

エグゼクティブサマリー

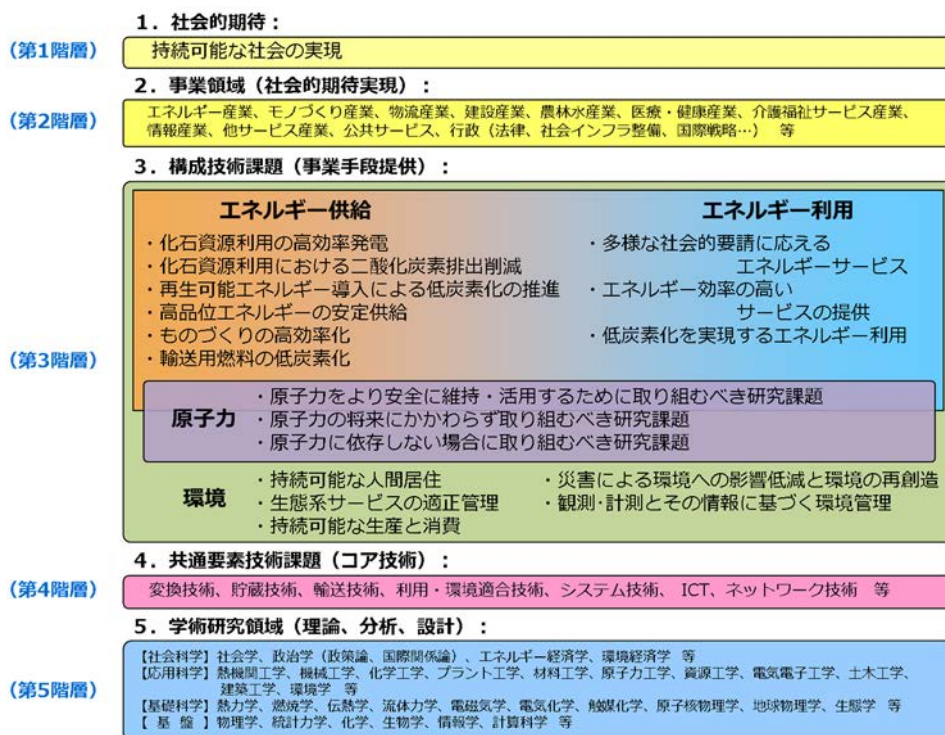
環境は人類の生活基盤であり、エネルギーは人類が社会・経済活動を営む上で必要不可欠なものである。ゆえに、環境・エネルギー分野の研究開発テーマは実社会が直面する課題の解決に寄与することを目的とすることが多い。

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故や、その後のエネルギー需給の逼迫、節電要請などにより、国民のエネルギーに対する関心がより高まっている。温室効果ガス排出削減、エネルギー自給の観点から再生可能エネルギーへの期待が高まる一方、社会導入・普及拡大にはコストや系統連携などの課題も多い。震災後の化石資源の消費量の急増に伴う二酸化炭素 (CO₂) 排出量の増大は、気候変動防止に向けた国際的責任を果たす上での懸念となっている。一方、ライフスタイルの変化によりエネルギーや資源の消費量の削減は進まず、廃棄物の増大や大気・水質汚濁を誘引し、自然生態系のみならず人間の居住環境や健康へも影響を及ぼしている。

本書では、分野を「エネルギー供給」、「エネルギー利用」、「原子力」、「環境」の4区分に分類して俯瞰を行った。「エネルギー供給」では、我が国のエネルギー・フローならびに資源輸入量と CO₂ 排出量の関係を概観し、エネルギー需給構造を2013年版よりもより大局的に捉えて俯瞰した。「エネルギー利用」では、エネルギーを利用する側からの視点を重視し、俯瞰構造を見直した。さらに、2013年版では取り上げなかった「原子力」と「環境」についても俯瞰調査を実施し、今後取り組むべき主要な92の研究開発領域を抽出し、将来の社会的な期待や要請に基づいて整理した。

環境・エネルギー分野俯瞰の範囲と構造を下図に示す。

2015年 環境・エネルギー分野俯瞰の範囲と構造



エネルギー供給においては、引き続き主たるエネルギー供給源となる化石資源の利用効率を格段に向上させ、CO₂の排出量を大幅に削減することが急務である。並行して再生可能エネルギーの導入促進が急がれるが、発電コストの改善や系統接続容量の不足など顕在化する多くの課題を解決しなければならない。さまざまなエネルギー資源による発電の長所を最大限に活かすよう、供給安定性、経済性、環境性、安全性の観点から総合的に評価した上で、エネルギー・ベストミックスの実現を睨んで研究開発を推進することが肝要である。

