

# 環境・エネルギー領域における 研究開発方策

平成24年8月

環境エネルギー科学技術委員会

# 環境・エネルギー領域における研究開発方策(概要)

## I. 環境・エネルギー問題に関する動向

1. 環境・エネルギー問題は、人口爆発、貧困、水や大気汚染の拡大、食料・資源・エネルギーの需給逼迫・価格高騰などの問題と直結した、人類の生存基盤を揺るがしかねない最重要課題である。特に、東日本大震災・東京電力福島第一原子力発電所事故によって、我が国のエネルギー基盤の脆弱性が露呈しており、環境・エネルギー問題の重要性が一層増してくると考えられる。
2. 第4期科学技術基本計画(平成23年8月閣議決定)では、「グリーンイノベーションの推進」を我が国の成長と社会の発展を実現するための主要な柱の一つとして位置づけ、以下の三つの重要課題に対応した研究開発を重点的に推進することとしている。  
【重要課題】(i) 安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現、(ii) エネルギー利用の効率化とスマート化、(iii) 社会インフラのグリーン化

## II. 文部科学省が推進すべき研究開発課題 ※科学技術の観点から、研究開発として行うべき課題を幅広く例示、ここに掲げられた課題に限定するものではない

### 1. 再生可能エネルギーの普及とエネルギー供給の低炭素化に向けた研究開発

- ・太陽光、バイオマス、風力、地熱、波力、水力等の多様な再生可能エネルギー源を総動員するための研究開発
- ・熱など様々な形態で環境中に存在する未利用エネルギー活用の技術開発
- ・二酸化炭素回収・貯留など気候変動への対応技術

### 2. 分散エネルギーシステムの革新を目指した研究開発

- ・燃料電池や蓄電池等によるエネルギーの変換・蓄積システム、水素、アンモニア等のエネルギーキャリアの製造・輸送・貯蔵システム、超伝導送電技術等の低損失で安定な電力供給システムの開発
- ・エネルギーを総合的に最適制御するエネルギーマネジメントに関する研究開発

### 3. 省エネルギーに資するエネルギー利用の効率化のための研究開発

- ・ナノカーボン材料、パワー半導体等の省エネルギーに関わる材料開発、超伝導技術や触媒の開発による物質生産プロセスの革新等のエネルギー消費の低減等につながる技術開発
- ・運輸部門の省エネルギー化、低炭素化の促進に向けては、材料の軽量化といった個別の技術革新に加え、次世代交通システムのように情報科学技術や都市のデザイン、人間行動の把握等の複合的・融合的課題の研究開発

### 4. 低炭素社会の実現にむけた社会シナリオ研究と実証研究の推進

- ・低炭素化技術の性能、コスト及び導入による社会・経済への影響の評価・予測等を行う社会シナリオ研究を実施し、低炭素社会実現のための戦略を策定
- ・技術開発の課題のみならず、実用化に向けた社会的課題を抽出し、解決するための実証研究の推進。

### 5. 地球規模課題解決のための地球観測、予測、統合解析システムに関連する技術の強化とそれを支える基盤的情報の創出に向けた研究開発の推進

- ・地球観測・予測・統合解析システム等の技術は社会を支える基盤的情報として推進
- ・気候変動予測の信頼性向上と気候変動をリスクとしてマネジメントする際に必須となる基盤的情報創出の技術開発
- ・気候変動に伴う影響の精密な評価や都道府県等の地域性に着目した評価に関する研究開発、生物多様性の保全・利用に関する研究開発

### 6. その他の研究開発課題について

- ・原子力科学技術については、安全性向上のための研究開発等を進めて行くとともに、核融合の研究開発については、国際社会の要請に応えつつ国として長期的な視点に立って推進
- ・環境・エネルギー領域に関わる横断的な研究課題については、(1)情報基盤技術の高度化(蓄電池等の性能向上、HPC技術やデータ同化技術等)、(2)研究開発の基盤となるナノテクノロジー・材料科学技術の推進(低品位資源の活用、資源使用量の低減技術、希少元素の代替技術・資源回収技術等)、(3)研究開発の基盤となる計測分析技術・器機の開発等

## III. 研究開発を推進するにあたっての重要事項

1. 分野間の協力による新たな科学的、社会的価値の創造
2. 自然科学の各分野間及び人文・社会科学分野との連携
3. 産学官連携及び関係機関間の連携
4. 科学技術と環境・エネルギー政策の一体的推進
5. 環境・エネルギー分野の人材育成
6. 国際的な取組の推進
7. 研究成果の実用化に随伴するリスク情報の提示とリスクに配慮した研究開発の実施

## 目次

はじめに.....	1
<b>I. 環境・エネルギー問題に関する動向 .....</b>	<b>1</b>
1. 環境・エネルギー問題に係る国際的な動向 .....	2
2. 我が国の動向と文部科学省の取組 .....	6
<b>II. 文部科学省が推進すべき研究開発課題 .....</b>	<b>10</b>
1. 再生可能エネルギーの普及とエネルギー供給の低炭素化に向けた研究開発 ...	10
2. 分散エネルギーシステムの革新を目指した研究開発 .....	11
3. 省エネルギーに資するエネルギー利用の高効率化のための研究開発 .....	12
4. 低炭素社会の実現に向けた社会シナリオ研究と実証研究の推進 .....	13
5. 地球規模課題解決のための地球観測、予測、統合解析システムに関連する 技術の強化とそれを支える基盤的情報の創出に向けた研究開発の推進 .....	14
6. その他の研究開発課題について .....	15
<b>III. 研究開発を推進するに当たっての重要事項 .....</b>	<b>18</b>
1. 分野間の協力による新たな科学的、社会的価値の創造 .....	18
2. 自然科学の各分野間及び人文・社会科学分野との連携 .....	18
3. 産学官連携及び関係機関間の連携 .....	19
4. 科学技術と環境・エネルギー政策の一体的推進 .....	19
5. 環境・エネルギー分野の人材育成 .....	20
6. 国際的な取組の推進 .....	21
7. 研究成果の実用化に随伴するリスク情報の提示とリスクに配慮した 研究開発の実施 .....	21

## はじめに

政府全体の科学技術の基本方針を示す第4期科学技術基本計画が、平成23年8月19日に閣議決定された。これは、平成22年6月に策定された「新成長戦略」に示された方針を科学技術及びイノベーションの観点から深化・具体化を図るものと位置付けており、基本方針として、「震災から復興、再生の実現」、医療・介護・健康を対象とする「ライフイノベーションの推進」と並び、環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーションの推進」が掲げられており、科学技術政策全体の中でもグリーンイノベーション推進の重要性が高まっているところである。

また、文部科学省においては、従来、今後推進すべき具体的な研究開発課題及び研究開発の推進に当たっての重要事項について、地球環境科学技術委員会で検討・取りまとめを行い、推進方策として定めてきた。環境問題を議論する上において、これまでは地球観測等の成果から、地球環境の現状がどのように変わるのかに着目してきたが、環境問題と不可分であるともいえるエネルギーの供給や使用についても考える必要性が高まってきている。これに従い、今期より、地球環境科学技術委員会は環境・エネルギー科学技術委員会に改組されることとなり、このたび、「環境・エネルギー科学技術に関する研究開発の推進方策について」を取りまとめることとなった。

