

2.8. [エネルギー・環境・資源]

持続可能な未来構築に貢献するエネルギー・環境・資源

2.8.1. 検討の背景

東日本大震災以来、我が国のエネルギー政策は、これまで以上に多くの解決すべき課題を抱えている。気候変動問題解決に貢献するためには、原子力と再生可能エネルギーの推進を優先政策としてきたが、原発事故以来、エネルギー政策の見直しが各方面でなされている。化石燃料枯渇や温室効果ガス排出量の増加、エネルギー資源の問題も、我が国のみならず、世界各国が協力して取り組むべきグローバルな重要課題である。さらに、特に我が国は人口減少や高齢化、グローバル化による社会の変化等により、生活環境の変化への対応も含めて、自然環境保全に取り組む必要性が増大している。そこでエネルギーのベストミックスと気候変動問題解決に貢献するためのエネルギー、資源、環境について検討した。

エネルギーを生産から消費、流通・変換・貯蔵・輸送として設定し、特に 2020 年までに実現を目指している水素を優先的に取り上げた。

環境分野は、人口減少や高齢化、グローバル化による社会の変化等により、生活環境の変化への対応も含めて、自然環境保全に取り組む必要性について注目した。そして、技術だけでは解決が困難な課題に対応するリスクマネジメントも評価からコミュニケーションを含めて検討することにした。

資源は鉱物資源のほか、未利用の廃熱や水に関しても、リサイクル・リユースの観点から検討した。また地域資源である地熱、世界トップレベルの水処理関連技術も淡水化などの造水から、家庭や工場からの排水の処理まで注目した。

2.8.2. 注目される方向性

A) エネルギー：生産から消費、流通・変換・貯蔵・輸送

生産から消費にわたるライフ・サイクル・アセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)(流通・変換・貯蔵・輸送を含む)に考慮したエネルギーのベストミックスに関して検討した。

B) 環境：地球温暖化、保全、解析・予測、創成、リスクマネジメントとして、グローバルから地域特性も含めた問題解決に資する技術

地球温暖化対策、保全、解析・予測、環境創成、それらすべてに関連するリスクマネジメント、そしてグローバルから地域特性も含めた問題解決に資する技術について検討した。

C) 資源：鉱物資源から未利用の地熱、リサイクル・リユースおよび水

鉱物資源や未利用の熱、水をリサイクル・リユースし有効活用できる技術を中心に検討した。

2.8.3. リーダーシップシナリオ

「温暖化問題解決に貢献する、世界をリードする技術開発の推進」

(1) 2030年の社会

2030年、日本はエネルギーのベストミックスに関して世界のリーダー的存在となった。それは資源配分と人材戦略により技術的レベルを維持し、資源配分と内外連携・協力などによって社会の認知、普及に努めた省エネ技術の高度進展によるものである。固定価格買取(FIT)制度は、ICTによって最適なバランスがコントロールされたエネルギー供給システムと連動して全国展開されている。2014年の科学技術予測調査で明示された、技術開発や社会実装における不確実性が高かった宇宙太陽発電システムや核融合発電は、基礎研究と要素技術が進展し、安全確保のためのルール作りと、経済性と雇用の試算が発表され、実現に向けた取組みがなされている。また、高効率電力変換、エネルギー貯蔵・輸送、高エネルギー密度電池、スマートグリッド・分散電源、高断熱材料など、多くの材料関係の技術は日本がリードしている。ハイブリッドシステムの更なる効率化と二次電池性能の向上によって、エネルギー効率が50%の自動車や、一回の充電で航続距離が500km以上の電気自動車が実用化し、世界に普及している。廃棄されるパソコンやスマホなどからの金などの有価物回収も、技術の進展によりほぼ100%資源化されるようになった。レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術によって、海外からの鉱物資源輸入量は激減した。それでも必要な食料や資源は、CO₂排出量を半減及びNO_x排出量を2015年に比べ20%程度に低減したクリーンシップによって輸入され、代わりに日本の高度処理技術によって、農業に使用できる中水を輸出して外貨を獲得している。またエネルギーや資源を回収可能な下水処理技術は国内ではほぼ100%普及し、こうした資源回収マネジメント技術は途上国へも多く実装され、展開が進められている。そして新興国を中心とした経済発展・都市化が進む海外市場からの収益はますます拡大し、途上国でも実現できる技術やシステム開発は国主導で進められ、これまでの研究蓄積、課題への対処経験を途上国で展開して、日本の存在価値を高めている。このように、日本のものづくり産業が技術の簡易化やコスト削減への対応などによって競争力を維持しつつ、温暖化問題解決に貢献するさまざまな技術開発は実現化が進み、環境とエネルギー関連技術に関して我が国は世界をリードしている。