エネルギー利用においては、人類の生活を豊かにするさまざまなサービスが提供される一方で多くの環境負荷が発生している。製造業を中心に消費エネルギー削減や効率改善が継続的に行われてきた一方で、ライフスタイルや社会構造の変化により民生・運輸部門のエネルギー消費はなかなか減っていない。エネルギー効率が低いサービスの提供や低炭素化に向けた技術開発を推進するとともに、それらを実現する新たなエネルギーサービスやシステム開発、普及のための社会技術や制度設計なども同時に検討することが必要である。

原子力発電についてはエネルギー政策の上では重要なベースロード電源と位置付けられる一方、震災・原発事故の影響により、今後の運用について国民的なコンセンサスが得られているとは言い難い。国論が二分している現在、原子力発電の将来について社会的な観点から俯瞰的に捉えつつ、その可能性を限定することなく幅広い選択肢を提示することを念頭に、研究開発に関する問題点・諸課題を抽出・整理しておくことが必要である。

環境においては、世界的な都市人口増加に伴う環境負荷の増大を低減する努力が肝要である。また、人間社会と生態系サービスとの関係を踏まえ、生物多様性や遺伝資源の保全・管理も重要である。さらに、生産・消費活動に起因する環境負荷の軽減により持続可能な循環型社会を目指さなければならない。東日本大震災以降は、防災・減災への取り組みの必要性が再認識されており、災害を想定した環境科学的な予防・対処と災害後の環境再創造の科学と技術に取り組むことが必要である。そして、観測・計測とその情報に基づく環境管理も将来顕在化する課題の事前把握に必要である。

俯瞰調査に基づく、日本、米国、欧州、中国、韓国の主な特徴を以下に述べる。

<日本>

エネルギー分野では、化石資源関連の基盤的技術では諸外国に比べて極めてレベルが高いが、一部の分野では研究者の減少が問題である。また、分野間連携が弱く、新技術創出は米国に比べて遅れがちである。その応用開発では、精力的な展開を進めているが広く普及されるものが少ない。再生可能エネルギーに関しては、基礎・応用研究のプロジェクトが数多く行われており、固定価格買取制度によって太陽光を中心に導入が進んでいるが、諸外国に対して遅れている。グリッドパリティに向けた長期戦略が望まれる。エネルギー利用側については次世代自動車や熱活用、水素利用技術などで研究から産業化まで高い技術競争力を持つ。エネルギーマネジメントに関わる機器開発から実証実験についても広く取り組まれている。省エネ機器

の普及はかなり進んでいるが、さらなる普及と定着のためには社会全体でのエネルギーの見える化や予測技術、コベネフィットに関する研究開発推進が必要である。また、海外展開の長期的視点が国策として重要であり、要素技術のみならずシステムパッケージでの海外普及に向けた研究開発の取組みが必要である。原子力関連では、福島第一原子力発電所事故に対応する研究に加えて、環境修復、放射線影響に関連する研究が進んでいるが、核燃料サイクル等の分野は震災以前に比べ停滞している。事故後は、原子力利用と安全性が社会の大きな関心となっており、討論型世論調査の実施など新たな合意形成の方法も試行されている。

環境分野では、最先端の研究開発や国際的な競争力を持つ要素技術が多く存在するが、欧米と比較すると、学際的な連携や包括的視点からの課題解決、パッケージ化等による海外展開、政策への取り込みにおいて課題が残る。また、財政難の中での研究開発費の確保や研究者層の維持が懸念される。

<米国>

エネルギー分野では、化石資源関連技術の基礎レベルは高いが全体として研究者層が薄い。ただ、新しい技術の芽を生む土壌があり、新規技術については有望である。シェールガス・オイル生産により大きくエネルギー需給構造が変化している。応用・産業化の面では海外展開により従来技術の拡大を進めている。再生可能エネルギー関連では基礎・応用研究ともに盛んで産業化も順調に進んでいる。ICTやビッグデータを活用し、エネルギーマネジメントや次世代交通などに関わる基礎研究から実証実験まで幅広く取り組まれている。新産業育成の視点から、エネルギー省を中心に基礎から応用まで幅広く戦略的に研究が取り組まれている。また、消費者行動に着目した社会技術的な研究や実証実験も進んでいる。脆弱なエネルギーインフラに関わる社会的課題が大きく、それに関連する研究推進が必要と考えられる。原子力関連ではスリーマイル島の事故以降、リスク評価の研究が幅広く行われている。廃止措置、使用済み核燃料や放射性廃棄物の管理に関する研究は進んでいる。欧州ほどではないが、市民参加型社会的意思決定手法についての開発、試行は活発である。