この推進方策においては、まず第Ⅰ章において、現在の環境・エネルギー問題に関する動向について述べる。続いて第Ⅱ章に文部科学省において推進すべき研究開発方策について述べ、最後の第Ⅲ章に、これらの研究開発方針を推進する上での重要事項を述べている。

## Ⅰ. 環境・エネルギー問題に関する動向

環境問題、エネルギー問題は、人口爆発、貧困、水や大気の汚染拡大、食料・資源・エネルギーの需給逼迫・価格高騰等の問題と直結した、人類の生存基盤を揺るがしかねない今世紀の最重要課題である。

環境・エネルギー問題は、様々な政府間交渉等の場において、優先度の高い課題として取り上げられており、その対策のための国際的な枠組作りへの合意形成が進みつつある。これに対応して、国内においても、環境・エネルギー問題への対策のための計画作りや施策の強化が進められている。

特に、今般の東日本大震災・東京電力福島第一原子力発電所事故によって、我が国のエネルギー基盤の脆弱性が露呈するとともに、今後、エネルギー戦略の見直しが議論される中、環境・エネルギー問題はこれまで以上に重要性を増してくると考えられる。

政府は、エネルギー・環境会議を設置し、平成24年夏までに、国民的議論を経た後に新たなエネルギー戦略を策定することとしており、平成24年6月には国民的議論に向けて複数のシナリオを提示した。いずれの選択肢においても、2030年における発電量に占める再生可能エネルギーの割合は現状を大きく上回るものとなっている。各シナリオ及びそこから導かれる新たなエネルギー戦略を有効なものとするためには、技術革新が不可欠であり、研究の成果が出てから実用化までの時間を考慮すると、この第4期科学技術基本計画期間の数年間に、研究開発を加速させることが求められている。

## 1. 環境・エネルギー問題に係る国際的な動向

### 【国際的協調体制について】

洪水、干ばつ、熱波、生態系変化等の気候変動に関する地球規模課題がますます増大するにつれ、気候変動に関する科学的情報を包括的に提供することが求められている。このため、国際機関等が中心となり、国際的な協調体制がこれまで構築されてきた。

昭和63年には、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」が設立された。

IPCC 第1次評価報告書において、人為起源の温室効果ガスが生態系や人類に重大な影響を及ぼす気候変化が生じる恐れがあるという警告がなされたことを受け、評価にとどまらず、温室効果ガス削減のための取り組みを推進するため、平成6年には、気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととしない水準において、大気中の温室効果ガス濃度を安定化させることを目的とした気候変動枠組条約（UNFCCC）が発効した。

さらに、平成9年に開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、市場経済移行国を含む先進国における温室効果ガスの排出量について法的拘束力のある数値目標を盛り込んだ「京都議定書」が採択されるとともに、目標達成のための手段の一つとして京都メカニズムの導入が合意された。

気候変動に関する研究の蓄積により、平成19年に公表されたIPCC第4次評価報告書（AR4）では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」、「20世紀半ば以降に観測された世界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増加によってもたらされた可能性が非常に高い」との評価が科学的根拠とともに示された。平成22年12月の気候変動枠組条約第16回締約国会議（COP16）においては、先進国及び途上国が提出した排出削減目標等が国連の文書としてまとめられ、平成23年12月のCOP17においては、京都議定書の約束

期間の延長が合意されるとともに、全ての国が参加する温暖化対策の新たな枠組みの構築に向けた作業を2015年までに終え、2020年から発効させること（ダーバン・プラットフォーム立ち上げ）に合意がなされるなど国際的枠組に関する議論が進められている。

生物多様性の分野においては、地球上のあらゆる生物の多様さをそれらの生息環境とともに最大限に保全し、その持続的な利用の実現、さらに生物の持つ遺伝情報から得られる利益の公正かつ衡平な分配を目的とした生物多様性条約が平成5年に発効した。平成22年10月に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）では、遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS）に関する名古屋議定書と、2011年以降の新戦略計画（愛知目標）が採択され、生物多様性分野における科学と政策のつながりを強化するため、生物多様性と生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）が本年4月に設立され、我が国がこれまで蓄積した観測データ等を通じたIPBESへの貢献が期待される。

平成23年5月のG8ドーヴィル・サミットにおける首脳宣言において、「先進国全体で温室効果ガスの排出を、1990年又はより最近の複数の年と比して2050年までに80%又はそれ以上削減するとの目標を支持する」、「生物多様性の損失を遅らせるための努力を強化することにコミットする」等の合意がなされるなど、気候変動への対応が世界的な政策課題として取り組まれている。

また、平成22年に国際科学会議（ICSU）が地球規模の持続可能性に関する研究の重要性を指摘する報告書（Grand Challenge on Global Sustainability Research）を策定し、地球環境変動の観測・予測の強化や、持続可能性を達成するための科学的、政策的、社会的技術開発の促進を提案し、本年3月にICSUは、地球環境の持続可能性に関する自然科学・社会科学を統合した地球システム科学を推進するイニシアティブである「Future Earth」を提唱している。同時に、平成22年に設立されたベルモント・フォーラム（Belmont Forum：各国の政府・研究資金配分機関による地球環境変動研究に関する会合）においても、気候変動等の負の環境変化やそれに伴い発生する極端現象を緩和し、それに適応するために社会が必要とする科学的知見を提供するため、地球環境の持続性に必要な連携と援助の強化や、研究者・政策決定者・社会の対話の促進、自然科学と人文社会分野の連携等が提案されており、持続的社会の構築に向けた、社会実装を念頭においた地球環境研究の必要性が高まっている。

平成17年の第3回地球観測サミットにおいて策定された「全球地球観測システム（GEOSS）10年実施計画」についても、平成22年11月に北京でGEOSSの閣僚会合が開催される等、その折り返し点を迎え、観測システムの統合に向けた取り組みが加速し、地球観測データが災害、エネルギー、気候、生態系、生物

多様性、水、気象、健康及び農業等の様々な分野で生かされ、それらの分野の横断的連携も進捗している。

また、本年 6 月には、国連持続可能な開発会議（リオ+20）が、①持続可能な開発及び貧困根絶の文脈におけるグリーン経済、②持続可能な開発のための制度的枠組みをテーマとしてリオデジャネイロで開催され、その成果文書においても気候変動が取り上げられるとともに、地球観測や科学データの重要性について言及されている。

#### 【各国の政策について】

米国では、気候変動等の地球環境問題解決を支援する世界的な潮流に対し、オバマ大統領は、2008 年の大統領就任直後に経済政策の一つとしてグリーン・ニューディール政策を掲げ、エネルギーの研究開発方針として「化石から非化石への転換」、「エネルギーのクリーン化」を打ち出した。2012 年度の大統領予算教書において、グリーンイノベーションを実現していく仕組みとして「三つの研究イニシアチブ」（エネルギーフロンティア研究センター、エネルギー高等研究計画局、エネルギーイノベーション・ハブ）を新たに立ち上げ、クリーンエネルギー及び再生可能エネルギーの研究開発予算を大幅に増額することとしている。