2011年の東日本大震災がきっかけとなった、放射性物質のモニタリング技術は、日本の原発技術とともに新興国でのCO₂削減に寄与する原子力発電の新設に貢献している。大気汚染等や温暖化による激甚気象現象(異常気象)発生機構の解明が進み、防災、減災の計画には人文・社会科学系との連携により、国内だけではなく、海外にも展開可能な統合的手法が広がりを見せている。

こうした低炭素社会の実現に向けた、社会経済的な制度構築に関する科学技術面からの検討が功を奏して、IPCC第5次評価報告書に掲げられた2°C目標の達成は、現実的なものに近づいている。特に日本が持つモニタリング技術や、発生メカニズムの解明などといった科学的知見は、気候変動を緩和し、自然災害を低減するための技術や、環境や生態系におけるリスク要因を解明し、避けられない環境の変化への適応に向けた対策にも適用され、世界の環境問題解決に貢献している。

(2) 実現を目指すに当たっての各主体の戦略

実施主体	戦略
政府・自治体	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーのベストミックスに関する法的支援 最適バランス化されたエネルギー供給システムの普及支援 FIT 制度の再検討 省エネ製品の国際展開のための施策 環境に関わる税制の見直し船舶の国際法の見直し 廃棄物回収における収率向上への支援
公的研究機関	<ul style="list-style-type: none"> スマートコミュニティ研究や社会システム研究 生態系におけるリスク要因の解明 モニタリングシステムの普及 低炭素社会の実現に向けた社会制度の検討
企業	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ・省資源関連研究 途上国へも実装可能なマネジメントの開発と展開
業界プラットフォーム組織	<ul style="list-style-type: none"> 生物多様性を考慮した原材料の利用と仕組みづくり他業界との連携
学・協会	<ul style="list-style-type: none"> 産学連携による人材育成 エネルギーと環境の最適バランスを検討する学会間の連携
大学	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーのベストミックスに関する研究 異常気象発生機構の解明 学内連携による人材育成、他学科との共同研究
その他人材育成機関	<ul style="list-style-type: none"> 初等教育からの環境教育の義務化
金融・投資機関	<ul style="list-style-type: none"> 新 FIT 制度設立排出権取引に関する支援 排出権取引に関する支援
市民・NPO	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物回収への協力 異文化への理解 温暖化に関する正しい知識の蓄積

(3) 戦略推進上の留意点

- 税収入減による FIT 制度の継続困難化
- 外来種の増加による環境破壊
- 都市集中によるエネルギーピーク
- 技術移転によるものづくりの弱体化

2.8.4. 国際協調・協働シナリオ

「地球規模問題への対応と世界の発展への貢献」

(1) 2030 年の社会

2030 年、変化し続ける世界の中で、日本は 2020 年から台頭している ASEAN との関係や資源獲得競争に直面している。そしてアジアのさまざまな状況への対応には、資源配分と国際連携が必要であることが広く議論されている。こうした課題への対応策の議論では、フォーサイトによって作成された多国間協力のシナリオに基づいて検討され、平和的解決に向けて科学技術予測調査

で得られたさまざまなデータがエビデンスとして利用されている。そして実用化に資する経済性を考慮した国・研究機関・企業との連携や、社会実装(社会受容性の向上)のためのシステムの構築、また技術だけでは解決が困難な課題に対応するリスクマネジメントに関しては、評価からコミュニケーションまで含めて、産業基盤を担う人材の育成施策が中心に検討されている。リスクに関わるステークホルダー間のコンセンサス形成の重要性はますます増し、リスク情報の“伝達”から“対処”、“行動”変容の導出、社会の変化に応じた生活様式の変化、エネルギーのベストミックスと気候変動問題解決に貢献するためのエネルギー、環境、資源に関しては、ASEAN や APEC を中心とした国際組織が中心になって検討している。特に、人口減少や高齢化、グローバル化による社会の変化などにより、生活環境の変化への対応も含めて、自然環境保全に取り組む必要性について集中的に議論がされている。

