

研究計画・評価分科会
各委員会の推進方策

ライフサイエンス委員会

「新たなライフサイエンス研究の構築と展開」

－第4期科学技術基本計画におけるライフサイエンス研究の基本的方向－ (中間とりまとめ)(平成21年12月7日ライフサイエンス委員会)(抄)

I. 現状認識

(社会・国民のニーズや期待)

○ライフサイエンス研究は、国民の健康長寿や低炭素社会の実現、新興・再興感染症への対応、食の安全の確保等の国民の安全確保に資するとともに、また、食料自給率向上や医薬品・医療機器等の産業競争力強化、新産業創出を図る上で重要な科学技術として、そのニーズや期待は高まっている。

II. 新たなライフサイエンス研究の構築と展開

1 今後のライフサイエンス研究の基本的方向

- ライフサイエンス研究の目標は、
- ①生命現象の包括的・統合的理解〔学術的な意義〕
 - ②健康長寿社会の実現に資する医学・医療・福祉の発展〔社会への貢献〕
 - ③地球規模課題（地球温暖化・気候変動問題、資源・エネルギー問題など）の解決を先導する科学（環境、農業、生物多様性など）の発展〔社会への貢献〕の3本柱と総括できる。
- ライフサイエンス研究の中長期的な学術的展望としては、「遺伝子（ゲノムDNA）→RNA、タンパク質等→細胞→個体→生命」の理解といった個体としての生命現象の解明を目指した研究から、「精神（こころ）」や「地球生態系」の理解などを目指した、より高次かつ統合的な研究へと進んでいくものと考えられる。このような研究の方向等を踏まえて、ライフサイエンス研究は、人文・社会科学の分野も含めた学際的・統合的な生命科学（「総合生命科学」）として研究を構築・発展させていくことが求められる。
- ライフサイエンス研究を国として推進するにあたっては、「重厚な人材育成」、「世界最高水準のライフサイエンス基盤の整備・活用」、「国際的な連携体制の構築」、「科学の成果の社会還元への取組」の4点をその基本的方針とすべきである。

2 研究基盤

- 今後のライフサイエンス研究の重要な知的基盤として、
- ①バイオリソース（生物遺伝資源等の研究用材料）
 - ②ライフサイエンス統合データベース
 - ③最先端計測・分析設備基盤
 - ④創薬・医療技術支援基盤
- の整備が重要である。
- 第4期科学技術基本計画においては、これまで整備してきた知的基盤の一層の質的充実とともに、国内のみならず国際的に貢献できる提供・活用体制を整備していく

べきである。このため、ライフサイエンス研究の立場からは「2020年までに世界に貢献するライフサイエンス基盤の質的充実及び提供・活用体制の整備」といった目標を掲げ、国際的な優位性、標準化等に関する戦略性を十分考慮した計画を新たに策定し、同計画のもとで知的基盤の更なる充実を図る必要がある。

3 研究環境・体制

○世界のライフサイエンス研究が熾烈な競争を繰り広げている現在、我が国は、自らの優位性、国内の競争と協調を重視しながら、グローバルな視点で国際競争力のある研究推進体制を構築しなければならない。このため、大学、大学共同利用機関及び理化学研究所等との間で、様々なレベルでの有機的な研究連携を構築していかなければならない。また、理化学研究所の研究基盤等と大学や大学共同利用機関の教育研究ポテンシャルを一体的に活用した人材育成の場の設置も検討していくべきである。

○橋渡し研究・臨床研究の推進については、これに従事する人材の確保を進め、また臨床現場における医薬品等の開発に対するインセンティブ向上を図るとともに、開発早期からの開発戦略策定や実用化に向けた産学連携等を強力に進めていくことが重要である。

新規性の高い革新的医薬品・医療機器の開発段階における規制側の課題については、研究機関の有する安全性・有効性に関する科学的データを、開発と並行して、規制当局に提供していくことにより、規制側の安全性・有効性評価に関する科学的実証データを充実させ、審査システムへ貢献していくことが必要である。

ベンチャー企業に関しては、今後、民間資金がハイリスク研究へ供給されるような投資環境の改善や、ベンチャー企業の積極的参加による産学間の技術移転を進める中期的視野を持った支援施策の充実など関係府省等は具体的施策を講じていくことが必要である。

○地球生態系の保全、低炭素社会の実現に向けたグリーンテクノロジーなどを推進する研究環境や体制を強化していく必要がある。例えば、GMOの研究やゲノム育種など遺伝子操作等の技術に対する国民理解の増進が重要となっている。また、研究面の体制に関しては、関係府省の連携を図り、基礎研究から実用化を目指した研究への橋渡しを強化していくことが重要である。

○上述のほか、研究開発早期からの国際的な知的財産戦略の構築と広くイノベーションが創出される環境の醸成、ライフサイエンス研究の進捗に応じた倫理基準の整備、多様な資金源によるライフサイエンス研究の振興、科学技術ステークホルダーの一層の成熟化と機能分化等が重要である。

4 ライフサイエンス研究の展開

○今後の重要研究課題については、社会・国民のニーズや期待をもとに、ライフサイエンス研究の目標を踏まえて、重要な政策課題とこれに対応するライフサイエンス研究の例を、別添のとおりとりまとめた。また、別添に掲げた研究のなかでも、今

後のライフサイエンス研究の方向や新たな潮流等に鑑みて、国を挙げて新たに取り組むべき戦略研究プロジェクトを以下のとおり具体化した。

(1) 生命の統合的理解：「生命動態システム科学研究（仮称）」の推進

(2) 健康長寿社会の実現：「個人」に着目した医療の実現に向けた研究強化

－大規模疫学研究体制の構築－

(3) 地球規模課題の解決：低炭素社会の実現に資する生物利用研究の推進

○今後の重要研究課題に対応して、国として重層な科学技術基盤を有しつつ、ライフサイエンス研究を進めていくため、研究領域や特性に応じて、研究や基盤整備の予算を相補的かつ並行的に措置していくことが重要である。大学等や研究開発法人の基盤的な経費（運営費交付金等）の確実な措置は、教育・研究の基礎体力を確保する上で何よりも重要である。

(1) 生命の統合的理解：「生命動態システム科学研究（仮称）」の推進

我が国の数学、物理学、情報・計算科学に関するレベルは高く、これまでの優れた知見の集積は、幅広いライフサイエンス研究への相乗効果が期待できる。現に、ライフサイエンスと情報科学の融合は、疾患の原因遺伝子の同定など社会的意義も高い貢献をしている。今後「生命を動的システムとして理解し、操作するライフサイエンス」を推進することで、例えば、最も複雑な動的システムである脳の作動原理の解明という根本的問題に迫る一方、新しい治療法の有効性・安全性の予測や創薬、人工臓器の設計、炎症制御、再生医療の開発などの画期的な発展にも応用が期待できる。このため、日本学術会議では「このような生命科学の新たな潮流は 21 世紀の科学全体に大きな影響を与えるものと推定され、わが国においても生命科学と数理計算科学の融合による新たな生命科学領域の創出に早急に取り組む必要がある」¹としている。

新たなライフサイエンス研究の潮流を研究領域として育てていくためには、第一に、研究者コミュニティによる、研究内容の多様性に十分留意した検討、具体化が欠かせない。それを踏まえて、国は、我が国の優位性を活かした国全体での研究推進体制を構築・支援していく必要がある。具体的には生命動態システム科学研究(仮称)への研究投資に加え、これらの研究の基盤となる計測・分析技術を集中的に開発・提供する拠点の整備が挙げられる。また、当該研究を推進していくためには、新しい研究領域を担う若手人材の育成が必要であり、例えば、課程の人材養成目的に沿って拠点と一体的に連携した大学院博士課程の設置検討を期待したい。