英国では、2008 年 10 月にエネルギー政策と温暖化政策を包括的に行うエネルギー・気候変動省が設立され、同年 11 月には、法的拘束力のある数値目標（2050 年に 80%削減）を設定した「気候変動法」が制定された。そして、気候変動法の数値目標や、EU・国際社会において気候変動に向けて設定された目標を達成するため、2009 年 7 月には低炭素社会への移行に向けた包括的な戦略を定めた「英国低炭素移行計画」や、再生可能エネルギーの普及のための具体的な施策を示した「再生可能エネルギー戦略」などを発表した。また、2010 年 4 月に発効した「2010 年エネルギー法(Energy Act 2010)」では、英国内で二酸化炭素回収・貯留(CCS)の実証プロジェクトを推進する制度が導入されている。

欧州では、2010 年 6 月に採択された新戦略目標「欧州 2020」の中で、2020 年に向けた温室効果ガス排出削減の数値目標として、「温室効果ガス排出量の 20%削減(1990 年比)」、「最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率を 20%に増加」、「エネルギー効率の 20%向上」を掲げている。同年 11 月にはエネルギー政策のための新戦略である「Energy 2020」を発表し、目標達成に向けての今後 10 年間でのエネルギー分野での優先課題と、課題に対処するために取るべき行動について定めている。

### 【国際的研究開発動向について】

持続的成長が可能で、低炭素型社会に向けた方策として、再生可能エネルギーの活用が注目されている。平成 22 年 11 月に国際エネルギー機関（IEA）が発表した世界エネルギーアウトック 2010 年版では、「持続可能な世界に向かうためには、再生可能エネルギーが中心的な役割を果たさなければならない」としている。平成 23 年 5 月に IPCC が発表した再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書（SRREN）では、再生可能エネルギーは持続可能な社会の発展と経済成長に貢献し、エネルギー供給の安定に貢献しうることを指摘している。

再生可能エネルギーの研究開発については、各国の手厚い政策支援をベースに急速に導入量が増加しており、特に太陽電池、風力発電、バイオ燃料については対前年比数十%という急速な拡大が続いている。このように再生可能エネルギーは巨大な産業に成長しており、研究開発も政府が支援する基礎基盤研究に加えて、激しいコスト競争を意識した開発段階になっている。これに伴い、政府の支援する研究開発においては、次世代の革新技術の開発とともに、スマートグリッド<sup>1</sup>など、再生可能エネルギーの大量導入、コストの飛躍的低減につながるインフラ開発の重要性が高まっている。

また、IEA の「エネルギー技術展望 2010」（ETP2010）では、2050 年に 2005 年比で 50%のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> の削減を目標とするブルーマップ・シナリオが掲載されているが、この分析によると、再生可能エネルギーに加え、①エンドユースの燃料と電気利用の効率化②化石燃料による発電への二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術の活用がエネルギー起源 CO<sub>2</sub> の大幅削減に重要な役割を持つことが示されている。

エネルギー効率の向上については、日本は高効率家電を中心に質・量ともに世界最高水準にある。一方、米国においては、オバマ政権以降、研究開発が急速に進んでおり、多くの国立研究所、大学で水準の高い研究開発が進んでいる。欧州では、2020 年までに全ての新建築物をゼロ・エネルギー建物<sup>2</sup>にすることを定めた新たな指令を欧州議会が 2010 年に制定したことを受け、建築物の省エネルギー化に関する研究開発が活発に行われている。また、CCS 技術については、CCS 技術を組み込んだ石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・商用化が有望視されており、アメリカと EU が日本より先行していたが、日本においても 250MW の

---

<sup>1</sup> 「スマートグリッド」：ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）を用いて電力供給者と需要家との間の情報交換により、よりスマートに運用する電力システム。

<sup>2</sup> 「ゼロ・エネルギー建物」：照明、冷暖房、給湯、空調等、当該建物に必要なエネルギー量がゼロ又はきわめて僅かな量であり、その大部分が再生可能エネルギーによって賄われる建築物。

実証機を開発するなど、日本の IGCC 技術も着実に進んできている。  
今後、これらの分野における競争が国際的に激化していくことが予想されることから、我が国の産学官の研究体制の強化が求められる。

## 2. 我が国の動向と文部科学省の取組

前述のように、IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) では、「20 世紀半ば以降に観測された世界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増加によってもたらされた可能性が非常に高い」とされるなど、気候変動と温室効果ガスに関する科学的な評価が定まりつつあるとともに、平成 21 年 9 月の国連気候変動首脳会合において鳩山首相 (当時) が、「すべての主要国の参加による意欲的な目標の合意」を前提に「1990 年比で 2020 年までに 25%削減する」という温室効果ガス削減の中期目標を提唱するなど、気候変動問題の克服は政府の重要政策課題の一つと位置付けられるようになった。

また、同年末に示された「新成長戦略 (基本方針)」においても、強みを活かす成長分野の一つとして「グリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」が示されており、我が国の環境・エネルギー分野での強みを活かした成長を強力に推進するという方針が打ち出された。

こうした流れを受け、2010 年 3 月には、温室効果ガスの排出量について、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的な枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として、2020 年までに 90 年比で 25%削減、2050 年までに 90 年比で 80%を削減するとの数値目標を盛り込んだ地球温暖化対策基本法案が閣議決定された。同年 6 月には「エネルギー基本計画」の第二次改定が行われ、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> を 2030 年までに 90 年比 30%の削減を目標とし、2020 年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合について 10%を達成することなどが盛り込まれている。さらに、同年 12 月には、温室効果ガスの 2050 年での 90 年比 80%削減目標の達成するための対策・施策の具体的姿をまとめた「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ」(環境省)、バイオマスの新たな有効利用技術の開発、バイオマスの収集・運搬から加工・利用までを総合的に捉えた技術体系の確立、バイオマス生産効率の優れた藻類など将来的な利用が期待される新たなバイオマス資源の創出を推進すること等を盛り込んだ「バイオマス活用推進基本計画」(閣議決定) が取りまとめられるなど、政府全体の環境・エネルギー分野の取り組みが大幅に加速している状況である。

こうした背景に加え、環境問題を議論するに当たり、地球観測やそれらのデータに基づいた気候変動予測等の適応策の推進に加え、エネルギー分野の科学技術の重要性の高まりを受け、平成 22 年 4 月、文部科学省に新たに環境エネルギー課が設置された。環境科学技術及びエネルギー科学技術を一体的に推進し、