大気大循環と海洋大循環を組み合わせた温暖化の定量的モデルの確立、地球温暖化が農林水産資源に与える影響評価に基づく資源変動予測・管理技術、生態系機能に基づく気候変動と災害の緩和と適応の統合技術、熱帯林破壊防止と再生活動のための観測・評価技術などに関しては、途上国では以前のように日本からの経済的支援を受けることはなくなったが、技術開発については日本と共同で ASEAN 各国がそれぞれの問題解決に対応している。例えば、途上国で一般利用できる経済性のある汚染水浄化・再利用技術や森林に対する越境大気汚染等の影響評価技術の確立などが一例である。また、水資源の確保に向けた国際的展開はますます重要性を増している。エネルギー効率が 50%以上向上した逆浸透膜浄水技術や、水循環システム、水質評価技術、そして上水供給における有害微量化学物質、病原微生物等の連続モニタリング技術の普及などの世界の水ビジネスに関して、さまざまな世界トップレベルの水処理技術を通じて、我が国は世界の貧困層解消に貢献している。

日本全国に太陽熱等を利用した水素製造、未利用の廃熱や地域資源である地熱を活用した 1MW クラス中低温地熱資源利用発電が普及し、自然エネルギーによる発電が国内全体の 30% となっている。そして、日本が開発した CO₂ 回収技術とともに、褐炭などの低品位化石燃料を利用する CO₂ 回収型ガス化複合発電が世界に広がり、ASEAN では、バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクションといった技術のみならず、トレードオフ、経済性等を考慮した温室効果ガス排出削減対策と選択手法によって、CO₂ 削減に取り組んでいる。また、沿岸・海洋での潮流エネルギー資源利用発電や 10MW 級洋上浮体式風力発電は APEC 各国に広がりを見せている。

世界で発生する災害には、日本がいち早く多方面から協力できる体制が完備されている。また食料・水・災害リスク管理のための監視体制や、静止衛星による陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術、災害現場で生存者を識別できる災害救助ロボット、都市洪水、高潮、地盤沈下等の人口密集地における統合的水管理技術などによって、我が国は世界の減災に貢献している。

(2) 実現を目指すに当たっての各主体の戦略

実施主体	戦略
政府・自治体	<ul style="list-style-type: none"> • 国際法の見直しの提案 • 途上国支援の見直し

実施主体	戦略
	<ul style="list-style-type: none"> 人口減少や高齢化への対処
公的研究機関	<ul style="list-style-type: none"> 途上国支援開国際水質評価基準への貢献 リスク情報の伝達から対処までの総合マネジメント トレードオフ、経済性等を考慮した温室効果ガス排出削減対策と選択手法 国際枠組みにおける気候変動関連会議へ提供するデータ基盤の整備 資源探査
企業	<ul style="list-style-type: none"> 新たな市場創造戦略等 経済性のある汚染水浄化・再利用技術開発
業界プラットフォーム組織	<ul style="list-style-type: none"> 評価からコミュニケーションまで実施可能なリスクマネジメント手法の開発 越境大気汚染等の影響評価技術の確立 都市洪水、高潮、地盤沈下等の人口密集地における統合的水管理技術
学・協会	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーマネジメントに精通した人材の育成 災害救助ロボットの開発
大学	<ul style="list-style-type: none"> 社会システムも含んだエネルギーや環境関連技術の開発と人材育成
その他人材育成機関	<ul style="list-style-type: none"> 子供の頃からのリスクマネジメント教育 コンセンサス形成に向けた取り組み
金融・投資機関	<ul style="list-style-type: none"> 新たな投資スキーム 海外への直接投資 (Foreign Direct Investment)
市民・NPO	<ul style="list-style-type: none"> リスクに関わるステークホルダー間のコンセンサス形成

(3) 戦略推進上の留意点

- 国際枠組みの変化、特に ASEAN や APEC における変化
- 越境環境汚染被害の増加
- 地方経済の衰退
- 気候変動の悪化による世界各国での水不足
- 研究者・専門家の減少

2.8.5. 自律性シナリオ

「全体最適化を考慮したシステムの実現」

(1) 2030 年の社会

2030 年、日本では長期展望に立ったナショナル・セキュリティを基本とした取り組みが各方面で繰り広げられている。特に企業における人材・組織・制度の国際化は、日本のおもてなし(ホスピタリティ)も含めて、超高齢化社会への挑戦と官民連携 (オープンガバメント等)により進められている。国家存立基盤には、国際協力の推進と日本の独自性の両面から技術開発が必要で、特に地球温暖化を考慮した施策が不可欠であることは昔と変わらない。