環境分野では、先進的で注目に値するさまざまな国家プロジェクトが実施され、基礎研究から応用研究・開発にかけて広く強みを持つ。情報基盤整備は最も進んでおり、継続的な研究開発で蓄積した多くの知見が、整備された情報基盤から発信・提供されている。

<欧州>

エネルギー分野では、FP7、Horizon2020 など大型プロジェクトが産学連携により継続的に推進されている。基礎・応用・産業化のすべてにおいてバランスがよく層も厚い。再生可能エネルギーの導入にも積極的で社会システムとしての取り組みが進んでおり、洋上風力、地熱などの産業化も進んでいる。東欧・ロシアも含めて、電力・ガスの域内ネットワークを構築している。エネルギーマネジメントに関する研究や次世代交通システム、太陽熱利用技術などで優位性を持つ。また、エネルギーレジリエンスに関する研究やコベネフィット研究など、社会技術面の研究でも進んでいる。

次世代自動車の研究開発などは、日米に較べてやや遅れている。原子力発電の継続利用を志向する国と撤退を志向する国が混在はするが、全般的に研究も産業化も非常に進んでいる。また、市民参加型社会的意思決定手法の開発、試行がなされており、研究も盛んである。

環境分野では、各国での取り組みに加え、EUとしての包括的な取り組みが存在し、対応する分野の広さや研究開発から社会実装・適用フェーズのいずれにおいても総合的に発展している傾向がある。特に社会的側面と結びつけて研究開発を実施し、実社会へ適応していく力がある。

<中国>

エネルギー分野では、化石資源領域の基礎研究レベルはあまり高くはないが、集中的資金投入などによる技術導入が続いている。従来型の太陽光技術は順調に伸びているのに対し、次世代型太陽電池の研究開発は少ない。韓国と同様、海外からの技術移転のスピードが早く、国内研究体制も拡充しつつある。また、ヒートポンプなどの熱利用機器や太陽熱利用機器の生産が多く、現時点での世界の工場の一つである。スマートシティ実証実験の取り組みや、海外からの技術移転、欧米で学んだ留学生による国内研究体制の拡充など、研究レベルは向上しつつある。今後、生活水準の向上によりエネルギー消費量の大幅増加が予測されるため、環境問題と合わせ、技術開発と政策・制度の両面を精力的に推進する必要がある。

原子力発電の導入に積極的であるため、全般的に研究は活発であるが、防災や廃止措置に関しては手薄になっている感がある。原子力と社会に関する研究については、政治体制の違いがあるため他国との比較は難しいが、関心は高まっている。

環境分野では技術の取り込み段階の領域も未だ多いが、そうした段階を経て急速に力をつけ発展が目覚ましい。環境と経済の両立が重視されつつあり、政策にそうした理念が取り込まれ、環境を重点領域と位置づけ巨額のプロジェクトも存在する。

<韓国>

エネルギー分野では、化石資源関連において製鉄分野を除き存在感が薄い。基礎研究、応用研究においては全般に渡って他国と比較して強みは見られないが、日米欧の個別要素技術を実用化に向けて応用する能力が高く、燃料電池自動車や蓄電池などの産業化フェーズでは開発力の高さがうかがえる。国内の再生可能エネルギーシステムの構築は日本と同様これからであるが、海外展開に軸を置いた、国による戦略的政策の実行に優れている点と、企業の実行力には着目すべきである。原子力関連では、逼迫する国内の貯蔵スペース問題を背景に廃棄物の貯蔵・管理に関する研究が進んでいる。また、リスク評価、ナトリウム冷却炉についても、比較的進んでいる。原子力と社会に関する研究については、日本と同様の状況である。

環境分野では、技術の取り込み段階の分野も未だ多いが、例えば水分野など、トップダウンで特定の分野を強力に推し進める体制ができています。そうした領域には資金が集中投資され、今後、急速に発展する可能性がある。一部、先進的な取り組みも存在する。