気候変動問題やエネルギー問題といった地球規模の課題解決に貢献することが求められている。

今後の環境・エネルギー科学技術分野の推進に関しては、地球温暖化問題に対する、社会の復元力（レジリアンス）の向上・強化に資する研究開発を行っていくことが必要であり、これまで取り組んできた、地球環境の観測や、そのデータを活用した気候変動予測・影響評価を行い、これらを、災害、生態系、生物多様性、農業、水資源、健康等の分野で積極的に生かしていくことが重要となっている。また、経済産業省等の関係省庁と連携し、大学を中心に、基礎基盤的なものや、実用化に至るまでに明らかになった問題についての基礎への立ち返り研究に取り組んでいく。特に、これまで取り組まれてきていない、太陽光発電、蓄電池、燃料電池といったエネルギー技術等に関する先端的・革新的分野や、基礎的・基盤的分野についての研究開発を進めていくことが必要である。

さらにこれらの成果を国際的な取り組みを通して、世界に広めていくとともに、環境・エネルギー分野に携わる人材の育成を推進することも重要である。

環境エネルギー課では、これまで海洋地球課地球・環境科学技術推進室で行われてきた地球観測及び気候変動予測に関する研究開発やデータ統合・解析に関わる研究開発など気候変動をはじめとした「地球規模課題への対応に資する研究開発」に加え、革新的な太陽光発電、蓄電池やバイオマス利用技術などの再生可能エネルギーの利用促進及び二酸化炭素の排出削減を目指す「気候変動緩和のための研究開発」、低炭素社会を実現するための「社会シナリオ」研究、「新技術の実証」、「国際協力」、「人材育成」などの各種プログラムを実施している。

「気候変動への対応に資する研究開発」としては、これまで地球シミュレータを活用した中長期の気候変動を予測するための研究開発に取り組んできた。その研究成果は、国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書に活用されており、この功績も含め、人間の活動によって引き起こされる気候変動の問題を知らしめその対応策の土台を築いたことが評価された。このことは、IPCCがノーベル平和賞を受賞したことにも表れている。今後更なる気候変動予測への取り組みが期待されている。その後継の取り組みとして、平成19年度から平成23年度までの5年計画で「21世紀気候変動予測革新プログラム」において、近未来及び中長期の気候変動予測と極端気象現象に関する研究開発が行われ、IPCC第5次評価報告書への貢献が図られている。

また、IPCC第4次評価報告書に活用された地球規模の気候変動予測研究の成果は、我が国の自治体関係者等の関心を集め、自治体規模での詳細な気候変動の予測と気候変動による影響に関する情報提供が求められるようになった。地

球規模の気候変動予測を活用して、都道府県・市区町村規模での気候変動影響評価を進めるためには、精細な情報に変換するための研究開発の推進が必要とされた。そのため平成 22 年度より「気候変動適応研究推進プログラム」が開始し、地域レベルでの気候変動影響評価の研究開発が進められている。

さらに、地球観測衛星や船舶・ブイなどによる地球観測データや社会・経済データ等との統合・解析によって創出される情報は、地球規模課題の解決には不可欠である。平成 18 年度から開始した国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」で開発されたデータ統合・解析システムは、多種多様で大容量の観測・予測データの統合解析を可能とした。平成 23 年度からは、そのデータ統合・解析システムの高度化・拡張及びその長期的運用の確立を目指した「地球環境情報統融合プログラム」を実施している。今後は、次世代スーパーコンピュータ「京」の活用も検討していく。

今後さらに、気候変動に関する生起確率や精密な影響評価の技術を確立し、気候変動リスクマネジメントの基盤的情報の創出が必要であり、そのための新たな気候変動予測研究に着手することが重要である。

「気候変動緩和に資する研究開発」としては、従来技術の延長線上にない、新原理探求とその応用などの挑戦的な研究開発を推進し、低炭素化技術のブレークスルーの実現や既存の概念を大転換する『ゲームチェンジング・テクノロジー』を創出する J S T 戦略的創造研究推進事業「先端的低炭素化技術開発」が平成 22 年度より実施されている。また、温室効果ガスの排出削減を飛躍的に向上させる可能性のある革新的な技術には、植物の機能に対する期待も高い。植物科学研究（遺伝子、光合成能）における知見を活かし、バイオマスの生産性向上を図るほか、分解技術の高度化、バイオマスを原料とした化成品材料等の製造プロセスの革新によるエネルギー利用の効率化を図る取組などを進めている。

気候変動の緩和や適応に資する研究開発と並行して、これら研究開発成果を活用するとともに、持続的な経済成長を進めるため、平成 22 年度より J S T 低炭素社会戦略センターにおいて「低炭素社会づくりのための社会シナリオ研究」を進めている。

### 3. 第 4 期科学技術基本計画におけるグリーンイノベーションの推進

平成 23 年 8 月 19 日、政府全体の科学技術の基本方針を示す第 4 期科学技術基本計画が閣議決定された。本計画では、我が国や世界が直面する課題への対応に向けた取り組みを進めるため、科学技術政策と関連するイノベーション政策を一体的に推進する「科学技術イノベーション政策」を展開することとしている。

また、本計画は、平成 22 年 6 月に策定された「新成長戦略」に示された方針を、科学技術及びイノベーションの観点から深化・具体化を図るものと位置付けられており、新成長戦略の「環境・エネルギー大国戦略」及び「健康大国戦略」に対応して、「グリーンイノベーションの推進」及び「ライフイノベーションの推進」を「我が国の成長と社会の発展を実現するための主要な柱」として科学技術イノベーション政策を強力に推進するとしている。

さらに、東日本大震災によって我が国のエネルギーシステムの脆弱性が露わとなったが、脆弱性を克服し、低炭素社会の実現を目指しつつ、エネルギーを安定的に供給、確保していくためには、革新的な再生可能エネルギーの開発と普及の拡大、分散エネルギーシステムの構築等が求められている。

また、これらの取組は、世界に先駆けた環境・エネルギー先進国を実現し、新たな技術の国内外への普及、展開を強力に推進することで我が国の持続的な成長の実現にもつながるものである。

こうした点を踏まえ、基本計画では、グリーンイノベーションの推進について、エネルギーの安定確保と気候変動問題への対応を我が国及び世界が直面する喫緊の課題であると位置付け、長期的に安定的なエネルギー需給構造の構築と世界最先端の低炭素社会の実現により、我が国の持続的な成長を目指すとしており、この目標の実現に向けて、以下に掲げる三つの重要課題を設定し、これに対応した研究開発を重点的に推進することとしている。

- i) 安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現
- ii) エネルギー利用の高効率化及びスマート化
- iii) 社会インフラのグリーン化

環境・エネルギー分野の研究開発の推進方策においては、先述の国際的な動向やこれまでの政府の取り組みを踏まえ、第 4 期科学技術基本計画において設定された上記重要課題を中心にⅡ．以降にて基本的方向性を提示する。

## II. 文部科学省が推進すべき研究開発課題

環境とエネルギーの問題は、国家の存続と国民生活の質に関わるそれぞれが①総合性、②長期性を有しており、かつ、互いに密接不可分である。このため、革新的な要素技術の研究開発に加え、社会科学を含むシステム科学等を総合的に進めるべきである。また、新技術の早期の社会実装を目指した研究開発に加え、基礎科学、技術の多様性を重視した研究開発が必要であり、関係府省と連携しながら、大学・研究機関における様々な分野の研究開発を総合的に進めることが、文部科学省の役割である。