2020年の東京オリンピック・パラリンピックで実現した、レジリエント社会に向けたインフラの再構築が全国で展開されている。節電やエネルギーのベストミックスは、地方の主要産業のひとつとして普及している。インフラの全体最適化を考慮したシステムの実現は、地方活性化や災害対応にも大きな影響を及ぼした。例えば、エネルギーや食料などといった生活に必要な資源の供給と需要のバランス、地下水位制御システム、省力・低コスト栽培が可能な作物の育種技術、及び ICT の統合により多様な作物の輪作と、高生産性穀物生産が実現した。また、気候変動に柔軟に対応可能な露地栽培と施設栽培の最適化システムや、避けられない地球温暖化を利用して、日本で熱帯・亜熱帯果樹の経済栽培が可能になるような栽培・流通技術も普及し始めている。そして自然との調和をはかりつつ海外展開することを目指して自助努力し続ける、地方都市を中心とした地域向け農業に関するさまざまな開発も進展している。地方の多くの農家は後継者不足により個人経営から企業化され、温度や施肥などがコントロールされた農場では、天候を気にすることなく安定した野菜の供給が可能となっている。一方で都会でも、レストランの店内に展開する植物工場の普及で、農業は身近で実務的であるという認識が浸透している。農業は高齢化で担い手不足が深刻な状況であったが、今では「Cool な職業」という認識で希望者数は増加しており、ASEAN 各国から日本全国に来日し、スマート農業を学ぶために滞在している。そして、耳に容易に装着できる翻訳機によって多言語に対応でき、日本の農業従事者は海外にも事業を展開し、国際協力に貢献していると同時に国内の食料自給率の向上にも寄与している。

消費、流通・変換・貯蔵・輸送といったエネルギー関連テーマにおける重要な技術の推進と本格的な導入・展開に向けては、事業採算性をクリアするための個々の要素技術の全体最適化のためのソフトウェア開発や、統合システムの展開を基本に進められている。ICT 技術の進展によってエネルギーの有効活用と効率向上、および法令、技術標準との整合性も考慮され、スマートなエネルギーシステムが各地に実現している。長期展望に立った政策的支援の必要性は、今も時々議論され、2014年に提案された SIP(Cross-ministerial strategic innovation promotion program) で検討していたエネルギー関連技術プロジェクトと一体型の開発体制の構築、当該関連技術の戦略的な方向性(政策立案、選択)の明確化についても、地方活性化や超高齢社会も考慮しつつ、継続して検討されている。こうした取り組みは、国内のみを対象としたものではなく、移民や人に代わるロボットなどの視点も含めて検討されている。

(2) 実現を目指すに当たっての各主体の戦略

実施主体	戦略
政府・自治体	<ul style="list-style-type: none"> • 技術の社会実装に向けての法令、技術標準との整合性 • エネルギー関連技術プロジェクトと一体型の開発体制の構築 • 当該関連技術の戦略的な方向性(政策立案、選択)の明確化 • インフラの全体最適化検討の場の設定 • 人材・組織・制度の国際化への対応 • 官民連携 (オープンガバメント等)の検討

実施主体	戦略
公的研究機関	<ul style="list-style-type: none"> 国際協力の推進 導入・展開に向けた、要素技術の全体最適化システムの開発 気候変動への対応 全体最適化を考慮したインフラシステムの検討 自然との調和をはかりつつ海外展開するシステムの開発 研究者交流
企業	<ul style="list-style-type: none"> 人材・組織・制度の国際化 高生産性農業の実現 省力・低コスト栽培が可能な作物の育種
業界プラットフォーム 組織	<ul style="list-style-type: none"> 官民連携（オープンガバメント等）の検討 露地栽培と施設栽培の最適化システム 温度や施肥などがコントロールされた農場経営
学・協会	<ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化対応を考慮したエネルギー関連施策と技術開発 農業従事者育成
大学	<ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化対応を考慮したエネルギー関連研究開発 マネジメント教育
その他人材育成機関	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー、環境教育の普及 研究者交流支援
金融・投資機関	<ul style="list-style-type: none"> 事業採算性をサポートする制度づくり ふるさと支援
市民・NPO	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー、環境教育の普及 環境整備への取り組み

