、今後更なる増大が見込まれている。 主要作物の形質転換技術の関連特許の多くは欧州のメジャー企業が保有している。 我が国は当該分野における研究レベルは欧米並みである。しかしながら、特許戦略を含め、応用展開への発展力は決して高いとは言えない。 <p>(問題点)</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数の重要形質に關係する遺伝子を同時に導入することができない。 ゲノム上の任意の場所に目的の遺伝子を挿入することができない。 マーカーフリー等の人体に安全なベクター開発が十分行われていない。 植物種によって遺伝子組換え効率の差が大きい。 	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△	<ul style="list-style-type: none"> ○次世代遺伝子組換え基盤技術 ・イネ科作物のマーカーフリー遺伝子導入技術の確立 ・同作物の多重遺伝子導入技術の開発 ○同作物の代謝制御技術の確立 ・耐ストレス環境作物の作出 ・雑穀等に潜在する環境ストレス耐性遺伝子の解析 ・耐乾燥性遺伝子の導入等による新規ストレス耐性作物の作出 ○新規良味作物の作出に資する基盤研究 ・種子内糖質代謝ネットワークの解明 ・可視化による栄養素の転流および蓄積機構の解明 ○精密栽培に資する基礎研究 ・土壌-植物-大気間の媒介因子の複雑系解析 ○作物の生育に及ぼす環境因子の計測技術 ・土壌成分のセンシング ・大気成分のモニタリング ○次世代栽培・管理技術 ・圃場情報に基づいた統合的栽培管理技術 	
			<ul style="list-style-type: none"> ・代調制御 ・QTL解析 ・雑種強勢評価 	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	△	△
品質保証技術	栽培・管理	<ul style="list-style-type: none"> 栽培環境モニタリング 品質管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハイインブットハイリターン型の20世紀型の農業が見直されている。 ・特に、農薬等の使用による環境汚染、農業用水の大量使用による灌漑用水の枯渇が地球規模の課題となっている。 ・産学が連携して地図情報、生育環境要因、市況情報、業務管理等を含む統合的システムの構築が先進国を中心に進められている。 ・土壌モニタリングや選果ロボット等、精密農業、精密管理の実現が国際的な課題であり、いずれも日本がリードしている。しかしながら、前者は米国が、後者は韓国がそれぞれ追随している。 (問題点) ・土壌や大気中の構成因子が作物生産へ及ぼす影響に関する情報が絶対的に不足している。 ・上記情報に基づいた環境評価や節水技術の開発が進んでいない。 ・ロボットやII技術の農業分野への導入が遅れている。 	△	◎	◎	△	△	△	◎	◎	◎	△	△	<ul style="list-style-type: none"> ○機能成分の体内動態解析モデルの開発 ・食品と生体との相互作用情報の統合的処理技術の開発 ・食品の摂食・消化・吸収・代謝等のプロセスのモジュラー化と生体モデルの開発 ○食の安全性を科学的に保証する技術の確立 ・病原性ウイルス等の迅速検出技術 ・食品等の微量有害物質の高度センシング技術 ・遺伝子組換えベクター作物残存性と人体へのリスク管理技術
			<ul style="list-style-type: none"> ・機能性素材探索 ・不均一性評価 ・持続的脆弱機能評価 	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
デザイン・イン型食料生産技術	生産工程管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 工程管理 農業情報ハンドリング 	<ul style="list-style-type: none"> ・消費者が求める付加価値を農業生産段階から実現しようとする取り組みが活発になりつつある。 ・先進国等では消費者のニーズを的確に捉えたテラメータ作物の需要が増す傾向にある。 ・工程管理手法は現在、生産現場への導入が国際的に進められており、よりよい手法の開発や妥当性の判断等が検討されている。 ・農業情報システムは各国および地域に適したシステムの構築が進められている。 (問題点) ・農業生産にマーケティング理論が導入されていない。 ・個別の消費者ニーズに対応した生産システムが未確立である。 	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△	<ul style="list-style-type: none"> ○消費者が要求する付加価値を実現する生産システムの構築 ・生産者・消費者ニーズに対応したサブライチエーションを構成するための技術システムを評価し水準維持を図る手法確立 ・水・太陽光・バイオマス等の完全循環させる生産システムの構築 ・マーケティングを取り込んだ生産・流通戦略に基づく農林水産業の実現 ・生産と必要の計画・調整に基づく取引の推進 ○高品質食料とその生産技術の輸出 ・生産地と消費者の情報共有とサブライチエーション管理のためのシステム開発 	
			<ul style="list-style-type: none"> ・微量有害物質の検出 ・GM作物の安全性評価 	△	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	△	△	△	△

2.4 先進技術	2.3 安全な水の提供	2.2 環境に負荷のない交通システム	2.1 自然エネルギーの有効利用	2 地球規模の問題を解決する方策	1 地球規模のイノベーション・エコシステムの構築	「R」
----------	-------------	--------------------	------------------	------------------	--------------------------	-----

研究開発戦略センター報告書

戦略提言 CRDS-FY2007-SP-11

**地球規模の問題解決に向けた
グローバル・イノベーション・エコシステムの構築
—環境・エネルギー・食料・水問題—**

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター
GIES プロジェクトチーム

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03 (5214) 7487

ファクス 03 (5214) 7385

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

平成 20 年 3 月 1 日

©2008 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