本節では、第4期科学技術基本計画の期間において、文部科学省が推進すべき研究開発課題について述べる。

(各研究開発課題について)

- ※ 低炭素社会や気候変動への適応に貢献する可能性を有する技術課題について、社会実装や大規模な実証を前提とするものではなく、科学技術の観点から、実現に向けた可能性を高めるために研究開発として行うべき課題を幅広く例示するものである。
- ※ 推進すべき研究開発課題は、科学技術の進展に応じて常に変化するものであり、ここに掲げられた課題に限られるものではない。
- ※ 各課題については、実用化段階では当然のことながら、研究開発段階においても、費用対効果等の技術の適正性や社会に及ぼすリスク等を考慮した上で、進められるべきものである。

### 1. 再生可能エネルギーの普及とエネルギー供給の低炭素化に向けた研究開発

我が国は、2020年までに1990年比で25%の温室効果ガスを削減するとの目標達成のため、2009年12月にはグリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国を目指すとする「新成長戦略」の基本方針を閣議決定した。また、平成23年3月11日の東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所の事故は、我が国が抱える資源、エネルギーの制約、安定確保の問題を露呈させたことにより、これを克服し、将来にわたる持続的な成長と社会の発展を実現する国となるようエネルギー基本計画等の見直しも行われることとなっている。

この問題の解決に資する研究開発の推進方策としては、化石燃料と原子力というエネルギーの2本の大きな柱に加えて再生可能エネルギーの供給拡大や基幹エネルギーの低炭素化、省エネルギーの推進に向けた技術の確立が必要である。

G8 ドーヴィル・サミットにおいて、菅内閣総理大臣（当時）が発電電力量に

占める再生可能エネルギーの割合を2020年代のできるだけ早い時期に少なくとも20%を超える水準とすべく技術革新に取り組むことを表明しており、技術面やコスト面などの大きな実用化の壁を打ち破り、再生可能エネルギーを社会の基幹エネルギーにまで高めていくことが、我が国の新たな挑戦的課題として必要である。そのために、再生可能エネルギーを大幅に普及させ、供給安定性（energy security）、環境保全（environment）、経済性（economic efficiency）の3Eを同時達成するエネルギー研究開発体制を構築することは必至となっている。

このような認識の下、経済性やエネルギー収支の観点も考慮しながら再生可能エネルギー供給を飛躍的に拡大させ、エネルギー供給を低炭素化するためには、太陽光、バイオマス、風力、地熱、波力、水力等の多様な再生可能エネルギー源を総動員するべく研究開発を進めなければならない。熱・振動・電磁波など様々な形態で環境中に存在する未利用エネルギーを活用する技術の研究開発も重要である。また、これら再生可能エネルギーの研究開発にあたっては、地域における再生可能エネルギーの賦存量やその地域特有の資源や歴史と風土に配慮したエネルギーシステムの在り方にも留意する必要がある。さらに、二酸化炭素回収・貯留など気候変動への対応技術についても研究を進める必要がある。ジオエンジニアリング（気候工学）<sup>3</sup>については、その有用性やリスクについて意見が分かれる研究開発課題であるが、議論を深める上で、理学・工学・社会科学を含めた多角的アプローチにより、評価を行っていく必要がある。

## 2. 分散エネルギーシステムの革新を目指した研究開発

福島第一原子力発電所の事故により原子力発電に依存したエネルギー供給のあり方について再考を余儀なくされた今日において、電力消費地に隣接して分散配置される小規模な発電に対して、二酸化炭素等の温室効果ガスの削減効果と、より安定的な電力確保の観点からそれらの導入・普及への期待が高まっている。

そのような中、電力インフラと情報通信インフラを融合させることで電力を無駄なく有効利用し、再生可能エネルギーやエコカーを取り込むことで省エネ・低炭素な社会を実現するエネルギー供給システムの研究開発が重要である。

また、地域独占の電力供給体制についても見直しの議論がなされているところであり、このような認識の下、化石燃料に頼らず自立したエネルギー供給を行うことができるエネルギー需給分散化といった研究開発も必要である。

---

<sup>3</sup> 「ジオエンジニアリング（気候工学）」：気候変動の対策として行う意図的な惑星環境の大規模改変。

特に、災害時でも電力を融通できる高効率な燃料電池の開発や、発電が不安定かつ既存の電力会社の送電網への導入が制限される再生可能エネルギーの大量導入のための課題解決に向けた直流送電、蓄電、スマートグリッド等の研究開発を実施することが必要である。

このような認識の下、今後の我が国のエネルギー政策の方向性を見据えつつ、分散エネルギーの革新を目指し、燃料電池や蓄電池等によるエネルギーの変換・蓄積システム、水素、アンモニア等のエネルギーキャリアの製造・輸送・貯蔵システム、超伝導送電技術等による低損失で安定な電力供給システムの開発を進めることが必要である。さらに基幹エネルギーと分散エネルギーの両供給システム及びエネルギー需要システムを総合的に最適制御するスマートグリッド等のエネルギーマネジメントに関する研究開発及び地域特性に応じた自律分散エネルギーシステムの研究開発を促進する必要がある。

### 3. 省エネルギーに資するエネルギー利用の高効率化のための研究開発

低炭素社会の実現に向けては、エネルギー供給側の技術革新のみならず、エネルギー利用の高効率化を目指した革新的な消費低減技術の研究開発が不可欠である。特に我が国の最終エネルギー消費の大半を占める民生（家庭、業務）、運輸、製造部門の低炭素化、省エネルギー化及び送電時のロス低減を目指した研究開発を推進することが重要である。このため、エネルギー利用の更なる効率化技術の確立を目指し、横断型の研究開発による新しいイノベーションの創出を目指す。

具体的には、電子デバイスの超低消費電力化や化学プラントの低温動作化のための触媒を含め、幅広く省エネルギーに関わる材料の開発、民生・運輸・産業を含む全ての分野におけるエネルギー削減につながるナノカーボン材料、パワー半導体、超電導技術等の開発、ナノ構造制御や化学反応制御等の革新技術により反応や精製にかかるエネルギー消費や環境負荷を低減できる画期的な触媒の開発による物質生産プロセスの革新等を進める必要がある。

運輸部門の省エネルギー化、低炭素化の促進に向けては、材料の軽量化といった個別の技術革新に加え、次世代交通システムのように情報科学技術や都市のデザイン、人間行動の把握等の複合的・融合的課題の研究開発を進める必要がある。航空機については、環境性能向上技術は国際競争力に直結する差別化技術であり、タービン冷却技術等によるエンジンの燃料消費低減化、炭素繊維複合材を用いた機体軽量化技術の開発を推進する必要がある。今後、普及拡大が見込まれる電気自動車については、搭載される蓄電池の開発だけでなく、都市のエネルギーシステムの構成要素として把握しマネジメントするための技術