(2) 健康長寿社会の実現：「個人」に着目した医療の実現に向けた研究強化

－大規模疫学研究体制の構築－

今後、オーダーメイド医療や予防医学などの「個人」に着目した医療の実現を進めていくためには、国民の健康状態を長期に追跡調査し、生活習慣、生活環境等の影響、個人の遺伝的素因等の総合的な疫学調査の実施が必要不可欠である。これらの疫学情報にゲノム、バイオマーカー等の生体情報を加えた前向きコホート研究²を行うことで、

¹ 今後のライフサイエンス・ヘルスサイエンスのグランドデザイン（平成 20 年 8 月日本学術会議） 2 頁より抜粋

² 多数の健康な人を対象に食生活や生活習慣など疾病の原因となる可能性のある要因を調査した上で、その集団を追跡調査して病気に

生命現象と疾患のメカニズム解明だけでなく、疾患の罹患や医薬品の副作用に対するリスク、あるいは食品の健康に対する影響の評価・予測が可能となる。このような疫学研究は、疫学や統計学の専門的知識に基づいて大規模かつ長期の調査としてデータを蓄積していく必要があり、総合科学技術会議のリーダーシップのもとで関係府省が連携し、実効的かつ安定的な体制を構築していくことが必要である。その際、これまで各研究機関等で実施された貴重な疫学研究のデータや試料の散逸を防ぐとともに、これを有効に活用できるよう留意すべきである。

また、創薬研究についても、新たな技術により大きく変革することが期待される。例えば、遺伝子解析による創薬ターゲットの探索と iPS 細胞を活用した薬効スクリーニング、PET等の分子イメージング手法などを組み合わせて用いることにより、探索から安全性の評価までヒトの系を用いて検証ができる可能性がある。このような創薬研究全体への中長期的な波及効果も十分に考慮していく必要がある。

(3) 地球規模課題の解決：低炭素社会の実現に資する生物利用研究の推進

現在、低炭素社会の実現に向けた革新的な環境・エネルギー技術開発の重要性が飛躍的に高まっており、これに向けたライフサイエンス研究からの貢献を強化していくことが求められている。具体的には、環境保全と修復に資する生態系の理解、高い光合成能や生産効率を上げるための悪環境抵抗性をもつ植物の作出研究、食料資源との競合を避けるバイオマスの利活用を促進する技術開発などを、現状の課題や我が国の優位性・発展性等を整理した上で、総合的かつ戦略的に取り組んでいくことが重要である。

今後の重要政策課題とこれに対応するライフサイエンス研究

別添

【ライフサイエンス研究の目標】

【重要政策課題】

【対応するライフサイエンス研究の例】

生命現象の
包括的・統合的理解
[学術的な意義]

健康長寿社会の実現
に資する医学・医療・福祉
の発展
[社会への貢献]

地球規模課題の解決
を先導する科学の発展
[社会への貢献]

＜生命の統合的理解＞

生命プログラムの解明と再構築（生命動態システム科学（仮称））
人間の心理・行動の理解（脳科学等）
生体の統合的な制御機能の解明（免疫研究等）
生命の起源と多様化原理の解明
新興学問領域の創設

＜健康長寿社会の実現
（医療・福祉等への対応）＞

がん対策研究
難病対策研究
慢性疾患の克服（炎症・代謝研究等）
再生医療の実用化研究（機能回復支援）
こころの健康の向上（精神・神経疾患研究等）
食料対策研究

＜新興・再興感染症対策＞
感染症予防研究

＜地球温暖化・気候変動対策＞

環境影響の評価研究
食料・水資源対策研究（植物科学・バイオマス研究等）

＜資源・エネルギーの需要増加への対応＞

エネルギー源対策研究
省エネルギー対策研究
再生可能エネルギー開発研究
物質生産効率の向上

＜新興・再興感染症対策＞

病原体対策研究
パンデミック対策研究

・ 大規模生物データの集積と数理科学の応用による生命活動の再構成と動作機構の解明研究
・ 合成生物学研究等を用いた生命の起源と多様化原理、適応制御の解明研究
・ 人間の多様性に基づく生命プログラムの普遍性・特殊性に関する研究
・ 人間の心理・行動の計測、モデル化、予測を可能にする研究
・ 音声・言語によるコミュニケーションと脳機能の相互作用研究
・ 自然科学と人文・社会科学の連携による「脳とこころ」の融合研究
・ 器官形成プログラム等の解明

・ 身体機能の移植・補綴・再生に資する医科学研究
・ がん及び循環器疾患の発症機構解明と治療・診断、予防技術の開発研究
・ 長期発症コホート研究（疫学研究）と個人医療実現に資するゲノム科学研究
・ 生体の恒常性維持と破綻に関する研究（加齢の観点からなど）
・ 幹細胞研究（標準化・複製効率向上、分化制御等）
・ 自殺対策、発達・学習障害の克服に資するこころの健康の診断・予防研究
・ 構神神経疾患の発症・病態解明研究
・ 多様な生物医学情報（医療・健康・福祉と循環させるトランスレシヨナル・インフォマティクス研究（医学の知見に基づく生体・人間を含む社会などの制御・予測研究）
・ 環境変動対応、持続可能、高生産性、高機能性等を有する食料・食品生産技術に資する生物学研究
・ 新型ワクチン開発等を可能にする感染症研究や免疫の記憶機構の解明研究

・ 微生物や植物を活用した環境の保全と修復に資するエコシステム・生物利用研究
・ 水資源の浄化、再利用を可能にする生物利用研究
・ CO2固定と資源への利用に資するバイオマス利用研究
・ 多様な生物資源（非食用植物や微生物等）の活用による持続的かつ低環境負荷型の物質生産システム研究
・ 脱石油社会実現に向けたグリーンケミカルの発展に資するバイオマス研究
・ エネルギー生産・増産のための改変光合成植物、微生物開発を可能にするシステム生物学研究
・ 重大感染症を含む各種感染症の予防（ウイルス媒介（拡散）制御等）、治療、検査手法開発に資する医学研究

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

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、水や大気の汚染拡大、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) エネルギー利用の高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技術の開発
- ・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旨とした研究開発

- ・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高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向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・器械の開発等

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
 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
I. 環境・エネルギー問題に関する動向.....	1
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
II. 文部科学省が推進すべき研究開発課題.....	10
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
III. 研究開発を推進するに当たっての重要事項.....	18
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組を推進するため、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、更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など、その折り返し点を迎え、観測システムの統合に向けた取組が加速し、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」等を発表した。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¹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 CO₂ 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 CO₂ 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²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の実

¹ 「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。

² 「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。

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、「全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、全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CO₂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組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。

更にこれらの成果を国際的な取組を通して、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等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」等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組が期待されている。その後継の取組として、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・ブイ等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。

今後更に、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等を進めている。

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組を進めるため、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組を踏まえ、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、技術面やコスト面等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当たっては、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）³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在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。

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

³ 「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。

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。更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いての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等の予測を行う「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等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た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、市民参加の在り方等、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（DIAS）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等の部材には、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方法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組が必要であり、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等、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・利用等の研究開発内容面、更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、商業等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、更には社会・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等、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組を進めるとともに、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等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。

情報科学技術委員会

情報科学技術に関する推進方策 (中間報告)

平成23年9月

情報科学技術委員会

情報科学技術に関する推進方策（概要）

1. 情報科学技術に今後求められる「革新」の基本的な方向性

環境・エネルギー問題や医療・健康問題への対応、災害等により安全・安心な社会の構築などの課題に対応するために科学技術イノベーションの力が必要とされている。情報科学技術は今後の様々な社会的課題の達成に向けて科学技術が貢献していく上で重要な鍵を握る共通基盤的な技術である。

様々な科学技術の方向性に共通する課題の達成のために求められる情報

- A) 課題達成のために必要な情報を得るための情報科学技術を活用した効果的かつ効率的な情報収集・情報集約・情報統合・情報管理・情報分析・情報流通・情報共有システムの高度化
- B) 情報科学技術を活用した的確な科学的分析・解明・予測の高度化
- C) 課題達成に役立つ方向でのITシステム及びITを組み込んだ技術の高機能化
- D) 変化する状況に対応して課題達成のために最適化できるITシステムのリアルタイム性、機動性と柔軟性の向上
- E) 課題達成型IT統合システム（実社会情報を集約し、課題達成に最適な解や方向性を導き出し実社会にフィードバックする高度に連携、統合されたITシステム）の構築
- F) ITシステムの超低消費電力化（グリーン化）
- G) ITシステムのティペンダビリティ（災害等に強いシステム）の向上