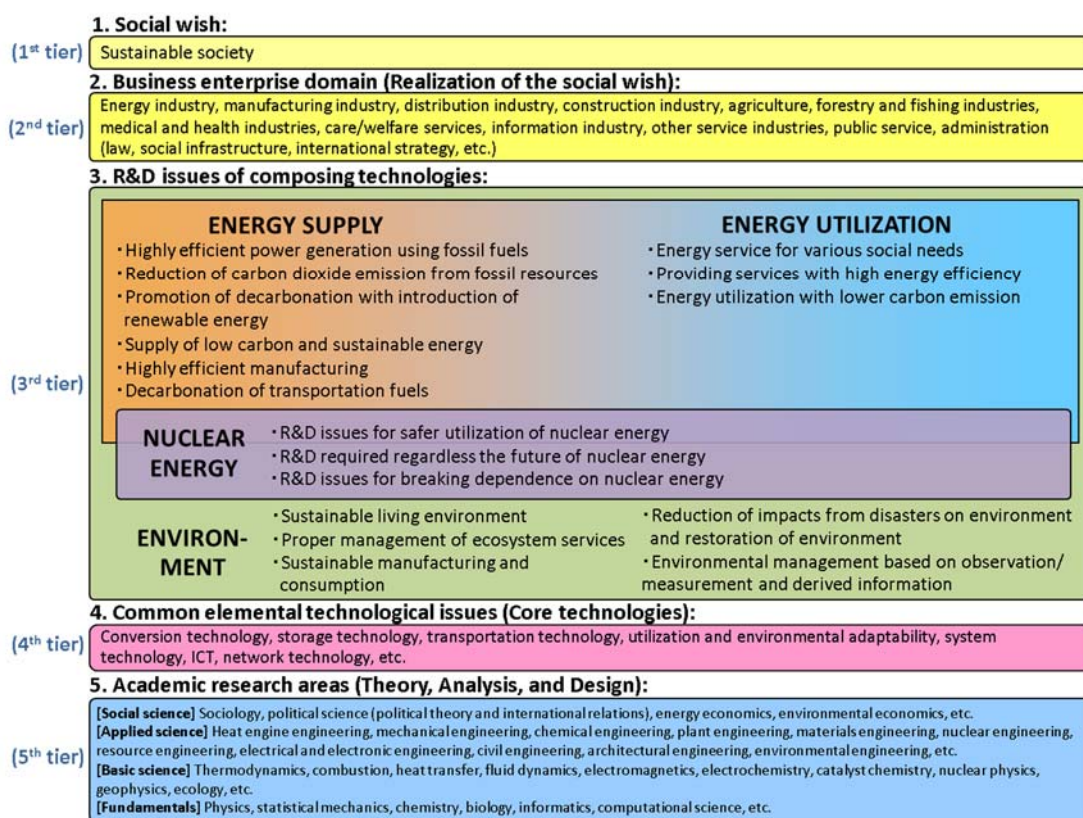
Executive Summary

The environment and energy issues are important especially in emerging countries. R&D themes in the environment and energy fields can contribute for solving issues in the world.

Following the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster, triggered by the Great East Japan Earthquake, energy supply shortages arose and power saving in every sectors are requested. Renewable energy has great potential from the viewpoint of greenhouse gas emission reduction and energy self-sufficiency. However, many issues remain unsolved, such as the cost and infrastructure (i.e., grid connection) required for introducing and disseminating renewable energy into conventional systems. The increase of carbon dioxide (CO₂) emission, due to the post-quake upsurge in fossil fuel energy consumption, has become a worrisome issue in fulfilling Japan's international obligation for climate protection. On the other hand, reduction in energy and resources consumption is in a hiatus situation in Japan. This may affect not only the natural ecology by increasing waste and pollution of atmosphere and water, but it also disturbs human surroundings and health.

This report reviews recent trends in the following four categories: "Energy Supply," "Energy Utilization," "Nuclear Energy," and "Environment." For "Energy Supply," the energy flow in Japan and the relationship between the amount of imported resources and carbon dioxide (CO₂) emissions are reviewed. Energy demand and supply mechanisms are viewed from an even larger perspective than they were in the 2013 version. In "Energy Utilization," viewpoint of the energy user is emphasized and the overall mechanisms are re-examined. Furthermore, the "Nuclear Energy" and "Environment" categories, which were not included in the 2013 version, were comprehensively surveyed together with the selection of 92 major research topics that must be tackled in the future. The research topics were organized according to the prospective social expectations and demands.