が必要となる。

また、IT機器やデータセンターが急速に普及している今日において、情報通信・処理機器の高効率化が不可欠なものとなっている。このため、超低消費電力デバイス・回路等の開発や、電力当たり処理性能を向上させるシステム技術開発等の推進が必要である。

#### 4. 低炭素社会の実現に向けた社会シナリオ研究と実証研究の推進

地球温暖化の抑制には温室効果ガスの排出を削減することが必要であるが、そのエネルギー消費抑制の取組が我が国の経済成長に深刻な影響を与えるという懸念もある。気候変動の緩和と経済成長が両立する社会の構築を実現するためには、温室効果ガス排出削減の中長期目標を達成している社会の姿を予め描き、その社会の実現に必要な温室効果ガス排出削減技術の研究開発の方向性、妥当性を示すとともに、技術の社会実装を満足度の高い国民生活の実現へと結び付けて実施するための戦略が必要となる。

戦略策定に向けては、今後実施される気候変動緩和策の規模によらず、将来の気候変動のリスクを大きく低減させる対応策も必要である。気候変動緩和と気候変動影響への対応を兼ね備えた低炭素社会の構築が課題となっている。

低炭素社会の実現に向けた具体的な過程を明らかにするためには、低炭素化につながる科学技術を構成するそれぞれの要素技術にまで立ち返って分析し各々の性能やコストなどの予測を行う「定量的技術シナリオ」に関わる研究開発と、低炭素化技術の導入により効果的な経済成長を促す方策を示す「社会・経済シナリオ」に関わる研究開発、更に両シナリオに基づいた、地域レベルや国レベルなど各社会のレベルに応じた社会シナリオ研究を推進し、低炭素社会の実現のためのロードマップを議論し、作成していくことが重要である。

また、低炭素化技術を社会に実装することによって低炭素社会を効率的かつ効果的に実現するためには、開発された技術の実証研究は不可欠である。本研究方策に記述されている研究開発課題についても、これらはいくまでもツールであって、これが実際、実用化されるためには、さらなる社会的、経済的な評価が必要である。技術の実証研究を通じて、技術の改善・改良点を明らかにするばかりではなく、実際に導入した場合の社会的・経済的効果や導入に当たっての課題を抽出することが可能になる。そこで得られる知見は、さらなる技術の発展やより良い低炭素社会の実現に寄与することが期待される。

その際は、地域における再生可能エネルギーの賦存量やその地域特有の資源

に配慮したエネルギーシステムの在り方にも留意する必要がある。

さらに、低炭素社会の構築により社会システムの変革や社会の価値観の転換など身近な生活にまで影響を与えることが考えられる。そのため、倫理的・法的・社会的な課題やリスクへの対処、市民参加の在り方など、科学技術の推進に当たって社会との関係の在り方を検討することが重要であり、個人、機関、集団間で研究分野を超えた情報及び意見の相互交換・合意形成を図るとともに、自然科学のみならず、人文科学や社会科学の視点も取り入れつつ、社会システム・制度改革を一体的に推進することが重要である。

#### 5. 地球規模課題解決のための地球観測、予測、統合解析システムに関連する技術の強化とそれを支える基盤的情報の創出に向けた研究開発の推進

持続的な社会を可能とするとともに、気候変動や東日本大震災で再認識された自然の脅威に対応するために、地域の特性に応じた自然と共生するまちづくりを進めることが必要となる。自然と共生するためには、地球環境の変動を正確に把握し適切に対応することが必要であるため、地球観測・予測、統合解析システム等の技術は社会を支える基盤的情報として位置付けることができる。

気候変動によって、台風の強大化や干ばつの増加等が引き起こされ、自然災害等のリスクが増大することが予測されており、また、今後人類が進む社会経済環境や国際交渉によって、そのリスクの大きさが大きく変化することから、科学的評価により正確に把握することが必要となる。そのため、気候変動に関する生起確率や精密な影響評価の技術を確立し、気候変動をリスクとしてマネジメントする際に必須となる基盤的情報を創出し、自然災害が多発する日本において、自然災害にしなやかに対応し、持続的な成長の実現に貢献する。

気候変動予測の信頼性の向上には、気候変動メカニズムの解明が重要であり、そのために地球環境の詳細な把握と情報提供を積極的に図る必要がある。特に、地球温暖化の原因の大きな部分を占める二酸化炭素等の全球的な分布やその時間変動に関する観測の充実を図り、継続的にデータを取得し様々な観測データの相互利用を図る必要がある。また、古気候や古環境の解明に向けて、深海底掘削や南極の氷床深層掘削によって得られたコアサンプル等を用いた研究、これらのデータによる地球温暖化予測モデルの検証等の自然科学的アプローチや、災害史、生態環境史等の人文科学的アプローチを行う。

気候変動は、地球規模の水循環の変動をもたらすことにより、世界各地にお

いて、水資源、自然災害、生態系、食料生産、人の健康等、様々な社会問題をもたらすことから、気候変動に伴って起こる地球規模の水循環変動を把握し、リスク評価を行うことが求められる。また、風土性や地域性に着目し、都道府県や市町村レベルのリスク評価についても研究していく必要がある。

生物多様性を保全し利用することは、持続可能な社会の発展のために必要不可欠である。生物多様性は、食料、工業材料、医薬品、エネルギー源や、炭素固定・環境浄化機能等、多様な財、サービスを提供しうる。これらを持続的に活用していくためには、革新的な利用技術の研究開発とともに、全球規模から遺伝子レベルに渡る生態系の観測、環境変化と生態系の相互作用評価、変動予測に基づく管理技術の構築が必要である。

なお、未来予測に関わる事柄は不確実性を前提として議論すべきである。これは単に予測の幅の定量化と低減といった技術的な問題を指すだけでなく、現時点の知見では十分に把握できていない未知の要素やメカニズムが存在する可能性に留意することなど、より本質的な不確実性の認識を含む。このことは気候変動に関する研究に限られるものではなく、将来を見通す要素を含む研究の全てに当てはまる。

## 6. その他の研究開発課題について

### 6.1 原子力科学技術について

安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現に向けて、環境・エネルギー領域の重点分野としてこれまで推進が図られてきた原子力分野の研究開発については、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえた見直しが必要となっており、第4期科学技術基本計画にも示されているとおり、今後の我が国のエネルギー政策や原子力政策の方向性を見据えつつ実施することがまずもって必要である。

他方、同計画では原子力に係る安全等に関する研究開発は強化し、また、核融合の研究開発は、エネルギー政策・原子力政策と整合性を図りつつ、その技術の特性や国際約束等を踏まえて推進することとされている。

このため、安全対策の高度化に有用な技術開発や、既存原子力施設の安全性向上のための研究開発等を進めて行くとともに、核融合の研究開発については、今後のエネルギー・原子力政策の議論を踏まえながら、国際社会の要請に応えつつ国として長期的な視点に立って進めて行く必要がある。