2. 具体的課題の達成に向けた各課題ごとの推進方策

(1) 環境・エネルギー問題への対応

- ① 太陽光発電や燃料電池の性能向上等に資するシミュレーションの高度化
- ② 社会システムの高効率化のためのIT統合システムの構築
- ③ 実社会のライフラインであるITシステムの超低消費電力化

(2) 医療・健康問題等への対応

- ① ライフイノベーションに貢献する情報収集・情報管理・情報分析の高度化
- ② 医療、創薬、臓器やウイルス等の解析等に資するシミュレーションの高度化
- ③ 高度先端医療機器の性能向上

(3) 災害等に強い安全安心な社会の実現

- ① 災害に強いITシステム及び社会基盤の構築
- ② 地震・津波の被害軽減、高度な気象予測、全地球的な長期気候変動予測等のシミュレーションの高度化
- ③ 防災オペレーションに応用するIT統合システムの構築
- ④ 人とコンテンツの対話を促す次世代型情報イノベーション技術
- ⑤ 風評被害等を避けるためのリアルタイムメタ解析技術の構築

(4) 豊かで質の高い国民生活の実現、文化的価値の向上

- ① 伝統文化・文化遺産保存のためのアーカイブ化技術や、文化・芸術の創造を支援する情報科学技術の高度化
- ② 高次感性情報システムの構築
- ③ 豊かな地域社会創成のための社会活動支援情報システム

(5) 科学技術基盤の高度化

- ① クラウドの高度化
- ② 未来を予測する高度な科学技術基盤であるハイパフォーマンス・コンピューティング技術の高度化
- ③ Web社会分析基盤ソフトウェアの研究開発
- ④ 課題達成型IT統合システム構築のための統合基盤技術の高度化
- ⑤ 知識フェデレーション型の統合的分析・知識創成技術の構築
- ⑥ 高度な科学技術基盤の構築の大前提となるITシステムの超低消費電力化
- ⑦ 国際競争力の強化につながるソフトウェア開発プロセスの抜本的見直し

(6) 国際競争力の強化

- ① クラウド等の新しい情報サービス領域における国際競争力のある技術の育成・強化
- ② ハイパフォーマンス・コンピューティング技術を用いた国内産業等の技術開発力の向上等

(7) 情報化社会の進展への対応

- ① ITシステムにおけるプライバシー保護の問題の解決のための技術開発
- ② 人とコンテンツの対話を促す次世代型情報イノベーション技術
- ③ ITメタデータのアーカイブ技術の確立
- ④ 法制度上生ずる問題への対応

はじめに

本委員会においては、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会の問題提起を受けて、第4期科学技術基本計画を踏まえた情報科学技術分野の研究開発推進方策について議論を行い、そこでの委員の意見を中間報告として取りまとめることとした。

まず、「**1. 情報科学技術分野において今後求められる「革新」の基本的な方向性**」の(1)において、近年の世界情勢と我が国の置かれた状況を概観した。

その上で、(2)において、情報科学技術分野に今後求められる方向性を明確にした。

※情報科学技術に今後求められる方向性

A) 課題達成のために必要な情報を得るための情報科学技術を活用した効果的かつ効率

的な情報収集・情報集約・情報統合・情報管理・情報分析・情報流通・情報共有シ

ステムの高度化

B) 情報科学技術を活用した的確な科学的分析・解明・予測の高度化

C) 課題達成に役立つ方向での IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化

D) 変化する状況に対応して課題達成のために最適化できる IT システムのリアルタイム

性、機動性と柔軟性の向上

E) 課題達成型 IT 統合システム（実社会情報を集約し、課題達成に最適な解や方向性を

導き出し実社会にフィードバックする高度に連携、統合された IT システム）の構築

F) IT システムの超低消費電力化（グリーン化）

G) IT システムのディペンダビリティ（災害等に強いシステム）の向上

さらに、「**2. 具体的課題の達成に向けて**」において、各課題ごとの研究開発推進方策を記述した。課題の項目立てについては、研究計画・評価分科会の示した課題を基に、情報科学技術分野のイノベーションを考える上で必須の課題として下記に⑥⑦を加えることとした。

※具体的課題

① 環境・エネルギー問題への対応

② 医療・健康問題等への対応

③ 災害等に強い安全安心な社会の実現

④ 豊かで質の高い国民生活の実現、文化的価値の向上

⑤ 科学技術基盤の高度化

⑥ 国際競争力の強化

⑦ 情報化社会の進展への対応

1. 情報科学技術分野において今後求められる「革新」の基本的な方向性

(1)近年の世界情勢と我が国の置かれた状況

近年、地球温暖化や環境、エネルギー問題など、複雑かつ困難な状況が顕在化し、こうした全世界的な人類共通の課題への対応が求められている。また、経済におけるグローバル化の一層の進展、新興国市場における競争の激化が進む中、産業・経済面での国際競争力の強化が一層重要となってきた。国内的には、少子高齢化や人口減少等の社会的、経済的活力の減退につながる問題にも直面している。さらに、今般の東日本大震災は多大な被害をもたらし、その影響は東日本のみならず、我が国の社会経済及び国民生活の広範囲に及んでいる。このような大震災から復興し、持続可能で活力のある社会を再構築するとともに、災害に強くエネルギー不足等の問題にも柔軟に対応できる社会に立て直すことが急務となっている。

このような世界情勢や我が国社会の根幹に関わる課題に対応するため、今まさに科学技術イノベーションの力が必要とされている。

(2)情報科学技術に今後求められる方向性

情報科学技術は科学技術全体の中でも基盤性という特徴を有している。これまでも社会経済活動における基盤や、科学技術の研究開発の推進における基盤の形成という観点から大いに貢献してきた。具体的には、ライフサイエンス、ナノテク材料、環境、ものづくり等の科学技術分野から交通、医療、教育、防災、エネルギー等の社会応用分野にいたるまで、極めて広範な範囲にわたり基盤的技術としてその役割を果たしてきた。

平成23年度は、科学技術分野の新たな国家戦略である第4期科学技術基本計画が開始され、我が国の科学技術政策における大きな転換期にあたる。情報科学技術は、今後の様々な社会的な課題の達成のために科学技術が貢献していく上で重要な鍵を握る共通基盤的な技術であり、これまで以上に高度な役割が期待されることとなる。社会的に重要な課題の達成に向けて情報科学技術に今後求められる方向性は以下のとおりと考えられる。

A) 課題達成のために必要な情報を得るための情報科学技術を活用した効果的かつ効率的な情報収集・情報集約・情報統合・情報管理・情報分析・情報流通・情報共有システムの高度化

課題達成のためには、適切な情報に基づき有効な判断を行うことが成功の鍵である。課題達成の成否に影響を与える情報は広汎多岐にわたっており、正確

な集約が難しい。課題の複雑性に応じて人間の五感では直接把握しがたい広域にわたる大量かつ多面的な情報を情報科学技術を用いて効果的かつ効率的に収集・集約・統合・管理することがこれまで以上に必要となってきた。また、心豊かな人と人との交流、きずなを大切にしたい社会の創成のためには、情報流通・共有システムの質的な充実が求められる。このため、これらを可能とするセンサーネットワーク、クラウドコンピューティング、データベース、データ検索技術、データマイニング、ストレージ、ヒューマンインターフェイス等の最先端の IT 及びこれらを統合するシステム技術は重要であり、これまで以上にさらなる高度化が求められる。