(3) 戦略推進上の留意点

- 移民政策
- リスクマネジメント
- 中央行政の地方移転
- 気候変動の悪化
- 労働人口減少

2.8.6. 資料（課題抽出と解決方向の検討）

持続可能な未来構築に貢献する エネルギー・環境・資源

概要

- エネルギーの**ベストミックス**と**気候変動**問題解決に貢献するためのエネルギー、環境、資源について検討。
- 特に2020年までに実現を目指している**水素**を優先的に取り上げた。
- 環境分野は人口減少や高齢化、グローバル化による**社会の変化**などにより、**生活環境の変化**への対応も含めて、**自然環境保全**に取り組む必要性について注目。
- 資源は**未利用の廃熱**や**地域資源**である**地熱**、世界トップレベルの**水処理**技術にも注目。
- 技術だけでは解決が困難な課題に対応する**リスクマネジメント**も評価からコミュニケーションを含めて検討。

注目される方向性

エネルギー


生産から消費にわたるLCA(流通・変換・貯蔵・輸送を含む)に考慮したエネルギーのベストミックス

資源

鉱物資源や未利用の熱、水をリサイクル・リユースし有効活用

環境

地球温暖化対策、保全、解析・予測、環境創成、それらすべてに関連するリスクマネジメント、そしてグローバルから地域特性も含めた問題解決に資する技術



エネルギー：全体最適化を考慮したシステムの実現

解決すべき課題

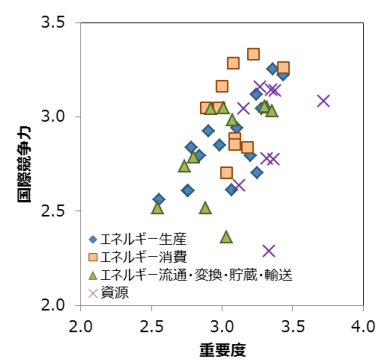
エネルギー生産、消費、流通・変換・貯蔵・輸送

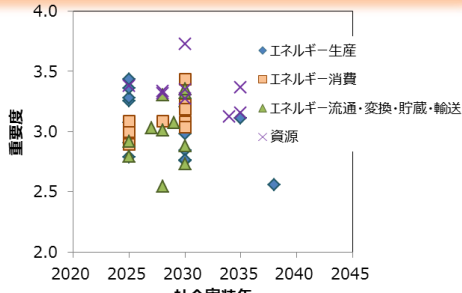
- ・ 事業採算性をクリアする必要性
- ・ 地球温暖化対応を考慮した施策が不可欠
- ・ 本格的な導入・展開に向けた、個々の要素技術の全体最適化のシステム
- ・ ソフトウェア開発も含めたICT技術の駆使によるエネルギーの有効活用と効率向上
- ・ 技術の社会実装に向けて、法令、技術標準との整合性が重要な技術

資源

- ・ ナショナル・セキュリティを基本とした取り組み
- ・ 国際協力の推進と日本の独自性の両面からの技術開発

重要度と国際競争力はほぼ相関関係あり





政策への期待

- ・ 長期展望に立った政策的支援の必要性
- ・ SIPで推進されているエネルギー関連技術プロジェクトと一体型の開発体制の構築
- ・ 当該関連技術の戦略的な方向性（政策立案、選択）の明確化

SIP: 戦略的イノベーション創造プログラム

環境：温暖化解決に貢献する世界をリードする技術開発の推進

解決すべき課題

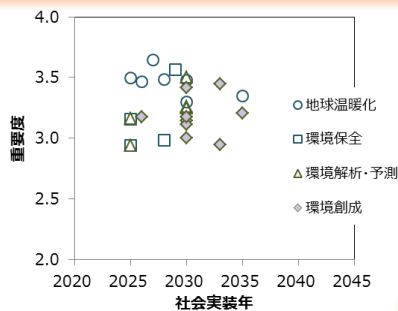
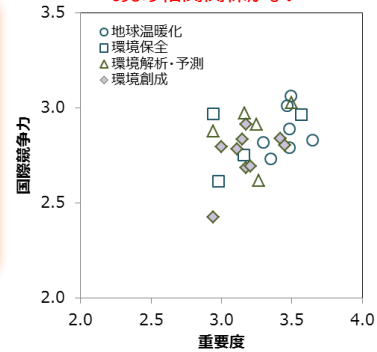
地球温暖化