なお、放射性物質の除染やモニタリング等については、課題領域③「安全、かつ豊かで質の高い国民生活を守るための研究開発について」に後掲する。

### 6.2 環境・エネルギー領域に関わる横断的な研究課題

前述 1. ～ 5. の個別の研究課題を推進するに当たっては、以下のような各課題に横断的に関わる分野についても、あわせて取り組む必要がある。

#### (1) グリーンイノベーションに資する情報基盤技術の高度化

電池反応や劣化機構メカニズムの解明による太陽光発電、蓄電池、燃料電池の性能向上、高度な気象予測・全球的な長期気候変動予測等に不可欠なシミュレーション技術の高度化を進めるため、ハイパフォーマンス・コンピューティング技術の高度化や、データ同化による実社会情報の取り込みの強化を推進することが重要である。

また、様々な社会活動をこれまで以上に一層高効率な状態に最適化・省エネルギー化していくことも必要である。このためセンシングデバイスによる情報のリアルタイムの集約、コンピューティング技術等を用いたリアルタイムの解析により社会システム全体（エネルギーのみならず水の循環・浄化、ゴミ処理等を含む）を高効率化するための IT 統合システムが必要である。

さらに、環境エネルギー分野においては、地球観測データや気候変動予測データ、社会経済データ等を統合・解析し、社会的・科学的に有用な情報に変換するためのデータ統合・解析システム（D I A S）の構築が進められている。このように、近年、質的・量的に飛躍的に拡大している膨大なデジタル情報（ビッグデータ）について、情報科学技術分野と連携しつつ、異分野の融合と構造化・体系化を進め、知識インフラを構築することにより、新たな知見の創出を図ることが重要である。

#### (2) グリーンイノベーションに向けた研究開発の基盤となるナノテクノロジー・材料科学技術の推進

ナノテクノロジー・材料科学技術は、科学技術の新たな可能性を切り拓き、先導する役割を担うとともに、複数の領域に横断的に用いられ、広範かつ多様な技術分野を支える基盤的な役割を果たしている。特に、低炭素社会の構築をはじめとする環境問題や資源・エネルギーの制約等の問題を克服するためには、ナノテクノロジー・材料科学技術の貢献が強く期待されている。例えば、現在、太陽光発電や蓄電池をはじめとしたエネルギー関連デバイスや、ハイブリッド自動車のモーターに用いられる強力な磁石などの部材には、レアアース等の希少元素が用いられているが、世界的な需要の急増や資源国の輸出管理政策による供給不足に直面している。グリーンイノベーションを推進し、我が国の産業競争力を引き続き強化していくためには、戦略的に資源確保策に取り組むことが重要であることから、低品位資源の活用や資源使用量の低減に資する技術、

比較的豊富に存在する元素や有機材料による代替技術、都市鉱山からの資源回収技術の開発など、希少元素の循環・代替材料創成技術の開発を推進することが重要である。

(3)グリーンイノベーションに向けた研究開発の基盤となる計測分析技術・機器の開発

太陽光発電、蓄電池、燃料電池の飛躍的な性能向上と低コスト化を進めるために必要となる先端的な計測分析技術・機器の開発を推進することが重要である。

### Ⅲ. 研究開発を推進するに当たっての重要事項

#### 1. 分野間の協力による新たな科学的、社会的価値の創造

20世紀までの科学技術は専門分野を深化させてイノベーションに挑戦し、科学的価値とともに、社会的価値を生み出してきた。環境の分野でも、地球規模の観測能力やシミュレーション能力の向上に伴い、地球の各サブシステムにおける理解が進み、予測性能も向上した。しかし、分野を統合して知の創造や社会的価値を生み出すことには疎く、地球の各サブシステム間の相互依存性、地球規模と局所的な関連性、異なる時間スケールの相互作用など、地球及び環境の統合的、包括的な見方をサポートする科学技術や、これらの自然科学的アプローチと社会科学的アプローチの融合の推進は十分ではなかった。エネルギー分野でも、例えば太陽電池の発電効率の大幅な向上には、既存技術の延長線上にない革新的技術を創出することが期待されており、異分野融合を促進し、従来にない発想に基づく研究開発に取り組むことが重要である。

これら分野を超えた協働の推進には、それをサポートする具体的な場の設定がまず必要である。具体的課題を設定して、専門的な用語や論理の展開の特殊性を超えたデータの統合、情報の融合を通して、分野間で協力して問題を解決し、その結果生まれるメリットを共有することの積み重ねによって、科学的、社会的価値の創生に結び付けるデモンストレーションプロジェクトの計画、実行が必要である。

#### 2. 自然科学の各分野間及び人文・社会科学分野との連携

地球環境問題の解決のためには、個別の環境問題に対する対症療法的技術の確立では不十分であり、社会構造や経済活動を含む人間活動と自然の相互作用の解明という視点からの取り組みが必要であり、最終的には経済政策、外交政策、安全保障といった方策を含めて進めることが求められる。また、エネルギーに関連する新たな技術の創出に当たっては、自然科学・工学等の異分野の連携あるいは融合が不可欠だけでなく、事業化を見据えての戦略やエネルギー利用に対する新たな価値観の創生等に関する人文・社会科学的考察が必要であるなど、環境・エネルギー領域の研究開発において自然科学の各分野間及び人文・社会科学分野との連携は不可欠である。例えば蓄電デバイスの開発では、電気化学物性の解明や材料開発、分析・計測技術など自然科学分野の異分野融合が不可欠だけでなく、事業化を見据えて、法務・知財戦略やマーケティング、経営組織分析、行動心理など社会科学の知見も活用し、学際的な体制で新たな産業やビジネスの在り方といった将来展望、出口戦略まで視野に入れることが望まれる。

環境・エネルギーに関する政策では、個別の科学あるいは技術の向上のみならず、我々を取り巻く社会経済活動の変革をもたらすことが求められる。このため、自然科学と経済社会システム変革の相互関係、環境・エネルギー技術の社会的受容性及びその実効性、その導入に関しての利害調整、リスクコミュニケーション及びそれを踏まえた国民的合意形成、科学技術面からの外交政策など、人文・社会科学領域との連携・融合が図られる必要がある。

個々の科学技術が、社会全体としてどう生かされるのか、また、国民からの要請がどう科学技術の研究課題として反映されるのかなどについて、自然科学、社会科学、人文科学の各分野の研究者間で議論されることが、自然科学と人文・社会科学の連携を進め、真に国民に必要とされる環境・エネルギー技術の研究開発を推進することを可能とする。