B) 情報科学技術を活用した的確な科学的分析・解明・予測の高度化

社会的な課題の達成のためには、その前提として自然や社会の構造、本質、メカニズム、成り立ち、変化、将来の姿をこれまで以上に科学的に精密かつ高度に分析・解明・予測することが求められる。ものづくり等の産業競争力強化や、防災、創薬、医療等においても同様である。そのための方法論として、ハイパフォーマンスコンピューティング技術を用いて行われるシミュレーションをはじめとした計算科学、データ科学、統計数理、データ同化等は極めて重要であり、これまで以上に科学技術としてのさらなる高度化が求められる。

C) 課題達成に役立つ方向での IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化

課題達成のためには、高度化するユーザニーズにこたえ、情報科学技術を組み込んだシステムの性能及び機能の高度化が必要である。これらを構成するデバイス、ネットワーク、システムソフトウェア等の要素技術について、当該システムに求められている具体的な課題達成の方向性に応じた性能及び機能の高度化が求められる。例えば、情報科学技術を組み込んだ高度先進医療機器の性能向上、コンテンツ分野のさらなる向上に資する高次感性情報システムの構築、国際競争力の強化につながるソフトウェア開発プロセスの抜本的見直し等が必要とされる。

D) 変化する状況に対応して課題達成のために最適化できる IT システムのリアルタイム性、機動性と柔軟性の向上

課題達成のためには、刻々と変化する状況に応じた対応、最適化を図ることのできるリアルタイム性、機動性と柔軟性の向上が求められる。このことは、IT システムを構成するセンサーネットワーク、クラウドコンピューティング、データベース、ストレージ等のあらゆる要素技術と統合システム全体に求められる。

E) 課題達成型 IT 統合システム（実社会情報を集約し、課題達成に最適な解や方

向性を導き出し実社会にフィードバックする高度に連携、統合された IT システム) の構築

防災や省エネルギーをはじめとした様々な課題達成に資するシステムとして実社会から広汎かつ刻々と変化する情報を集約し、コンピューティング技術、最適化理論、統計理論等を用いて最適な解や方向性を導き出し、さらにそれを現実の社会にフィードバックし、課題達成に結びつけることのできる高度に連携・統合化された IT システムあるいは仕組みの構築が必要とされる。そのためには、これまでの様々な要素技術を集約、統合化したうえで応用分野の違いを超えて横断的に適用できるような統合基盤技術の構築に向けた応用的な取組が求められる。統合基盤技術の高度化、実証や標準化を進め、普及実用化に繋げていくという過程をより具体的なシナリオとして描いていくことが不可欠である。総合科学技術会議による第 3 期科学技術基本計画の総括的フォローアップ（平成 23 年 3 月）においても、『重点課題 8 分野の重点的な研究開発が推進され、多くの革新的な技術が創出されてきたものの、個々の成果が社会的課題の達成に必ずしも結びついてない』と指摘されており、課題達成型 IT 統合システムは、こうした指摘にも応えるものとなる。

F) IT システムの超低消費電力化（グリーン化）

課題達成のために IT システムが有効性を発揮するにはシステムを動かすエネルギーが必要となる。しかしながら、低炭素社会の実現のためには省エネルギーが必要不可欠であり、さらに東日本大震災後のエネルギー不足等の状況下においては、消費できるエネルギー量が大きく制限される状況にある。にもかかわらず、今日、先進国のみならず新興国でも IT 機器やデータセンターが急速に普及しており、情報通信・処理機器の電力効率は今後の IT 機器等の高機能化のボトルネックになると考えられる。このため、IT システムの超低消費電力化（グリーン化）が必要不可欠である。

G) IT システムのディペンダビリティ（災害等に強いシステム）の向上

今日、あらゆる社会の課題達成のためにその役割が期待されている IT システムには、システムとしてのディペンダビリティが最も必要とされる。大規模な自然災害発生時など過酷な条件下においても IT システムが社会のライフラインとして機能し、危機的状況下でも課題達成のためのシステムとしての役割を維持することは、国民の生命や安全安心にとって大変重要である。災害等に強いディペンダビリティの向上が必要不可欠となる。そのために、最低限の機能を維持するためのエネルギー供給系との統合、応急的な復旧、保守の容易さなどの機能を強化して、社会の神経系としての自律性を確保することも必要となる。なお、「ロバスト」、「レジリエント」といった言葉も使われている。それぞれニュアンスは異なるものの、ほぼ同様の概念である。

(3)留意すべき事項

過去の情報科学技術委員会においても、情報科学技術の効果的な利活用によって社会全体の効率化や生活の質の向上に貢献するという by-IT の観点とともに情報科学技術そのものを高度化していくという of-IT の視点を重視してきた。第 4 期科学技術基本計画の掲げる課題達成型の研究開発という基本戦略に沿って、情報科学技術政策を推進していくにあたり、by-IT と of-IT の関係を考慮することが必要である。情報科学技術の利活用を通じて世界的な環境問題やエネルギー問題などのグローバル課題を解決し、安全・安心な社会生活の基盤を構築するという視点は重要である。その重要性 (by-IT の重要性) は、of-IT の重要性に帰結する。このような様々な社会的課題に対する技術開発の必要性が大きなモチベーションになって of-IT の技術開発が推進され、大きな成果やイノベーション創出に繋がるという点をしっかりと認識したうえで研究開発投資を進めていく必要がある。

なお、情報科学技術戦略の推進にあたっては、このような第 4 期科学技術基本計画をはじめ、政府の新成長戦略、政府全体の情報通信分野の中長期的戦略を定めた「新たな情報通信技術戦略」(平成 22 年 5 月 IT 戦略本部) 等の様々な政府戦略においても、情報科学技術により経済社会全体を改革して新しい活力を生み出す必要性や、基礎研究も含めた科学技術の総合的振興の必要性に言及しており、このような政府戦略等にも留意する必要がある。

さらに、ネットワーク技術等の標準化や研究開発を推進する総務省、高信頼なシステムソフトウェア開発やソフトウェアエンジニアリング等の推進に取り組んでいる経済産業省、科学技術政策の司令塔である内閣府総合科学技術会議等とも連携し、政府全体として効率的な施策運営に努めるべきである。

2. 具体的課題の達成に向けて

(1) 環境・エネルギー問題への対応

全世界的な人類共通の課題である「環境・エネルギー問題」への対応のため、再生可能エネルギーに関する技術革新や省エネルギーが極めて重要である。

情報科学技術においても高度なシミュレーションによる太陽光発電や燃料電池の性能向上により、再生可能エネルギーに関する技術開発に貢献することが期待される。また、社会システムの効率化のための IT 統合システムの構築や IT システムの超低消費電力化により、省エネルギーに貢献することが期待される。

このため、これらに関する技術革新のための研究開発に取り組む必要がある。

①太陽光発電や燃料電池の性能向上等に資するシミュレーションの高度化

(グリーンイノベーションに貢献するハイパフォーマンスコンピューティングの高度化) (方向性 B : 科学的分析・解明・予測の高度化)

太陽光発電や燃料電池の性能向上等に資するシミュレーションを高度化するた

め、エクサスケールに向けての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等

②社会システムの高効率化のための IT 統合システムの構築（方向性 E：課題達成型 IT 統合システム）

様々な社会活動を、これまで以上により一層高効率な状態に最適化していくためには、分散配置された多数の各種センシングデバイスによりリアルタイムに実世界の情報を集約し、コンピューティング技術等を用いてリアルタイムの解析を行い、社会システムを高効率化するための最適な解を導き出し、実社会にフィードバックする IT 統合システムが必要である。こうしたシステムを支える情報統合基盤技術を高度化することで、広く様々な社会システムやサービスへの応用を促進することが必要である。

③実社会のライフラインである IT システムの超低消費電力化（方向性 C：IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化、方向性 F：IT システムのグリーン化）