The scope and structure of the environment and energy field overview is shown in the following figure.



Structure and Scope of the Environment and Energy Fields
 in the Bird-eye Overview

In terms of energy supply, fossil fuel resources will continue to be the major source of energy supply; dramatic improvements in utilizing these resources and steep cutbacks in CO₂ emissions are imperative. Simultaneously, the introduction and promotion of renewable energy is also urgently necessary. However, many obvious issues, such as improving power generation costs or grid connection capacities, are yet to be resolved. The purpose of promoting R&D in this field is to provide the most effective energy combination into the society in general. The essential factors of the research are to maximize the efficient of power generation from various types of energy sources. Comprehensive evaluation of stable supply, economic efficiency, and safety in such process must be considered.

Energy consumption gives ability on our society to enjoy a wide variety of services, which enriches the civic life. Yet, it is inseparable from environmental loading. Continuous efforts to reduce energy consumption and improve efficiency have been implemented in and around the manufacturing industry, while the changes in lifestyle and social structure do not allowed reducing energy consumption in the consumer and transportation sectors. Not only do we need to

promote services that have high energy efficiency and develop technology towards a low carbon society, but we must also consider new energy services and develop systems to realize it, together with considering the social technology and institutional design needed for its dissemination.

Nuclear power generation is regarded as an important base load power source in the government's energy policy. However, due to the impact of the earthquake and nuclear power plant accident, it is difficult to confirm that the national consensus on its future operation has been obtained. Since public opinion is presently divided, we need to extract and organize the various R&D issues by incorporating a wide variety of options without restricting any possibilities for broadly reviewing the future of nuclear power generation from a social perspective.

As for the environment, efforts to reduce environmental load caused by the global increase of urban population is significant. Considering the relationship between human society and ecological services, the preservation and management of biological diversity and genetic resources are important. We must also aim for a recycling society, which will sustainably reduce environmental load caused by production and consumption activities. After the Great East Japan Earthquake, the necessity to make every effort to prevent and reduce disaster was reaffirmed and must be achieved through environmental science based prevention and resolution with damage estimation and post-disaster science and technology for restoring the environment. Observation, measurements, and environmental management, based on such data, will also become necessary to predict any future issues.

Based on the broad survey, the features of the following five regions namely, Japan, USA, Europe, China, and Korea, are summarized as follows:

JAPAN

In the energy field, the basic technology relating to fossil fuel resources is extremely advanced compared to that of foreign countries. However, the decrease of researchers in certain fields has become an issue. Cooperation between fields is weak; therefore, the creation of new technology tends to lag behind the USA. Application development is carried out extensively, but it is not widespread. As for renewable energy, many basic and applied research projects are currently being conducted with the installation of solar light projects in the lead, since the Feed-in Tariff system was initiated. Still, the projects are lagging behind those of foreign countries. A long-term strategy is desired toward realization of grid parity. In

terms of energy utilization, Japan has highly technical competitive power from research to industrialization in the area of next generation vehicles, heat, and hydrogen utilization. In energy management related fields, extensive efforts are made from the development of equipment to operation tests. Energy saving appliances are quite popular. In order to achieve further growth and establish their position, more research is necessary to make energy available to the wider society, prediction techniques, and co-benefit related technology. As a national policy, the long-term perspective to expand business overseas is also important; thus, it is necessary to develop, not only the component technology, but the system as a package, so that it can be widely used abroad. For atomic energy, research related to environmental restoration and radiation impacts are progressing together with research related to the Fukushima No. 1 nuclear power plant accident. Still, research relating to the nuclear fuel cycle is stagnant when compared to pre-quake levels. After the accident, the biggest concern of society is the utilization of nuclear energy and its safety. The government is attempting to build a new consensus by deliberative polling.

In the environment field, there are many component technologies that are leading the R&D and are internationally competitive. However, compared to the USA, unsolved problems, such as interdisciplinary collaboration, comprehensive viewpoints, or overseas business expansion by packaging the system and incorporating the policies, still remain. Due to the financial difficulties, there is the concern about securing research and development budgets, and researchers in this field.

U.S.A.