### 3. 産学官連携及び関係機関間の連携

環境分野の研究開発は、気候、物質循環、生態系等の対象面、観測、評価・分析、理解、予測、対策・利用などの研究開発内容面、さらには成果の活用面でも多岐にわたる。また、エネルギー分野の研究開発についても、太陽電池の効率や蓄電池の容量の大幅な向上に向けた材料研究、新規構造の研究開発、スマートグリッド等のエネルギーマネジメント技術、バイオマス利活用技術、大規模洋上風力等、対象は極めて多岐にわたり、その推進には、産学官の連携、関係省庁間の連携が不可欠である。例えば、センシング・モニタリングツール、環境保全・修復技術、環境低負荷産業技術、利用技術の研究開発には、研究開発者であると同時に成果の利用者でもある農林水産等の一次産業、電子・情報・電機・バイオ等の二次産業、サービス等の三次産業の関係者の積極的参画が不可欠である。また、気象・海象や生態系の研究開発の成果は、農林水産業をはじめとして、化学工業、薬品産業、運輸業、商業などの多様な産業に活用される必要がある。

このような連携関係の構築のために、基礎研究を担当する文部科学省と、具体的政策・実施を担当する多くの関係省庁とが、分担・連携し、研究開発とその成果の活用が円滑に推進されることが重要である。また、出口を見据えた課題達成型の研究開発を国の事業として進めるに当たっては、例えば、事業を研究従事者に委ねるだけでなく、複数の関係者によって進捗を管理・運営しながら、必要に応じて軌道修正を図るといった、成果を創出するためのマネジメント上の工夫が重要である。

### 4. 科学技術と環境・エネルギー政策の一体的推進

環境・エネルギー政策の遂行は、科学観測によるリスクの認識、プロセス研

究に基づくリスクの将来予測、リスク回避のための技術的、制度的手段の適用に基盤を置いており、さらには社会・市民の行動が鍵を握っている。環境分野の科学技術は、社会の要請に応えるものであり、研究成果が政策に反映されることにより評価されるべきである。しかしながら、これまでは、政策決定における研究成果の活用が十分に行われていないのではないかと指摘がなされている。今後は、研究成果が政策に適切に反映されるよう、政策側は科学技術に何を求めているかを明確化すること（意思決定に必要な知見や政策形成に重要な研究課題の提示等）、また、研究機関側も政策の判断を助ける客観的な科学的知見や方法論を積極的に提供することが不可欠である。そのためにも、政策及び社会的ニーズを研究活動に反映させるとともに、研究者の知見や研究成果を政策に的確にフィードバックさせるための相互情報交換システムとなる場の形成と活用を進める必要がある。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の活動への参画やミレニアム・生態系評価等の各国政府にアドバイスを提供することを目的とした国際評価活動に積極的に参加すべきである。

#### 5. 環境・エネルギー分野の人材育成

グリーンイノベーションを強力に推進するためには、Ⅱ. に掲げる研究開発課題の推進とともに、その担い手である人材の育成も「車の両輪」として強化していかなければならない。特に、天然資源に乏しく、また今後も人口減少が見込まれる我が国が、持続可能で自律的な成長を実現するためには、気候変動問題やエネルギー制約など、我が国のみならず世界共通の課題の解決に世界に先駆けて貢献し、イノベーションの創出を担い、事業化を見据えた活動ができる優れた人材を、絶え間なく育成していかなければならない。特に環境・エネルギー分野においては、前述したとおり、異分野連携の促進が極めて重要であることから、専門分野を深めるだけでなく、積極的に異分野と協働し、課題を解決できる人材が求められる。

そのためには、中長期的な視野に立った戦略的な取り組みを進めるとともに、関係する分野が多い環境・エネルギー分野においては特に、研究者の学際的な連携を促進し、特に国際的に開かれた人材育成環境を構築し、国際的な人材交流を活性化することにより、社会の多様な要請に応え、広く産学官・市民にわたりグローバルかつ分野横断的に活躍するリーダーを育成することが必要である。さらに、育成された人材の積極的な活用についても十分検討するべきである。

また、環境・エネルギーの問題は、広く国民がその重要性を認識し、一定程度の基礎知識を備えた上で、解決に向けて取り組むべき国民的課題である。このため、環境・エネルギー分野に関わる研究者は、研究の担い手の育成のみなら

ず、科学技術コミュニケーションの重要性を認識し、社会一般の環境・エネルギーに関するリテラシーの向上に努めることが必要である。

## 6. 国際的な取組の推進

我が国が地球規模の問題解決において先導的な役割を担い、世界の中で確たる地位を維持するため、国際協調及び協力の観点からも、研究開発を戦略的に進めていかなければならない。我が国は、これまでの経済成長の中で、公害問題やオイルショックなどの様々な経験を経て、高度な環境技術やエネルギー技術、及びそれに関する政策を修得してきた。これらを他の先進国も含めた世界各国に展開し、地球規模の環境・エネルギー分野の課題の克服に貢献していくことは、我が国の責務である。我が国の科学技術を活かして、国際的な課題を克服する研究開発を推進し、国際的な科学技術協力を通じて、特に、アジア・アフリカ諸国等との相互信頼、相互利益の関係を構築していく必要がある。その実現手段の一つとして、地球規模課題解決のために日本と開発途上国の研究者が共同で研究を行う「地球規模課題対応国際科学技術協力（SATREPS）」が、独立行政法人科学技術振興機構（JST）と独立行政法人国際協力機構（JICA）の共同で実施されている。SATREPS は科学技術水準の向上と国際協力の強化のみならず、開発途上国の自立的な研究開発能力の向上と課題解決に資する持続的活動体制の構築、また地球の未来を担う日本と途上国の人材育成とネットワークの形成を目的として、アジア・アフリカ地域の国々を中心に、現在 60 のプログラムが実施中である。

また、我が国は、これまでも IPCC や全球地球観測システム（GEOSS）等の国際的な枠組・活動において、我が国の科学技術を活かした積極的な貢献を果たしてきた。本年 6 月には 1992 年の地球サミットから 20 周年を迎える機会に「国連持続可能な開発会議（リオ+20）」が開催され、持続可能な開発に関するこれまでの進展や今後の課題について議論されたが、気候変動や地球観測分野におけるこれまでの我が国の貢献にとどまらず、引き続きこれらの活動を推進し、国際社会の中で主導的な役割を維持していくことが必要である

## 7. 研究成果の実用化に随伴するリスク情報の提示とリスクに配慮した研究開発の実施

研究開発によって新たに生み出された科学的知見が、必ずしも有用な技術にばかり結びつくものではなく、安全や健康、環境への影響など一定のリスクをもたらす可能性についても配慮が必要である。例えば、ナノテクノロジー・材料科学技術によって得られた新規物質が、健康や環境への影響をどの程度もたらすかについては、これまでも評価が行われてきているが、不明な点も多く残

されている。また、今後、スマートグリッド等の情報科学技術に支えられた社会インフラの構築が進むに連れて、不正アクセスやシステム障害等のトラブルの発生により、社会に広範な影響が生じる可能性がある。

そのため環境・エネルギー領域の科学技術を推進するに当たっては、その成果の有用性を強調するだけでなく、不確実性を含めたリスク情報についても積極的に社会に提供することが求められる。特に、環境・健康・安全面（EHS : Environment, Health and Safety）の課題や、倫理的・法的・社会的問題（ELSI : Ethical, Legal and Social Issues）についても一定割合の資源を投入して取り組むことが必要である。