IT システムの超低消費電力化のため以下の様な技術を確立する必要がある。

ア) IT システムの超低消費電力化をさらに一層進めるためのデバイス、回路、アーキテクチャ技術の創出

i) デバイス技術で言えば、CMOS の微細化、高速化や Si ナノ CMOS と非シリコンデバイスの融合化を、より一層進めるとともに、シリコンデバイスを凌駕する新概念、新構造、新材料を用いた Beyond CMOS 等のナノエレクトロニクスの集積化を進める。

ii) IT システムの稼働に伴う電力効率を向上させる方向での技術開発が必要である。具体的には例えば、不揮発性、高速スイッチ機能性などのスピン素子の多機能性を最大限に活用した新概念非ノイマン型回路技術の開発をはじめ、スピン素子により記憶機能と演算機能を融合し、徹底的な省エネルギー性と極めて高い耐故障性を有するオペレーションインメモリーLSIの開発などが挙げられる。また、単一磁束量子（SFQ）回路技術により演算回路やメモリシステム、オンチップ・オフチップ配線の消費エネルギーを従来の 10 万分の 1 に低減することが可能であるとも言われている。

iii) 情報処理デバイスが動作していない時の静的電力の肥大化を解消する方向での技術開発も必要であり、例えば、スピントロニクス不揮発メモリと情報処理回路と一体化した新しいシステムにより静的電力を大幅に減少することができる。スピントロニクス素子を用いた不揮発素子の開発に関しては、我が国が世界を牽引しており、世界最高水準の研究レベルにある。一方で、米国においてもスピントロニクス不揮発素子開発やスピン流を用いた情報処理デバイスへの国家的な研究投資が開始された

ほか、メモリ素子の世界最大の生産国である韓国でも国家的な研究投資が開始されている。今後も日本の優位を維持、発展させるための戦略的投資が必要である。

- イ) 超低消費電力メニーコアプロセッサとそれを複数接続したサーバアーキテクチャ技術、それらのプロセッサ用の並列プログラムを逐次プログラムから自動生成するコンパイラ技術の研究開発（高性能サーバの開発では冷却システムを含めた消費電力が最重要課題となっており、我が国の組込技術で培った低消費電力プロセッサをベースとしたメニーコアプロセッサとそのメニーコアプロセッサ用の並列プログラムを自動生成するとともに、各プロセッサの周波数・電圧制御、電源遮断制御を行うことができるコンパイラを用いることにより、現在世界最高の電力当たりの処理性能を100倍以上向上させるメニーコアプロセッサ及びコンパイラ技術の確立が期待できる。これにより、災害・病気から命を救うための技術が確立できるとともに、携帯端末、情報家電、電気自動車等への応用により、我が国の産業基軸である情報家電・自動車産業などの競争力を持続的に強化できる。）
- ウ) その他、ネットワーク技術、システムソフトウェア技術の各技術分野における技術開発や、それらを統合した技術開発による情報システムの電力あたり処理性能の飛躍的向上（特に、今後強化させるべきポイントとして、例えば、LSI等の部品だけではなく、システムレベルの低電力化や、複数のレイヤや装置間を跨ったクロスレイヤの低電力化技術の開発が重要。その際、システムを利用するサービスの在り方やその性質まで考慮する必要がある。）
- エ) 災害時において、昼間は太陽電力で動作・充電でき、計画停電時あるいは電力事情が悪い場所でも、信頼性の低下なく安心してコンピュータシステムを動作させるシステムの開発（例えば、太陽電池で動作可能な超低消費電力メニーコアプロセッサの研究開発。サーバをはじめ、情報家電、自動車などに組み込む。）こうした個別的なデバイス等に加えて、システムとしての自律性を確保することが重要である。

(2) 医療・健康問題等への対応

医療・健康問題等への対応のための重要なポイントとして、医療・健康問題に関連する膨大な個人単位の情報の高度な利活用、医療や創薬に関連する科学的分析、メカニズムの解明、予測の高度化、さらには高度先端医療機器の性能向上が挙げられる。

情報科学技術においても医療・健康関連の個人単位の情報を高度に集約・管理・分析する技術、医療・創薬等に資する高度なシミュレーション、ITを組み込んだ高度先進医療機器の性能向上により、課題の達成に貢献することが期待される。

このため、これらに関する技術革新のための研究開発を推進する必要がある。

①ライフィノベーションに貢献する情報収集・情報集約・情報管理・情報分析の高度化（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）

- ア) 医療費の高騰と高齢化による保険制度や医療制度の経済的破綻は先進国だけでなく途上国においても大きなリスクとなりつつあり、遺伝子情報、生活習慣情報、地域に関する情報、食料や環境情報を有機的に結びつけ、リスク管理と連携。
- イ) 日常の個人の行動情報を健康管理に利用できるシステム構築（生活習慣に関わる様々な疾病発症の要因分析を可能とし、保険料や医療費の大幅な削減にもつながる。また、症例が少ない疾患に対する予防や治療方法の解明が進められる。）
- ウ) あらゆる病気に関して、ゲノム情報を含む患者情報と治療記録をデータベース化し、組織を超えて共有化できるように個人情報保護の技術と制度を開発（個々の病気に関する多くの症例と治療記録が蓄積され共有される。これらに統計処理や可視化、さらにはデータマイニングやテキストマイニングなどの知識発見技術をインタラクティブに適用することにより、特定のプロパティを持った患者の特定の症例に限って極めて有効に効く治療法を見つけ出すことが可能になる。）
- エ) 東日本大震災で個人のカルテ情報や投薬履歴情報が流出し大きな問題となった。電子カルテの形式でクラウド化すれば、このような問題には対応できるのではないかと考えられる。

②医療、創薬、臓器やウィルス等の解析等に資するシミュレーションの高度化（ライフィノベーションに貢献するハイパフォーマンスコンピューティングの高度化）（方向性B：科学的分析・解明・予測の高度化）

- ア) 医療・創薬・臓器やウィルス等の解析等に資するシミュレーションを高度化するため、エクサスケールに向けてのハイパフォーマンスコンピューティング技術の高度化等
- イ) 患者の身体的負荷を軽減した治療の実現に資するため、全身レベルの人体シミュレーションを医療現場に導入するシステムを開発

③高度先進医療機器の性能向上（方向性C：ITシステム及びITを組み込んだ技術の高機能化）

- ア) 重粒子線ガン治療をはじめとする近年の高度医療については、治療装置の価格が極めて高価であることや、治療時の照射計画の計算等に莫大な時間を要し治療患者数が限定されたり、消費電力が大きいなどの課題がある。我が国の組込プロセッサで培った低消費電力化技術に加え、照射計画の並列化や自然冷却できる我が国独自の低消費電力指向型ITが実現されれば、治療患者数の大幅

な拡大や施術費用低減が期待できるほか、医療現場の効率化や低消費電力化、現場で静粛な安心して使える医療機器の提供が可能となる。

イ) 脳活動を計測する先進的画像データである MRI (Magnetic Resonance Imaging system。磁気共鳴画像装置)、PET (Positron Emission Tomography。ポジトロン断層法)、X 線 CT 等の画像データを、ビジュアルデータマイニング等の統計解析手法を用いて統合的に分析できる新しい手法等が開発されれば、新たな病気の早期発見に繋がり、QOL (Quality of Life) の改善や医療費の低減が期待できる。

ウ) IT システムを活用した遠隔医療システムの高度化

(3) 災害等に強い安全安心な社会の実現

地震・津波等の大規模自然災害に関する防災・減災を巡る問題点は多岐にわたるが、例えば地震・津波等の被害予測等の限界、社会のパイプラインとなるインフラやシステムの機能不全、防災オペレーションに欠かせない関連情報の集約についての混乱、さらには風評被害等の問題点が指摘される。東日本大震災においては、こうした問題点が顕著に見られた。

情報科学技術においても災害等に強い IT システムの構築、地震・津波等の被害軽減のための高度なシミュレーション、IT 統合システムの防災オペレーションへの応用、風評被害等を避けるためのリアルタイムメディア解析技術の構築などにより、課題達成に貢献することが期待される。