- ・ モニタリング、発生メカニズム、影響関連の技術
- ・ 豪雨、土砂災害の防止に係る技術（局所的災害への対応）

環境保全、環境解析・予測、環境創成

- ・ 放射性物質からの確実な除染技術
- ・ 環境や生態系におけるリスク要因の解明と適切な対策
- ・ 途上国でも実現できる技術・システム開発
- ・ （技術の）簡易化やコスト削減への対応
- ・ 気候変動の緩和、自然災害を低減するための適応技術
- ・ 技術開発や社会実装における不確実性の改善
- ・ 水銀除去、アオコ・赤潮の回避

重要度と国際競争力はあまり相関関係がない



政策への期待

- ・ IPCC第5次評価報告書：2℃目標の達成
- ・ 低炭素社会の実現に向けた社会経済的な制度構築に関する科学技術面からの検討
- ・ 研究蓄積、課題への対処経験を途上国で展開
- ・ 技術の実現に向けての資源配分と人材戦略、社会実装への資源配分と内外連携・協力
- ・ 人文・社会科学系との連携により他地域にも展開可能な統合的手法による課題解決

資源：地球規模問題への対応と世界の発展への貢献

解決すべき課題

水

- ・ 今後10年程度で技術の実現時期を迎え、連続的に進化していくことから資源配分と国際連携が必要
- ・ 水資源の確保に向けた国際的展開

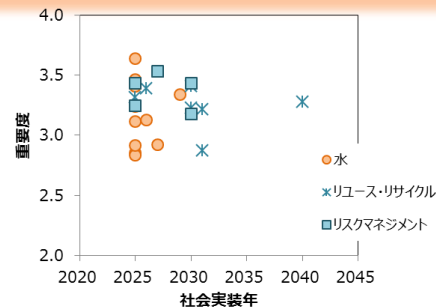
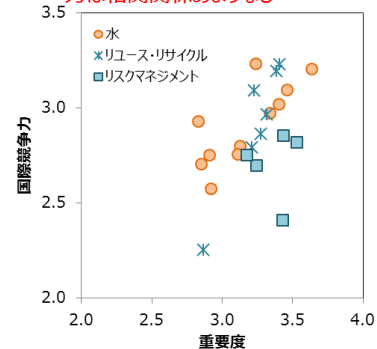
リユース・リサイクル

- ・ 実用化に資する経済性を考慮した国・研究機関・企業との連携
- ・ 社会実装(社会受容性の向上)のためのシステムおよび仕組み作り

リスクマネジメント

- ・ リスク情報の“伝達”から“対処”、“行動”変容の導出
- ・ 科学技術がもたらすベネフィットとリスクの分析

リスクマネジメントの重要度と国際競争力は相関関係あまりなし



政策への期待

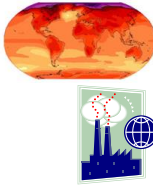
- ・ 水の循環利用、水質評価技術等で、世界のビジネスを先導していくこと（支援）
- ・ 将来の産業基盤を担う人材の育成施策（例：放射性廃棄物、レアメタルリサイクル）
- ・ リスクに関わるステークホルダー間のコンセンサス形成の重要性

「持続可能な未来構築に貢献するエネルギー・環境・資源」の関連トピック

環境問題

⇒ 重要度は高い、国際競争力と相関なし

途上国で一般利用できる経済性のある
汚染水浄化・再利用技術



温暖化と大気汚染等との
組み合わせによる激甚
気象災害（異常気象）
発生機構の解明

森林に対する越境大気汚染
等の影響評価技術の確立



外来種の移動拡散を支配する因子と侵略
リスクの解析評価に基づく対策技術の確立



トレードオフ、経済性等を考慮した温室
効果ガス排出削減対策と選択手法



2025

2030

2035

2040

低線量放射線リスクに関する
合意形成手法の確立



IT、衛星などを有効活用した効率
的な鉱山探査技術

小都市(人口10万人未満)における、エネルギー自給自足、
完全資源循環のクローズドサイクル化の実現（燃料電池、
バイガス、自然エネルギー、雨水などを統合）

エネルギー効率が50%の自動車エンジン



MW規模の系統連系安定化用長寿命二次
電池（サイクル寿命：20年以上、コスト1.5
万円/kWh以下）



高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の
使用により核変換して廃棄物量を激減させる技術

エネルギーシステム

⇒ 重要度、国際競争力ともに高いと評価

(「分野別科学技術予測 環境・資源・エネルギー分野」より)