In the energy field, the basic level of fossil fuel resource related technology is high, but the population of researchers is scarce. However, there exists the environment to create new seeds of technology, making it a hopeful market for new technology. The energy supply-demand structure is changing dramatically, due to the production of shale gas oil. In the application and industrialization field, the USA is enhancing its conventional technology by expanding business abroad. In the renewable energy field, both basic and applied research are thriving and industrialization is progressing smoothly. These fields deal with anything from basic research to operation tests related to the energy management of next generation traffic using ICT and big data. From the viewpoint of fostering new industries, research is conducted strategically and broadly from basics to application with the Department of Energy (DOE) at the center. Socio-technical research and operation tests are also progressing, focusing on consumer behavior. There are major social issues related to the

fragile energy infrastructure, thus, promoting research related to this matter is regarded as necessary. Since the Three Mile Island accident, a wide variety of research on risk assessments has been conducted. Research on decommissioning, management of spent nuclear fuel, and radioactive waste is continuing. Although not as popular as in Europe, the development and trial of a participatory decision-making approach is lively.

In the environment field, various advanced national projects, worthy of attention, have been implemented and are strong in a broad area from basic to applied research and development. The information infrastructure is the most advanced in the world, transmitting and providing knowledge accumulated from continuous R&D.

EUROPE

In the energy field, big projects such as FP7 and Horizon2020 are progressing continuously with industry-academia collaboration. The projects are well balanced in basic and applied research and industrialization, with many participants. Europe is actively introducing renewable energy as a social system and is proceeding to industrialize offshore wind power and geothermal generation. They have built a regional network for electricity and gas, which includes Eastern Europe and Russia. They have competitive advantages on research related to energy management, co-benefit research, and social technology. R&D on next generation vehicles is slightly behind the USA and Japan. Although there are many countries wishing to continue and those who wish to withdraw their use of nuclear reactors, general research and industrialization is highly advanced. Development and trial of a participatory decision-making approach is active together with its research.

In the environment field, in addition to the efforts made by each country, there is a comprehensive effort being made by the EU. From the broadness in the corresponding fields and the R&D, to the actual implementation in society and applied phases, they all tend to be comprehensively developed and have the power to adapt to the real world.

CHINA

In the energy field, the basic level of research in areas related to fossil fuels is not very high, but technology introduction is made possible by the intensive fund investment that still continues. Though the use of conventional solar light technology is increasing smoothly, R&D of next-generation solar batteries is minimal. As with Korea, technical transfer from overseas is speedy and domestic

R&D infrastructure is enhancing. China produces a large number of heat utilization equipment, such as heat pumps, and solar heat utilization equipment, establishing one of the global factories in the world. Efforts for smart city operation tests, technology transfer from overseas, and the reinforcement of domestic research with the return of students who studied in the USA or Europe adds to research level improvement. Since a dramatic increase in energy consumption is predicted with a rise in living standards, it will become necessary to vigorously promote technical development, policy, and systems, in light of the associated environmental issues.

China is very positive about introducing nuclear power generation; therefore, research on the whole is active, but disaster prevention and decommissioning appears to be insufficient. Interest in research related to nuclear energy and society has risen, yet it is difficult to compare with other countries due to their different political systems.

In the environment field, there are still many stages where technology is yet to be applied, but China has shown remarkable progress after going through multiple stages. Both the environment and economy are now considered important. This principle is reflected in the present policy, which stresses the environment as a priority. China now benefits from projects that cost billions.

SOUTH KOREA

In the field of energy, Korea has a very weak presence in areas related to fossil fuel resource, except for in the steel industry. Korea shows no particular competitive edge in the overall basic and applied research compared to other countries, but it is extremely capable in applying individual component technology towards practical use. In the industrialization phase, such as fuel-cell vehicles or storage batteries, one can see high development capability. Construction of a domestic renewable energy system can be realized in the future, as was the case in Japan. However, Korea excels at executing the government strategic policies that focus on overseas expansion. We must also consider the execution power of business. In the atomic energy field, research related to the storage and management of nuclear waste is progressing. In the background, there is the near term crisis of storage space shortage in Korea. Research on risk assessment and sodium-cooled reactors is comparatively progressing. The state of research on atomic energy and society is the same as that of Japan.

In the environment field, there are many aspects where technology is still in

the preparation stage. For instance, Korea has a system where they strongly pursue distinctive fields, such as water, in a top-down manner. In such regions, funds are invested intensively, so the possibility exists for sudden future development. Cutting-edge research in limited areas can also be found.