①災害に強い IT システム及び社会基盤の構築 (方向性 G : ディペンダビリティの向上)

東日本大震災によって被災地域の情報通信インフラが瓦解したため社会の重要なライフラインである IT システムが複合的な機能不全に陥った。重要な情報の消失等の問題も起こった。このような災害に対する脆弱性を改善するために、ダメージを回避して、システムとして最低限の機能を維持し、自己調整・自己修復等のできる情報システムが必要となる。そのためには、個人の認識に係るシステムの平時と非常時の使い分け、例えば平時には重視されるプライバシーについて、非常時には特別措置を可能にすることなどが求められる。

②地震・津波の被害軽減、高度な気象予測、全地球的な長期気候変動予測等のシミュレーションの高度化 (国民生活の安全・安心に貢献するハイパフォーマンスコンピューティング技術の高度化)

(方向性 B : 科学的分析・解明・予測の高度化、方向性 D : リアルタイム性、機動性と柔軟性の向上)

ア) 地震・津波の被害軽減、高度な気象予測、全地球的な長期気候変動予測等のためのシミュレーションを高度化するため、エクサスケールに向けてのハイパ

フォーマンスコンピューティング技術の高度化等

イ) 近年、観測データを数値計算に直接的に取り込むことで予測性能を高めるデータ同化と呼ばれる計算技術の先行利用が気象予報等で開始されている。観測データをリアルタイムで搬送し、高速度・高精度で同化計算が実現できる情報計算システムがあれば、他の災害予測や減災にも有用である。例えば、震源に近いところに到達した津波のデータを用いることで、他の地点の到達時刻と波高に関するより精度の高い予測が期待できる。

③防災オペレーションに応用する IT 統合システムの構築（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化、方向性 E：課題達成型 IT 統合システム）

今回の震災では広域な範囲に被害が及び、災害発生直後の広範囲に及ぶモノや人の動き、インフラの状況を十分に集約・整理できなかつたり、必要な情報が異なる機関の間で共有されず、統合できないといった問題が見られた。その結果、防災オペレーションの混乱や、被災者の間での混乱を招いたことが指摘されている。災害時および災害後の広範囲かつ多岐にわたるリアルタイム情報を集約整理、統合化し、状況の変化を最適な避難活動・救援活動・防災活動及び被災者の最適行動の判断材料にフィードバックできるような IT 統合システムが必要である。さらにこうしたシステムを支える情報統合基盤技術の高度化が必要である。

④人とコンテンツの対話を促す次世代型情報インターフェイス技術（方向性 A：情報流通・共有の高度化）

近年、IT を使いこなせる人と使いこなせない人との間の情報デバインドが問題となっているさらに、今回の東日本震災時の人々の行動でも明らかにされつつあるように、緊急時のパニックに陥りがちな心理状態でも冷静に扱える IT システムや、社会体制や組織構造の事情を踏まえた上での複数人での緊急情報共有を支援する機構、さらに操作や判断の誤りを誘因しないようなインタフェースは、喫緊の課題である。利用者の探索行動や視線情報、表情や振る舞いからの意図推定技術や、情報要求を推測する情報インターフェイス技術に加えて、それらの技術を利用者の認知的状態や社会心理的状态を考慮して組み合わせデザインする技法を確立し、人とコンテンツとの対話を促すインタラクションのデザインとそれを支える技術とを確立することは、IT を、平時においてもまた緊急時においても真に国民生活を支える基盤として活用するための課題達成に必須の事項である。

⑤風評被害等を避けるためのリアルタイムメディア解析技術の構築（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）

東日本大震災においては携帯電話が不通となる中で、避難場所の周知等 IT メディアが大きな役割を担った。一方で誤報も見られた。災害時におけるリアルタイム IT メディアの活用ならびにメディアの伝搬解析技術の確立は急務と言える。今

後、風評被害等を避け、国民に情報を適切に発信できるような仕組みの構築が課題となってくるが、その際にもこうした解析技術による分析が必要不可欠となる。

(4) 豊かで質の高い国民生活の実現、文化的価値の向上

文化はこれからの日本を支える国家基盤であり、さらには産業・経済基盤としても重要である。コンテンツ分野の進展も日本の強みである。また、人と人とのつながり、コミュニケーションの豊かさも大切な価値である。

情報科学技術においても、IT 技術を活用して、高度なアーカイブ化や文化・芸術の創造への支援等により、課題達成に貢献することが期待される。

このため、これらに関する技術革新のための研究開発を推進する必要がある。

① 伝統文化・文化遺産保存のためのアーカイブ化技術や、文化・芸術の創造を支援する情報科学技術の高度化（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化、方向性 C：IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化）

未来へつながる新たな価値観の創出へ向けて、また未来の心豊かな生活基盤を実現するためにも文化をキーワードとした科学技術の振興が強く望まれる。文化はこれからの日本を支える国家基盤であり、さらには産業・経済基盤としても重要である。科学技術が文化に貢献できる分野として、「文化の保存」、「文化の創造」、「文化の発信」などがある。具体的には、我が国が誇る伝統文化・文化遺産の保存へ向けたアーカイブ化技術をはじめ、コンピュータグラフィックス・アニメーション技術、3D 技術、超高精細映像／画像技術、VR 技術等の現代文化の創造を支援する科学技術、これらの文化資源を国民一人一人がより身近なものに感じられるようにし、同時に世界へ向けて広く発信するための科学技術などが挙げられる。我が国には世界に誇るべき伝統文化の蓄積があり、さらに、アニメ等の日本のコンテンツ文化等も世界的に注目されている。これを国際社会に対して積極的に発信することは、「文化立国」を目指す日本にとっての重要課題であり、観光も含めた産業・経済基盤としても期待される。

② 高次感性情報システムの構築（方向性 C：IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化）

今後、我が国が誇るデザイン、コンテンツ、アート等のコンテンツ分野のさらなる向上を図るには、メディア情報が持つ臨場感や、迫真性、自然性等の高次感性情報を自由に操作する技術の確立が重要である。実世界の多感覚情報（マルチモーダル情報）を正確に評価して符号化・保存し、更に、遠隔地や、時間を隔てた形で的確に取得・提示するとともに、精密に創成、操作する情報科学技術である。このような技術が実現すれば、我が国が誇るコンテンツ分野において、メディア情報のみならず、実世界情報の創成、デザイン、修整などの自由度が遙かに向上し、他国の追随を許さない競争力の確立に資する。さらに、臨場感・自然

性の高い情報共有が可能となることから、自宅勤務や遠隔協働作業の高度化・円滑化が可能となり、低炭素社会の構築にも資する。

③豊かな地域社会創成のための社会活動支援情報システム（方向性A：情報流通・共有の高度化）

プライバシーを保護するようなソーシャルセンサの設置による地域住人の生活パターン蓄積をはじめ、対話ロボットなどを活用したコミュニケーションの促進、子供と高齢者の対話の場の実現などさまざまな社会的活動を支援する情報システムが構築されれば、国民の一人一人が情報社会の恩恵を受け、生活の豊かさや安全性が感じられる地域社会が創成される。

(5) 科学技術基盤の高度化

今日、クラウドコンピューティングは、社会のあらゆるシステムの高機能化に貢献し、知識社会を牽引する高度な科学技術基盤としての役割を果たしている。

また、スーパーコンピュータを活用したハイパフォーマンス・コンピューティングは、未来を予測する高度な科学技術基盤として、科学的あるいは社会的意義の大きい成果をあげている。さらには、今後の新たな科学技術基盤として、課題達成型 IT 統合システム構築のための統合基盤技術の高度化や IT を活用した知識フェデレーション型の統合的分析・知識創成技術の構築が期待されている。

これらの科学技術基盤の構築あるいは高度化に向けた技術革新のための研究開発の推進が必要である。

一方、科学技術基盤としての IT システムの発展のボトルネックとして、IT システムの電力消費量の増大やソフトウェアに対する信頼性及び生産性が十分でないという問題
ている。こうしたボトルネックの解消のためには技術革新が必要であり、そのための研究開発の推進が必要である。

①クラウドの高度化（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析、情報流通・共有の高度化）

クラウドの利用は多岐に亘るが、そのきっかけは大規模なデータ解析や負荷変動が大きく動的に変動するサービスの実証の場として利用されたことが挙げられる。浮動小数点の演算は必ずしも多く必要とされず、また、Hadoop を中心とした大容量データ処理ではCPUの利用率すら低いことが散見されている。このような現状のクラウドから次世代クラウドを睨み、データインテンシブアプリケーションに求められる新しいアーキテクチャ、膨大な資源を柔軟且つ動的に再構成する仮想化技術、ミドルウェア、資源管理ポリシー、ウェアハウスレベルでの省エネルギー管理、広帯域高信頼ストレージシステム、クラウド間バックアップ機構、運用技術など、その要素技術の開発ならびに、クラウド実装は喫緊の課題と言える。

また、大学等の学術基盤としてクラウドを積極的に導入し、その利用を推進することにより、日本独自の国際的優位性のある情報科学技術を育てるプラットフォームとしての役割を発揮することが必要である。

②未来を予測する高度な科学技術基盤であるハイパフォーマンス・コンピューティング技術の高度化（方向性B：科学的分析・解明・予測の高度化）

スーパーコンピュータ等の高性能計算技術は、科学技術のあらゆる分野において新たな発見や真理の探究を効率的に実現するために重要な基盤的技術である。特に、国家安全保障を支える基幹技術としてのハイパフォーマンスコンピューティング技術の重要性は一層増大しており、東日本大震災において示されたとおり、地震や津波に対する防災・減災の予測、原子力システムの安全性の検証等、複雑な自然現象や人工物の挙動を信頼度高く予測する能力は、大きな社会的・国際的責任を伴う科学技術である。

また近年では、加速器や DNA シーケンサなどの各種計測装置の進化に加え、インターネットやセンシングデバイスの発展により、膨大なデータを収集する基盤が整い、これらの膨大なデータを活用するデータ中心科学が注目を集めつつある。このため、将来のスーパーコンピュータでは、演算性能に加え、ストレージ装置や外部ネットワークなどとの緊密な連携による大規模データ処理性能がより重要になる。そこで、高い演算性能を限られた消費電力で実現し、ストレージ装置や外部ネットワークと緊密に連携し大規模データを高速に処理するスーパーコンピュータの構築技術や、スーパーコンピュータを利用する際の生産性向上等を実現するソフトウェア技術の開発が必要である。

そこで、次世代スーパーコンピュータを中心とする HPCI（ハイパフォーマンスコンピューティングインフラ）の着実な整備と活用によりポストペタスケールの計算科学技術の成果を着実に蓄積するとともに、計算科学技術の持続的かつ総合的な発展を支える推進体制を整備充実し、エクサスケール計算科学技術の研究開発に将来的に繋げることが不可欠である。世界トップクラスのスーパーコンピュータの構築は、最先端科学の探求や環境・エネルギー問題の解決で世界を牽引する基盤になるとともに、知的ものづくりなど産業応用のさらなる開拓を通じて我が国産業の国際競争力強化にも繋がる。また、データ中心科学に向けた新しい基盤を有することで、これまでの計算科学を凌駕する新たな科学や産業を可能にし、ゲノム解析に基づくテーラーメイド医療や、大量のセンサ情報を活用した高精度気象予測による高度防災の実現など国民生活に大きく寄与することが必要である。

③Web 社会分析基盤ソフトウェアの研究開発（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析、情報流通・共有の高度化）

実世界の様々な事象が網羅的かつ即時的に Web 上の情報として反映され、貴

重要な文化資産として形成されつつある今日、それらの Web 情報の収集・分析による高度利用は学術、文化及び社会活動等において非常に有益である。現在、「Web 社会分析基盤ソフトウェアの研究開発」が文部科学省のプロジェクトとして実施されているところであるが、引き続き成果の実証に努める必要がある。

④課題達成型 IT 統合システム構築のための統合基盤技術の高度化（方向性 E：課題達成型 IT 統合システム）

実社会から広汎かつ刻々と変化する情報を集約し、コンピューティング技術等により最適な解や方向性を導き出し、さらにそれを現実の社会にフィードバックし、課題達成に結びつけることのできる『課題達成型 IT 統合システム』の構築が必要とされる。国として達成すべき課題を明確にしたうえで、これらの課題達成に有効であり、かつ様々な分野に応用可能な IT 統合システムを構築し、普及を促進する観点から、最先端のセンサーネットワーク、モバイル系 IT、コンピューティング技術、制御技術、アプリケーション・ソフトウェア等を統合した情報統合基盤技術の高度化を進める必要がある。その上で最終的には、こうした IT の運用から政策や経営といった社会的意思決定につないでいく必要がある。

⑤知識フェデレーション型の統合的分析・知識創成技術の構築（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析、情報流通・共有の高度化）

今日、学問分野は高度に専門化が進み、分野が異なると同種のデータや情報であっても表現形式が異なるほか、利用したいツールもインターフェイスや入出力データ形式が異なるために利用できないという事態が起こっている。さらには、異なる分野のリソースに関してはどのようなものが存在するかもよくわからない状況である。このような状況が、学問分野では学際的研究分野の創成の障害となり、地球規模の問題といった複雑な対象を扱う場合には、関連する分野のリソースを有機的に結び付けて高度に連携した情報処理を行うなどの総合的分析を困難にしている。新フロンティア開拓を目指すような新しい学際領域の創成においては、異分野のリソース間の関係付けや連携そのものが試行錯誤的に模索されることとなり、動的に定義可能な柔軟な関連付けや連携定義を行うための知識フェデレーションの基盤が必要となりつつある。様々な分野における情報が集積され、IT による様々な分野の活動の増幅の事例が蓄積されていく中で、IT と他分野が融合した新しい学問領域が創出され、分野間の人材交流により新しい問題の発見・イノベーション創成の機会が増大し、政策立案や経営の意志決定に反映させることを期待したい。

⑥高度な科学技術基盤の構築の大前提となる IT システムの超低消費電力化（方向性 F：IT システムの低消費電力化）

高度な科学技術基盤として、その構築が必要とされる IT システムの実現のため

には、IT システムの超低消費電力化が欠かせない。このため、2の(1)の③に掲げられているア)～エ)の技術の確立が必要である。

⑦国際競争力の強化につながるソフトウェア開発プロセスの抜本的見直し（方向性 C：IT システム及び IT を組み込んだ技術の高機能化）

日本は『ものづくり』において、極めて高い国際競争力があると言われてきたが、これからのものづくりを考察すると、日本が生産性において遅れているソフトウェア分野の比重がますます高まることが予想され、このままでは日本の国際競争力は非常に低くなると予想される。ソフトウェア開発プロセスを抜本的に見直し、最先端のソフトウェア工学を応用、発展させ、効率的な分業も可能なソフトウェア開発の基盤技術を構築することが不可欠となりつつある。特に、組込ソフトウェアに焦点を当てることにより、ソフトウェア産業のみならず、幅広く製造業全般において国際競争力を向上することができる。さらに、安心安全な日本を確立するには安定した高品質で価格競争力のある IT の活用は必須であり、総合的なソフトウェアプロダクトライン工学は信頼性や安定性の観点からも効果は大きい。

(6) 国際競争力の強化

国際競争力強化のためには、日本国内の情報科学技術及び情報産業が、独自性と国際的通用性を有し国際競争力を有する技術・システムを持つことが必要である。特に国際的に進展の著しい新しい情報サービス領域では、世界をリードするプラットフォームレベルでの国際的主導力を持つことが一層重要となってきた。また、このことは国内の産業全般の競争力強化にも寄与するところである。

①クラウド等の新しい情報サービス領域における国際競争力のある技術の育成・強化（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）

国際競争力強化のためには、情報科学技術に関する国内の学術研究が発展し、研究成果をあげることのみならず、国際的に強い国内情報産業も育ち、これらの相互作用により、スパイラル的な強化、発展が図られることが必要である。

情報産業のグローバル化の中で、国内情報産業が独自性と国際的通用性を併せ持ち、国際的に見ても強い競争力を有する技術、システムを持つことが必要不可欠となる。特にクラウドや国際的に進展著しいソフトウェアや情報流通・巨大なデータの利活用、さらにはフェイスブックやツイッターのようなソーシャルメディアといった新しい情報サービス領域では、世界をリードするプラットフォーム・レベルでの国際的主導力を持つことが一層重要となってきた。

このため、研究開発の成果目標となる技術やシステムが広く世界に喜んで受け入れられるものであるかどうかを考慮するグローバルな戦略的視点が重要である。今後、情報科学技術分野におけるいくつかの領域で、日本の技術が国際的な優位性

を持ち、ひいては国内産業全体の競争力強化にも繋げる必要がある。

②ハイパフォーマンス・コンピューティング技術を用いた国内産業等の技術開発力の向上等（方向性B：科学的分析・説明・予測の高度化）

ハイパフォーマンス・コンピューティング技術を高度化し、国内産業や大学、研究機関のスパコン開発技術等の向上に役立てるとともに HPCI の利用の促進、特に HPCI の産業利用や人材育成の充実に展開することにより、多方面の業種にわたる国内産業の技術開発力の向上や科学的・社会的意義のある成果の創出に寄与することが必要である。

③その他

上記①②のほか、課題達成型 IT 統合システムの構築、IT システムの超低消費電力化、高度先進医療機器の性能向上、高次感性情報システムの構築、次世代型情報インターフェイス技術、ソフトウェア開発プロセスの抜本的見直し等についても技術革新の成果を国内情報産業に円滑に展開することにより、国内情報産業の競争力強化、国内産業全体の競争力強化、ひいては日本の国際競争力強化に寄与することが必要である。

(7) 情報化社会の進展への対応

情報科学技術の高度化に伴い情報化社会が著しく進展した。その結果、情報流通の必要性和プライバシー保護との調和をどのように図るべきかという課題が生じてきている。また、IT を使いこなせる人と使いこなせない人との間の情報デバイドの問題が生じている。さらに、諸外国において社会変革に大きな役割を果たしている IT メディアのアーカイブ化も課題である。

これらについて、情報科学技術としてもプライバシー保護のための IT 技術、次世代型情報インターフェイス技術、IT メディアのアーカイブ技術の確立により、課題の解決に

①IT システムにおけるプライバシー保護の問題の解決のための技術開発（方向性 A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析、情報流通・共有の高度化）

情報爆発時代において、情報の安全を確保し、プライバシーを保護するためには不断の取組が必要である。一方で、特に、クラウドコンピューティングの進展により、収集されたデータの複合的利用が促進される状況になっており、プライバシーを守るための研究を早急に加速し、情報流通の必要性和プライバシー保護の調和を図る必要がある。さらに、自分がアクセスしている情報が信頼できるものであるかを確かめたい、個人のプライバシーが守られる社会であって欲しいなど、ネットワークにおける社会的要請が強まっており、大量データを、プライバシーを保護しつつマイニングする技術をはじめ、情報漏洩・不正アクセスなどの電子的証拠（コンピュータ内のログや通信のログ、ハードディスクの状況）を保

全・分析する技術、一般ユーザからも分かりやすい基本原理の構築と自己責任の範囲の明確化など、情報の安全・安心を担保するための研究開発が必要である。

②人とコンテンツの対話を促す次世代型情報インターフェイス技術（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）（(3)④の再掲）

③ITメディアのアーカイブ技術の確立（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）

諸外国では、その社会変革にITメディアが大きな役割を果たした。ウェブやブログ、マイクロブログ等我が国におけるITメディアのアーカイブ技術の確立は国家の社会活動を記録し社会学者等との学際研究を推進する上で極めて重要と言える。

④法制度上生ずる問題への対応（方向性A：情報収集・集約・統合、情報管理・分析の高度化）

情報化社会の進展に伴いITシステムにおけるプライバシー保護に関する社会的合意の熟成と法制度のあり方も問題となってきた。また、例えば、医療・健康問題に関連する膨大な個人単位の情報の高度な利活用を目指す研究開発プロジェクトを国際協力を進めるにあたって、個人情報の法的な取扱いが問題となっている。

さらに、ITメディアのアーカイブ等のための著作権のあり方も問題となっている。

以上の様な情報化社会の進展に伴う法制度上の問題点についても今後十分検討する必要がある。

3. 課題達成にあたっての留意点

社会の様々な課題の達成に貢献するため情報科学技術の技術革新を推進するにあたっては以下の点について留意が必要である。

①情報科学技術の推進のためには研究開発の推進のみならず、社会への実装、トライアルを通じて常に要素技術及びシステムを改善する仕組みが重要であり、人材の育成や産業界との連携を強化する視点も必要となる。

②情報科学技術が様々な課題の達成に貢献するためには、あらかじめプロジェクト企画段階から、解決すべき具体的な課題を的確に捉えた上で研究開発目標を設定し、課題達成にふさわしい研究内容・体制を構築することが必要である。その上で、研究成果が適切かつ効果的に実用化され円滑に社会還元されることが必要である。

ア) このため、目標設定の段階から応用分野の研究者や人文・社会学者との連携の場を設け、あらかじめ課題と関係するセクターにおける問題意識、課題を巡る状況、情報科学技術への具体的期待、さらには研究成果に期待される社会的意義や社会的効果、考えられる社会的影響やマイナス面、研究成果を実用化するにあたっての社会制度・システム面での課題等について十分把握し、課題達成としての妥当性を議論し、共通理解を得ることが必要である。

イ) また、研究成果の実用化への受け渡しや実用化された後のユーザーニーズへの適合を可能にする仕組みが必要である。研究内容の企画や具体的研究実施段階において、必要に応じ実用化にあたる企業等の関係者の意見が聞けるよう、協議会やワークショップ等の場を設定し、実用化につながる研究成果を生み出すための技術的なポイント等について情報を共有することが大切である。プロジェクト実施主体に応用分野の研究機関や実用化を担う企業が参画することも有効である。以上のような研究成果の実用化を支援する仕組みを国が研究資金を投じる研究開発プロジェクトにおいて、課題採択の条件とすることも考えられる。

③社会への発信・対話については、各研究分野や各研究者、コミュニティの代表または拠点となりうる学協会や大学、大学共同利用機関、独立行政法人等が一定の役割を担うことも考えられる。

4. 今後に向けて

(1) 第4期科学技術基本計画において重視している「課題達成型」及び「科学技術イノベーション」という観点から、今後、情報科学技術分野に求められる「革新」の基本的な方向及び具体的課題の達成に向けての研究開発推進方策について、本委員会として現時点での意見を取りまとめた。政府においては、この意見を踏まえて、今後5年程度の情報科学技術分野の研究開発を進めることが望ましい。特に、防災・エネルギー分野など緊急性の高い課題の達成に留意すべきである。また、情報科学技術の特性として、科学技術全体に寄与する、課題達成型の取組を進めるにあたっての共通性・汎用性のある波及効果の大きい技術革新を多く含んでいると考えられるので、そうした技術革新には積極的に取り組むべきである。

(2) また、過去に「情報爆発」をテーマにして科研費特定領域で行ったように、若手のポテンシャルを有する研究者の幅広い方面からの積極的な参画を促し、アクティビティの高い研究活動と優れた研究成果を生み出すような人材育成機能も併せ持つ研究プロジェクトは極めて有意義と評価できる。こうした点も含めた研究体制のあり方についても、今後前向きな議論を行う必要があることを付言したい。

(3) 社会の変化と科学技術の進展は国際的にみても著しく、年々変化している。今回の

意見の取りまとめに関しても毎年フォローアップを行い、最新の議論を付け加えることとしたい。

以上

